DELPROGRAM TILLÄMPAD FÖRBRÄNNINGSTEKNIK 764

Bäddbrännare för rosterpannor

Mikael Sendelius, Robert Schuster

värmeforsk
VÄRMETEKNISK FORSKNING OCH UTVECKLING

Bäddbrännare för rosterpannor

Bed burners for grate boilers

Mikael Sendelius, Robert Schuster

ÅF-Energikonsult AB

B9-902

VÄRMEFORSK
101 53 STOCKHOLM · Telefon 08-677 25 80
Februari 2002
ISSN 0282-3772

FÖRORD

Föreliggande projekt är ett delprojekt i ett större åtgärdsprogram för skogsindustriella barkpannor. Syftet har varit att öka kunskapen om hur bäddbrännare skall utformas och placeras för att öka last och bränsleflexibilitet hos pannor och ugnar. Speciellt intressant är tekniker för hur torkförloppet av fasta biobränslen kan förbättras i pannornas torkzon. Andra intressanta Värmeforsk-rapporter inom ramen för åtgärdsprogrammet är ”Möjligheter till förbättrad drift av pannor och ugnar genom optimerad förbränningsteknisk styrning – etapp 2” (rapport nr 710), ”Aktiva murverk - etapp I” (rapport nr 743) samt ”Tillförsel av skogsindustriellt slam till eldstäder etapp I” (rapport nr 757). Fortsatta försök i laboratorieskala där bäddbrännare testas ihop med nya typer av murverksmaterial har också genomförts och kommer inom kort att publiceras inom ramen för Värmeforsks forskningsprogram.

Stockholm januari 2002

Lars Wrangensten
ÅF-Energikonsult AB

ABSTRACT

I rapporten definieras en bäddbrännare som en brännare som används för att underlätta förbränningen, det vill säga den används för att snabbt torka fuktigt bränsle på pannans roster. Resultatet från matematiska simuleringar visar bl. a. att lösningar med s.k. flatflammebrännare ger mycket strålning mot bränslebäddens två första zoner vilket skulle kunna göra att pannorna bättre kan följa lastvariationer samt klara fuktiga och varierande bränslekvalitéer.

SAMMANFATTNING

Föreliggande projekt har haft som syfte att öka kunskapen om hur bäddbrännare skall utformas och placeras för att öka last och bränsleflexibilitet hos pannor och ugnar. I rapporten presenteras resultatet från flera olika strömningstekniska simuleringar och från en undersökning bland anläggningsägare om hur brännare används idag.

I rapporten definieras en bäddbrännare som en brännare som används för att underlätta förbränningen, det vill säga den används för att snabbt torka fuktigt bränsle på rostern. En lastbrännare används för att snabbt reglera pannans last, och således inte för att förbättra förbränningen av bränslebädden.

Strömningstekniska beräkningar har utförts för fem olika fall, inklusive ett referensfall. Fyra olika konstellationer av brännare har studerats med avseende på hur placering, effekt och typ av bäddbrännare påverkar strålningen mot bädden. De konstellationer som undersökts är följande: flatflammebrännare, sex brännare i tändvalvet, två symmetriskt placerade brännare samt två asymmetriskt placerade brännare. De olika typerna av brännare och deras placering har simulerats i en och samma pannmodell.

Resultatet från simuleringarna visar att lösningarna med flatflammebrännaren och de sex brännarna placerade i pannans tändvalv ger mest strålning mot bäddens två första zoner. Strålningen och därmed torkeffekten har i de studerade exemplen ökats med mer än två gånger.

Simuleringen av de två bäddbrännarna som placerades lite längre bak i pannan gav sämre resultat. En jämförelse med en simulering utan dessa brännare (referensfallet) visade att det nästan inte är någon skillnad på strålningen mot bädden mellan de två olika fallen.

Mest strålning mot bäddens första zoner fås med sex brännare i tändvalvet, vilket dock ger ojämn strålning mot bädden. Ojämn eller för hög strålning kan orsaka stora problem i form av genombränningar av bädden. Dessa problem kan troligtvis minskas om brännarna placeras annorlunda i tändvalvet och effekten minskas. En viktig slutsats som simuleringarna visade är att strålningen avtar snabbt med avståndet, därför är brännare vars flamma kommer nära bädden bäst ur strålningssynpunkt.

Simuleringarna av de olika brännarna visade att stråkbildningen förstärktes något jämfört med referensfallet. Enligt simuleringarna så innebar montaget av extra brännare dock ingen dramatisk förändring av strömningsbilden/hastighetsfältet i pannan som helhet. Dock ändras strömningsbilden mycket i områdena nära rosterns första zoner. Detta påverkar koncentrationen av olika rökgaser ovanför dessa zoner.

De gjorda simuleringarna bygger på approximationer, därför måste resultaten tolkas i grova drag och inte ses som absoluta sanningar. Det är därför mycket viktigt att de slutsatser som dras i rapporten följs upp av praktiska experiment.

Erfarenheter och synpunkter från sex anläggningsägare har inhämtats och sammanställts. Sammantaget kan det konstateras att i de undersökta anläggningarna så är det ingen som använder olja i syfte att förbättra förbränningen av fastbränsle. Oljan har här enbart funktionen att vid behov, relativt snabbt, generera mer ånga. Brännarna har i dessa anläggningar en sådan placering, relativt högt upp i pannans vattenkylda del, att de endast i ringa grad kan anses bidra med strålningsvärme till bränslebäddens torkzon.

Vissa tankar finns eller har funnits på anläggningarna att använda oljebrännare för att förbättra förbränningen. Några uppger att man har haft denna form av bäddbrännare men bl.a. på grund av sintringsproblem tagit bort dessa.

Nyckelord: Brännare, strålning, torkning, torkzon, roster, barkpannor

SUMMARY

The objective of this work is to increase the knowledge of bed burners and their optimal positions in furnaces. The results from several computational fluid mechanics calculations are presented. An investigation concerning bed burners among plant owners is included as well.

A bed burner is defined as a burner used for enhancing the combustion process on the bed i.e. it is used to dry incoming wet fuel. A load burner is used to quickly increase the boiler load and primarily not for creating better combustion conditions on the grate.

Fluid mechanics calculations have been performed for five different cases, including the reference case. The following four bed burner arrangements have been examined: flat flame burner, six burners placed in the combustion chamber, two symmetric placed burners and two asymmetric placed burners. The same furnace model has been used through all the simulations. The incident radiation has been calculated in order to determine which one of the bed burners having the best possibility to improve the combustion process on the grate.

The results showed that the flat flame burner and the six burners placed in the combustion chamber gave the most incident radiation on the first two grate zones. Bed burners placed further back in the furnace gave less good results. A comparison between the reference case (the case without burners) and the case with two burners showed that there was almost no difference in incident radiation between the two cases.

The case with six burners placed in the combustion chamber gave most incident radiation, however this arrangement gave an irregular distribution of the radiation on the bed. Too high or irregular distributed radiation increases the risk for getting regions, on the grate, where the fuel is completely burnt. Primary air will pass through these regions. This phenomenon will lead to high temperatures that cause increased levels of emissions, in particular NO_x. Reorganizing the burner positions and reducing the burner load might solve this problem.

The simulations show that the radiation decreases rapidly as the distance from the radiation source increases. This explains why burners placed close to the bed gave the best result, regarding incident radiation.

The formation of a band with higher velocity is slightly enhanced but the general flow field does not change in the whole furnace. However the flow field close to the grate changes depending on which case is simulated.

The presented simulations are only an approximation of reality and therefore the conclusions must be interpreted carefully. One can only discuss the results in general and not in detail. It is also very important to confirm the general conclusions by experimental studies.

Six plant owners have been interviewed; different experiences of bed burners have been collected and compiled. It can be concluded that oil fired bed burners are not used in any of the six plants. Oil burners are used only to boost the furnace load. These burners are placed relatively high up in the furnace. The general opinion is that those burners do not contribute to radiation to the bed and they are therefore not bed burners by definition.
The idea to use bed burners has been investigated in some of the plants. Bed burners have been used in two of the plants, however this kind of burner is not used any more due to problem with sintering.

Keywords: Burners, radiation, drying, grate and bark boilers

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Syfte och målsättning 2
1.3 Utförande 2

2 UPPGIFTER OCH SYNPUNKTER FRÅN ANLÄGGNINGSÄGARE 4
2.1 Assi Domän, Karlsborg 4
2.2 Assi Domän, Skärblacka 4
2.3 Iggesund Paperboard, Iggesunds Bruk 5
2.4 Holmen Paper, Bravikens Pappersbruk, Norrköping 6
2.5 Stora Enso, Gruvön 6
2.6 Stora Enso, Skutskär 7

3 AVGRÄNSNINGAR OCH FÖRUTSÄTTNINGAR 8
3.1 Brännarnas placering och modellering 8
3.2 Matematiska simuleringar 13
3.3 Beräkningsmodeller och beräkningsprogram 13
3.4 Geometri för pannmodell 15

4 RESULTAT 16
4.1 Strålning mot bädd 16
4.2 Koncentrationen av metan 25
4.3 Temperaturfältet 27
4.4 Hastighetsfält 29
4.5 Jämförelse med aktiva murverk 34
4.6 Rökgasernas inverkan 36

5 KOMMERSIELLA BRÄNNARE 39

6 SLUTSATSER 40

7 FORTSATT ARBETE 42

8 REFERENSLISTA 43

1 INLEDNING

ÅF Energikonsult AB har, inom ramen för Värmeforsks delprogram Tillämpad förbränningsteknik samt från Åforsk, tilldelats forskningsanslag till projektet ”Möjligheter till förbättrad drift i pannor och ugnar genom optimerad förbränningsteknisk styrning”. Detta projekt är indelat i fyra olika delprojekt, varav ”Biobränslelastreglerande brännare” är ett av dessa delprojekt. De övriga tre delprojekten är: 1) Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning, 2) Aktiva murverk samt 3) Fiberslamtillförsel till eldstäder.

Projektet, ”Möjligheter till förbättrad drift i pannor och ugnar genom optimerad förbränningsteknisk styrning”, syftar som helhet till att ge kunskap om hur man skulle kunna möta och uppfylla dagens och kommande miljökrav på olika typer av pannor. Vart och ett av projekten redovisas separat.

I denna rapport studeras hur olika typer av brännare och deras placering påverkar pannors, i synnerhet barkpannors, förmåga att torka fuktiga bränslen snabbt. Målet är att finna en lösning som gör det möjligt att elda en fuktigare bränslemix och/eller som ökar pannans reglerbarhet.

1.1 Bakgrund

Massa- och pappersbrukens barkpannor eldas med bark, grot och slam från pappersprocessen. Denna bränslemix är ofta mycket fuktig. Barken och groten har en fukthalt som är drygt 50%, slammet är ofta fuktigare än så. Om pannan eldas med bränslen som har högre fukthalt än den dimensionerade kommer detta att medföra försämrade prestanda. En stor del av bränslets energiinnehåll åtgår åt att värma och förånga fukten i bränslet och detta gör att det tar lång tid innan bränslets vatteninnehåll har förångats så att förbränningen kan starta. Detta medför att förbränningen i pannan blir svår att reglera. Genom att påskynda torktiden kan regleringen underlättas, en snabbare förångning av fukten kan till exempel ske med hjälp av brännare som sitter placerade strax ovanför bädden.

Från och med 2005 kommer det att bli förbjudet att deponera organiskt avfall. Vid årsskiftet 2001/2002 blir det förbjudet att deponera brännbart avfall. Ett av problemen som uppstår som följd av denna lagförändring är hanteringen av slam från till exempel pappers- och massa-industrin. En lösning kan vara att slammet förbränns i de pannor som finns i anslutning till produktionen. Ökad slamförbränning medför, med stor sannolikhet, att pannans prestanda försämras. Tänkbara problem som kan uppstå är till exempel att den maximala effekten på pannan sänks, högre halter av oförbrända kolväten och ökade utsläpp av CO.

Barkpannans uppgift är att leverera ånga till pappersprocessen. Behovet av ånga kan variera kraftigt, t.ex. vid start och stopp av pappersmaskiner samt vid s.k. batch

processer. Dessa variationer kan ske under korta tidsrymder vilket innebär att höga krav ställs på barkpannas reglerbarhet.

Dagens lastvariationer i kombination med framtida fuktigare bränsle ger problem med avseende på emissioner, effekter och pannans reglerbarhet. I denna rapport undersöks ett sätt att lösa dessa problem, nämligen genom att använda brännare (bäddbrännare). Olika typer av brännare har till och från används för att underlätta förbränningen eller öka pannans prestanda men i denna rapport presenteras alternativa lösningar som förhoppningsvis skall vara bättre än de hittills prövade.

1.2 Syfte och målsättning

Syftet med delprojektet ”Biobränslelastreglerande brännare” är att utveckla och förmedla kunskap om hur brännare kan utnyttjas bättre än idag för att torka och avgasa biobränsle vid t.ex. varierande bränslekvalité eller lastförändringar. Tekniken är avsedd att leda till ett bättre utnyttjande av eldstaden och därtill hörande prestanda- och miljöförbättringar.

1.3 Utförande

I rapporten redovisas resultatet av flera strömningstekniska beräkningar där alternativa placeringar av olika brännare simulerats. Syftet med dessa beräkningar var att studera vilken inverkan brännarnas storlek och placering har på strålningen mot bränslebädden. Syftet med simuleringarna är också att undersöka hur strömningsfältet förändras. Det är viktigt att veta hur tillskottet av rökgaser påverkar strömningen i pannan. Större mängder rökgaser kan påverka stråkbildning och andra fenomen i pannan.

En förfrågan har skickats ut till tillverkare och leverantörer av brännare för att få in uppgifter på vilka typer av brännare som finns tillgängliga idag. Flera anläggningsägare har också kontaktats för att få en uppfattning hur och i vilken omfattning brännare används idag.

För att inte blanda ihop olika typer och uttryck för brännare kommer det att i detta avsnitt att ges en definition av vilken funktion en bäddbrännare har.

1.3.1 Bädd- och lastbrännare

I rapporten görs en distinktion mellan bäddbrännare och lastbrännare. Med en bäddbrännare avses en brännare vars primära uppgift är att bidra till en snabbare torkning och avgasning av inkommande fastbränsle. Brännarens uppgift är således att fungera som stöd för förbränningen på bädden. Bäddbrännaren används till exempel när fuktigare bränsle än normalt matas in i pannan. Vid dessa tillfällen behövs ett extra tillskott av energi för att bränslet skall hinna torka, avgasa och brinna ut innan det når askutmatningen. Bäddbrännaren kan också användas då större kvantiteter bränsle matas in på rostern, vid dessa tillfällen ökar kraven på effektivare torkning, detta sker till exempel vid lastökningar.

Med lastbrännare avses brännare vars funktion är att snabbt bidra till ökad last i pannan med hjälp av tillsatsbränsle som t.ex. bioolja, träpulver, fossil olja eller gas. Dessa brännare sitter ofta placerade relativt högt uppe i pannan för att på så sätt direkt påverka ångproduktionen.

Rapporten kommer endast att behandla s.k. bäddbrännare. Detta motiveras av att det i projektbeskrivningen står: ”Brännarens primära uppgift är således **inte** att bidra till en ökad tillsatsbränslebaserad last, utan endast ge en snabbare torkning och avgasning av inkommande fastbränsle”.

1.3.2 Simuleringar

Fyra olika konstellationer av brännare har studerats med avseende på hur placering, effekt och typ av brännare påverkar strålningen mot bädden. De konstellationer som undersökts är följande: flatflammebrännare, sex brännare i tändvalvet, två symmetriskt placerade brännare samt två asymmetriskt placerade brännare. De olika typerna av brännare och deras placering har testats i en och samma pannmodell. Utöver detta har även ett referensfall utan några brännare simulerats.

Transienta beräkningar har inte utförts i egentlig mening, utan beräkningarna/simuleringarna har utförts vid olika effekter. Stationära tillstånd har simulerats vid olika lastfall. Resultaten från de olika beräkningarna jämförs. Genom att studera hur strömningsbilden förändras mellan de olika lastfallen kan man få en viss uppfattning om hur strömningsbilden förändras i tiden då man går från låglast till fullast. I rapporten redovisas flatflammebrännaren i tre steg 5, 10 och 15 MW tillförd effekt.

1.3.3 Förfrågan

En förfrågan har skickats ut till flera olika tillverkare och återförsäljare för att få en uppfattning om vilka typer av brännare som finns tillgängliga idag samt kostnaden för dessa. Förfrågan och till vem den skickats till redovisas i bilaga 1.

1.3.4 Erfarenheter från anläggningsägare

Erfarenheter och synpunkter från sex olika anläggningsägare har inhämtats och sammanställts. Syftet med denna undersökning har varit att få fram uppgifter om hur olika anläggningar använder sina brännare och vilken teknik som tillämpas.

2 UPPGIFTER OCH SYNPUNKTER FRÅN ANLÄGGNINGSÄGARE

I syfte att få ett grepp om hur brännare i barkpannor används idag och vilka planer eller funderingar kring bäddbrännare som eventuellt finns, har kontakt tagits med några anläggningsägare. I samband med detta har följande definierats:

Med bäddbrännare avses brännare som förbättrar biobränsleförbränningen. Med lastbrännare avses brännare som har till syfte att lastkomplettera biobränsle-förbränningen.

Följande uppgifter har erhållits genom kontakt med några representativa anläggningar.

2.1 Assi Domän, Karlsborg

Barkpannan är byggd 1980 och är försedd med fyra brännare från Petrokraft för Eo5 placerade på ena sidoväggen i två nivåer (2 + 2). Brännarna fungerar som lastbrännare.

Bark, med en viss inblandning av slam, eldas på en fast snedrost som övergår i en lika stor rörlig Kablitzrost. Barken håller en fukthalt av maximalt 60% liksom det mekaniskt avvattnade slammet. Slamhanteringen är för närvarande under översyn och kan förändras beroende på miljötillstånd.

Med barkeldning kan som mest 47 $t_{ånga}$/h genereras (40 bar, 425 ^{o}C). Vid eldning av enbart olja kan 100 $t_{ånga}$/h nås och vid kombinerad eldning knappt 100 $t_{ånga}$/h. Lasten kan öka mycket snabbt vid urladdad ångackumulator - uppåt 20 - 30 $t_{ånga}$/h per minut.

Emissionen av CO varierar från något hundratal ppm upp till 4000 ppm beroende på last och bränslekombinationer. NO_x-emisionen ligger runt 100 mg/MJ som genomsnitt.

Vissa problem med täckning av den rörliga rosten uppstår ibland. Bäddbrännare i syfte att förbättra biobränsleförbränningen har inte varit aktuellt. De brännaråtgärder som diskuterats rör NO_x-reducerande åtgärder för själva oljeeldningen.

Man har inte noterat någon påverkan/försämring av fastbränslets aska på grund av oljeeldningen. Askan används för närvarande som vägbyggnadsmaterial på egen deponi.

2.2 Assi Domän, Skärblacka

Pannan - en före detta sodapanna byggd 1962 med rymlig eldstad - är försedd med fyra Petrokraftbrännare för Eo5, som fungerar som lastbrännare. Brännarna är placerade i pannans bakvägg, dvs. pannväggen belägen ovanför askutmatningen.

Biobränsle eldas på en fast rost som övergår i en rörlig Kablizrost. Bränslet utgörs av bark som i och med idrifttagningen av ett nytt renseri håller en relativt jämn fukthalt runt 55%.

Med biobränsle kan en ångproduktion av 50 - 75 t/h (60 bars överhettad ånga) nås. Om även olja eldas kan 120 $t_{ånga}$/h produceras och vid enbart oljeeldning 70 $t_{ånga}$/h.

Pannan måste möta mycket stora laständringshastigheter trots att en ångackumulator finns tillgänglig i ångnätet. De snabba lastvariationerna tas med oljebrännarna och medför relativt kraftiga försämringar av emissionsvärdena. Emissionen av CO är normalt ca 200 ppm och NO_x ca 70 mg/MJ.

Några särskilda planer att använda bäddbrännare för torkning av biobränsle finns inte.

Oljeeldningen medför inte att biobränsleaskan behöver behandlas på något särskilt sätt.

Vid laster under 30 t/h har problem uppstått i form av sintringar på rosten. Dessa problem har minskat i anslutning till att luftsystemet på pannan byggts om. Pannan har nu nya system för primär- sekundär- tertiär- och kvartärluft. Den sistnämnda luften tillsätts uppe vid oljebrännarna.

2.3 Iggesund Paperboard, Iggesunds Bruk

Pannan installerades 1977 och är försedd med sex stycken Hamworthy-brännare för Eo5 som är placerade på den vänstra väggen sett från bränsleinmatningen.

Brännarna är avsedda att fungera som lastbrännare - någon stödfunktion till fastbränsleeldningen har ej noterats.

Biobränsle och fiberslam samt en del "silrens" eldas på en fast rost som övergår i en rörlig Kablitzrost.

Med fastbränsleeldning kan 80 - 100 $t_{ånga}$/h (60 bar, 480 ^{o}C) produceras. Vid kompletterande, eller enbart, oljeeldning kan upp emot 150 $t_{ånga}$/h produceras.
Fabriken är försedd med en ångackumulator som tar de kortvariga, snabbaste förändringarna i ångkonsumtion. Laständringshastigheten för barkpannan är ca 10 - 20 $t_{ånga}$/h på 5 minuter.

Emissionen av CO varierar från 100 till över 2000 ppm beroende på last och bränslekombinationer. NO_x-emissionen är på årsbasis runt 50 mg/MJ i medelvärde.
Smärre problem med ras och hålbildning i bränslebädden förekommer på den fasta delen av rosten. Bränslets fukthalt kan styras bra genom inblandning av torrflis (ca 5% fukthalt) varför fukthaltsvariationerna i bränslet är måttliga.

Pannan var tidigare försedd med en brännare för spillolja placerad ovanför bränslebädden. Syftet med denna var egentligen att ge mer effekt (lastbrännare) men funderingar har funnits att återinstallera en dylik brännare som stöd för fastbränsleeldningen.

Dagens oljeeldning ger inga förändringar i biobränsleaskans sammansättning. Askan läggs på egen deponi.

2.4 Holmen Paper, Bravikens Pappersbruk, Norrköping

Barkpannan, som installerades 1977, är försedd med fyra brännare för Eo5 placerade på den vänstra väggen sett från bränsleinmatningen.

Brännarna betraktas som lastbrännare men används för närvarande mycket sällan på grund av det höga oljepriset.

Ångprodukionen är 75 $t_{ånga}$/h (60 bar, 475 ^{o}C) med biobränsle och nästan lika mycket vid enbart oljeeldning.

2.5 Stora Enso, Gruvön

Denna barkpanna installerades 1986 och är försedd med fyra stycken Hamworthy- och två stycken Ahlström-brännare - de två senare används normalt ej. Samtliga brännare körs på Eo5 och är placerade i pannans frontvägg med två brännare på varje plan. Brännarna används som lastbrännare.

Bark eldas på en rörlig sned rost av sköldtyp. Barken håller en fukthalt på ca 50 +/- 5% - en variation som klaras bra utan försämrade emissioner. Några problem med ras/hålbildning på rosten har man ej.

Med bark kan ca 100 - 110 $t_{ånga}$/h (ca 50 bar, 480 ^{o}C) produceras. Vid enbart oljeeldning kan 200 $t_{ånga}$/h produceras och vid kombinerad eldning något mindre än 200 $t_{ånga}$/h.

Barkpannan är "regulatorn" i ångnätet. De normalt största laständringarna inträffar när den stora pappersmaskinen som förbrukar ca 60 $t_{ånga}$/h startas eller stoppas. En ångackumulator tar en del av lastutjämningen.

Emissionen av CO var ca 758 mg/Nm^3 (608 ppm) och NO_x ca 57 mg/MJ som medelvärde under perioden januari - maj 2000.

Pannan var tidigare försedd med två oljeeldade bäddbrännare men dessa har tagits bort på grund av sintringsproblem. Några planer på att byta ut dagens brännare finns inte - 1993 byttes fyra Ahlströms-brännare mot Hamworthy-brännare.

Den oljeeldning som sker samtidigt med barkeldningen ger inte några problem med barkaskan.

Några planer på att elda slam har man inte.

2.6 Stora Enso, Skutskär

Barkpannan - en före detta sodapanna byggd 1961, ombyggd till barkpanna 1977/78 - är försedd med två stycken Petrokraft oljebrännare för Eo5, som fungerar som lastbrännare. Brännarna är placerade i frontväggen, ovanför bränsleinmatningen.

Bark från löv- och furuträd eldas på en fast rost som övergår i en Kablitzrost. Barken håller en genomsnittlig fukthalt av 45% med en variation på +/- 5% vilket inte innebär några ökningar av emissionsvärdena.

Med barken kan ca 80 $t_{ånga}$/h (60 bar) produceras. I kombination med oljeeldning kan 140 $t_{ånga}$/h nås och enbart oljeeldning kan ge drygt 100 $t_{ånga}$/h.

Pannan står under relativt långa perioder (veckor) avställd. Under drift varierar lasten normalt mellan 20 och 100 $t_{ånga}$/h med relativt måttlig laständringshastig-het. Ångackumulator saknas.

Emissionen av CO ligger runt 500 ppm och NO_x ca 90 mg/MJ.

Vid låg last erhålls en dålig täckning på rosten och därmed luftgenomblåsning av bränslebädden på den fasta delen av rosten.

Pannan försågs, i samband med ombyggnad till barkeldning, med en oljebrännare placerad i en luftkanal under rosten i syfte att hetta upp torkluften. Denna lösning gav dock så stora problem att den efter några år övergas. Några nya planer på brännarbyten eller kompletteringar finns för närvarande inte. Vissa sintringsproblem förekommer vid låglast och uppträder då i "vecket" mellan fast och rörlig rost.

Den oljeeldning som sker samtidigt som barkeldningen ger inte någon påverkan på biobränsleaskan.

Några planer på att elda slam i barkpannan har man inte utan slam avses istället eldas i sodapannan.

3 AVGRÄNSNINGAR OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

I detta avsnitt redovisas vilka avgränsningar som gjorts. Här förklaras vilka typer av brännare som har simulerats och vilka effekter som testas. Geometrin för pannmodellen presenteras. Randvillkoren för brännarna och pannan redovisas. De modeller som används för att beskriva förbränningen, turbulensen och strålningen presenteras. I detta avsnitt beskrivs, kortfattat, funktionen hos en turbulensmodell.

De strömningstekniska beräkningarna omfattar simulering av fyra stycken olika konstellationer av brännare samt ett fall utan brännare. De fyra olika alternativen har testats med tre effekter för att efterlikna låglast, dellast och fullast på bäddbrännarna. Samtliga brännare har simulerats i en och samma pannmodell.

3.1 Brännarnas placering och modellering

Studien omfattar bäddbrännare som placerats i pannans nedre regioner. Beräkningarna har en relativt grov upplösning vilket gör det omöjligt att simulera små förändringar i utformningen av brännarna, därför kan inte olika varianter på brännarnas konstruktionen simuleras. På grund av den grova upplösningen kommer brännarnas geometri att förenklas. Denna förenkling innebär att brännarna ersätts med ett inlopp. Bränslet tillförs pannan genom detta inlopp. I simuleringarna behandlas detta som ett randvillkor, där hastighet, temperatur, densitet och andra parametrar bestäms i förväg. Massflödet av bränslet, som i samtliga fall är metan, bestäms av den effekt som skall tillföras pannan.

Simuleringar har gjorts på två, i princip, olika typer av bäddbrännare. Den ena typen kallas i rapporten för flatflammebrännare den andra typen av brännare skall efterlikna traditionella brännare. Två olika storlekar och tre olika konstellationer på de traditionella brännarna har undersökts. Varje fall har simulerats vid tre olika effekter, den tillförda bränsleeffekt har varierats från 5 till 15 MW.

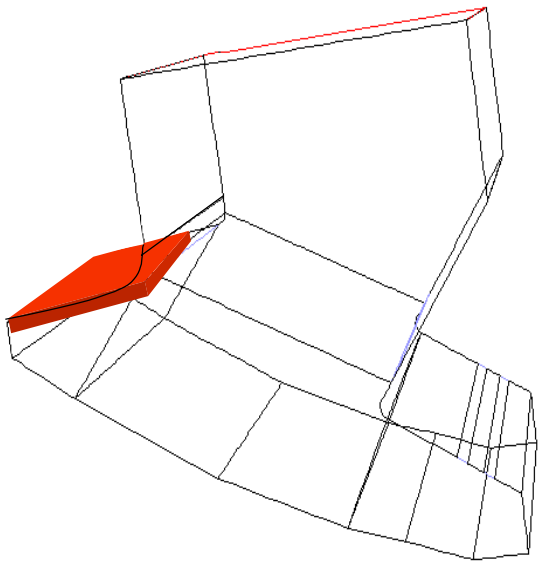
3.1.1 Flatflammebrännare

Med en flatflammebrännare menas en brännare med en flamma som är utbredd och brinner över en hel yta. Denna typ av brännare har placerats i övre delen av tändvalvet se Figur 1. Tanken är att lågan skall brinna som ett ytskikt längs murverket och stråla ner mot bädden. Fördelen med denna typ av brännare är att strålningen blir jämt fördelad över hela rosterns yta. På så sätt kommer bränslebädden att torka jämt. Detta minskar risken för att det bildas områden som snabbt brinner upp och ger upphov till genombränningar som i ett senare skede, längre ner på rostern, leder till genomblåsningar av förbränningsluft. Om förekomsten av sådana genomblåsningar minskas eller tas bort helt minskas också risken för stråkbildning vilket i sin tur leder till minskade emissioner.

I beräkningarna efterliknas flatflammebrännaren genom att gasen tillförs pannan i princip vinkelrätt ner genom hela tändvalvets yta som markerats i Figur 1. Gasen

antänds och brinner över hela tändvalvets yta, ungefär på samma sätt som en flamma från en flatflammebrännare skulle göra.

Tre olika effekter på flatflammebrännaren har simulerats; 5, 10 och 15 MW. Den inkommande gasen antas vara förblandad med luft. Syreöverskottet är 3% (massprocent) baserat på den stökiometriska luftmängden. Utloppshastigheten på luft/bränsleblandningen är ca 0,6 m/s för effekten 5 MW och ca 1,5 m/s vid 15 MW. Arean på övre delen av tändvalvet det vill säga inloppet för luft och bränsleblandningen är 17 m^2.

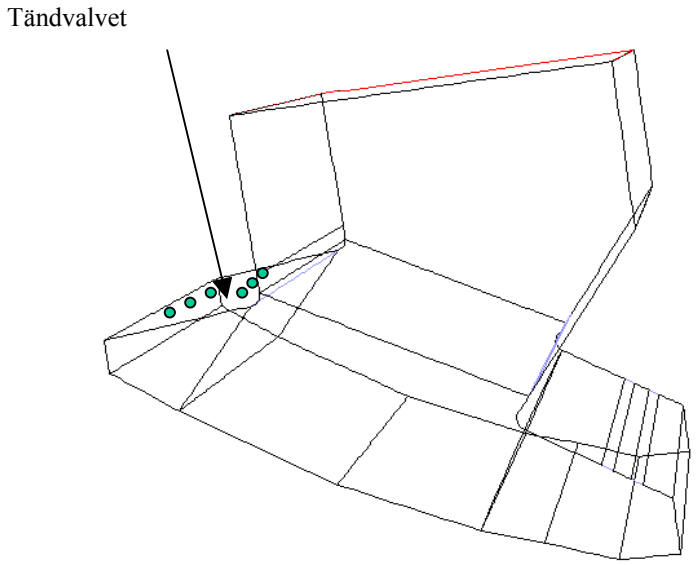


Figur 1. Den röda ”plattan” visar utbredningen av flatflammebrännaren.

Figure 1. The red ”plate” shows the extension of the flat flame burner.

3.1.2 Sex stycken mindre brännare

Ett alternativ till flatflammebrännaren är att montera flera mindre brännare i taket på tändvalvet, Figur 2. Effekterna av en sådan placering har studerats. I detta fall har två rader med tre brännare i varje rad simulerats. Avståndet mellan raderna av brännare är ca 85 cm, och avståndet mellan två brännare på samma rad är ca 1,7 m. Brännarna är lika stora och inloppsytan är ca 2,6 dm^2. Den tillförda effekten har även i detta fall varit 5, 10 och 15 MW. Detta innebär att varje brännare har en tillförd effekt mellan 0,83 och 2,5 MW. Gashastigheten på luft/bränsleblandningen är i detta fall ca 35 m/s för 5 MW och ca 100 m/s för 15 MW. Även i detta fall antas bränslet och förbränningsluften vara förblandat och ha ett syreöverskott på 3%.



Figur 2. De sex mindre brännarnas placering i tändvalvet.

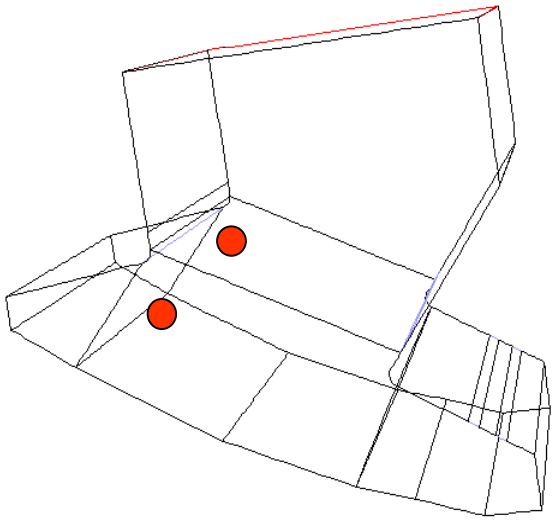
Figure 2. The placement of the six burners in the combustion chamber.

3.1.3 Två stycken brännare

I denna rapport ingår också en studie då endast två bäddbrännare simulerats. Två olika varianter har studerats, det första alternativet är att de två bäddbrännarna placerats mitt emot varandra på var sin sida om rostern, det andra alternativet innebär att bäddbrännarna sitter förskjutna i förhållande till varandra.

Bäddbrännarna placerade mitt emot varandra kallas för den symmetriska placeringen. Denna placering kan ses i Figur 3. Den symmetriska placeringen av brännarna har simulerats vid 5, 10 och 15 MW vilket innebär att effekten på varje enskild brännare är mellan 2,5 och 7,5 MW.

Avståndet till bränsleinmatningen och bädden (zon 2, se Figur 6) är cirka 3 m respektive 1,5 m. Storleken på den öppning som skall efterlikna mynningen för brännaren är ca 0,26 m^2. Hastigheten vid inloppet är ca 7 m/s vid 5 MW och ca 20 m/s vid 15 MW.

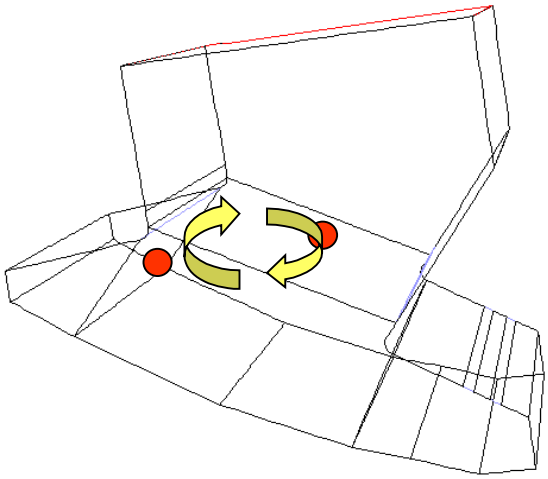


Figur 3. Nedre delen av pannan, de röda markeringarna visar ungefärligt läge på de två större bäddbrännarna.

Figure 3. Lower part of the furnace, the red spots indicate the placement of the two larger burners.

3.1.4 Asymmetriskt placerade bäddbrännare

Om bäddbrännarna placeras asymmetriskt se Figur 4, det vill säga att de förskjuts i förhållande till varandra, kan detta skapa förutsättningar för en virvelbildning. Hur stark denna virvel blir undersöks genom att jämföra hastighetsfälten från de olika simuleringarna. Om en asymmetrisk placering skapar en roterande rörelse enligt Figur 4, kommer uppehållstider för rökgaserna att öka vilket innebär förbättrade förutsättningarna för att minska utsläppen av bland annat CO.



Figur 4. Asymmetrisk placering av de två bäddbrännarna.

Figure 4. Asymmetric placement of the two burners.

3.1.5 Uppskattning av erforderlig torkeffekt

För att uppskatta brännarnas effekt har följande antagande gjorts: bädden skall torkas ner till ca 10 cm djup under de första 1,5 m av rostern. Bränslets densitet är ca. 600 kg/m^3, fukthalten antas vara 60%, rosterns hastighet uppskattas till 30 cm/min och rosterns bredd är 7m.

Det kan alltid diskuteras om 10 cm är för djupt eller för tunt torkdjup. Ett torkdjup på 5 cm eller 2 cm, kanske rent av ett torkdjup på 1 cm skulle räcka. Om bäddens ytskikt börjar brinna kommer förbränningen i sin tur att bidra till torkprocessen. Idag finns inte några bäddmodeller som kan uppskatta hur mycket ytförbränningen bidrar till torkningen, därför har ett torkdjup på 10 cm antagits. Detta torkdjup skall endast ses som en grov uppskattning för att beräkna storleksordningen på torkeffekten.

Av inmatad bränslemängd är den massa som skall torkas 7 x 1,5 x 0,1 x 600=630 kg (bredd x längd x torkdjup x densitet = mängd av bränsle som skall torkas i kg). Om fukthalten är 60% så skall 0,6 x 630 kg = 378 kg vatten värmas upp och förångas.

För varje kg vatten åtgår det ca 2600 kJ/kg för att först värma upp vattnet till 100 ^{o}C och sedan förånga vattnet. Detta innebär att det åtgår 378 x 2600 kJ = 982,8 MJ för att torka bränslet.

Rosterns hastighet är ca. 30 cm/min vilket innebär att det tar 300 s för rostern att förflytta bränslet 1,5 m. Detta innebär att 982,8 MJ måste överföras på 300 s, om antagandet att bränslet skall vara torrt ner till ca 10 cm djup 1,5 m in i pannan. Effekten blir då 982,8/300 = 3,276 MW. Eftersom det behövs marginaler kommer brännarnas effekt att ligga på 5, 10 och 15 MW i simuleringarna.

Den beräknade effekten på 3,3 MW för att torka bränslet betyder att det behövs ca 0,3 MW/m^2.

3.2 Matematiska simuleringar

I nästan alla tekniska sammanhang där gaser eller vätskor (fluider) är närvarande förekommer turbulent strömning. Turbulens är ett tredimensionellt fenomen och karakteriseras bland annat av ett otal längd- och tidsskalor. Med detta menas att turbulens består av en mängd virvlar med olika storlek. De största virvlarna är ungefär lika stora som geometrin där fluiden strömmar i eller kring. De minsta virvlarna beror på Reynoldstalet (Re). Ju högre Reynoldstal desto mindre virvlar. Tidsskalan beror på virvlarnas vinkelhastighet.

För att matematiskt beskriva turbulensen används kontinuitets-, energi-, och rörelseekvationen i x-, y- samt z-led. Dessa fem ekvationer kallas för Navier-Stokes ekvationer. Idag saknas matematiska teorier för att lösa dessa ekvationer analytiskt, därför måste de diskretiseras och lösas numeriskt. Detta kallas för CFD (Computational Fluid Dynamics) beräkningar.

Om turbulensen skall kunna beskrivas fullständigt måste samtliga skalor lösas upp. Detta kallas för DNS (Direct Numerical Simulation) och är i praktiken omöjligt på grund av att de minsta skalorna är så små att datorernas kapacitet inte räcker till för en sådan upplösning. För att undvika orimligt långa beräkningstider delas det område som skall simuleras upp i flera mindre volymer, så kallade celler. När detta görs försvinner en hel del information på grund av att en del av turbulensens längdskalor är mindre än den gjorda uppdelningen. För att inte denna uppdelning eller approximation skall ge fel slutresultat måste man med en turbulensmodell beskriva vad som sker inne i cellen.

I takt med att datorernas kapacitet har förbättrats kan allt mer komplicerade fall simuleras och studeras. Ett viktigt område är att simulera olika förbränningsförlopp samtidigt med den turbulenta strömningen. På detta sätt kan interaktionen mellan strömning och de kemiska reaktionerna studeras.

3.3 Beräkningsmodeller och beräkningsprogram

Samtliga simuleringar har utförts med det kommersiella beräkningskoden FLUENT 5.3. Denna kod ger bland annat möjligheten att simulera turbulens, strålning och förbränning.

3.3.1 Turbulensmodell

Det finns flera olika turbulensmodeller som är mer eller mindre sofistikerade. Vissa modeller är lätta att använda men beskriver inte alltid strömningen korrekt. Andra modeller är mer allmängiltiga och tar hänsyn till fler effekter men tar längre tid och det kan vara svårare att finna en lösning.

I de simuleringar som har utförts i samband med denna undersökning har den s.k. RNG k-ε modellen använts. Den bygger på den vanliga k-ε modellen. Denna modell är en så kallad två-ekvations-modell, denna kategori av modeller beräknar både den turbulenta kinetiska energin och den turbulenta längdskalan, för vidare information se ref. 1 och 2. RNG modellen har den fördelen att den kan användas vid låga Reynoldstal, vilket inte är fallet med standard k-ε modellen, dessutom tar RNG modellen hänsyn till swirl effekter i strömningen vilket inte standard k-ε modellen beaktar, vilket innebär att RNG modellen ger bättre resultat vid förekomsten av swirl. För vidare information hänvisas till FLUENT manualen, ref 3.

3.3.2 Förbränningsmodell

För att kunna simulera förbränningen i till exempel en panna måste en modell som beskriver reaktionen mellan bränslet och luften användas. Förbränning är ett komplext förlopp som består av många olika reaktioner. 1984 presenterade Warnatz, ref. 5, reaktionsmekanismen för olika kolväten med upp till fyra kolatomer. Mekanismen består av flera hundra olika reaktioner och ämnen. Att simulera och beskriva samtliga dessa reaktioner är allt för omfattande och skulle kräva allt för stor datorkapacitet. Dock kan förbränningen beskrivas relativt bra med endast ett fåtal reaktioner. I den modell som använts i denna undersökning består förbränningsmodellen av två stycken reaktioner. Dessa två reaktioner är:

$CH_4 + 1{,}5O_2 \rightarrow CO + 2H_2O$

$CO + 0{,}5O_2 \rightarrow CO_2$

Kvävet i luften betraktas som inert och deltar således inte i reaktionen. Därför kan emissionerna av kväveoxider inte uppskattas. Däremot fås en uppfattning om den energi som frigörs vid förbränning. Därmed kan man studera hur strömningen påverkas av temperaturhöjningen. Modellen förutsätter att det endast är metan och CO som reagerar och förbränns.

I FLUENT används dels Arrhenius ekvation och dels ”The Eddy Dissipation Model” för att beräkna reaktionshastigheten. Denna modell beaktar hur turbulensen påverkar reaktionshastigheten. För vidare information se FLUENT manualen, ref. 3.

3.3.3 Strålningsmodell

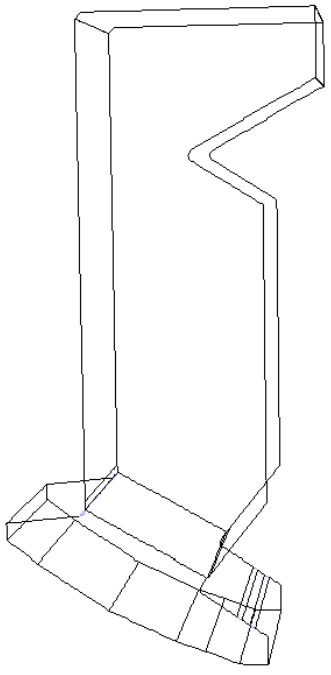
Den strålningsmodell som använts i beräkningarna kallas för P-1. Denna modell tar hänsyn till absorptionseffekter. I samband med förbränning fungerar denna modell relativt bra, ref. 3. Begränsningarna är bland annat att de betraktar alla ytor som diffusa, det vill säga att vid reflektion mot ytan sprids värmestrålningen lika i alla riktningar. P-1 modellen antar gråstrålning vilket innebär att strålningen är oberoende av våglängden. P-1 modellen har en viss benägenhet att överskatta strålningen från värmekällor eller värmesänkor, ref 3.

3.3.4 Simulering av bränslebädden

I FLUENT finns inga färdiga modeller för att simulera en bränslebädd, utan den ersätts istället med olika randvillkor. För att underlätta beskrivningen av bränslebädden har rostern delats upp i sex olika zoner, se Figur 6. I beräkningsprogrammet betraktas varje zon på rostern som ett inlopp vars randvillkor måste specificeras innan beräkningen börjar. Genom att varje zon ges individuella randvillkor kan olika faser i tork- och pyrolysprocessen fångas upp av beräkningarna. I de utförda simuleringarna antas det att allt vatten i bränslet förångas och avges från rosterns två första zoner, genom zonerna 2-5 avges olika mängder metan, kolmonoxid, kväve och luft. I den sista zonen är pyrolysen över och därför avges endast kolmonoxid och kväve i denna zon.

3.4 Geometri för pannmodell

I Figur 5 visas geometrin för den pannmodell som används i simuleringarna. Pannans totala höjd är ca 22 m, rostern är ca 7 m bred och drygt 8 m lång. Bränslet matas in från vänster i figuren. I grundfallet ger pannan ca 70 ton ånga/h, vilket motsvarar ca 50 MW i tillförd bränsleeffekt. Denna panna finns i verkligheten och skall föreställa barkpannan vid Iggesund hos Modo Paper Board. Barkpannan får fungera som ett ”typfall” för att studera hur strålningen mot bädden påverkas av olika bäddbrännare.

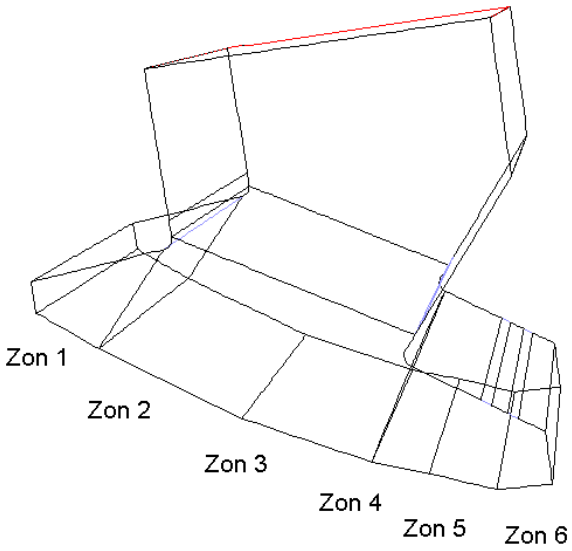


Figur 5. Pannas geometri.

Figure 5. The furnace design.

4 RESULTAT

I denna studie utvärderas alternativa placeringar på så kallade bäddbrännare. För att kunna bedöma vilken av de olika lösningarna som ger bäst resultat har varje enskild placering simulerats vid tre olika effekter (5, 10 och 15 MW). Strålningen mot bädden har sedan beräknats och studerats. Anledningen till att just strålningen studerats är att den står för ca 80% av värmeöverföringen i en panna. Det är viktigt att strålningen är jämt fördelad över rostern. Om det skulle visa sig att strålningen är koncentrerad till vissa ytor föreligger en risk att bränslet torkar och brinner ut snabbare i dessa områden. Detta kan, såsom framgått ovan, skapa förutsättningar för genombränningar och senare genomblåsningar, som i sin tur ökar risken för högre emissioner. Risk för sintring föreligger också. För att effektivt torka fuktiga bränslen som t.ex. fiberslam eller fuktig bark är det viktigt att mycket energi överförs till torkzonen. Detta innebär att det bästa resultatet fås när strålningen (värmeöverföringen) mot bädden är hög och jämt fördelad över rostern.



Figur 6. Indelning av rosterns 6 olika zoner.

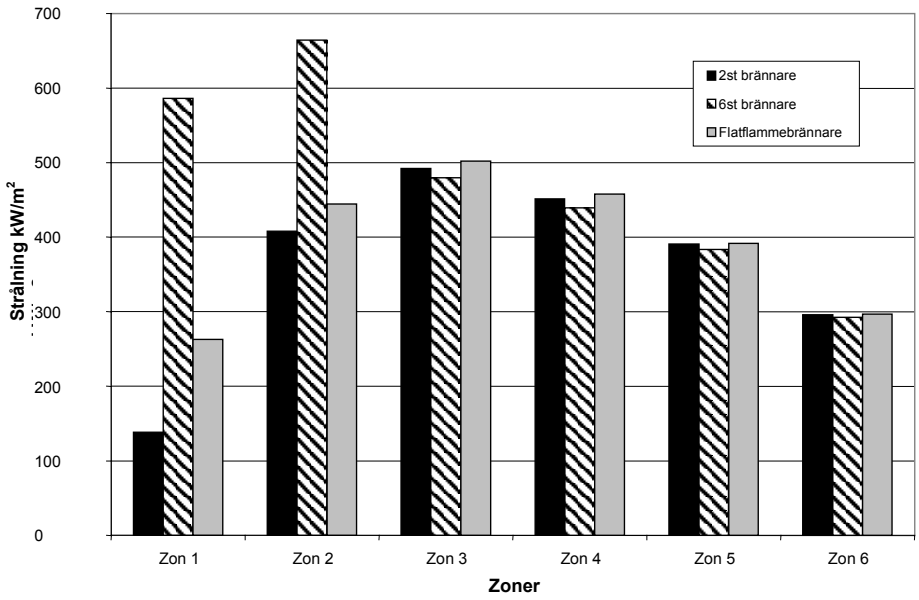
Figure 6. The figure shows the subdivision of the bed.

4.1 Strålning mot bädd

Strålningen mot varje rosterzon i Figur 6 har beräknats. Storleken på strålningen har jämförts mellan de olika brännaralternativen för att kunna avgöra hur bädden påverkas vid vart och ett av de olika fallen. Resultaten redovisas bland annat i form av olika stapeldiagram där strålningen per m^2 har beräknats. Det alternativ som ger mest och jämnast strålning mot zonerna betraktas som den bästa lösningen. Som tidigare nämnts är det viktigt att veta hur strålningen är fördelad över bädden. Strålningen tvärs och längs rostern har därför plottats i olika diagram.

4.1.1 Medelvärdet av strålningen mot bäddens olika zoner

I Figur 7 nedan kan medelvärdet av den infallande strålningen mot bäddens olika zoner studeras. Staplarna visar strålningen vid tre av de alternativ som undersökts nämligen flatflammebrännaren, de två symmetriskt placerade brännarna samt de 6 mindre brännarna i tändvalvet. I samtliga fall har den sammanlagda tillförda bränsleeffekten varit 10 MW.



Figur 7. Infallande strålning mot bäddens olika zoner då brännarnas sammanlagda effekt är 10 MW.

Figure 7. The figure shows incident radiation on the bed when the loads of the burners are 10 MW.

Resultaten visar tydligt att strålningen mot de två första zonerna är som störst i fallet med brännarna monterade i tändvalvet. Detta beror troligtvis på att lågan kommer väldigt nära eller slår i bädden. I fallet med flatflammebrännaren har gasen brunnit ut tidigare jämfört med de sex mindre brännarna. Detta innebär att en del av strålningen som den flata flamman genererar absorberas av vattenånga och andra gaser i tändvalvet. Denna effekt blir ännu tydligare i fallet med de två symmetriskt placerade brännarna, se de svarta staplarna i Figur 7. I detta fall sitter brännarna placerade längre ifrån zon 1 än vad flatflammebrännaren gör vilket innebär att mer strålning kan absorberas och/eller spridas av vattenångan och de andra rökgaserna. Resultatet blir att bädden (zon 1) inte tar emot lika mycket strålning som i de två övriga fallen.

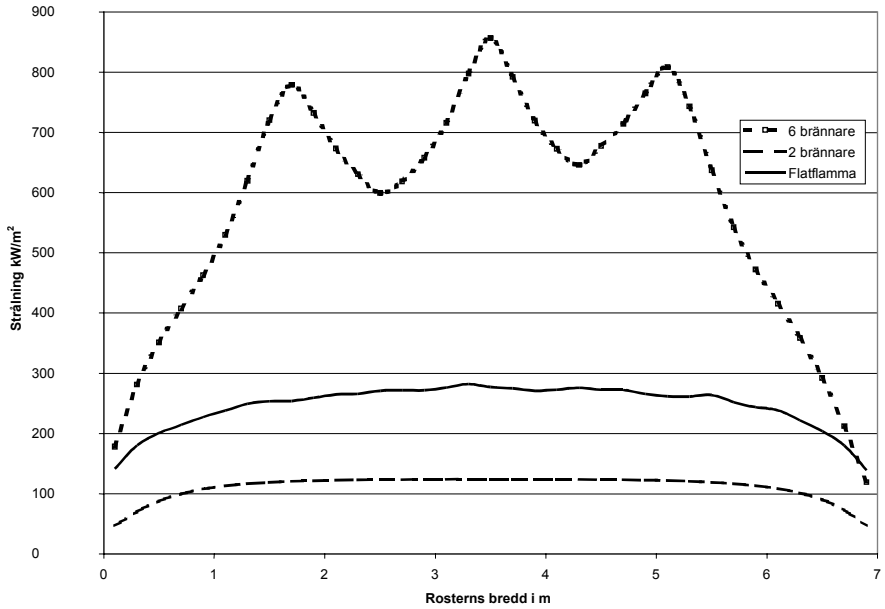
Fallet med de två symmetriskt placerade bäddbrännarna innebär också att strålningen riktas åt alla håll, värmestrålningen riktas inte enbart ner mot rostern utan även uppåt och åt pannans bakkant. Flatflammebrännaren och de sex brännarna monterade i tändvalvet riktas strålningen mer mot bäddens första två zoner. Detta faktum bidrar också till att strålningen mot bädden är större i de två senare fallen.

4.1.2 Strålningen tvärs bädden

Kurvorna i Figur 8 visar strålningen tvärs rostern i zon 1. Data för kurvorna är hämtade längs en linje som ligger ca 1,1 m från bränsleinmatningen. Den översta streckade linjen visar strålningen mot bädden då sex brännare sitter monterade i tändvalvet. Man kan tydligt se tre toppar på kurvan som orsakas av den första raden av brännare. Brännarna sitter monterade i två rader med tre brännare i varje rad, se Figur 2. I detta fall blir strålningen något ojämn och kan därmed orsaka att bädden brinner ojämnt, vilket kan leda till kommande genombränningar och därefter genomblåsningar som i sin tur kan öka emissionerna.

Resultatet från simuleringarna av flatflammebrännaren och av de två symmetriskt placerade brännarna visas också i Figur 8. Flatflammebrännaren, den heldragna linjen, ligger klart över linjen för den symmetriska placeringen av de två bäddbrännarna. Placeringen av dessa brännare kan ses i Figur 3. Kurvorna för flatflammebrännaren och för de två brännarna är jämna vilket innebär att strålningen mot bädden i dessa två fall är jämt fördelad. Problemet är att den strålning som dessa brännare ger upphov till kanske inte räcker för att torka blött bränsle.

Den ansatta erforderliga effekten vid ett torkdjup av 1 dm är ca 0,3 MW/m^2. I fallet med de symmetriskt placerade är strålningen mot bädden drygt 0,1 MW/m^2. I fallet med flatflammebrännaren ligger strålningen mot bädden strax under nivån på 0,3 MW/m^2.

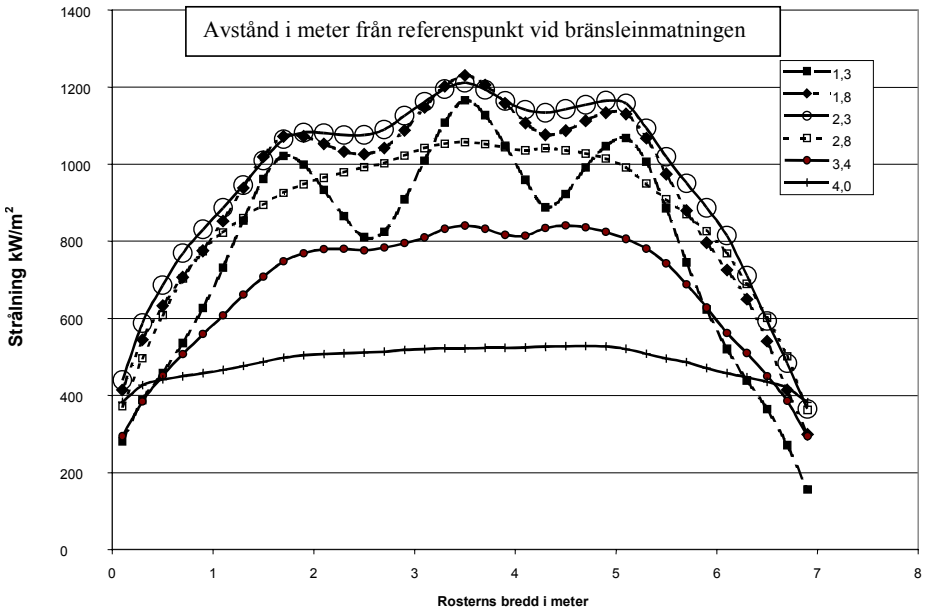


Figur 8. Diagrammet visar infallande strålning i ett tvärsnitt ca 1,1 m från bränsleinmatningen i zon 1. Brännarnas sammanlagda effekt är 10 MW.

Figure 8. The figure shows the incident radiation in a cross section at a distance of 1,1 m from where the fuel is fed in zone 1. The total power of the burners is 10 MW.

I fallet med sex brännare monterade i tändvalvet ligger effekten på ca 0,6 MW/m^2. Detta betyder att bränslebädden kan torkas snabbt med de sex brännarna men att de andra alternativen ger en avsevärt jämnare strålningsbild.

I Figur 9 har den infallande strålningen, i fallet med sex brännare monterade i tändvalvet, för zonerna 1 och 2 plottats som funktion av rosterns bredd. Varje kurva motsvarar ett läge längs rostern. Linjerna i Figur 9 är ett mått på hur långt ner på rostern man befinner sig. Man kan tydligt se att strålningen mot bädden är ojämnt fördelad vid linje 1,3, i de övriga tvärsnitten är den infallande strålningen mer jämnt fördelat tvärs bädden. I slutet av zon 2, linje 4,0, har den individuella effekten av de sex brännarna raderats ut helt.



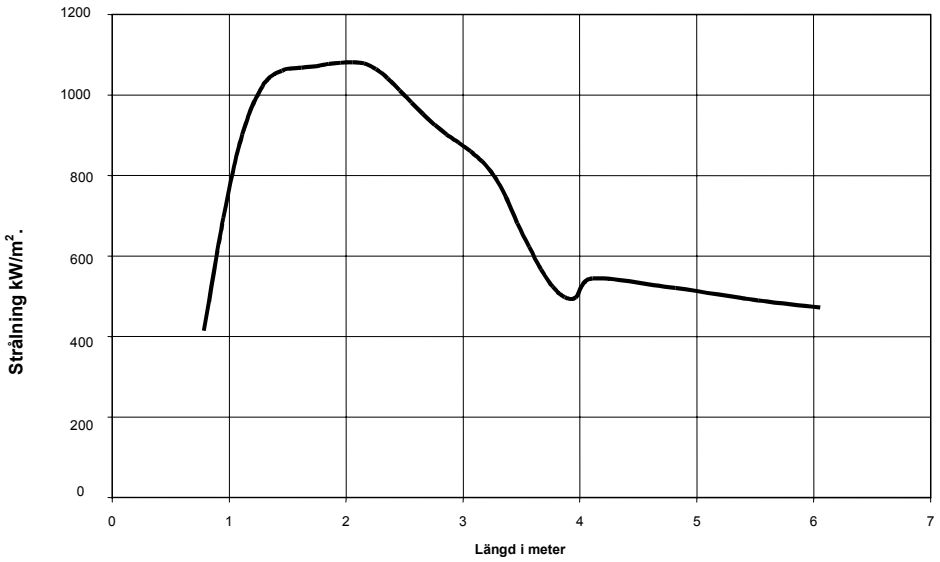
Figur 9. Strålning mot zon 1 och 2 i olika tvärsnitt i fallet med 6 brännare, inmatad bränsle effekt är 15 MW.

Figure 9. Incident radiation on zone 1 and 2 in the case with 6 burners, input fuel power 15 MW.

4.1.3 Strålningen längs bädden

Kurvan i Figur 10 visar strålningen i ett tvärsnitt längs rosterzonerna 1-3. Snittet som redovisas går rakt under två av de sex brännarna. Den ojämna fördelningen av strålningen längs rostern beror, i detta fall, på att strålningen mot bädden avtar med avståndet från bäddbrännarna och inte på brännarnas inbördes placering. I Figur 9 kan man tydligt se tre pucklar som orsakas av brännarnas inbördes placering i tändvalvet. Kurvan i Figur 10 visar istället hur viktigt det är att strålningskällan sitter så nära som möjligt den yta som skall värmas upp. Efter den sista raden av bäddbrännare som sitter längs 2,30 m, kan man i Figur 10 se att strålningen avtar snabbt ner till knycken strax innan 4 m.

Knycken strax innan 4 m beror på modellens randvillkor, varje zon har sina på förhand bestämda indata. Detta ger upphov till diskontinuiteter av den typ som kan ses i Figur 10. I verkligheten skulle denna knyck inte uppstå.



Figur 10. Strålning mot bädden längs ett tvärsnitt i zonerna 1-3.

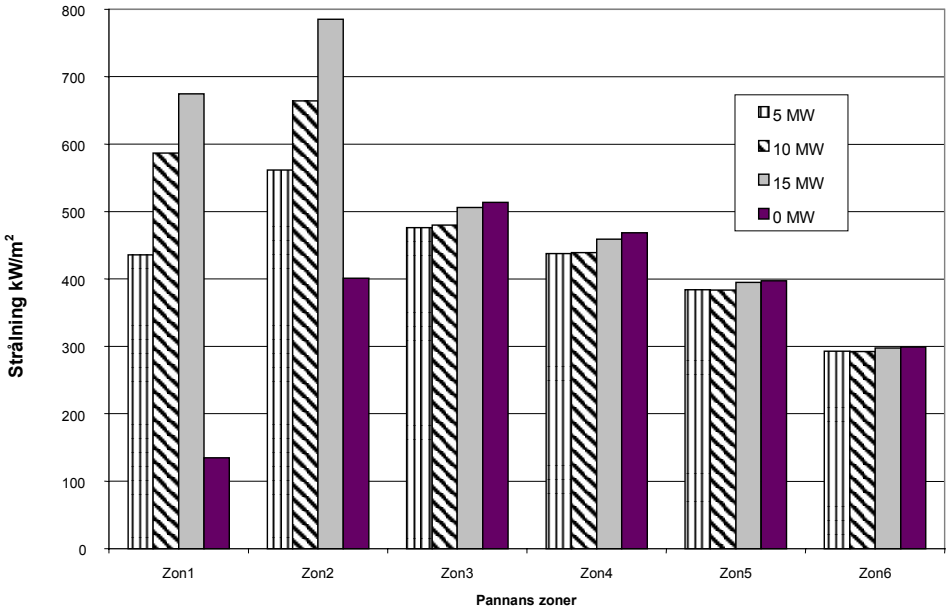
Figure 10. Incident radiation in a cross section along zone 1-3.

4.1.4 Strålningen från sex brännare monterade i tändvalvet

I Figur 11 jämförs resultatet av simuleringarna från fallet med sex brännare monterade i tändvalvet med referensfallet. Brännarna i tändvalvet sitter ca 1,7 m ifrån varandra längs rostern och de två raderna av brännare sitter ca 0,8 m ifrån varandra, se Figur 2. Effekten av bäddbrännarna syns tydligt på de två första zonerna, strålningen mot bädden i dessa zoner är väsentligt större än fallet utan bäddbrännare. I fallet med 5 MW tillförd bränsleeffekt blir strålningen ca 3 gånger större i zon 1 än i fallet utan bäddbrännare. Vid 15 MW tillförd bränsleeffekt är strålningen ca 5 gånger större än utan brännare i zon 1. Zon 2 mottar ungefär dubbelt så mycket strålning i fallet med 15 MW tillförd bränsleeffekt jämfört med fallet utan brännare.

I de övriga zonerna är skillnaden liten. Diagrammet visar till och med att strålningen mot bädden är något större utan brännare än med. Detta kan förklaras med att det finns en del osäkerheter och brus i beräkningarna, vilket betyder att man inte kan dra allt för många slutsatser av simuleringarna i dessa zoner. Den enda egentliga slutsaten som kan dras är att effekten av bäddbrännarna avtar snabbt med avståndet. I zonerna 3-6 är strålningen mot bädden ungefär lika som om inte brännarna används.

I fallet utan brännare motsvarar den tillförda bränsleeffekten ca 50 MW vilket motsvarar ca 70 ton ånga per timme. Även i fallet med bäddbrännarna är den tillförda bränsleeffekten från bädden 50 MW.



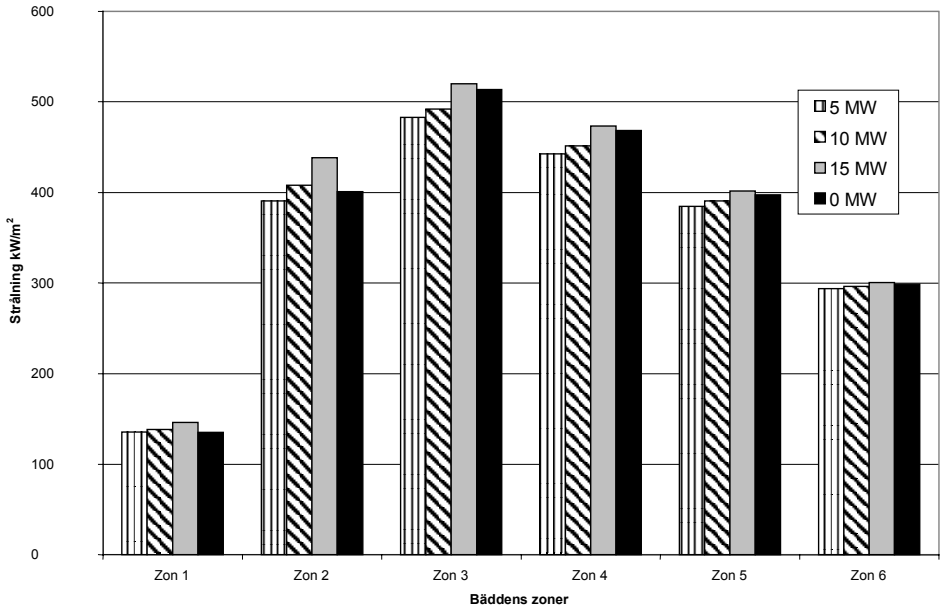
Figur 11. Strålning från 6 brännare monterade i tändvalvet vid 5, 10 och 15 MW tillförd bränsleeffekt jämfört med fallet utan några brännare.

Figure 11. Incident radiation from the six burners placed in the combustion chamber when the fuel is supplied with the power of 5, 10 and 15 MW compared with the case without burners.

4.1.5 Strålning från två symmetrisk placerade brännare

Strålningen mot bädden i fallet med två symmetriskt placerade bäddbrännare visas i Figur 12. Placeringen av dessa brännare kan ses i Figur 3. I detta fall skiljer sig inte strålningen mot bädden särskilt mycket mellan de olika effekterna. Den största skillnad återfinns i zon 2, och detta beror på att de två brännarna sitter placerade över zon 2 och bidrar således till strålningen. I övriga zoner har strålningen från brännarna försvagats så pass mycket att det inte märks någon större skillnad om brännarna används eller inte, jämför med den svarta stapeln som representerar fallet utan bäddbrännare. Detta fall utan brännare simuleras endast förbränning på rostern. Skillnaden mellan de olika fallen är små och osäkerheten i beräkningsmodellen är relativt stor, därför kan man inte dra allt för många slutsatser. Tendensen är dock densamma i detta fall som i de övriga: att den infallande strålningen är minst i den första zonen.

De inbördes små skillnaderna mellan de olika effekterna tyder på att denna placering av brännare fungerar mest som en lastbrännare och inte som en stödbrännare.

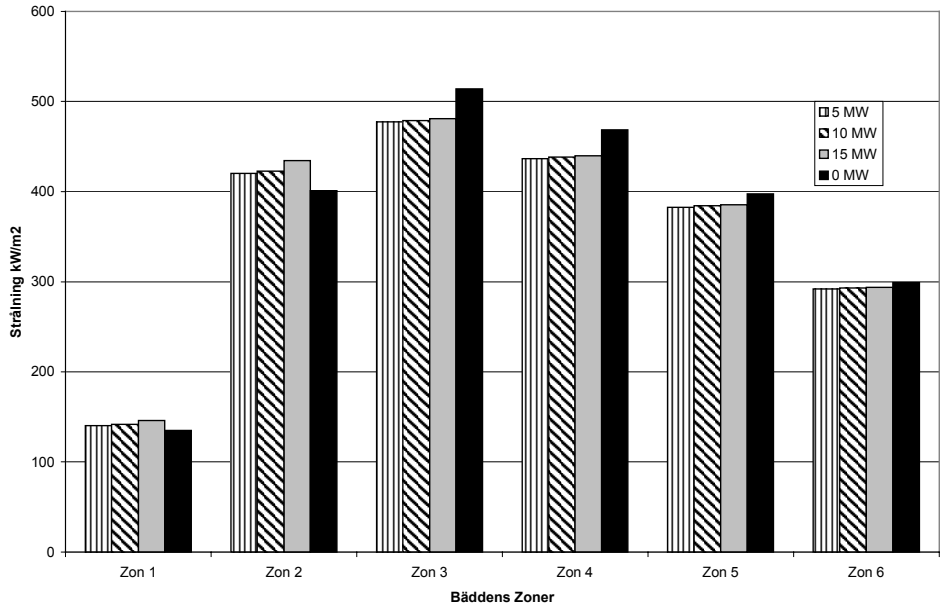


Figur 12. Strålning mot bädden från två brännare vid 5, 10 och 15 MW tillförd bränsleeffekt jämfört med fallet utan brännare.

Figure 12. Incident radiation from two burners at 5, 10 and 15 MW fuel power compared with the case without burners.

4.1.6 Asymmetriskt placerade brännare

Diagrammet i Figur 13 visar strålningen mot bäddens zoner vid asymmetrisk placering av de två bäddbrännarna. Den svarta stapeln representerar referensfallet (förbränning endast på rostern), övriga staplar visar strålningen vid 5, 10 eller 15 MW tillförd effekt. I samtliga zoner är skillnaden, procentuellt sett, inom simuleringens felmarginal. Av denna anledning kan man inte dra några större slutsatser förutom det faktum att strålningen mot zonerna inte påverkas nämnvärt av denna typ av bäddbrännare.



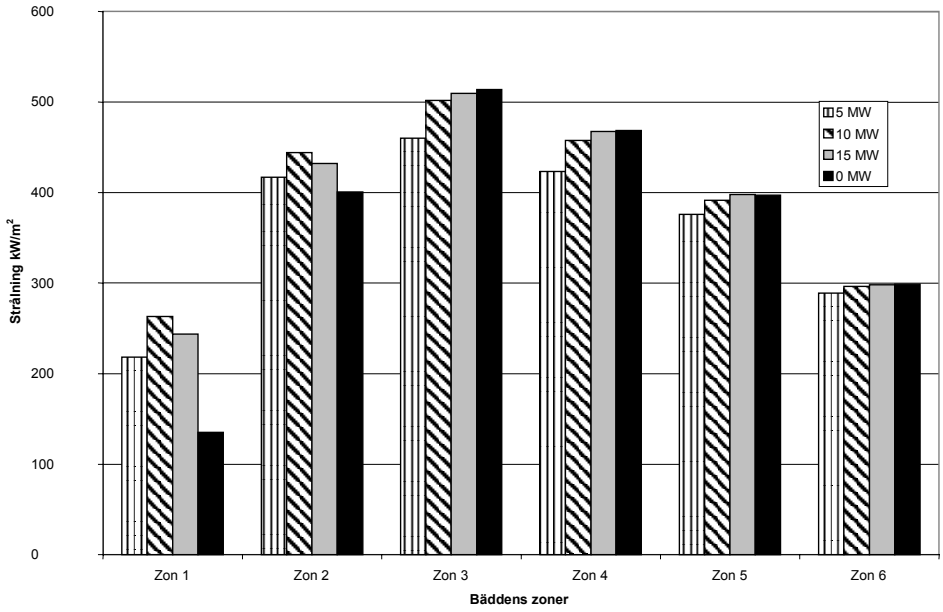
Figur 13. Strålning mot bäddens zoner vid asymmetrisk placering av två bäddbrännare

Figure 13. Incident radiation on the grid, symmetric placement of the two burners.

4.1.7 Strålning från flatflammebrännaren

Diagrammet i Figur 14 visar strålningen mot bädden då en flatflammebrännare simulerats. De svarta staplarna i Figur 14 representerar referensfallet, övriga staplar visar strålningen mot bädden vid 5, 10 och 15 MW tillförd effekt. I detta fall ser man att strålningen är större mot zon 1 då brännaren används än då brännaren inte används. I de övriga zoner är skillnaden i infallande strålning inte speciellt stor och ligger inom simuleringens felmarginaler. Utöver detta kan man även notera att strålningen mot bädden i zon 1 inte skiljer sig nämnvärt mellan de olika effekterna. Det är till och med så att fallet 10 MW tillförd bränsleeffekt ger mer strålning än vid fallet 15 MW. Det är svårt att ge ett entydig förklaring till varför detta fenomen uppkommer men en förklaring kan vara att det som ger upphov till strålningen mot bädden är flammans yttemperatur. Om flamman är jämnt fördelad över tändvalvet spelar det inte någon större roll hur stor effekten är på flamman. Den ökade effekten bidrar till att värma upp rökgaserna i tändvalvet istället för att utnyttjas till att stråla mot bädden.

En annan förklaring kan också vara att rökgaserna som vattenånga, koldioxid och kolmonoxid absorberar strålningen. Den del av värmeenergin som emitteras från rökgaserna kommer att spridas i alla riktningar, av denna anledning försvagas strålningen mot rostern. I fallet med den högre effekten (15 MW) tillförs mest bränsle som i sin tur genererar rökgaser som absorberar en del av strålningen. Det kanske kan vara på det sättet att ökad effekt på brännaren genererar en större mängd rökgaser som motverkar effekterna av ökad strålning. Denna slutsats är osäker och måste följas upp med praktiska experiment. Det kan dock noteras att torkeffekten i zon 1 fördubblats.



Figur 14. Strålning från flatflammebrännaren vid 5, 10 och 15 MW tillförd bränsleeffekt jämfört med fallet då ingen brännare används.

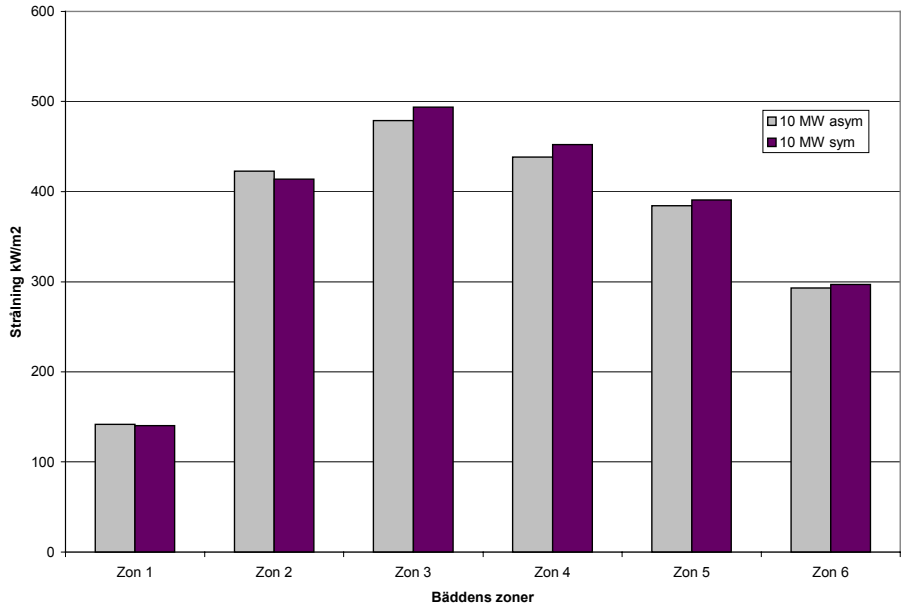
Figure 14. Incident radiation from the flat flame burner at 5, 10 and 15 MW compared with the case without any burner.

4.1.8 Jämförelse mellan symmetriskt och asymmetriskt placerade brännare

I Figur 15 jämförs symmetrisk och asymmetrisk placering av bäddbrännarna. Strålningen mot bäddens samtliga 6 zoner har ritats ut, den svarta stapeln representerar symmetrisk placering och den grå asymmetrisk placering. Den tillförda bränsleeffekten motsvarar 10 MW.

I fallet då brännarna sitter symmetriskt placerade sitter de rakt emot varandra cirka 3 meter från inmatningen och 1,5 m över zon 2, i det asymmetriska fallet har en av brännarna flyttats över zon 3 och sitter ca. 2 m från denna zon och ca 5 m från bränsleinmatningen, se Figur 3 och Figur 4.

Ur diagrammet kan det utläsas att placeringen inte har någon större betydelse för strålningen mot bädden. Den procentuella skillnaden är för liten för att några säkra slutsatser skall kunna dras.



Figur 15. Strålning mot bädden, jämförelse mellan symmetriskt och asymmetriskt placerade brännare.

Figure 15. The figure shows incident radiation on the grid, comparison between symmetric and asymmetric placement of the burners.

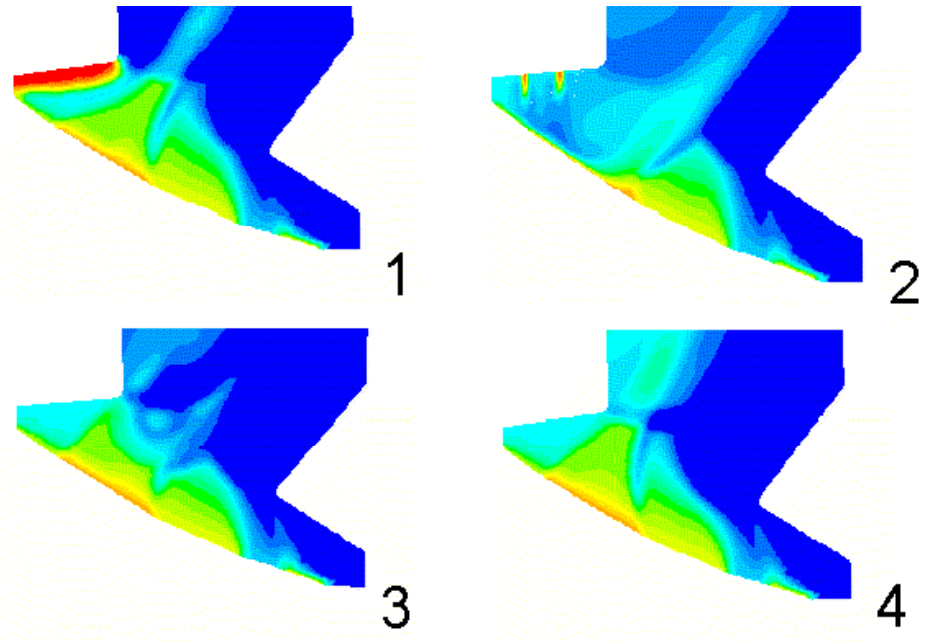
4.2 Koncentrationen av metan

Figur 16 visar koncentrationen av metan i den nedre delen av pannan för fyra olika fall, flatflammebrännaren (bild 1), de sex mindre brännarna monterade i tändvalvet (bild 2), de 2 symmetriskt placerade brännarna (bild 3) samt referensfallet utan några brännare (bild 4). Koncentrationen av metan visas för ett vertikalt plan mitt i pannan, det innebär att vänster respektive höger pannvägg ligger vardera 3,5 meter från detta plan. Röd färg betyder hög koncentration av medan mörkblå betyder låg eller ingen koncentration av metan. Den inmatade effekten för brännarna är i samtliga fall 15 MW.

I samtliga bilder i Figur 16 kan man se att det kommer upp metan från rosterns olika zoner. Detta är den gas som skall motsvara den inmatade fastbränsleeffekten och efterlikna pyrolysen. I simuleringarna har det antagits att det avges mest brännbar gas i zon 2. I zon 6 har det antagits att förbränningen är fullbordad och därmed avges ingen metan i denna zon.

Bild 1 i Figur 16 visar resultatet av simuleringen av flatflammebrännaren. Här ses tydligt att koncentrationen av metan är hög intill tändvalvet. En liten bit ifrån tändvalvet ser man också att koncentrationen av metan har avtagit. Detta betyder att förbränningen har startat och förbrukar metan. Jämförs referensfallet (bild 4) med bild 1 kan man notera en högre koncentration av metan på pannans framkant (vänster sida i bild 4) än i fallet med flatflammebrännaren. Detta beror på att tillskottet av förbränningsgaser ändrar något på strömningsfältet och dessa ”trycker” undan de gaser som strömmar upp

genom rostern. Liknande resultat kan ses om bild 2 studeras, fallet med sex brännare monterade i tändvalvet.

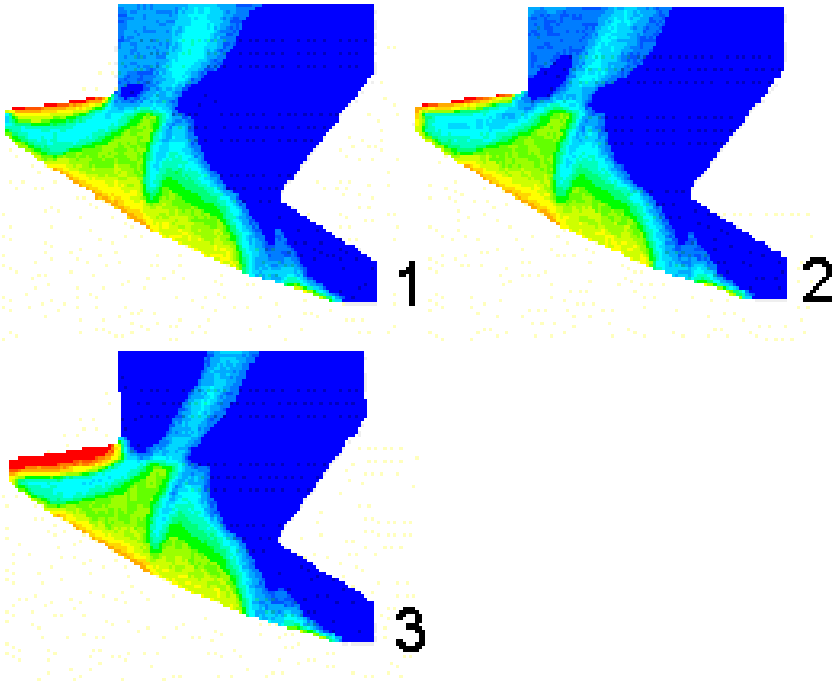


Figur 16. De fyra bilderna visar koncentrationen av metan då flatflammebrännaren (bild 1), de sex mindre brännarna monterade i tändvalvet (bild 2), 2 symmetriskt placerade bäddbrännare (bild 3) samt referensfallet (bild 4).

Figure 16. The four pictures shows the concentration field of methane in the case with the flat flame burner (picture 1), the six smaller burners placed in the combustion chamber (picture 2), the two symmetric placed burners (picture 3) and the reference case without any burner (picture 4).

Bild 2 i Figur 16 visas koncentrationsfältet från fallet med sex brännare monterade i tändvalvet. De två röda ”punkterna” i tändvalvet orsakas av två av de sex brännarna. I bild 2 ser man att koncentrationen av metan vid zon 2 är lägre än i de tre övriga fallen och detta beror på att gasen från brännarna har högre hastighet än i de andra fallen. Den höga hastigheten medför att den metan som kommer upp genom rosterns zon 2 blandas effektivt med rökgaserna från de sex bäddbrännarna och därmed sänks koncentrationen av metan. I fallet med flatflammebrännaren, bild 1, har gaserna en låg hastighet och kan inte penetrera så långt ner som till rostern och orsaka en omblandning med rökgaser.

Bild 3 i Figur 16 visar fallet med de två symmetriskt placerade brännarna. I detta fall är brännarna riktade vinkelrätt rakt ut från pannväggen och rökgaserna blandas med de som är på väg upp från rostern. I bild 3 kan man se att stråket med medelhög koncentration (grön färg) av metan delas upp i två stråk jämfört med referensfallet (bild 4).



Figur 17. Koncentrationsfältet från flatflammebrännaren vid 5, 10 och 15 MW tillförd effekt.

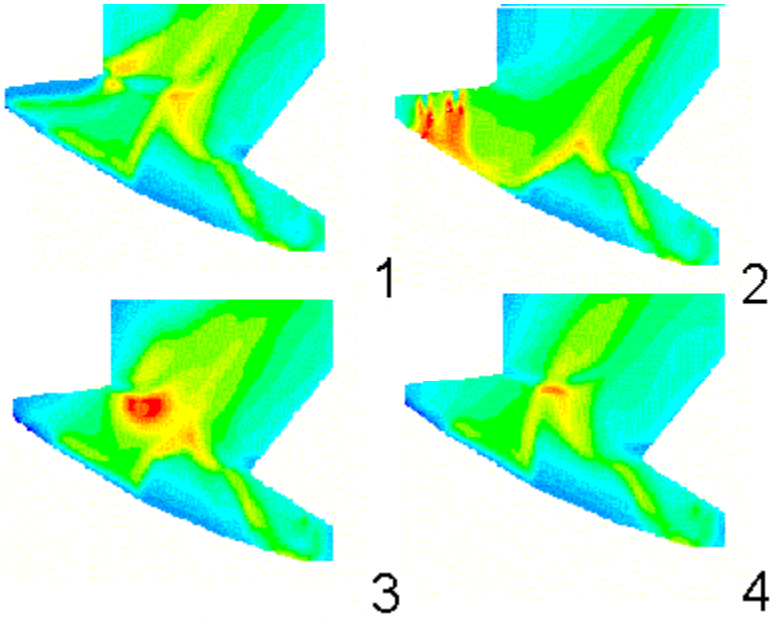
Figure 17. The concentration field from the flat flame burner at 5, 10 and 15 MW load.

I Figur 17 kan man se hur koncentrationen av metan förändras vid olika mycket tillförd bränsleeffekt för fallet med flatflammebrännaren. Vid 5 MW tillförd bränsleeffekt (bild 1) ser man en tunn röd strimma som visar koncentrationen av metan. I fallet 10 MW (bild 2) är denna strimma ungefär lika tjock, dock är den något längre även om detta inte syns tydligt i figuren. Tittar man riktigt noga ser man att oförbränt metan når ner till bränsleinmatningen.

I fallet då den tillförda effekten är 15 MW (bild 3) ser man en klar förändring jämfört med de två tidigare fallen. Området med oförbränt metan har blivit större och flamfronten har därmed flyttats något närmare rostern. Strålningen mot bädden i detta fall, se Figur 14 , skiljer sig inte så mycket åt mellan de olika effekterna. Den stora skillnaden jämfört med referensfallet ligger i att det finns en flamma i tändvalvet som kan stråla ner mot bädden. Med andra ord så har avståndet till bädden större betydelse än den tillförda bränsleeffekten.

4.3 Temperaturfältet

De fyra bilderna i Figur 18 visar temperaturfältet vid fyra olika fall: flatflammebrännaren (bild 1), sex brännare monterade i tändvalvet (bild 2), två brännare (bild 3) samt referensfallet (bild 4). I de tre första fallen är tillförd bränsleeffekt 15 MW. De blå-ljusblå områdena är temperaturen ca 800 K (ca 530°C), de gröna är temperaturen mellan 1500-1600 K (1230-1330°C) och de röda är det ca 2500 K (ca 2230°C).



Figur 18. Temperaturfältet för flatflammebrännaren (bild 1), sex brännare monterade i tändvalvet (bild 2), två stycken brännare (bild 3) och referensfallet utan brännare (bild 4).

Figure 18. The temperature field for the flat flame burner (picture 1), six burners placed in the combustion chamber (picture 2), two symmetric placed burners (picture 3) and the reference case (picture 4).

I bild 1 i Figur 18 ser man att det är låg temperatur intill tändvalvet och detta beror på att bränslet, i detta fall metan, kommer in i pannan med ca 800 K. Gasen antänds först efter ett kort stycke från tändvalvet. Jämförs detta med bild 1 i Figur 16, ser man att det stämmer överens: hög koncentration av metan, rött i bilden, betyder att förbränningen inte kommit igång och detta leder till att temperaturen är lägre vilket kan ses i bild 1 i Figur 18.

Att temperaturen är förhållandevis låg i tändvalvet för fallet med flatflammebrännaren jämfört med de sex brännarna beror främst två saker. Den första är att bild 2 som visas i Figur 18 är skuren så att den passerar rakt igenom två av de sex brännarna, detta innebär att bilden visar temperaturen där förbränningen är som mest koncentrerad. I fallet med flatflammebrännaren är förbränningen jämt fördelad över hela tändvalvets yta, därför visar denna bild (bild 1) ett ”medelvärde” av temperaturen över ytan. Den andra orsaken är att på grund av att förbränningen i fallet med flatflammebrännaren är jämt fördelad över ett stort område så betyder detta att ”flamman” har större värmeöverförande yta och kan därmed avge den frigjorda kemiska energin bättre än om flamman är koncentrerad till en ”cylinder” eller ”kon”. Dessa två faktorer förklarar varför temperaturen i tändvalvet inte är högre än ca 1300°C i bild 1 medan temperaturen är ca 2200°C i bild 2.

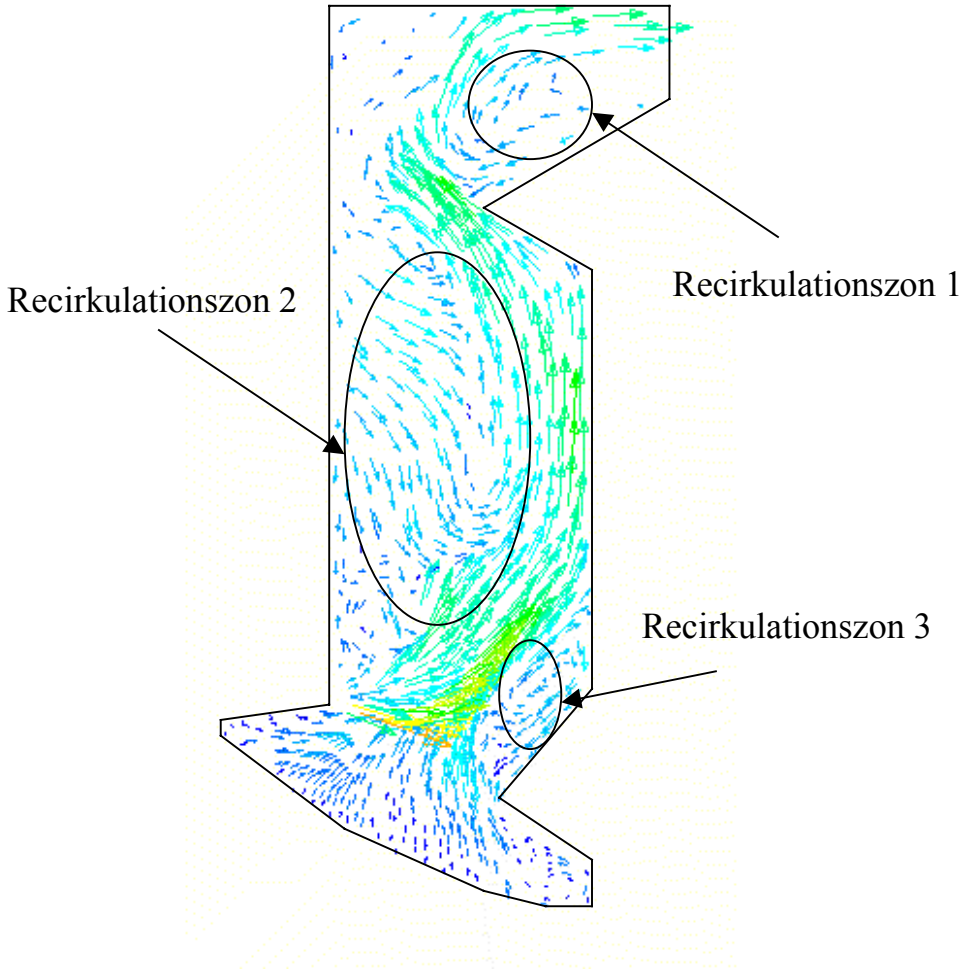
Det går tydligt att se effekterna av de sex brännarna som placerats i tändvalvet, se bild 2 i Figur 18. Det plan som visas i figuren går genom två av de sex brännarna, område mellan tändvalvet och rostern har högre temperatur i detta fall än de övriga. Detta

område med hög temperatur når ända ner till rostern vilket förklarar att strålningen mot bädden är mycket högre i detta fall jämfört med flatflammebrännaren och de två bäddbrännarna. Den höga temperaturen kan också orsaka höga NO_X emissioner och bränna sönder bädden.

I bild 3 i Figur 18 ser man tydligt hur de två bäddbrännarna påverkar temperaturfältet. Det röda området i bild 3 är betydligt större än i referensfallet. Detta område med hög temperatur ger dock inte mycket mer strålning mot bädden än referensfallet.

4.4 Hastighetsfält

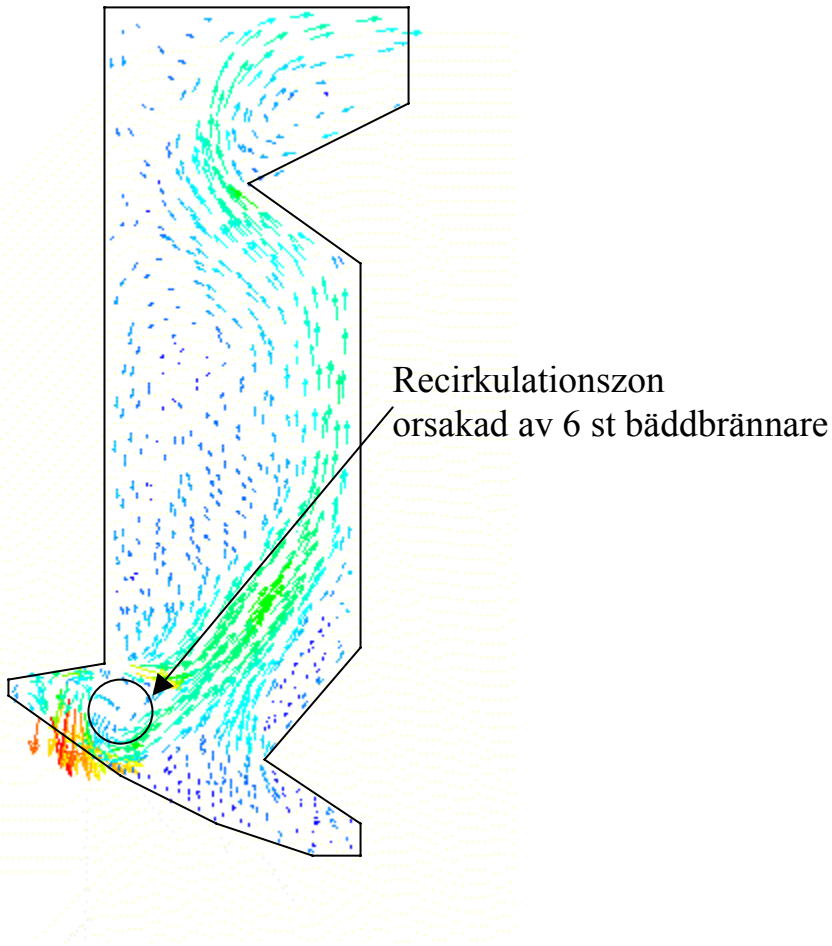
I Figur 19 visas hastighetsfältet i pannan när flatflammebrännaren är i funktion. Den inmatade bränsleeffekten är 15 MW. Man kan urskilja tre stycken recirkulationszoner: den första ovanför ”näsan” på pannan strax innan utloppet, den andra ligger på vänster sida om stråket, den tredje recirkulationszonen ligger ovanför knät i nedre delen av pannan.



Figur 19. Hastighetsfältet för flatflammebrännaren i ett tvärsnitt mitt i pannan.

Figure 19. The velocity field for the flat flame burner in a cross section in the middle of the furnace.

Den stora recirkulationszonen (recirkulationszon 2 i Figur 19) i mitten av pannan orsakar en stråkbildning som för över rökgaserna till pannans bakkant, höger sida i Figur 19. Detta medför att gaserna får kortare uppehållstider än om inte denna stråkbildning skulle förekomma. Hastighetsfältet ser i stort sätt lika ut i alla de simulerade fallen, några små skillnader förekommer naturligtvis, som t.ex. storlek och omfattning av recirkulationszonerna.

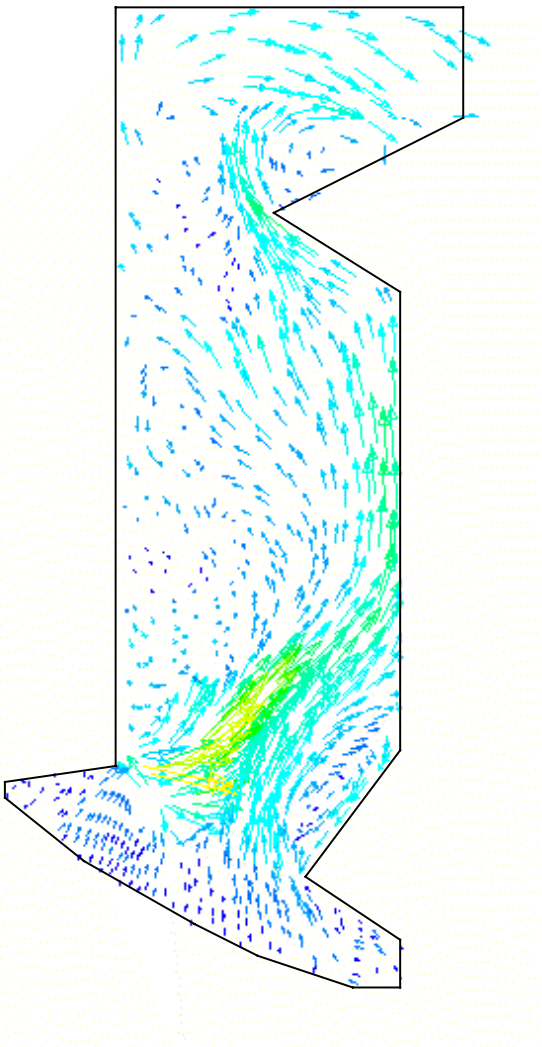


Figur 20. Tvärsnitt hastighetsfältet när sex brännare sitter i tändvalvet.

Figure 20. A cross section of the flow field when six burners are placed in the combustion chamber.

I Figur 20 kan hastighetsfältet då sex brännare sitter i tändvalvet studeras. Den höga hastigheten markerade med röda pilar orsakas av luft/bränsleblandningens utloppshastighet från brännarna. Den stora recirkulationszonen till vänster om stråket i mitten av pannan är något mer tydlig än i fallet med flatflammebrännaren, se Figur 19 (recirkulationszon 2). Det uppstår en mindre recirkulationszon som orsakas av brännarna i tändvalvet, denna zon ligger strax nedanför och till höger om tändvalvets tak, se Figur 20. Recirkulationszonerna i anslutning till pannas näsa och vid nedre delen

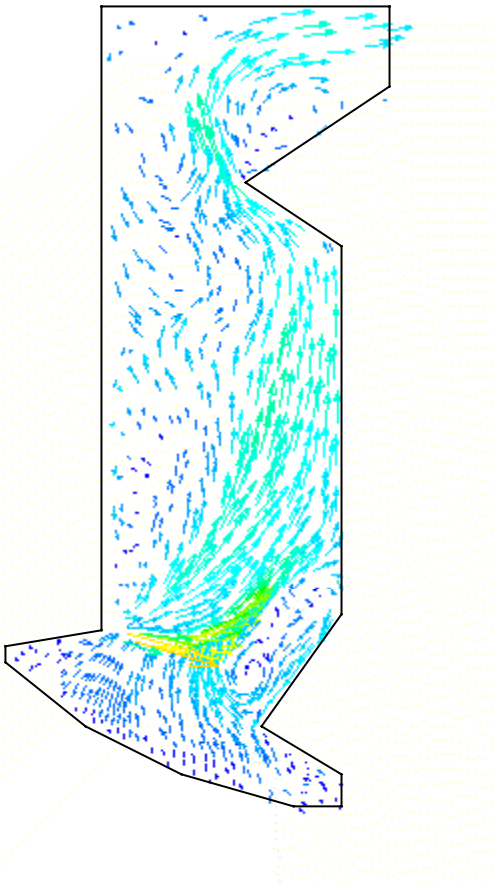
av pannans framkant uppstår även i detta fall (motsvaras av recirkulationszonerna 2 och 3 i Figur 19)



Figur 21. Hastighetsfält i fallet med två symmetriskt placerade brännare, tillförd effekt är 15 MW.

Figure 21. Flow field for the case with two symmetric placed burners, supplied power is 15 MW.

I Figur 21 visas hastighetsfältet när två symmetriskt placerade brännare används. Den inmatade bränsleeffekten är 15 MW. Inte heller de två symmetriskt placerade bäddbrännarna påverkar de stora dragen i hastighetsfältet. Den stora recirkulationszonen centralt i pannan kvarstår liksom zonerna vid ”näsan” och nere till höger i Figur 21 (jämför recirkulationszon 1-3 i Figur 19). Den lilla skillnad som kan noteras är att den recirkulationszon (recirkulationszon 3 i Figur 19) vid nedre delen på pannas bakkant är något större än i fallet med sex brännare.



Figur 22. Referensfallet utan några brännare.

Figure 22. The reference case without any burner.

I Figur 22 ses hastighetsfältet för referensfallet, fallet då inga bäddbrännare simulerats. Här uppstår recirkulationszoner vid samma ställe som i de andra tre fallen. Skillnaden är här att den stora recirkulationszonen i pannas mitt inte är lika stor, och detta beror på att det är mindre rökgaser som skall upp genom pannan. I fallet med de olika typerna av bäddbrännare tillförs metan motsvarande en effekt av 15 MW. Dessa extra rökgaser förstärker något effekterna av recirkulationszoner och därmed stråkbildning.

Medelhastigheten på rökgaserna vid utloppet är i referensfallet ca 6 m/s, i de andra fallen ligger medelhastigheten mellan 7 och 8 m/s. Den högsta utloppshastigheten på rökgaserna förekommer i fallet med flatflammebrännaren. Detta beror i på att även rökgasernas medeltemperatur är högre, ca 40°C än i övriga fall.

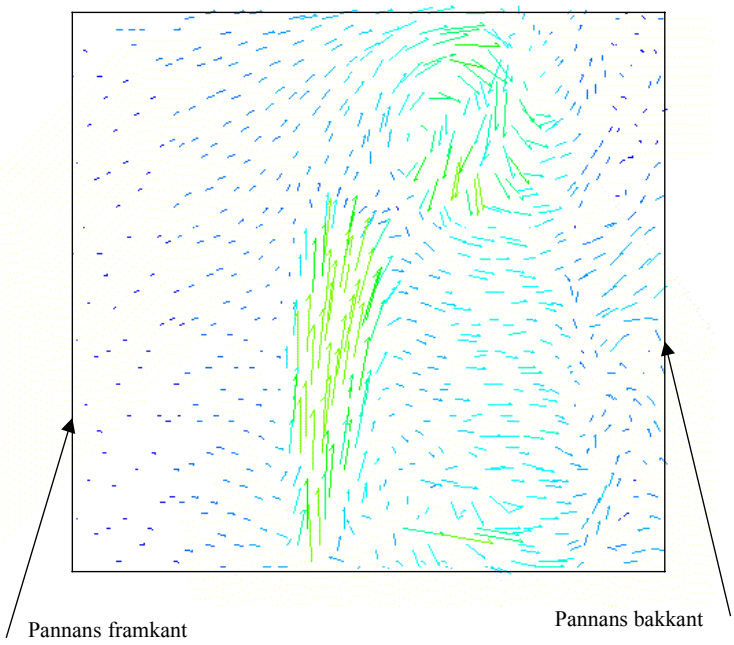
4.4.1 Jämförelse mellan asymmetrisk och symmetrisk placering

Figur 23 visar ett snitt i pannan sett uppifrån. Planet ligger strax ovanför de två bäddbrännarna, se Figur 25. Figuren åskådliggör hastighetsfältet för fallet med två asymmetriskt placerade bäddbrännare. Bränslet matas in från vänster och rostern slutar till höger om bilden. Man ser att den ena brännaren orsakar en penetrering som tränger

mer än halvvägs in i pannan, medan den andra brännaren inte orsakar en lika djup penetrering. Detta beror på att den brännare som har flyttats längre bak i pannan hamnar ovanför den gasström som är på väg upp. Detta gör att den bakre brännarens hastighetsfält slås sönder och kan därför inte tränga lika djupt in i pannan som gasen från den främre brännaren.

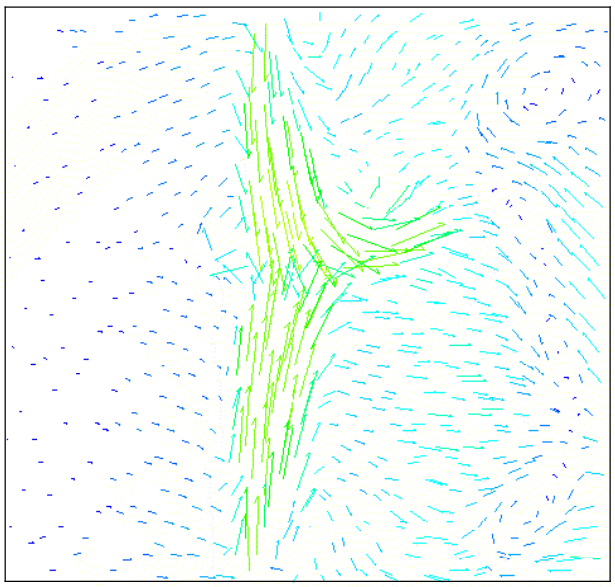
Man kan också notera i Figur 23 att den förväntade rotationen har i princip uteblivit.

I Figur 24 ser man hastighetsfältet då de två brännarna sitter mitt emot varandra. Jetstrålen från brännarna möts mitt i pannans eldstad. I detta fall så störs inte inkommande gas från brännarna av den uppåtgående gasströmmen.



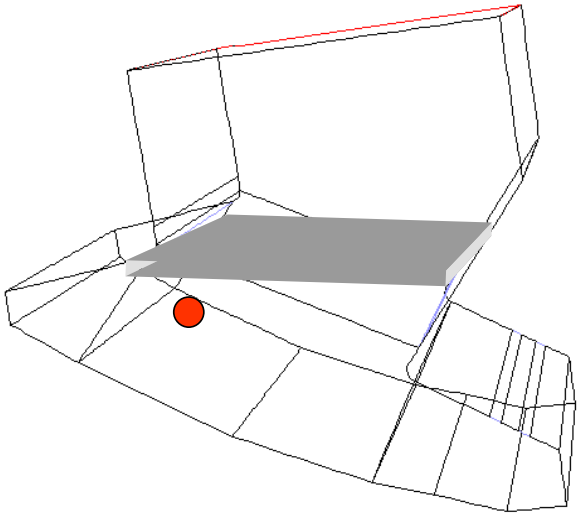
Figur 23. Hastighetsfält i ett plan strax ovanför de två asymmetriskt placerade brännarna.

Figure 23. Velocity field in a plane just above the asymmetric placed burners.



Figur 24. Hastighetsfält i ett plan strax ovanför de två symmetriskt placerade bäddbrännarna.

Figure 24. Velocity field in a plane just above the two symmetric placed burners.



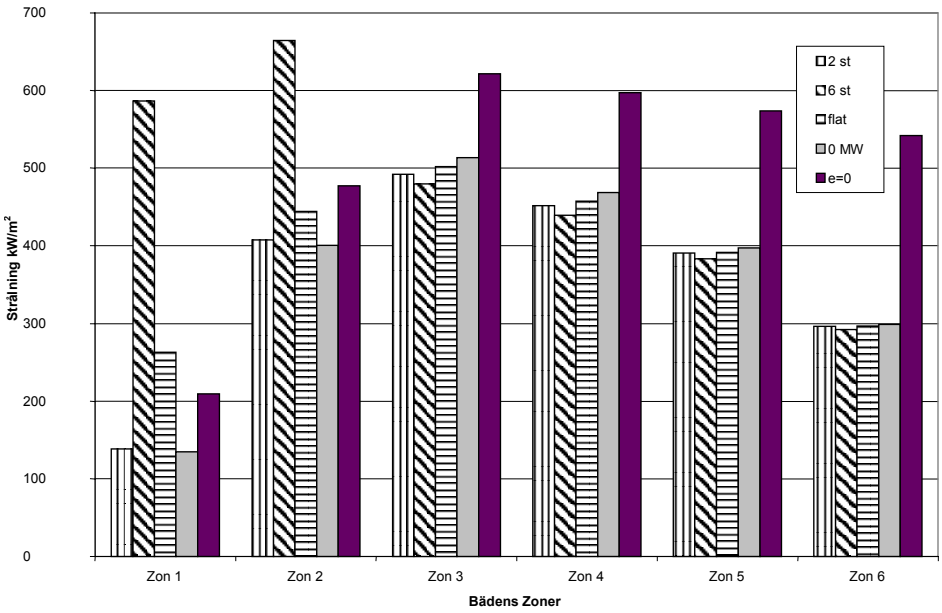
Figur 25. Figuren visar planet för hastighetsfälten i figurerna 23 och 24.

Figure 25. The figure shows the plane for the velocity field in figure 23 and 24.

4.5 Jämförelse med aktiva murverk

För att få en uppfattning hur effektivt det är att använda olika typer av bäddbrännare görs, i detta avsnitt, en jämförelse mellan aktiva murverk och bäddbrännare. Med aktiva

murverk avses i detta fall att reflektionen på murverket i pannas nedre regioner har satts till 1. Med detta menas att all strålning som träffar dessa ytor studsar tillbaka in till eldstaden. Att sätta reflektionen till ett innebär implicit att emissiviteten på murverket är noll enligt Kirchoffs lag ref 4.



Figur 26. Jämförelse mellan 2 stycken symmetriskt placerade brännare, 6 stycken brännare i tändvalvet, flatflammebrännare, referensfallet och referensfallet med full reflektion (e=0). Brännarnas effekt är 10 MW.

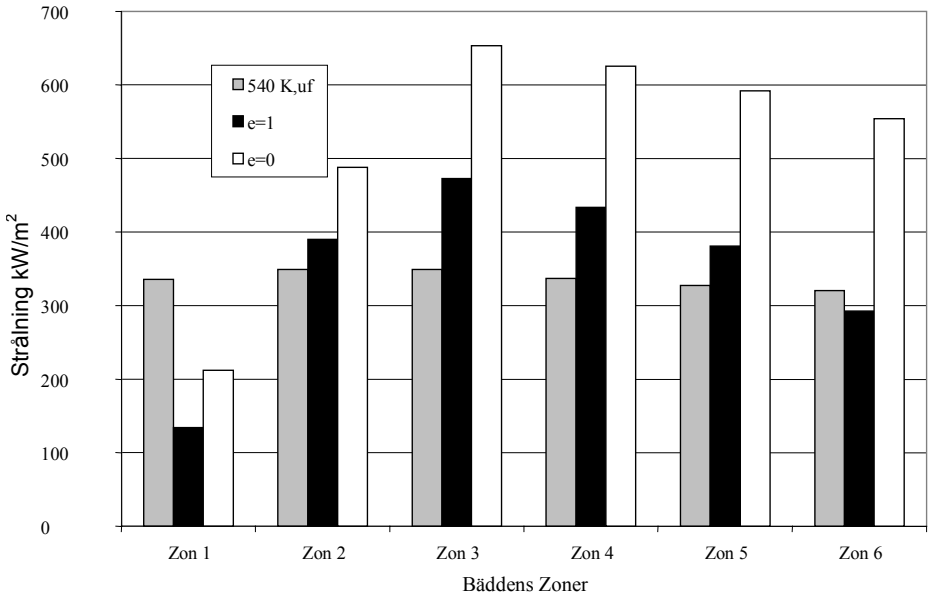
Figure 26. Comparison between 2 larger symmetric placed burners, six burners, flat flame burner, the reference case and the reference case with full reflection (e=0). The loads of the burners are 10 MW.

I Figur 26 har en jämförelse gjorts mellan de olika alternativen för brännarna, referensfallet samt referensfallet med full reflektion på murverket. Fallet med full reflektion markeras med e=0 (den svarta stapeln), vilket innebär att emissiviteten är satt till noll. Den tillförda effekten på brännarna är i samtliga fall 10 MW.

I diagrammet ser man tydligt att flatflammebrännaren och de sex brännarna monterade i tändvalvet ger mer strålning mot bäddens första zon än övriga alternativ. Strålningen från 6 stycken brännare är som störst i den andra zonen samt att denna placering av brännarna ger mer strålning än något av de andra alternativen. I zonerna 3-6 är den infallande strålningen större för ”aktiva murverk” (fallet med full reflektion) än alla andra alternativ. Detta fall ger även mer strålning mot bäddens samtliga zoner än alternativet med två brännare.

4.6 Rökgasernas inverkan

Den största källan till strålningen är själva förbränningen. I detta fall är det de brännbara gaserna som i reaktionsögonblicket snabbt ökar i temperatur och bildar därmed en strålningskälla. Problemet är att förbränningen i sig även genererar CO_2, CO och H_2O som absorberar strålningen. Denna effekt får ett stort genomslag på strålningen.

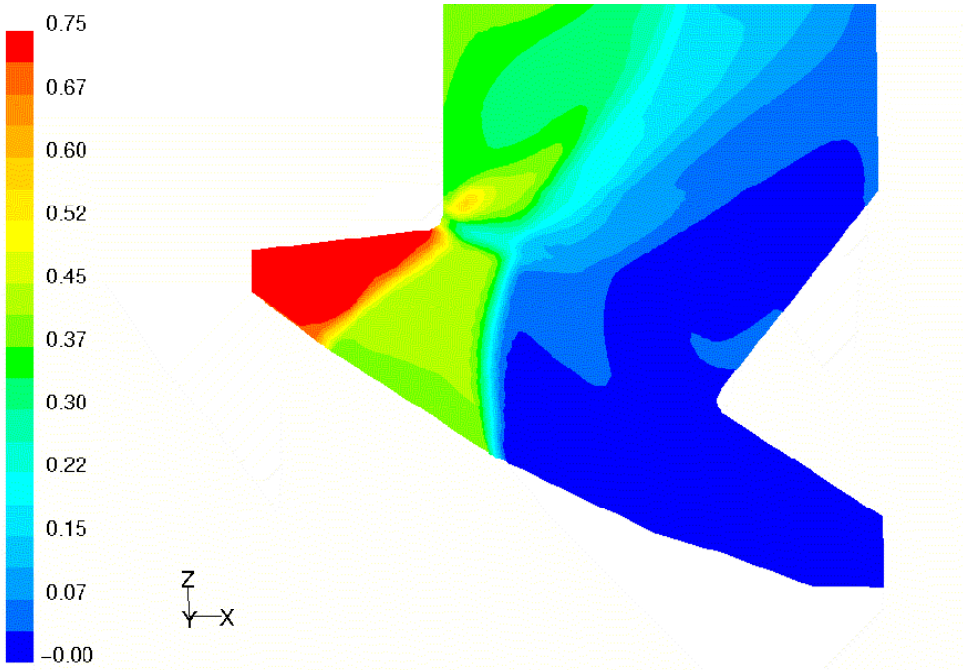


Figur 27. Strålning mot bädden utan förbränning jämfört med förbränning

Figure 27. Incident radiation on the grate for the case with and without combustion.

I Figur 27 presenteras resultaten från tre olika beräkningar. Den grå stapeln visar strålningen mot bäddens zoner då ingen förbränning förekommer i pannan, varken på rostern eller i någon av brännarna. Det är endast det varma murverket som strålar genom luft. De svarta och vita staplarna visar resultatet med förbränning men utan bäddbrännare, det vill säga referensfallet. Den vita stapeln är fallet då murverkets emissivitet är noll, och den svarta stapeln är fallet med full emissivitet. I samtliga simuleringar har murverkstemperaturen på alla nedre ytor (rosterns yta är inte inkluderad) satts till 540 K. I zon ett är strålningen mot bädden större för fallet utan förbränning och detta beror med största sannolikhet på att strålningen absorberas av rökgaserna som bildas vid dessa zoner.

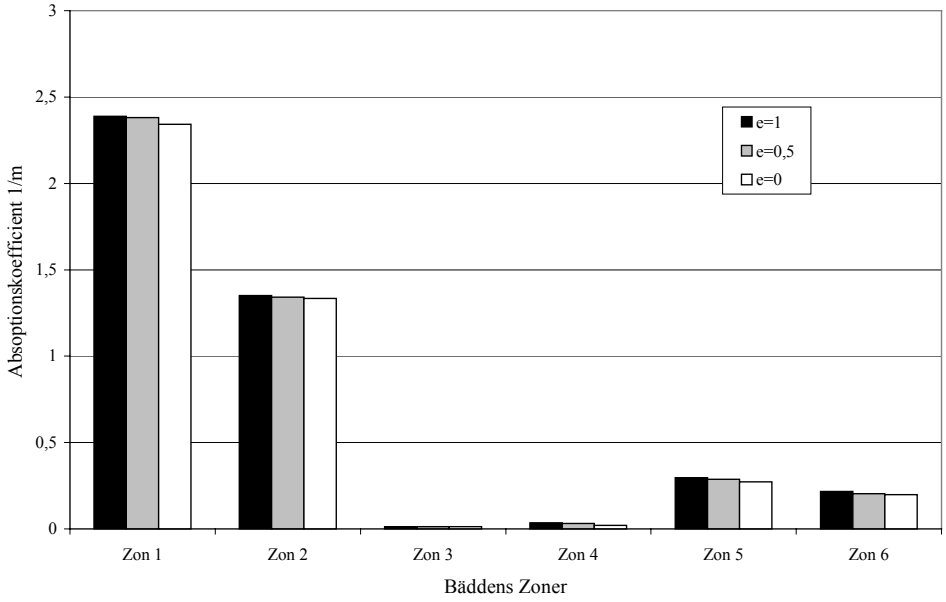
Koncentrationen av vattenångan är som högst ovanför zon 1, se Figur 28. Denna höga koncentration av vattenånga bidrar därmed starkt till att strålningen mot bädden i denna zon blir låg.



Figur 28. Koncentrationen av vattenånga i massprocent i pannans nedre regioner.

Figure 28. Contours of mass fraction of H2O in the lower part of the furnace.

I Figur 29 visas absorptionskoefficienten för referensfallet med förbränning när murverket har emissiviteten 1, 0,5 och 0. Värdet på absorptionskoefficienten är ett medelvärde för ett plan parallellt med rosterns zoner. Koefficienten är ett mått på hur mycket strålning som absorberas per meter. I figuren framgår tydligt att absorptionen är störst vid de första två zonerna. Detta förklarar varför en stor del av strålningen från förbränningen och heta murverksytor inte når fram till bädden. Resultatet blir att strålningen i zon 1 är mellan 2 till 3 gånger lägre än i övriga zoner. Absorptionen är försumbar i zonerna 3 och 4, se Figur 29. När absorptionen avtar, ökar strålningen mot bädden, se zonerna 3-6 i Figur 27. I fallet utan förbränning är absorptionskoefficienten 0,01/m i hela pannan, vilket gör att strålningen inte stoppas och blir jämt fördelad längs rostern.



Figur 29. Absorptionskoefficienten för gaser vid förbränning, murverkets emissivitet 1, 0,5 och 0.

Figure 29. Absorption coefficient for the flue gases at different wall emissivity.

5 KOMMERSIELLA BRÄNNARE

För att få en uppfattning om vilka kommersiella brännare som finns tillgängliga i dag skickades en förfrågan till olika leverantörer i februari 2000. Dock erhölls endast två svar som dessutom inte ansågs ge svar på de ställda frågorna. För att få in erforderliga uppgifter skickades en ny förfrågan ut till olika leverantörer. Denna gång erhölls tre offerter på lämpliga brännare.

I underlaget som skickades ut i maj efterfrågades bland annat efter två brännare á 15 MW för intermittent drift.

Pillard anser att deras brännare som heter ”the GROOM burner” skulle passa som bäddbrännare i barkpannan. Två brännare á 15 MW har offererats.

Brännaren är avsedd att användas i en uppstartsfas för att värma upp pannan till drifttemperatur. Följaktligen kommer denna brännare att gå intermittent. När pannan är i drift är det nödvändigt att kyla brännaren genom att låta ett luftflöde passera genom brännaren även när den inte används. När brännaren slås av skjuts brännarhuvudet tillbaka och ett jalusi fälls ner för att skydda brännaren, kylluften regleras sedan efter behov. Mängden kylluft beräknas till ca 3% av luftflödet vid drift.

Värmeteknisk service (VTS) offererar en brännare för träpulver med möjlighet att elda både gas och olja. Varje bränsle kan eldas separat, det är även möjligt att elda två bränslen tillsammans. I detta fall blir ett av bränslena reglerande och det andra fast. Begränsning för träpulverbrännaren är 350 kW/m^3, dock kan det accepteras en eldstadsbelastning på 450 kW/m^3.

De offererade brännarna är mest lämpade för hetvattenpannor av typ generator HVK panna, det är en av de pannorna som beskrivs i förfrågan. I anbudet ingår inte något skydd för brännarhuvudet.

En 10 MW brännaren har en diameter på 600 mm, och brännaren på 25 respektive 30 MW har en diameter på 900 mm.

Weishaupt var det tredje företag som kom in med offertsvar. De har lämnat anbud på enbart en kombinationsbrännare, brännaren används för gas och EO1. Även här saknas det beskrivet hur man skyddar brännaren.

En anledning till att Weishaupt och VTS inte anger hur brännaren skall skyddas när den inte är i funktion är att förfrågan samordnades med ett annat projekt. Därför koncentrerade Weishaupt och VTS på andra delar i denna förfrågan.

6 SLUTSATSER

De slutsatser som kan dras av denna undersökning är att det är viktigt att placera brännarna så nära bädden som möjligt för att på så sätt tillgodogöra sig den strålningsenergi som brännaren genererar. Det är även viktigt att påpeka att strålningen måste fördelas jämt över hela rosterns yta. Ojämn och för hög strålning kommer att leda till problem på rostern i form av ojämn torkning som senare kan leda till genombränning och genomblåsningar av bädden samt också sintring. Placeras brännaren för långt ifrån torkzonen kommer effekten av bäddbrännaren att minska väsentligt. Detta beror troligtvis på att strålningen absorberas av rökgaserna som sedan avger/sprider sin energi till pannans alla delar.

För att få effektiva bäddbrännare måste man också tänka på att hela flamman utnyttjas för att torka bränslet. I fallet med de två brännarna monterade ovanför zon 2 utnyttjas ”halva” flamman som då strålar mot zon 1 och andra hälften av flamman bidrar till uppvärmning av zonerna 3-6 samt andra delar av pannan. Zonerna 3-6 behöver, i detta exempel, ingen ytterligare torkeffekt eftersom förbränningen av bränslet har kommit igång i dessa zoner och detta räcker gott och väl för att torka resterande del av bränslet som ligger på rostern.

Beräkningarna visar således att den lösning som ger mest strålning mot bädden är de sex brännarna i tändvalvet. Detta medför dock att rostern får en ojämn strålning och risken är därmed stor att vissa områden på rostern brinner och andra inte. Om förbränningen sker på detta vis ökas risken för genombränning och ökade emissioner. Ökad risk för att bädden skall sintra föreligger också.

En något bättre fördelning av strålningen kan fås genom att placera de sex brännarna annorlunda, t.ex. att den andra raden av brännarna, se Figur 2, förskjuts i förhållande till den först raden av brännare. Detta montage skulle ske så att andra radens brännare hamnar bakom ”gluggen” mellan brännarna i första raden. Dessutom måste effekten reduceras så att strålningsbelastningen blir mindre på rostern. Man måste också vara försiktig så att flamman inte slår i bädden och på sätt skapar ojämnheter i bädden vilket kan ge upphov till genombränning.

En av slutsatserna är bland annat att vattenånga absorberar en icke obetydlig del av strålningen från brännarna och murverket. Detta kan vara en av förklaringarna till att simuleringarna visar att det strålar relativt lite mot rostrets första zoner.

Det har gjorts en beräkning där oljeförbränning simulerats och jämförts med metanförbränning. Skillnaden i infallande strålning mot bädden har visat sig vara liten och detta beror på att programmet antar gråstrålning, d.v.s. att strålningen är oberoende av våglängden men beror på temperaturen. Av denna anledning spelar det inte någon större roll om metan eller olja används i simuleringarna, det viktiga är att den tillförda bränsleeffekten är jämförbar.

Till sist måste nämnas att de presenterade simuleringarna är baserade på beräkningsmodeller som bygger på approximationer av verkligheten. Resultaten får inte ses som absoluta sanningar utan som tendenser som är kvalitativa snarare än kvantitativa.

Det är viktigt att dessa beräkningar följs upp med praktiska experiment för att verkligen bringa klarhet i de olika resultaten. Experimenten kan också användas för att validera beräkningsmodellens användbarhet.

För att ytterligare förbättra strålningen mot bädden kan man kombinera brännare med murverk som har hög reflektion. Detta murverk skulle placeras vid de två första zonerna. Detta studeras inom projektet Aktiva murverk.

7 FORTSATT ARBETE

För att verifiera de resultat som simuleringarna visade planeras olika försök i en laborationsanläggning. I denna anläggning som görs i pilotskala skall olika parametrar som t.ex. murverkets egenskaper, rökgasernas inflytande och brännarnas placering studeras. Detta arbete utförs i nära samarbete med ETC i Piteå.

8 REFERENSLISTA

1. H. Tennekes and J.L. Lumley, *A First Course in Turbulence,* MIT press, fifteenth printing 1994. ISBN 0 262 20019 8
2. D.C. Wilcox
3. FLUENT user guide volume 1-5, 1998.
4. Gunnar O. Tyllered, *Termodynamik,* kompendium juli 1986
5. J. Warnatz, U. Mass, R.W. Dibble, *Combustion,* 2nd edn, ISBN 3-540-65228-0
6. Kontaktpersoner på de olika pappersbruken:

Lars Andersson	Karlsborgsverken
Henrik Brodén	Iggesunds Bruk
Anders von Dolwitz	Gruvöns Bruk
Karsten Jonsson	Bravikens Pappersbruk
Torsten Leijon	Skutskär
Dan Svensson	Skärblacka

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

101 53 Stockholm
Telefon 08-677 25 80 ● Telefax 08-677 25 35
http://www.varmeforsk.se

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustrierna 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