

Erfarenhetssammanställning från konverterade fluidiseradbädd-pannor inom skogsindustrin

Henrik Brodén, Mikael Berntsson, Solvie Herstad Svärd och Anders Kjörk

Erfarenhetssammanställning från konverterade fluidiserad-bäddpannor

Aggregation of experience from converted forest industrial fluidized bedboilers

Henrik Brodén, Mikael Berntsson
Solvie Herstad Svärd och Anders Kjörk

A08-836

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
April 2011
ISSN 1653-1248

Abstract

I denna rapport sammanställs drifterfarenheter från åtta skogsindustriella pannor som konverterats till BFB-teknik. Konverteringen har i samtliga fall varit driven av behovet av att öka fastbränslekapaciteten och ett ökat intresse för elproduktion i takt med stigande elpris.

Konvertering av en befintlig panna har visat sig vara ett kostnadseffektivt alternativ som av tillfrågade anläggningsägare beskrivs som likvärdigt nybyggnation i fråga om driftsäkerhet. De studerade pannorna uppvisar drifttider på mellan 350 och mer än 360 dygn per år.

Valet av BFB motiveras bl.a. av panntypens goda möjligheter att elda fuktiga bränslen och dess förmåga att hantera snabba laständringar.

Emissionsmässigt visar sig dessa pannor enligt jämförelse med NO_x-registret vara något bättre än genomsnittet för skogsindustriella pannor och något sämre än genomsnittet för pannor totalt. Analys av data för studerade pannor visar att det finns ett tydligt samband mellan hög eldstadsbelastning och höga emissioner.

Anläggningsägarna rapporterar om ett fåtal fall av korrosion respektive erosion. Sintringar och bäddagglomerering förekommer men är inte ett stort problem. När det uppstått problem har orsaken till största delen varit bränslerelaterad.

Sammanfattning

Denna studie visar på erfarenheter från ett antal års drift av fastbränslepannor eldade med huvudsakligen bark. Pannorna har den gemensamma nämnaren att samtliga är befintliga pannor som konverterats till BFB-teknik. Studien omfattar åtta barkpannor vid massabruk i Sverige.

Ombyggnaderna har i samtliga fall motiverats genom behov av ökad fastbränslekapacitet i takt med stigande oljepris, ett ökat intresse för elproduktion samt önskemål om förbättrade laständringsegenskaper.

Vid valet mellan nybyggnation och konvertering av befintlig panna har det sistnämnda visats vara ett kostnadseffektivt sätt att nå ovan nämnda behov, då pannhuset och delar av den befintliga pannan kan behållas. Konverteringen medför dock även ett mått av konstruktionsmässiga kompromisser, där nya delar skall fungera väl ihop med befintliga. Kompromisser i design och konstruktion kan förväntas påverka både förbränningsprestanda och tillgänglighet negativt jämfört med nybyggnation. Denna rapport visar dock att samtliga anläggningsägare är nöjda med sina ombyggda pannor.

Valet av BFB-teknik motiveras främst av panntypens goda möjligheter att elda fuktiga bränslen och goda laständringsegenskaper. Dessa egenskaper är mycket viktiga för en skogsindustriell barkpanna, då den som regel eldas med bränslen av varierande kvalitet och fukthalt såsom bark och egenfallande slam och dessutom ofta fungerar som topplastpanna med uppgift att hantera kortvariga lastvariationer.

Snabba ändringar i last medför svårigheter att hålla emissioner såsom CO och NO_x på en låg nivå. En beräkning visar att NO_x-emissionerna från de studerade pannorna är cirka 0,24 kg/MWh, vilket är något lägre än det skogsindustriella genomsnittet på 0,26 kg/MWh (2008) och något högre än den genomsnittliga pannan totalt som släpper ut 0,20 kg/MWh (2008).

Analys av data för de studerade pannorna visar att eldstadsbelastning har inverkan på emissionerna. De pannor som har eldstadsbelastning lägre än 0,10 MW/m³ visade betydligt lägre CO- och NO_x-emissioner än de med högre eldstadsbelastning. Analysen visade även att sambandet mellan bottenbelastning (MW/m²) och emissioner är mycket svagare än sambandet mellan eldstadsbelastning (MW/m³) och emissioner.

Studien har visat på fåtalet korrosionsskador vid de undersökta pannorna. Då främst på eldstadstuber, rökgasåteröringskanal och primärluftskanal. Erosion orsakad av medryckt material har rapporterats från några anläggningar. En anläggning har även rapporterat om erosion på överhettare orsakad av ångsotning.

Sintringar och agglomereringar förekommer på några av de studerade anläggningarna, medan andra i det närmaste är helt förskonade från agglomereringsproblematik även efter 40 000-70 000 drifttimmar. Många av sintringarna är bränslerelaterade. Här förekommer sintringar orsakade av allt från lutkontaminerad bark på sulfatmassabruk

(rik på natrium) till eldning av fastbränsle med oacceptabelt högt innehåll av jord, grus och sand. Ett exempel på det senare är så kallad städbark.

Flera anläggningsägare har rapporterat att nybörjarfel begåtts, vilket lett till sintringar och agglomereringar. I takt med att driftpersonalen blivit mer erfaren har antalet incidenter minskat med åren. Bristande kontroll av sandnivån i eldstaden och för låg omsättning av bäddsand är exempel på misstag som orsakat sintringar.

De krav rörande driftsäkerhet som ställs på en panna med uppgift att leverera processånga till pappersmaskiner är mycket höga och de undersökta pannorna uppfyller dessa krav mycket väl, vilket visas genom en årlig drifttid på mellan 350 och mer än 360 dygn per år för de pannor som ingår i denna studie.

Samtliga anläggningsägare som deltagit i studien har uppgett att de ser konverteringen till BFB som ett likvärdigt alternativ till att bygga en helt ny panna och att konverteringarna kommer att brukas inom överskådlig tid. Ingen av anläggningsägarna har uppgett att de har någon ny barkpanna i den långsiktiga investeringsplanen.

BFB, konvertering, bark, slam, korrosion, erosion, sintring, agglomerering

Executive summary

This report summarizes experience from eight forest industrial boilers converted to BFB-technology. The conversions are made between 1995 and 2005 and the main reasons to convert these boilers to BFB-technology have been:

- Expansion and upgrade of turbine capacity, driven by increasing electricity prices and the introduction of green certificates, which has led to increased capacity demand
- A need to replace steam production based on oil to a cheaper fuel
- A desire to manage load changes of typically 10% / min
- The delivery time is generally shorter for a conversion than for the building of a new boiler
- Reduced investment costs for a conversion compared to building a new boiler
- Ability to burn wet sludge
- Large investment requirements and lack of availability of the old boiler (for some)

Conversion of existing boilers to BFB-technology appears to be a cost effective way to increase the solid fuel capacity and improve the boilers load change ability. All of the boilers studied exhibit high annual operating time (350 to > 360 days / year). The differences in operating time have no obvious connections to the BFB-conversion, or supplier of the conversion.

All facility owners, who have participated in the study, have indicated that they consider the BFB-conversion as an equivalent alternative to build a brand new boiler. The converted boilers will be used in the foreseeable future and none of the plant owners have indicated that they have a new bark boiler in the long-term investment plan.

All conversions are quite comprehensive, where essential parts of the boiler have been replaced or rebuilt. In most cases the dome, super heaters, parts of the furnace, and in some cases parts of the back pass remain from the original. All boilers except one still use the original electrostatic precipitators. Often also the internal fuel, sand and ash systems have been rebuilt and extended.

The boilers are all designed for a relatively moist fuel and a moisture content of 56-58% is a common design. Measurements of the fuel used indicate average moisture contents of 53-58%, which coincides with the boiler design. At most of the plants, the bark is pressed, resulting in a moisture reduction of 6-8% units.

The fuel comprise normally of the plants own bark, often complemented with wood chips from saw mills and wood residues. All boilers are also firing small streams of different sludges such as fiber sludge, bio sludge and precipitation (chemical) sludge. (In the future, the amount of bio sludge fired will probably decrease since several plants already fires bio sludge in their craft boilers)

Among the studied boilers, there are significant differences in furnace volumetric heat load (MW/m^3) and furnace heat load (MW/m^2), which obviously is the result of a compromise between performance and type of original boiler converted to BFB.

Six of the boilers have fuel feeding from two opposite feeding points (a total of four feeding points) and two boilers have feeding from only one side (a total of two feeding points).

Sintering and agglomeration

Sintering and bed agglomeration is not a problem for these BFB-converted solid fuel boilers. Bed agglomerations occur and have occurred at some boilers, while others are almost completely spared from this phenomenon even after 40 000-70 000 hours of operation. Several plant owners have reported that they made mistakes in the beginning, which led to sintering and agglomerating. As the operating personnel became more experienced, the number of sintering incidents has decreased over the years. Many of the occasions when the bed sintered are related to the fuel used and caused by everything from bark contaminated with lye at sulphate pulp mills (rich in sodium) to the burning of solid fuel with a high content of soil, gravel and sand. Insufficient control of the sand level in the furnace has also caused sintering.

Bed sand

Several plant owners have stopped using the differential pressure measurement to assess the bed height and have introduced visual methods to assess the amount of sand in the bed, since measurement of bed height using differential pressure measurement is perceived as problematic and unreliable.

Only two of the eight boilers studied use a system for sieving and returning bed sand to the furnace. Another two of the plants have a system installed, but none of them uses it. The energy-specific sand consumption varies between 1 and 11 kg/MWh, of which most are between 3-6 kg/MWh.

All of the boilers use silica sand. The choice of sand is in most cases based on recommendation from the boiler supplier. Several plants have temporarily tried to change particle size, because of difficulties in finding sand with the normal particle size distribution. One plant owner has made a permanent change to a finer grain size, since the increased fine fraction seems to have a positive effect on fluidization and agglomeration.

Corrosion and erosion

The study shows that corrosion has not been a big issue at any of the boilers. When reported it has been corrosion:

- On furnace walls (one)
- The secondary super heater (one)
- In the flue gas recirculation duct (two)
- In the primary air duct (one)

Damage caused by erosion has been reported from a few of the sites. Two boilers have had damage on the superheater. At one of those boilers, the damage is however

suspected to be caused by erosion from the soot blowers and not by erosion from the sand. One boiler has reported erosion damage at the electrostatic precipitator and one erosion damage on the economizer and air preheater due to high gas velocity at high loads. One boiler has had erosion damage at the roof of the catalyst and one of the boilers using sand recycling reports erosion at the recirculation duct.

Most of the plant owners reports that tube leaks occur, but they does not correlate the leaks to erosion. Although tube leaks are rare, it always causes a longer stop while the boiler must cool down before it is possible to work inside the boiler.

Deposits

Most of the boilers report fouling and deposits although it seems not to be of any great problem. Two boilers report slagging on the furnace walls.

One boiler has lately had deposits hanging from its super heaters and another one experiences deposits on the wind side of the screen in front of the super heaters, which seems to be caused by injection of bio-sludge. One boiler has reported blockages on the flue gas side in the economiser and the air preheater.

Boiler capacity

Most of the boilers studied have a nominal solid fuel capacity of 60-80 MW. Two of the boilers have a solid fuel capacity just below 120 MW. In most cases, the water/steam circulation capacity is even higher and the boilers are equipped with oil burners that can be used separately, or in combination with the solid fuel.

The average capacity utilization of the nominal solid fuel capacity ranges from 50% to 80%. The minimal load is often 35-40% of the nominal solid fuel load. Some boilers use oil firing at high loads. How much the boilers are run on maximum loads and to what extent oil is used for top loads vary between the plants. Seasonal variations in heat demand and short-term variations caused by production problems on for example paper machines affect the utilization of the boiler capacity. The long term seasonal variations are typically 30-50% of nominal load. The short-term variations can be very fast and varies often $\pm 20\%$.

Emissions

The large and fast short-term variations denote high demands on the combustion regulation systems. Several boilers show an increasing excess air ratio at low loads. Often the high air factor and low load reduces the CO emissions due to a higher oxygen concentration. However an increase of excess air in combination with very moist biofuel may result in a decreasing combustion temperature. A too low combustion temperature (below 800-850 °) complicates the oxidation of CO, although the O₂-concentration, mixing conditions and residence time can be advantageous. At the same time, the temperature window for SNCR-dosage moves down in the furnace. The ideal dosage point at low loads is in many cases below the installed lower dose level. Many plant owners also report that it is hard to get the SNCR-system to function well over a wide load range. If the SNCR spray nozzle levels were better adapted to the whole operating range, the NO_x reduction could probably be increased.

Althogether-it is often not the low load itself that cause CO and NO_x but the fast load changes.

In this study, the boilers with high furnace heat loads (MW/m^3) generally have higher CO and NO_x emissions than boilers with low furnace loads. The relationship is primarily qualitative but among the analyzed boilers, those with furnace heat load lower than 0.10 MW/m^3 are significantly lower in both CO and NO_x emissions than the boilers with furnace loads higher than 0.10 MW/m^3 . The study also indicates that the furnace heart heat load (MW/m^2) is not an important critical factor for CO and NO_x emissions, since there is a wide distribution of emissions between boilers with similar furnace heart heat loads.

In comparison to other forest industrial boilers, the NO_x-emissions from the investigated boilers are, 0.24 kg/MWh , which is marginally below the forest industry average of 0.26 kg/MWh . The eight studied boilers (12.5% of the 64 taxable boilers) have a relatively high annual energy production and accounts for 27% of the energy that the taxable forest industrial boilers have produced. Thus, these eight boilers NO_x-performance have great impact on the outcome of the group of forest industrial boilers.

It is harder to reach both low CO and low NO_x when the residence time is low. Elevated CO is therefor often used as a means to reduce NO_x emissions. Data from the boilers in this study show that the relationship between CO and NO_x exist at least on some of the boilers. However altogether, it is the boiler with the lowest CO-emissions that has the lowest NO_x-emissions. From this, it can be concluded that design for good combustion, proper staging of air and SNCR may well combine low CO with low NO_x.

It is also important to point out that the availability is the most important factor while the NO_x optimization perhaps haven't been in focus in all cases.

Co-combustion

These forest industry bark boilers converted to BFB-technology are not considered appropriate to classify as boilers for co-combustion. Although there is revenue in caretaking of waste fuel, which could be one or a few tens of million SEK per year, there are design and operational reasons which make these boilers unsuitable for co-combustion of waste fuels. The main reasons are:

- The need for a wide load range and ability for rapid changes in load makes it difficult to keep the CO-emissions at the level required for co-combustion.
- Using waste as fuel increases the risk for fuel related disruptions reducing the boiler availability.
- In some cases, where the furnace load is high, there will be difficulties in meeting the waste incineration directive that states a temperature above $850 \text{ }^\circ\text{C}$ for at least 2 seconds.
- The variation of moisture content in waste fuel is difficult to predict and implies a risk of getting a fuel that is too dry compared to the boiler design.

Investments for adapting the flue gas cleaning and the environmental measurement systems for co-combustion may be costly.

Förord

Detta projekt har varit möjligt att genomföra tack vare mycket intresserade och hjälpsamma anläggningsägare som har tagit sig tid att ta emot oss på besök och svara på en massa frågor. Ett speciellt tack riktas till:

- Anita Sjölander, Björn Lundgren och Anders von Dolwitz Billerud Gruvön
- Olof Stålnacke och Mats Häll Södra Cell Mönsterås
- Magnus Persson Södra Cell Mörrum
- Torbjörn Harrysson Stora Enso Nymölla
- Leif Lövgren Stora Enso Skoghall
- Mattias Brännström och Karin Lundstedt Billerud Karlsborg
- Tomas Hubenette och Reidar Öberg M-Real Husum
- Bertil Lundberg Billerud Skärblacka

Projektet har också haft en aktiv referensgrupp bestående av:

- Anders Eklund/Göran Eidensten AB Fortum Värme samägt med Stockholmsstad
- Anita Sjölander/Björn Lundgren Billerud Gruvön AB
- Claes Henningsson Metso Power AB

Göteborg januari 2011

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSOMRÅDET	2
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSOMRÅDET	3
1.4	MÅL OCH MÅLGRUPP	3
2	TEKNISK BAKGRUND.....	5
2.1	MEDVERKANDE ANLÄGGNINGAR..... FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.	
3	REDOVISNING AV INSAMLADE DATA	32
3.1	BRÄNSLE	32
3.2	DRIFTTIDER, VARAKTIGHETSDIAGRAM OCH EFFEKTTRENDER.....	33
3.3	EMISSIONER.....	37
3.4	AGGLOMERERINGAR OCH SINTRING.....	40
3.5	KORROSION, EROSION OCH PÅSLAG	42
3.6	TEKNISKT UTFÖRANDE	44
4	ANALYS AV KONVERTERINGARNA.....	45
4.1	TEKNIK OCH DRIFT.....	45
4.2	BRÄNSLEN	53
4.3	EMISSIONER.....	54
4.4	FB-KONVERTERINGEN - EN KOMPROMISS MED UTVECKLINGSMÖJLIGHETER?	58
4.5	SAMFÖRBRÄNNING MED AVFALLSBRÄNSLEN.....	59
5	SLUTSATSER.....	61
6	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSARBETE	66
7	LITTERATURREFERENSER.....	68

Bilagor

- A VARAKTIGHETSDIAGRAM**
- B TRENDER ÅNGPRODUKTION**
- C DIVERSE DATA OCH NYCKELTAL**

1 Inledning

1.1 Bakgrund

De allra flesta större fastbränslepannorna inom skogsindustrin återfinns på större integrerade massabruk. Ett integrerat bruk innebär att massatillverkning, vanligen sulfatmassa, och vidareförädling till pappersprodukter sker på samma plats. Detta ger energifördelar, eftersom pappersmassan inte behöver torkas utan kan överföras till pappersbruket direkt som pumpmassa. Baslasten i ett integrerat bruks energisystem är sodapannan, vars energiproduktion är direkt kopplad till massaproduktionen. I ett modernt integrerat bruk är massatillverkningen ofta så energieffektiv att lutångproduktionen kan ge ett visst energiöverskott. Om så inte är fallet täcks marginalångbehovet i första hand genom eldning av bark och i andra hand av olja.

Den egenfallande barken utgör basen för fastbränsleeldningen och traditionellt dimensionerades fastbränslepannan efter hur stor massaproduktionen var. Idag finns det en mycket mer utvecklad fastbränslemarknad som gör att externt fastbränsle kan köpas i en utsträckning som inte var möjligt för 15-20 år sedan. I takt med att oljepriset stigit och industrin blivit mera medveten om oljeeldningens klimatpåverkan har efterfrågan på utökad fastbränslekapacitet ökat. Många av de stora barkpannor som byggdes inom skogsindustrin, främst under 70-talet, var kombipannor avsedda för bark och oljeeldning. Ofta var oljeeldningskapaciteten effektmässigt 2-3 gånger högre än fastbränslekapaciteten vilket gjorde att pannorna var cirkulationsmässigt anpassade för mycket högre ångflöden än vad barkeldningskapaciteten medgav. Stigande marknadspris för elektricitet och införande av gröna certifikat har medfört stora investeringar i utbyggd turbinkapacitet på många massa- och pappersindustrier. När mer mottryckskraft produceras måste ångproduktionen från fastbränsle höjas.

Förutom utökat behov av fastbränslekapacitet i takt med stigande oljepris och ökat intresse för elproduktion har mera avancerade bioreningar för processavloppen blivit standard på de flesta pappers- och massabruk. Slammet som kommer från processavloppsreningen blev ett kvittblivningsproblem som den traditionella rostpannan inte kan hantera. Eftersom FB-tekniken medger mycket större inblandning av slam än traditionell rosteldning ökade intresset för FB-tekniken inom skogsindustrin. CFB-tekniken hade mycket tidigt etablerats vid ett par svenska bruk men på det stora flertalet bruk dröjde rosteldningen av fastbränsle kvar. Sedan mitten av 90-talet har det dock skett en omfattande expansion av FB-tekniken inom svensk skogsindustri, främst genom konvertering av äldre pannor till BFB men även genom byggnad av nya pannor (CFB).

FB-konverteringen till BFB utgör idag drygt halva det skogsindustriella FB-beståndet. Ursprungspannan, som är föremål för FB-konvertering, kan ha varit en rostpanna (bark), oljepanna eller en sodapanna. Omfattningen av konstruktionsmässiga förändringar kan vara allt från att endast byta pannbotten till att stora delar av det gamla tryckkärlet, rökgasrening och hjälpsystem byts ut. Oundvikligen rymmer dock FB-konverteringen ett stort mått av design- och konstruktionsmässiga kompromisser eftersom hela syftet med konverteringen är att få en moderniserad panna med

förbättrade prestanda till en lägre kapitalkostnad än vad som gäller vid alternativet att bygga en ny panna.

Kompromisserna i design och konstruktion hos de konverterade pannorna kan förväntas påverka både förbränningsprestanda och tillgänglighet negativt jämfört med nybyggda skogsindustriella FB-pannor. Det som motiverar en studie är att FB-konverteringen nästan bara finns inom skogsindustrin och att pannorna har en drift som skiljer sig från den gängse värmeindustripannan avseende årlig drifttid och krav på snabba lastvariationer.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Konvertering till FB-pannor finns behandlat i två Värmeforskrapporter [1], [2]. I [1] beskrivs erfarenheter från två skogsindustriella konverteringar (Ortviken och Anjalankoski) samt en värmeindustrikonvertering (Igelsta-verket). Rapporten är dock något föråldrad då flertalet av de skogsindustriella konverteringarna som är i drift idag är gjorda efter att rapporten publicerats.

I [2] behandlas i huvudsak motiv för konvertering samt rekommendationer och anvisningar kring projektsystematik och projektgenomförande i samband med själva ombyggnaden. Problem och erfarenheter kring konverteringar är mycket kortfattat beskrivet med tyngdpunkten lagd på erfarenheter dragna under själva ombyggnaden. Förbränningstekniska erfarenheter från drift finns i vissa fall mycket kortfattat omnämnt. Agglomereringsproblematik kopplad till förbränningsteknisk design, driftpraxis och bränsleval berörs över huvud taget inte.

Inom området agglomerering och sintring i FB-pannor i samband med bio-bränsleeldning har betydande svenska finansieringsinsatser gjorts inom ramen för Värmeforsk och Energimyndigheten. TPS Branschforskningsprogram för Energiverk bedrev projekt under senare delen av 90-talet som handlade om att [3], [4], [5], [6]:

- Förklara och systematisera agglomerering och sintring
- Undersöka potentiellt prediktiva metoder för att bedöma agglomereringstendenser med degeltester, sintringsugnar i större laboratorieskala och nyckeltal
- Utnyttja additiv som exempelvis kaolin och osläckt kalk

Även ETC har gjort betydande insatser när det gäller metoder att karaktärisera och prediktera agglomereringstendenser [7]. ETC har även visat att bäddpartiklar i samband med agglomeration blir belagda med ett relativt homogent asklager bestående av kalium, kalcium och kisel [8]. I [9] har det visats att genom val av bäddmaterial som saknar silikatrika lager är det möjligt att påverka bildandet av asklagret runt sandpartiklarna. I en senare Värmeforskstudie [10] har det visats att det finns bäddmaterial/bränsle-interaktioner vilket innebär att beroende på bränslets sammansättning har valet av bäddmaterial olika effekt på agglomereringstendensen. Som exempel visades att olivinsand gav lägre agglomereringstendens i förhållande till kvarts vid förbränning av olivkross medan bädden agglomererade i samma temperaturområde vid förbränning av bark. Likartade resultat gällande bäddmaterial/bränsle-interaktioner har erhållits i [11].

Finska VTT har bedrivit forskning kring eldning av biomassa i FB-pannor i kombination med skogsindustriellt slam. De arbeten som i dessa sammanhang är relevanta har dels varit inriktade på att studera hur klor och svavel samt tillsats av skogsindustriellt slam påverkar bildning av fina partiklar, dels hur klor och anrikning av tungmetaller påverkas av tillsats av aluminiuminnehållande additiv som kaolin, bauxit och flygaska från kolpulvereldning [12], [13], [14].

På senare år har uppmärksamheten riktats mot åtgärder som både minskar agglomerering och påslag [11], [15]. Återigen är det demonstrerat att kaolin och rötslam effektivt kan användas för att binda alkali. Det är också så pass effektivt att såväl minskad agglomerering som minskad koncentration av alkaliklorider i gasfasen kan erhållas. Sammanfattningsvis kan det konstateras att finns djup kännedom och förståelse för de kemiska förloppen som ligger bakom sintring och bäddagglomerering i samband med biobränsleeldning. Däremot finns det relativt få studier som behandlat de övriga fysiska mekanismerna som motverkar agglomerering.

Inom Värmeforsk finns det däremot bara en studie som renodlat behandlar fluidiseringens påverkan på agglomereringstendensen [16]. I denna studie studerades bäddsand från sju pannor (4 CFB och 3 BFB) som siktats och analyserats med avseende på beläggningskaraktäristik och agglomereringstendens (mätt i pilotskala). Från denna studie kunde det konstateras att det inte fanns några signifikanta skillnader i beläggningstjocklek och sammansättning mellan grova och fina partiklar. Däremot innebar ökad fluidiseringshastighet att bädden agglomererade vid en högre temperatur och effekten var speciellt tydlig i samband med fluidiseringshastigheter motsvarande BFB-förhållanden. Erfarenheter från anläggningar pekar dock på att även partikelstorleken kan vara betydelsefull. I praktiken finns det naturligtvis också en indirekt påverkan eftersom kornstorleken påverkar minsta fluidiseringshastigheten.

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Forskningsuppgiften för denna studie är främst att ge en samlad bild av de skogsindustriella FB-konverteringarnas prestanda avseende konstruktionsmässiga likheter och skillnader, driftbetingelser avseende last och lastvariationer, bränslefrågor, tillgänglighet, årlig drifttid, vanliga orsaker till driftstörningar samt miljöprestanda.

Projektet syftar också till att belysa eventuella utvecklingsmöjligheter hos de redan befintliga skogsindustriella FB-konverteringarna med avseende på fastbränslekapacitet, förväntad livslängd och framtida möjligheter till breddning av bränslebasen exempelvis genom sameldning av avfallsklassade bränslen. Även om beläggningsproblematik, agglomerering och sintring kommer att behandlas där frågeställningarna har relevans görs i denna studie en avgränsning i den meningen att studien inte primärt syftar till att vidga förståelsen för mekanismer bakom beläggningsproblematik, agglomereringar och sintring.

1.4 Mål och målgrupp

Projektet syftar till att ge en god överblick över skogsindustrins erfarenheter kring driften av barkpannor som konverterats till FB-teknik (BFB) med speciellt fokus på:

- Designaspekter som kan orsaka förbrännings- eller driftstörningar
- Sammansättning på bränslet och speciellt problematiska delströmmar
- Behovet av hög tillgänglighet och långa drifttider
- Bäddagglomereringsproblematik
- Korrosion och igensättningsproblematik

Målgruppen för projektet är i första hand personal som arbetar med pannrelaterade driftfrågor och energiteknisk processutveckling inom pappers- och massaindustrin. Rapporten vänder sig också till pannkonstruktörer och processkonsulter som önskar öka sin förståelse för de i vissa avseende speciella krav och driftbetingelser som en skogsindustriell fastbränslepanna eldas med.

2 Teknisk bakgrund

Denna studie omfattar barkpannor vid åtta svenska pappersbruk. Vid samtliga anläggningar är pannorna konverterade till BFB. Konverteringarna har skett mellan åren 1995 och 2005. Fyra av pannorna har ursprungligen varit barkeldade rostpannor, övriga pannor har varit antingen sodapanna, oljepanna eller avgaspanna. Pannorna är uppbyggda av traditionellt tryckkärlsstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har använts. Tabell 1 ger en bild av de studerade pannornas ursprung och huvudsakliga tekniska data.

Tabell 1. Nyckeldata för anläggningar som ingår i studien
Table 1. Key data for the boilers included in the study

	Gruvön	Husum	Karlsborg	Mönsterås	Mörå	Nymölla	Skoghall	Skärblacka
Konverterad	2005	1998	2005	2000	2004	1995	2005	2005
Leverantör	Metso Kvaerner	Foster Wheeler	Metso Kvaerner	Foster Wheeler	Metso Kvaerner	Metso Tampella	Metso Kvaerner	Metso Kvaerner
Ursprung	Bark-rost	Bark-rost	Bark-rost	Bark-rost	Soda-panna	Avgasp. med Axonugn	Olje-panna	Soda Olja Bark
Nominell effekt fastbränsle [MW]	118	92	60	70	80	63	119	77
Energiproduktion [GWh/år]	791	574	269	482	309	419	590	518
Ångtryck [bar]	61	36	60	61	58	60	100	60
Ångtemperatur [°C]	480	420	450	480	450	475	500	450
Fukthalt [%]	57	53	56	57	60	58	55	53
Internt bränsle [%]	78	98	70	78	80	46	31	47
Slam [ton ts/dygn]	5-6	25-30 (max 50)	3,7	46	15	47	60	23
Typ av slam och specialbränsle	Fiber	Fiber	Fiber	Bio Process Fiber	Bio Fiber	Bio, Fiber UF-konc. Kvistrejekt	Kem Fiber	Bio Fiber
Antal bränslestup	4	4	2	4	4	2	4	4
Har SNCR	Ja	Används ej	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja + slip-katalysator	Nej
Typ av rökgasrening	Elfilter	Elfilter	Elfilter	Elfilter	Elfilter	Elfilter + Skrubber	Elfilter	Elfilter+ kondensor

Avsnittet ger en sammanfattande beskrivning av var och en av de studerade pannorna, med avseende på teknisk utformning, prestanda och bränsle. Övriga insamlade data redovisas i avsnitt 3.

2.1 Gruvön

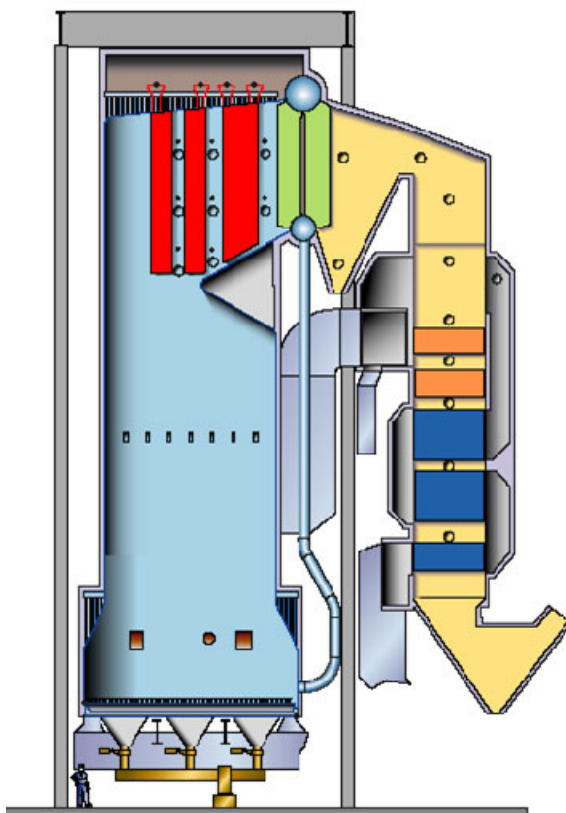
Ursprung och konvertering

Barkpanna P7 vid Gruvöns Bruk är ursprungligen byggd av Ahlström år 1986 som snedrostpanna. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Kvaerner år 2005.

Ångdata för pannan är 480°C, 61 bar. Den maximala effekten är 157 MW, vilket pannan klarar i kombination med olja. Med enbart fastbränsle klarar pannan 118 MW.

Kvaerners ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Utökad bottenarea med fluidrost
- System för hantering av bäddsand respektive aska
- Startoljebrännare
- Barksilo och barkinmatning
- Sekundär- och tertiärluftsystem
- Delning av primäröverhettare med åtta nya skärmar
- Ny sekundäröverhettare
- Utökning till två ekonomisers.
- SNCR-system



Figur 1. Barkpannan vid Gruvöns bruk

Figure 1. Bark boiler at the Gruvön paper mill

Eldstadens botten

Eldstadens botten är konstruerad enligt Kvaerners patenterade princip Hydro-beam, vilket innebär att primärluft tillförs bädden underifrån via vattenkylda luftbalkar, till vilka primärluftsdysor är anslutna. Mängden sand i bädden är cirka 140 ton och den sandkvalitet som används är Baskarp 70. Tidigare har även Baskarp 95 använts. Som skäl till bytet anges önskemål om förbättrad fluidisering och lägre sandkostnad.

Avståndet mellan ovan nämnda luftbalkar är sådant att utmatning av grovt material möjliggörs från olika punkter av rosten via nio stycken askstup. Från askstupen faller utmatat material ned till tre vattenkylda skruvar som matar vidare via en askskrapa och en elevator till en askcontainern. Parallellt finns även ett system för siktnings och återanvändning av en del av bottenaska. Sekvensen för askutmatning kan startas manuellt eller med timerkontroll. Siktningsystemet består av sikt, sandsändare och pneumatisk transport tillbaka till pannan.

Intag av färsksand har tidigare varit styrt av differenstryck över sandbädden, men då upplevdes problem med att tillförseln av ny sand blev för låg. Nu tillförs istället en bestämd mängd sand om cirka sju ton per dygn. Omsättningstid för hela bädden är således cirka tjugo dygn.

Luftsystem

Pannans primärluftstökiometri (design) är 0,59-0,92 i lastintervallet 100 till 50 % dellast på fastbränsle.

Sekundärluftsystemet är utfört med omväxlande stora och små luftportar i ett saxat mönster på front- och bakvägg. Frontväggen har fem stora och fyra små portar. Bakväggen har fyra stora och fem små portar.

Tertiärluftsystemet består av omväxlande stora och små luftportar i ett saxat mönster på höger och vänster sidoväggar. Högerväggen har fyra stora portar och tre små. Vänsterväggen har tre stora portar och fyra små.

Förvärmning av luft sker med hjälp av rökgaser.

Rökgasrecirkulation

För reglering av bäddtemperatur är pannan utrustad med ett system för rökgasrecirkulation. Detta system består av ett avstängningsspjäll, en rökgasåterföringsfläkt och ett ledskenespjäll för reglering av flödet. Rökgasrecirkulationen tas från rökgasfläktens sugsida och den av rökgas ersatta primärluftmängden leds som tilläggsluft till sekundärluften.

Bränsle

Vid Gruvöns Bruk finns två fiberlinjer, en för vardera lövved och barrved, och en betydande andel av bränslet till barkpannan utgörs av egenfallande bark. Barrbarken från det egna renseriet rivs och pressas vintertid. Därtill köps GROT, sågverksbark och nedklassad massaved. Det har även provats att elda stubbar.

Medelfukthalten på barken var 2009 56,6 % med variationer mellan 47-62 %, vilket stämmer väl överens med den av pannleverantören rekommenderade fukthalten, som är 56 %.

I pannan eldas 5-6 ton ts/dygn fiberslam/försediment, vilket motsvarar ca 1 % av ts-mängden till pannan. Fiberslammet är inblandat i fastbränsleströmmen när bränslet når barksilon.

Den olja som eldas är lågsvavlig EO5. Huvudsaklig oljeeldning sker vintertid, då ångbehovet är som störst.

Totalt eldas ca 900 GWh bränsle per år, varav egen bark utgör 78 %, externt fastbränsle 19 % och olja 3 % (ca 3000 m³/år).

Bränslematning

Det bränsle som levereras från renseriet matas in i en barksilo med volymen 120 m³. Denna silo är försedd med en bränslespridare i toppen som fördelar bränslet. I botten av barksilon sitter en roterande utmatningsskruv som matar bränsle ned i en utjämningsficka. Två skruvtransportörer matar sedan bränslet till var sin kedjetransportör. Från varje kedjetransportör matas sedan bränsle via sammanlagt fyra doserskruvar till cellmatade bränslestup på pannans högra respektive vänstra sidovägg. Vid den nedre delen av stupen tillsätts svepluft för att fördela bränslet över bädden.

Styrning av förbränningsluften

Principen för inmatning av bränsle och förbränningsluft är att under en effekttökning sker först ökningen av förbränningsluftmängden. Därefter följer mängden av inmatat bränsle. Vid effektminskning reduceras först börvärdet för mängden av inmatat bränsle. Därefter följer förbränningsluftmängden bränsleinmatningen.

Utsignalen från O₂-regulatorn påverkar börvärdet för både sekundär- och tertiärluftflöden.

SNCR

Pannan är utrustad med ett system för dosering av ammoniaklösning (25 %). Systemet ingick i Kvaerners leverans vid konvertering av pannan till BFB och dess reduktionsgrad för NO_x uppskattas till cirka 30 %.

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärslstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har använts. Materialen i de värmeöverförande tuberna återges i nedanstående tabell.

Tabell 2. Material i panna, Gruvön barkpanna
 Table 2. Tube quality, Gruvön bark boiler

Eldstadsväggar	St 42.8 III
ÖH1A	13CrMo44
ÖH1B	13CrMo44
ÖH2	13CrMo44
Konvektion	St 42.8 III
Eko	15Mo3

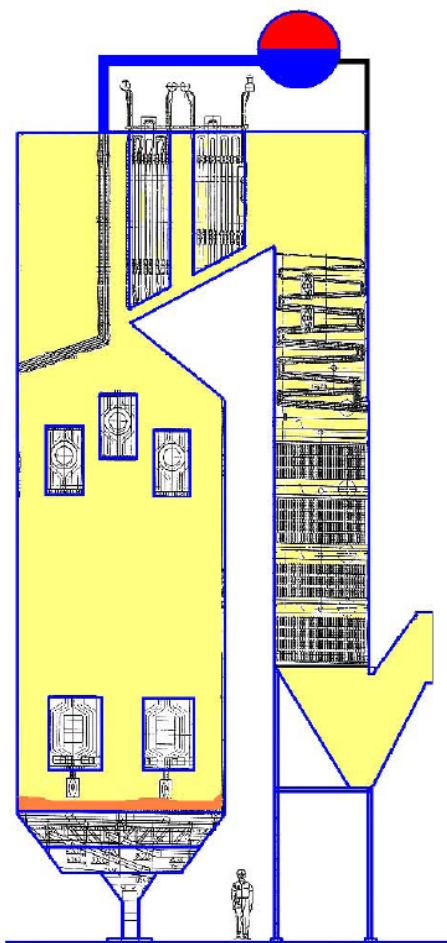
2.2 Husum

Ursprung och konvertering

Barkpanna BP9 vid M-Real Husums Bruk är ursprungligen byggd som fast snedrost i kombination med Kablitz slutförbränningsrost av Svenska Maskinverken år 1975. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Foster Wheeler år 1998. Ångdata för pannan är 420°C, 36 bar, vilket överensstämmer med ursprungliga ångdata. Den maximala effekten är 92 MW vilket pannan klarar med enbart fastbränsle eller i kombination med olja. Med enbart olja klarar pannan 69 MW.

Foster Wheelers ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Ombyggnad av eldstadsbotten till fluidrost
- Ombyggnad eldstaden, breddning och montering av nya näsor
- Vatten-screen-skärm framför överhettare
- Konvektionsparti
- Helt nytt bakre drag
- Ny inredning i befintlig ångdom



Figur 2. Barkpannan vid Husums bruk
 Figure 2. Bark boiler at the Husum paper mill

Eldstadens botten

Eldstaden har en plan botten med Foster Wheelers cylinderdysor för tillförsel av primärluft. Mängden sand i bädden är 30 ton och den kvalitet som används är kvartssand från Pite Havsbad, levererad av BDX. Denna sand skall vara likvärdig med Baskarp 95, vilken användes tidigare. Minskade transporter anges som förklaring till byte av sandleverantör.

Botten har 8 stycken askutmatningar. Utmatningen styrs av slidspjäll med hjälp av tömningstider (1-5 sek) och paustider då spjällen är stängda på mellan 1 tim och 10 timmar. Vid Husums Bruk har det noterats att partiella bäddagglomereringar/sintringar gärna uppstår nära bränsleinmatningen, där det inte finns någon utmaning av material. En sandutmatning som bättre omsätter bäddens hela tvärsnitt tros kunna lösa detta problem.

Utmatad sand och bottenaska vattenbegjuts och förs med en askskrapa till en container. System för sandåterföring finns inte på denna panna.

Intag av färsksand är laststyrd till mellan tre och fem ton per dygn. Omsättningstid för hela bädden är således mellan sex och tio dygn.

Luftsystem

Pannans primärluftstökimetri (design) är 0,41-0,83 i lastintervallet 100 till 50 % dellast på fastbränsle.

Sekundärluft tillförs i två nivåer. Den undre sekundärluften tillförs från front- och bakvägg. Det övre sekundärregistret tillför luft från bakväggen.

Tertiärluft tillförs på frontväggen strax ovan det övre sekundärregistret.

Primärluft förvärms av matarvatten i en matarvattenluftförvärmare.

Rökgasrecirkulation

För reglering av bäddtemperatur är pannan utrustad med ett system för rökgasrecirkulation. Detta system består av ett avstängningsspjäll, en rökgasåterföringsfläkt och ledskenespjäll för reglering av flödet. Rökgasrecirkulationen tas från rökgasfläktens sug sida och tillförs via primärluftsdysor i eldstadens botten. Det finns även möjlighet att tillföra rökgas till det övre sekundärluftregistret, tertiärluften och lastoljebrännarna. Normalt går ingen rökgasrecirkulation till överluftregistren men återcirkulationen används för att minimera läckluftflöde från oanvända oljebrännare när dessa inte används.

Bränsle

Husum har två fiberlinjer, en för vardera lövved och barrved. På barrvedslinjen används cirka 25 % sågverksflis, vilket medför att cirka hälften av fastbränslet är lövvedsbark från i huvudsak björk. Barken från barrvedslinjen pressas.

Bränslets medelfukthalt har det senaste året varit 52,8 %, med variationer mellan 45-59 %. Detta stämmer väl överens med den av pannleverantören rekommenderade fukthalten på 55 %, varierande mellan 50-60 %. Normalt är bränslet cirka 2 % -enheter blötare vintertid än sommartid.

I pannan eldas fiberslam som härrör från både massatillverkning och pappersmaskin i mängder om cirka 25-30 ton/dygn, (max 50 ton/dygn). Fiberslammet innehåller även en del fyllmedel och tillförs barken efter barksilon.

Den olja som eldas är EO5.

Totalt eldas ca 650 GWh bränsle i pannan, varav fastbränslet utgör 98 %. Oljeeldningen utgör ca 2 % (ca 1000 m³/år).

Bränslematning

Från renseriet kommer bränsle på ett transportband till en bränslesilo med volymen 250 m³. Bränslet matas ut ur silon med två stycken stångutmatare ned i var sitt bränslestup som via var sin matningsskruv fyller två mindre barkfickor om 4,5 m³

vardera. Två skruvar på var sida matar via slussmatare ned bränslet i fyra stycken bränslestup. Spridningen av bränslet över bädden sker med blåsbord som installerats i av Vattenfall efter pannans konvertering till BFB.

Styrning av förbränningsluften

Laständringar görs så att när lastregleringen kräver höjd effekt sker först en ökning av förbränningsluften som sedan följs av en ökad inmatning av bränsle. Vid effektminskning reduceras först börvärdet för mängden inmatat bränsle. Därefter reduceras mängden tillförd förbränningsluft. O₂-regulatorn påverkar sekundärluftflödet och kan antingen ges ett internt fast börvärde eller styras externt av ett kaskadbörvärde, som styrs av lasten och bränslemängden.

SNCR

Pannan är utrustad med ett system för dosering av ammoniumsulfat. Detta används dock inte, då ingen märkbar minskning av NO_x-utsläpp konstaterats när systemet varit i drift. Även dosering av urea har provats utan önskad framgång.

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärlsstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har nyttjats. Materialen i de värmeöverförande tuberna återges i nedanstående tabell.

Tabell 3. Material i panna, Husum barkpanna

Table 3. Tube quality, Husum bark boiler

Eldstadsväggar	St35.8/III
ÖH1	13CrMo44
ÖH2	13CrMo44
Konvektion	St35.8/III
Eko	St35.8/III

2.3 Karlsborg

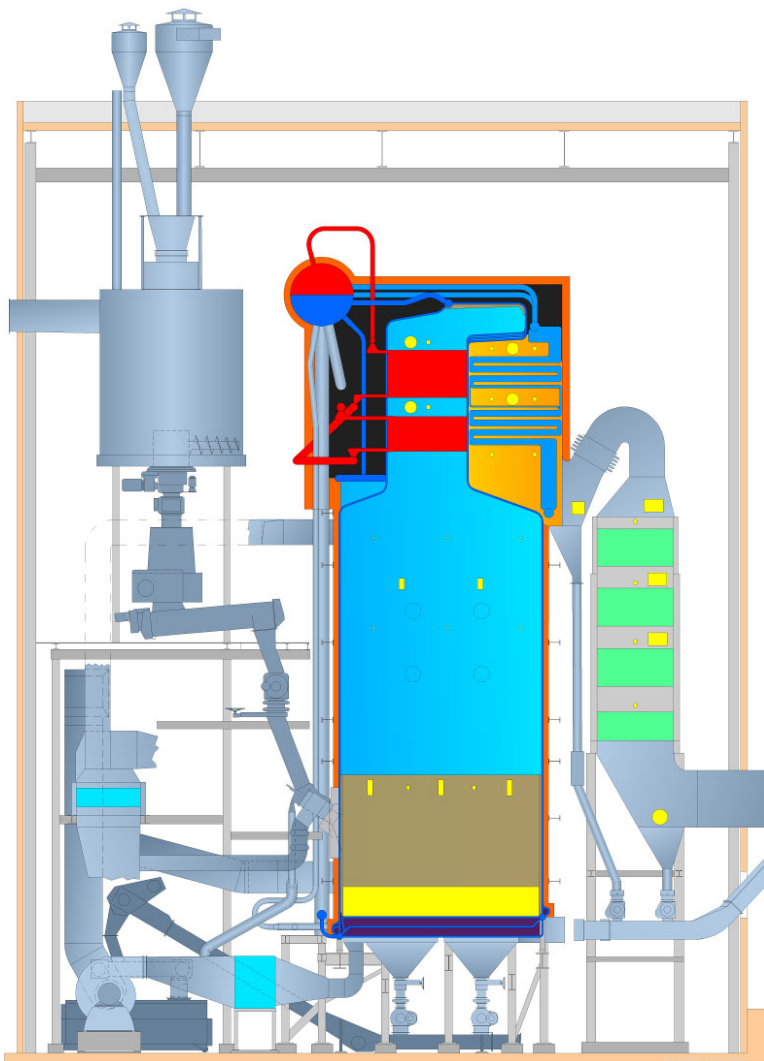
Ursprung och konvertering

Barkpannan vid Billerud Karlsborg är ursprungligen en fast tubrost med en rörlig Kablitz slutförbränningsrost byggd av Götaverken år 1980. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Kvaerner år 2005.

Ångdata för pannan är 450°C, 60 bar. Max effekt med enbart fastbränsle är ca 60 MW och pannan klarar 101 MW enbart med olja.

Metsos ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Ombyggnad av eldstadsbotten till fluidrost
- Ombyggnad av eldstad med ny front- och bakvägg
- Ombyggnad av tryckkärl
- Stålrörsekonomiser
- Öppningar i sidoväggar för sekundär- och tertiärluft samt ammoniakinsprutning.
- Startoljebrännare
- Asksystem
- Pannsilo samt nya bränsletransportörer in till pannan.



Figur 3. Barkpannan vid Karlsborg

Figure 3. Bark boiler at Karlsborg paper mill

Eldstadens botten

Eldstadens botten är konstruerad enligt Kvaerners patenterade princip Hydro beam, vilket innebär att primärluft tillförs bädden underifrån via vattenkylda luftbalkar, till vilka primärluftsdysor är anslutna. Mängden sand i bädden är cirka 60 ton och den sandkvalitet som används är kvartsand (0,7 mm) som köps från Fescon OY i Finland.

Karlsborg bedömer behovet av sandbyte i bädden genom sållning av bottenaska. En så kallad sintringskvot beräknas. Sintringskvoten definieras som massandelen bäddmaterial > 1,6 mm efter att metall sten och grus >5 mm har tagits bort. Sintringskvoten skall normalt vara < 15 %. Utmatning av sand ur bädden styrs genom tidsstyrning och då sintringskvoten stiger ökas utmatningen.

Den sandsilo om 40 m³ som hör till pannan fylls på 29 gånger per år. Tillsammans med en densitet för sand om 1450 kg/m³ ger detta en förbrukning av sand på cirka 3,6 ton per dygn. Pannan är inte utrustad med sandåterföring.

Luftsystem

Primärluftstökiometrin är 0,56–1,22 i lastintervallet 100 till 40 % dellast fastbränsle.

Sekundärluftsystemet består av fem motstående portar på vardera sidoväggen med omväxlande större och mindre diameter, vilket ger saxade luftstrålar.

Tertiärluftdysorna, även de på sidoväggarna, sitter i ett saxat mönster om två respektive tre lika stora luftportar.

Primärluft förvärms i en domvattenförvärmare medan sekundär- och tertiärluft förvärms i en matarvattenförvärmare.

Rökgasrecirkulation

För reglering av bäddtemperatur är pannan utrustad med ett system för rökgasrecirkulation. Rökgaserna tas från rökgasfläktens trycksida och leds till primärluftfläktens sug sida utan någon separat rökgasåterföringsfläkt. Då bäddtemperaturen stiger öppnar rökgasåterföringsspjället samtidigt som primärluftspjället stänger. Den av rökgas ersatta primärluftmängden tillförs istället sekundärluftsregistret.

Bränsle

Karlsborg har en massalinje som i huvudsak producerar barrvedsmassa av tall och gran samt sågverksflis (ca 20 %). Därtill görs två kortare lövvedskampanjer varje månad i samband med produktion av bestruket papper. Lövvedsförbrukningen motsvarar dock endast 2-3 % av den totala vedförbrukningen. Den internt fallande barken är därför helt dominerad av barrbark. Renserbarken pressas i en trumpress.

Förutom internt fallande bark köps bark, GROT och nedklassad lövved som flisas för energiändamål.

Medelfukthalten är 55,9 % och varierar mellan 49-60 %. Detta stämmer väl överens med det av pannleverantören rekommenderade bränslet, som är bark med en fukthalt

mellan 56-62 % och med ett medelvärde på 58 %. Utöver bark är pannan utlagd för en tillförsel av 900 kg fiberslam per timme, med en fukthalt på 62 %.

I pannan eldas fiberslam från försedimenteringen i mängder om cirka 3 ton ts/dygn. Dessutom eldas ca 3 ton/dygn briketter av pappersrejekt. Ur torrsustans- och energisynpunkt är dock fiberslammet och rejektbriketterna av liten betydelse för den totala bränsleblandningens sammansättning.

Oljeeldningen sker främst under vintermånaderna och då används den fossila eldningsoljan EO6.

Totalt eldas ca 300 GWh bränsle/år varav internt bränsle 70 %, externt fastbränsle 22 % och olja 8 % (2400 m³/år).

Bränsleinmatning

Anläggningen är försedd med en 80 m³ stor silo. Från denna silo matas bränslet med en roterande bottenskruv ned i en utjämningsficka. Bränslet förs sedan vidare via två inmatarskruvar med överföringsskruvar till två bränslestup på frontväggen in i pannan. Bränslespridningen över sandbädden sker med hjälp av blåsbord.

Styrning av förbränningsluften

När lastregleringen kräver höjd effekt sker först en ökning av förbränningsluften som sedan följs av en ökad inmatning av bränsle. Vid effektminskning reduceras först börvärdet för mängden inmatat bränsle. Därefter följer förbränningsluftmängden efter.

SNCR

Pannan är utrustad med ett system för dosering av ammoniaklösning (25 %). Systemet ingick i Kvaerners leverans vid konvertering av pannan till BFB och dess reduktionsgrad för NO_x uppskattas till mellan 25 och 50 %.

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärlsstål och inga material med större korrosionshårdighet har nyttjats. Material i värmeöverförande tuberna visas i Tabell 4.

Tabell 4. Material i panna, Karlsborg barkpanna

Table 4. Tube quality, Karlsborg bark boiler

Eldstadsväggar	St35.8/II
ÖH1	13CrMo44
ÖH2	13CrMo44 och 10CrMo910
Konvektion	St35.8/II
Eko	St35.8/II

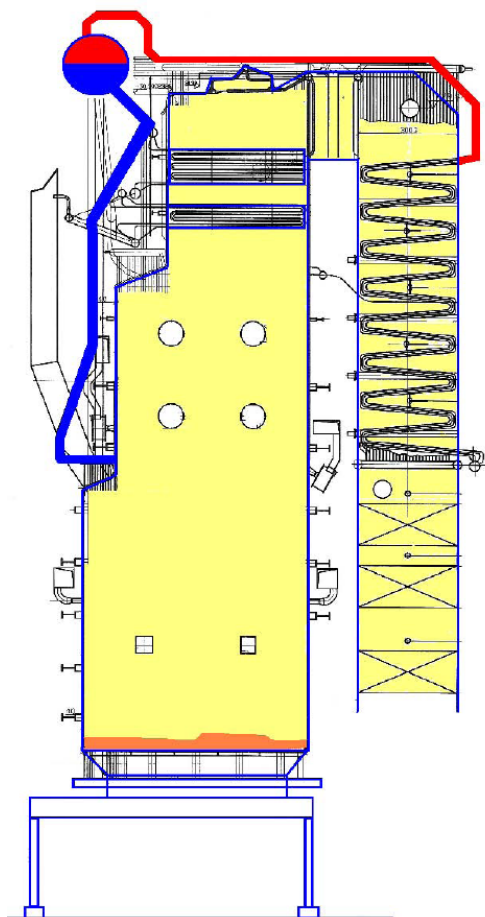
2.4 Mönsterås

Ursprung och konvertering

Barkpanna ÅP5 på Södra Cell Mönsterås är ursprungligen byggd av Svenska Maskinverken. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Foster Wheeler år 2000. Ångdata för pannan är 480°C, 61 bar. Den maximala effekten är 104 MW, vilket pannan klarar i kombination med olja. Med enbart fastbränsle klarar pannan 70 MW.

Foster Wheelers ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Ombyggnad av eldstadsbotten till fluidrost
- Till stora delar nya eldstadsväggar
- Konvektionsparti
- Bränslesystem
- Sand- och asksystem



Figur 4. Barkpannan vid Mönsterås

Figure 4. Bark boiler at Mönsterås paper mill

Eldstadens botten

Eldstadens botten är utrustad med ca 2000 cylinderdysor. Mängden sand i bädden är cirka 25 ton och den kvalitet som används är Baskarp 95. Under en kortare period har den något finare kvaliteten Baskarp 70 provats, då upplevdes dock en något förhöjd temperatur i bädden.

Bottenaskan tas ut genom sju stycken askstup via pneumatiska skjutspjäll till en vattenkyld skraptransportör. Till samma skraptransportör matas också flygaska från grovavskiljaren.

Sandbädden omsätts cirka två gånger per vecka. Pannan är inte utrustad med system för sandåterföring.

Luftsystem

Sekundärluft tillförs i två nivåer. Den undre sekundärluften tillförs från front- och bakvägg. Det övre sekundärregistret tillför luft från bakväggen.

Tertiärluft tillförs på frontväggen strax ovan det övre sekundärregistret.

Primärluft förvärms i en matarvattenluftförvärmare.

Rökgasrecirkulation

Rökgasåterföringen tas numer från rökgasfläktens trycksida. Ursprungligen togs rökgasrecirkulationsflödet från rökgasfläktens sugside, men rökgasåterföringskapaciteten blev otillräcklig och svårstyrd. Återföringen tillförs på primärluftfläktens sugside. Det finns också möjlighet att tillföra rökgas till lastoljebrännarna samt övre sekundär- och tertiärluftregistret, på liknande sätt som i Husum.

Bränsle

Mönsterås har en fiberlinje, där det i huvudsak produceras barrvedsmassa med kortare lövvedskampanjer. Mönsterås har också tillverkning av barkpellets och har möjlighet att elda barkpulver i mesaugnen. Sammantaget medför detta att det internt fallande bränslet i huvudsak utgörs av barrbark. Den internt fallande barken pressas.

Utöver internt fallande bark köps barrbark och torrflis från det närliggande sågverket. Anläggningen är samtidigt nettoförsäljare av fastbränsle.

Medelfukthalten på bränslet är 56,9 % med variationer mellan 38 och 71 %. Det av pannleverantören angivna designbränslet är bark med en fukthalt mellan 50-60 % med ett medelvärde på 60 %.

I barkpannan eldas 23 ton ts/dygn bioslam, 9 ton ts/dygn processlam och 14 ton ts/dygn fiberslam. Allt slam som eldas i pannan pressas och tillförs via ordinarie bränsleskruvar.

Den olja som eldas är EO3. Oljeeldningen är ganska jämnt fördelad över året och är främst kopplad till produktionsstörningar i massatillverkningens kemikalieåtervinningsprocess.

Totalt eldas 548 GWh bränsle per år, varav internt fastbränsle utgör 78 %, externt fastbränsle 13 %, slam 4 % och olja 5 % (ca 2500 m³/år).

Bränsleinmatning

Bränslet matas från en stokermatad barksilo med volymen 270 m³. Två skruvtransportörer transporterar det vidare till var sin mindre bränsleficka. Från de två bränslefickorna matar sammanlagt fyra skruvtransportörer till fyra cellmatade bränslestup som mynnar igenom eldstadens sidoväggar och sprider bränslet med hjälp av luft.

Styrning av förbränningsluften

Lastregleringen har ”lead/lag”-funktion för tillförsel av luft och bränsle. Med detta menas att utgående från en pådragssignal styrs luftmängden av ett maxurval av verklig bränslemängd, medan bränslemängden styrs av ett minurval med verklig luftmängd. Detta resulterar i att vid pådragshöjning kommer luften att öka först och bränslet kan öka sedan när tillräcklig luftmängd finns. Vid en pådragsminskning minskar först bränslemängden och därefter luften.

SNCR

Pannan är utrustad med ett egenkonstruerat system för dosering av urea (30 %). Dess reduktionsgrad för NO_x uppskattas till mellan 10 och 30 %.

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärlsstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har nyttjats. Materialen i de värmeöverförande tuberna återges i nedanstående tabell.

Tabell 5. Material i panna, Mönsterås massabruk
Table 5. Tube quality, Mönsterås pulp mill

Eldstadsväggar	St45.8/III
ÖH1	15Mo3 och 13CrMo44
ÖH2	13CrMo44 och 10CrMo910
Konvektion	St45.8/III
Eko	St35.8

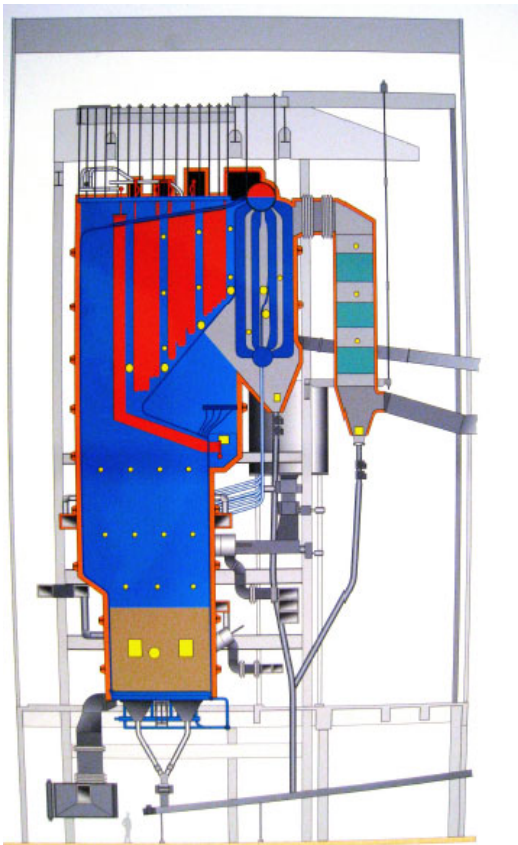
2.5 Mörrum

Ursprung och konvertering

Barkpanna ÅP3 vid Södra Cell Mörrum är ursprungligen byggd som en sodapanna av Götaverken år 1970. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Kvaerner år 2004. Ångdata för pannan är 450°C, 58 bar. Den maximala effekten är 80 MW med enbart fastbränsle och 100 MW i kombination med olja. Ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Ombyggnad av eldstadsbotten till fluidrost
- Ombyggnad av nedre delen av eldstaden
- Modifiering av vattenscreen.
- Nytt ekotorn bestående av tre ekopaket
- Inre bränslesystem
- Ask- och sandsystem
- Ombyggnad av elfilter, fläktar och rökgaskanaler

Av det ursprungliga tryckkärlet återstår överhettare, tubsats inklusive vattendom och ångdom samt den övre delen av eldstadsväggarna.



Figur 5. Barkpannan vid Mörrum

Figure 5. Bark boiler at Mörrum paper mill

Eldstadens botten

Eldstadens botten är konstruerad enligt Kvaerners patenterade princip Hydro beam, vilket innebär att primärluft tillförs bädden underifrån via vattenkylda luftbalkar, till vilka primärluftsdysor är svetsade. Mängden sand i bädden är cirka 70 ton och den sandkvalitet som används är Baskarp 95. Även Baskarp 70 har provats, vilket inte gav någon märkbar skillnad.

Hydro beam-botten har sex stycken askfickor som via pneumatiska skjutspjäll styr utmatningen av material ned till en vattenkyld kedjetransportör. Tömning styrs antingen på mängd aska, slam, eller ångproduktion, fyllning påbörjas strax efter genomförd tömning. En formel baserad på flöde, tryck och temperatur beräknar sandbäddens tjocklek.

Omsättningen av bäddsand uppges till cirka 40 ton per 10 dygn. Pannan är inte utrustad med sandåterföring.

Luftsystem

Primärluft värms med hjälp av en domvattenförvärmare.

Sekundärluft tillförs på pannans front- och bakvägg i förskjutet mönster med sex dysor på frontväggen och fem dysor på bakväggen.

Tertiärluft tillförs på tillförs på front- och bakvägg genom sex motstående dysor på vardera väggen. Sekundär- och tertiärluftportarna är utrustade med motviktsspjäll för konstanthållning av lutstrålarnas hastighet.

Rökgasrecirkulation

Pannan är försedd med ett system för rökgasrecirkulation. Det återförda rökgasflödet tas efter rökgasfläkten och regleras med spjäll på återföringskanalen som ansluter till primärluftkanalens sug sida. Pannan saknar separat rökgasåterföringsfläkt. Rökgas kan även tillföras sekundärluftfläkten som förser sekundär- och tertiärluftregister samt lastoljebrännare med luft.

Bränsle

Mörum har två fiberlinjer. Vid den ena produceras endast barrvedsmassa från gran och tall och vid den andra produceras barrvedsmassa, men med lövvedskampanjer. Vid tillverkningen av barrmassa används 50 % sågverksflis. Detta medför att andelen lövbark varierar över tid. Barrbarken pressas i syfte att på mekanisk väg sänka dess fukthalt, men resultatet uppges vara tveksamt. Fukthalten på det internt fallande bränslet mäts inte.

Pannan är konstruerad för att elda bark med en fukthalt mellan 40-70 % med ett medelvärde på 60 %.

Utöver internt fallande bark köps trären returträflis, stamvedsflis, salix och bark.

I pannan eldas även fiberslam i mängder om cirka 2 ton ts/dygn som blandas med fastbränslet innan det kommer till barksilon. Tidigare har även bioslam eldats, som då sprutades in i eldstaden.

Den olja som används är EO3.

Totalt eldas ca 350 GWh bränsle per år, varav internt fastbränsle 80 %, externt fastbränsle 18 % och olja 2 % (700 m³/år).

Bränsleinmatning

Bränsle från den yttre bränslehanteringen levereras först till en bränslesilo med volymen 50 m³. Bränslesilon töms av en roterande centrumutmatande skruv ned till en kedjetransportör. Bränsleinmatningen till pannan kan arbeta som ensidig eller tvåsidig. Pannan har två cellmatade bränslestup på vardera sidoväggen (fyra stycken totalt). Bränslestupen är försedda med blåsbord.

Laststyrning

Lastregleringen har ”lead/lag”-funktion, där mängden tillförd luft och bränsle styrs av en pådragssignal och där det skall säkerställas att en tillräcklig luftmängd alltid tillförs.

SNCR

Denna panna är inte utrustad med SNCR-system.

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärlsstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har nyttjas. Materialen i de värmeöverförande tuberna återges i nedanstående tabell.

Tabell 6. Material i panna, Mörrum barkpanna

Table 6. Tube quality, Mörrum bark boiler

Eldstadsväggar	St.35.8/II St.45.8/III
Ångscreen	13CrMo44
ÖH	13CrMo44
Konvektion	St 35.8 II
Eko	St.45.8/III

2.6 Nymölla

Ursprung och konvertering

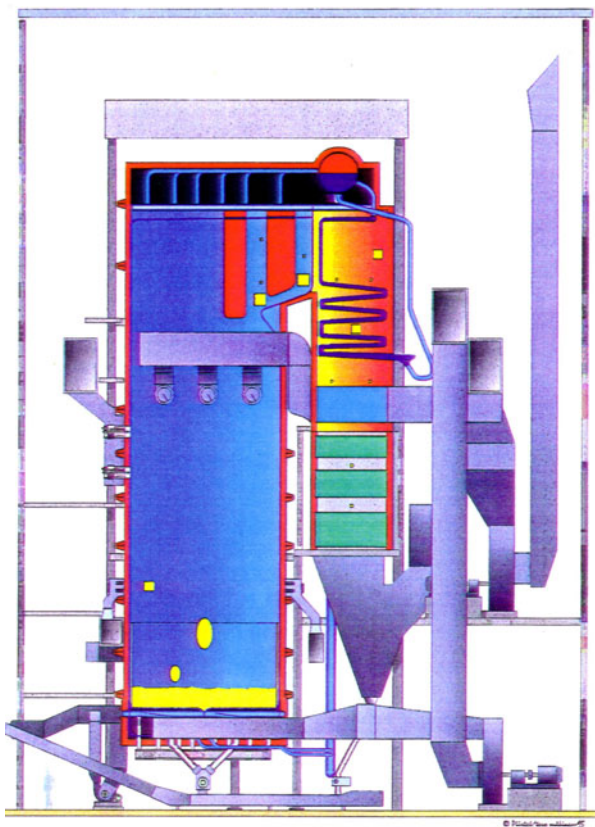
Barkpanna SMV2 på Stora Enso Nymölla är ursprungligen byggd av Svenska Maskinverken år 1972, utrustad med två stycken axon-ugnar med en efterföljande avgaspanna. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Tampella (numera Metso Power) år 1995.

Ångdata för pannan är 475°C, 60 bar. Pannan producerar upp till 60 MW från enbart fastbränsle och upp till 103 MW med olja/gasol i kombination med fastbränsle.

Tampellas ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Ombyggnad av eldstadsbotten till fluidrost
- Ombyggnad av eldstadsväggarnas nedre parti
- Ombyggnad av bakre drag
- Ombyggnad av rök-gaskanal

Av den ursprungliga pannan behölls dom, överhettare, ångkylning, upphängning för panna samt eldstadsväggar från övre delen av eldstaden. Erosion från sanden i den nya BFB-pannan slet hårt på stag till de hängande överhettarna. Nya överhettare installerades år 2002.



Figur 6. Barkpannan vid Nymölla

Figure 6. Bark boiler at Nymölla

Eldstadens botten

Pannans botten är utrustad med ca 1300 dysor för tillförsel av primärluft. Hattarna till de dysor som installerades vid konvertering till BFB-teknik hade en tendens att lossna. De byttes därför ut mot ny konstruktion år 2003-2004.

Bottnen har sex stycken utmatningsstup som mynnar ned till en vattenkyld askskruv som i sin tur matar ett skrapverk.

Mängden sand i bädden är cirka 40 ton och sedan år 2007 används Silversand 90 från Bornholm. Innan dess användes Baskarp 95. Som skäl till bytet anges rekommendation av sandleverantören.

Intag av färsksand kan styras via differenstryck över sandbädden, denna möjlighet används dock inte. Tömning och fyllning av ny sand sker istället genom visuell kontroll med hjälp av nivåmätare som installerats i bädden.

Omsättningen av sand i bädden är cirka 6 ton per dygn, vilket ger en omsättning av bädden per vecka. Pannan är utrustad med en egenkonstruerad sandåterföring, men denna används för närvarande inte.

Luftsystem

Pannan är utlagd för att klara en luftfaktor på 1,25 mellan 70-100 % nominell fastbränslelast.

Sekundärluft tillförs på front- och bakvägg genom fem luftportar i saxat mönster om tre respektive två portar.

Tertiärluft tillförs i fem luftportar på sidoväggarna i saxat mönster om två respektive tre portar.

Primärluft värms med matarvatten i två steg, före och efter eko 1.

Sekundär- och tertiärluft värms först med lågtrycksånga och sedan i rökgas-luftförvärmare.

Rökgasrecirkulation

För reglering av bäddtemperatur är pannan utrustad med ett system för rökgasrecirkulation. Rökgasåterföring tas från rökgasfläktens trycksida men drivs av en separat återföringsfläkt och tillförs via primärluftdysorna i eldstadens botten.

Bränsle

Stora Enso Nymölla har två fiberlinjer där barrmassa produceras på den ena och lövmassa på den andra. I Nymölla tillverkas kemisk sulfitmassa med magnefitprocessen, som är en sur delignifieringsprocess med magnesium som bas.

Det huvudsakliga bränslet består av egenfallande bark från renseriet. En del fastbränsle köps också in bl.a. bark och stamvedsflis. Huvuddelen av den egna barken pressas men vid vissa driftfall i renseriet har barkpressarna för låg kapacitet för att ta hand om hela barkflödet.

Genomsnittlig fukthalt på fastbränslet år 2009 var 58,3 % med en variation mellan 56 och 62 %, vilket stämmer väl överens med det av pannleverantören rekommenderade fukthalten, som är 58 %.

Pannan används även för att elda kvistrejekt¹ från massaproduktionen, bioslam och fiberslam från avloppsvattenreningen samt så kallat ultrafiltreringskoncentrat (UF-koncentrat)².

Som stödbränsle vid höga lastbehov eldas olja EO6 och gasol (LPG) i lastbrännare.

Totalt eldas ca 480 GWh bränsle per år fördelat på 34 % internt fastbränsle, 30 % externt fastbränsle, 17 % slam och ultrafiltrat, 5 % olja (1800 m³) och 13 % gasol (4400 ton).

Bränsleinmatning

Bränsle från renseriet kan antingen matas via en yttre barkficka (normalfallet) eller direkt till inmatningsficka (reservalternativ, men ger ojämn matning). Från botten av inmatningsfickan matas bränslet ned i två slussmatade bränslestup som matar in bränslet genom två stup på pannans högra sidovägg. Stupen är försedda med blåsbord.

Fiber- och bioslam blandas med fastbränsle innan barksilo, medan ultrafiltrat sprayas in i eldstaden ovan bädden.

Styrning av förbränningsluften

Primär- sekundär och tertiärluftflöde styrs med hjälp av ett beräknat grundvärde för varje given barkångsmängd. Luftflödena kan påverkas via kvoter. Pannans effekt styrs manuellt efter ångbehovet i fabriken. Genom att reglera tillförseln av fastbränsle till eldstaden regleras effekten från BFB-förbränningen.

SNCR

Pannan utrustad med ett egenkonstruerat system för dosering av urealösning (35 %). Dess reduktionsgrad för NO_x uppskattas till 30-35%.

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärilstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har nyttjats. Materialen i de värmeöverförande tuberna återges i nedanstående tabell.

¹ Kvistrejekt består av okokt flis och innehåller mycket magnesium och svavel på grund av att Nymölla har en magnefitprocess.

² UF-koncentrat är uppkoncentrerat blekerivattenavloppsvatten med högt COD-innehåll. UF-koncentratet är rikt på natrium.

Tabell 7. Material i panna, Nymölla barkpanna
 Table 7. Tube quality, Nymölla bark boiler

Eldstadsväggar	St35.8
ÖH1	St35.8 och 13CrMo44
ÖH2	10CrMo910
Konvektion	St35.8
Eko	St35.8

2.7 Skoghall

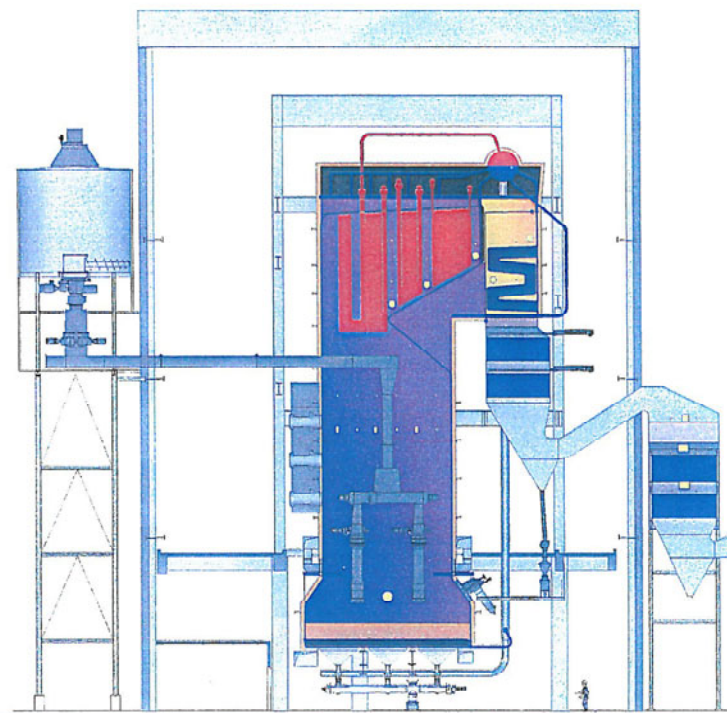
Ursprung och konvertering

Barkpanna P11 på Stora Enso Skoghalls Bruk är ursprungligen en oljepanna byggd av Svenska Maskinverken år 1977. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Kvaerner år 2006.

Ångdata för pannan är 500°C, 100 bar. Pannan har en fastbränslekapacitet på 119 MW. Med fastbränsle i kombination med olja kan pannan producera 157 MW och enbart med olja 214 MW.

Kvaerners ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Ombyggnad av eldstadsbotten till fluidrost
- Ombyggnad av nedre eldstad
- Ombyggnad av andra draget
- Ombyggnad av luftsystem
- Ombyggnad av rökgaskanal
- Installation av elfilter
- Bränslesystem för fastbränsle
- Sandsystem och asksystem
- SNCR-system
- SCR-slipkatalysator



Figur 7. Barkpannan vid Skoghall

Figure 7. Bark boiler at the Skoghall paper mill

Eldstadens botten

Eldstadens botten är konstruerad enligt Kvaerners patenterade princip Hydro beam, vilket innebär att primärluft tillförs bädden underifrån via vattenkylda luftbalkar, till vilka primärluftsdysor är anslutna. Mängden sand i bädden är 90 ton och den kvalitet som används är Baskarp 55. Tidigare har Baskarp 75 använts. Som skäl till bytet anges att den finare sanden upplevs ge minskade problem med sintring och agglomerering.

Avståndet mellan ovan nämnda luftbalkar är sådant att utmatning av grovt material möjliggörs från olika punkter av rosten via nio stycken askstup som mynnar till tre stycken vattenkylda skruvtransportörer. Från de vattenkylda skruvtransportörerna faller det utmatade materialet till en kedjetransportör och sedan till en elevator för vidaretransport till en sluten container.

Skoghall tillämpar en metod för att bedöma behovet av sandsammansättning som innebär att bäddprover tas ut och siktas i tre storleksfraktioner (>8 mm, 1-8 mm och <1 mm). När storleksfraktionen 1-8 mm ökar på bekostnad av finfraktionen < 1 mm ökas sandutmatningen.

Omsättningen av sand i bädden är cirka 20 ton per dygn, vilket medför att bädden omsätts ungefär en gång var femte dygn.

Pannan är utrustad med sandåterföring. Denna används dock inte.

Luftsystem

Pannan är utlagd för en luftfaktor på 1,3 från 50-100 % nominell fastbränslelast.

Primärluften förvärms till drygt 130°C i en matarvattenförvärmare, medan sekundär- och tertiärluft inte förvärms.

Sekundärluft tillförs eldstaden genom vardera sex dysor på front- och bakvägg, medan tertiärluften tillförs på sidoväggarna. Sekundär- och tertiärluftdysorna är arrangerade så att varannan dysa har mindre diameter och så att en dysa med liten diameter har en motstående dysa av större diameter. På detta sätt erhålls ett saxat inblandningsmönster.

Rökgasrecirkulation

För reglering av bäddtemperatur är pannan utrustad med ett system för rökgasrecirkulation.

Rökgasåterföringen tas från rökgasfläktens trycksida och leds till primärluftfläktens sug sida. Den av rökgas ersatta primärluftsmängden leds som tilläggsluft till sekundärluftsregistret.

Bränsle

Vid Stora Enso Skoghalls Bruk Skoghall tillverkas endast barrvedsmassa. Lövvedsmassa köps in externt. Det bränsle som eldas i pannan är till största delen externt, främst GROT. Egen barrvedsbark utgör en lägre andel av bränslemixen än det externa bränslet. Den interna barken pressas.

Pannan är byggd för en bränslemix bestående av barrbark, spån, GROT, sågverksavfall, fiberslam samt kemslam som är en blandning av bioslam och kemiskt fällningsslam.

I pannan eldas drygt 30 ton ts/dygn fiberslam och knappt 30 ton ts/dygn kemslam. Slammet mellanlagras i en ficka och utmatas sedan på toppen av den transportrem som löper mellan externt bränslelager och panna.

Den genomsnittliga fukthalten under år 2009 och 2010 på bränslemixen är 54,7 % med variationer på månadsbasis mellan 47-60 %. Den av pannleverantören rekommenderade fukthalten är 54 % med variationer mellan 50-60 %.

Den olja som eldas är EO3.

Totalt eldas i BFB-pannan cirka 680 GWh bränsle per år, varav internt biobränsle 31 %, externt fastbränsle 64 % samt olja 5 % (ca 3000 m³/år).

Bränsleinmatning

Det inre bränslesystemet innehåller en bränslesilo med volymen 250 m³. I botten av denna silo sitter en roterande utmatningsskruv som via överföringsskruvar fördelar ut bränslet till två kedjetransportörer. Från vardera kedjetransportören faller bränslet ned till en utjämningsficka på vardera sidan av pannan. Via doseringsskruvar faller bränslet ned i två slussmatade bränslestup på pannans sidoväggar.

Styrning av förbränningsluften

Principen för inmatning av bränsle och förbränningsluft är att under en effektökning sker först ökningen av förbränningsluftmängden. Därefter följer mängden av inmatat

bränsle. Vid effektminskning reduceras först börvärdet för mängden av inmatat bränsle. Därefter följer förbränningsluftmängden bränsleinmatningen.

SNCR

Pannan är utrustad med ett system för dosering av ammoniaklösning (25 %). Systemet ingick i Kvaerners leverans vid konvertering av pannan till BFB.

Pannan är även utrustad med en slipkatalysator av typ SCR. Reduktionsgraden för NO_x uppskattas till 50% med både SNCR och SCR idrift. (Om kombinerad SNCR och SCR går att läsa i Värmeforskrapport 699).

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärlsstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har nyttjas. Materialen i de värmeöverförande tuberna återges i nedanstående tabell.

Tabell 8. Material i panna, Skoghall
Table 8. Tube quality, Skoghall bark boiler

Eldstadsväggar	St45.8/III
ÖH1	10CrMo910 och SIS2203
ÖH2	13CrMo44 och 10CrMo910
ÖH3	10CrMo910
Konvektion	St45.8/III
Eko	St45.8/III

2.8 Skärblacka

Ursprung och konvertering

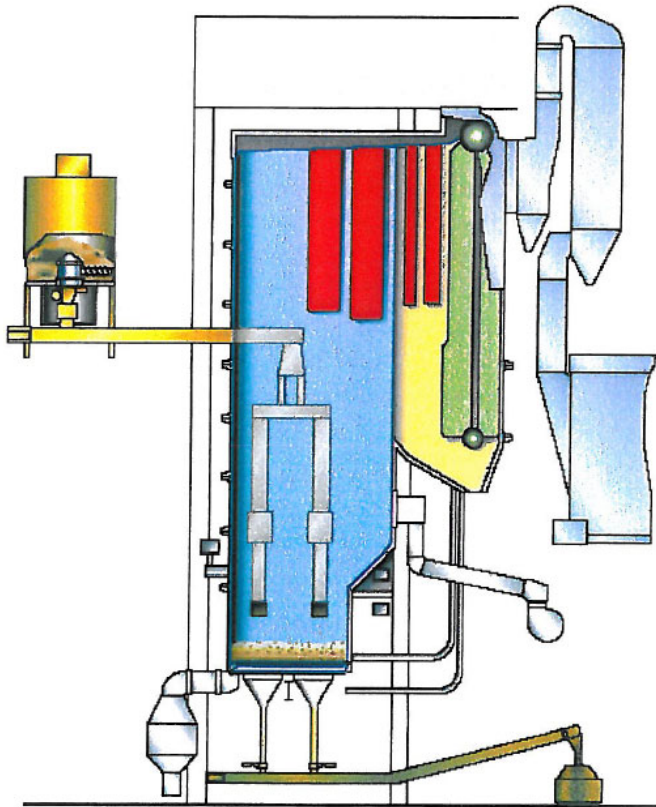
Barkpannan vid Billerud Skärblacka Bruk är ursprungligen byggd av JMW år 1962 som sodapanna. År 1974 byggdes pannan om till oljepanna och 1977 byggdes pannan om till barkpanna av Svenska Maskinverken. Konvertering till BFB-teknik genomfördes av Kvaerner år 2005.

Ångdata för pannan är 450°C, 60 bar. Pannan producerar 77 MW från fastbränsle och 108 MW i kombinationseldning med fastbränsle och olja.

Kvaerners ombyggnad omfattade i huvudsak:

- Ombyggnad av eldstadsbotten till fluidrost
- Ombyggnad av nedre eldstad

Av den gamla barkpannan återstår dom, överhettare, konvektionsparti samt delar av eldstadsväggar.



Figur 8. Barkpannan vid Skärblacka

Figure 8. The bark boiler at Skärblacka

Eldstadens botten

Eldstadens botten är konstruerad enligt Kvaerners patenterade princip Hydro beam, vilket innebär att primärluft tillförs bädden underifrån via vattenkylda luftbalkar, till vilka primärluftsdysor är anslutna. Mängden sand i bädden är cirka 80 ton och den kvalitet som används är Baskarp 95.

Avståndet mellan ovan nämnda luftbalkar är sådant att utmatning av grovt material möjliggörs från olika punkter av rosten via fyra stycken askfickor som öppnas med pneumatiska spjäll. Askstupen mynnar ut i en vattenkyld kedjetransportör varifrån matning kan ske antingen direkt ut till askcontainern via en askskruv eller ett sandåterföringssystem med en roterande sandsikt och pneumatisk transport av retursand till pannan.

Tillförseln av färsk bäddsand är cirka 1,5 ton per dygn, vilket ger en total omsättningstid för hela bädden på ungefär 50 dygn.

Luftsystem

Sekundärluft tillförs på front och bakvägg genom sju motstående luftportar på vardera vägg. Varannan port har stor dysarea och en stor port motsvaras av en liten port på motstående vägg. På detta sätt skapas ett saxat strömningsmönster. Tertiärluft tillförs på sidoväggarna genom sju motstående luftportar på vardera vägg på ett likartat vis som på sekundärnivån.

Primärluft förvärms med hjälp av en matarvattenluftförvärmare. Sekundär- och tertiärluft förvärms inte.

Rökgasrecirkulation

Rökgasreningen har två parallella elektrofilter med var sin rökgasfläkt. Rökgasåterföringen leds från rökgasfläktarnas trycksida till primärluftfläktens sugside med hjälp av en rökgasrecirkulationsfläkt.

Bränsle

Skärblacka har två massalinjer. På ena linjen, med kontinuerligt kokeri, produceras barrmassa och på batchkokeriet går löv- respektive barrved i kampanjer. Lövvedsbark faller därför intermittent. All intern bark pressas. Utöver intern bark eldas externt inköpt bark, torrflis, sågspån, GROT och stamvedsflis.

Den genomsnittliga fukthalten var 2009 52,6 % med månatliga variationer mellan 46-55 %.

Pannan eldar 57 ton ts/dygn fiberslam och ca 5 ton ts/dygn bioslam. Fiberslammet och bioslammet tillförs till pannan med fastbränslet inblandat innan barksilon.

Den olja som används är EO5 samt tallbecksolja.

Totalt eldas cirka 590 GWh bränsle per år, fördelat på 47 % internt bränsle, 44 % externt fastbränsle, 4 % eldningsolja (2301 m³) och 5 % tallbeckolja (3086 m³).

Bränsleinmatning

Biobränsle- och sandsystemet är levererat av Raumaster. Bränslet från renseriet matas in i två stycken likadana silor med volymen 88 m³. I botten av de två silorna sitter roterande utmatningsskruvar som matar var sin skruvtransportör. Skruvtransportörerna tömmer bränsle i var sin utjämningsficka som rymmer ca 2 m³. I botten av varje utjämningsficka sitter två utmatningsskruvar som matar totalt fyra stycken bränslestup placerade på pannans sidoväggar. Stupen är försedda med slussmatare och bränsleinmatningsbord.

Styrning av förbränningsluften

Principen för inmatning av bränsle och förbränningsluft är att under en effektökning sker först ökningen av förbränningsluftmängden. Därefter följer mängden av inmatat bränsle. Vid effektminskning reduceras först börvärdet för mängden av inmatat bränsle. Därefter följer förbränningsluftmängden bränsleinmatningen.

SNCR

Pannan är inte utrustad med SNCR.

Material

Pannan är utförd med traditionellt tryckkärlsstål och inga avancerade material med större korrosionshårdighet har använts. Materialen i de värmeöverförande tuberna återges i nedanstående tabell.

Tabell 9. Material i panna, Skärblacka

Table 9. Tube quality, Skärblacka bark boiler

Eldstadsvägg	ST 35.8.3
ÖH1	2218
ÖH2	2218
Sekundär-ÖH	2218
Konvektion	ST 35.8.3
Bakre drag	ST 35.8.3

3 Redovisning av insamlade data

Nyckeldata för de undersökta barkpannorna redovisas i bilaga C. Några av dessa data har även sammanställts i tabell 10 nedan.

Tabell 10. Några huvuddata för de studerade pannorna
Table 10. Some key data for the boiler included in the study

	Gruvön	Husum	Karlsborg	Mönsterås	Mörå	Nymölla	Skoghäll	Skärblacka
Eldstadsbelastning [kW/m ³]	106	179	104	115	79	101	84	57
Bottenbelastning [MW/m ²]	1,43	2,23	1,45	1,66	1,46	1,63	1,45	1,14
Väggbelastning [MW/m ²]	0,21	0,26	0,16	0,17	0,14	0,16	0,18	0,13
Höjd till första ÖH [m]	16,0	13,0	15,0	16,0	18,2	16,2	19,6	17,0
Uppehållstid [s]	3,4	2,0	3,5	3,1	4,6	3,6	4,3	6,4
Gashastighet Eldstad [m/s]	4,0	6,2	4,0	4,6	4,1	4,5	4,0	3,2
Primärluft-stökiometrisk kvot (design) nominell fastbränslelast	0,58	0,41	0,56		0,4-0,5		0,57	Ca 0,5
Sandomsättning [kg/MWh]	3,2	3,4	4,5	5,6	4,3	5,8	10,8	1,0
Sand i bädd [ton]	140	30	60	25	70	40	90	80
Bäddtemperatur [°C]	840 ±20	780 ±30	850 ±50	750	825	720-850	850 ±20	850 ±10
Matarvatten-temperatur [°C]	125	125	120	135	120	130	144	119
Sandkvalitet	Baskarp 70	³ Pite havsbädd	Kiselsand Fescon	Baskarp 95	Baskarp 95	Silversand 90	Baskarp 55	Baskarp 95

3.1 Bränsle

Tabell 11 sammanfattar de olika typer av bränslen som eldas i pannorna. (Huvudbränsle, vedslag i huvudbränslet, inköpt bränsle, slam (vilka) och andra

³ Jämförbar med Baskarp 95

restprodukter, fukthalt och fukthaltsspann, kväve och svavelhalter, askhalter, värmevärde)

Tabell 11. Bränsledata
Table 11. Fuel data

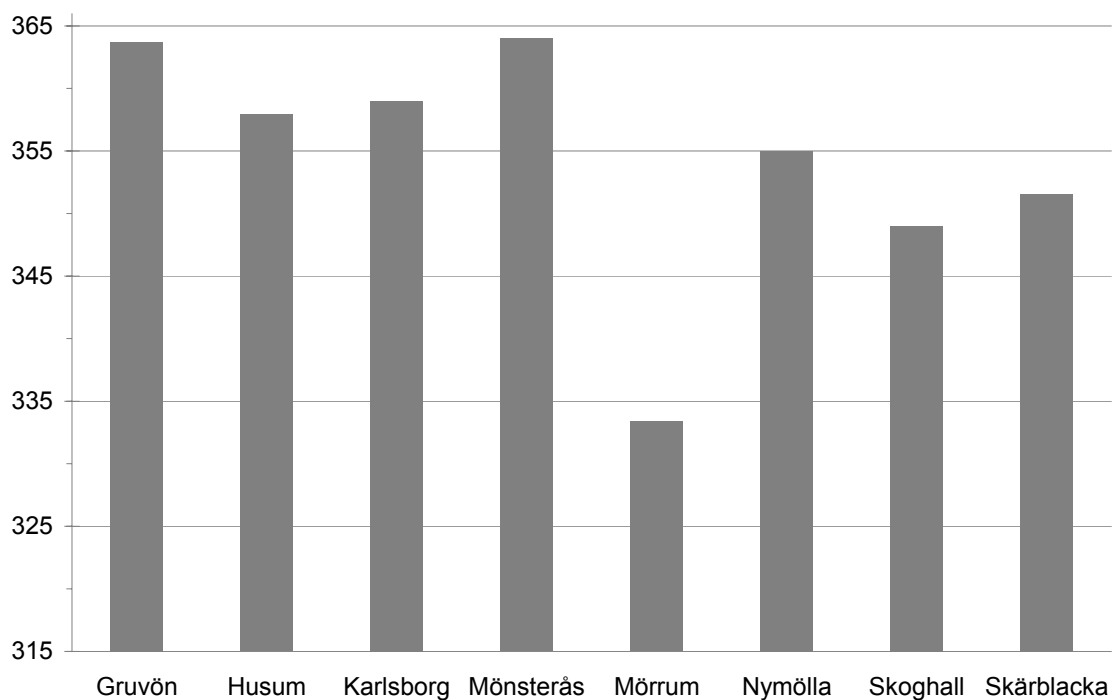
Bränslen	Gruvön	Husum	Karlsborg	Mönsterås	Mörtrum	Nymölla	Skoghall	Skärblacka
Vedslag i huvudbränsle	Tall, gran, björk, asp	Barr och björk, sågverksflis på barr	Tall, gran, björk, sågverksflis	Gran, tall, björk, asp	Barr, löv	Barr, löv	Bark, GROT	Björk, asp, tall
Fukthalt [%]	57	53	56	57	Mäts ej	58	55	53
Internt bränsle [%]	78	98	70	78	80	46	31	47
Externt inköpt bränsle	GROT, sågverksbark, utklassad massaved	Nej	Bark, GROT, nedklassad massaved	Barrbark och kross		Bark, flis	GROT	Ja
Slam [ton ts/dygn]	5-6	25-30 (max 50)	3,7	46	15	47	60	63
Typ av slam	Fiber	Fiber	Fiber	Bio Process Fiber	Bio Fiber	Bio Fiber UF-konc. Kvist-rejekt	Kem Fiber	Bio Fiber
Restprodukter som bränsle	Internt brännbart avfall	Nej	Pappers-rejekt	Sileri-rejekt, papper	Sileri-rejekt	Kvist	Nej	Beckolja, internt brännbart avfall

Samtliga pannor är designade för en relativt fuktig bränslemix. 56 till 58 % fukthalt (42-44 % ts-halt) är en vanlig designfukthalt med ett intervall mellan 50-60 % fukt. Fukthaltsmätningar ute på anläggningarna indikerar genomsnittliga fukthalter mellan 53-58 % av vilket visar att bränslemixens fukthalt i de flesta fall överensstämmer väl med panndesignen. De flesta anläggningar pressar hela eller delströmmar, främst barrbark, fallande från det egna renseriet. Pressning av bark ger ofta en fukthaltssänkning på 6-8 %-enheter om barkens ursprungliga fukthalt är drygt 60 %.

3.2 Drifftider, varaktighetsdiagram och effekttrender

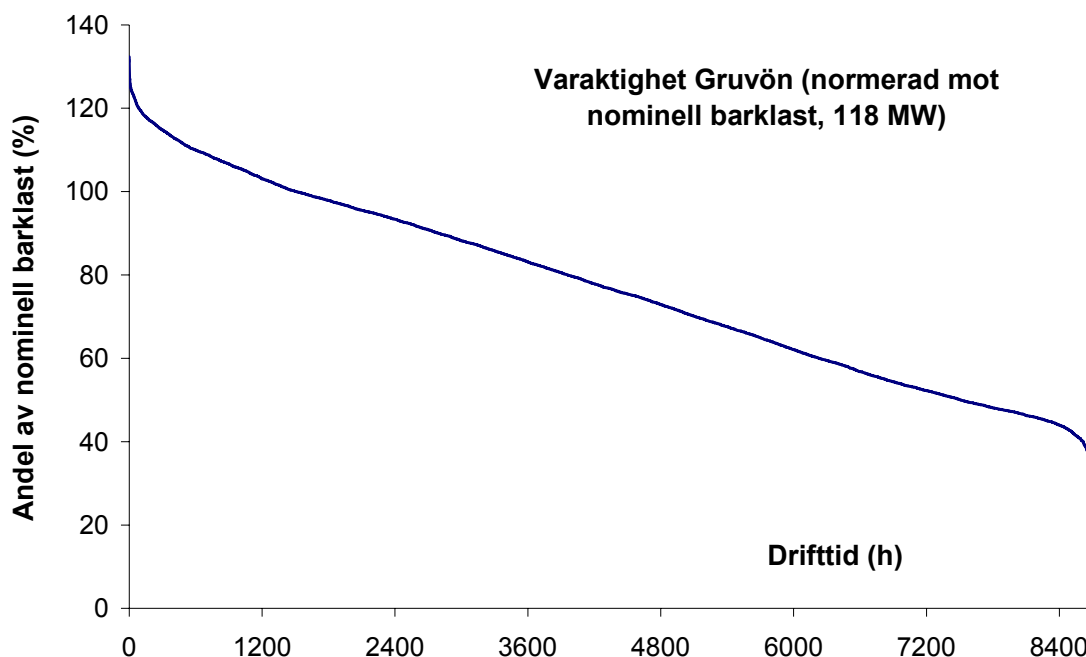
En skogsindustriell fastbränslepannas totala driftekonomi är starkt beroende av hög årlig drifttid. Ett oplanerat stopp på barkpannan kan på vissa bruk ersättas med olja på andra pannor vilket i så fall begränsar stoppkostnaderna till extrakostnaden för olja jämfört med fastbränsle samt eventuell tappad mottrycksproduktion. Trots detta kan energikostnaderna öka med flera hundra tusen kronor per dygn för ett sådant stopp.

Flera av de medverkande bruken saknar reservkapacitet för ångproduktion. I de fallen betyder ett stopp på barkpannan att pappersmaskiner måste stoppas och bromsa/tappar mottrycksproduktionen av elektricitet. Ett ångstopp på en sådan fabrik kan innebära produktionsförluster som i värsta fall kan värderas till miljonbelopp per dygn. Av detta skäl är det idag normalt att endast ett större underhållsstopp planeras in på fastbränslepannan, med ångstopp på ca 5 dygn var 18:e månad. Med andra ord förekommer det kalenderår då det inte är något inplanerat ångstopp alls. Drifftiden det senaste året för de undersökta pannorna visas i Figur 9. De flesta pannorna har en drifftid över 350 dygn. Barkpannan i Mörrum har en kortare drifftid men detta beror på att det är den enda pannan som studerats som har ett längre inplanerat sommarstopp varje år. Drifftiderna har beräknats på pannornas redovisade ångproduktion. Drifftiden inkluderar tid för upp och nedeldningar. Ett typiskt operativt lastintervall nedåt i effekt för denna typ av panna är ca 35-40 % av nominell last. Vi har dock valt att räkna från det att ånga börjar produceras vilket gör att de redovisade drifftiderna i praktisk drift är något överskattade.



Figur 9. Årlig drifftid baserat på ångproduktion [dygn]

Figure 9. Yearly operation time based on steam production [days]



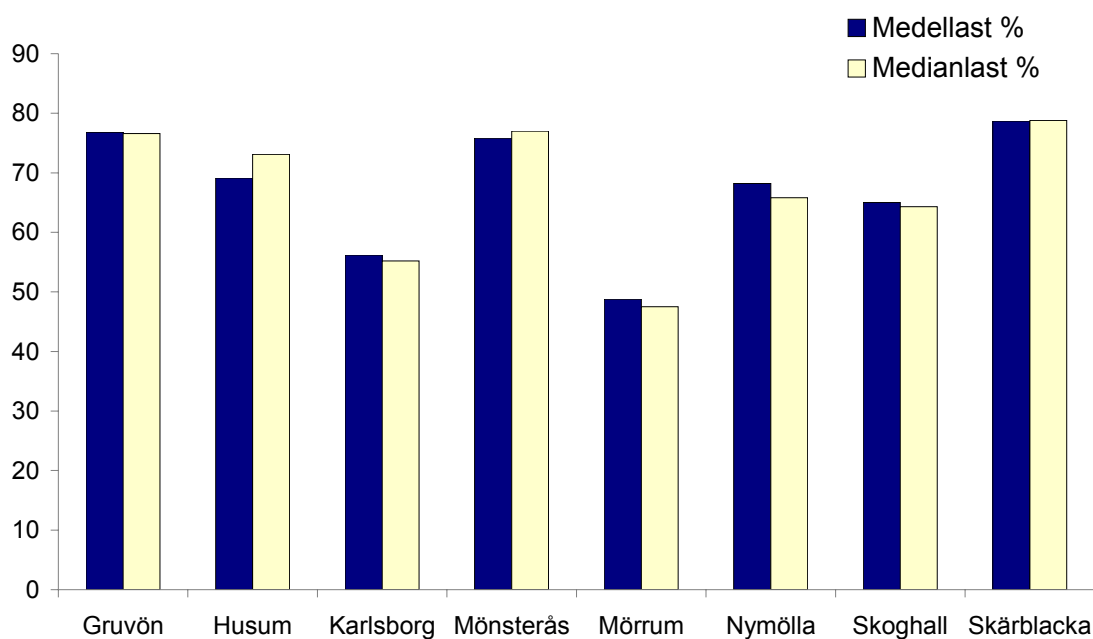
Figur 10. Exempel på varaktighetsdiagram (Gruvön)

Figure 10. Duration diagram for a typical BFB boiler in pulp and paper industry

Varaktighetsdiagrammen har ett likartat principiellt utseende och ett exempel från Gruvön visas i figur 10. Övriga pannors varaktighetsdiagram visas i Bilaga A. Varaktighetskurvans karaktäristiska utseende visar sig genom att den ganska väl kan beskrivas som en rät linje från topplast till minsta last på de flesta pannorna. Topplasten varierar mellan pannorna. Vissa pannor har ett tydligt överlastområde ($>100\%$ nominell fastbränslelast) med stödeldning med olja, vilket kan ses i figur 10, medan andra pannor återfinns i intervallet $80\text{--}100\%$ av nominell fastbränslelast. Minsta last, undantaget upp- och nedeldning är med några undantag $35\text{--}40\%$ av nominell fastbränslelast. Last under $35\text{--}40\%$ har i alla pannor kort varaktighet och är främst förknippat med upp- och nedeldningar.

I praktiken betyder detta att drift vid dellast, exempelvis $50\text{--}60\%$ av nominell last, är ungefär lika vanligt förekommande som drift mellan $70\text{--}90\%$. Goda dellastegenskaper är därför betydelsefullt, avseende emissioner, driftekonomi och reglerbarhet, för denna typ av pannor.

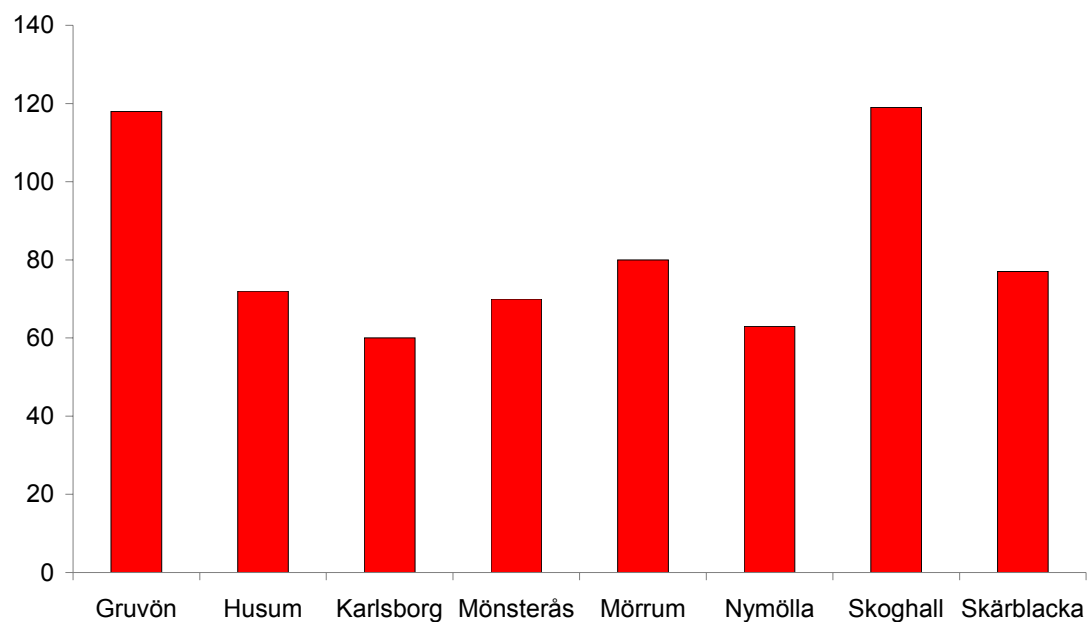
Medellasten varierar mellan 49 och 79% av nominell fastbränslelast för de flesta pannor, figur 11. Medel och medianvärdet för lasten skiljer sig normalt endast ett par procentenheter. Att skillnaden mellan medel- och medianvärdet skiljer sig så lite åt beror på varaktighetskurvornas symmetri kring medianlasten.



Figur 11. Medel- och medianlast som andel av nominell fastbränslelast

Figure 11. Mean and Median –load related to the boiler nominal load

Nominell effekt fastbränsle [MW]

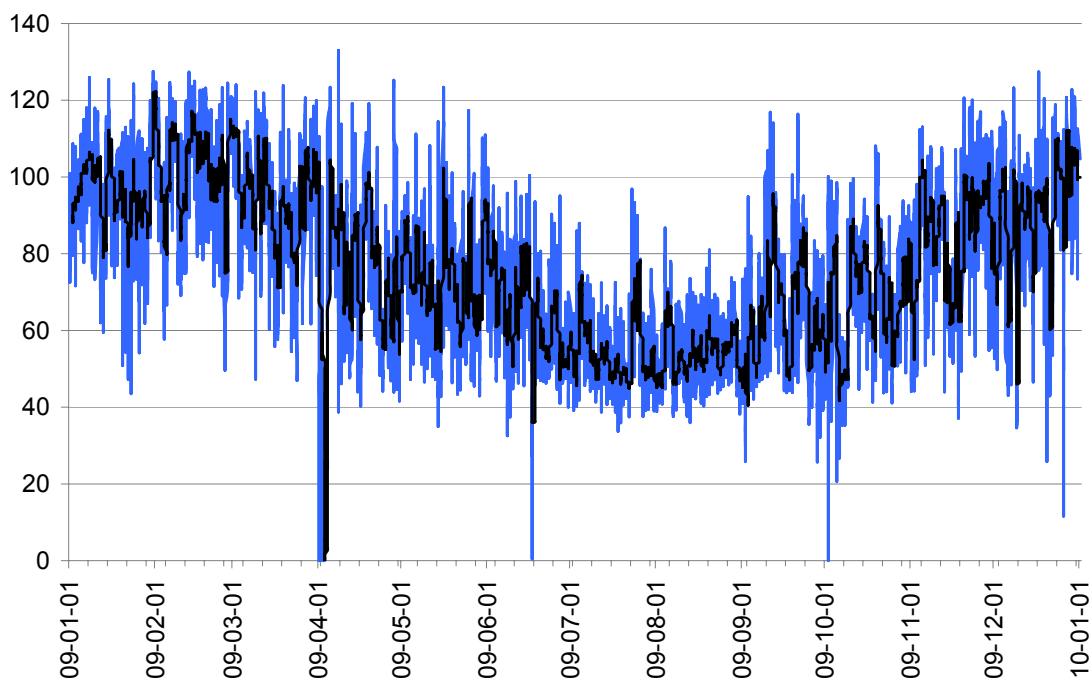


Figur 12. Nominell fastbränslelast

Figure 12. The boiler nominal load

En trend för ångproduktionen förklarar varför barkpannans varaktighetsdiagram ser ut som den gör. I figur 13 visas barkpannans på Gruvön (P7) ångproduktion som timmedelvärde under ett år (ljusblå linje). Dessutom är ett glidande 24-timmarsmedelvärde inlagt (svart linje). Övriga trender för ångproduktion återfinns i Bilaga B.

I exemplet i figur 13 finns en säsongsmässig variation i ångproduktion som varierar mellan ungefär 50 till 100 % av nominell fastbränslelast. Denna säsongsmässigt varierande ångproduktion beror på att processens ångbehov är högre vintertid än på sommaren. Överlagrat på de säsongsmässiga variationerna ligger snabba och ofta förekommande svängningar i ångbehov som typiskt varierar ± 20 %-enheter upp till 50 % av nominell last. Den bakomliggande orsaken till dessa snabba lastvariationer på timbasis kan vara exempelvis banbrott på pappersmaskiner, satsningar i batch-kokerier och produktionsstörningar i massafabrikernas kemikalieåtervinningsprocess. Eftersom barkpannan ligger i toppen på energisystemet blir det denna panna som får ta både de långsamma säsongsmässiga variationerna såväl som de kortvariga som beror av tillfälliga produktionsstörningar.



Figur 13. Exempel på trend ångproduktion som timmedelvärde (blå) och glidande 24-timmarsmedelvärde (svart) under ett år (Gruvön)

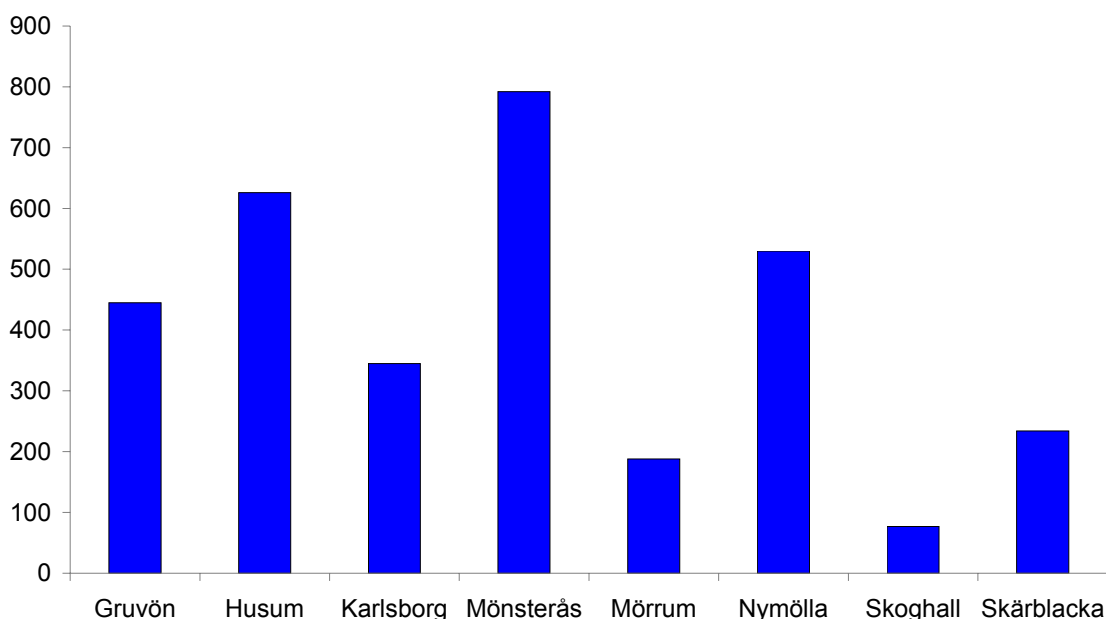
Figure 13. A typical trend for steam production, hourly average values (blue) daily values (black)

3.3 Emissioner

Emissionsparametrar för samtliga pannor för ett års drift visas i Bilaga C. Genomsnittliga emissioner av CO, NO_x och SO₂, angivna i ppm normaliserade till 6 % O₂ torr gas, för ett års drift visas i figur 14-figur 16.

CO-emissionerna skiljer sig åt mellan anläggningarna, figur 14. Generellt har de tre äldsta anläggningarna (Nymölla, Husum och Mönsterås) högst CO. Dessa tre pannor är konverterade av Foster Wheeler (Husum och Mönsterås) och Metso-Tampella (Nymölla) och skiljer sig åt från de senare konverteringarna med avseende på eldstads- och bottenbelastning och överluftsystemens utformning, se även figur 27. Här är det viktigt att påpeka att reglering av driften ofta görs mot en önskad CO-nivå, med avsikt att minimera NO_x. Vilken CO-nivå som då väljs varierar beroende på pannornas olika förutsättningar som pannstorlek och effektiviteten på sekundär/tertiär-systemen. Det bör här påpekas att krav rörande emission av CO inte föreligger vid skogsindustriella pannor.

CO medel ppm



Figur 14. Medelvärde CO [ppm] vid 6 % O₂ torr gas

Figure 14. CO emission, average values in [ppm] dry gas corrected to 6% oxygen in dry gas

NO_x-emissionerna visar också stora variationer mellan anläggningarna, figur 15. Att P11 på Skoghall har låga emissioner är inte förvånande med tanke på att den är utrustad med både SNCR och slip-katalysator. För övriga pannor förfaller det inte finnas något tydligt samband mellan SNCR-system och låga NO_x-emissioner. Däremot finns det ett samband mellan NO_x och eldstadsbelastning se avsnitt 4.3.

Husum, Mörrum och Skärblacka saknar SNCR. De fem anläggningarna Gruvön, Karlsborg, Mönsterås, Nymölla och som tidigare nämnts Skoghall har SNCR. Tre av dessa doserar ammoniaklösning och två urea. Funktionen och nyttan av SNCR-systemen varierar mellan pannorna. På några ställen uppges en relativt hög reduktionsgrad, medan andra anläggningar inte har märkt någon större nytta av SNCR-systemet. Någon anläggningsägare har även uppgett att funktionen är dålig sett i ett brett lastintervall.

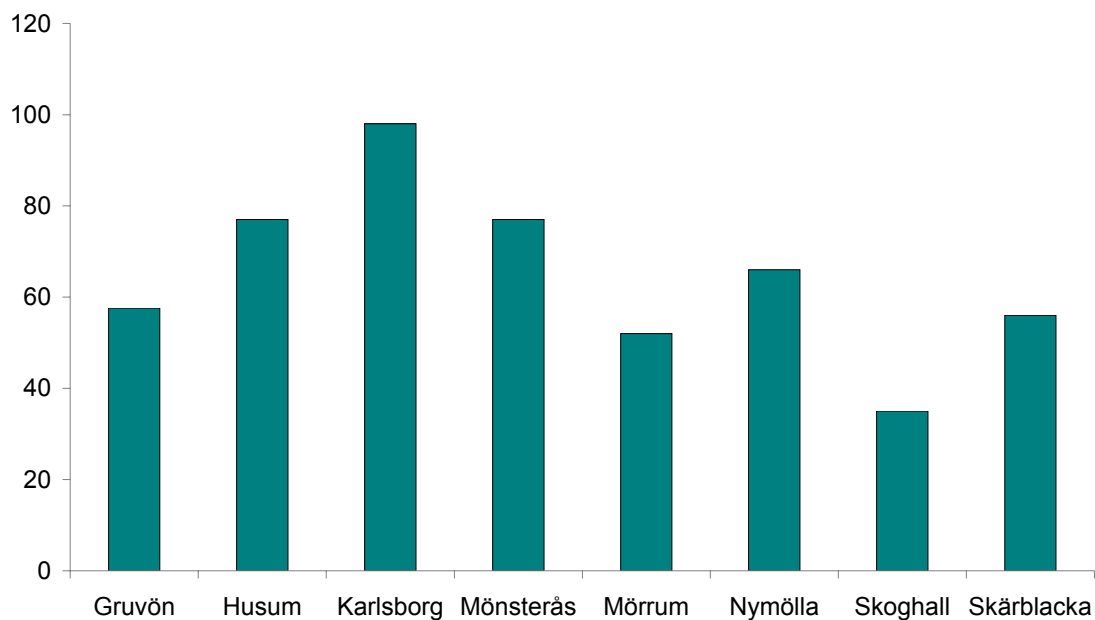
Vid Karlsborgs bruk tros höga NO_x-data kunna förklaras med att pannan är något låg, vilket medför att tertiärluften inte hinner förbränna bränslet ordentligt.

Tabell 12. Teknik för NO_x reducering

Table 12. NO_x reduction technique

	Gruvön	Husum	Karlsborg	Mönsterås	Mörum	Nymölla	Skoghall	Skärblacka
Typ	SNCR	SNCR	SNCR	SNCR	Finns ej	SNCR	SNCR+SCR	Finns ej
Additiv	NH ₃ (25%-ig lösning)	Ammonium-sulfat	NH ₃ (25%-ig lösning)	Urea (30%-ig lösning)		Urea (35%-ig lösning)	NH ₃ (25%-ig lösning)	
Reduktions-grad (uppskattad)	~30%	Används ej		10-30%		30-35%	~50%	
Leverantör	Kvaerner	Swedpower	Egen konstr.	Egen konstr.		Egen konstr.	Egen konstr.	

NO medel ppm

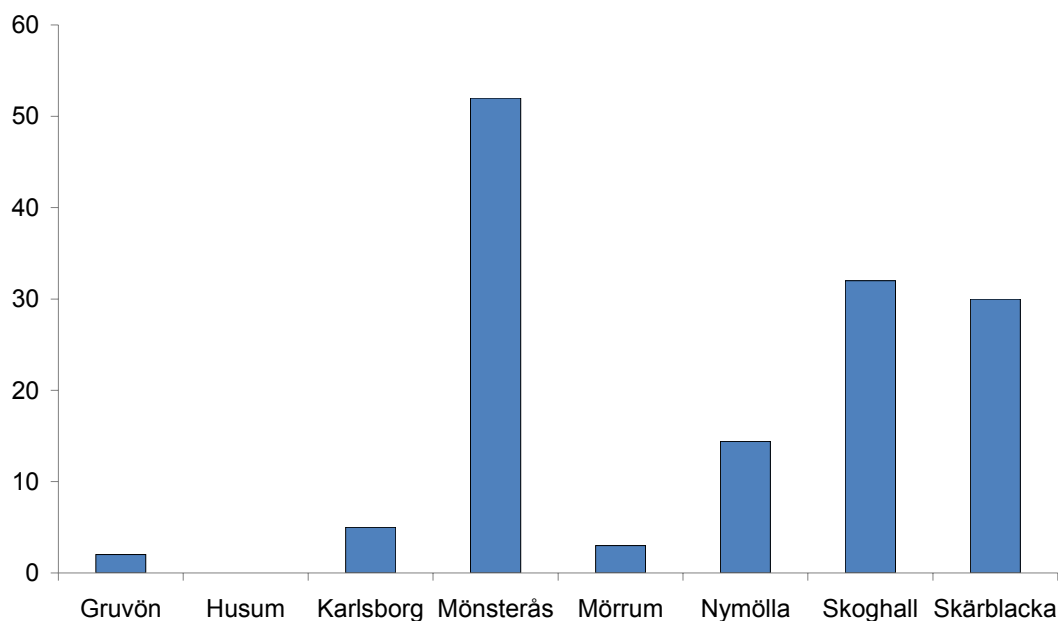


Figur 15. Medelvärde NO_x [ppm] vid 6 % O₂ torr gas

Figure 15. NO_x emission, average values in [ppm] dry gas corrected to 6% oxygen in dry gas

Svavelemissionerna beror ju, till skillnad mot CO och NO_x-emissionerna, i första hand på bränslets sammansättning. Generellt sett så ligger svaveldioxidemissionerna relativt lågt. Mönsterås har en något högre SO₂-halt vilket bl.a. beror på mängden och sammansättningen av det slam som eldas i pannan. Nymölla och Skoghall eldar också förhållandevis mycket slam, men i fallet Nymölla används en skrubber som reducerar SO₂-halten.

SO₂ medel ppm



Figur 16. Medelvärde SO₂ [ppm] vid 6 % O₂ torr gas

Figure 16. Sulphur emission, average values in [ppm] dry gas corrected to 6% oxygen

3.4 Agglomereringar och sintring

Frekvensen av sintringar och agglomereringar varierar mycket mellan anläggningarna. En av pannorna har inga som helst erfarenheter av sintringar och agglomereringar ännu efter fem års drift (>40 000 drifttimmar) medan andra pannor har haft någon enstaka per år. Flera anläggningsägare har haft betydligt fler sintringar de första åren efter FB-konverteringen men uppger att antalet tillfällen med produktionsstörningar relaterade till sintringar och agglomereringar har minskat i takt med att driftpersonalen blivit mer erfaren. Generellt är dock sintring och agglomerering inte något allvarligt problem för FB-konverterade barkpannor.

Många av de sintringar som förekommer är bränslerelaterade. Ett par bruk har identifierat eldning med så kallad städbark som en vanlig orsak till agglomereringsproblematik. Städbark innehåller mycket jord, sten och grus vilket orsakar fluidiseringsproblem. Ett bruk uppger att sedan de slutade elda städbark 2002 har de inte haft några agglomereringsproblem överhuvudtaget (ca 70 000 drifttimmar).

Flera anläggningsägare har erfarenhet av sintringar efter att av misstag ha fått in lutindränkt bark eller kvistrejekt, vilka är rika på natrium i en sulfatprocess.

Sintringar och agglomereringar har också orsakats av för låg bäddomsättning och bristande kontroll av sandnivån. I det flesta fall är det fråga om handhavandefel men flera anläggningar har rapporterat att bäddhöjdmätning med hjälp av tryckdifferensmätning upplevs som otillförlitligt och problematiskt. Flera pannor har infört visuella metoder för att verifiera bäddhöjdmätningen. En panna har uppgett att de påsvetsade hatten på luftdysor i bädden har lossnat och skapat så allvarliga störningar i fluidiseringen att sintring uppstått.

Tabell 13. Erfarenheter av agglomerering och sintring
Table 13. Experiences of agglomeration and sintering

	Bäddagglomerering/sintringar
Gruvön	Några sintringar speciellt i början av driften av pannan. De flesta i samband med speciella bränslen.
Husum	Många små agglomereringar vid eldning av städbark. Detta upphörde år 2002.
Karlsborg	Inga totalsintringar.
Mönsterås	Problem har uppstått vid eldning av lutindränkt spån.
Mörum	Inga totalsintringar men agglomereringar av bäddmaterial förekommer, i form av flak.
Nymölla	I början (1995-2001) uppstod flera sintringar årligen. Bl.a. på grund av att hattarna på primärluftsdysorna lossnade=> problem med defluidisering. Bäddens nivå kontrolleras med siktpinnar som installerats i bädden och utmatad sand okulärbesiktas. Numer fås cirka en sintring per år.
Skoghall	Haft problem med bränsle som gett sintringar
Skärblacka	Nej

3.5 Korrosion, erosion och påslag

Anläggningarna i studien har rapporterat relativt få korrosionsskador; en panna har rapporterat korrosionsskador på eldstadstuber; en panna har redovisat högttemperaturkorrosion på sekundäröverhettare sannolikt beroende på varierande ångtemperatur; två anläggningsägare har rapporterat korrosionsskador på rökgasåterföringskanaler och en på primärluftskanalen.

Även om de bränslen som eldas generellt är relativt harmlösa när det gäller risk för korrosiva beläggningar så kan det inte uteslutas att samförbränning med bioslam och svavelinnehållande slam har en del i att korrosion på överhettartuber inte är vanligt, d.v.s. svavelinnehållet i slammet minskar sannolikt alkali/klor-relaterad korrosion. För de anläggningar som kommer att flytta över eldningen av bioslam till sodapannan kan det vara idé att undersöka om beläggningar på överhettarytor förändras då eldning av bioslam i barkpannan upphört.

Erosionskador har rapporterats från ett par anläggningar. Två pannor har haft skador på överhettare. Åtminstone en av dessa misstänks vara orsakad av ångsotning, dvs. inte orsakad av sanderosion. En panna har rapporterat erosionsskador på elfiltret och en har haft erosionsskador på ekonomiser och luftförvärmare på grund av höga gashastigheter vid hög last. Skoghall har haft erosionsskador i taket på katalysatorn. En panna med sandåterföring har haft erosionsskador på sandåterföringsröret.

Flera bruk uppger dock att tubläckor förekommer. Även om tubläckor är sällsynta orsakar alltid en tubläcka ett längre stopp, eftersom pannan måste svalna innan det är möjligt att gå in och svetsa. Ingen anläggningsägare har dock kopplat ihop tubläckor med korrosion eller erosion.

Flertalet pannor har viss beläggningsproblematik. Från två anläggningar rapporteras påslag på pannans eldstadsväggar. En panna har det senaste året haft stora hängande beläggningar på överhettarna. Från en tvådomspanna har igensättningsproblematik i tubsatsen rapporterats. För en annan panna rapporteras igensättningsproblematik i samband med försök med ammoniumsulfatdosering. Mörrum, som har ett ångscreen framför överhettarna får påslag på vindsidan som kopplas samman med ångspridningen av bioslam. Från en anläggning har rökgassidiga igensättningar i ekonomiser och luftförvärmare rapporterats. Erfarenheterna av påslag, korrosion och erosion är sammanfattade i Tabell 14.

Tabell 14. Erfarenheter av korrosion, erosion och påslag
 Table 14. Experiences of corrosion, erosion and deposits

	Korrosion	Erosion	Beläggningar
Gruvön	Korrosion på ÖH2, troligtvis beroende på att insprutningsventil ej bytts=> varierande ångtemperatur.	Erosion vid elfilter.	Eldstadsväggar och konvektion
Husum	Nej	Nej	Beläggningar (salta) endast i samband med dosering av ammoniumsulfat
Karlsborg	Nej	Inga påtagliga problem med erosion.	Inga påtagliga problem med beläggningar.
Mönsterås	Korrosion i rökaskanal pga. dålig isolering. Uppger felaktigt materialval i rökgasåterföringskanaler som orsak till korrosion.	Erosion på ÖH (Tros ha samband med sotning)	En del beläggningar på eldstadsväggar.
Mörum	Korrosion vid rökgasåterföring före primärluftfläkt orsakad av köldbrygga.		Svåra beläggningar på vindsida av screen (skärmgitter med tuber framför ÖH). Problemet tros härröra från eldning av slam. Sotning ske på screenets läsida.
Nymölla	Korrosion med läckor på panntuber som följd. Problemet orsakades av ureainsprutning som vände och slog i väggen. Detta är nu åtgärdat genom längre lansar.	Erosion orsakade hårt slitage på stag till ÖH, dessa byttes därför 2002. Erosionsskador vid eko och luftförmare vid höga hastigheter.	Pluggningar i eko och luftförmare.
Skoghall	Korrosion på kalottventiler i stoftsändare. Korrosion vid upphängningarna av rökaskanaler. Lågtemperaturkorrosion p.g.a. köldbryggor och relativt höga SO2-halter i rökgasen.	Erosion förekommer i genomgång genom vägg (trång passage) och lite i katalysatorns tak. Erosion orsakad av sotapparater i eko 3 och 4. Skydd på värst utsatta tuberna.	Ingen beläggningsproblematik. Klibbig aska ger problem vid asksändare. Orsak tros vara att det kemslam som eldas innehåller mycket svavel.
Skärblacka		Har haft erosionsskador på återföringsrör för sand	Stalaktiter på ÖH

3.6 Tekniskt utförande

Generellt har endast ett fåtal uppenbara feldimensioneringar rapporterats. För en panna har svårigheter att uppnå tillräcklig ångtemperatur rapporterats och en panna fick i efterhand kompletteras med ytterligare kokaryta för att klara last och förhindra kokning i ekonomisern.

Samtliga pannor har överhettarmaterial i låglegerat stål. Pannleverantörerna har valt att behålla de gamla överhettarna. Samtliga pannor har låga till måttliga ångdata och endast en anläggning har uppgett att de fått någon högtemperaturkorrosion.

Endast på två pannor tillämpas sandåterföring. Två av anläggningarna har sandåterföring installerad men använder den inte eftersom den upplevs som en källa till störningar som är mer kostsamma än en eventuell höjd kostnad för bäddsand.

De flesta av pannorna har matning av bränsle från två bränslestup på vardera sidoväggen. Två pannor har bara bränsleinmatning från en sida. En av dessa anläggningsägare uppger att betydelsen av att kunna styra bränsleflödet från bägge sidor/motstående eldstadsväggar har underskattats.

Kravet att kunna ändra last snabbt har i allt väsentligt uppfyllts och det är en klar förbättring jämfört med de gamla pannorna. Pannorna klarar att ändra effekten $\pm 10\%$ per minut i en stor del av lastområdet vilket minskar behovet av stor ångackumulatorkapacitet och höjer mottrycksproduktionen av el.

Rökgasåterföring till primärluften tillämpas på alla pannor. Några tar rökgasåterföringen före rökgasfläkten medan andra tar det efter fläkten. Att ta rökgasåterföring före rökgasfläkten har på några ställen gett störningar i det recirkulerade flödet, vilket lett till att uttaget flyttats till rökgasfläktens trycksida.

Ingen panna tillsätter additiv för att förebygga agglomereringar eller påslag. En anläggning har provat ammoniumsulfat under en period men upplevde snarare att igensättningarna ökade samtidigt som NO_x -reduktionen var svag, troligen mest beroende på hög eldstadsbelastning.

Insprutning av bioslam med ångspredning har upplevts som problematisk.

En anläggningsägare uppger att det varit problem med pulsationer i pannans väggar härrörande från tryckstötter vid förbränning. Detta har medfört förändringar i pannans staggkonstruktion i syfte att undvika risk för utmattning.

Vid hälften av de studerade anläggningarna har det framkommit önskemål om förbättrad styrning och reglerbarhet för den förbränningsluft som tillförs pannan.

Det kan också konstateras att pannans ursprungliga storlek har betydelse för eldstadsbelastningen. Det är självklart lättare att anpassa storlek nedåt än tvärtom.

4 Analys av konverteringarna

4.1 Teknik och drift

4.1.1 Allmänt

Samtliga FB-konverteringar i denna studie får betraktas som omfattande i den meningen att stora delar av de tryckbärande delarna bytts för att få en bättre anpassning till FB-pannans krav och anläggningsägarens önskemål om att höja fastbränsleeldningskapaciteten. Detta gör att samtliga anläggningsägare ser sina FB-konverteringar som ett nära nog likvärdigt alternativ till att bygga ny panna. Ingen av anläggningsägarna har uppgett att de har några planer på att inom överskådlig tid ersätta pannorna med nybyggda pannor.

Pannorna är designade för att klara beställarens krav på tillgänglighet, lastomfång, laständring, bränsle mm med hänsyn till gällande emissionskrav och övriga miljötillstånd.

4.1.2 Tekniska skillnader och likheter

Barksilon på Metsos konverteringar har en centralutmatning av bränslet med en vandrande skruv medan Foster Wheelers pannor har stokerutmatning. Storleken på barksilon varierar mycket mellan anläggningarna (50-250 m³). Volymen på bränslesilon tycks inte ha någon koppling till pannans förbränningskapacitet och är ofta resultatet av beställarens önskemål och platstillgång. Förmodligen är det en fördel att ha stor barksilo, under förutsättning att dessa är korrekt designade, eftersom en bränslebuffert då fås i förhållande till det yttre bränslesystemet. Tyvärr körs många större bränslesilos med låg nivå för att minska problem med utmatningen. Störningar i bränsleförsörjningen från renseriet förekommer och en väl tilltagen barksilo skapar redundans. Som en jämförelse förbrukar en barkpanna vid 80 MW ångproduktion ca 160-190 m³_s /h bark. Skillnaden mellan att ha en stor och en liten barksilo kan bland dessa pannor uppskattas till 15 till 120 minuter bränslebuffert om det yttre bränslesystemet stannar.

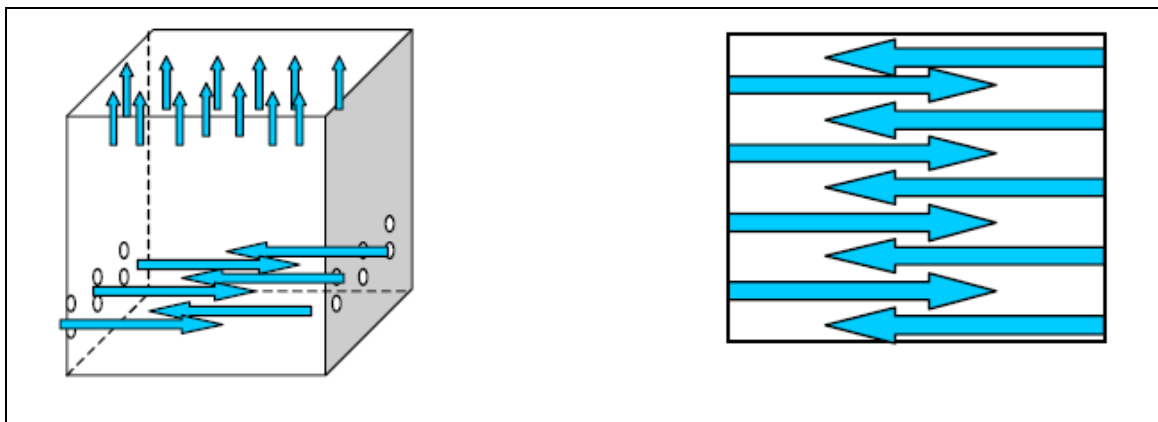
De flesta pannor har fyra bränslestup med matning från två motstående väggar. Två av pannorna har två bränslestup med inmatning bara från en sida. Samtliga pannor har cellmatade bränslestup och blåsbord med svepluft tillämpas på alla pannor.

Metso/Kvaerners öppna Hydro beam-botten dominerar i antalet. Foster Wheeler och Metso/Tampella har valt en plan botten. Hydro beam-botten håller mer sand men skillnaden i aktivt fluidiserad sandvolym skiljer sig förmodligen inte så mycket mellan pannleverantörerna.

Samtliga eldstäder är murade 2-3 m ovan fluidrosten.

Metso/Kvaerner tillämpar ett system för att saxa luftstrålarna från motstående väggar på sekundär- och tertiärluftregistren. De har två varianter av detta system med antingen ett mindre antal lika stora men sidledes förskjutna luftportar eller stora och små luftportar i ett förskjutet mönster. Foster Wheeler har inte byggt med saxade överluftssystem och

tillämpar ett system med luftportar på bara en vägg på vissa nivåer som förmodligen bygger på tanken om att kunna flytta gasströmmen sidledes. Metso/Tampellas system i Nymölla kan snarast liknas vid en hybrid av Metsos och Foster Wheelers system.



Figur 17. Typiskt utförande av överluftssystem med saxade luftportar

Figure 17. Typical upper air arrangement with interlaced air ports

Figur 17 visar exempel på saxade luftportar (nedre sekundär) vid Mönsterås bruk ÅP5 - som själva har byggt om sekundärluftssystemet 2010.

Samtliga pannor har rökgasåterföring till primärluften. Sex pannor har separat rökgasåterföringsfläkt men två pannor saknar separat rökgasåterföringsfläkt och förlitar sig på att differenstrycket mellan rökgaskanalen efter rökgasfläkten och sugsidan på primärluftfläkten är tillräckligt högt. Flera av de pannor som har rökgasåterföringsfläkt har flyttat återföringskanalen till rökgasfläktens trycksida.

På flera av pannorna har pannleverantören valt att ändra eldstadens tvärsnittsarea för att anpassa pannan till en lämplig bottenbelastning på fluidrosten. Bland de studerade pannorna finns exempel på både ökad och minskad tvärsnittsarea.

Samtliga pannor har behållit sina gamla överhettare tillverkade i låglegerade stål.

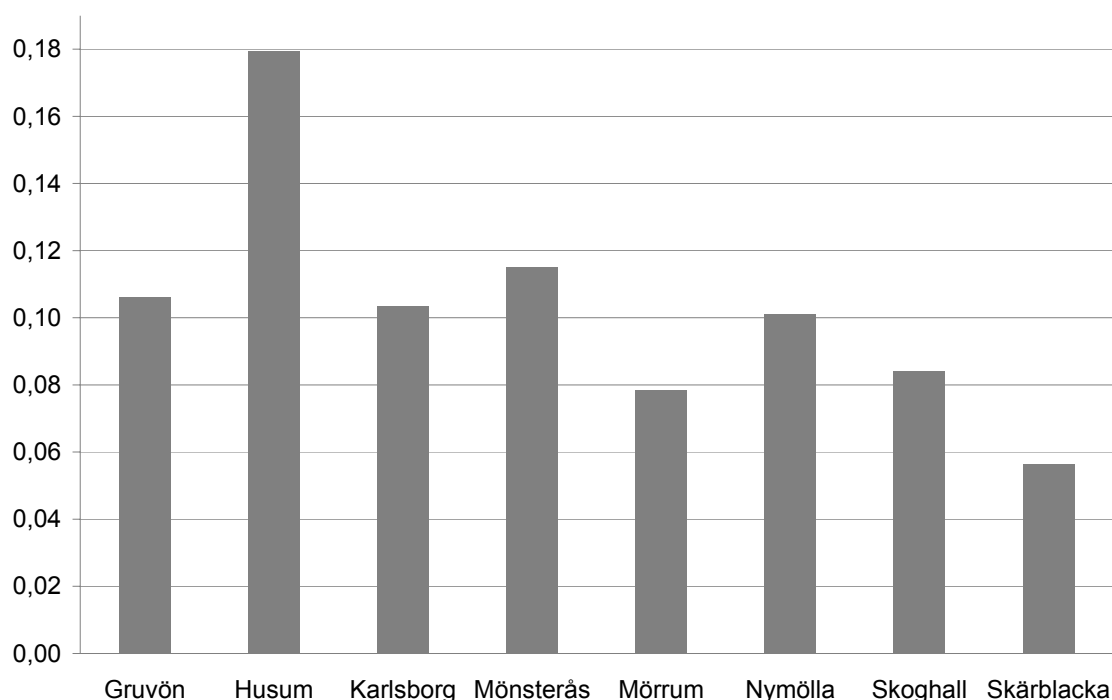
I de flesta pannorna har konvektionspartiet byggts om och samtliga konverteringar har omfattat stora modifieringar av bakre draget.

Rökgasreningen består i de flesta fall av ett elektrofilter. I samtliga fall med ett undantag har det gamla elektrofiltret behållits. Två pannor (Nymölla och Skärblacka) har också skrubber/kondensering vilket ger svavelrening efter elektrofiltret.

Endast två pannor tillämpar siktning och sandåterföring. Två pannor har sandåterföring men väljer att inte använda den.

4.1.3 Nyckeltal

Eldstadsbelastningen skiljer sig betydligt mellan pannorna, Figur 18. Husum är den panna som har den högsta eldstadsbelastningen och Skärblacka är den panna med lägsta eldstadsbelastningen.



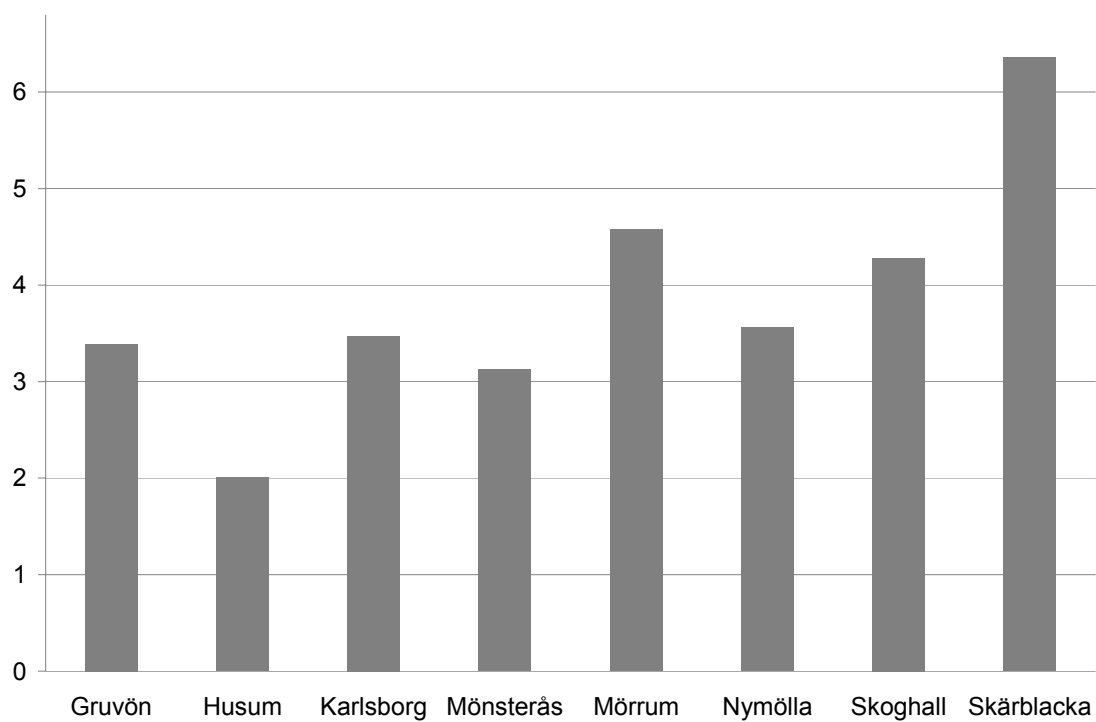
Figur 18. Volymbelastning [MW/m³]

Figure 18. Volumetric heat load [MW/m³]

Eldstadsbelastningen är omvänt proportionell mot den genomsnittliga uppehållstiden i eldstaden. Med antagande om att bränslet som eldas är bark med 58 % fukt eldat vid en luftfaktor 1,3 (~5,0 % O₂ torr), 88 % verkningsgrad och 950°C har uppehållstiden i eldstaden uppskattats, se Figur 19. De flesta pannor får med detta sätt att räkna 3-5 sekunders uppehållstid i eldstaden. Husum, som är den hårdast belastade pannan, har bara en genomsnittlig uppehållstid på 2 sekunder.

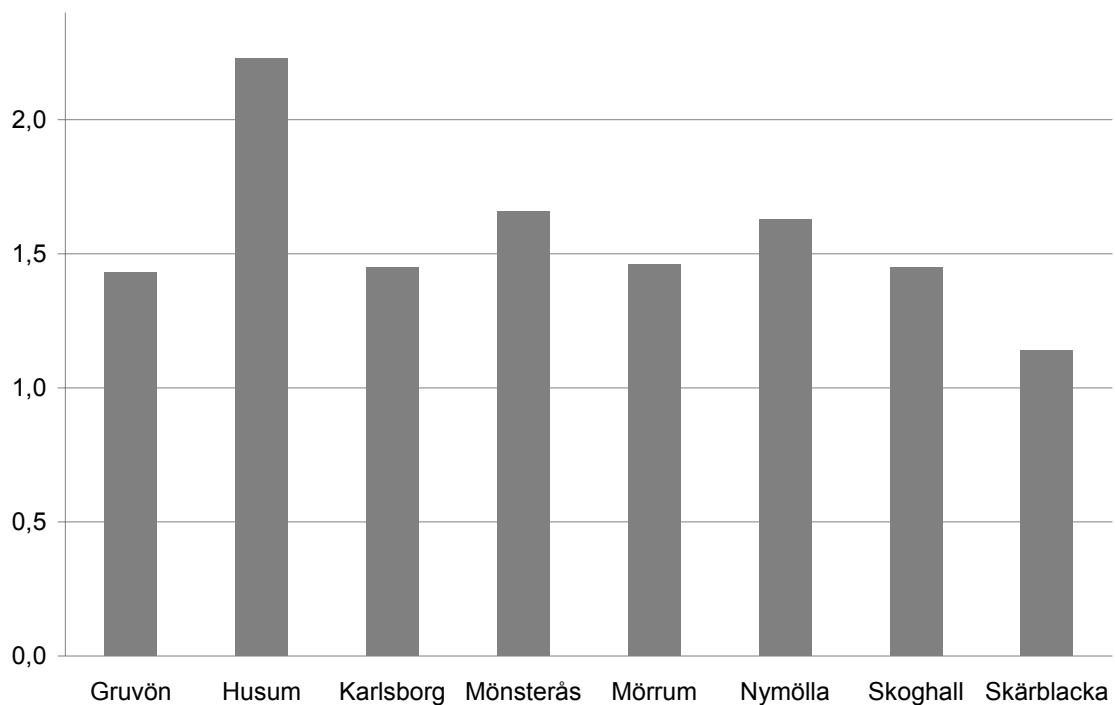
Bottenbelastningen visas i Figur 20. Metso/Kvaerners konverteringar har ofta en bottenbelastning strax under 1,5 MW/m². Foster Wheeler och Metso/Tampella har valt att lägga ut pannorna med något högre bottenbelastningar. Åter igen framstår Husums panna som hårt belastad.

Bottenbelastningen är proportionell mot den genomsnittliga vertikala gashastigheten. Med samma antaganden som användes för att beräkna uppehållstiden kan den genomsnittliga vertikala gashastigheten beräknas, Figur 21. En hög gashastighet behöver inte vara ett problem bara pannan är tillräckligt hög. Däremot kräver en hög vertikal gashastighet att sekundär- och tertiärluftstrålarna måste ha högre rörelsemängd för att inte tappa horisontell impuls och därmed penetrationsdjup i eldstaden.



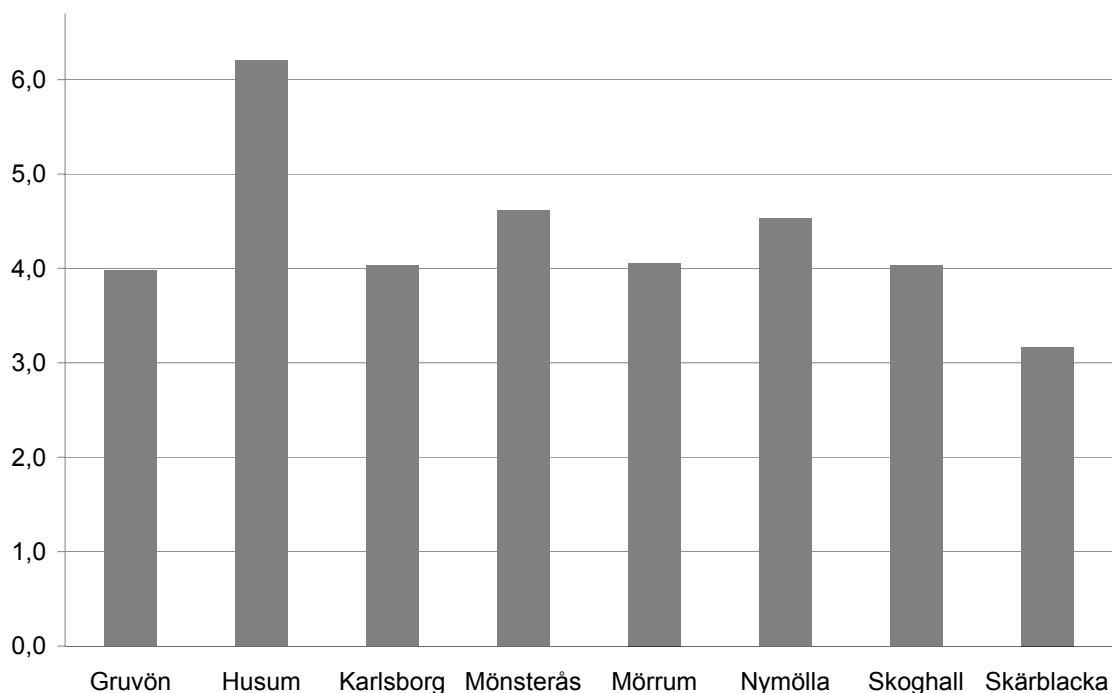
Figur 19. Genomsnittlig uppehållstid [s]

Figure 19. Average retention time in the furnace [sec.]



Figur 20. Bottenbelastning [MW/m²]

Figure 20. Furnace heart heat release rate [MW/m²]



Figur 21. Genomsnittlig vertikal gashastighet [m/s]
 Figure 21. Average gas velocity in the furnace [m/s]

4.1.4 Drifftid

Skillnaderna i drifftid mellan anläggningarna, Figur 9, är relativt liten undantaget Mörrum som har en annan stoppstrategi än de övriga pannorna. Eftersom många anläggningsägare bara har ett planerat ångstopp var 18:e månad kan en jämförelse i stopptid under 12 månader vara något missvisande. Det går därför inte att dra några andra slutsatser än att FB-konverteringarna, oavsett pannleverantör, har mycket höga drifftider och hög tillgänglighet.

4.1.5 Laständringskapacitet och förbränningsreglering

Samtliga FB-konverteringar klarar snabba lastregleringar (10 %/minut) bra med avseende på ångproduktion. Detta är en egenskap som samtliga anläggningsägare lovordat.

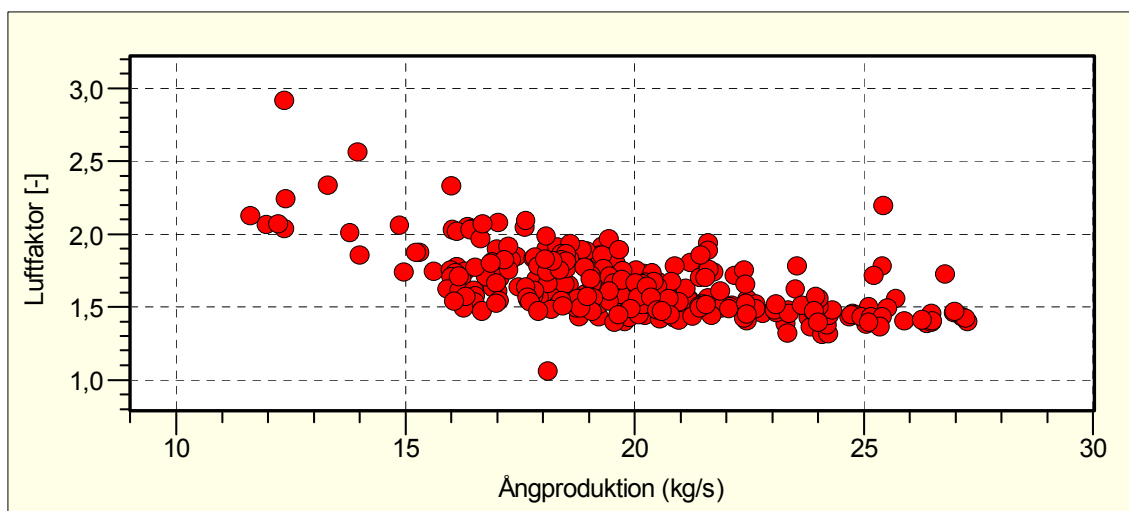
För att bibehålla fluidiseringen vid låglast, måste pannorna eldas med en förhöjd primärluftstökiometri vilket gör det svårare att upprätthålla en stegad lufttillförsel utan att luftfaktorn stiger kraftigt.

Mycket tyder på att alla FB-konverteringarna eldas med varierande luftöverskott över tid och att detta är kopplat till lastvariationer. Ett exempel från Mönsterås visas i Figur 22. Det skall här påpekas att luftfaktorn är beräknad från miljömätinstrumentets O₂-halt i skorstenen, vilket med hänsyn tagen till potentiellt stora och okända luftinläckage

mellan eldstad och skorsten, inte med nödvändighet återspeglar driftinstrumentets O_2 -halt. Motsvarande histogram över luftfaktorn visas i Figur 23. Mönstret att luftfaktorn varierar mycket över tiden är tydligt på alla pannor även om nivån varierar och därför inte skall jämföras mellan pannorna.

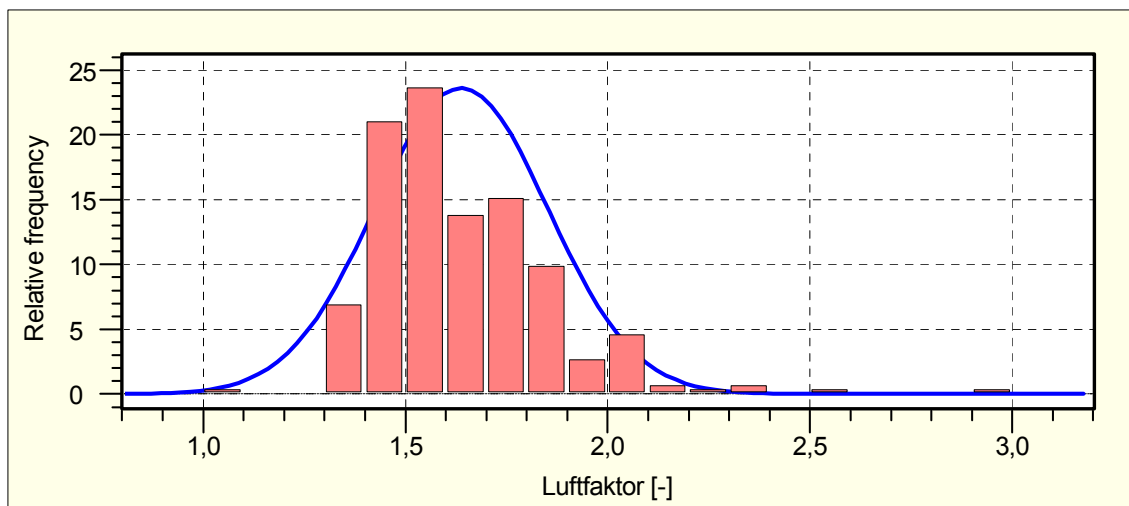
Det förefaller som om flera av pannorna klarar att köras på låg luftfaktor vid hög last men har svårt klara att hålla nere luftöverskottet på motsvarande garantinivå vid dellast.

Såvida inte skillnaderna i luftfaktor enbart beror av luftinläckage efter pannan sänker ett högt luftöverskott verkningsgraden. Så länge den ökade luftmängden inte kyler för mycket kan det ökade luftöverskottet och den lägre lasten sänka både CO och NO_x . Vid mycket fuktiga bränslen och höga luftöverskott kan dock den adiabatiska förbränningstemperaturen och därmed den verkliga eldstadstemperaturen sjunka så lågt att slutförbränning av CO och reduktion av NO med SNCR försvåras. Ett exempel på adiabatisk förbränningstemperatur beräknad för bark som funktion av luftfaktor vid olika fukthalter visas i Figur 24. Att släppa iväg eller inte kunna hålla nere luftfaktorn i pannan samtidigt som fukthalten i bränslet är hög kan därmed ge både hög CO och NO_x bara av det faktum att det blir för låg temperatur i eldstaden.



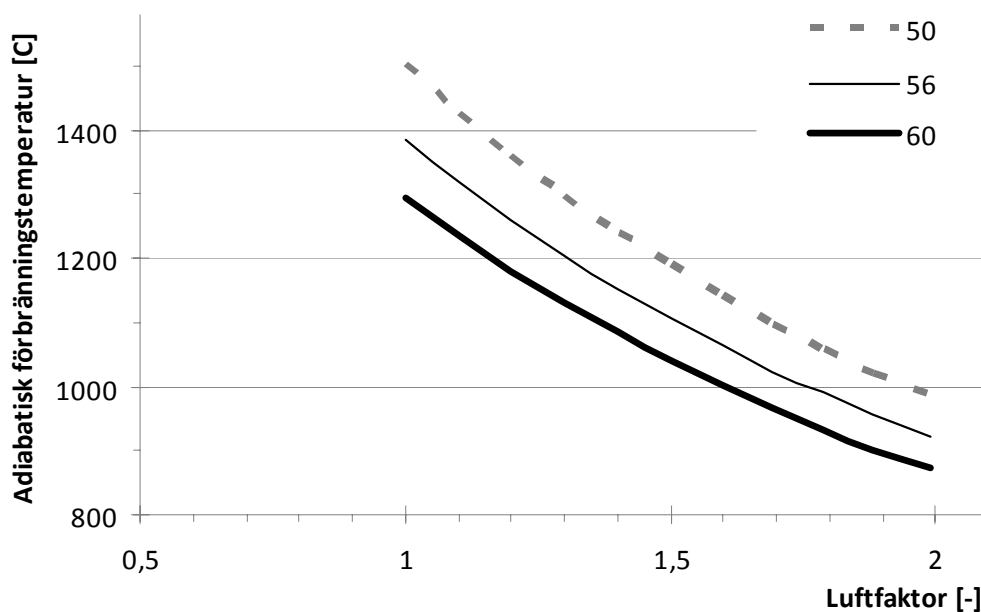
Figur 22. Luftfaktor [-] som funktion ångproduktion [kg/s] Mönsterås (Dygnsmedelvärde)

Figure 22. Actual air factor versus steam production for the BFB boiler at Mönsterås pulp mill.



Figur 23. Histogram luftfaktor Mönsterås [dygnsmedelvärde]

Figure 23. Air factor histogram for the Mönsterås boiler [daily mean values]



Figur 24. Adiabatisk förbränningstemperatur för bark som funktion av luftfaktor vid olika fukthalter på bränslet

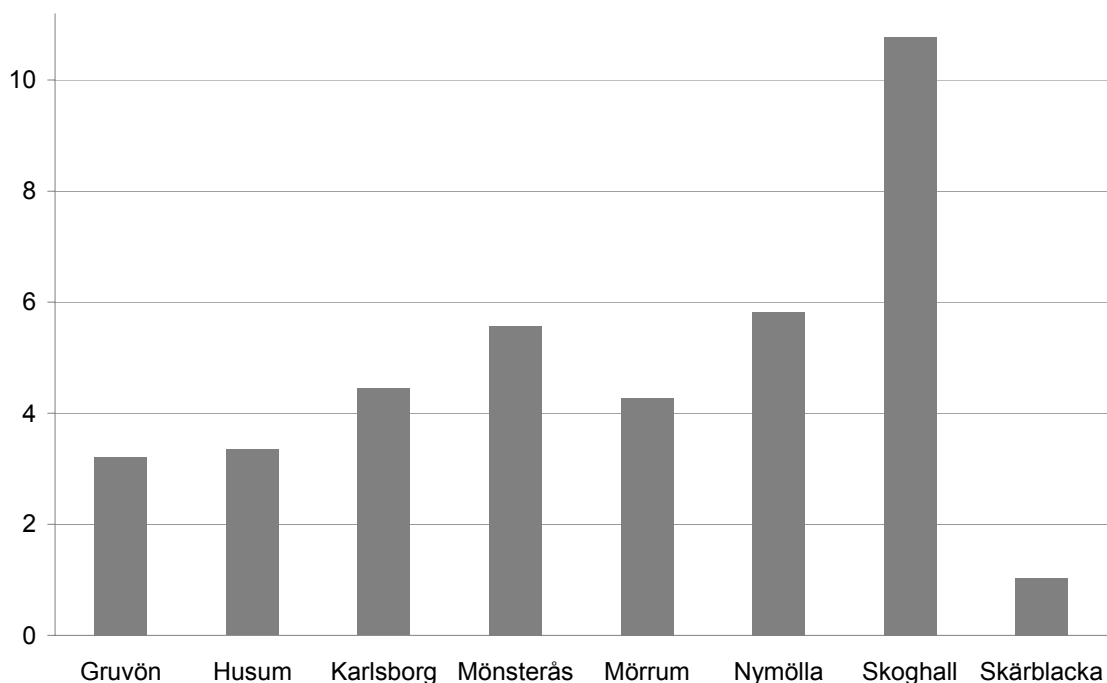
Figure 24. Adiabatic temperature for bark at different amount of excess air and different moisture content of the fuel

4.1.6 Bäddmaterial och sandförbrukning

Samtliga anläggningar använder kiselsand. Baskarp 95 är vanligast förekommande. Valet av sandleverantör och kornstorlek är i de flesta fall en följd av vad pannleverantören har rekommenderat. Några anläggningsägare har bytt leverantör på

grund av kortare transportavstånd och lägre pris. I flera pannor har finare kornstorlek provats, men detta val har i de flesta fall inte gjorts baserat på någon tanke om vilken effekt det skulle ha på fluidiseringen. Kornstorleksbytet har motiverats av att det periodvis varit svårt att få leverans av den ordinarie storleksfraktionen. Några anläggningar har dock varaktigt gått över till mera finkornigt bäddmaterial. En anläggningsägare, Skoghall, uppger att detta gjorts eftersom den finare kornstorleken upplevs minska agglomereringsproblemen. Med i övrigt oförändrade förutsättningar innebär en mindre kornstorleksfördelning att en något kraftigare fluidisering erhålls, vilket möjligen skapar kraftigare repellerande krafter som kan förhindra bildning av större agglomerat.

Sandförbrukningen varierar mellan anläggningarna. Baserat på uppgiven sandförbrukning och årlig energiproduktion har den energispecifika sandförbrukningen beräknats, Figur 25. De flesta anläggningar har en sandförbrukning på mellan 3-6 kg/MWh. Endast två anläggningar tillämpar asksiktning och sandåterföring. Visserligen är det de två anläggningarna som har lägst energispecifik sandförbrukning som har sandåterföring men spridningen i sandförbrukning bland de som saknar eller inte använder sin sandåterföring är så stor att det kan ifrågasättas om det är sandåterföring som är den avgörande faktorn för varför sandförbrukningen varierar så mycket mellan anläggningarna. En mer trolig förklaring är att anläggningsägaren medvetet väljer en viss sandförbrukning som denne mer eller mindre välgrundat vet ger en problemfri drift. Skillnaderna antyder dock att det finns en viss besparingspotential i att minska sandförbrukningen, om detta kan ske utan att agglomereringsproblemen ökar.



Figur 25. Energispecifik sandförbrukning [kg/MWh_{nyttig}]

Figure 25. Specific sand consumption [kg/MWh_{nyttig}]

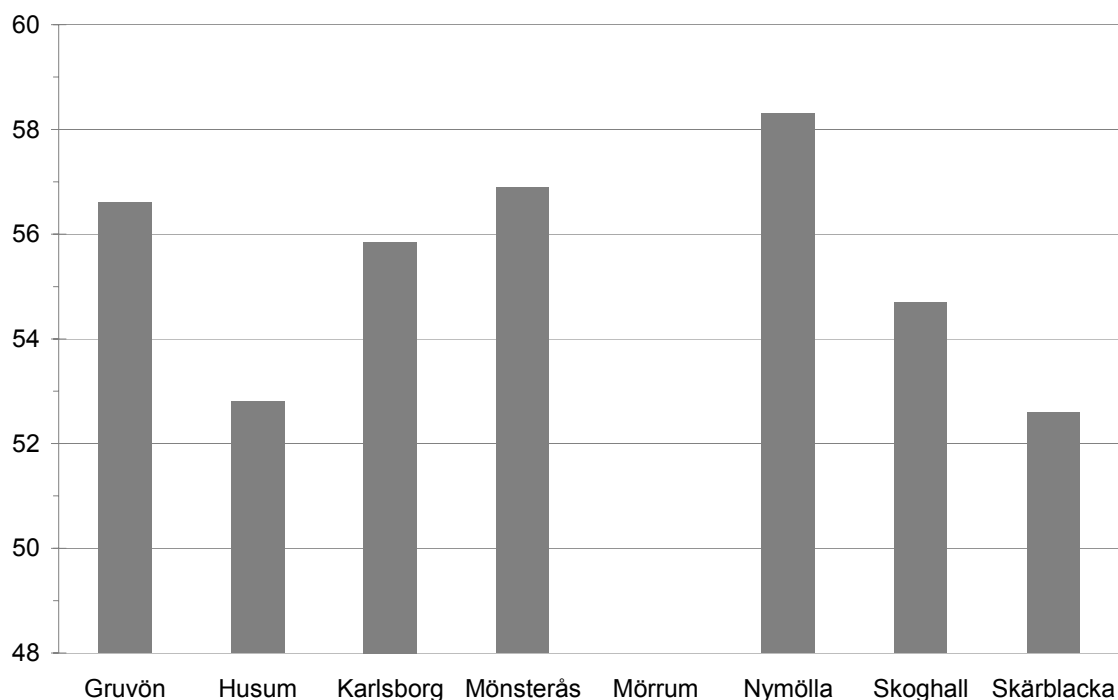
4.2 Bränslen

Fukthalten på bränslet varierar mellan anläggningarna och över tiden. Generellt är bränslet fuktigare vintertid än sommartid. De flesta anläggningar pressar med framgång hela eller delar av den egenfallande barken. Data vi fått ta del av från vissa anläggningar indikerar att pressning av bark i bästa fall sänker fukthalten 6-8 % -enheter med en utgångsfukthalt på drygt 60 %.

Genomsnittliga fukthalter baserat på långtidsmätningar visas i Figur 26. Fukthalten varierar mellan drygt 52 till 58 %. Data saknas för Mörrum eftersom fukthaltprover inte tas där. Då designfukthalten för pannorna ligger runt 56-58 %, med variationer i intervallet 50-60 % för de flesta anläggningarna, betyder detta att pannorna i huvudsak eldas med bränsle vars fukthalt överensstämmer väl med pannleverantörernas design.

Undersökningen har visat FB-konverteringens kapacitetsökning i de flesta fall lett till att den egenfallande barken inte räcker. De flesta anläggningarna köper fastbränsle externt och i vissa fall är det en betydande andel av fastbränslet som köps externt. De vanligaste externa fastbränslena är bark, GROT och stamvedsflis.

Oljeeldning förekommer i varierande omfattning. Oljeförbrukning runt 3000 m³/år är vanligt. Förutom vid upp- och nedeldning använder flera anläggningar olja som marginalbränsle när ångbehovet är som störst vintertid. Oljan som används är i de flesta fall EO5 eller EO6 men några anläggningar använder svavelskattebefriad EO3.

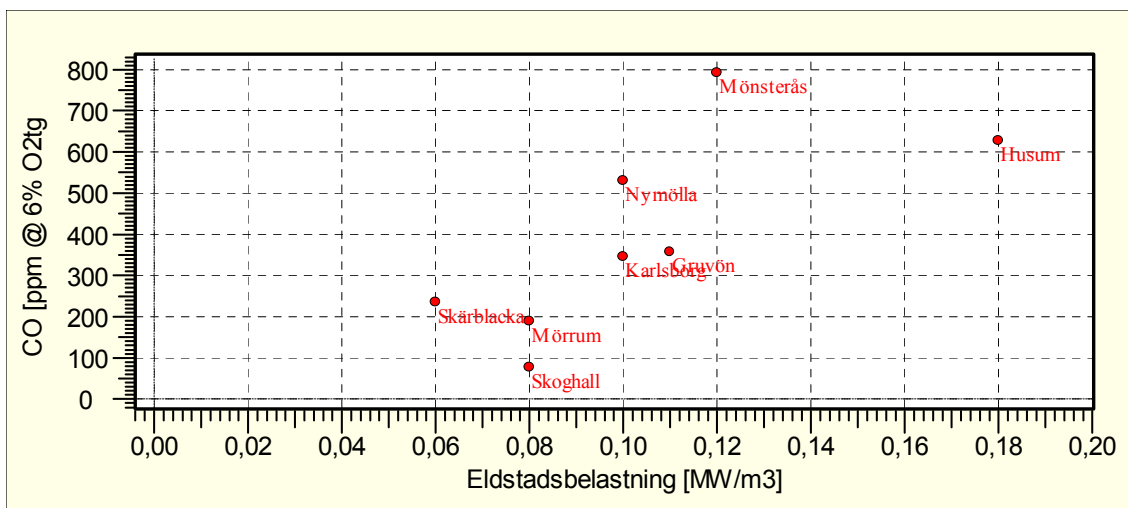


Figur 26. Fukthalt bark [%]

Figure 26. Average moisture content in bark.

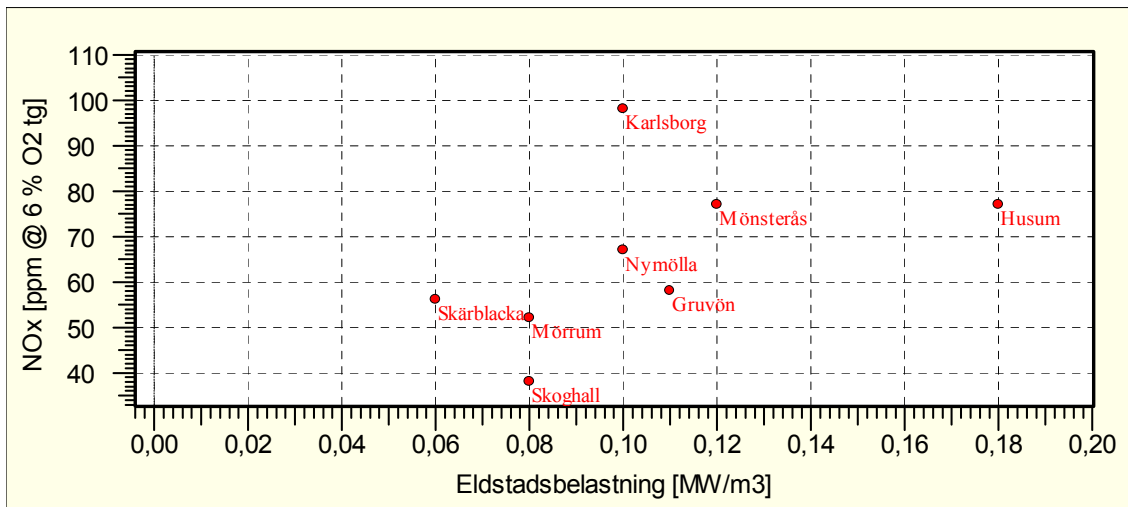
4.3 Emissioner

Mycket talar för att CO- och NO_x-emissionerna har en stark koppling till eldstadsbelastningen, se Figur 27 och Figur 28. Även om det finns många andra faktorer som påverkar både CO och NO_x är det kvalitativa sambandet mellan låg eldstadsbelastning och låg CO och NO_x tydligt. Mycket talar för att en eldstadsbelastning under 0,10 MW/m³ skapar goda förutsättningar för att åstadkomma både låga CO och låga NO_x-emissioner.



Figur 27. CO [ppm @ 6 % O₂ tg] som funktion av eldstadsbelastning [MW/m³]

Figure 27. CO emission [ppm @ 6 % O₂ tg] versus Furnace heat load [MW/m³]

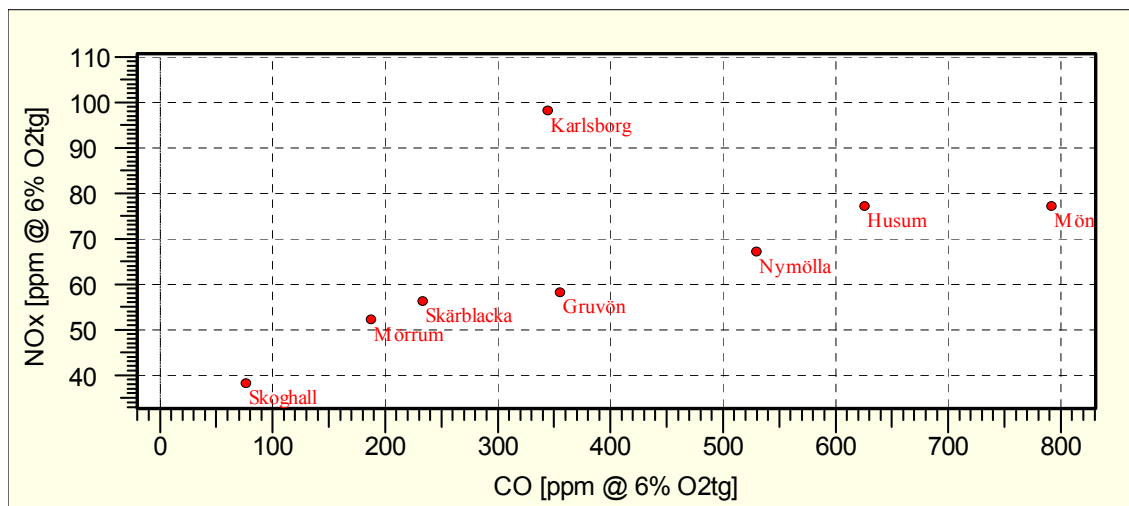


Figur 28. NO_x [ppm @ 6 % O₂ tg] som funktion av eldstadsbelastning [MW/m³]

Figure 28. NO_x emission [ppm @ 6 % O₂ tg] versus Furnace heat load [MW/m³]

Det går också att konstatera att, även om det för enskilda pannor finns ett negativt samband mellan NO_x och CO, så kan det inte generellt sägas att pannor med låga NO_x-emissioner har det tack vare att CO-koncentrationen är högt uppdriven. Figur 29 visar att, med undantag för en panna (Karlsborg), är det de pannor med lägst CO som också är de som har lägst NO_x. Figur 29 visar med önskvärd tydlighet att det med god

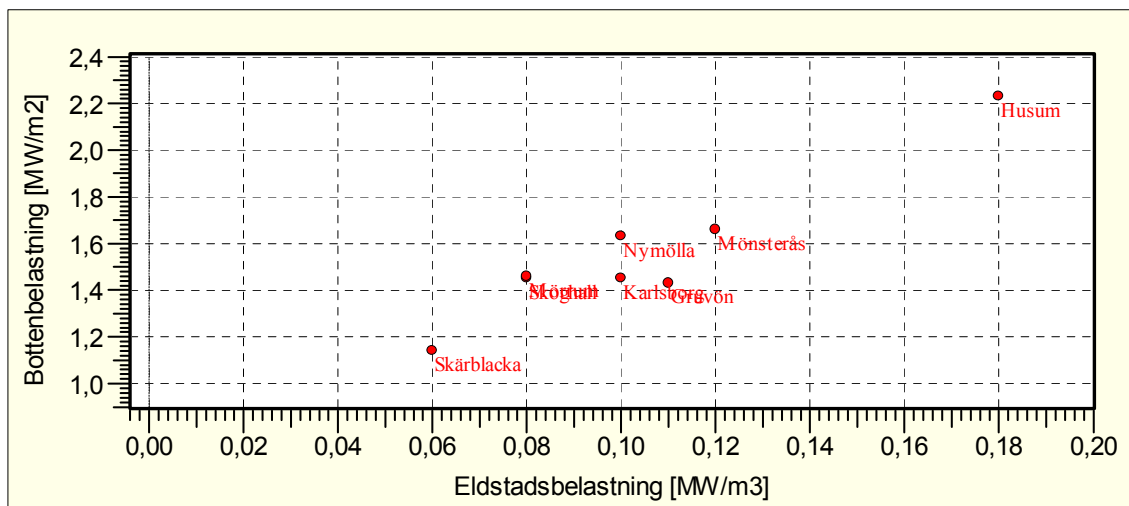
förbränningsteknisk design är möjligt att förena låg CO med låg NO_x . Det finns mycket som talar för att en befintlig panna också kan sänka sina emissioner genom att trimma driften mot minimerad NO_x vid bibehållen CO. Gruvön är ett sådant exempel, där trimning av pannans drift medfört en minskning av NO_x -utsläpp under år 2010 ifrån ca 60 mg/MJ till ca 44 mg/MJ (eller från ca 72 till 52 ppm vid 6% O_2), med bibehållen vald CO-nivå.



Figur 29. NO_x [ppm @ 6 % O_2 tg] som funktion av CO [ppm @ 6 % O_2 tg]

Figure 29. NO_x [ppm @ 6 % O_2 tg] versus CO [ppm @ 6 % O_2 tg]

Bottenbelastningen har förmodligen en viss inverkan på emissionerna av CO och NO_x även bilden här är mer splittrad. Generellt har pannor med hög eldstadsbelastning också hög bottenbelastning, Figur 30. Ett argument för att bottenbelastningen möjligen inte är så betydelsefull för NO_x är att NO_x -emissionen mellan Metsos pannor sprider mycket trots att flera av dem har en likartad bottenbelastning mellan 1,4 till 1,5 MW/m^2 . Foster Wheeler och Tampella har tillåtit högre bottenbelastningar.



Figur 30. Bottenbelastning [MW/m^2] som funktion av eldstadsbelastning [MW/m^3]

Figure 30. Furnace heart heat load [MW/m^2] versus furnace volumetric heat load [MW/m^3]

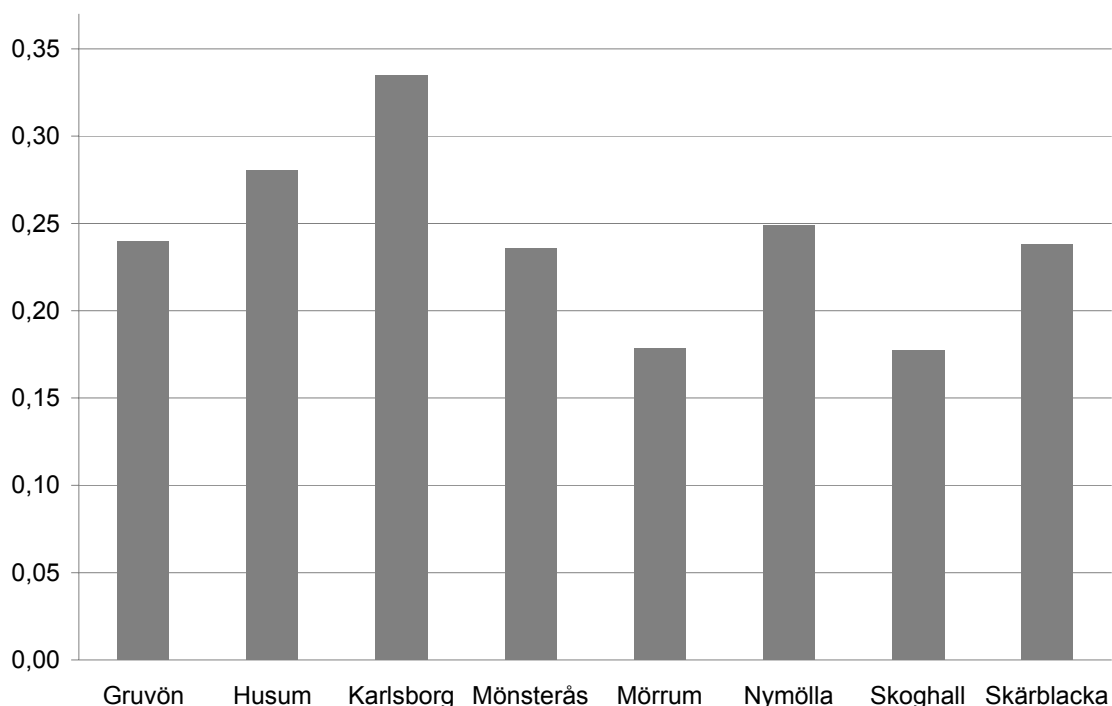
När det gäller CO-emissioner är det svårt att avgöra om FB-konverterade pannor har lägre emissioner än andra skogsindustriella fastbränslepannor. Det är inte orimligt att anta att FB-konverteringarna lett till minskade emissioner men detta har nog snarare att göra med moderniserad luftregisterdesign än FB-konverteringen i sig.

När det gäller NO_x finns statistiken från NO_x-avgiftssystemet att tillgå och det skogsindustriella genomsnittet var 2008 0,26 kg/MWh [17]. Som framgår av Figur 31 ligger de flesta studerade FB-konverteringarna under branschens genomsnitt. Genomsnittet för de studerade pannorna är 0,24 kg/MWh. Ur denna synpunkt får konverteringarna som grupp betraktas som lyckade.

Omräkning från kg NO₂/MWh_{nyttig} till mg NO₂/MJ_{tillfört} kan överslagsmässigt göras genom multiplikation av värden angivna i Figur 31 enligt följande stegvisa metod.

- Omräkning från kg NO₂/MWh_{nyttig} till mg NO₂/MJ_{nyttigt} görs genom division med faktorn $3,6 \cdot 10^{-3}$.
- Omräkning från mg NO₂/MJ_{nyttigt} till mg NO₂/MJ_{tillfört} görs därefter genom multiplikation med termisk verkningsgrad. I denna studie har den termiska verkningsgraden uppskattats till 88 %.

Totalt var det 64 registrerade skogsindustriella pannor representerade 2008 varför dessa åtta pannor utgör 12,5 % av pannbeståndet. Dessa pannor är dock stora och svarade för 27 % av den nyttiggjorda energin bland de skogsindustriella pannorna. NO_x-utfallet på dessa åtta pannor har därför stor inverkan på för den genomsnittliga NO_x-emissionen från avgiftspliktiga skogsindustriella pannor. Det genomsnittliga utsläppet för pannor totalt (d.v.s. brytpunkten för om en anläggning blir nettoinbetalare eller inte) var 0,20 kg/MWh år 2008. Ur denna synvinkel kan de konverterades NO_x-prestanda ifrågasättas men då skall det påminnas om att återbetalningen i NO_x-avgiftssystemet baseras på nyttiggjord energi. Detta gynnar pannor med rökgaskondensering. En av de studerade pannorna har rökgaskondensering. Med hänsyn till pannornas lastvariationer och att kraftiga laständringar görs högfrekvent och snabbt är pannornas NO_x-prestanda rimliga.



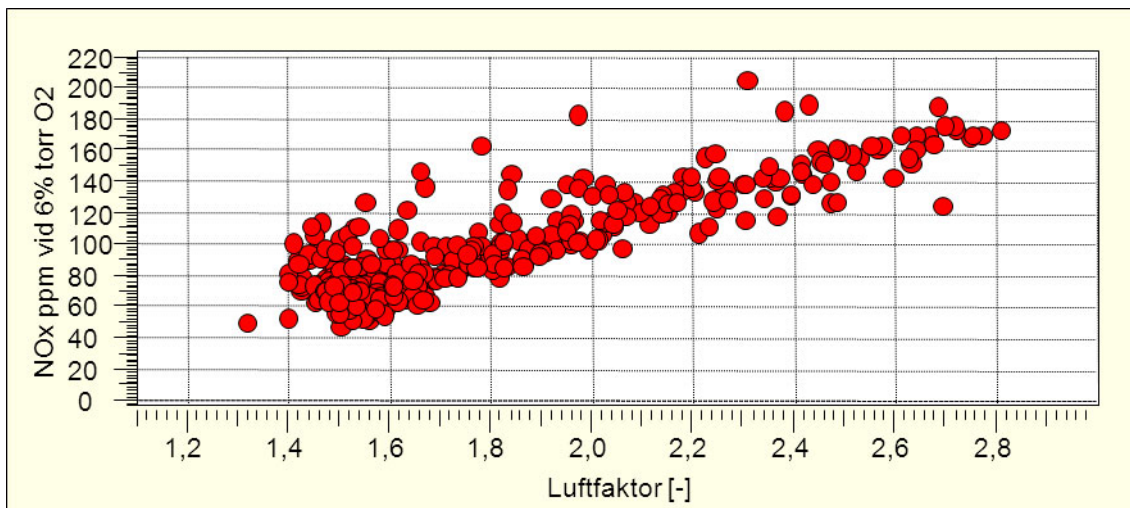
Figur 31. Energispecifik NO_x-emission 2009 [kg NO₂/MWh_{nyttig}]

Figure 31. NO_x-emission expressed as kg NO₂/MWh_{nyttig}

Som tidigare nämnts varierar luftfaktorn, mätt i skorstenen, kraftigt på de flesta av pannorna. I vissa fall beror detta säkert på diffusa inläckage av luft i exempelvis elektrofilter. Luftinläckaget har då bara en utspädande effekt på emissionerna som försvinner vid normalisering av mätvärdena till samma O₂-halt. En panna som har ett diffust luftläckage som inte återspeglar variationer i luftöverskott i eldstaden uppvisar inget samband mellan å ena sidan emissioner av CO och NO_x och å andra sidan luftfaktor. Möjligen höjs brusnivån i emissionssignalen vid höga luftfaktorer.

Gruvön, Husum, Skoghall och Skärblacka uppvisar svaga eller inga korrelationer mellan främst NO_x men även CO och luftfaktor mätt i skorsten. I dessa pannor kan det förmodas att variationer i diffusa luftinläckage i den kallare delen av rökgasstråket vid varierande last ligger bakom en stor del av luftfaktorvariationen mätt i skorstenen.

I Karlsborg, Mönsterås, Mörrum och i viss utsträckning Nymölla finns ett mer eller mindre tydligt samband mellan hög luftfaktor mätt i skorsten och höga emissioner av framför allt NO_x och i svagare grad CO. Speciellt tydligt är detta i Karlsborg när det gäller NO_x. Figur 32 visar sambandet mellan luftfaktor mätt i skorsten och normaliserad NO_x-emission som dygnsmedelvärden för ett års drift. Även om luftfaktorn i skorsten till sitt absoluta belopp inte återspeglar driftförhållandet i eldstaden är det kvalitativa sambandet med NO_x-emissionen tydligt.



Figur 32. NO_x ppm @ 6 % O_2 tg som funktion av luftfaktor [-] mätt i skorsten Karlsborg

Figure 32. NO_x ppm @ 6 % O_2 tg versus air factor based on oxygen content in the stack, data from Karlsborg paper mill

4.4 FB-konverteringen - En kompromiss med utvecklingsmöjligheter?

Den tydligaste kompromissen vid konvertering av en befintlig panna till en fluidiseradbäddpanna är uppenbart eldstadsbelastningen. Eldstadsvolymen är svår att radikalt förändra med en given panna i ett befintligt hus. Utvärderingen i denna studie har dock visat att en högre eldstadsbelastning/förbränningskapacitet dock verkar riskera en negativ inverkan på CO och NO_x . Frågan är dock om inte emissionerna från högt belastade pannorna skulle kunna förbättras med en moderniserad överlufttillförsel.

Även om det är förenat med investeringar och ombyggnader kan det finnas skäl att fråga sig om inte flera av de lägre belastade pannorna skulle kunna effekthöjas i framtiden om ångbehov skulle finnas. Det krävs dock beräkningar av hastigheter i bakre drag m.m. så att designkriterier för pannan inte överskrids.

Även bottenbelastningen varierar kraftigt mellan pannorna, men när det gäller dysbottens area har pannleverantörerna uppenbart gjort aktiva val eftersom det i flera fall valts att såväl vidga som minska tvärsnittsarea i den nedre delen av eldstaden. Frågan är om det inte vid dellast kan vara en fördel att ha en panna som är designad för en något högre bottenbelastning? Motivet till detta skulle vara att en hög bottenbelastning gör det lättare att, vid låg last, upprätthålla fluidiseringen utan att primärluftstökiometrin blir för hög, stegningsmöjligheterna med överluften bibehålls i högre grad och luftöverskottet kan hållas nere. Är också fukthalten i bränslet hög, kan detta vara betydelsefullt eftersom eldstadstemperaturen annars kan bli så låg att CO-oxidation och SNCR fungerar dåligt. Ett annat sätt att minska primärluftsbehovet vid låglast är att stänga av luften till de yttre dysorna, s.k. slumpning av bädden, vid låglast.

När det gäller det inre bränslesystemet tycks det också finnas en del kompromisser som har att göra med att en delvis ny panna byggts i ett gammalt hus. De flesta pannorna i

studien har fyra bränslestup med inmatning från motstående väggar. Två av pannorna har dock bara inmatning från en vägg med två stup trots att fluidbäddarean är likartad (ca 40 m²) med flera av de pannor som har fyra bränslestup.

Volymen på barksilon tycks heller inte ha någon koppling till fastbränslekapaciteten. Vi vet inte varför så olika silovolym har valts, en förklaring kan vara att det har att göra med utrymmesmässiga hänsynstaganden. Generellt måste det vara en fördel med en större barksilo eftersom panndriften blir mindre känslig för störningar i bränsleförsörjningen.

De designmässiga kompromisser som konstaterats tycks främst påverka miljöparametrarna som CO och NO_x. Det finns inget stöd i denna studie för att kunna säga att FB-konverteringar har gett pannor som har väsentligt sämre tillgänglighet, kortare drifttid eller högre driftkostnader än en ny BFB-panna.

Det kan också konstateras att de flesta pannor eldar fuktiga bränslen och att pannorna är utlagda för detta. På ångsidan finns det i många fall överkapacitet jämfört med fastbränslelasten. Det finns därmed antagligen möjligheter att öka fastbränslelasten genom att torka bränslet t.ex. med spillvärme. Här avses i första hand förtorkning av bränslet (ca 5 %-enheter) så att fukthalten fortfarande ligger inom det intervall pannan är utlagd för. En förändring av fukthalten utanför fukthaltsspannet som pannan är utlagd för innebär att pannan måste räknas igenom och eventuellt även till viss del byggas om. Ett torrare bränsle kräver ökad kylning av bädden och till viss del kan kylningen av bottenbädden justeras med rökgasrecirkulation och/eller justering av pannans inmurning.

4.5 Samförbränning med avfallsbränslen

Klassning av skogsindustriella fastbränslepannor som samförbränningspannor skulle teoretiskt kunna vara ett sätt att bredda bränslebasen och sänka bränslekostnaderna för bruken genom att köpa billigt avfallsbränsle och sälja motsvarande mängd rent biobränsle till ett högre pris.

Med ett antagande om en prisdifferens på 50-100 kr/MWh är besparingen i bränslekostnad 5-10 Mkr/år och 100 GWh bränsle som kan skiftas från bio till avfallsbränsle. Eftersom alla de studerade pannorna förbrukar flera hundra GWh bränsle/år är den teoretiska kostnadsbesparingen betydande, även om hänsyn tas till att engångsinvesteringar i ny rökgasreningsteknik, emissionsmätningar samt bränsle- och asksystem måste göras. Ett flertal faktorer talar dock emot att dessa pannor lämpar sig som samförbränningspannor.

- Kraven på att kunna ändra lasten upp och ned så mycket som 10 %/min och kunna gå på så låg dellast som 35-40 % av nominell last gör det osannolikt att dessa pannor skulle kunna klara de CO-krav som gäller för samförbränningspannor.
- De kostnadsfördelar som ligger i sänkta bränslekostnader skulle snabbt ätas upp om pannornas tillgänglighet skulle börja försämrats på grund av bränslebytet.
- Flera av pannorna har så hög eldstadsbelastning att det knappast är troligt att det går att uppfylla kravet på minst 2 sekunders uppehållstid över 850°C utan en

påtaglig och driftekonomiskt kostsam sänkning av den nominella fastbränslelasten.

- Samtliga pannor är designade för ett förhållandevis fuktigt bränsle. De flesta avfallsbränslen lämpade för samförbränning är betydligt torrare och har högre värmevärde än typbränslet har idag. Skall en rimligt stor andel avfallsbränsle eldas, vilket bränslekostnadssänkningen kräver, finns det risk för att bränsleblandningens fukthalt och värmevärde hamnar utanför vad pannorna förbränningstekniskt är designade för vilket kan kräva justeringar av pannan. Ett torrare bränsle kan dock ha sina fördelar om det idag eldas mycket fuktiga bränslen.
- Svårigheter och höga kostnader för att anpassa rökgasrening i ett befintligt pannhus till de krav som gäller vid samförbränning

5 Slutsatser

Motiven för att konvertera till FB-teknik har varit:

- Utbyggnad och modernisering av turbinkapaciteten drivet av stigande elpriser och införandet av gröna certifikat vilket lett till ökat effektbehov.
- Behov av att ersätta oljebaserad ångproduktion med billigare bränsle
- Önskemål om att klara laständringskapacitet på typiskt 10 %/min
- Kort leveranstid jämfört med att bygga ny panna
- Lägre kapitalbehov
- Möjlighet att elda blöta slam
- Stort investeringsbehov och bristande tillgänglighet på gammal panna (vissa)

Att konvertera äldre pannor till BFB-teknik framstår generellt som ett kostnadseffektivt sätt att höja fastbränslekapacitet och förbättra laständringsegenskaper. Samtliga pannor uppvisar hög årlig drifttid (350 till >360 dygn/år) och skillnaderna i drifttid har inga uppenbara kopplingar till FB-konverteringen eller leverantör av konverteringen. Samtliga anläggningsägare som deltagit i studien har uppgett att de ser FB-konverteringen som ett likvärdigt alternativ till att bygga en helt ny panna och att konverteringarna kommer att brukas inom överskådlig tid. Ingen av anläggningsägarna har uppgett att de har någon ny barkpanna i den långsiktiga investeringsplanen.

Samtliga pannor är designade för en relativt fuktig bränslemix. 56 till 58 % fukthalt (42-44 % ts-halt) är en vanlig designfukthalt med ett intervall mellan 50-60 % fukt. Fukthaltsmätningar ute på anläggningarna indikerar genomsnittliga fukthalter mellan 53-58 %, vilket visar att bränslemixens fukthalt i de flesta fall överensstämmer väl med panndesignen. De flesta anläggningar pressar hela eller delströmmar, främst barrbark, fallande från det egna renseriet. Pressning av bark ger ofta en fukthaltssänkning på 6-8 %-enheter om barkens ursprungliga fukthalt är drygt 60 %.

Samtliga pannor eldar fiberslam. Fiberslammängden är 5-30 ton ts/dygn. Fyra pannor eldar bioslam 5-23 ton ts/dygn. Bioslammet sprutas i vissa fall in över bädden i eldstaden med ångspridning. Slaminmatning med ångspridning uppfattas som problematisk. En anläggning eldar kemslam som är en blandning av kemiskt fällningsslam och bioslam. En panna på ett bruk med magnefitprocess i massabruket eldar utöver slam även kvistrejkt (rikt på svavel och magnesium) samt ultrafiltrat från blekeriavloppet (rikt på natrium).

Samtliga konverteringar får betraktas som omfattande, där förutom att inre bränslesystem, sandsystem och asksystem byggts till, även väsentliga delar av pannans tryckbärande delar ersatts eller byggts om. Av den ursprungliga pannans tryckbärande delar återstår oftast endast dom, överhettare, delar av eldstad, i tvådomspannor tubsatsen (konvektion) samt i vissa fall delar av bakre draget. Samtliga pannor utom en har kvar sina gamla elektrofilter.

Samtliga pannor har överhettare i låglegerade stål. Materialvalet är inte gjort av leverantören av konverteringen utan är ett resultat av att den gamla pannans överhettare behållits.

Bland de studerade pannorna finns det väsentliga skillnader i eldstadsbelastning och bottenbelastning som uppenbart är ett resultat av en kompromiss mellan prestanda och utgångspanna för FB-konverteringen.

De flesta pannorna har bränsleinmatning från två motstående väggar (totalt fyra stup) men två pannor har bara inmatning från en sida (totalt två stup). En av dessa anläggningsägare uppger att betydelsen av att kunna styra fördelningen av bränslet in till eldstaden från motstående eldstadsväggar underskattats.

Sintringar och agglomereringar är inget generellt problem för FB-konverterade skogsindustriella fastbränslepannor. Sintringar och agglomereringar förekommer och har förekommit på vissa anläggningar medan andra i det närmaste är helt förskonade från agglomereringsproblematik även efter 40 000-70 000 drifttimmar. Flera anläggningsägare har rapporterat att flera nybörjarfel begåtts, vilket lett till sintringar och agglomereringar i början. I takt med att driftpersonalen blivit mer erfaren har ofta antalet sintringsincidenter minskat med åren. Många av sintringarna är bränslerelaterade. Här förekommer sintringar orsakade av allt från lutkontaminerad bark på sulfatmassabruk (rik på natrium) till eldning av fastbränsle med oacceptabelt högt innehåll av jord, grus och sand. Ett exempel på det senare är så kallad städbark. Slarv med sandomsättningen och bristande kontroll av sandnivån i eldstaden har också orsakat sintringar.

Bäddhöjdsättning med hjälp av tryckdifferensmätning upplevs som problematiskt och otillförlitligt. Flera anläggningsägare har gått ifrån differenstryckmätning för att bedöma bäddhöjd och infört visuella metoder för att bedöma mängden sand i bädden.

Två anläggningsägare har rapporterat att det funnits varierande problem med att det påsvetsade locket på bottendysorna lossnar och sedan skapar störningar i fluidiseringen. En av dessa anläggningsägare har uppgett att detta orsakat sintringar. Dessa problem är dock lösta idag.

Endast två av de åtta studerade pannorna tillämpar siktning av bottenaska och återföring av sanden/bäddmaterialet. Två av anläggningarna har sandåterföring installerad men använder den inte. Bäddomsättningstiden varierar mellan 4 och 53 dygn.

Den energispecifika sandförbrukningen varierar mellan 1 och 11 kg/MWh där de flesta ligger mellan 3-6 kg/MWh. Även om de två anläggningarna som tillämpar sandåterföring är de som har lägst energispecifik sandförbrukning, är variationen i sandförbrukningen inom gruppen pannor utan sandåterföring så stor att skillnaderna i sandförbrukning mellan de pannor som har sandåterföring och de som inte har, kan knappast förklaras av förekomsten av sandåterföring. Den energispecifika sandförbrukningen har ingen koppling till leverantör av konverteringen utan är ett resultat den strategi som valts lokalt för att styra sandutmatningen. Här finns troligen en viss kostnadsbesparingspotential för vissa av anläggningarna genom att minska sin sandförbrukning.

Samtliga pannor använder kiselsand. Baskarp 95 är den vanligaste sandsorten. Valet av sand är i nästan samtliga fall baserat på pannleverantörens rekommendation. I vissa fall

har byte till en geografiskt mera närliggande sandleverantör gjorts. Flera anläggningar har tillfälligt provat att gå ned i kornstorlek drivet av att det periodvis varit svårt att få tag i den ordinarie kornstorleken. En anläggningsägare har varaktigt gått ned i kornstorlek till Baskarp 55 därför den ökade finfraktionen upplevs ha en gynnsam inverkan på fluidisering och agglomereringstendens.

Studien har visat på få korrosionsskador. En panna har rapporterat korrosionsskador på eldstadstuber. En anläggning rapporterar korrosionsskador på sekundäröverhettare. Två anläggningsägare har rapporterat korrosionsskador på rökgasåterföringskanaler och en på primärluftskanalen.

Erosionsskador har rapporterats från ett par anläggningar. Två pannor har haft skador på överhettare. Åtminstone en av dessa misstänks vara orsakad av ångsotning dvs inte orsakad av sanderosion. En panna har rapporterat erosionsskador på elfiltret och en har haft erosionsskador på ekonomiser och luftförvärmare på grund av höga gashastigheter vid hög last. Skoghall har haft erosionsskador i taket på katalysatorn. En panna med sandåterföring har haft erosionsskador på sandåterföringsröret.

Flera bruk uppger dock att tubläckor förekommer. Även om tubläckor är sällsynt orsakar alltid en tubläcka ett längre stopp eftersom pannan måste svalna innan det är möjligt att gå in och svetsa. Ingen anläggningsägare har dock kopplat ihop tubläckor med korrosion eller erosion.

Flertalet pannor har viss beläggningsproblematik. Från två anläggningar rapporteras påslag på pannans eldstadsväggar. En panna har det senaste året haft stora hängande beläggningar på överhettarna. Vid en tvådomspanna har igensättningsproblematik i tubsatsen rapporterats. Från en annan panna rapporteras igensättningsproblematik i samband med försök med ammoniumsulfatdosering. Mörrum, som har ett ångscreen framför överhettarna får påslag på vindsidan som kopplas samman med ångspridningen av bioslam. Vid en panna har rökgassidiga igensättningar i ekonomiser och luftförvärmare rapporterats.

De flesta av de studerade pannorna har en nominell fastbränslekapacitet för ångproduktion mellan 60-80 MW. Två av pannorna har en ångproduktionskapacitet från fastbränsle på knappt 120 MW. I de flesta fall klarar pannorna cirkulationsmässigt ännu högre effekter och är utrustade med lastoljebrännare som kan utnyttjas separat utan fastbränsleeldning eller i kombination med fluidbäddförbränning av fastbränsle. Fastbränsleeldningen på de flesta anläggningarna överstiger vad som faller från det egna renseriet. Det flesta anläggningar är därför nettoköpare av externt fastbränsle. Det externa fastbränslet består främst av GROT, bark och stamvedsflis.

Det genomsnittliga kapacitetsutnyttjandet av den nominella fastbränslekapaciteten varierar mellan knappt 50 % till knappt 80 %. De flesta pannorna har ett kapacitetsutnyttjande mellan 65-79 %. I samtliga fall avviker medianvärdet på kapacitetsutnyttjandet endast någon procentenhet uppåt eller nedåt från medelvärdet. Detta beror på att varaktighetskurvan vid praktisk drift på de flesta pannorna nära nog kan approximeras med en rät linje mellan minlast och varaktig maxlast.

Minlast är ofta 35- 40 % av nominell fastbränsleeffekt. Den varaktiga maxlasten varierar mellan bruken. Vissa pannor har ett tydligt delvis oljebaserat kapacitetsutnyttjande över 100 % av den nominella fastbränslekapaciteten med

betydande varaktighet medan andra inte eller ytterst sällan utnyttjar sin fulla fastbränslekapacitet. Det som styr kapacitetsutnyttjandet, förutom pannans nominella fastbränslelast, är säsongsmässiga variationer i värmeförbrukning och kortvariga (på timbasis) variationer orsakade av produktionsstörningar på pappersmaskiner och kemikalieåtervinningsprocessen vid kemisk massaframställning. De säsongsmässiga variationerna i fastbränslelast är typiskt 30-50 % av nominell fastbränslelast. De kortvariga lastvariationerna på timbasis orsakade av produktionsstörningar är ofta ± 20 % av nominell fastbränslekapacitet.

Det faktum de flesta av pannorna med betydande varaktighet använder sitt fulla lastintervall ställer stora krav på förbränningsregleringen, speciellt vid låga laster. Vid låga laster stiger primärluftstökiometrin vilket försvårar en effektiv stegning av sekundär- och tertiärluften. Flera pannor visar kraftigt stigande luftfaktor vid låga laster vilket leder till ökade förluster. I de fall de ökade luftflödena leder till alltför kraftig kylning av eldstadstemperaturen kan det leda till stigande CO- och NO_x-emissioner. För de högre belastade pannorna kan dock lägre last innebära att både CO och NO_x-emissionen sjunker.

Även om en luftfaktor uppmätt i skorsten på grund av okända luftinläckage inte är samma sak som luftfaktor efter panna är stigande CO och NO_x-emissioner i kombination med stigande luftfaktorer en tydlig indikation på att förbränningsbetingelserna i eldstaden har förändrats vid låg last. Stigande luftöverskott i kombination med biobränsle med hög fukthalt gör att den adiabatiska förbränningstemperaturen sjunker snabbt.

En alltför låg adiabatisk förbränningstemperatur och därmed eldstadstemperatur försvårar CO-oxidation även om blandningsbetingelser och uppehållstid kan vara fördelaktiga. Samtidigt flyttar sig temperaturfönstret för SNCR-dosering nedåt i eldstaden. Vid låga laster ligger troligen den ideala doseringspunkten i många fall under den nedersta doseringsnivån. Flera anläggningsägare uppger också svårighet i att få SNCR-systemet att fungera väl över ett större lastintervall. Fler doseringspunkter anpassade till pannans faktiska driftområde skulle troligen kunna sänka NO_x-emissionerna från flera av pannorna.

Generellt har pannor med hög eldstadsbelastning (MW/m³) i denna studie högre CO- och NO_x-emissioner än pannor med låg eldstadsbelastning. Sambandet är främst kvalitativt men bland de analyserade pannorna har de med eldstadsbelastning under 0,10 MW/m³ betydligt lägre både CO- och NO_x-emissioner än de pannor som har eldstadsbelastning över 0,10 MW/m³.

Sambandet mellan bottenbelastning (MW/m²) och emissioner är mycket svagare. Här kan det konstateras att de flesta av Metso/Kvaerners konverteringar har en bottenbelastning mellan 1,4-1,5 MW/m² medan de Foster Wheeler- och Metso/Tampella-pannorna har bottenbelastningar över 1,6 MW/m² (Husum >2,2 MW/m²). Den stora spridningen i emissioner mellan Metso/Kvaerner-pannorna med snarlik bottenbelastning antyder dock att bottenbelastningen inte är en avgörande faktor för vare sig CO- eller NO_x-emissionerna.

I jämförelse med andra skogsindustriella pannor ligger de energispecifika NO_x-emissionerna för de undersökta pannorna marginellt under det skogsindustriella snittet

på 0,25 kg NO₂/MWh_{nyttig} (64 pannor 2008). De studerade åtta pannorna (12,5 % av av 64 avgiftspliktiga pannorna) har jämförelsevis hög årlig energiproduktion och svarar för 27 % av den nyttiggjorda energi som avgiftspliktiga skogsindustriella pannor producerade. Dessa åtta pannors NO_x-prestanda har därför stort genomslag på resultatet från gruppen skogsindustriella pannor.

Ofta anförs att förhöjd CO kan användas som ett sätt att reducera NO_x-emissionen. Data från vissa anläggningar i studien antyder att detta samband finns på åtminstone vissa enskilda pannor. Det är dock viktigt att påpeka att ett intrimmat luftsystem med god penetration kan minska stråkbildning och därmed sänka både CO- och NO_x-emissionerna.

Generellt, alla pannor sammantaget, är det de pannor som har lägst CO-emissioner som också har lägst NO_x-emissioner. Av detta kan den slutsatsen dras att det med god förbränningsteknisk design, stegad lufttillförsel och SNCR mycket väl går att förena låg CO med låg NO_x.

De skogsindustriella FB-konverterade barkpannorna bedöms inte vara lämpliga att klassa som samförbränningspannor. Även om det finns en intäktssida på bränslekostnaden som på flera av pannorna skulle kunna vara någon eller några tiotals miljoner kronor/år, finns det design- och driftmässiga skäl till att dessa pannor inte lämpar sig för samförbränning med avfallsklassade bränslen. Dessa är främst:

- Behov av stort effekttregleringsområde och snabba laständringar som försvårar att hålla nere CO-emissionerna på den nivå som krävs för samförbränning
- Ökad risk för bränslerelaterade störningar som skulle sänka tillgängligheten
- I vissa fall så hög eldstadsbelastning uppehållstidskravet om mer än två sekunder över 850°C inte uppfylls annat än genom en effektmässig nedklassning av pannan
- Risk för att bränslet blir för torrt jämfört vad pannorna designats för
- Relativt höga investeringar och ombyggnader för att anpassa rökgasreningen och miljömätningssystem

6 Förslag till fortsatt forskningsarbete

- Studera hur bättre miljödata skall kunna åstadkommas trots de stora lastvariationerna.
- Metoder och tekniker för att kunna elda med lägre luftöverskott på dellast.
- Vilka möjligheter finns det att öka elproduktionen från dessa pannor som dessutom skulle kunna generera nya gröna certifikat?
- Studera hur förtorkning med spillvärme vid låg temperatur kan utnyttjas för att minska behovet av externt inköpt bränsle.
- Demonstrera hur FB-pannorna kan utnyttjas i ett energikombinat omfattande förgasning och torkning.

Samtliga studerade pannor eldas med betydande varaktighet på låg last nära minlast. Detta görs i många fall på bekostnad hög primärluftstökiometri och hög luftfaktor vilket leder till sämre verkningsgrad. I vissa fall, speciellt vid mycket fuktiga bränslen, riskerar temperaturprofilen att blir så låg att risk föreligger för hög CO och försämrad effekt av SNCR-en d.v.s. högre NO_x. I många fall minskar dock CO vid låglast då syrehalten och uppehållstiden ökar.

Den höga primärluftstökiometrin drivs av behovet att upprätthålla fluidiseringen av bädden även vid låg last. Ett möjligt fortsatt forskningsområde skulle kunna vara att studera förbränningstekniska fördelar av att designa en skogsindustriell FB-panna med en något högre bottenbelastning med bibehållen låg eldstadsbelastning ($<0,10 \text{ MW/m}^3$) för att på så sätt lättare kunna kombinera låg primärluftstökiometri i kombination med låg last. En sådan studie skulle också inkludera driftstrategier som innebär att fluidiseringen kan upprätthållas med lägre primärluftflöden. Detta skulle kunna omfatta slumpning av bädden (fluidisering och bränsleinmatning till vissa sektioner av eldstadsbotten stängs av) samt driftprover på dellast med bäddmaterial som fluidiserar vid lägre luftflöden. Rent konkret skulle det exempelvis kunna vara tänkbart att sommartid gå över till ett mera finkornigt bäddmaterial och en därtill anpassad luftstyrning.

Kraven på ett brett lastintervall försvårar den förbränningstekniska designen och försämrar pannornas miljöprestanda. Ett sätt att hantera detta är att minska de säsongsmässiga variationerna i ångförbrukning. Ur detta perspektiv skulle det vara intressant att göra en energisystemteknisk studie av vilka ångförbrukare det är som driver de i vissa fall stora säsongsmässiga förbrukningsvariationerna i integrerade och ointegrerade pappers- och massabruk. Genom att reducera ångeffekttopparna vintertid skulle troligen oljeeldningen kunna minskas och fastbränsleresurser för en extern bränslemarknad kunna frigöras samtidigt som kostnader för marginalbränsle minskas och emissionerna minskar i absoluta tal.

Samtliga pannor eldas med fuktiga bränslen och i många fall köps externt bränsle. Det skulle därmed kunna finnas fördelar med att torka sitt eget bränsle för att slippa köpa in externt bränsle och dessutom kunna jämna ut lastvariationerna över året. Ett torrare bränsle innebär att det behövs ökad kylning i bädden. Ett sätt att kyla bädden skulle kunna vara att komplettera pannorna med en extern förgasare och t.ex. producera gas till mesaugnen (vilket görs i Värö). Ett förslag är därmed att genomföra en energistudie över vilka möjligheter som finns att kombinera torkning och förgasning med skogsindustrins barkpannor. Studien skulle även belysa vilka ombyggnader som krävs för att kunna elda torrare bränslen.

7 Litteraturreferenser

- [1] Nielsen K; *Erfarenheter från bränslekonverteringar*, Värmeforskrapport 665, Stockholm, 1999
- [2] Eriksson L, Ingman R; *Anvisningar för konvertering av rosterpannor till fluidiserad bäddteknik*, Värmeforskrapport 725, Stockholm 2001
- [3] Zintl F; *Sintring av bäddmaterial vid biobränsleeldning i CFB*, Värmeforskrapport 604, Stockholm, 1997
- [4] Berge N, Kallner P, Larfeldt J, Ljungdahl B, Malmgren A, Zintl F; *TPS BRANCHFORSKNING FÖR ENERGIVERK 97/98 Sammanfattning av genomförda projekt*, Värmeforskrapport 685, Stockholm, 2000
- [5] Zintl F, Ljungdahl B; *TPS BRANCHFORSKNING FÖR ENERGIVERK 98/99 Sintring i FB och CFB – utveckling av prediktiv metod samt test av additiv och sameldning*, Värmeforskrapport 712, Stockholm, 2000
- [6] Ljungdahl B, Zintl F; *TPS BRANCHFORSKNING FÖR ENERGIVERK 99/00 RT-flis och rötslam. Problemidentifiering relaterad till bäddsintring och emissioner vid eldning i FB*, Värmeforskrapport 753, Stockholm, 2001
- [7] Öhman M, Nordin A; *Summary of recent results obtained from using the controlled fluidized bed agglomeration method*, Impact of Mineral Impurities in Solid Fuel Combustion, Springer, New York, 1999, s. 259-270
- [8] Öhman M, Nordin A, Skrifvars B-J, Backman S, Hupa M; *Bed agglomeration characteristics during fluidized bed combustion of biomass fuels*, Energy and Fuels, vol. 14, nr. 1, 2000, s. 169-178
- [9] Eklund A, Brus E, Öhman M, Hedman H, Boström D, Nordin A; *Utvärdering av Hyttsand som bäddsand i FB-anläggningar – Förstudie och laboratorieförsök*, Värmeforskrapport 832, Stockholm, 2003
- [10] De Geyter S, Eriksson M, Öhman M, Nordin A, Boström D, Berg M; *Skilnader i bäddagglomereringstendens mellan alternativa bäddmaterial och olika mineraler i natursand*, Värmeforskrapport 920, Stockholm, 2005
- [11] Davidsson K, Eskilsson D, Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kassman H, Steenari B-M, Åmand L-E; *Ramprogram – Åtgärder vid samtidig minnering av alkalirelaterade driftproblem*, Värmeforskrapport 997, Stockholm, 2006
- [12] Latva-Somppi J; *Experimental studies on pulp and paper mill sludge ash behavior in fluidized bed combustors*, VTT Publications, nr. 336, Espoo, 1998
- [13] Lind T, Hokkinen J, Orjala M, Jokiniemi J K, Kauppinen E I; *The effect of chlorine and sulfur on fine particle formation during co-combustion of bark and sludge*, Journal of Aerosol Science, vol.35, nr. Suppl.2, 2004
- [14] Coda B, Aho M, Berger R, Hein K; *Behavior of chlorine and enrichment of risky elements in bubbling fluidized bed combustion of biomass and waste assisted by additives*, Energy and Fuel, vol. 15, nr. 3, 2001
- [15] Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Davidsson K, Åmand L-E, Steenari B-M, Folkesson N, Pettersson J, Svensson J-E, Boss A, Johansson L, Kassman H;

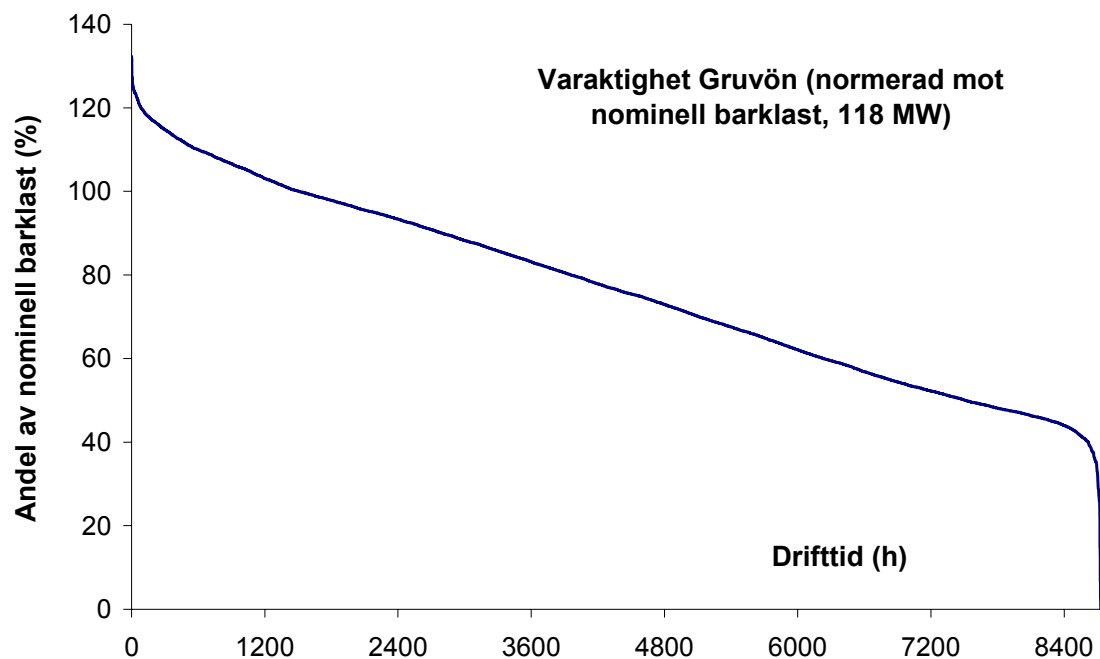
Ramprogram – Åtgärder vid samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem, Etapp 2, Värmeforskrapport 1037, Stockholm, 2007

- [16] Eriksson M, Wikman K, Berg M, Öhman M; *Effekten av fluidiseringshastighet och kornstorlek på agglomereringsrisk vid biobränsleeldning i FB-pannor*, Värmeforskrapport 890, Stockholm, 2004
- [17] Naturvårdsverket NO_x-avgiftsstatistik 2008, www.naturvardsverket.se

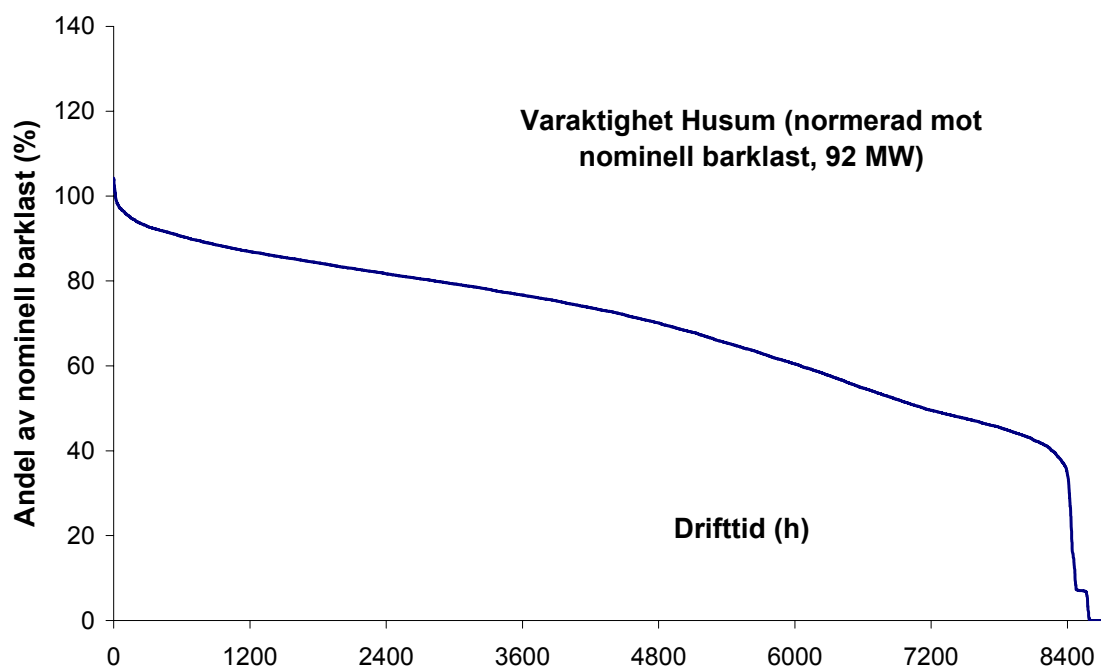
Bilagor

A Varaktighetsdiagram

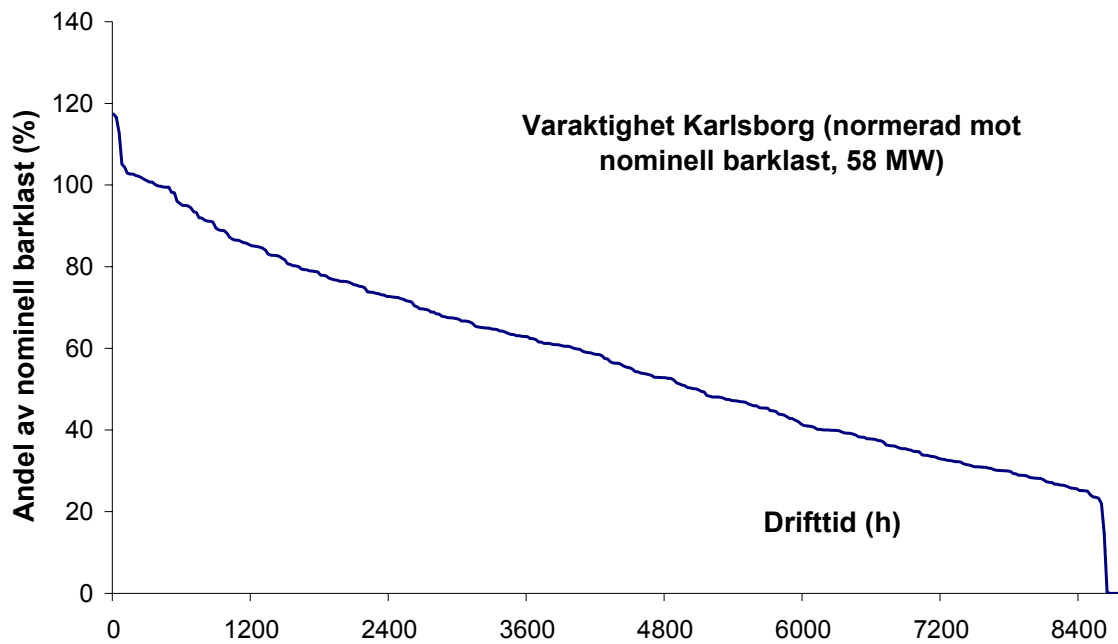
A.1 Gruvön



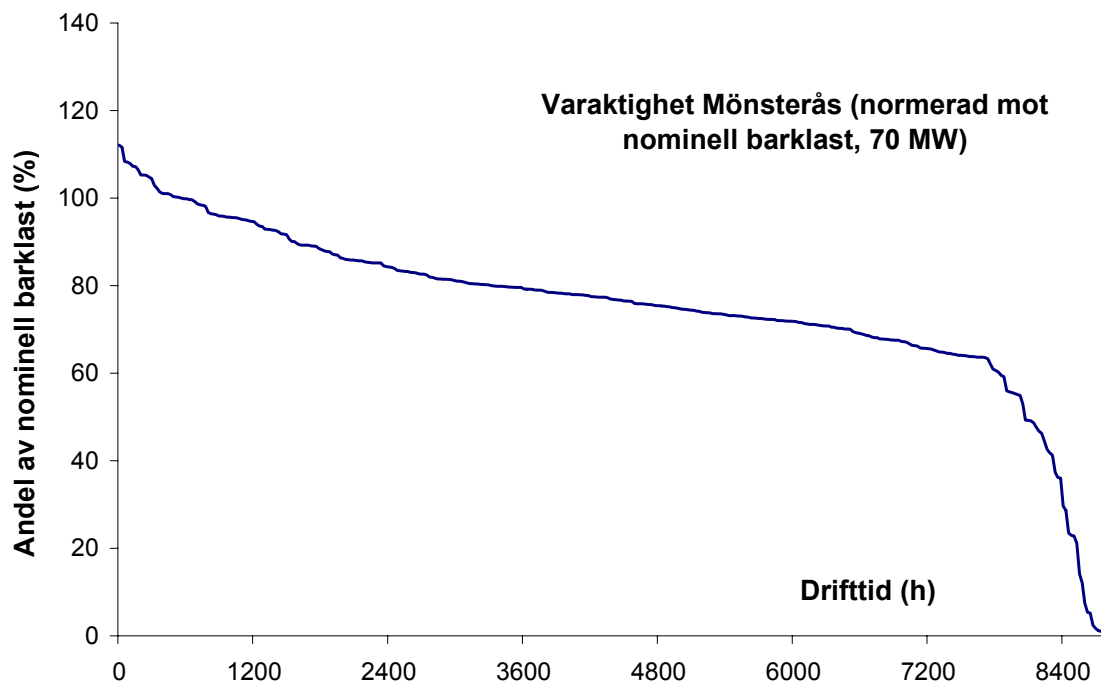
A.2 Husum



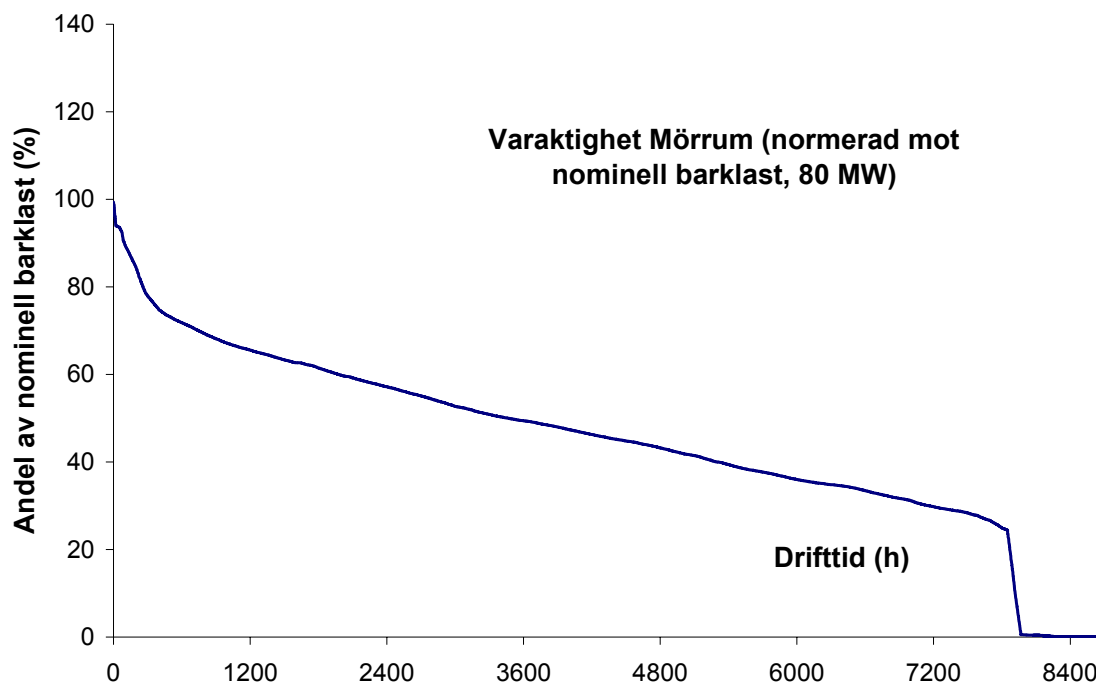
A.3 Karlsborg



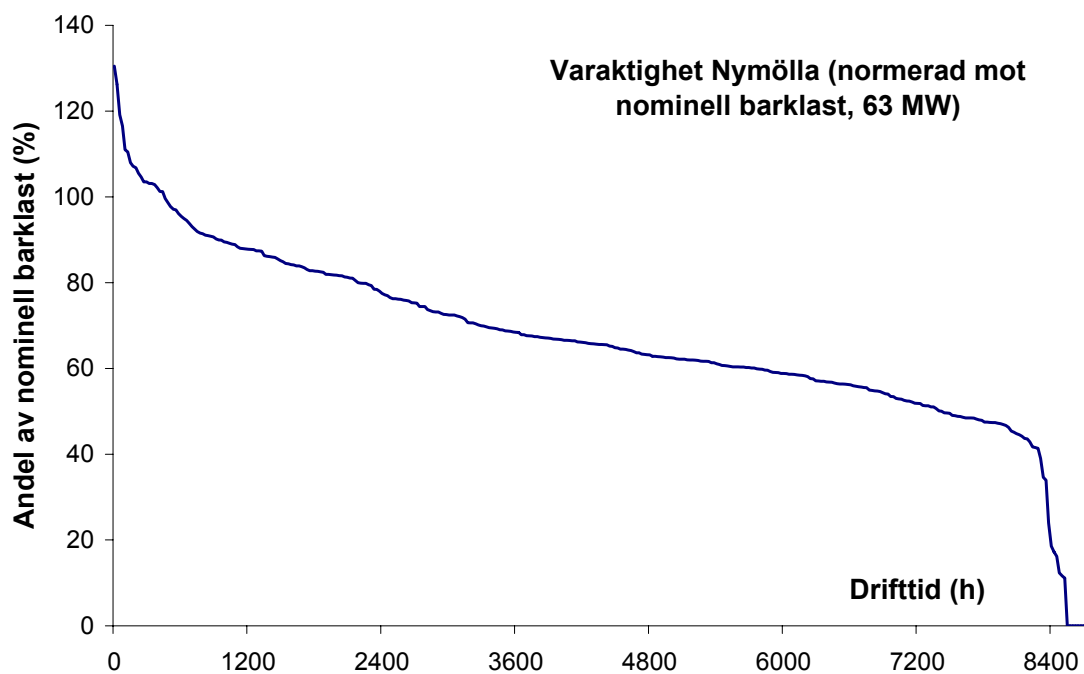
A.4 Mönsterås



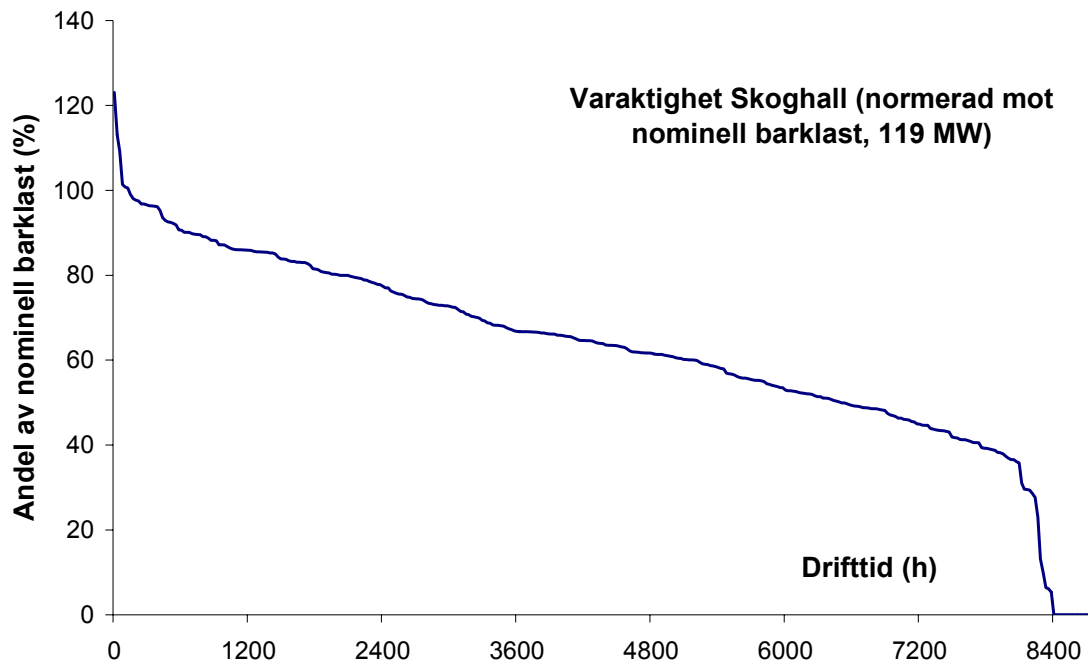
A.5 Mörrum



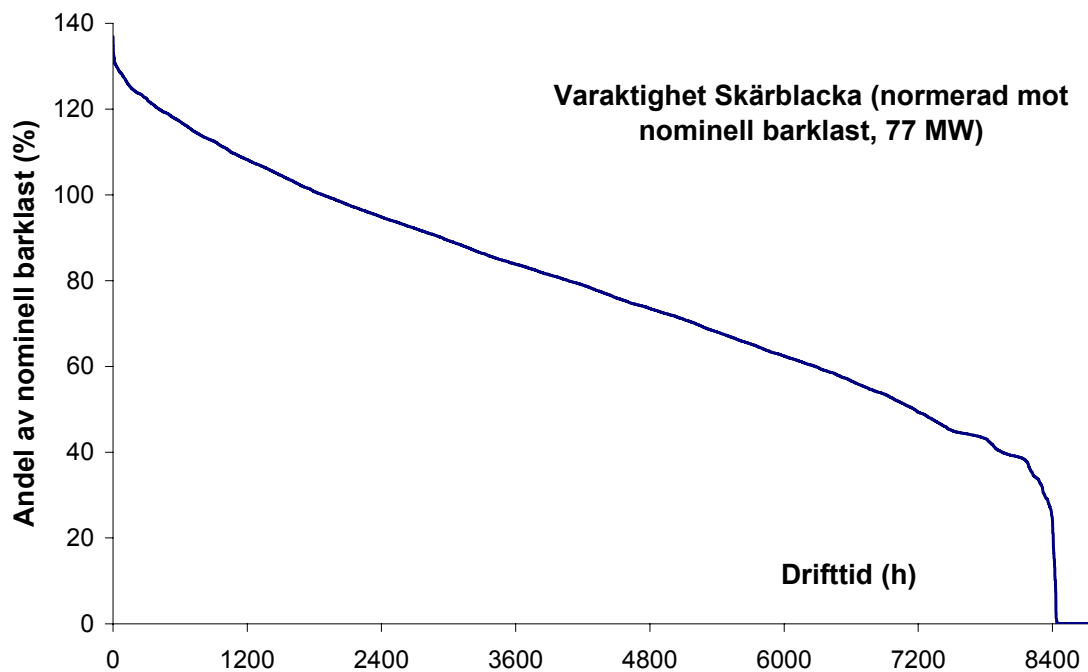
A.6 Nymölla



A.7 Skoghall

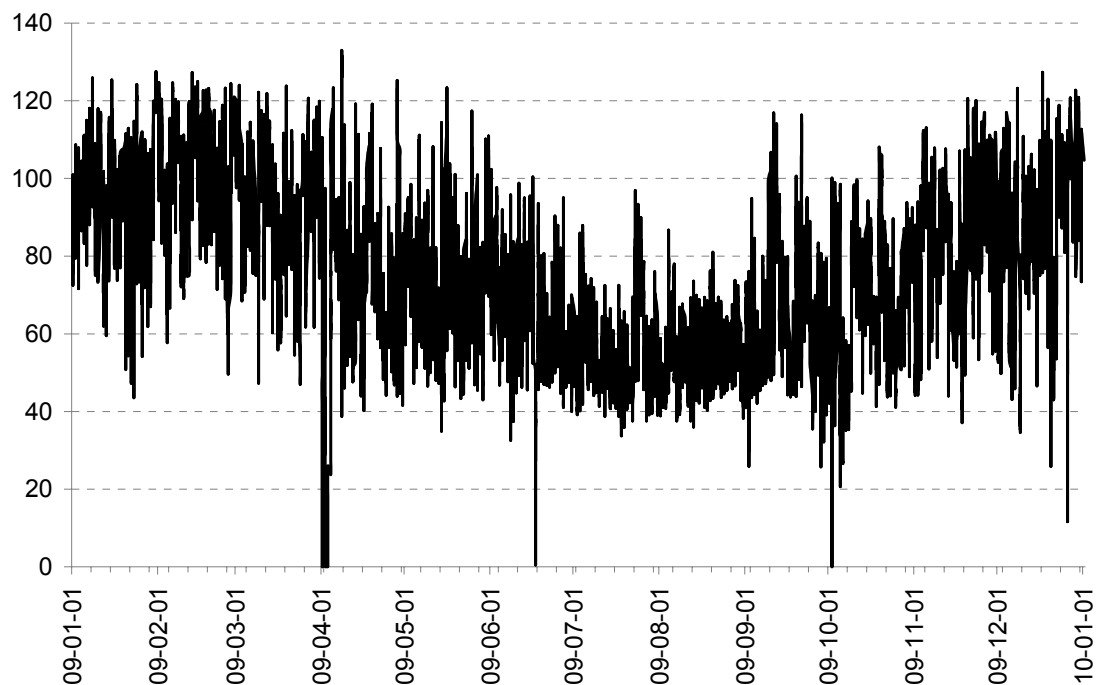


A.8 Skärblacka

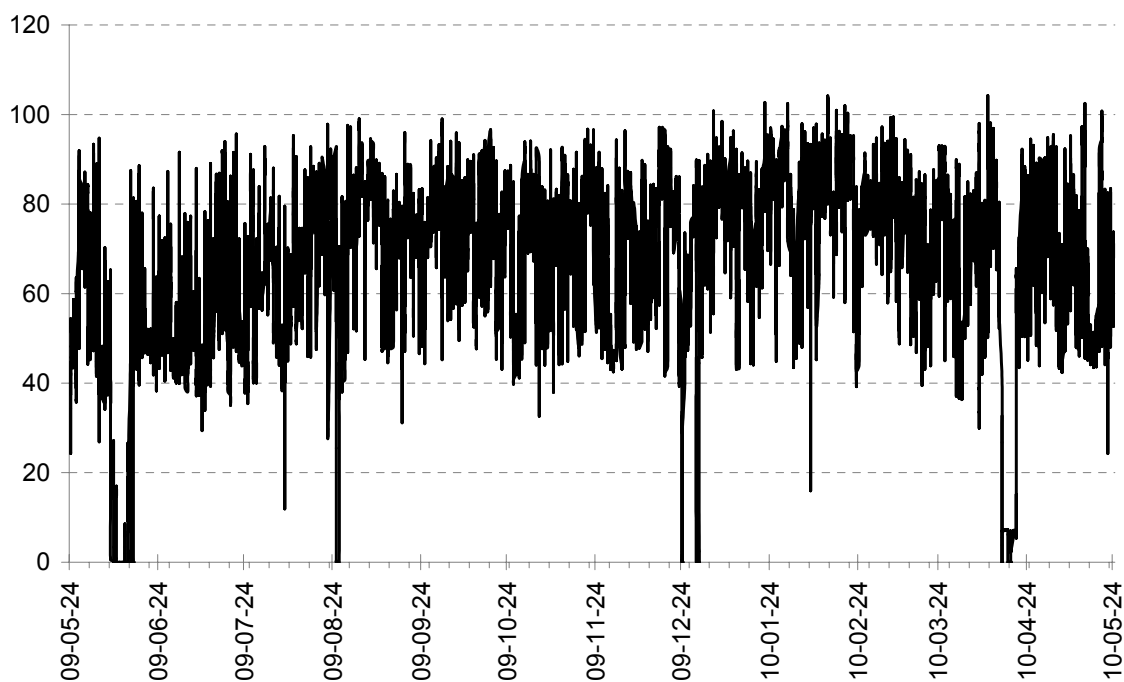


B Trender ångproduktion % av nominell last

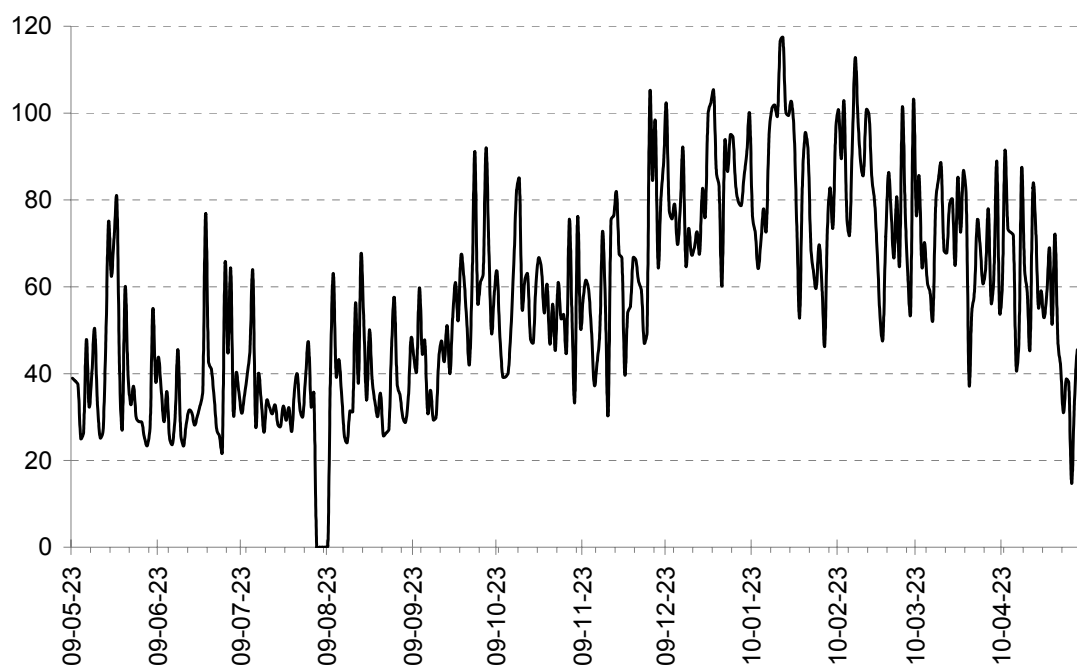
B.1 Gruvön



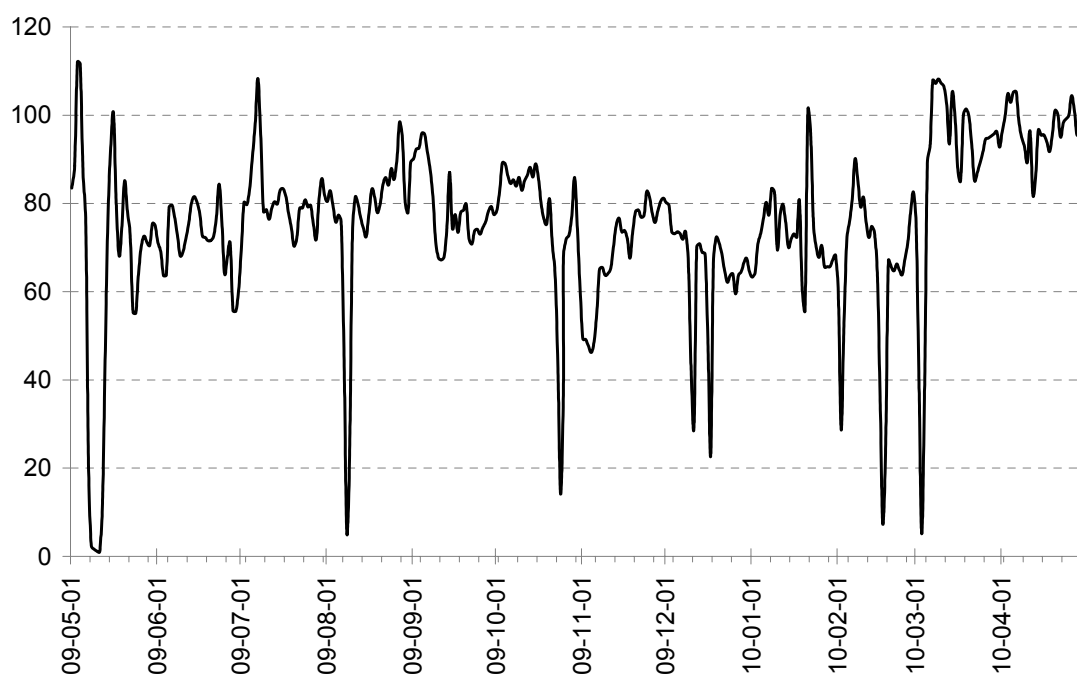
B.2 Husum



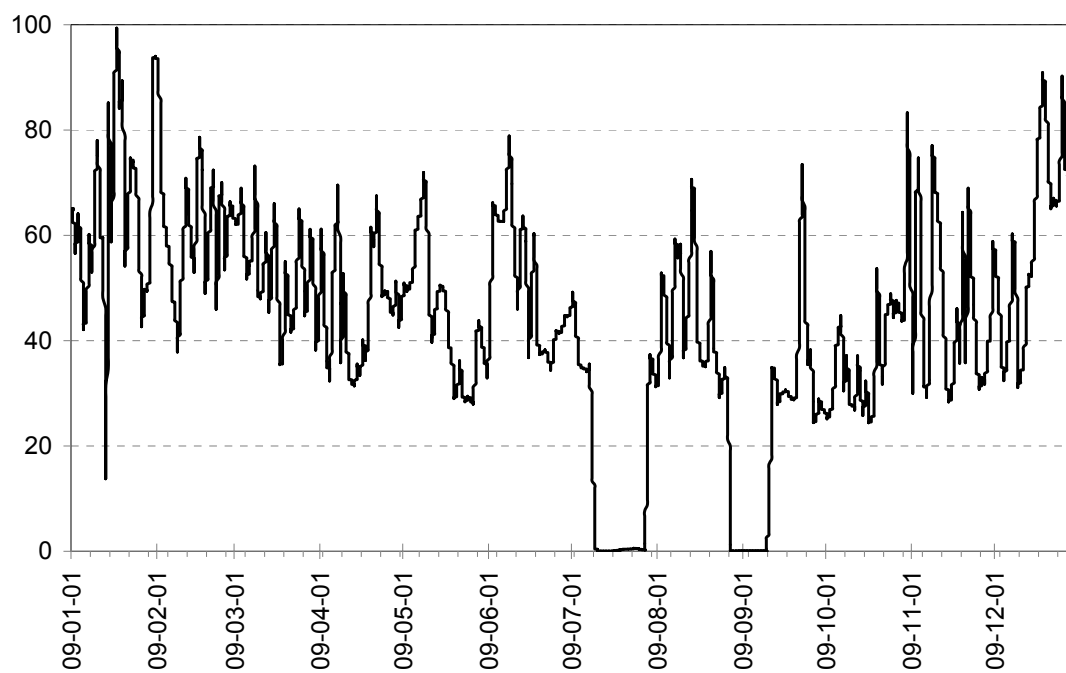
B.3 Karlsborg



B.4 Mönsterås



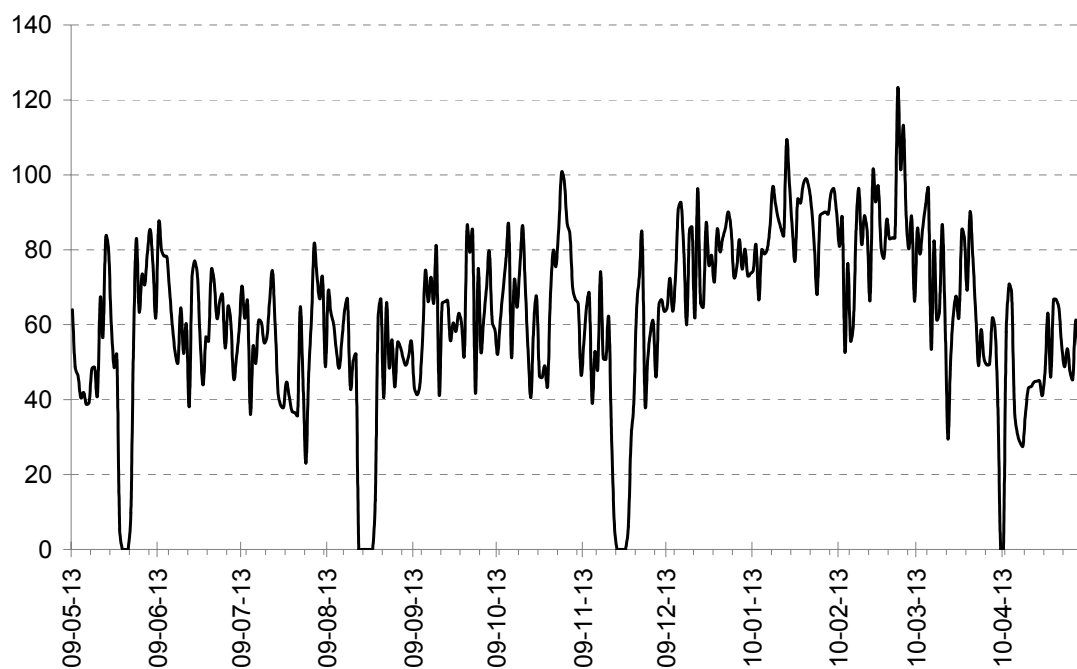
B.5 Mörrum



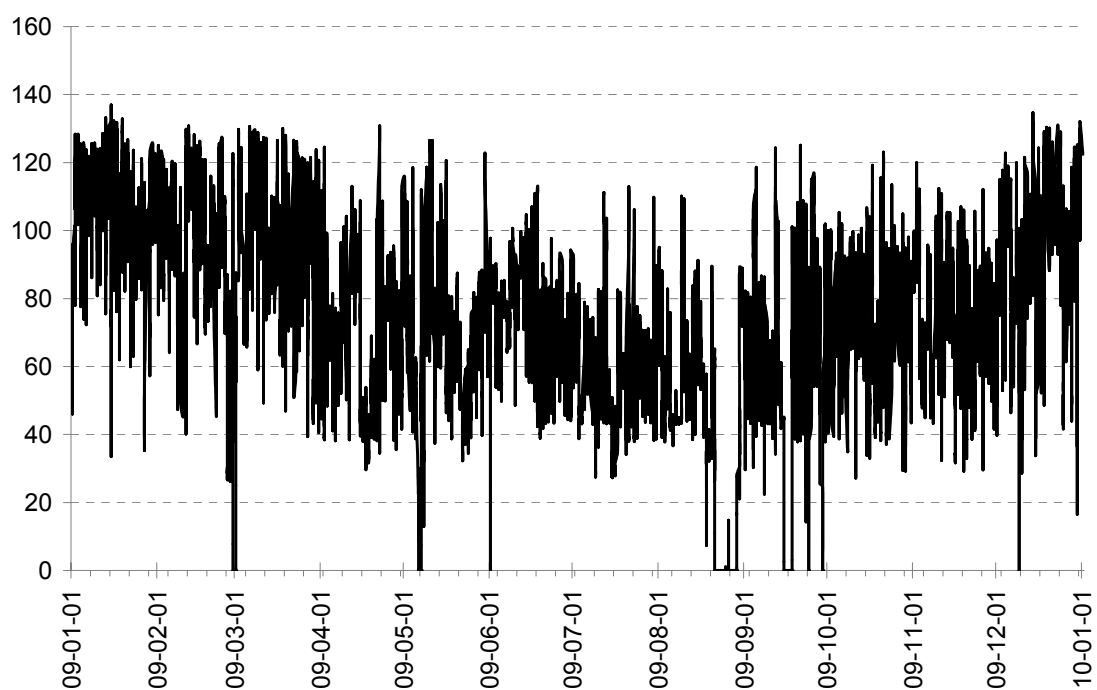
B.6 Nymölla



B.7 Skogshall



B.8 Skärblacka



C Diverse data och nyckeltal

	Gruvön	Husum	Karlsborg	Mönsterås	Mörårum	Nymölla	Skoghall	Skärblacka
Konvertering	2005	1998	2005	2000	2004	1995	2005	2005
Eldstadsbelastning MW/m ³	0,11	0,18	0,10	0,12	0,08	0,10	0,08	0,06
Bottenbelastning MW/m ²	1,43	2,23	1,45	1,66	1,46	1,63	1,45	1,14
Väggbelastning MW/m ²	0,21	0,26	0,16	0,17	0,14	0,16	0,18	0,13
Höjd till ÖH	16	13	15	16	18	16	20	17
Uppehållstid s	3,4	2,0	3,5	3,1	4,6	3,6	4,3	6,4
Gashastighet m/s	4,0	6,2	4,0	4,6	4,1	4,5	4,0	3,2
Nominell effekt fastbränsle MW	118	72	60	70	80	63	119	77
Medellast %	77	69	56	76	49	68	65	79
Medianlast %	77	73	55	77	48	66	64	79
Drifttid h	8729	8590	8616	8736	8001	8520	8376	8438
Drifttid dygn	364	358	359	364	333	355	349	352
Drifttid dygn 20%	363	351	358	355	328	349	344	350
Driftdygn 40 %	359	345	263	346	224	345	337	333
Luftfaktor	1,5	1,3	1,8	1,6	1,5	1,6	1,6	1,4
Fukthalt medel %	57	53	56	57		58	55	53
CO medel ppm	445	626	345	792	188	530	77	234
CO stdav ppm	118	321	360	543	79,5	197	33,2	256
NO medel ppm	58	77	98	77	52	66	35	56
NO stdav ppm	20	26	33	15	31	12	17	24
SO2 medel ppm vid 6% O2	2		5	52	3	14	32	30
NH3 medel	10 mg/MJ		6,8 mg/MJ	20 mg/Nm3			14 ppm	
Nyttiggjord energi GWh	791	575	269	482	309	419	590	518
NO2 ton/år	190	161	90	114	55	104	105	123
NO2-spec kg/MWh	0,24	0,28	0,33	0,24	0,18	0,25	0,18	0,24
Sandåterföring	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja
Sand ton/dygn	7	4	3,6	7,1	4	6	20	1,5
Sand kg/MWh	3,2	3,3	4,4	5,6	4,3	5,8	10,8	1,0
Sand i bädden ton	140	30	60	25	70	40	90	80
Bäddomsättningstid dygn	20,0	7,5	16,7	3,5	17,5	6,7	4,5	53,3
SNCR	NH3	Nej	NH3	Urea	Nej	Urea	NH3	Nej
SNCR-dosering l/MWh	0,68		0,69	0,64		1,89	1,17	
Mol NO som NO2/MWh	0,005	0,006	0,007	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005
Mol SNCR-NH3/2/MWh	0,009		0,009	0,008		0,020	0,015	
SNCR-amminium/NO2	1,7		1,3	1,6		3,7	4,0	

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

