

BETYDELSEN AV TRÄDBRÄNSLETS STORLEKSFÖRDELNING

RAPPORT 2019:568



BRÄNSLEBASERAD EL-
OCH VÄRMEPRODUKTION



Betydelsen av trädbränslets storleksfördelning

För fluidbäddpannor

DANIEL NORDGREN, LINDA BÄFVER, FRIDA WINSJANSEN, ANDERS HJÖRNHEDE,
NADER PADBAN, ANNA HELGESSON

ISBN 978-91-7673-568-8 | © Energiforsk mars 2019

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Den här rapporten är slutrapportering av projekt A43438 Betydelsen av trädbränslets storleksfördelning för fluidbäddpannor (Energimyndighetens projektnummer P43438-1) inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav. Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik. Programmet är en samverkan mellan Energiforsk och Energimyndigheten. Ingående projekt finansieras alltså av Energimyndigheten och av de parter som Energiforsk samlar i programmet.

Detta projekt har haft som syfte att bidra till effektivt anläggningsutnyttjande genom att ta fram ny kunskap och ny driftstrategi med mer optimal storleksfördelning på trädbränsle. Projektet har genomförts av Pöyry Sweden med Daniel Nordgren som huvudprojektledare. Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Torbjörn Harrysson (Stora Enso), Hans Larsson (Stockholm Exergi), Magnus Bokén (E.ON Energilösningar) Kenneth Lundkvist (Sweco Energiguide).

Stockholm mars 2019

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Termisk energiomvandling, Energiforsk AB

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

I Sverige finns över 100 individuella fluidiserade bädd-pannor, och merparten av dessa eldar någon form av trädbaserat bränsle. Ett generellt problem relaterat till trädbränslets storleksfördelning är när bränslepartiklar lämnar bränslebädden och brinner sent i pannan eller ännu högre upp. Detta kan medföra problem med påslag på värmeöverförande ytor, CO-emission och oförbränt i flygaskan. Hur ser fraktionen ut som brinner sent? Kan den kopplas till bränslets storleksfördelning och kan bränslets storleksfördelning anpassas för att undvika problemet? Svaren på dessa frågor kring bränslets storleksfördelning är inte allmänt kända. Ny kunskap på området behövs för att ta fram driftstrategi med mer optimal storleksfördelning på bränslet för effektivare anläggningsutnyttjande, med bättre utnyttjande av bränslet och färre driftstörningar på förbränningsanläggning och det är här som detta projekt tar vid.

I detta projekt studeras betydelsen av trädbränslets storleksfördelning på förbränning, emissioner och påslag. Projektet fokuserar på den förbränningstekniska problemställningen kring vilken bränslefraktion som brinner sent i en fluidiserad bädd-panna, och hur problemet undviks och omfattar både skogsbränsle och återvunnet trädbränsle. Projektets delmål är att (I) presentera en sammanställning av anläggningserfarenheter av betydelse för bränslets storleksfördelning, (II) beskriva storleken på bränslepartiklar som brinner sent i pannan och svara på hur det går att koppla till storleksfördelningen på ingående bränsle, samt (III) genomföra en Work-Shop kring utveckling av trädbränslets storleksfördelning tillsammans med bränsleproducenter och panntillverkare.

Arbetet i projektet har dels omfattat en erfarenhetsinsamling där förbränningsanläggningar med fluidiserade bäddpannor samt leverantörer av anläggningar kontaktades för att ta tillvara på kunskap och erfarenhet kring storleksfördelning på trädbränsle och dels experimentella försök i en i fluidbäddtestrigg och fältförsök i en anläggning med bubblande fluidiserande bädd. Till försöken togs det fram bränslen med väl kontrollerad storleksfördelning. Andelen finfraktion som nyttjats vid försöken i detta projekt var betydligt högre än de typiska nivåer som återgavs i enkätsvaren från erfarenhetsinsamlingen som gjordes, samt även högre än de rekommendationer som pannleverantörer anger i sina specifikationer.

Resultaten visar på att finfraktionen (<4 mm) har störst inverkan på sen förbränning. Vidare pekar resultatet på att det inom finfraktionen (<4 mm) verkar vara den så kallade dammfraktionen (<0,25 mm) som bidrar mest till ökad CO i rökgaserna. Från fullskaleförsöken kan det konstateras att det uppstod en lugnare och mindre varierande drift m.a.p. temperaturer och luftflöden i fallen med referensbränsle och grovt bränsle, jämfört bränslet med finare partikelstorleksfördelning. För övriga parametrar så blir jämförelsen svårare att göra, då

inga tydliga trender och/eller skillnader mellan de olika försöken och bränslefraktionerna kunde urskiljas.

Från anläggningskontakterna blev det tydligt att det finns relativt skilda definitioner av finfraktion (varierar mellan 1 mm och 5,6 mm) samt att anläggningar som följer upp sina bränslekrav-specifikationer generellt upplever att efterlevnaden är god. En tredjedel av de tillfrågade anläggningarna upplever att bränslefraktionen orsakat olika typer av "förbränningsproblem", men merparten av dessa anläggningar är trots detta nöjda med sin kravspecifikation och avser ej ändra denna. Att ställa krav på sina bränsleleveranser, samt följa upp att dessa tillsammans med bränsleleverantörerna, verkar borga för god efterlevnad av kraven. Vidare bör de krav som ställs på levererat bränsle till bränslegården, bero på anläggningens krav vid inmatningspunkt till eldstaden vid pannväggen. Snabba svar på vilken bränslekvalitet som levereras är önskvärt och här är goda rutiner, praktiska möjligheter till provtagning (gärna med automatik) i befintliga bränslehanteringssystem, men även enklare (subjektiva) metoder såsom att filma damningsegenskaper vid lossning, är exempel på viktiga verktyg i uppföljningsarbetet. Givet att levererad kvalitet ej överensstämmer med kravspecifikationen så är pris-trappor och möjlighet att avvisa bränslelass med kraftigt avvikande kvalitet viktigt att ha med i kontrakten. Om förbränningsanläggningen har möjligheter att under perioder lagra bränslelass med sämre kvalitet, för att senare blanda in det med annat bränsle, så bör detta övervägas. Detta görs givetvis i kombination med ovan nämnda åtgärder.

Förbränningsproblem kopplat till bränslespecifikationen verkar inte vara ett större problem för merparten av anläggningarna som deltog i detta projekt. Dock verkar detta komma som ett resultat från att anläggningarna både ställer krav på sina bränsleleverantörer samt följer upp att kraven efterlevs. Ett för "hårt" kravställande kan resultera i ökade kostnader för både anläggningen och bränsleleverantören. I detta projekt har inga lönsamhetsvärderingar gjorts av siktnings/modifiering av ett bränsles storleksfraktion. Dessa är sannolikt till stor del anläggningsspecifika men måste givetvis tas i beaktning innan beslut om storskalig siktnings kan motiveras ur ett kostnadsbesparingsperspektiv.

Resultaten från projektet visar att det i första hand verkar vara dammfraktionen (<0,25 mm) som påverkar CO-emissioner i förbränningsprocessen. Bränslesammansättningen m.a.p. ask- och beläggingsbildande komponenter ändras vid siktnings och den resulterande bränslekvaliteten kan ha andra egenskaper än den man är van vid. Om bränsle skall siktnas rekommenderas att göra uppföljning på hur bränslesammansättningen förändras samt att föra en dialog med bränsleleverantören kring hur fin- och dammfraktionen kan hanteras i praktiken. Ytterligare en rekommendation är branschen enas om en entydig definition av finfraktion där även en dammfraktion kan definieras.

Summary

There are over 100 fluidised bed boilers in Sweden and the greater part of these boilers utilize woody biomass fuels. A general problem related to the particle size distribution of the fuel is when burning fuel particles get entrained by upward gas flows forcing the main combustion reactions of the fuel to take place higher up in the furnace. This can result in several types of problems such as ash increased depositions on heat exchanging surfaces, increase in CO emissions from partially burnt fuel and higher shares of unburnt carbon in the fly ashes. How the fuel particle distribution is related to these problems has not yet been fully understood. The objective of the present work was therefore to (I) summarise experiences from selected fluidised bed boiler plants on impacts on particle size distribution, (II) identify which fuel fraction that is causing increased CO emissions and (III) host a workshop on the impacts of particle size distribution with participants from combustion plants, fuel suppliers and boiler.

The size distribution of chipped woody biomass fuels is an important property for the performance of the fuel conversion process. In practice, this quality parameter of woody biomass fuels is often not measured by the end user (combustion plants). Earlier work on recycled wood has showed that removal of the fuel fine fraction reduces the content of ash forming matter by up to 40 % by mass.

The scope of the work is on fluidised bed combustion technology and the impacts of fuel particle size distribution on combustion performance (furnace and boiler operations), emissions and ash deposition. Other sub systems of a combustion plant are excluded in this work, e.g. the fuel handling system is outside the scope of the project.

The project started with a survey on experiences on particle size distribution from selected combustion plants and boiler suppliers. A total of 19 individual fluidized bed boilers and three boiler suppliers contributed to the work. The answers from the survey were used in designing the experimental work in the project, and the plants and boiler suppliers were asked to answer the following questions:

1. Which fuels and fuel mixes are used at the plant?
2. Is the plant based on bubbling fluidized bed technology or circulating fluidized bed technology? What is the thermal power of the boiler?
3. Which are the main components of the fuel handling system?
4. What are your requirements on particle size of the fuel(s)?
5. How well does the fuel supplier comply with your requirements?
6. Do you believe that you have the correct quality requirements on the particle size distribution of the fuel(s)?
7. Are there any performance problems of the plant that can be directly associated with the fuel particle size distribution, e.g. combustion performance, emissions and ash desposition?

8. Could you provide us with the typical particle size distribution of the fuel(s) that you are using?
9. Can we use your answers in the current project and publish them in the project report?

From the survey it was clear that the plants have different definitions of fine and coarse fuel fractions. In this work the following definitions have been used:

Fraction	Nomenclature	Lab or full scale
< 0.25 mm	Dust fraction	Lab scale
0.25 – 4 mm	Mid-fine fraction	Lab scale
< 4 mm*	Fine fraction	Full scale
4 – 30 mm	Course fraction	Lab scale
Max 7 % < 4 mm	Course fraction	Full scale

The experimental work was done in lab scale and in full scale. The trials were made in order to identify which fraction that has the biggest impact on emissions and ash deposition. A total of 15 lab scale combustion trials were made in the fluidised bed combustor at RISE, see Figure A, utilizing both recycled wood and conventional white wood chips as fuels. During the lab scale trial sampling/measurements of flue gas particle concentrations, unburnt carbon content in the fly ash, gaseous emissions of CO, CO₂, O₂, NO_x and SO₂ were made and ash deposition probes were also used. The full scale trials were done at the Idbäcken combined heat and power plant of Vattenfall, see Figure B, and a total of three different fuel qualities were used in the trials. During the full-scale trials, the built-in measurement system of the plant was used to collect data from the trials along with sampling of fuel and ash and selected measurements on local gas composition and temperature in the upper furnace and superheater regions.

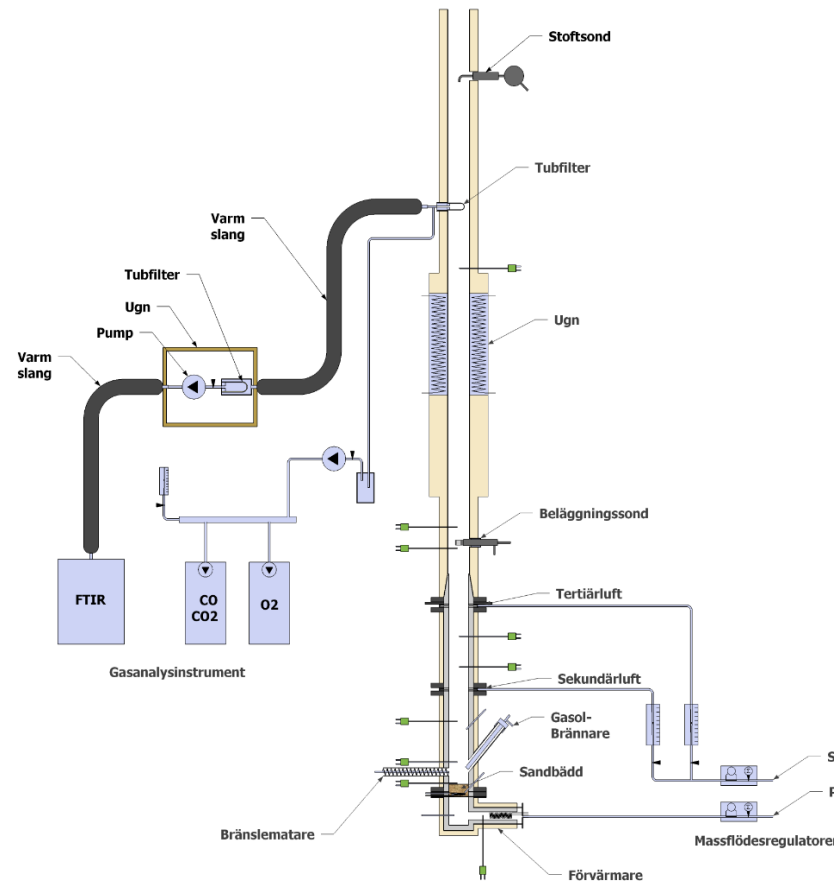


Figure A. Schematic view of the fluidized bed combustor at RISE showing the sand bed, furnace and various measurements and sampling positions.

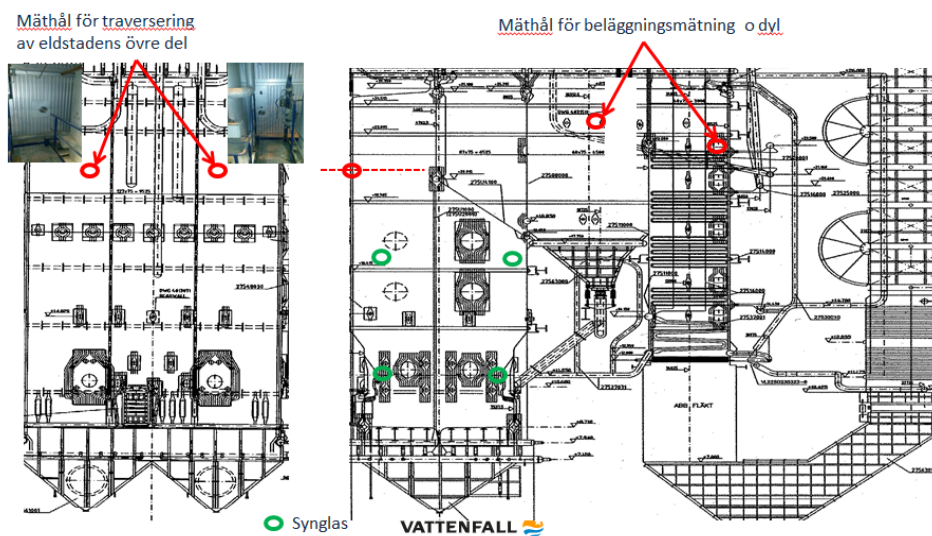


Figure B. Schematic view of the Idbäcken fluidized bed combustion plant of Vattenfall showing the furnace and various measurements and sampling positions.

In all trials, the fuels were modified with respect to particle size distribution by sieving. In the lab scale trials sieving of the dust fraction (<0.25 mm), mid-fine fraction ($0.25 - 4$ mm) and coarse fraction ($4-30$ mm) were done. Some of the fuel trials were also done with the reference fuel being modified by adding twice the amount of dust and mid-fine fraction. The full scale trials were done in the same way, e.g. by removing and adding fine fraction to the reference fuel, however in the full scale trial the fine fraction was defined as particle being <4 mm. Thus, the fuels used in the experimental part of this work had a very high share of fine fraction compared to typical data from existing plants and also compared to recommendations from boiler suppliers.

The results from the experimental work in lab scale showed that an increased share of dust fraction (<0.25 mm) of the reference fuel increases the CO emissions from the combustor, and that an increase in the mid-fine fraction ($0.25-4$ mm) decreased the CO emissions from the combustor, se Figures C and D. It should be clear that the response on increased share of dust fraction on CO emissions were more distinct compared to that for increased share of mid-fine fraction.

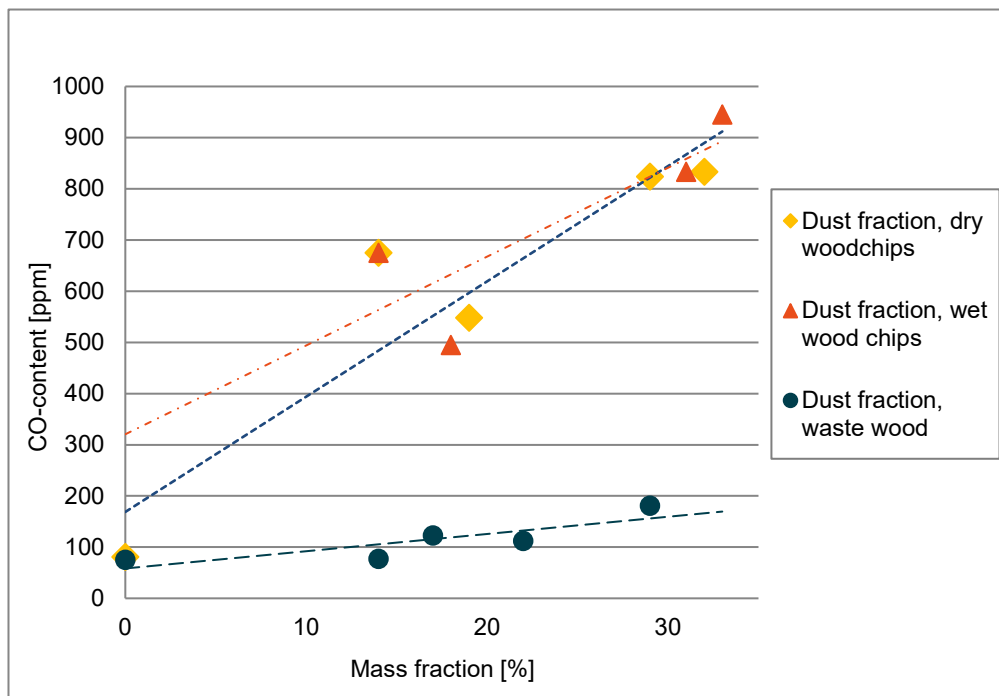


Figure C. CO in the flue gas versus the content of dust fraction of the biomass fuel (<0.25 mm).

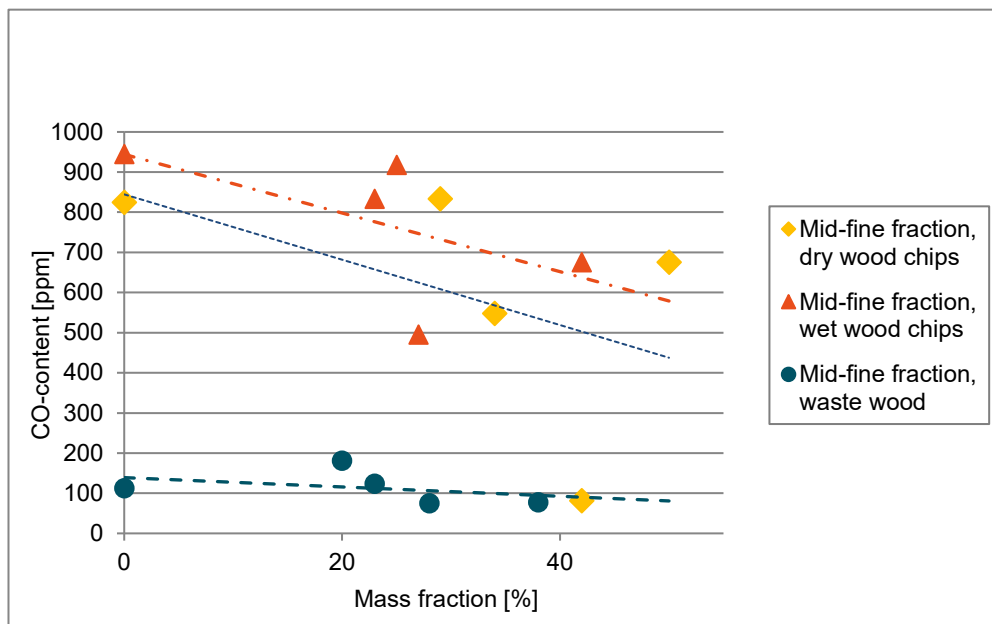


Figure D. CO in the flue gas versus the content of mid-fine fraction of the biomass fuel (0.25 - 4 mm).

Results from the full scale trials show that fuel with a high share of fine fraction is more prone to push the final combustion of the fuel towards the upper part of the furnace, resulting in higher upper furnace temperatures and an increased need for boiler feed water injection for steam cooling between the superheaters. The fuel with the highest share of fine fraction also generates the highest CO levels in the chimney. It was also observed that the furnace cross section temperature profile became much more even when the fuel with highest share of fine fraction where used. At the same time, larger fluctuations in boiler operation (temperatures, air flows etc.) over the whole trial period was attributed the fuel with highest share of fine fraction, e.g. the reference fuel and the fuel with higher share of coarse fuel particles, resulted in a more stable boiler operation. Deposit formation on superheater probes did not differ much between the trials in this project, but this is heavily depended on the composition of the fuel. If large scale sieving should be applied, it is recommended to properly analyse the resulting fuel composition and understand how it may affect the operation of the plant.

About one third of the plants in the survey have experienced fuel particle size related combustion problems, but these plants are still in general satisfied with their fuel quality specification and are not actively working on changing them. The results from the survey shows that combustion plants that do frequent controls of the as delivered fuel quality with continuous feedback to the fuel supplier, experience a high level of compliance of the fuel quality specification of the plant. Quality specifications on fuel delivered to specific plant should also consider the impact of the fuel handling system on fuel quality, at the position of the fuel inlet to the furnace. When quality assessment of the as delivered fuel quality is made, it is desirable to get quick answers on relevant quality parameters. Good routines and possibilities to sample fuels at different positions in the system are important. Also more practical (less scientific) methods can be used, e.g. monitoring the level

of dust formation upon discharging the fuel from the fuel delivery truck. If the fuel specification cannot be met in specific truck deliveries it is important to have rejecting mechanisms and/or price reducing mechanisms in the fuel contracts.

Fuel particle size related combustion problems seems to be a minor problem at the 19 plants that took part in the survey made in this project. However, it should be clear that this is most likely a consequence of good routines on following up on delivered fuel quality including frequent feedbacks to the fuel suppliers. It should also be clear that too tough quality requirements may induce extra costs for the fuel supplier and maybe also for the combustion plant. Economic evaluation of the impact of sieving the fuel has not been a part of this work. The drivers for profitability in sieving may be plant specific and should be assessed prior to implementing this method. The results in this work suggests that the dust fraction (< 0.25 mm) is chiefly responsible for increase in CO emissions from the combustion process. The focus on future work is finding a practical way of handling the dust and mid-fine fraction and their impact in small and large scale fluids bed boiler applications. A means to reduce the impact of fluctuation in the fuel feed could be helpful in future work.

Innehåll

1	Inledning	14
1.1	Bakgrund	14
1.2	Beskrivning av forskningsområdet	14
1.3	Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet	15
1.4	Mål och målgrupp	15
2	Metod	16
2.1	Nomenklatur för olika fraktionsstorlek	16
2.2	Erfarenhetsinsamling	17
2.3	Experimentella försök i fluidbäddtestrigg	17
2.3.1	Försöksplan	18
2.3.2	Bränsle	18
2.3.3	Fluidbäddtestrigg	20
2.3.4	Mätmetoder och analyser	21
2.4	Mätkampanj i fält	21
2.4.1	Försöksplan	22
2.4.2	Bränsle	22
2.4.3	Panna	22
2.4.4	Mätmetoder och analyser	22
2.5	Work-Shop	25
3	Resultatredovisning	26
3.1	Erfarenhetsinsamling	26
3.1.1	Anläggningar med BFB	26
3.1.2	Anläggningar med CFB	29
3.1.3	Anläggningar med BFB och CFB	32
3.1.4	Leverantörer	35
3.2	Experimentella försök i fluidbäddtestrigg	38
3.2.1	CO-emissioner	38
3.2.2	Stoft i rökgas	40
3.2.3	Beläggningstillväxt	41
3.3	Mätkampanj i fält	42
3.3.1	Mätperioden	42
3.3.2	Bränsleprov	42
3.3.3	Driftdata	48
3.3.4	Beläggningstillväxt	53
3.3.5	Partikelinsamling	59
3.3.6	Oxymap	62
3.3.7	Rågasanalys	64
3.3.8	Emissionsdata och rökgasanalys	69
3.3.9	Aska	72

3.4	Work-Shop	77
3.4.1	Sammanfattning av workshopen	77
4	Diskussion	79
4.1	Erfarenhetsinsamling	79
4.2	Resultat från lab- och fältförsök	81
5	Slutsatser	85
6	Rekommendationer och användning	87
7	Förslag till fortsatt forskningsarbete	88
8	Litteraturreferenser	89
	Bilaga A: Frågor vid erfarenhetsinsamling	90
	Bilaga B: Storleksfördelningar från BFB-anläggningar	91
	Bilaga C: Storleksfördelningar från CFB-anläggningar.	93
	Bilaga D: Storleksfördelningar från anläggningar med både BFB- och CFB-pannor	94
	Bilaga E: Flygaskeanalyser	97

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Arbetet som redovisas i denna rapport gjordes med stöd från Energiforsk och Energimyndighetens Samverkansprogram Bränslebaserad el- och värmeproduktion – SEBRA. Projektet genomfördes som ett samarbete mellan Pöyry Sweden AB, RISE Research Institutes of Sweden och Vattenfall.

1.2 BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET

Trädbränslets storleksfördelning är en viktig egenskap för sönderdelade bränslen, men kontrolleras relativt sällan (Bäfver och Renström, 2013), särskilt jämfört med fukthalt. Det finns potential för effektivare anläggningsutnyttjande genom förbättrad kunskap och kontroll av trädbränslets storleksfördelning. Till exempel har det för återvunnet trädbränsle som returträflis, visats att man genom att sikta bort dammfractionen kan minska innehållet av belägningsrelaterade komponenter i bränslet med ca 40 %, ett delresultat i Värmeforsks ramprojekt om returträflis (Berg et al., 2003).

Ett generellt problem relaterat till bränslets storleksfördelning, är när bränslepartiklar lämnar bränslebädden och brinner i sent i pannan. Detta kan medföra problem med påslag på värmeöverförande ytor, CO-emission och oförbränt i flygaskan. Hur ser fraktionen ut som brinner sent? Kan den kopplas till bränslets storleksfördelning och kan bränslets storleksfördelning anpassas för att undvika problemet?

Svaren på dessa frågor kring bränslets storleksfördelning är inte allmänt kända. Ny kunskap på området behövs för att ta fram driftstrategi med mer optimal storleksfördelning på bränslet för effektivare anläggningsutnyttjande, med bättre utnyttjande av bränslet och färre driftstörningar på förbränningsanläggning.

För att kunna påverka storleksfördelning på bränslet är det viktigt med en dialog med bränsleproducenter. De senaste åren har det bedrivits några projekt relaterade till trädbränslets kvalitet inom forskningsprogram ESS (Effektivare Skogsbränslesystem). Bland dessa har projekt Produkttegenskaper för skogsbränsle (Fridh et al., 2015) handlat om att följa produkttegenskaper i hela produktionskedjan; från avverkning, via transporter, lagringar och sönderdelning innan bränslet når förbränningsanläggning. Projektet utarbetade ett förslag till karaktärisering och indelning (produktifiering) av skogsbränslen baserat på dess fukt- och askhalt samt storleksfördelning. Inom Energiforsk och Energimyndighetens samverkansprogram SEBRA pågår ett slags fortsättningsprojekt inom området, med projektledning från Skogforsk: Produktifiera för Optimal Bränslebas (POB).

1.3 FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET

I projektet som redovisas i denna rapport studeras betydelsen av trädbränslets storleksfördelning på förbränning, emissioner och påslag. Projektet fokuserar på den förbränningstekniska problemställningen kring vilken bränslefraktion som brinner sent i en fluidbäddpanna, och hur problemet undviks. Studien omfattar både skogsbränsle och återvunnet trädbränsle, med fokus på den fysikaliska egenskapen storleksfördelning på trädbränslet.

Arbetet begränsar sig till förbränningsanläggningar med fluidiserande bädd, eftersom bränslets partikelstorlek är särskilt viktig i fluidiserad bädd med hänsyn till fluidiseringen (rostpannor klarar generellt större variationer i storleksfördelning och kan designas för att klara såväl relativt stora partikelstorlekar som en stor andel spån).

Projektet inkluderar också en dialog kring bränslets storleksfördelning genom en Work-Shop tillsammans med bränsleproducenter och pannstillverkare.

I projektet avses systemgränser så att pannan och dess komponenter inuti ingår i systemet. För övrig kringutrustning kan intressanta iakttagelser noteras, men fördjupning ingår inte. Exempelvis så ligger hela bränslehaneringen utanför projektets systemgräns.

1.4 MÅL OCH MÅLGRUPP

Projektets övergripande effektmål är att bidra till effektivt anläggningsutnyttjande genom att ta fram ny kunskap, och ny driftstrategi, med mer optimal storleksfördelning på trädbränsle. Som en del i det övergripande målet skall ny driftstrategi för bränslets storleksfördelning formuleras i dialog med bränsleproducenter, och kopplas till deras forskningsarbete i hela produktionskedjan.

Projektets delmål är att:

1. Presentera en sammanställning av anläggningserfarenheter av betydelse för bränslets storleksfördelning.
2. Beskriva storleken på bränslepartiklar som brinner sent i pannan och svara på hur det går att koppla till storleksfördelningen på ingående bränsle.
3. Genomföra en Work-Shop kring utveckling av trädbränslets storleksfördelning tillsammans med bränsleproducenter och pannstillverkare.

2 Metod

Arbetet inleddes med en erfarenhetsinsamling. Förbränningsanläggningar med fluidiserade bäddpannor samt leverantörer av anläggningar kontaktades för att ta tillvara på kunskap och erfarenhet kring storleksfördelning på trädbränsle. Resultat från erfarenhetsinsamlingen användes som stöd vid gränsdragning mellan olika storleksfraktioner i en mätmatris vid experimentella försök.

För att studera hur storleksfördelningen på trädbränsle påverkar förbränningsförloppet, gjordes experimentella försök i en i fluidbäddtestrigg och fältförsök i en anläggning med bubblande fluidiserande bädd. Till försöken togs det fram bränslen med väl kontrollerad storleksfördelning.

Resultaten från erfarenhetsinsamlingen, experimentella försök i fluidbäddtestrigg och fältmätningar presenterades på en Work-Shop med deltagande från anläggningsägare, bränsleproducenter och pannleverantörer. Syftet med denna Work-Shop var att besvara frågan hur man på bästa sätt kan utveckla bränslespecifikation med avseende på storleksfördelning.

2.1 NOMENKLATUR FÖR OLIKA FRAKTIONSSTORLEK

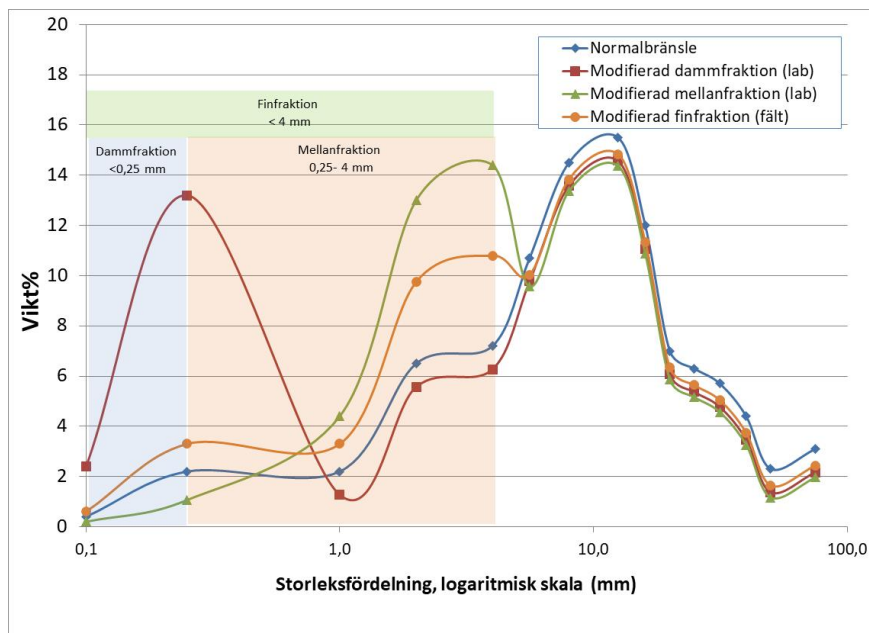
Inledningsvis så finns det anledning att definiera vilken nomenklatur som nyttjas i detta projekt för olika bränslefraktioner. I flertalet tidigare genomförda forskningsprojekt, samt i de aktuella standarder som finns, så beskrivs storleksfraktionerna på olika sätt. Projektet har genomgående använt de benämningar som finns redovisade i Tabell 1. I tabellen redovisas dels storleken och dess motsvarande benämning, och dels om storleksfraktionen användes i de genomförda lab- eller fältförsöken. Om inget annat anges i rapporten så är procent (%) likställt med vikt-%.

Tabell 1. Nomenklatur för olika fraktionsstorlekar.

Fraktion	Benämning	Lab/fält
< 0,25 mm	Dammfraktion	Lab
0,25 – 4 mm	Mellanfraktion	Lab
< 4 mm*	Finfraktion	Fält
4 – ca 30 mm	Grov	Lab
Max 7 % < 4 mm	Grov	Fält

*SS EN ISO 17225-1 2014 definierar finfraktion < 3,15 mm

I Figur 1 åskådliggörs principerna för hur bränslenas storleksfördelning modifierades i de olika försöken i projektet.



Figur 1. Exempel på hur resulterande fraktionsfördelning ser ut när referensbränslet modifierats med tillförsel av mer damm-, mellan-, eller finfraktion. Grafen innehåller endast exempeldata för att åskådliggöra principerna som nyttjats i detta projekt.

2.2 ERFARENHETSINSAMLING

Erfarenhetsinsamlingen syftade till att samla in anläggningsägarnas specifikationer på vilken storleksfördelning bränslet till anläggningen ska ha, och deras erfarenheter av hur bränslets storleksfördelning påverkar förbränning, emissioner och påslag. Den genomfördes via telefonintervjuer med anläggningsägare (förbränningsanläggningar med fluidbäddpannor) och panntillverkare. I några fall ställdes frågorna per e-post istället. I Bilaga A presenteras frågorna som ställdes vid erfarenhetsinsamlingen. Anläggningarna fick åtta frågor, några specifikt relaterat till fraktionsfördelning på bränslet, och några kring data för anläggningen.

2.3 EXPERIMENTELLA FÖRSÖK I FLUIDBÄDDTESTRIGG

Försöken i fluidbäddtestrigg syftade till att identifiera vilken storleksfraktion i bränslet som är mest kritisk för påverkan på emissioner och påslag på värmeöverförande ytor, samt beskriva hur den kan kopplas till bränslets storleksfördelning.

Det gjordes totalt 15 förbränningsförsök i RISE:s fluidbäddtestrigg. Försöken gjordes med träflis och RT-flis.

2.3.1 Försöksplan

Vid försöken i fluidbäddtestriggen användes en övergripande försöksplan enligt Tabell 2.

Tabell 2. Försöksplan för fluidbäddtestrigg.

Träflis (låg fukthalt)	Träflis (hög fukthalt)	RT-flis	Fraktion (mm)
Dammfraktion bortsiktad	Dammfraktion bortsiktad	Dammfraktion bortsiktad	> 0,25mm
Mellanfraktion bortsiktad	Mellanfraktion bortsiktad	Mellanfraktion bortsiktad	< 0,25mm - > 4mm
Vanligt bränsle	Vanligt bränsle	Vanligt bränsle	
Mellanfraktion tillsatt	Mellanfraktion tillsatt	Mellanfraktion tillsatt	2 ggr (0,25mm – 4mm)
Dammfraktion tillsatt	Dammfraktion tillsatt	Dammfraktion tillsatt	2 ggr <0,25mm

2.3.2 Bränsle

Två olika bränsletyper inkluderades i försöken, träflis och RT-flis. För att i möjligaste mån isolera inverkan av olika storleksfraktioner så avlägsnades, respektive ökades, innehållet av två storleksfraktioner i provbränslet. Fraktionernas storlekar bestämdes med utgångspunkt i erfarenhetsinsamlingen och i samråd med projektets referensgrupp.

Inverkan av träflisens fukthalt antogs vara stor och därför genomfördes också motsvarande försök med träflis med väsentligt högre fukthalt. Referensförsök med normal storleksfördelning gjordes för varje bränsletyp. Varje försök varade en dag.

Träflisen torkades eller uppfuktades till önskade fukthalter genom att antingen torr luft drogs genom en flisbädd, se Figur 2. Eller genom att lägga flisen utomhus i öppet förråd, se Figur 3. Flisen tar upp den omgivande fukten i omgivande luft och exponeringen avbryts när önskad fukthalt uppnås.



Figur 2. Torkning av flis.



Figur 3. Uppfuktning av flis.

Efter att träflisen nått önskad fukthalt siktades flisen i tre fraktioner;

1. Dammfraktion: finare än 0,25 mm.
2. Mellanfraktion: mellan 0,25 mm och 4 mm.
3. Grovfraktion: större än 4 mm men mindre än några centimeter.

Tabell 3. Fukthalt för framsiktad fraktion

Fraktion	Fukthalt [%]
Torr träflis - grov	16
Torr träflis - mellanfraktion	14,5
Torrträflis - dammfraktion	13
Blöt träflis - grov	37
Blöt träflis - mellanfraktion	41,5
Blöt träflis - dammfraktion	45
RT-flis - grov	17
RT-flis - mellanfraktion	14,5
RT-flis - dammfraktion	15,5

Referensbränslena hade alla en dammfraktionsandel (<0,25 mm) på ca 17-19 % och en mellanfraktionsandel (0,25-4 mm) på ca 23-34 %, d.v.s. andelen bränsle <4mm var mellan 40-50 % för alla bränslen. Fukthalten mättes för varje framsiktad fraktion och varierade något för varje bränsle enligt Tabell 3. Fukthalten för torr träflis var drygt 15 %, för blöt träflis drygt 40 % och för RT-flis cirka 16 %.

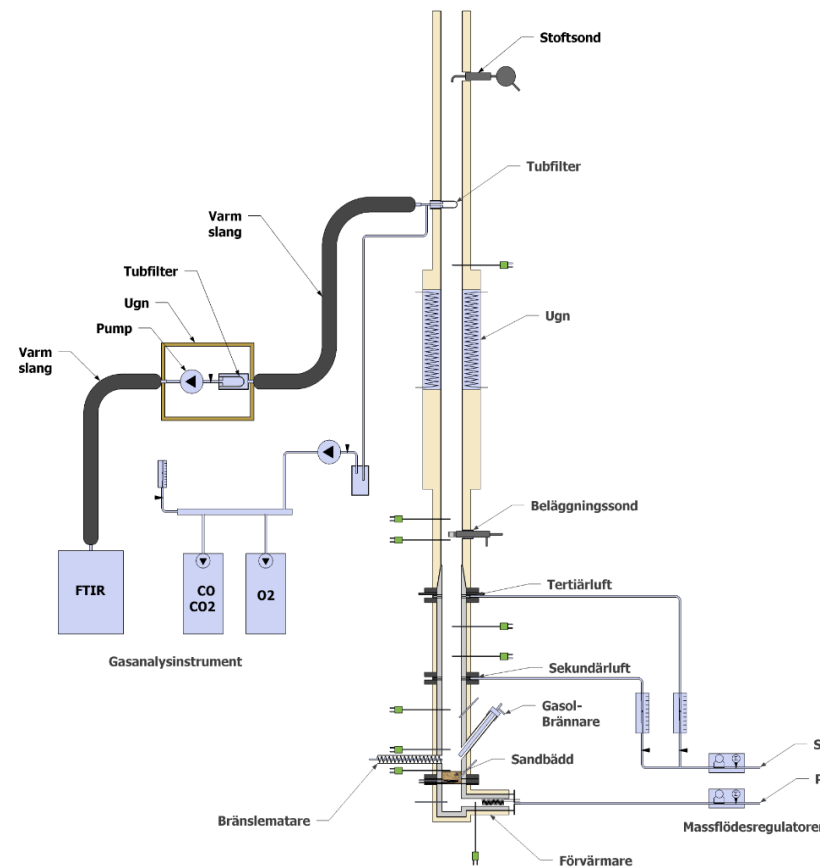
Figur 4 nedan visar siktutrustningen. Flisen matas från höger i bild genom de två roterande sållen. I uppsamlingslådan längst till höger hamnar dammfraktionen, i mittenlådan mellanfraktionen och material större än 4 mm hamnar i lådan längst till vänster.



Figur 4. Siktutrustning.

2.3.3 Fluidbäddtestrigg

Figur 5 visar RISE:s 15 kW-fluidbäddtestrigg. Den består i huvudsak av ett 4 meter långt lodrätt rör med en innerdiameter på cirka 10 cm, och är indelad i olika förbränningszoner samt bränslematning och enheter för styrning och reglering. Bäddtemperaturen regleras automatiskt med en elektrisk luftfövärmare genom vilken primärluften passerar. Den fluidiserade bädden vilar på en flödesfördelarplatta, som motsvarar dysbotten i en fluidbädd. Bränslet matas kontinuerligt in med en matarskruv. Primärzonen sträcker sig från botten och 90 cm upp till tertiärluftens inlopp. Sektionen är stålmantlad och är invändigt beklädd med keramiskt isolermaterial. Vid 1,5 meter ovan bädd finns en elektrisk ugn som upprätthåller önskad rökgastemperatur till provtagningspositionerna nedströms. Vid nyttjande av bränslen med hög andel av fina partiklar så kan en pulserande matning lätt uppstå. Inför försöken så hade detta tagits i beaktning och mindre modifieringar av bränslematningssystemet gjordes för att reducera förekomsten av pulserande inmatning. Erfarenhetsmässigt är det känt att testriggen har något lägre gasflödes hastigheter än i en fullstor anläggning. På samma gång så ger dess utformning (ett vertikalt rör utan olika "drag") även något lägre uppehållstid fram till positionen för en tänkt överhettare (efter sista tertiärluftregistret). Inför försöken så trimmades riggen in så att syrehalter/lambdavärden efter sekundär- och tertiärluftregistrena överensstämde med de för Idbäcksverket.



Figur 5. Schematisk bild av fluidbäddtestriggen.

Stoftprovtagning görs efter tertiärluftportarna. Rökgaser för gasanalys avleds nedströms ugnen och renas i ett tubfilter och fördelas till ett FTIR-instrument, samt till en dynamisk paramagnetisk analysator som mäter O₂-halt.

2.3.4 Mätmetoder och analyser

Vid varje försök togs stoftprov för analys av oförbränt material. Kontinuerlig analys av CO, CO₂, O₂, NO_x och SO₂ gjordes med gasanalysator. Begränsad analys av bildade påslag på beläggningssonder gjordes också.

2.4 MÄTKAMPANJ I FÄLT

Mätkampanj i fält gjordes på Idbäcksverket och syftade till att undersöka samma frågeställning som i WP2, i en fullskalig bubblande fluidiserad bädd-panna (BFB) vid eldning av RT-flis, för att komplettera och verifiera labförsöken.

Det gjordes totalt fyra förbränningsförsök i fält, varav två referensförsök och två försök med andra storleksfördelningar på bränslet. Försöken gjordes med RT-flis.

2.4.1 Försöksplan

Följande försök genomfördes:

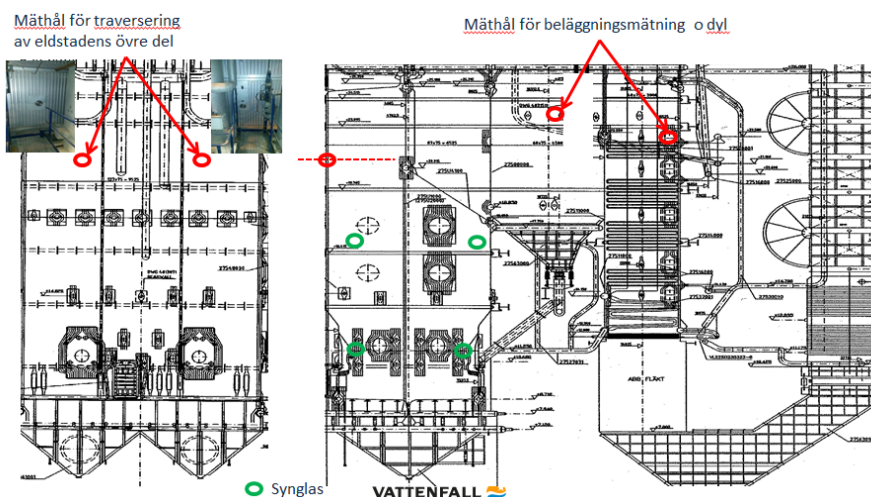
1. Bränsle med bortsiaktad finfraktion.
2. Referensbränsle 1.
3. Referensbränsle 2.
4. Bränsle med tillförd finfraktion.

2.4.2 Bränsle

Storleksfördelningarna bestämdes i samråd med bränsleproducent, med utgångspunkt i erfarenhetsinsamlingen och delresultaten från förbränningsförsöken i fluidbäddtestriggen. För-försök med grovkrossning av bränslet gjordes för att undersöka om metoden passade fältförsöken. Det grovkrossade bränslet proveldades och det konstaterades att det var för osäkert att användas vid förbränningsförsöken. Det bestämdes därmed att ta fram de olika försöksbränslena genom sållning hos bränsleproducent.

2.4.3 Panna

Anläggningen i Idbäcken är en bubblande fluidbäddpanna med en total effekt om cirka 100 MW. Under försöken kördes anläggningen med en konstant lastnivå på 70 MW panneffekt och med samma regulatorinställningen under alla försök. Figur 6 visar de portar som användes för de extraktiva mätningarna; sondmätningar, insamling av partikelprov, gasanalys och Oxy-map-mätningar.



Figur 6. Mätpositioner som användes under mätkampanj.

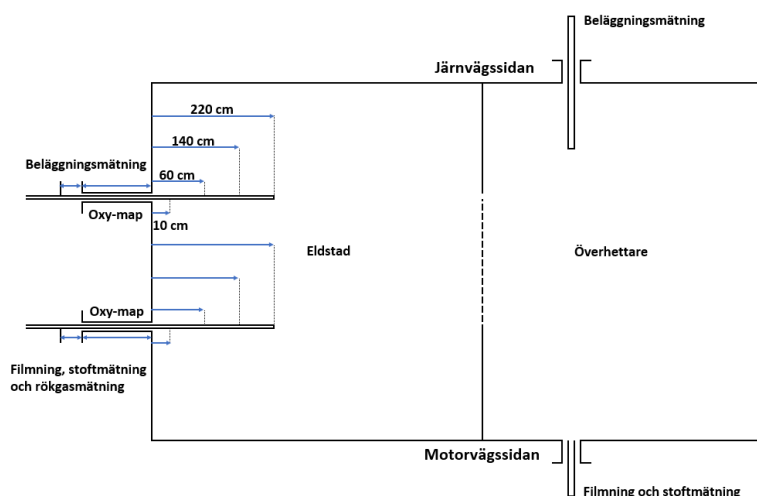
2.4.4 Mätmetoder och analyser

Under förbränningsförsöken togs stoftprover på två olika nivåer i pannan. Vid varje försök togs stoftprov för analys av oförbränt material, samt siktanalyser för bestämning av storleksfördelning vid tre tillfällen. Omfattningen av påslagsbildning i olika pannhöjder under försöken undersöktes och relaterades till den ursprungliga storleksfördelningen hos bränslet. Kontinuerlig analys av CO, CO₂, O₂, NO_x och SO₂ gjordes med gasanalysator. Förbränningsförloppet filmades

med IR-kamera. Samma analysmetoder som användes vid förbränningsförsöken i fluidbäddtestriggen tillämpades för kontroll och verifiering av labresultaten i Vattenfalls BFB-panna.

Kartläggningen av syrehalt och rökgastemperatur i pannans tvärsnittsarea gjordes med hjälp av OxyMap, som även har en sugpyrometerfunktion. Syrehalten mättes från en position mycket nära vägg till ett djup på cirka 2,2 meter i eldstaden.

Figur 7 visar en schematisk bild över vilka positioner som mätningarna gjordes på plan 6.



Figur 7. Positioner för de olika mätningarna (Plan 6).

Tabell 4 och Tabell 5 visar de mätningar och den provtagning samt positioner som gjordes för varje försöksomgång. Tabell 5 visar de efterföljande analyser som gjordes.

Tabell 4. Exempel på planeringen inför mätningarna.

Provtagnings- ordning	Position	Mätning	Tid
1	Front Plan 6 JV ¹ -sida 3"	Beläggningssond	3 - 4h
2	ÖH2 JV-sida 3"	Beläggningssond	3 - 4h
2	Front Plan 6 MV ² -sida 3"	Partikelsampling	
2	ÖH2 MV-sida 3"	Partikelsampling	
2	Front Plan 6 MV-sida 3"	Stoftprov	
3	ÖH2 MV-sida 3"	Stoftprov	
2	Front Plan 6 MV-sida 1"	OxyMap/Gasanalys, rökgastemperatur	1 - 2 h
3	Front Plan 6 JV-sida 3"	OxyMap/Gasanalys, rökgastemperatur	1 - 2 h
2	Andra draget	Prov flygaska	Slutet av dagen

¹ JV = Järnvägssida enligt Figur 7.

² MV = Motorvägssida enligt Figur 7.

Provtagnings- ordning	Position	Mätning	Tid
2	Fallande stup	Bränsleprov	Görs regelbundet
3	Spärrfilter	Prov flygaska	Slutet av dagen
2		Front plan 6 - MV sida; ÖH2MV sida	

Tabell 5. Visar metod och mål för mätningarna

Mätning	Position	Tid	Fysikaliska & Kemiska analyser på uttaget prov	Anmärkning
Bränsleprov	Fallande stup	1 gång/h	Värmevärde, fukt, aska, C, H, N, O, S, Cl, metaller & fraktionsfördelning	Samlingsprov per testtillfälle sickas till ackrediterat lab.
Driftdata		Kontinuerlig, minutvärde	Luftflöden, askutmatning, effekt, temperaturer	Anläggningens styrsystem
Beläggnings- sond	Front Plan 6, JV-sida	3 - 4 h	Utvägning, hand-XRF för metaller, S och Cl.	550°C materialtemp.
Beläggnings- sond	ÖH2 JV-sida	3 - 4 h	Utvägning, hand-XRF för metaller, S och Cl	550°C materialtemp.
Partikel- insamling	Front Plan 6, MV-sida		Siktning	
Partikel- insamling	ÖH2 MV-sida		Siktning	
Stoftprov	Front Plan 6, MV-sida	2 gånger/ provstillfälle	Utvägning, andel oförbränt	
Stoftprov	ÖH2 MV-sida	2 gånger/ provstillfälle	Utvägning, andel oförbränt	
Oxymp / Gasanalys	Front Plan 6, MV-sida	1-2 h	Temperatur, O ₂	Mätning i flera punkter
Oxymp	Front Plan 6 JV-sida	1-2 h	Temperatur, O ₂	Mätning i flera punkter
Rågasanalys			Temperaturer, CO, CO ₂ , O ₂ , NO ₂ & SO ₂	Sugpyrometer för utsugning av gas
Gasanalys på emission	Från skorsten	Kontinuerlig	CO, NO _x , CO ₂ , O ₂ , HCl, SO ₂	Anläggningens mätinstrument
Prov flygaska	Andra draget	1 gång/h	Siktning	
Prov flygaska	Spärrfilter	1 gång under mätningen	Askanalys	
Filmning	Front plan 6 - MV sida; ÖH2 MV sida			

2.5 WORK-SHOP

En Work-Shop hölls med syfte att besvara frågan hur man på bästa sätt kan utveckla bränslespecifikation med avseende på storleksfördelning. Till Work-Shop inbjöds anläggningsägare, bränsleproducenter och pannleverantörer. För att få en god förankring bland bränsleproducenter planerades arbetet att utföras med visst stöd av underkonsult på bränsleproduktion. Vid denna Work-Shop presenterades delresultat från WP1, WP2 och WP3 som ett underlag till Work-Shop-uppgiften att besvara ovan nämnda fråga.

3 Resultatredovisning

3.1 ERFARENHETSINSAMLING

Telefon- och e-post-intervjuer gjordes med 15 anläggningsägare och panntillverkare. Fördelningen mellan dem som svarade var:

- Anläggning med bubblande fluidiserad bädd (BFB): 4 st.
- Anläggning med cirkulerande fluidiserad bädd (CFB): 3 st.
- Anläggning med BFB och CFB: 5 st.
- Leverantör: 3 st.

3.1.1 Anläggningar med BFB

I Tabell 6 presenteras grundläggande data för anläggningarna med BFB-pannor, utifrån svaren på frågor per telefon och e-post. Två av dem var biobränsleanläggningar, en av dem eldade returträflis. Den fjärde anläggningen utgjordes av två pannor varav den ena var en biobränsleanläggning, den andra en samförbränningsanläggning med cirka en tredjedel returträflis i bränslemixen.

Tabell 6. Grundläggande data för anläggningarna med BFB-pannor.

Anläggning	Antal pannor	Pannstorlek	Bränsle	Bränsleberedning
A	1	97,5 MW _{th} nominell ångeffekt	100 % returträflis, under normal drift.	Skivsåll (>200 mm), bandmagneter före och efter sållet, allmetall-separator. Sållrejektet krossas på extern ort.
B	1	Ca 20 MW hetvatten	En mix av grot, stamvedsflis, bark och lite spån.	In-line kross
C	2	Ca 30 MW _{th} ångeffekt / panna	KVV1: 40 % bark, 25 % trädelsflis (flisar själv från rundved), grot. KVV2: 33 % RT, 40 % bark, samt grot och trädelsflis (flisar själva från rundved).	Skivsåll
D	1	105 MW _{tillförd effekt}	Uppemot 30 % bark, resten grot och stamvedsflis.	Sållhus med bandmagnet, skivsåll och kross av överstort material.

Den minsta anläggningen är en hetvattenpanna på 20 MW där det eldas en mix av grot, stamvedsflis, bark och lite spån (Tabell 6). Vid denna anläggning ställs inga krav på bränslets storleksfördelning och det pågår inget arbete kring detta (Tabell 7).

Anläggningen där det eldas biobränsle i en panna och en mix av biobränsle och returträflis i en andra panna, är på ca 60 MW (Tabell 6). Här ställs bara krav på överstort material, vilket definieras som material större än 150 mm (Tabell 7). Bränslespecifikationen efterlevs bra och man anser att det är rätt specifikation på bränslets storleksfördelning och har inga planer på att ändra den (Tabell 7).

De två större anläggningarna, båda med termisk effekt runt 100 MW (Tabell 6), ställer krav på bränslets storleksfördelning (Tabell 7). Returträflisanläggningen ställer krav på max 5 % överstort material, definierat som >200 mm, samt krav på andelen finfraktion, definierat som <4 mm. Vissa bränsleleverantörer har krav på max 15 % finfraktion och andra har krav på max 25 % finfraktion. Kraven på storleksfördelning efterlevs med god marginal för överstort material och normalt även för finfraktion, men man arbetar ändå med att förändra bränslespecifikationen. Det vore bra att få ned andelen överstort material för att minska mängden sållrejekt. För finfraktionen har man just nu inga planer på att ändra själva specifikationen, men bränsleleverantörerna arbetar för att producera mindre mängd finfraktion genom att byta ut/trimma sina krossar. Drivkraften är kvittblivningsproblem för avsåkt finfraktion. Huvudfokus i arbetet med bränslespecifikationerna de senaste åren har dock varit andra parametrar, exempelvis klor.

Biobränsleanläggningen på strax över 100 MW ställer krav på storleksfördelning för flisat trädbränsle, där 90 % av bränslet ska ha storlek <45 mm och 70 % storlek >2,8 mm. För återstående 10 % av bränslet är villkoret en max-längd om 120 mm och max-tvårsnittsyta på 5 cm². Maximalt 2 % av det totala bränsleflödet får innehålla stickor upp till 300 mm. Således accepteras 30 % <2,8 mm. Slutligen får slip- och putsdamm inte förekomma. Angående efterlevnad av kravspecifikationen så är det oklart hur kraven efterlevs. Det är också oklart om det är rätt bränslespecifikation.

Tabell 7. Anläggningar med BFB-pannor - Krav på bränslets storleksfördelning, efterlevnad av kravspecifikation, samt eventuella planer på förändring av kravspecifikation.

Anläggning	Krav på bränslets storleksfördelning	Efterlevnad av kravspecifikation	Är det rätt specifikation på bränslets storleksfördelning, eller finns det planer på att ändra den?
A	Max 5 % >200 mm för överstort. För finfraktionen varierar kraven beroende på leverantör och dess förutsättningar; några erbjuder finsiktad RT och där är kravet max 15 % <4 mm, andra kör utan finsikt och de har max 25 % <4 mm.	För överstort efterlevs den med god marginal. Finfraktionen klaras också normalt sett.	Arbetar med bränslespec:en i "båda ändar"; överstor fraktion har blivit aktualiserad på sistone pga. önskning att minska mängden sållrejekt, men är inget problem för förbränningen. För finfraktionen finns just nu inga planer på att ändra själva spec:en, men bränsleleverantörer arbetar för att producera mindre mängd finfraktion genom att byta ut/trimma sina krossar. Drivkraften är kvittblivningsproblem för avsiktad finfraktion. Huvudfokus i arbetet med bränslespec:arna de senaste åren har dock varit andra parametrar (exempelvis klor).
B	Nej.	Det görs inga siktanalyser.	Vet ej.
C	Ställer bara krav på överstort material, vilket definieras som material större än 150 mm.	Bra	Ja
D	Träflis och stubbflis Fukthalt >40 %: 90 % <45 mm & 70 % >2,8 mm. Villkor för återstående 10 % av bränslet: Max-längd 120 mm & max-tvärsnittsyta på 5 cm ² . Max 2 % av totala bränsleflödet får innehålla stickor upp till 300 mm. Således accepteras 30 % <2,8 mm. Slip och putsdamm får inte förekomma.	Vet ej.	Vet ej.

Vid telefonintervjuerna tillfrågades anläggningarna om de kunde dela med sig av analyser på storleksfördelning som gjorts det senaste året. De två största anläggningarna svarade Ja på frågan och delade med sig av analyser på storleksfördelning (Bilaga B). De två andra anläggningarna svarade att de inte gör några analyser av storleksfördelning, så det fanns inga analyser att dela med sig av.

Den sista frågan vid telefonintervjuerna löd *"Har ni haft några problem i pannan/förbränning/emissioner som direkt kan kopplas till storleksfraktion på bränslet?"*

På denna fråga var svaren följande:

- Anläggning A: Problem med påslag i ÖH-stråket medför att man tvingas till stopp under driftsäsong för rengöring, men det är oklart vilken roll finfraktionen har i detta problem.
- Anläggning B: Vet ej.
- Anläggning C: Nej
- Anläggning D: Ja. Det blir problem med hög CO-halt vid hög andel finfraktion i bränslet, särskilt om det är en hög andel finfraktion i bränslet kombinerat med torrt bränsle. Problemet löser man med att blanda stamvedsflis med sådant problembränsle. Det förekommer också att bränslet befuktas för att undvika problemet. Man upplever att krossat bränsle ger mer problem än hugget.

3.1.2 Anläggningar med CFB

Grundläggande data för anläggningarna med CFB-pannor presenteras i Tabell 8. De tre anläggningarna som svarade på frågor var biobränsleanläggningar på 55 MW, 122 MW och 345 MW. Vid den största anläggningen förbränns flisat skogsbränsle och spån. Anläggningen på 122 MW förbränner samma bränsleslag samt därtill bark. Den minsta anläggningen är på ett bruk inom pappers- och massaindustri och där förbränns även några procent eget fiberslam samt spill i form av lastpallar och papper.

Tabell 8. Grundläggande data för anläggningarna med CFB-pannor.

Anläggning	Antal pannor	Pannstorlek	Bränsle	Bränsleberedning
E	1	122 MW _{th + el}	Ungefär 30 % bark, 20 % sågspån, 15 % stamvedsflis och resten grotflis.	Skivsåll, metallavskiljning.
F	1	345 MW _{th + el}	Skogsbränsle, flis, grot, spån.	2 magnetavskiljare, skivsåll med rejektkross.

Anläggning	Antal pannor	Pannstorlek	Bränsle	Bränsleberedning
G	1	55 MW _{th + el}	Mix beror på årstidsbehov. 50 % skogsflis (stamved & grot), 15 % torrflis, 25 % egen bark, 5 % eget fiberslam, 1 % eget spån, resten eget spill (pallar, papper). Pellets (start- & stödbränsle).	Bark: bränslerivare och barkpress. Inmatning panna: skivsåll och rejektkross (slam förs in efter skivsåll).

Vid de två stora anläggningarna ställs det krav på att överstort material ska begränsas för att undvika problem i bränslehanteringssystem, se Tabell 9. Den största anläggningen anger att flisat material maximalt får ha storleken 300 mm × 300 mm × 300 mm. Anläggningen på 55 MW ställer krav på både begränsning av överstort material och andelen finfraktion i bränslet. Begränsningen av överstort material beskrivs enligt nedan:

”Bitar med längd över 100 mm får finnas max 10 stycken synliga på toppen av lasset med storlek max: Längd 150 mm x Bredd 50 mm x Höjd 50 mm.”

Den övriga specifikationen av storleksfördelning på bränslet var att mer än 80 % av bränslet ska vara inom storleksområdet 3,15 - 100 mm, och <5 % får vara mindre än 1 mm.

Gällande efterlevnad av kravspecifikationer för storleksfördelning på bränsle vid de två större anläggningarna, är det oklart för överstort material och en irrelevant fråga för finfraktion eftersom det inte ställs krav på finfraktion. Dessa två anläggningar anger också att de har rätt specifikation på bränslets storleksfördelning och att de inte har några planer på att ändra den.

Anläggningen på 55 MW anger att efterlevnad av kravspecifikationen för storleksfördelning oftast är bra, men ibland dålig, samt att det har blivit bättre de senaste åren. Vidare anger de också att kravspecifikationen är rätt och att det inte finns några planer på att ändra den.

Tabell 9. Anläggningar med CFB-pannor - Krav på bränslets storleksfördelning, efterlevnad av kravspecifikation, samt eventuella planer på förändring av kravspecifikation.

Anläggning	Krav på bränslets storleksfördelning	Efterlevnad av kravspecifikation	Är det rätt specifikation på bränslets storleksfördelning, eller finns det planer på att ändra den?
E	Ställer krav på överstort material för att undvika problem i bränslehanteringssystemet före panna. Tidigare fanns ett krav på max 25 % spån, men det används inte idag för det är viktigare med finfraktionsdelen i grot.	Oklart för överstort material och irrelevant fråga för finfraktion eftersom det inte ställs krav på finfraktion.	Ja. Nej inga planer på ändring.
F	Spån max 25×25×25. Flis och grot max 300×300×300.	Oklart för överstort material och irrelevant fråga för finfraktion eftersom det inte ställs krav på finfraktion.	Ja. Nej inga planer på ändring.
G	Bitar med längd över 100 mm: max 10 stycken synliga på toppen av lasset med max-storlek: Längd 150 mm x Bredd 50 mm x Höjd 50 mm. Finfraktionsfördelning i procent av leveransvikt: >80 % inom 3,15 - 100 mm och <5 % mindre än 1 mm.	Oftast bra, men ibland dåligt. Det har blivit bättre på senaste åren.	Ja. Nej inga planer på ändring.

Storleksfördelning på bränslet analyseras vid anläggningen på 55 MW och de har delat med sig av resultat från analysen (Bilaga C). Vid de två största anläggningarna görs tyvärr inga analyser av storleksfördelningen på bränslet.

Sista frågan vid telefonintervjuerna löd: *"Har ni haft några problem i panna/förbränning/emissioner som direkt kan kopplas till storleksfraktion på bränslet?"*

På denna fråga var svaren följande:

- Anläggning E: Inga problem idag, men för 15-20 år sedan när pannan var ny brann det på fel ställe.
- Anläggning F: Nej, inte vid förbränning av biobränsle. Kol är reservbränsle och vid förbränning av kol blir det problem kopplat till storleksfördelning.
- Anläggning G: Historiskt har det varit problem med påslag i CFB-cyklonen. 2014 byggdes sekundärlufttillförseln om för att få längre uppehållstid, så nu finns det inga påslagsproblem. Tidigare problem med påslag tros vara kopplat till förbränning av krossade pappershylsor från produktion.

3.1.3 Anläggningar med BFB och CFB

I Tabell 10 visas grundläggande data för anläggningarna med både BFB- och CFB-pannor, vilka utgjorde fem av anläggningarna som svarade på frågor. Den totala anläggningskapaciteten för BFB- och CFB-pannorna tillsammans, varierade från 118 MW (anläggning J: 80 MW + 38 MW) till 320 MW (anläggning I: 80 MW + 240 MW).

Vid anläggningarna förbränns blandningar av skogsbränsle och returträflis (som för anläggning J är obehandlat trä och för anläggning K är kreosot-flis). Det kan också noteras att det blandas in torv vid fyra av anläggningarna, samt tillsätts svavelgranuler till en av pannorna. Samförbränning av skogsbränsle och returträflis görs vid alla pannor utom två, se Tabell 10. En av dem körs med 100 % returträ (vid anläggning I) och den andra med 100 % skogsbränsle (vid anläggning K).

Tabell 10. Grundläggande data för anläggningarna med BFB- och CFB-pannor.

Anläggning	Antal pannor	Pann-storlek	Bränsle	Bränsleberedning
H	2	104 MW BFB, 98 MW CFB	Mix är årstidsberoende. Mix är 50-60 % grot, 10 % stamvedsflis, 20 - 25 % bark, 10 % spån, 5 - 15 % RT-flis, samt några procent torv på ena pannan. (Vid den andra pannan tillsätts svavelgranuler)	Sållhus, magnetavskiljning.
I	2	80 MW BFB, 240 MW _{th} CFB	På kraftvärmeverket eldas en mix av skogflis (spån, bark, huggen skogsflis) och RT-flis (mest import). Just nu är mixen 30 % skogsflis & 70 % RT-flis. I andra pannan eldas 100 % RT-flis, vilken har samma spec. som på kraftvärmeverket, men den är inhemsk.	Sikt, kross, metallavskiljning, 2 magnetavskiljare per panna.
J	2	80 MW BFB, 38 MW CFB	Planeringen är att man kommer elda 40 % Bark, 40 % RT-flis klass 1 (Obehandlad RT-flis) samt 20 % Grot. Denna säsong har även resterande stycketorv eldats upp samt provperiod med färgad RT-flis klass 2.	Magnetavskiljare, skivsåll, rejektkross, magnetisk metallavskiljare.

Anläggning	Antal pannor	Pann-storlek	Bränsle	Bränsleberedning
K	2	70 MW BFB, 170 MW CFB	P5: eldar 10 - 30 % torv, 20 – 30 % kreosot-impregnerat flis, resterande är en mix med varierande innehåll av spån, stamved & mindre del salix, bark. P6: eldar 20 % Stamved, 40 % Grot, 40 % Bark. Man har två bark-fraktioner, en som är fuktig (60 % fukt) och en som är torr (cirka 40 % fukt). Den torra kan skapa slakor som ger trassel i bränslestup.	Man har en kross som krossar GROT och stamved. Övriga bränslen kommer färdigkrossade. P5: skivsåll och metallavskiljare. P6: metallavskiljare.
L	3	25 MW BFB, 25 MW CFB & 125 MW CFB	Sågverksbiprodukter (bark, spån etc.) cirka 50 %, Skogbränslen (grot, trädelsflis) cirka 30 %, RT-flis cirka 15 %, Torv cirka 5 %.	Separat krosslinje med förkross, hammalkvarn och bandmagnet. Dessutom skivsåll alt. skaksåll samt bandmagneter på inmatningslinjerna.

Anläggningarna med BFB- och CFB-pannor ställer krav på att överstort material skall begränsas, se Tabell 11. Beskrivning av överstort material varierar dock mellan anläggningarna, likaså till vilken grad det är acceptabelt med överstort material. Gränsen för överstort material sätts som hårdast vid anläggning J. Där accepteras 10 % material med storlek 120 mm enligt Tabell 11. Anläggning I har den mest generösa kravgränsen för storleken på överstort material och accepterar upp till 5 % material med storlek 100 – 250 mm. Det kan också noteras att anläggning K inte har något specifikt krav på överstort material utan accepterar allt som går igenom bränsleinmatningen, samt att anläggning L har ett krav som är svårt att jämföra med övriga anläggningars krav. Anläggning L anger max 300 mm för längd + bredd + höjd.

Avseende finfraktion så har fyra av fem anläggningar med BFB- och CFB-pannor krav på hur mycket finfraktion bränslet får innehålla. Den femte anläggningen uppger att de istället begränsar inblandningsgrad av bränsle som innehåller mycket finfraktion (spån, kutter och frästörv). Två anläggningar sätter gränsen för finfraktion vid 5,6 mm, medan 1 mm respektive 3,15 mm används av de andra två anläggningarna. Det varierar också hur stor andel finfraktion som accepteras.

Gällande efterlevnad av kravspecifikationer för storleksfördelning på bränsle, anger två anläggningarna att den oftast är okej. En av dessa krossar en stor del av bränslet själva och har god kontroll på andelen finfraktion genom det. Tre av anläggningarna anger att det kan vara svårt att uppfylla kraven på andel finfraktion i bränslet och en av dem pekar särskilt på problem med barr. En anläggning anger att det också förekommer överstort material på mer än 200 mm, fastän man specificerat att bränslet inte får innehålla material större än 200 mm.

Tabell 11. Anläggningar med BFB- och CFB-pannor - Krav på bränslets storleksfördelning, efterlevnad av kravspecifikation, samt eventuella planer på förändring av kravspecifikation.

Anläggning	Krav på bränslets storleksfördelning	Efterlevnad av kravspecifikation	Är det rätt specifikation på bränslets storleksfördelning, eller finns det planer på att ändra den?
H	Generellt för alla sortiment (%): Stickor >100 mm max 10 %, stickor >200 mm x 10 mm enstaka får förekomma. Grot: fukt 25 – 55 %, <3,15 max 20 %, 3,15 - 45 mm minst 75 %. Stamvedsflis: fukt 20 -50 %, <3,15 mm max 5 %, 3,15 - 45 mm minst 85 %. Sågspån: fukt under 60 %, <3,15 max 25 %, 3,15 - 45 mm minst 75 % . Bark: fukt ≤60, <3,15 max 15 %, 3,15 - 45 mm 75 %. RT-flis: fukt genomsnitt 20 %, 15 - 25 %, <3,15 max 20 %, 3,15 - 45 mm 75 %.	Ibland problem med grot som har hög finfraktion p.g.a. barr.	Ja. Inga planer på ändring.
I	Max 5 % 100 - 250 mm, max 20 % <5,6 mm	Oftast ok.	Ja. Inga planer på att ändra.
J	90 % skall vara mindre än 63 mm. 30 % får vara mindre än 5,6 mm. 10 % får vara 120 mm.	Tycker att leverantörer har svårt att klara gränsen på 30 % 5,6 mm. Oavsett sortiment.	Ja. Inga planer på att ändra.
K	CFB: inga krav, allt som går genom bränsleinmatning är ok. BFB: i upphandlingen av pannan fanns följande krav på bränslefraktion: 0 - 5 %, <1 mm, 80 – 100 %, 3,15 - 100 mm, 0 % >200 mm. Det är skillnad på bränslefraktion i inmatningsfickan och vid pannvägg. Vissa bränslen smulas sönder.	BFB: För stor andel finfraktion jämfört med bränslespecifikation. Fraktionsstorlekar tas ut i en lucka under bränsleskrapan, precis innan bränslelinjen delas i två stup, före cellmatare. Luckan är lite för liten vilket gör att man inte alltid får ut de allra största fraktionerna. Den fina fraktionen (<1 %) är cirka 10 %. Fraktionen 80 - 100 är cirka 70 %. Fraktioner över 200 mm finns någon gång.	Ja. Inga planer på att ändra. Fraktionsfördelning är ingen fråga som diskuteras mer än hur lätt den kan gå igenom bränsleinmatningen.

Anläggning	Krav på bränslets storleksfördelning	Efterlevnad av kravspecifikation	Är det rätt specifikation på bränslets storleksfördelning, eller finns det planer på att ändra den?
L	L+B+H max 300 mm. Inget direkt krav på finfraktion men vissa begränsningar på inblandningen av bränslen som innehåller mycket finfraktion (Spån, kutter och frästörv)	Anläggningen krossar ganska stor del av det bränsle de själva eldar och styr därmed i mångt och mycket fraktionsfördelningen själv. Däremot kan det finnas interna diskussioner om vad som är viktigast, hög kapacitet på krosslinje versus rätt fraktionsfördelning till pannorna.	Ja. Inga planer på att ändra.

Vidare anger anläggningarna också att kravspecifikationerna är rätt och att det inte finns några planer på att ändra dessa.

Två av anläggningarna (I och J) har delat med sig av storleksfördelningar på bränslet (Bilaga D). Anläggning K gör också analyser av storleksfördelning, men eftersom bränsleproverna tas i processen (före bränslestup), tas de inte med i denna rapport eftersom de inte skulle vara jämförbara med övriga bränsleanalyser.

Den sista frågan vid telefonintervjuerna löd: *"Har ni haft några problem i panna/förbränning/emissioner som direkt kan kopplas till storleksfraktion på bränslet?"*

På denna fråga var svaren följande:

- Anläggning H: Vet inte.
- Anläggning I: Nej, inte i panna/förbränning/emissioner. Däremot blir det ibland cellmatarstopp i bränsleinmatningen, men det är mer relaterat till skrot i RT-flisen.
- Anläggning J: Känner att mycket finandel i bränslet ger mer oförbränt i flygaskan.
- Anläggning K: CFB: inga problem. BFB: stora problem med eldstadsbeläggningar, till viss del överhettar-problem. Om detta beror på höga halter alkali eller bränslefraktion är okänt. Driftpersonalen upplever att pannan brinner bättre på bränslen som är "svåra" att få igenom inmatningen.
- Anläggning L: Ja, framför allt om det är för mycket överstort material som påverkar bränsleinmatningen, och till följd av det även förbränning och emissioner. Problem på grund av för mycket finfraktion är mer sällan förekommande.

3.1.4 Leverantörer

Tre leverantörer av BFB- och CFB-pannor svarade på frågor. De tre leverantörerna betecknas X, Y och Z och beskriver sina krav på bränslets storleksfördelning på olika sätt.

Leverantör X beskriver att maxstorlek på bränslet främst bestäms av bränsle- och asksystemens krav. För BFB- och CFB-pannor som eldas med biobränslen kan nedanstående punkter användas som en utgångspunkt för krav på bränslets storleksfördelning (hänsyn har då tagits till bränsle- och asksystem):

- Siktstorlek 63 mm – passerande mängd 75 - 90 %.
- Siktstorlek 100 mm – passerande mängd 100 %.
- Max dimension styckestorlek sida + sida + sida = cirka 200 - 300 mm.
- Finandel: siktstorlek 3 mm <25 - 30 %.

Leverantör Y hänvisar istället till att de har standarden EN ISO 17225-1:2014 som utgångspunkt för kravspecifikation på storleksfördelning för biobränsle. För träflis används till exempel tabell 5 i SS EN ISO 17225-1 2014-standard. Det innebär specifikationer av:

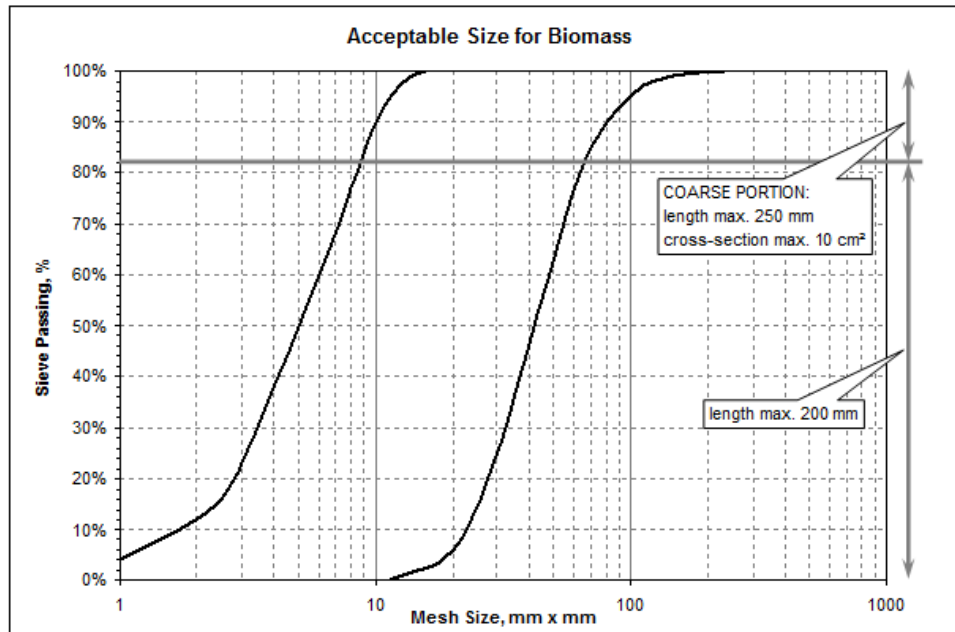
- Huvudfraktion (minst 60 %), t.ex.
 - × P45, betyder att minst 60 % av bränslet har storlek P i intervallet $3,15 < P \leq 45$ mm
 - × P63 betyder att minst 60 % av bränslet har storlek P i intervallet $3,15 < P \leq 63$ mm
- Grovfraktion (%), längd på partiklarna begränsas (standardiserat med brytpunkter vid 31,5 mm, 45 mm, 63 mm, 100 mm, 150 mm och 250 mm). P45 relaterar normalt till grovfraktion ≤ 10 % >63 mm.
- Max längd på partiklar (mm).
- Max tvärsnittsarea för den grova fraktionen.
- Begränsning av finfraktion (<3,15 mm, %).

Vidare säger leverantör Y att de som pannleverantör föredrar att använda P45 som huvudfraktion för storlek på bränslet, men att kunderna ofta föredrar P63 framför P45. Gällande mängden överstort material och maximal längd på bränslepartiklar så varierar det från projekt till projekt. Maximalt tillåten längd på bränslepartiklar har en ganska stor inverkan på tillgängligheten eftersom alltför långa stickor tenderar att orsaka problem i bränslehanteringssystemet (störningar för transportörer). Vidare anger leverantör Y att gränsen för finfraktion bör gå vid F05, det vill säga mindre än 5 % av materialet är mindre än 3,15 mm, men i praktiken vill fler och fler kunder specificera högre finandel.

Den tredje leverantören, Z, beskriver krav på storleksfördelning vid förbränning av biobränsle i en CFB-panna som att varje specifikation av biobränsleblandning, inklusive inert material (sten, glas, keramik och metall), ska uppfylla nedanstående krav på begränsningar gällande storleksfördelning:

- 95 % av bränslet ska vara $< 50 \times 50 \times 10$ mm.
- 90 % av bränslet ska vara < 2 mm; det vill säga passera sikt-steget med nätstorlek 2 mm.
- Max. 2 % av bränslet får vara < 1 mm (damm); det vill säga passera sikt-steget med nätstorlek 1 mm.
- Enstaka bränslepartiklar får vara max. 250 mm vid summering av a + b + c (längd, bredd och höjd).

Vidare anger leverantör Z att för BFB-pannor ska biobränsleblandningar uppfylla krav på storleksfördelning enligt Figur 8.



Figur 8. Leverantör Z:s beskrivning av krav på storleksfördelning på biobränsle till BFB-pannor.

Två av tre leverantörer har svarat på frågan om efterlevnad av kravspecifikation. Leverantör X anser att hur bra kravspecifikationen på bränslet efterlevs varierar från anläggning till anläggning, och att det beror på samspelet mellan driftorganisationen och bränsleinköpare. Leverantör Y tycker att kraftspecifikationen på biobränsle brukar efterlevas relativt väl, särskilt jämfört med andra bränslen, t.ex. kol. Ibland förekommer problem relaterat till överstort material. Det är sällan problem relaterat till finfraktion. Dessa problem är sällan stora, om man bortser från när det handlar om stora stickor som orsakar driftstörningar.

Gällande frågeställningen om de har rätt specifikation på bränslets storleksfördelning eller om det finns planer på att ändra den, så har två av leverantörerna svarat på frågan. Leverantör X ser inte någon anledning till att ändra specifikationen, samt försöker i största möjliga utsträckning vara flexibla och tillgodose kundernas önskemål. Inte heller leverantör Y har några planer på att ändra på specifikationen för storleksfördelning på bränslet, men de uppdaterar sina interna guidelines så att de skall stämma överens med den senaste EN-standard, vilket innebär viss justering av specificerade storleksintervaller och procent-andelar. De kommer dock att behöva avvika från EN-standard för att stämma överens med tidigare guidelines. Sannolikt kommer dessa guidelines avvika med avseende på tillåten maximal andel av bränslepartiklar med max-storlek. Det kommer också vara möjligt med mindre avvikelser från projekt till projekt.

Slutligen har två av leverantörerna svarat på frågan om de haft några problem i panna/förbränning/emissioner som direkt kan kopplas till storleksfraktionen på bränslet. De svarade enligt följande:

- Leverantör X: Mindre BFB-pannor är generellt känsligare för storleksfördelning. Speciellt finfraktioner på grund av korta uppehållstider i eldstaden. Detta ger förbränning högt upp i de små eldstäderna, vilket i sin tur ger förbränning i första överhettar-sektionen, och risk för förhöjda CO-emissioner. För CFB pannor kan man få efterförbränning i cyklonerna med höga temperaturer i cyklon och dipleg. Har man ett olämpligt bäddmaterial, eller/i kombination med, ett bränsle som innehåller alkali kan man få sintringar. Risken för sintringar i dipleg beror på dess konstruktion. Problem med överstora stycken är främst relaterade till två ting:
 1. Bränslesystemet med hängningar och ojämn bränsletillförsel som resulterar i svängningar i last och emissioner. Problemet är mer accentuerat i mindre pannor.
 2. När man väl fått bränslet in i eldstaden kan problem uppstå med icke brännbart och o-fluidiserbart material som ackumuleras på eldstadsbotten (givet att den inte är designad för sådant material). Ofta uppstår detta i kombination med att bottenask-stupen är för små och/eller för få till antalet.
- Leverantör Y: För stor andel finfraktion ökar temperaturen lokalt i eldstaden och orsakar "försenad" förbränning, vilket typiskt ökar hastigheten för bildning av påslag på överhettaren. Finfraktion kan också bidra till något förhöjda halter för CO- eller NO_x-emissioner, men vanligtvis kan detta förhindras genom styrning av förbränningsluften.

3.2 EXPERIMENTELLA FÖRSÖK I FLUIDBÄDDTESTRIGG

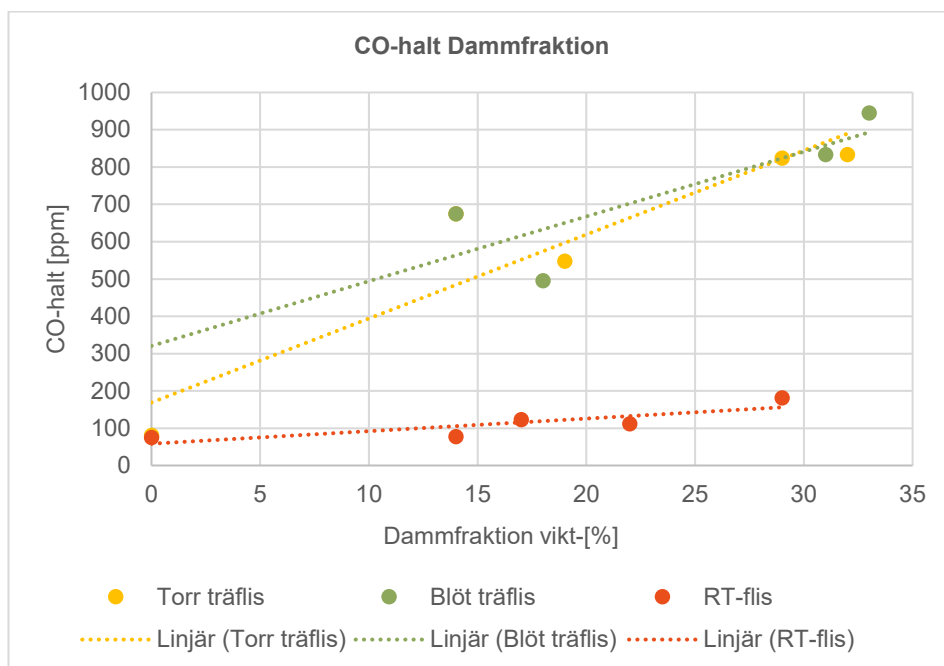
Kapitel 3.2 beskriver genomförandet och de mätningar och analyser som gjordes under de 15 olika experimentella försöken i fluidbäddtestriggen.

3.2.1 CO-emissioner

Figur 9 visar CO-halterna uppmätta för torr träflis, blöt träflis och RT-flis vid försök i fluidbäddtestriggen. CO-halterna är uppmätta för flera olika halter av dammfraktioner; från 0 % upp till cirka 35 vikt-%.

Resultaten från försöken med torr träflis och RT-flis, visar en relativt stark korrelation mellan ökad dammfraktion-halt och ökad CO-halt.

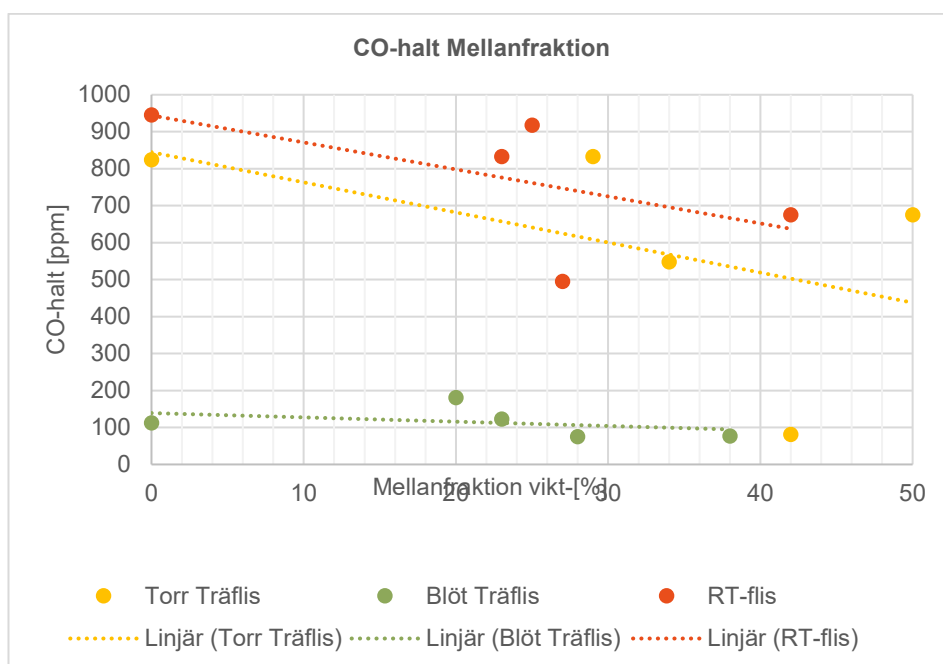
Resultaten från mätningarna med blöt träflis visar en relativt god korrelation mellan dammfraktion-halt och ökad CO-halt.



Figur 9. CO-halt s.f.a. dammfractionhalt (vikt%) i nyttjat bränsle.

Figur 10 visar motsvarande CO-halter för olika mellanfraktioner (0,25 – 4 mm). Trenden för alla tre bränslen är att CO-emissionerna minskar med ökad andel mellanfraktion.

CO-halterna uppmätta vid RT-flisförbränning är betydligt lägre än vid träflisförbränning.

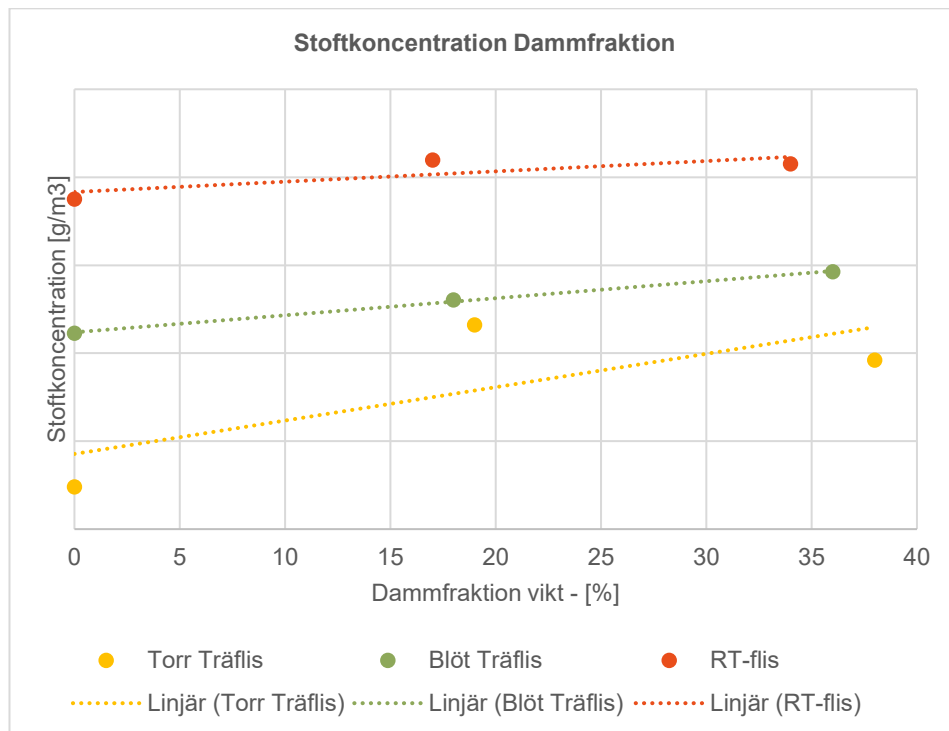


Figur 10. CO-halt s.f.a. mellanfraktionhalt (vikt%) i nyttjat bränsle.

3.2.2 Stoft i rökgas

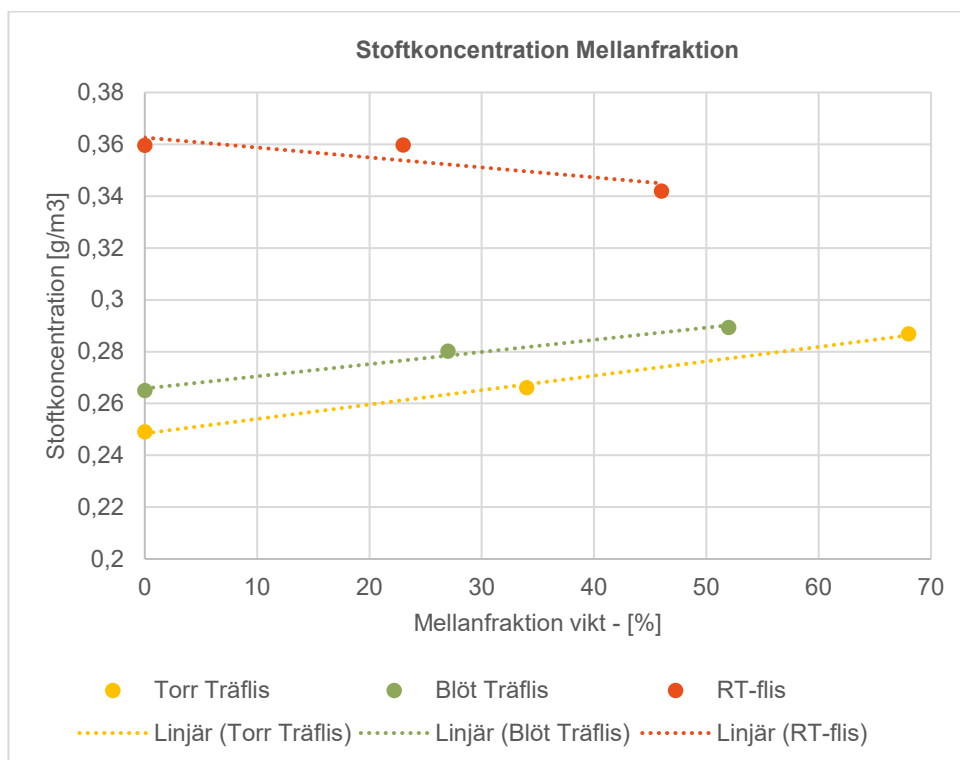
Figur 11 visar dammfractionens påverkan på stoftkoncentrationerna.

För alla tre försöken; torr träflis, blöt träflis och RT-flis, gäller att stofthalten ökar med ökad dammfraction. Man bör dock beakta att antalet mätpunkter är få och skillnaderna mellan koncentrationerna är i flera fall mycket små.



Figur 11. Stofthalt s.f.a. dammfractionhalt (vikt%) i nyttjat bränsle.

Resultat från mellanfraktionens påverkan på stoftkoncentrationen visas i Figur 12. Där framkommer att en ökad mellanfraktion ger en högre stoftkoncentration för torr träflis och blöt träflis. För RT-flis är korrelationen motsatt, men skillnaderna mellan det största och minsta värdet är mindre än $0,02 \text{ g/m}^3$, vilket gör att man kan spekulera i om mätonoggrannheten är större än skillnaderna mellan resultaten. Observera att även i dessa fall är antalet mätpunkter få.

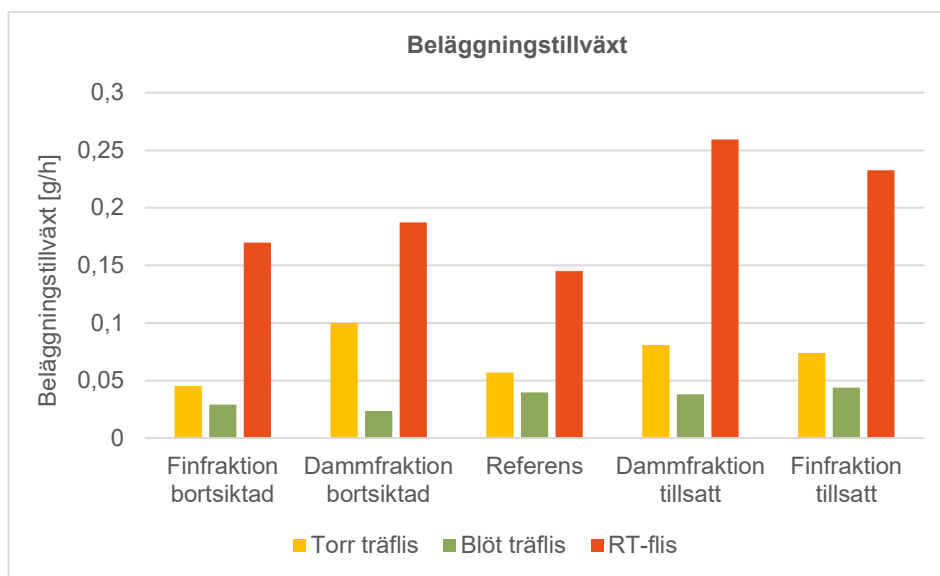


Figur 12. Stofthalt s.f.a. mellanfraktionhalt (vikt%) i nyttjat bränsle.

Analyser av mängden oförbränt stoft i rökgasen gav av okänd anledning felaktiga värden och redovisas ej här.

3.2.3 Beläggningstillväxt

Figur 13 visar de uppmätta beläggningstillväxthastigheterna för alla labförsök. Det finns ingen uppenbar korrelation mellan bränslefraktion och beläggningstillväxthastighet i labbskala.



Figur 13. Beläggningstillväxthastighet för alla nyttjade bränslen.

3.3 MÄTKAMPANJ I FÄLT

3.3.1 Mätperioden

I Tabell 12 sammanställs mätperioderna för de olika provtagningarna som gjordes under försöken.

Tabell 12. Sammanställning av de olika försöksperioderna

Försök	Grovt	Referens 1	Referens 2	Fint
Datum	17.11.21	17.11.22	17.11.22	17.11.23
Bränsle: Total provtagningstid (ungefärlig)	10.00 - 17.00	9.00 - 14.30	15.00 - 19.30	9.00 - 15.15
Ant. delprover	8 (2 tunnor ³)	6 (2 tunnor)	5 (2 tunnor)	7 (2 tunnor)
Beläggning	11:20 – 15:23	9:25 – 12:30	13:30 ⁴ – 16:30	11:00 – 14:05
Partikel/ stoft	Flera gånger under försöken	Flera gånger under försöken	Flera gånger under försöken	Flera gånger under försöken
Oxymap	17.21 – 20.56	9.36 – 10.43	18.13 – 19.38	15.04 – 16.02
Rågasanalys	Kontinuerligt	Kontinuerligt	Kontinuerligt	Kontinuerligt
Gasemission	Kontinuerligt	Kontinuerligt	Kontinuerligt	Kontinuerligt
Antal delprover aska 2:a draget	8 (1 hink)	6 (1 hink)	5 (1 hink)	6 (1 hink)
Flygaska uppsamlingstid	14.30 – 16.50 (2 burkar)	11.30 – 13.00 (1 burk)	14.30 – 16.40 (1/2 burk)	12.10 – 14.30 (2 burkar)
Filmning (filmtid 20 min)	ÖH: start 19.45 Front: 20.05	ÖH: 14.00	Front: 18.49	ÖH: 14.02 Front: 9.48

3.3.2 Bränsleprov

Under försöken togs bränsleprover ut ur fallande flöde mellan transportband och elevator. Provtagning gjordes cirka en gång per timme. För provtagningen användes en speciell skovel och provet hällades i tunnor vilka sedan skickades för analys till ett ackrediterat lab. Proverna analyserades med avseende på fukt, aska, värmevärde, C, H, N, O, S, Cl, metaller samt fraktionsfördelning.

I Figur 14 visas foton på bränsleproverna.

I Tabell 13 och Figur 15 ges en sammanställning av bränsledata för de olika testade bränslena. Noteras kan att askhalten är signifikant högre för bränslet med extra hög finandel (Fint) och lägst för bränslet med lägst andel finfraktion (Grovt). Den högre andelen askinnehåll i bränslet med högst andel finfraktion utgörs till största delen av ett högt kisel-innehåll (Si). Samma bränsle har också betydligt högre andel aluminium (Al), järn (Fe), kalium (K), magnesium (Mg). Det är dock oklart vad skillnaden i askhalt kommer från, detta då bränslet kom från samma leverantör. Dess innehåll av nämnda askbildande ämnen pekar på att denna bränslekvalitet

³ De bränsleprover som togs placerades i tunnor.

⁴ Under hela referensbränsleledningarna nyttjades samma bränsle och lasten hölls på liknande nivå. Beläggningsmätningarna inleddes därför något tidigare än övriga mätningar men detta ska ej ha påverkat mätningen.

innehöll mer föroreningar än normalt, typiskt från sand och jord som kan ha kommit in i bränslet vid den manuella hanteringen som gjordes vid bränsleberedningen. Vidare så har det fina bränslet en klorhalt som motsvarar det som återfinns i referensbränslet med högst innehåll av klor samt en zinkhalt som är 10-30 % lägre än båda referensbränslena. De båda referensbränslena har stora skillnader i klor (Cl) samt i några av de askbildande komponenterna som förekommer i låga koncentrationer, i huvudsak innehållet arsenik (As), krom (Cr) och molybden (Mo). Generellt gäller att Grovt-bränslet har, bortsett från innehåll av kalium (K) och natrium (Na) som ökade något, ett reducerat innehåll av de flesta askbildande ämnen jämfört med referensbränslena, i synnerhet kisel (Si), svavel (S) och zink (Zn) som minskade med mellan 60-70 %.

I Tabell 14 visas oorganiska flöden genom pannan.

Subjektiva noteringar från mätningarna är att referensbränslet eventuellt dammade lite mer än det grova bränslet, samt att referensbränslet under den andra provdagen innehöll en större mängd frigolitbitar än vanligt. Bränslet med tillsatt andel finfraktion såg mer "jordigt" ut än referensbränslet och bränslet med bortsiktad andel finfraktion. Vidare så dammade bränslet med tillsatt finfraktion mindre vid provtagningspunkten, men det kan dock bero på att det regnade rejält under natten.



Figur 14. Uttagna bränsleprover; a) Bränsle med bortsållad finfraktion (grovt), b) Referensbränsle, c) Bränsle med tillsatt finfraktion (fint).

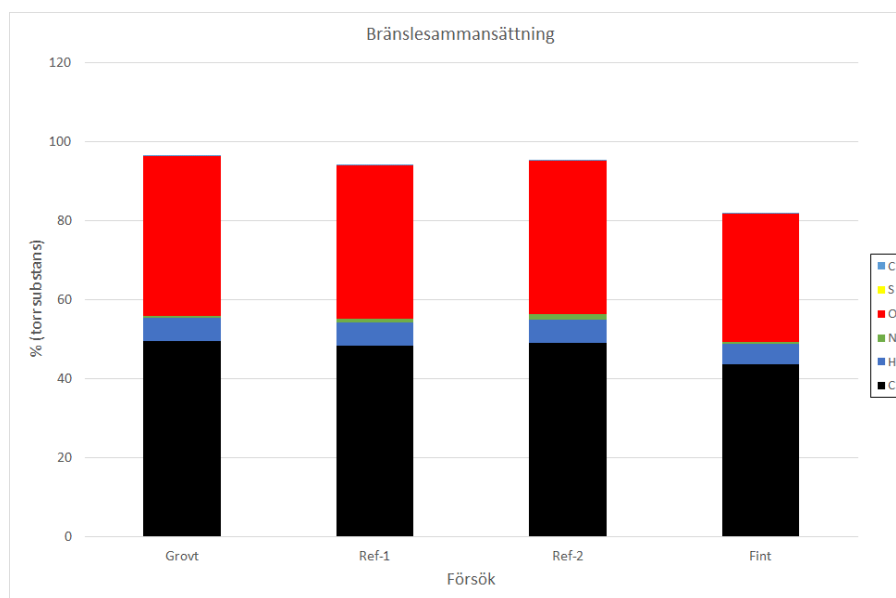
Tabell 13. Sammanställning av bränsledata för de testade bränslena ("lev" = leveranstillstånd, "Ts" = torrsubstans).

			Grovt	Normal -1	Normal- 2	Fint
Andel <4 mm	%		7	26	23	38
Fukthalt	%		21,8	28,20	25,5	28,8
Askhalt inkl. askbildare (lev)	%		2,7	4,20	3,4	12,9
Askhalt inkl. askbildare	%	Ts	3,5	5,9	4,6	18,1
Kol, C (lev)	%		38,7	34,8	36,6	31,1
Väte, H (lev)	%		7,1	7,3	7,3	6,9
Kväve, N (lev)	%		0,33	0,74	0,92	0,4
Svavel, S (lev)	%		0,024	0,071	0,101	0,067

			Grovt	Normal -1	Normal- 2	Fint
Klor, Cl (lev)	%		0,055	0,035	0,076	0,072
Syre, O (lev) (beräknat)	%		51	52,8	51,6	48,6
Kol, C	%	Ts	49,5	48,4	49,1	43,6
Väte, H	%	Ts	6	5,8	5,9	5,2
Kväve, N	%	Ts	0,42	1,03	1,23	0,56
Svavel, S	%	Ts	0,031	0,098	0,136	0,095
Klor, Cl	%	Ts	0,07	0,049	0,101	0,101
Syre, O (beräknat)	%	Ts	40,5	38,7	38,9	32,4
Effektivt värmevärde	MWh/ton		4,317	3,871	4,06	3,407
Aluminium, Al	mg/kg	Ts	380	540	650	2200
Antimon, Sb	mg/kg	Ts	0,24	0,48	0,83	0,51
Arsenik, As	mg/kg	Ts	37	86	45	31
Barium, Ba	mg/kg	Ts	250	330	330	190
Bly, Pb	mg/kg	Ts	47	63	83	54
Bor, B	mg/kg	Ts	6,5	12	9,9	7,8
Fosfor, P	mg/kg	Ts	86	120	150	300
Järn, Fe	mg/kg	Ts	520	1600	1300	4000
Kadmium, Cd	mg/kg	Ts	0,4	1	0,78	0,53
Kalcium, Ca	mg/kg	Ts	3400	5500	7400	8000
Kalium, K	mg/kg	Ts	880	610	690	1600
Kisel, Si	mg/kg	Ts	2800	10000	7400	57000
Kobolt, Co	mg/kg	Ts	0,83	3,6	2,9	2,4
Koppar, Cu	mg/kg	Ts	55	140	110	250
Krom, Cr	mg/kg	Ts	46	95	59	59
Kvicksilver, Hg	mg/kg	Ts	0,067	0,065	0,084	0,048
Magnesium, Mg	mg/kg	Ts	360	700	730	1300
Mangan, Mn	mg/kg	Ts	100	120	130	150
Molybden, Mo	mg/kg	Ts	0,22	0,49	0,26	1,3
Natrium, Na	mg/kg	Ts	490	360	430	430
Nickel, Ni	mg/kg	Ts	2,7	5,6	4,1	11
Titan, Ti	mg/kg	Ts	34	67	64	180
Vanadin, V	mg/kg	Ts	1,4	4,3	2,9	6,6
Zink, Zn	mg/kg	Ts	370	1200	980	850

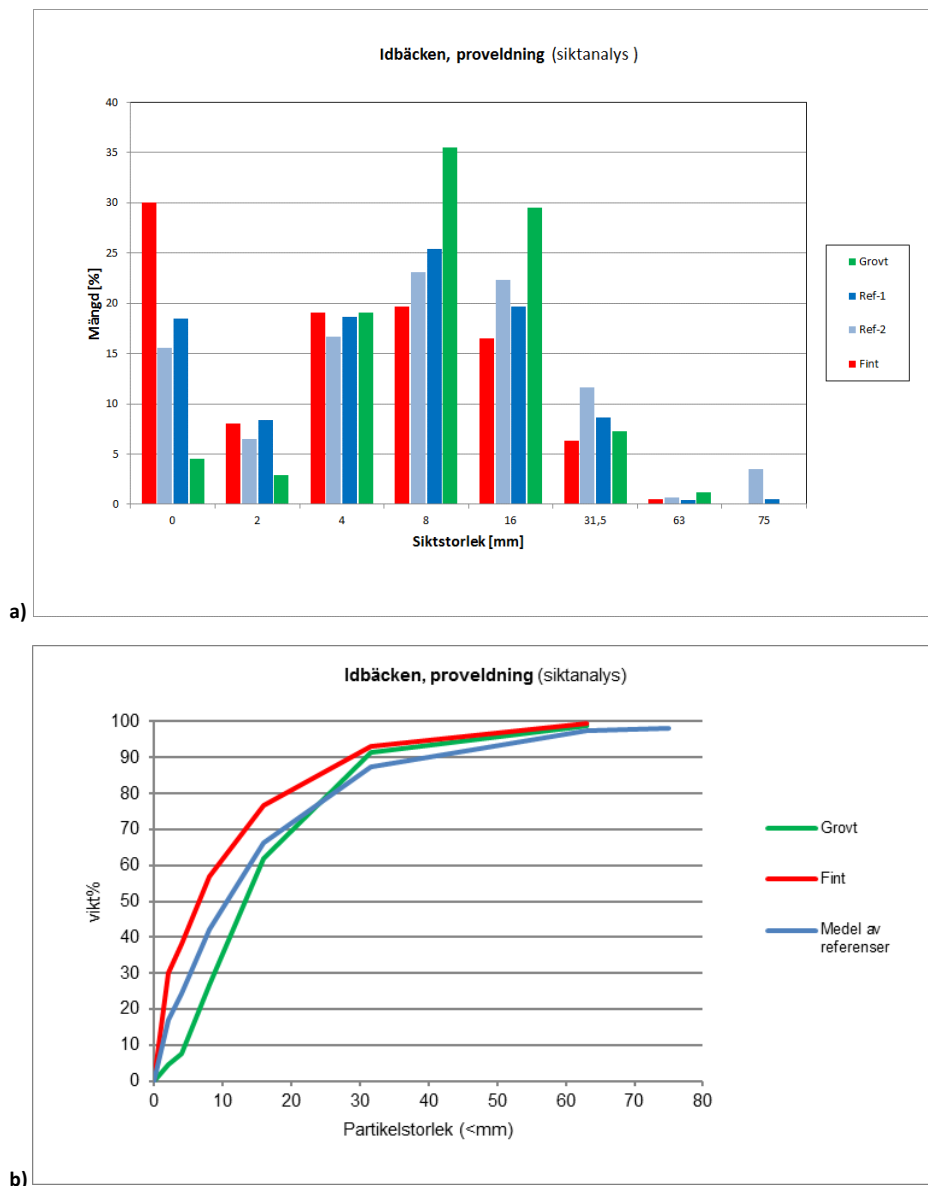
Tabell 14. Oorganiska flöden genom pannan (kg/h).

	Grovt	Normal-1	Normal-2	Fint
Aluminium, Al	4,8	7	8,3	32,2
Antimon, Sb	0,003	0,006	0,011	0,007
Arsenik, As	0,5	1,1	0,6	0,5
Barium, Ba	3,2	4,3	4,2	2,8
Bly, Pb	0,6	0,8	1,1	0,8
Bor, B	0,1	0,2	0,1	0,1
Fosfor, P	1,1	1,6	1,9	4,4
Järn, Fe	6,6	20,8	16,7	58,5
Kadmium, Cd	0,005	0,013	0,01	0,008
Kalcium, Ca	43	71	95	117
Kalium, K	11,2	7,9	8,9	23,4
Kobolt, Co	0,011	0,047	0,037	0,035
Koppar, Cu	0,7	1,8	1,4	3,7
Krom, Cr	0,6	1,2	0,8	0,9
Kviksilver, Hg	0,001	0,001	0,001	0,001
Magnesium, Mg	4,6	9,1	9,4	19
Mangan, Mn	1,3	1,6	1,7	2,2
Molybden, Mo	0,003	0,006	0,003	0,019
Natrium, Na	6,2	4,7	5,5	6,3
Nickel, Ni	0,03	0,07	0,05	0,16
Titan, Ti	0,4	0,9	0,8	2,6
Vanadin, V	0,018	0,056	0,037	0,097
Zink, Zn	4,7	15,6	12,6	12,4
Kisel, Si	36	130	95	834



Figur 15. Sammansättning testat bränsle.

I Figur 16 visas resultatet från siktanalysen. Här kan förväntad skillnad noteras. Resultaten från de två provtagningarna på referensbränslet stämmer också relativt väl överens med varandra.



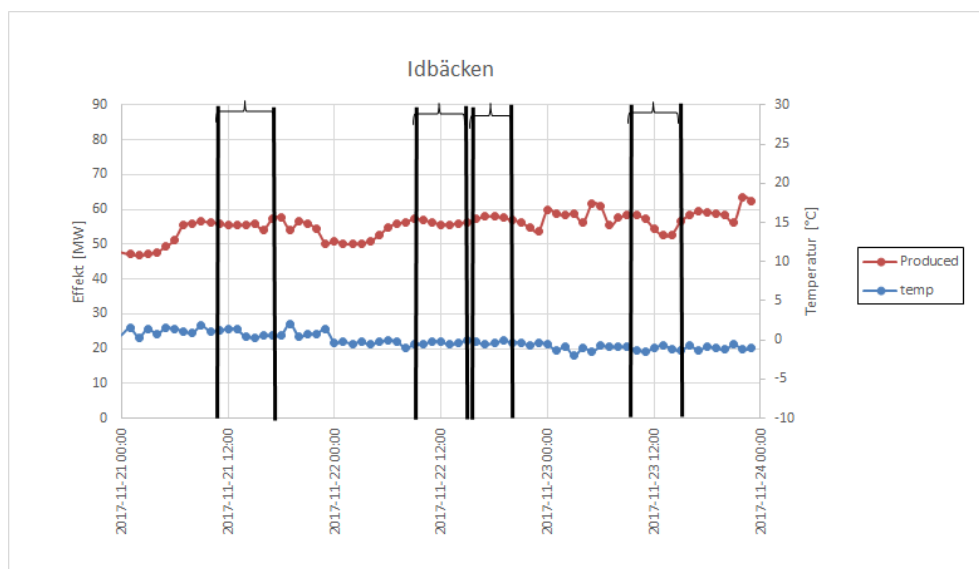
Figur 16. Resultat från siktanalys: a) vikt-% av andel som samlas på respektive sikt, b) ackumulerad mängd som passerat respektive sikt.

3.3.3 Driftdata

Driftdata från försöken i form av panneffekt, ångtryck, primär- och sekundärluftflöden, rökgasflöden, bäddtemperaturer, rökgastemperaturer visas nedan.

Panneffekt

I Figur 17 visas producerad effekt och utomhustemperatur. Effekten låg på drygt 55 MW värme vilket motsvarar ca 70 MW panneffekt vid samtliga mättillfällen.

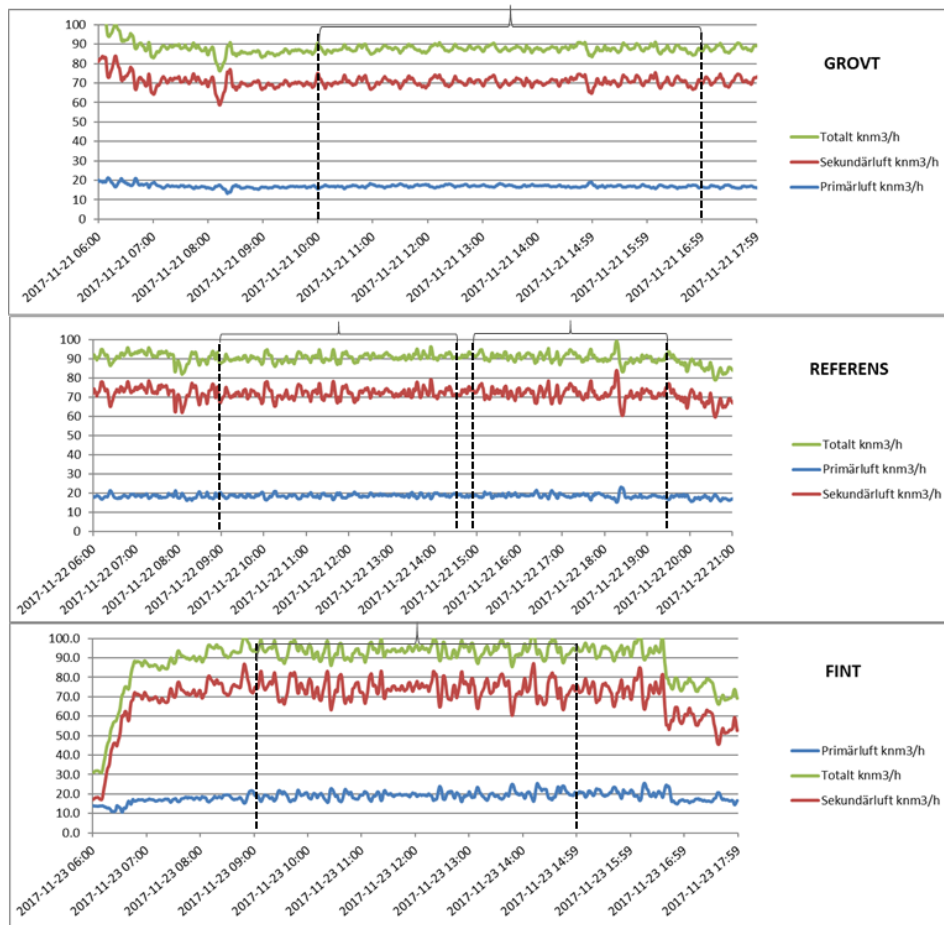


Figur 17. Producerad värmeeffekt och utomhus-temperatur. I diagrammet är de aktuella mätperioderna inritade (från vänster till höger: grovt/ref-1/ref-2/fint).

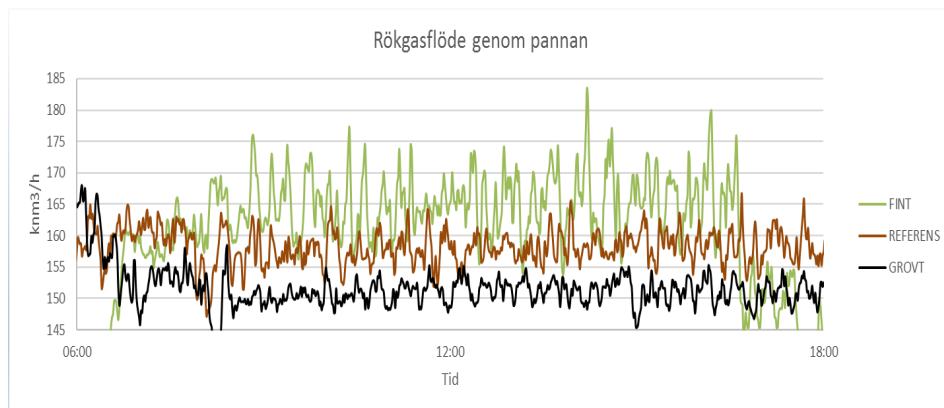
Luftflöden

Figur 18 visar luft och rökgasflöden under testerna. Med ökad andel finfraktion har mängden primärluft till pannan ökat något. Med tanke på att bränslen med högre andel finfraktion även innehöll en högre fukthalt, är förklaringen att man var tvungen att "elda" mer bränsle i nedre delen av bädden för att kunna bibehålla en konstant temperatur. Det bör noteras att fluidiseringsgasen i Idbäcken är en blandning av primärluft och återcirkulerad rökgas, och denna hålls konstant för en given last. Jämfört med grovfraktionen har den totala inmatade luftmängden till pannan ökat med cirka 3 % respektive 5 % under referens- och finfraktionstester. Den totala rökgasmängd som går genom pannan har däremot ökat med 4 % respektive 9 % för fint jämfört med grovt. Den stegvist ökande fukthalten under de tre försöken har delvis bidragit till den observerade ökningen av rökgasflöden och därigenom orsakat en ännu starkare förflyttning av förbränningszonen till högre delar av pannan. Klart går det även att observera att instabiliteten i gasflödena ökar med ökad andel finfraktion.

a)



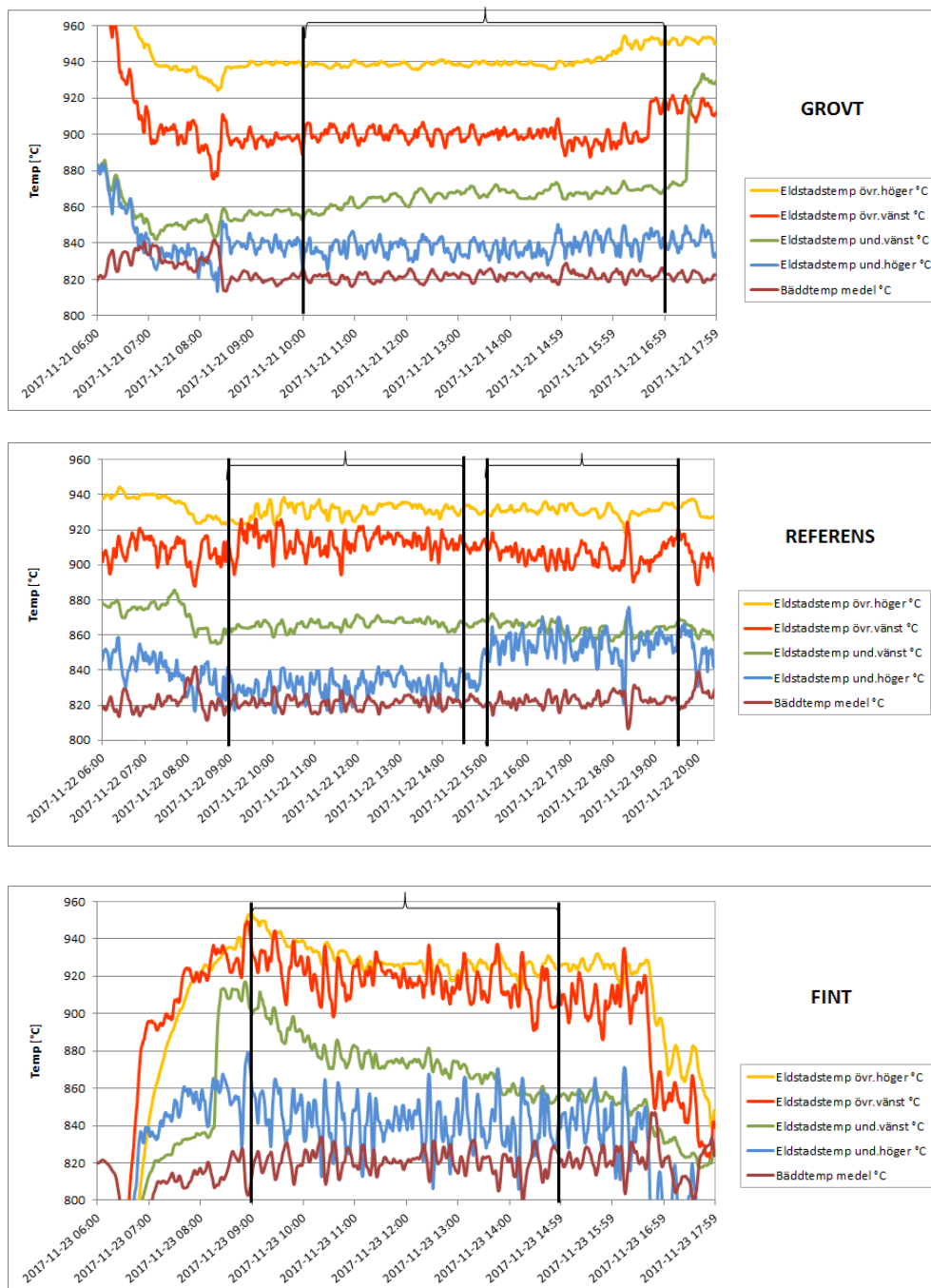
b)



Figur 18. a) Luftflöden, b) Rökgasflöden

Temperaturer

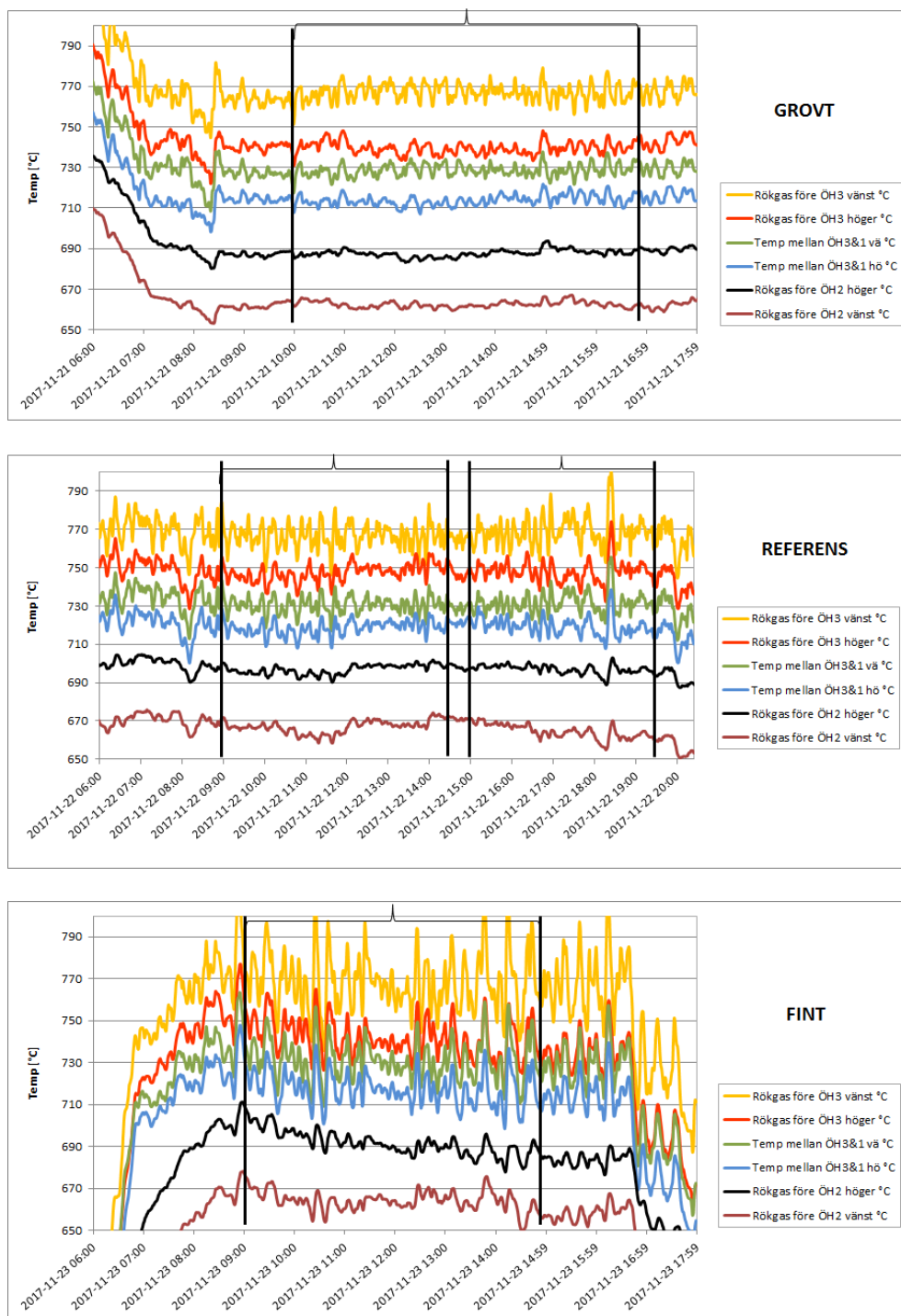
Figur 19 visar eldstads- och bäddtemperaturer för de olika testade fallen. Ökad andel finfraktion resulterar i att temperaturen sjunker i övre eldstadens högra del medan den ökar i eldstadens vänstra del. Sammantaget ger ökad andel finfraktion att skillnaden mellan höger och vänster del av eldstaden minskar samtidigt som en mer fluktuerande temperaturprofil över tid uppstår. Även bäddtemperaturen uppvisar större variation över tid för det fina bränslet.



Figur 19. Bädd- och eldstadstemperaturer.

Rökgastemperaturer

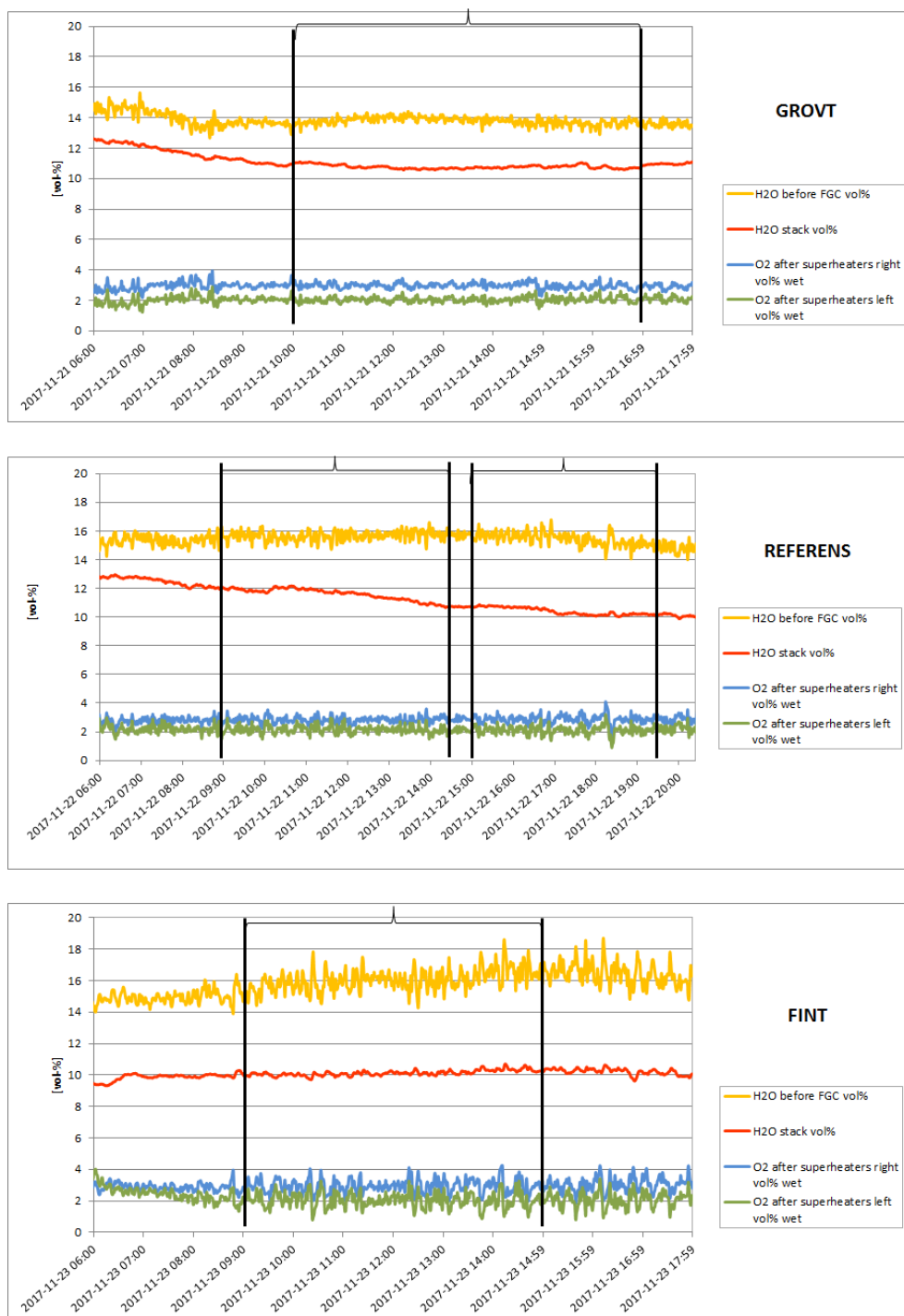
Figur 20 visar rökgastemperaturer för de olika fallen. Den mest klara skillnaden mellan de tre olika testperioderna, är den starka temperaturfluktuationen vid högst andel finfraktion.



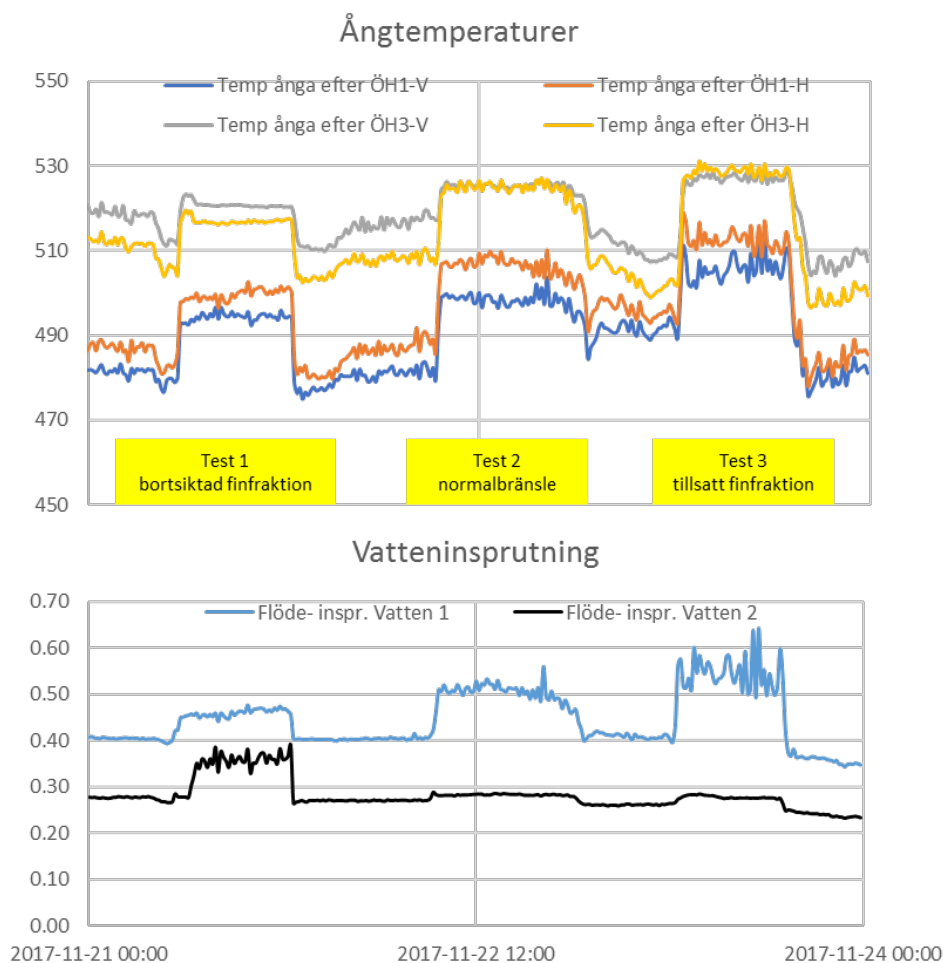
Figur 20. Rökgastemperaturer.

Syre och vattenånga

Figur 21 visar syre och vattenånga i rågasen för de olika fallen. Halten vattenånga i rågasen är något högre under mättag tre (med ökad andel finfraktion).



Figur 21. Syre- och vattenånga i rågas.



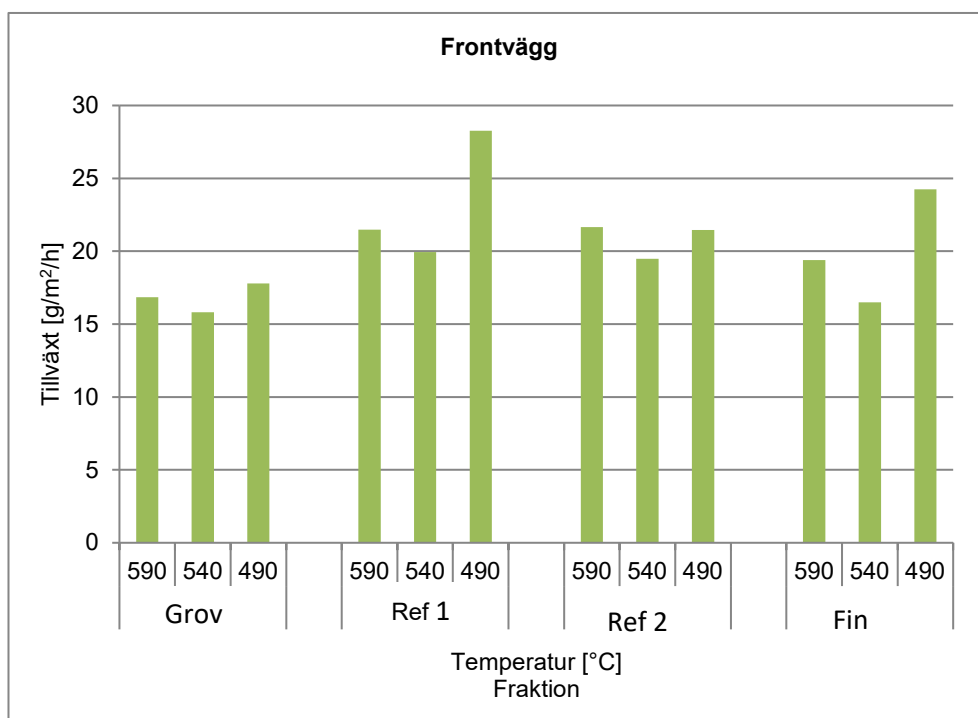
Figur 22. Ångtemperatur och vatteninsprutning.

Under försöken med ökad andel finfraktion i bränslet förflyttas förbränningen och energialstringen högre upp i pannan. Detta framgår av den stegvisa temperaturstegringen om man jämför ångtemperaturerna under de tre testtillfällen. Det framgår också tydligt av Figur 22 att vatteninsprutningen i ett tidigare skede (vatten 1) måste öka för att hålla en något så när konstant temperatur på ångan. Överhettarna ligger i följande turordning i rökgasens respektive ångans flödesriktning: ÖH2, ÖH3 och ÖH1 samt ÖH1, ÖH2 och ÖH3.

3.3.4 Beläggningstillväxt

Beläggningstillväxthastigheten mättes vid två olika positioner, dels vid frontväggen Plan 6 (övre del av eldstaden), och dels vid överhettarna, ÖH2. Se även Figur 6 för förklaring av mätpositioner. På en sond monterades tre ringar vilka individuellt kylades till önskade ytemperaturer. Sonden exponerades under en viss tid, normalt cirka 3 timmar, i rökgasmiljön och samlade då på sig beläggningar. Ringarna vägdes före och efter exponeringarna och en viktökning erhöles.

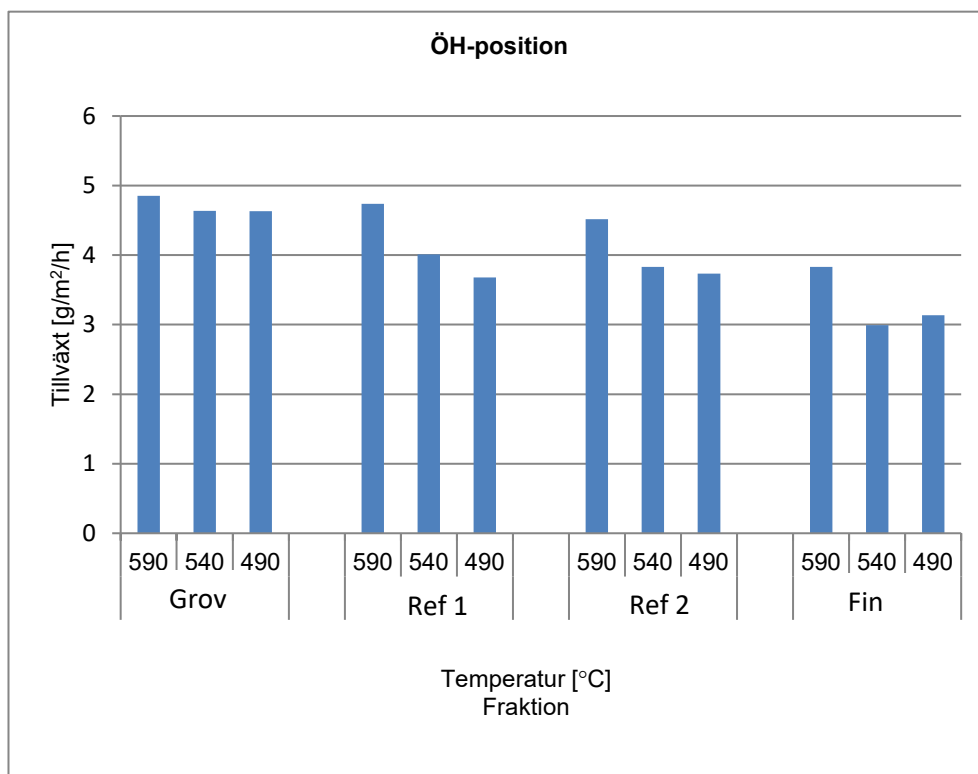
Figur 23 visar tillväxthastigheterna för bildade beläggningar med bortsett finfraktion i bränslet (21 november), två försök med referensbränsle (22 november) och bränsle med extra hög andel finfraktion (23 november). Ringarnas exponeringstemperaturer var 490 °C, 540 °C och 590 °C.



Figur 23. Beläggningstillväxt på frontvägg

En genomgående trend är att tillväxthastigheten är lägst vid 540 °C, mellan 15 till 20 g/m²/h oavsett bränsle, samt att tillväxthastigheten är som högst vid 490 °C, mellan 17 till 28 g/m²/h. Beläggningstillväxten är lägst i fallet med finfraktionen bortsett, men högst i referensfallen.

Figur 24 visar resultatet från motsvarande mätning vid överhettarpositionen. Vid överhettarpositionen är tillväxthastigheten betydligt lägre än vid frontväggen, cirka 3 till 5 g/m²/h. Vid denna position ger den högsta exponeringstemperaturen, 590 °C, också högst tillväxt. Trots att det fina bränslet har högst askhalt, grova bränslet lägst askhalt och med referenserna mitt emellan, så resulterar bränslet med finfraktionen bortsett i mest påslag och bränslet med extra hög andel finfraktion lägst tillväxt. Detta tyder på att askkompositionen verkar ha större betydelse än själva askinnehållet. Man bör dock vara medveten om att skillnaderna mellan lägsta och högsta tillväxthastighet är relativt små, mindre än 2 g/m²/h. Det skall också poängteras att ammoniumsulfat doseras in i rökgasen mellan mätunkten för "frontvägg" och "ÖH-position".

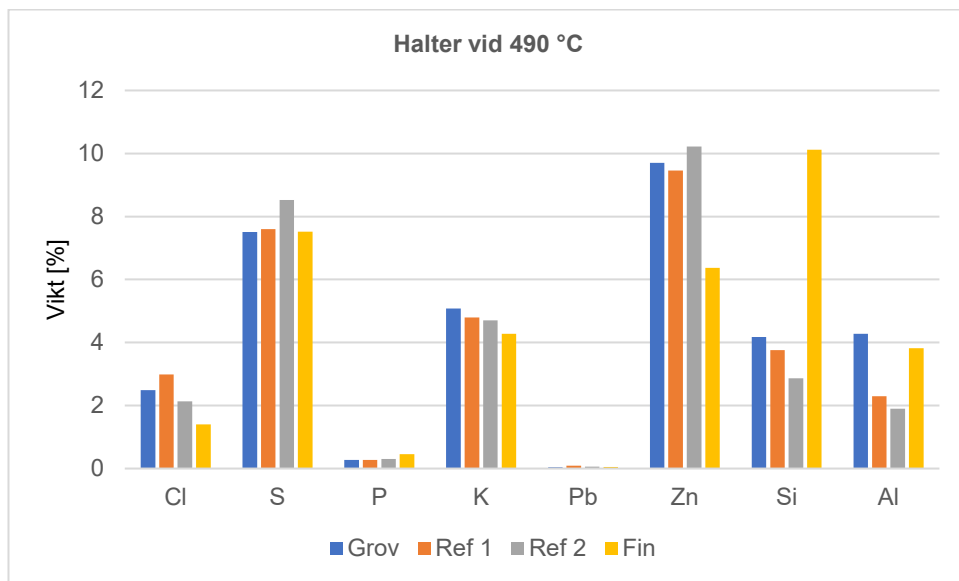


Figur 24. Beläggningstillväxt vid överhettarposition.

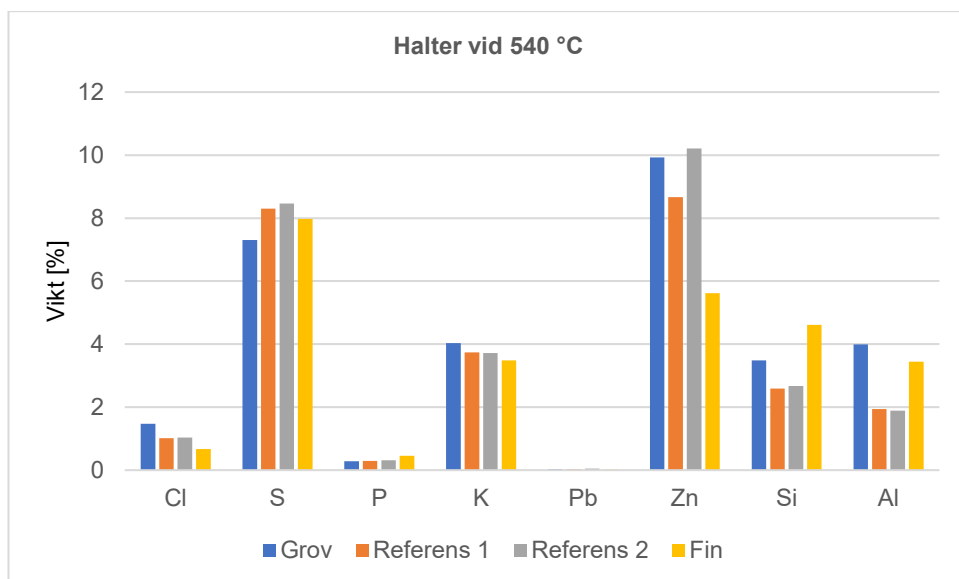
Kemisk analys av påslag på beläggningsringar

Påslagen analyserades med avseende på kemisk sammansättning. Figur 25, Figur 26 och Figur 27 visar halterna för vissa nyckelämnena vid 490 °C, 540 °C och 590 °C vid exponering i pannfronten. Värt att notera är att klorid- och kaliumhalten genomgående minskar med ökad yttemperatur. Kloridhalten är lägst för bränslet med tillsatt finfraktion och generellt sett högst för bränslet med bortsiktad finfraktion. Kiselhalten är klart högst för bränslet med tillsatt finfraktion, och näst högst för bränslet med bortsiktad finfraktion. Aluminiumhalterna är högst för fallen med bortsiktad finfraktion samt tillsatt finfraktion. Resultat kan delvis förklaras genom analys av aktuell bränslekvalitet, se Tabell 13.

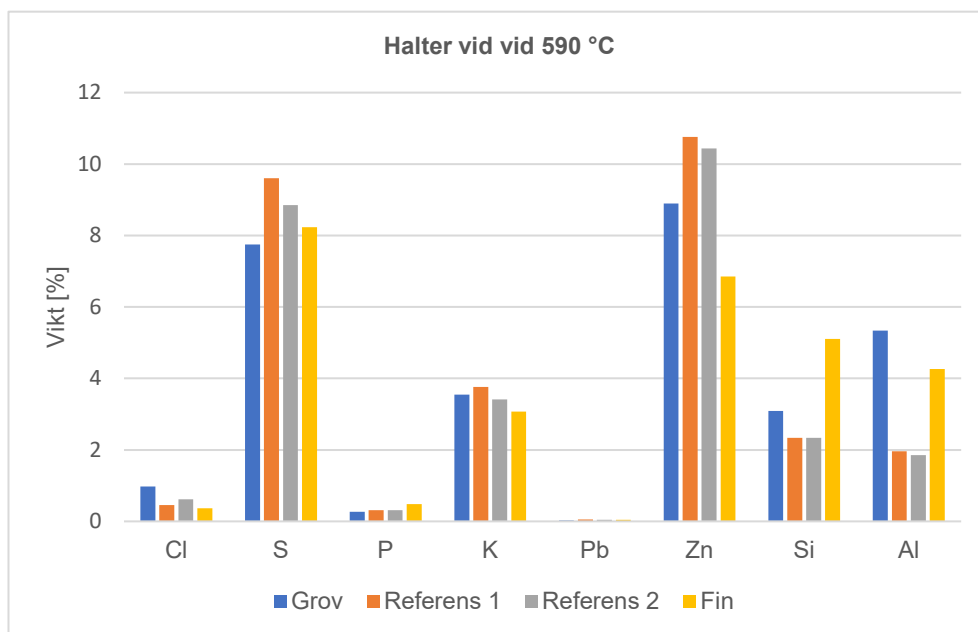
Den höga askhalten i det fina bränslet bör ha gett en utspädningseffekt p.g.a. höga andelar av Si, Al och Fe och trots att detta bränsle hade relativt höga innehåll av Cl och Zn (per kg TS), så blir andelen av dessa ämnen i beläggningen därför lägre. Det grova bränslet hade lägst askhalt men samtidigt relativt mycket klor i förhållande till svavel (och därmed lägre grad av egensulfatering), vilket kan förklara varför beläggningarna hade de högsta halterna av klor. Det skall också poängteras att ammoniumsulfat doseras in i rökgasen mellan mätpunkten för "frontvägg" och "ÖH-position".



Figur 25. Kemisk analys vid av påslag vid frontvägg 490 °C.



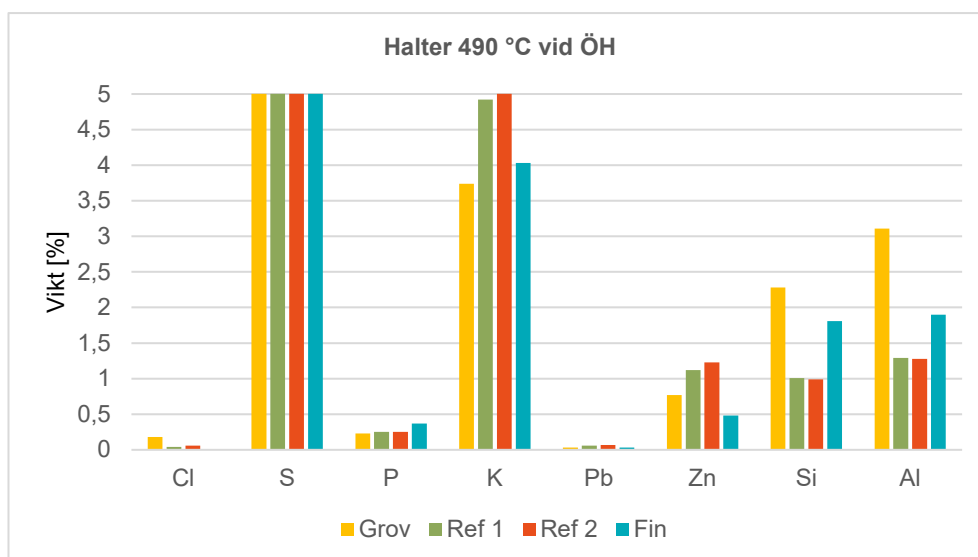
Figur 26. Kemisk analys av påslag vid frontvägg 540 °C.



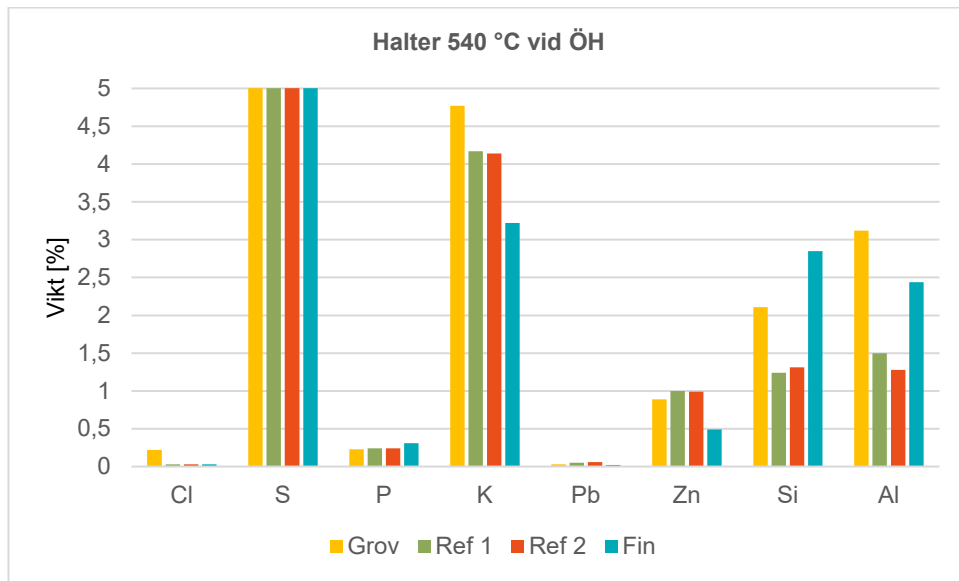
Figur 27. Kemisk analys av påslag, frontvägg 590 °C.

Figur 28, Figur 29 och Figur 30 visar halterna för vissa nyckelämnen vid 490 °C, 540 °C och 590 °C, vid exponering vid överhettarna.

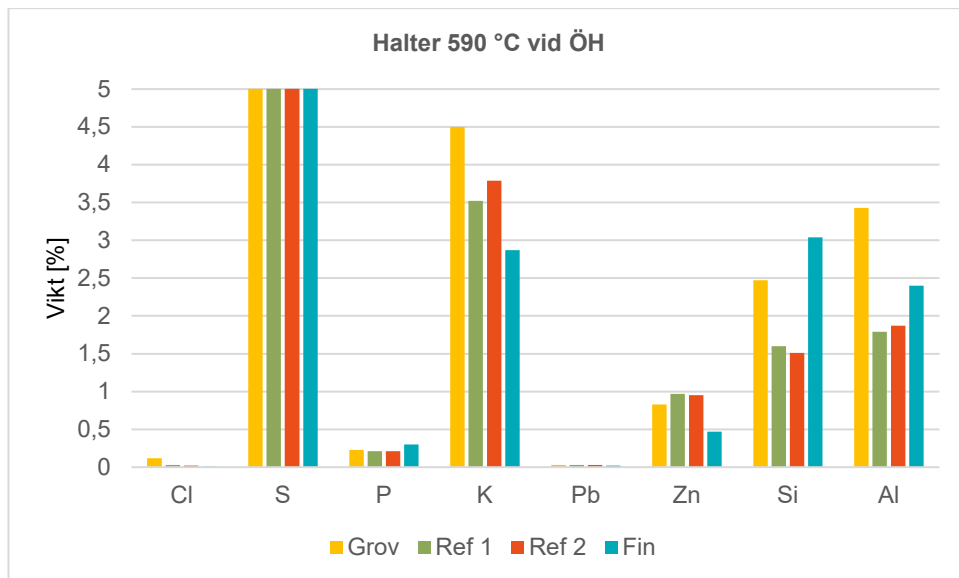
Kloridhalterna är betydligt lägre i påslag taget vid överhettare än påslag från fronten. De högsta kloridhalterna fås åter igen med bränslet i vilket finfraktionen är bortslaktad. Kisel- och aluminiumhalterna är högst för bränslet med bortslaktad finfraktion samt för tillsatt.



Figur 28. Kemisk analys av påslag, ÖH 490 °C.



Figur 29. Kemisk analys av påslag, ÖH 540 °C.



Figur 30. Kemisk analys av påslag, ÖH 590 °C.

3.3.5 Partikelinsamling

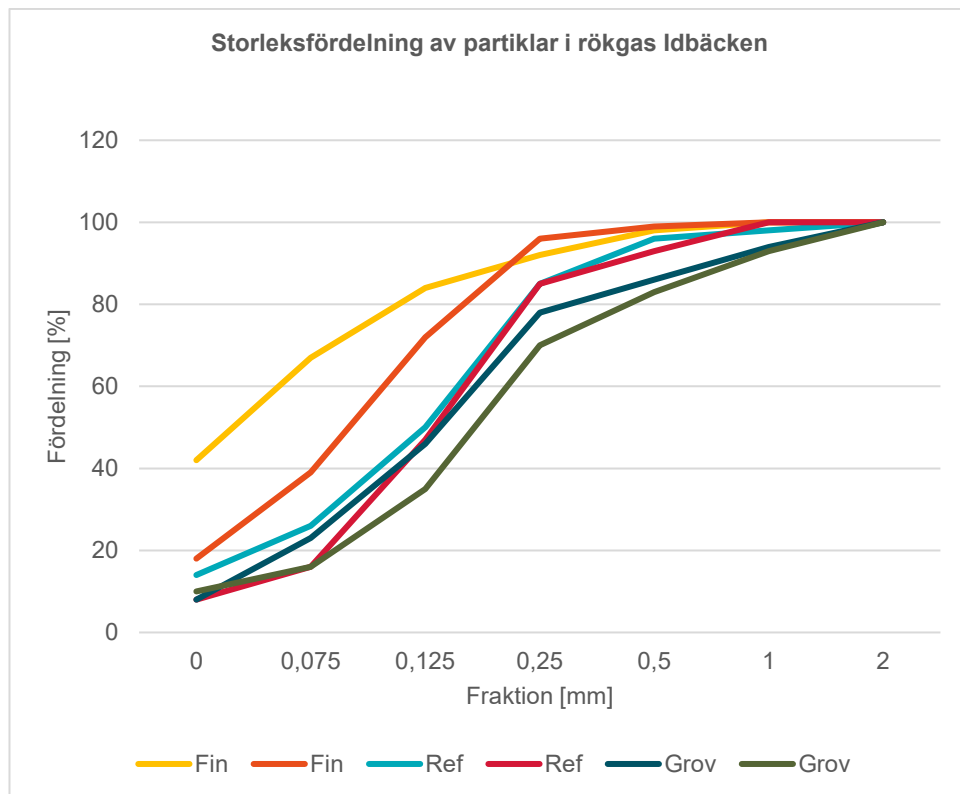
Partikelstorleksfördelningen i rökgasen bestämdes genom extraktion av partiklar som samlades upp i behållare för siktning.

Figur 31 visar cut-off halterna vid varje sikt där "2" innehåller alla fraktioner som är ≤ 2 mm, "1" innehåller alla fraktioner som är ≤ 1 mm, och så vidare ned till "0" som innehåller alla fraktioner mindre än 0,075 mm.

Den gula och ljusröda linjen i Figur 31, är prov tagna vid förbränning av bränsle med hög finandel, vilket återspeglas genom förhållandevis höga halter under 0,25 mm.

Den mörkblå och gröna linjen visar fördelningen när finandelen är bortsiktad. Stoffmängderna under 0,25 mm är förhållandevis låga.

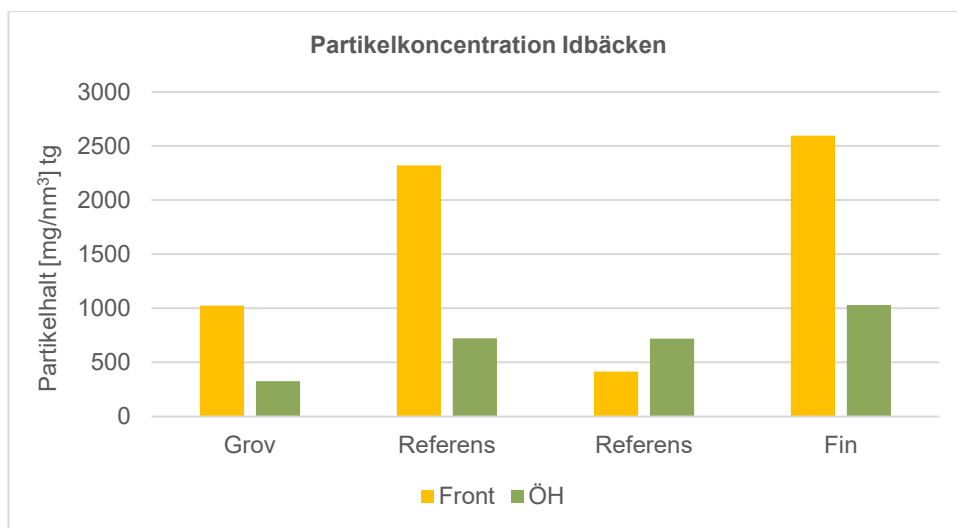
Den ljusblå och mörkröda linjen visar halterna vid normalt bränsle, som fördelningsmässigt ligger mellan de två föregående fallen.



Figur 31. Partikelstorleksfördelning och rökgas.

Stoftprov

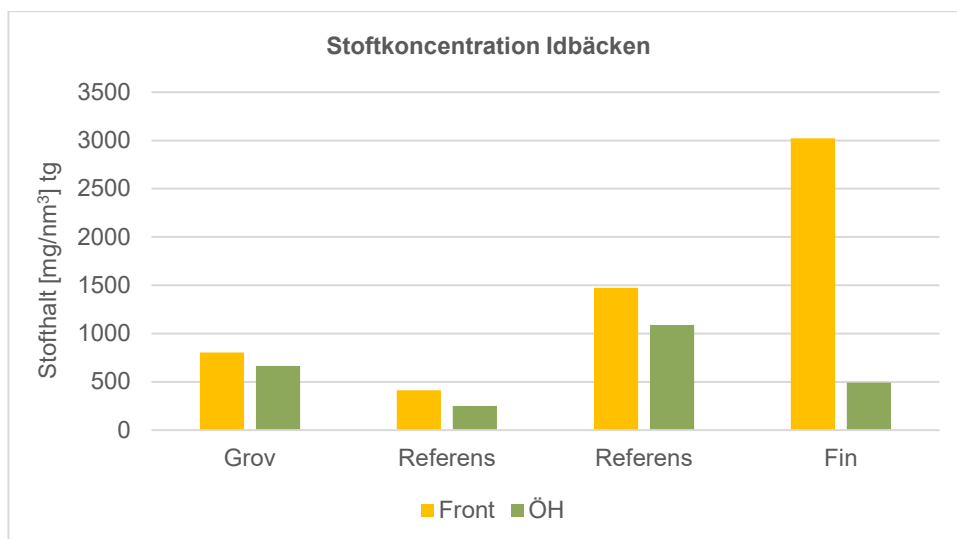
Figur 32 visar partikelhalterna i rökgaserna vid fronten och vid överhettarna. Både vid fronten och vid överhettarna är partikelhalten lägre för bränslet med utsiktad finfraktion, än med tillsatt finfraktion. De två mätningar som gjordes vid referensförsöket, vid fronten, ger helt olika resultat. Det skiljer över 500 % mellan de olika mätningarna.



Figur 32. Partikelkoncentration vid front och ÖH.

Figur 33 visar stofthalterna uppmätta i Idbäcken. Stoftet är en finare fraktion än ovan nämnda partiklar. För mätningar gjorda vid fronten, har bränslet med tillsatt finfraktion en mycket högre stofthalt än bränslet med utsiktad finfraktion. Referenserna visar åter spridda värden.

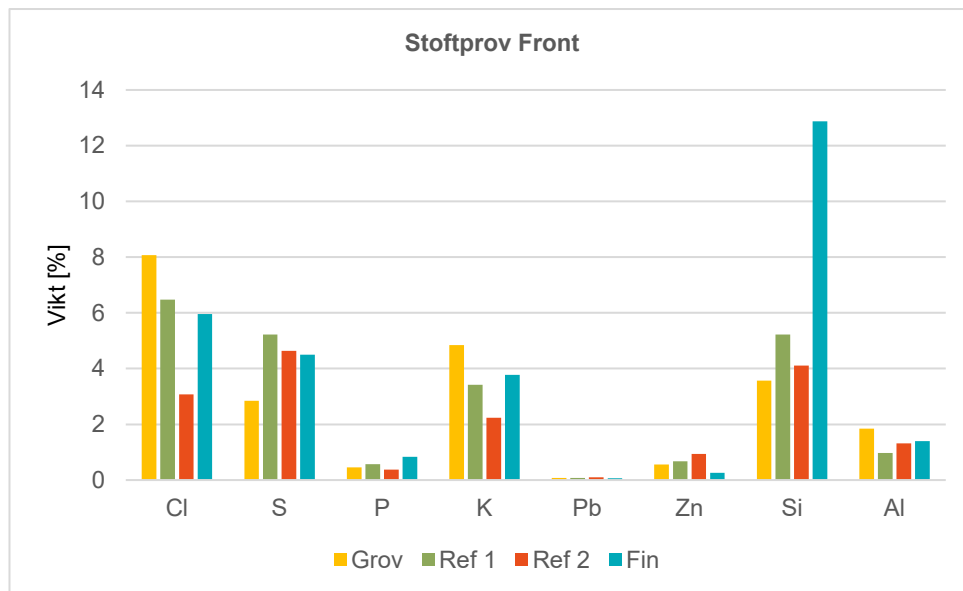
Vid överhettarna är dock stofthalten marginellt lägre för bränslet med tillsatt finfraktion, än för utsiktad. Referenserna ger åter olika halter.



Figur 33. Stoftkoncentration vid front och ÖH.

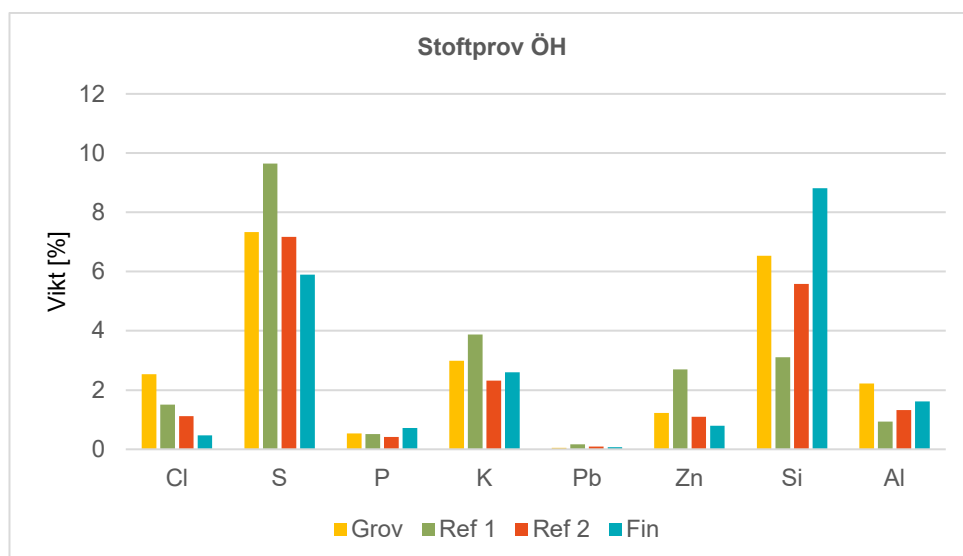
Kemisk analys av stoftprover tagna vid frontväggen.

Figur 34 visar på motsvarande vis halterna för vissa ämnen uppsamlade på stoftprovfilter. Kloridhalten är högst för bränslet med utsorterad finfraktion. Fallet med tillsatt finfraktion innehåller ungefär lika mycket klorider som ett av referensförsöken. Kiselhalten är betydligt högre i fallet med tillsatt finfraktion.



Figur 34. Kemisk analys av stoftprov.

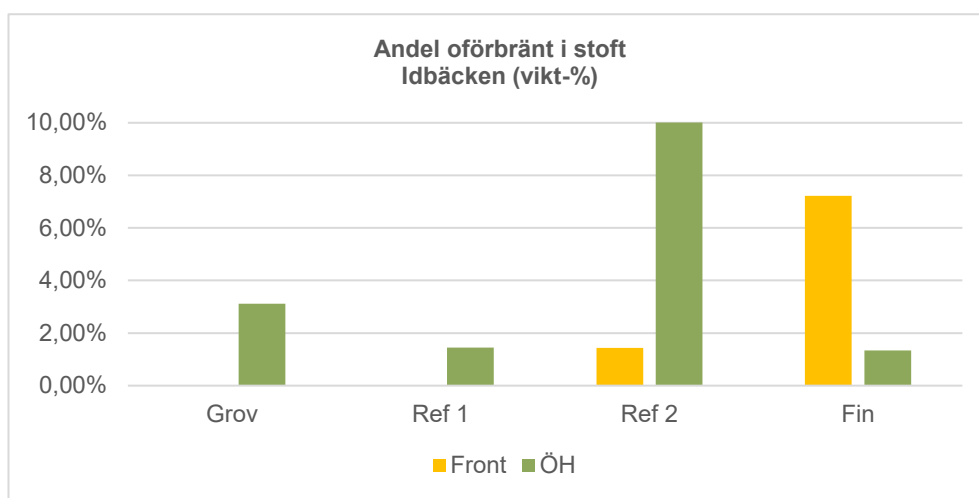
Figur 35 visar, på samma sätt som tidigare, halter i stoft. Analysen nedan är gjord på finfraktion av ett prov bestående av grövre partiklar. Också detta prov uppvisar de högsta kloridhalterna när finfraktionen är utsiktad och de lägsta halterna när finfraktion är tillsatt. Den högsta uppmätta Si-halten återfinns även i detta fall när finfraktionen är extra hög.



Figur 35. Kemisk analys av stoftprov vid ÖH.

Figur 36 visar andelen oförbränt kol i stoftproverna. Halterna visar en viss korrelation med stofthalterna i Figur 34. Prov saknas från "Grov"- och "Referens 1"-bränslena från fronten. Halten oförbränt för prov taget vid överhettarna för Referensbränsle 2 är över 18 %, och det antas att en felmätning ligger till grund för detta.

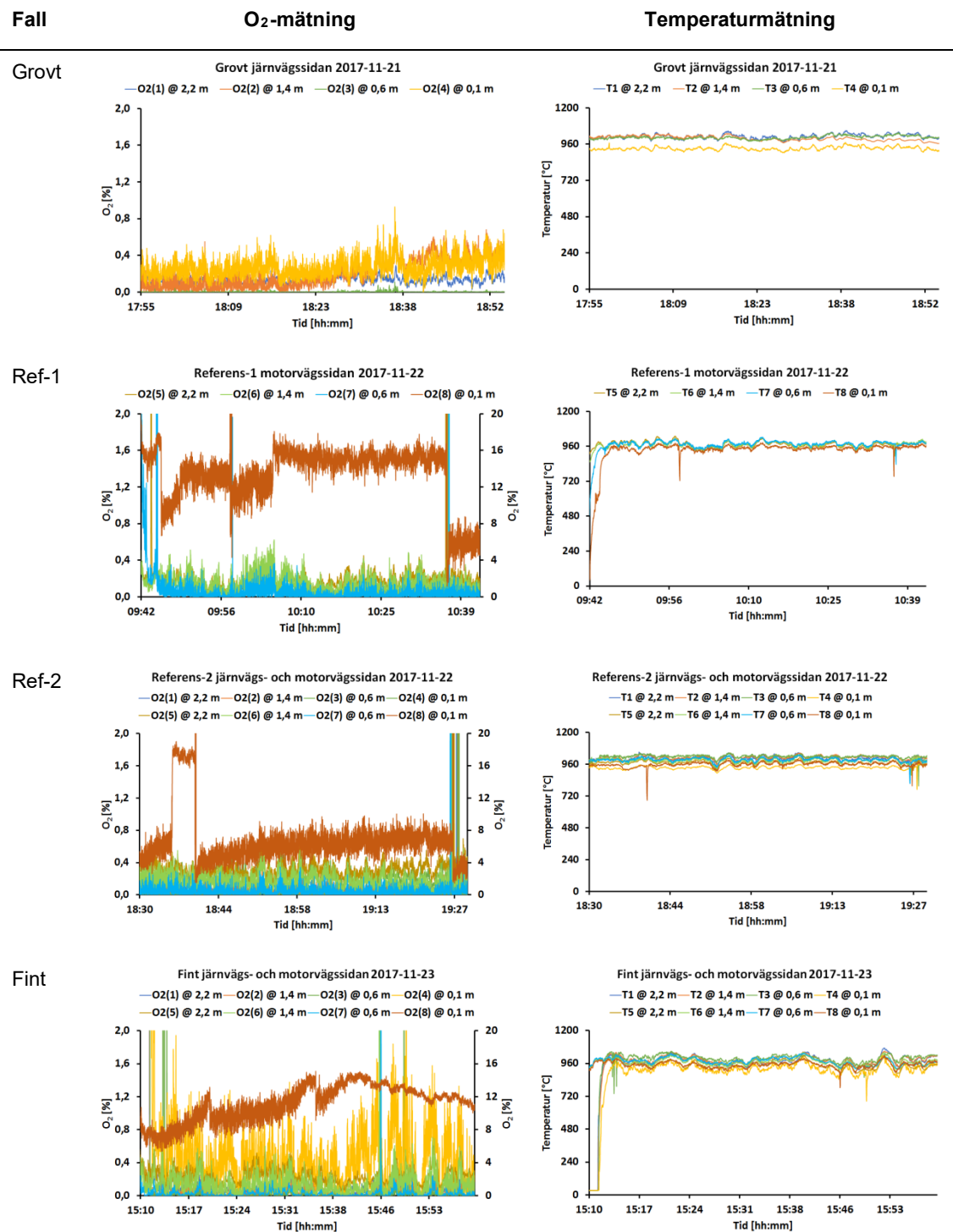
Vid fronten är andelen oförbränt cirka 7 % för bränslet med tillsatt finfraktion ("Fin"), och cirka 1,5 % för Referens 2. Enda jämförelsen mellan de två mätpositionerna är vid försöket när en hög andel av finfraktion finns i bränslet. Då är halten lägre vid ÖH, vilket indikerar bättre förbränning nedströms fronten. I övrigt uppmättes den högsta halten oförbränt när bränsle med utsiktad finfraktion användes, och den lägsta när bränsle med hög halt av finfraktion användes.



Figur 36. Andel oförbränt kol i stoft.

3.3.6 Oxymap

OxyMap-mätningar för temperatur och O₂ gjordes genom två mätuttag (Front plan 6, på såväl motorvägs- som järnvägssidan), se Figur 7 för mätpositioner. Mätutrustningen var en enklare variant av sugpyrometer, men med lägre gashastigheter. Syrehalten mättes med en lambdasond och temperaturen med ett termoelement, typ K. Fyra enskilda mätsonder buntades ihop för att kunna mäta samtidigt i olika punkter, i djupled i pannan, se Figur 7. Varje mätning kördes i cirka 1 timme. Figur 37 visar resultaten från OxyMap-mätningarna. Mätningarna indikerade ett in-läckage vid mätpositionen Eldstad, motorvägssida.



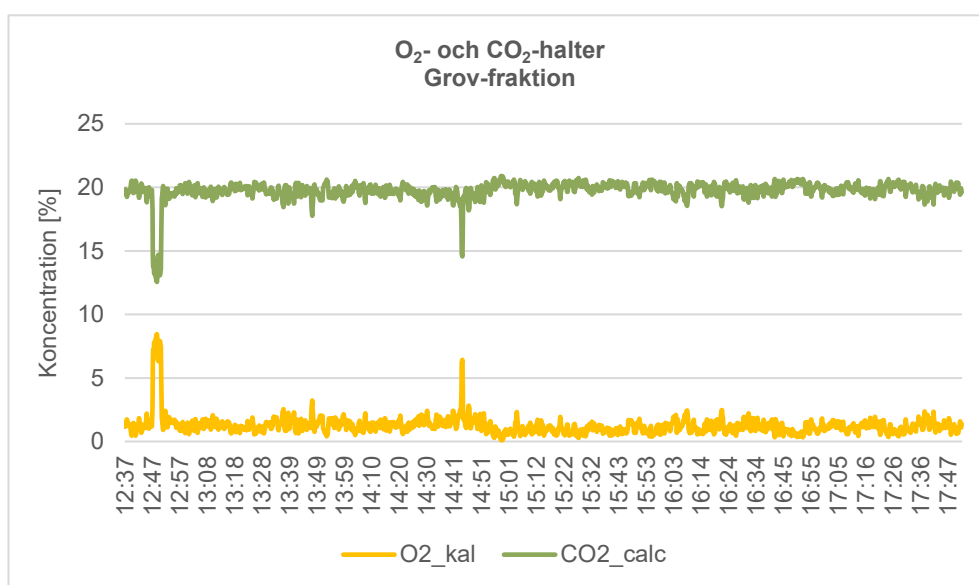
Figur 37. Resultat från OxyMap-mätningarna: Syre och temperaturer i olika positioner för de olika testfallen. Punkterna 1 – 4 är på järnvägssidan och 5 – 8 är på motorvägssidan. O₂(8) är ritad mot högra y-axeln.

3.3.7 Rågasanalys

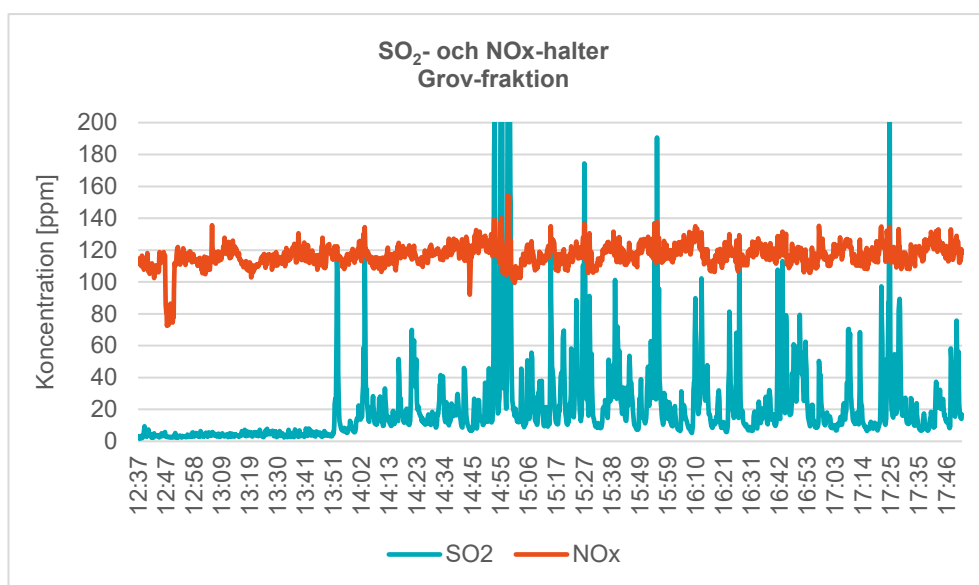
CO_2 -, CO -, SO_2 -, NO_x - och O_2 -koncentrationer i rågas.

Figur 38 till Figur 46 visar halterna av CO_2 -, CO -, SO_2 -, NO_x - och O_2 -koncentrationer i rågas för försök med bortskickad finfraktion, de båda referensförsöken och försöket med tillsatt finfraktion.

CO_2 -halterna är genomgående ungefär lika höga för alla tester, mellan 19,1 % till 19,75 % i medel. Det är en större spridning mellan O_2 -halterna för de olika försöken. I medeltal var O_2 -halten 1,25 % för försöket med utskickad finfraktion, 1,8 % för de båda referenserna och 1,7 % för försöket med förhöjd andel finfraktion.



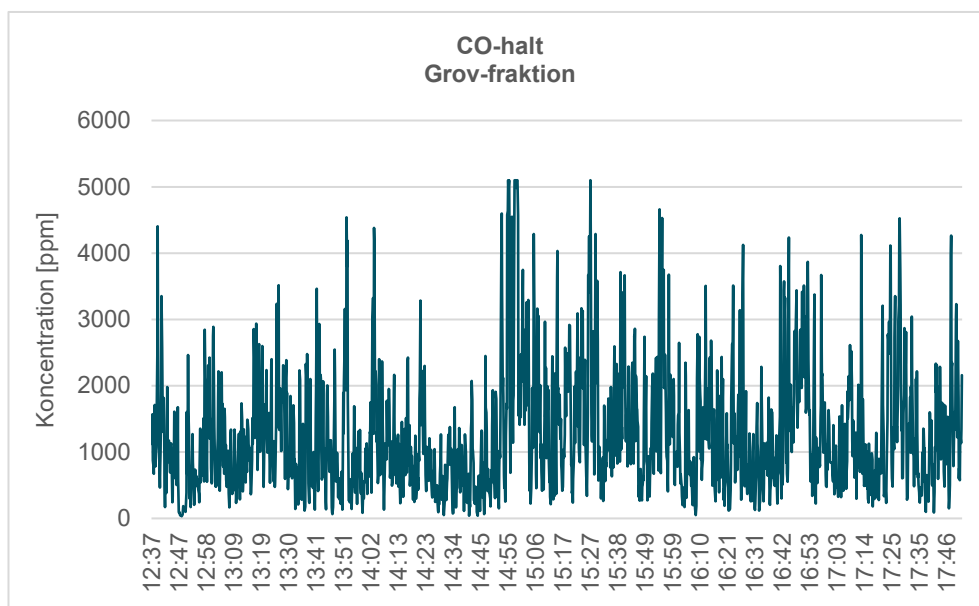
Figur 38. O_2 och CO_2 -halter i rågas vid förbränning av grovfraction



Figur 39. SO_2 och NO_x -halter i rågas vid förbränning av grovfraction

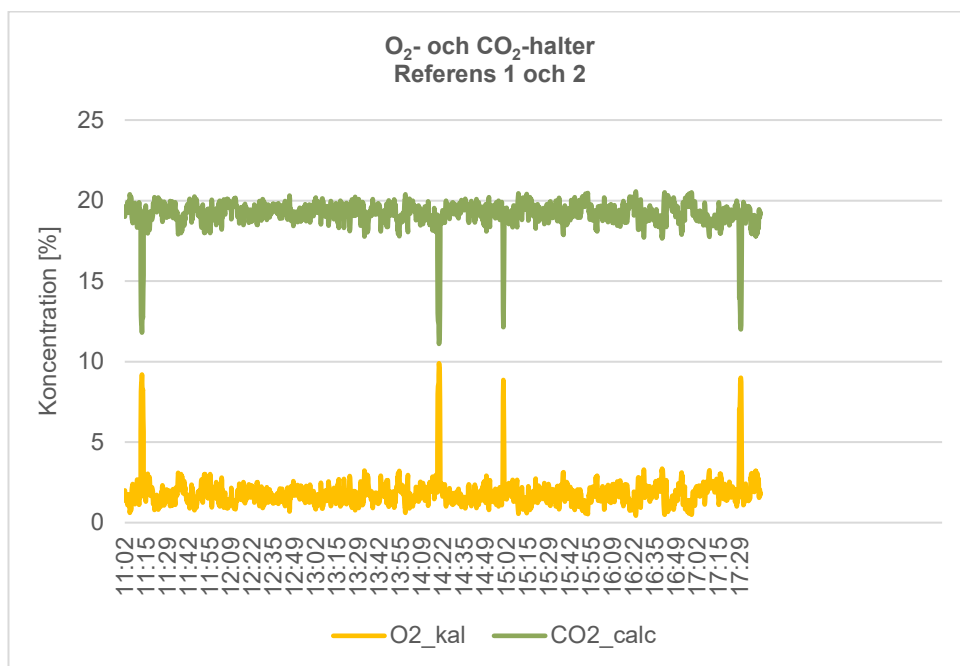
På motsvarande vis varierar SO₂-halterna; 26,9 ppm för enbart grov-fraktion, 46,1 ppm för de båda referenserna och 54,5 ppm för bränsle med extra hög andel finfraktion.

För referensförsöken, samt för försöken med förhöjd andel finfraktion, är NO_x-halterna 149 ppm. För försöken med utsiktad finfraktion är halten 117 ppm.

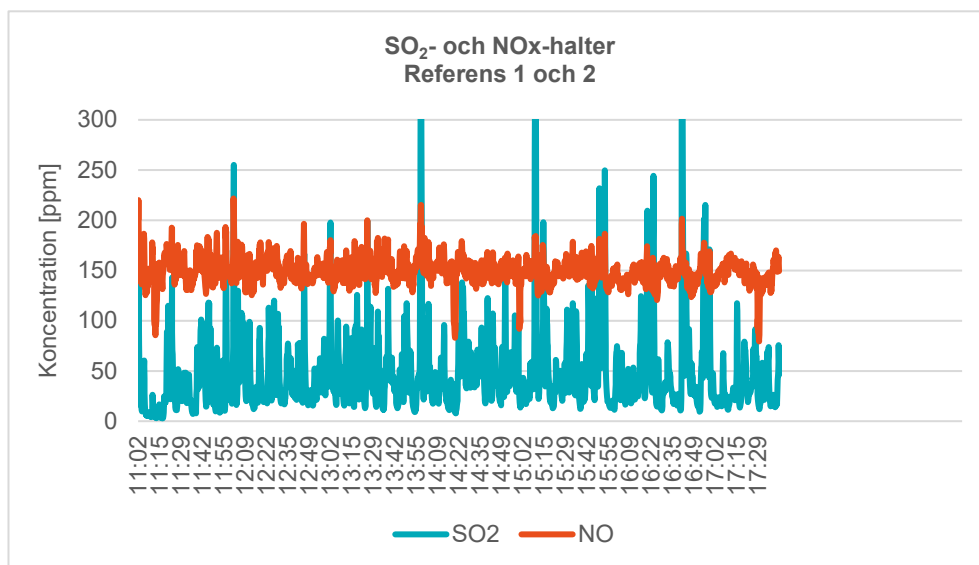


Figur 40. CO-halt i rågas vid förbränning av grovfraktion.

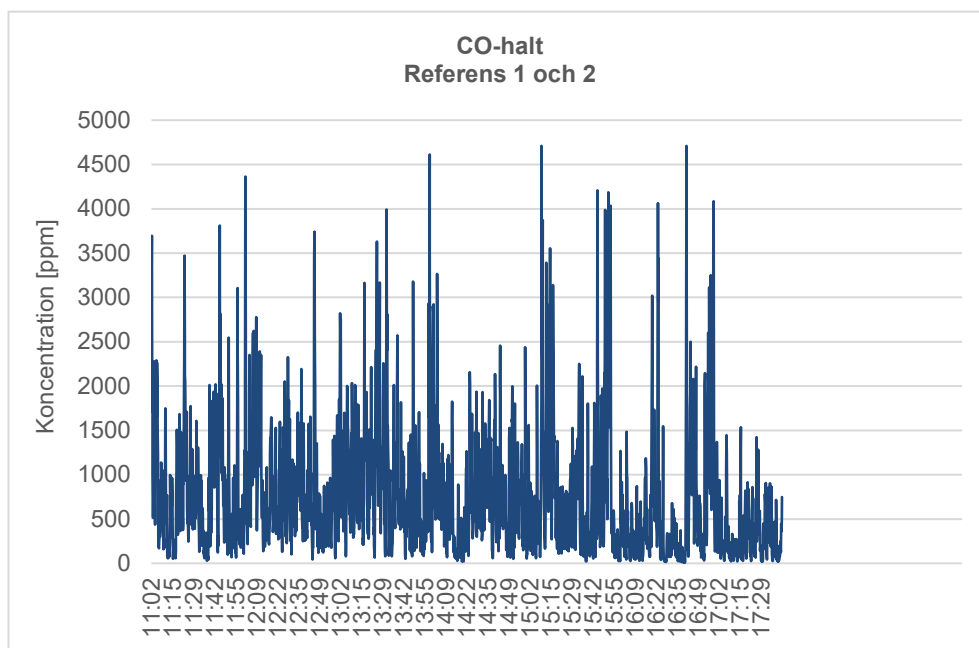
CO-halterna varierar ganska kraftigt under alla försök och så kallade spikar uppstår relativt frekvent, i synnerhet i fallet med referens- och fint bränsle. För försöket med utsiktad finfraktion är medelhalten 1266 ppm, för referenserna 748 ppm och för försöket med tillförd finfraktion 880 ppm.



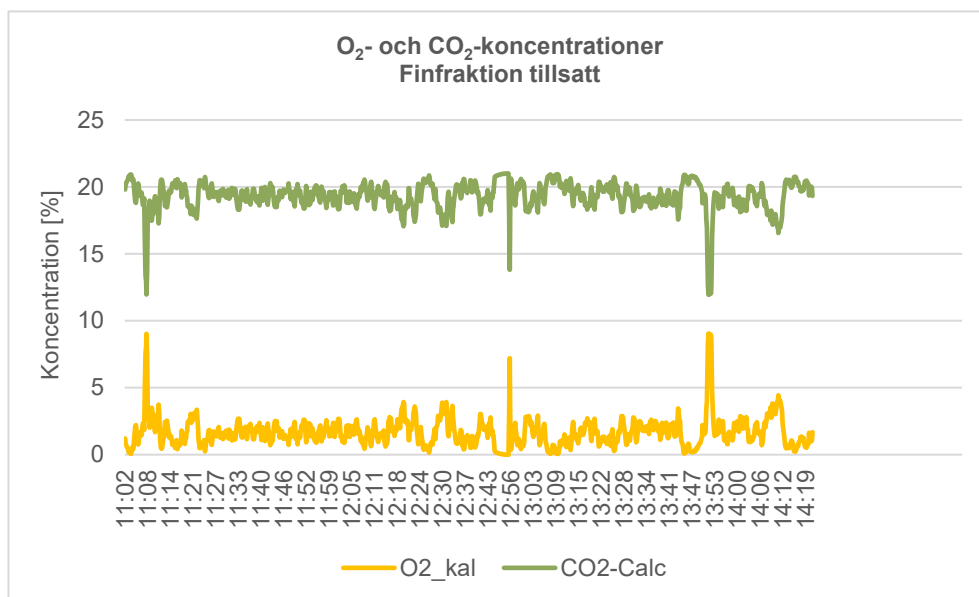
Figur 41. O₂ och CO₂-halter i rågas vid förbränning vid referensbränsle.



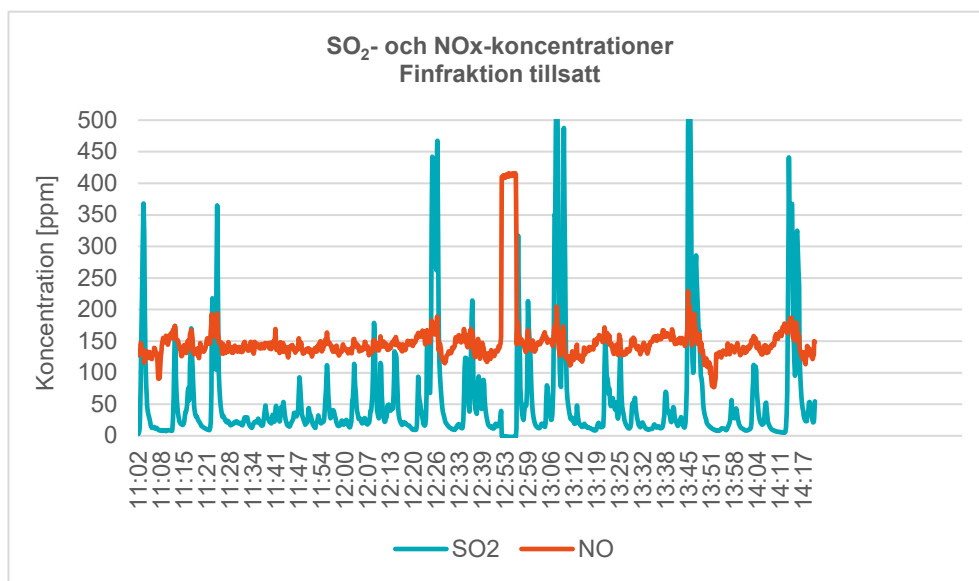
Figur 42. SO₂ och NOx-halter i rågas vid förbränning av referensbränsle.



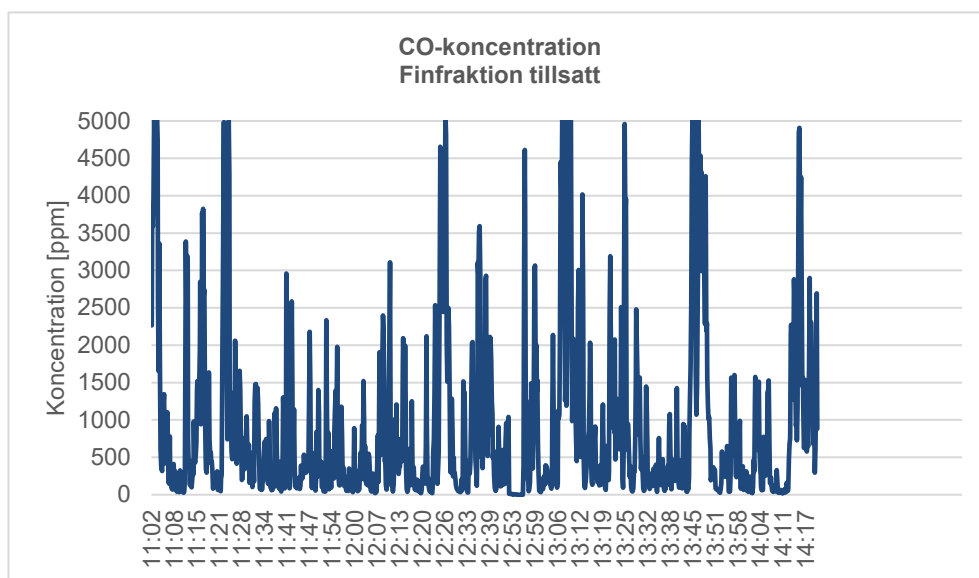
Figur 43. CO-halter i rågas vid förbränning av referensbränsle.



Figur 44. O₂ och CO₂-halter i rågas vid förbränning bränsle med tillsatt finfraktion.

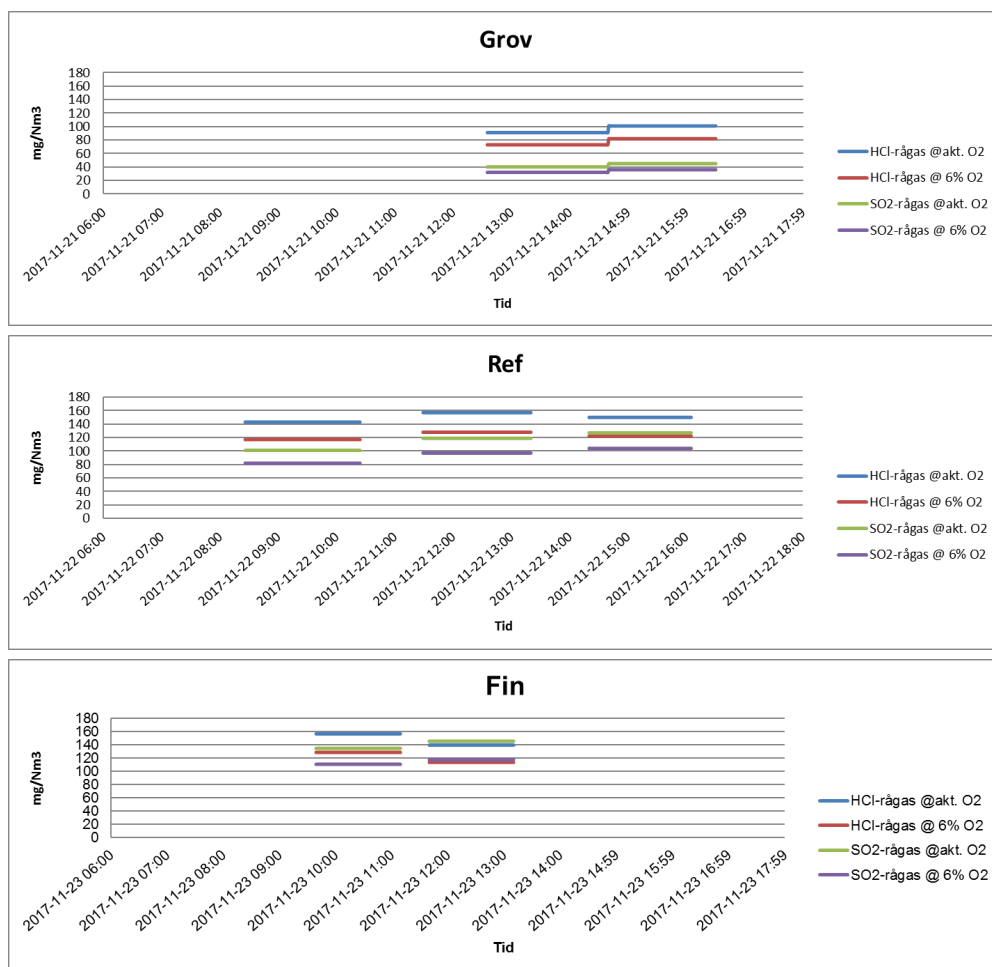


Figur 45. SO₂ och NO_x-halter i rågas vid förbränning bränsle med tillsatt finfraktion.



Figur 46. CO-halter i rågas vid förbränning bränsle med tillsatt finfraktion.

Vattenfall mätte samtidigt halten av HCl och SO₂ i rågas, före spärrfilter. Resultaten visas i Figur 47. HCl-halten är lägre för bränslet med bortsett finfraktion. SO₂-halten ökar med ökad andel finfraktion.

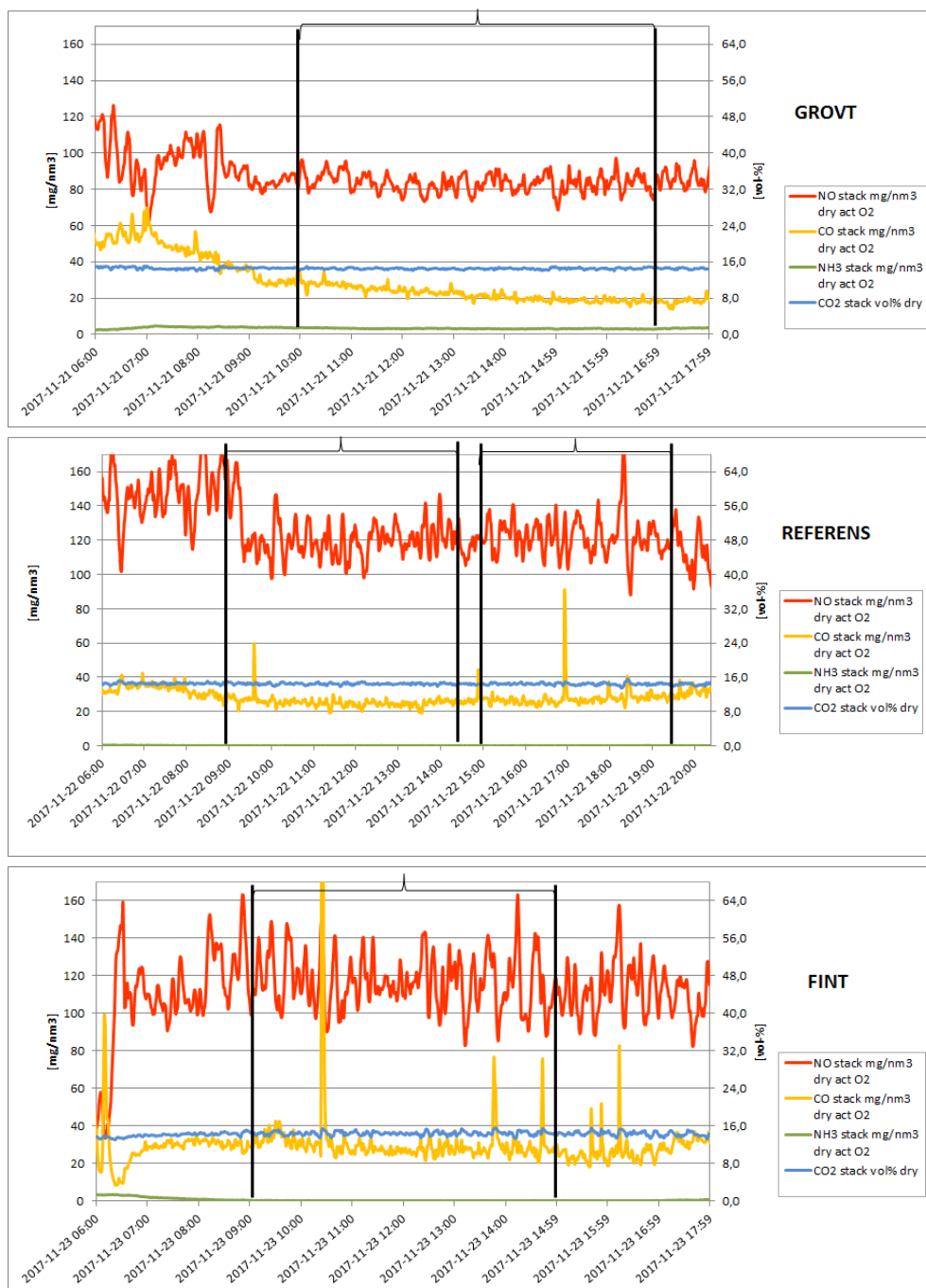


Figur 47. HCl- och SO₂-halter i rågas under testperioden: ovanifrån: Grovt, Normalt och Fint.

3.3.8 Emissionsdata och rökgasanalys

Emissionsdata samt halten av de övriga komponenterna i rökgaserna erhöles från anläggningens miljömätningssystem. Minutvärden för halterna av SO₂, NO_x, O₂, NH₃, CO togs ut från mätinstrumenten för vidare analys. De emissionskrav som anläggningen har kunde efterlevas under alla försök.

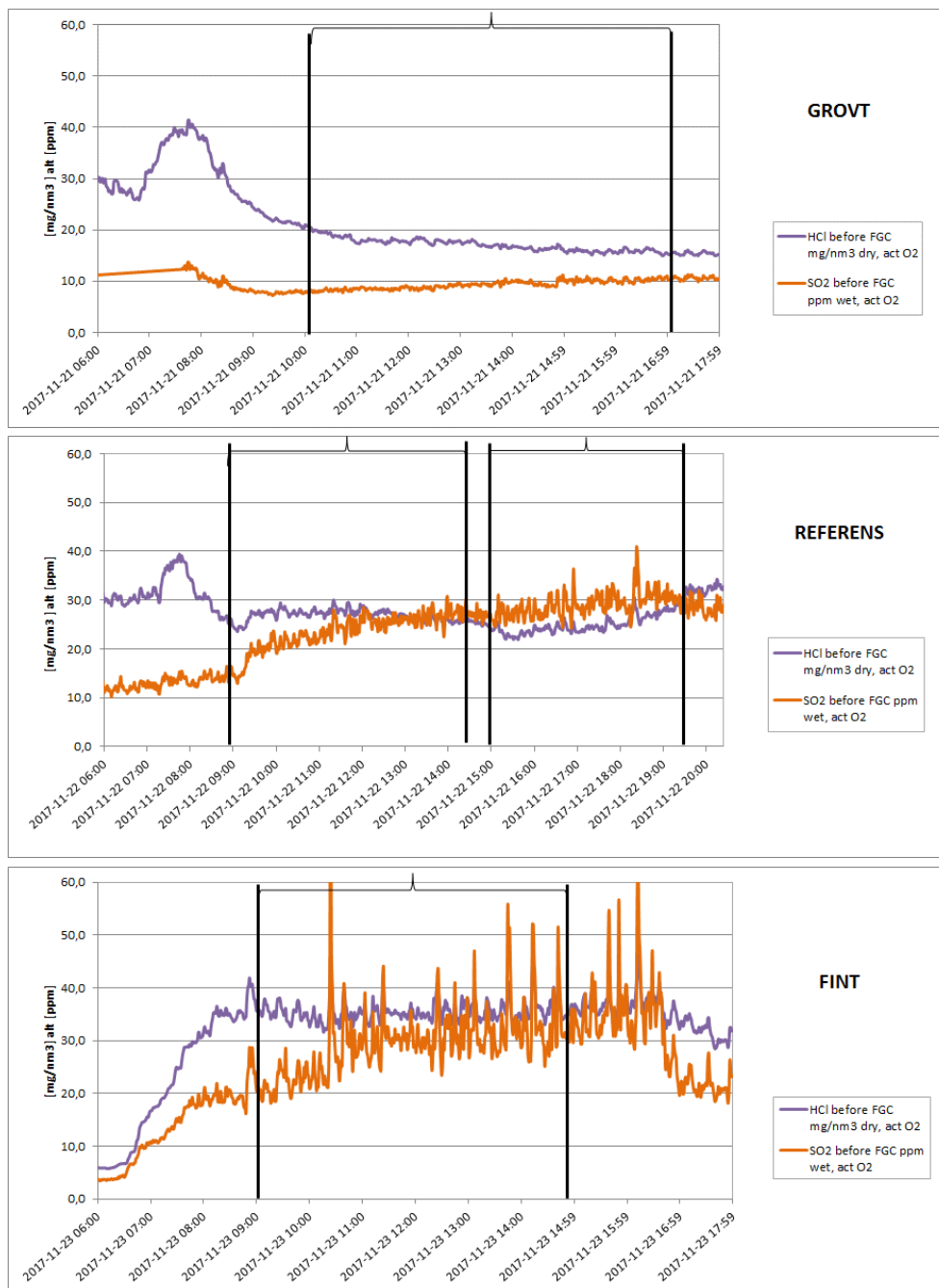
I Figur 48 visas driftdata vad gäller emissioner av NO, CO, CO₂ och NH₃. Lägst NO-halter är uppmätt för bränslet med bortsett finfraktion. För NO mäts en lägre halt i fallet med bränsle med högt andel av grovfraktion, däremot verkar det inte vara någon större skillnad mellan referensbränsle och bränsle med tillsatt finfraktion. CO-halten ökar en aning med ökad andel finfraktion. Den observerade låga NO koncentrationen i fallet med grovfraktion, beror i stora drag på ammoniakinjektionen i SNCR systemet just under detta försök. Som framgår av figurerna har dock halten av NO_x varit något 10-tals ppm lägre även i rågasen under det här försöket jämfört med andra tester.



Figur 48. Uppmätta halter av NO, CO, CO₂ och NH₃ för de olika testade bränslena.

HCl- och SO₂

Figur 49 visar halten av HCl och SO₂ i rökgas före rökgaskondensorn (FGC). HCl-halten ökar med ökad andel finfraktion i bränslet. En liknande, men mycket svag trend, kan noteras även vad gäller SO₂-halten.

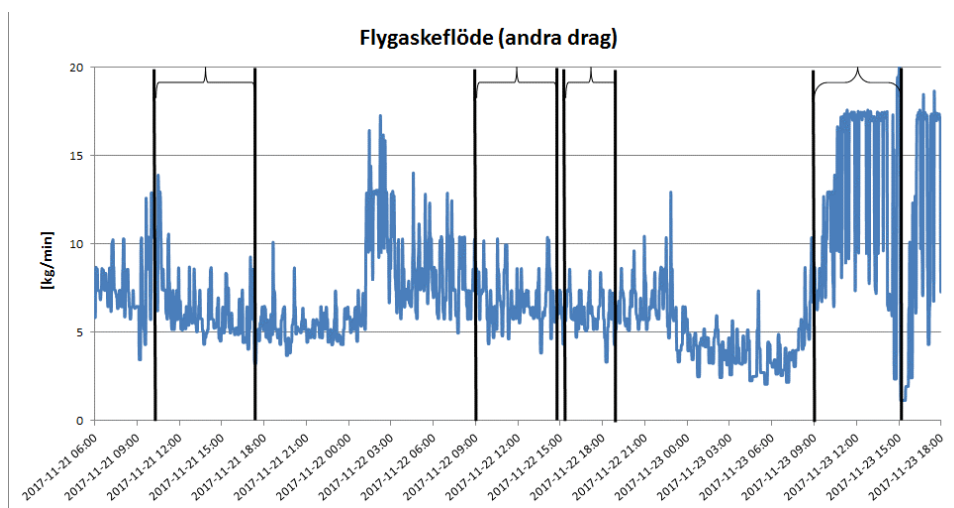


Figur 49. HCl- och SO₂-halter i rökgas före rökgaskondensorn (FGC) för de olika testade bränslena.

3.3.9 Aska

Askflöde

I Figur 50 visas flödet av flygaska, andra draget. Vad som kan noteras är att mängden andradrags-aska ökade vid eldning med bränslet med tillsatt finfraktion. Askan var också betydligt varmare än tidigare provdagar. Problem med utmatningen uppstod på grund av de stora askmängderna. Även vad gällde flygaska uppstod en del problem med utmatningen.



Figur 50. Flöde av flygaska andra draget.

Flygaskeprov

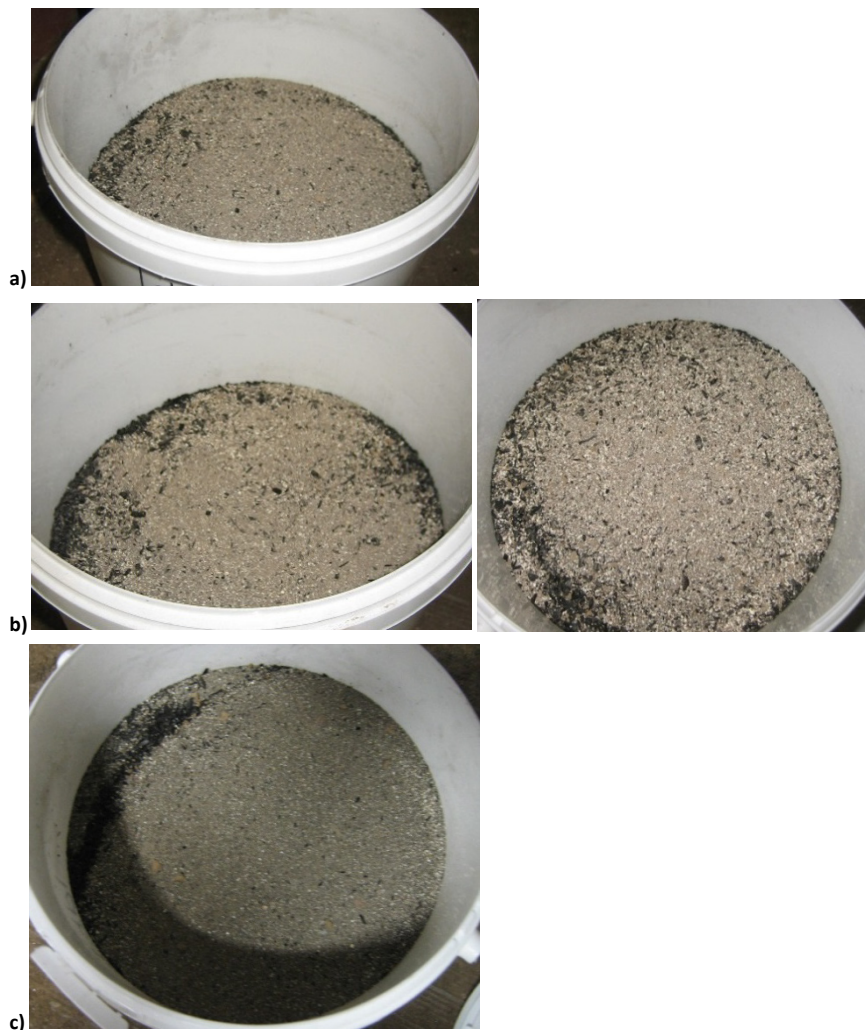
Flygaskeprov togs dels vid botten av andra draget (Figur 51) cirka en gång per timme, samt från spärrfiltret.

Provet från andra draget fick efter uttag svalna av, varefter det hölls upp i hink för att skickas till ett ackrediterat laboratorium för analys. Provet från spärrfiltret togs i fallande askström vid elfilterkammaren (Figur 51). I början av provperioden stoppades den automatiska askutmatningen av driftpersonal. Vid provperiodens slut öppnades utmatningen och askan samlades upp i en säck. De visuella bilderna på askproverna från andra draget och spärrfiltret visas i Figur 52 och Figur 53.

Alla askprov analyserades med avseende på mineraler, oförbränt och spårelement av externt lab. Vad som kan konstateras är att ju grövre bränsle, desto högre halt av oförbränt fanns i askan (Tabell 15). Med tanke på att askflödet genom anläggningen var betydligt större i fallet med bränsle med större andel av finfraktion, kan detta medföra en skenbar ökning av andelen oförbränt. Å andra sidan kan man med säkerhet dra slutsatsen att en större andel av komponenter som Si, P, S och Na, exempelvis hamnar i flygaskan med en ökad andel finfraktion. För kalium verkar trenden vara motsatt och för Cl ser man inte någon märkbar effekt. Detaljerade analys på askor finns i Bilaga E.



Figur 51. Provtagningspunkter för a) aska andra draget, b) spärrfilteraska.



Figur 52. Uttagna askprover – Andra draget a) Bränsle med bortsållad finfraktion (Grov), b) Referensbränsle, c) Bränsle med tillsatt finfraktion (Fint).



Figur 53. Uttagna askprover – spärrfiltret a) Bränsle med bortsållad finfraktion (Grovt), b) Referensbränsle, c) Bränsle med tillsatt finfraktion (Fint).

Tabell 15. Innehåll av några utvalda element i flygaskan.

	Grov	Ref	Fin
Oförbränt (%)	14.6	11	6.6
Cl (mg/kg-Ts)	6.8	6.5	6.6
K (g/kg-Ts)	24	23	20
Si (g/kg-Ts)	76	84	91
P (g/kg-Ts)	4.2	5.3	6.4
Na (g/kg-Ts)	14	15	17
S (g/kg-Ts)	23	25	27

Filmning

Under försöken gjordes filmning i två olika positioner, se även Figur 7. Respektive film varade i 20 minuter. Från filmerna har ett antal representativa stillbilder tagits ut, se Tabell 16. Bilderna visar att det var en skillnad i rökgasernas utseende mellan de olika testbränslena. Förbränningen blev mer instabil vid fallet med högst andel finfraktion och pannan upplevdes som "lynnig", vilket också bekräftades av driftens upplevelse. Den puffade en del, vilket den inte gjorde de andra dagarna. Generellt ökade också rök, eld och eldflugor med ökad andel finfraktion i bränslet och rökgaserna blev mindre transparenta. Skillnaderna mellan de tre driftfallen framgår tydligare av filmsekvenserna.

Tabell 16. Stillbilder från filmsekvenserna som togs i olika positioner för de olika fallen

	Frontvägg, motorvägssida	Överhettare, järnvägssida
Fint / Sållad RT		
Ref-1 / osållad RT		
Grovt / osållad RT med. extra fin- fraktion		

3.4 WORK-SHOP

Totalt deltog 13 personer vid en Work-shop och deltagarna representerade följande aktörer:

- Anläggningsägare: 8 st.
- Bränsleleverantörer: 2 st.
- Konsulter, forskning & utveckling: 3 st.

Utfallet från denna Work-shop återges nedan som en sammanfattning.

3.4.1 Sammanfattning av workshopen

Generellt sett så är en bra dialog med bränsleleverantören viktigt att ha i alla situationer, både vid kravställning, vid uppföljning och vid problemlösning.

1. *Hur hittar man rätt krav?*

- a. Under garantitid följs pannleverantörens kravspecifikation. Därefter sätts kraven erfarenhetsmässigt, och i huvudsak utifrån vad bränslehanteringen klarar av.
- b. Bränslehanteringen kan ha stor inverkan på storleksfördelningen hos ett bränsle. Kraven som ställs på bränsle som levereras på bränslegården, bör därmed vara avhängigt på vilka krav man har vid inmatningspunkten till eldstaden vid pannväggen.

2. *Hur följer man upp att kraven efterlevs?*

- a. Snabba svar på vilken bränslekvalitet som levereras är önskvärt. Bra rutiner samt praktiska möjligheter till provtagning i befintliga bränslehanteringssystem är därför viktigt. Automatiska provtagningsstationer bör övervägas vid projektering av nya anläggningar, eller ombyggnationer av befintliga bränslehanteringssystem.
- b. Utöver analys av fysiska bränsleprover så kan även andra, mer subjektiva metoder nyttjas. Till exempel att filma när bränslet lossas, och på så sätt få en uppfattning av dess damningsegenskaper.
- c. Givet att bränsleprover tas och analyseras så bör återkoppling ske på regelbunden basis, både till bränsleleverantören samt även till anläggningens egen underhållsorganisation.
- d. Vid produktionen av skogsbränslet i skogen görs sällan sällprov. I många fall så servar en sönderdelare en eller ett fåtal förbränningsanläggningar, och återkoppling och/eller krav från anläggningarna kan i dessa fall vara underlag till modifieringar i produktionen. Till exempel visar erfarenheten att "slöa stål" i sönderdelaren resulterar i en större andel finfraktion.

3. *Hur hanterar man situationen om kraven ej kunnat uppfyllas?*

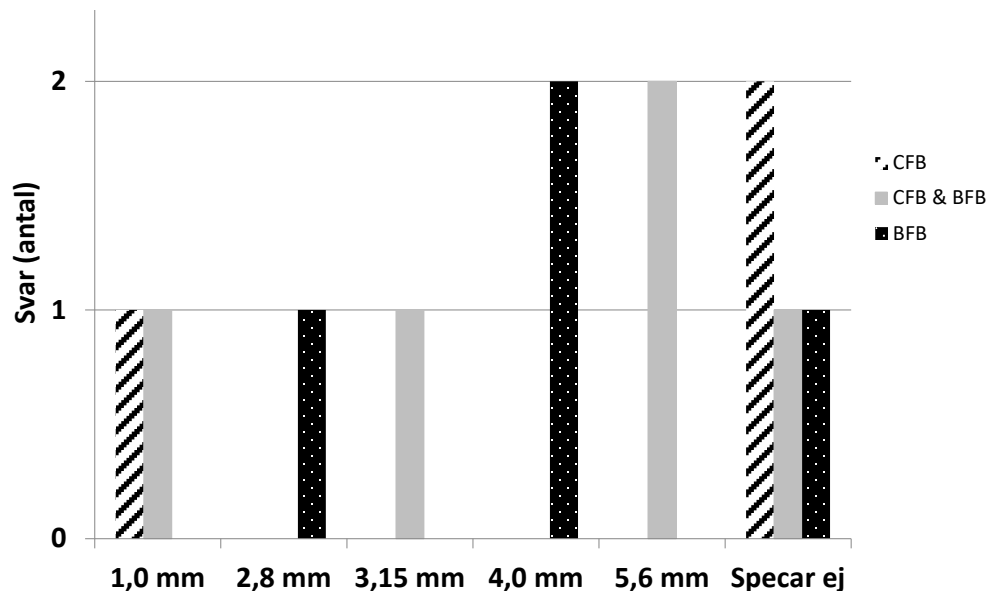
- a. Återkoppling och dialog med bränsleleverantör.
- b. Kontrakten bör dels innehålla möjlighet till pris-trappor om bränslet är strax utanför specifikationen, dels möjlighet att avvisa bränslelass med kraftigt avvikande kvalitet.
- c. Om förbränningsanläggningen har möjligheter att under perioder lagra bränslelass med sämre kvalitet, för att senare blanda in det med annat bränsle, så bör detta övervägas. Detta görs givetvis i kombination med ovan nämnda åtgärder.

4 Diskussion

4.1 ERFARENHETSINSAMLING

Det är stor variation på bränslespecifikationerna med avseende på storleksfördelning. Generellt finns en begränsning i andel finfraktion respektive andel överstort material, samt ett krav på att den största andelen av bränslet skall hålla sig inom ett visst storleksintervall.

I Figur 54 ses en översikt på hur de olika anläggningarna definierar finfraktion. Åtta av tolv anläggningar ställer krav på finfraktion. Gränsen för vad som anses vara finfraktion varierar mellan 1 mm och 5,6 mm. Fyra av tolv anläggningar ställer inte krav på finfraktion och har då inte heller någon definition för finfraktion.



Figur 54. Anläggningarnas definition av gräns för finfraktion (utifrån svar vid erfarenhetsinsamling).

Ett generellt svar från erfarenhetsinsamlingen, som också kan anses vara känt på förhand, är att överstort material begränsas med hänsyn till bränslehanteringssystemet. Inverkan från överstort material har inte studerats närmare i detta projekt.

En summering av de inkomna svaren ges nedan:

- 8 av 12 anläggningar ställer krav på finfraktion. Deras definition av gränsen för finfraktion varierar mellan 1 mm och 5,6 mm. Den genomsnittliga andelen finfraktion enligt anläggningarnas egen definition var enligt följande:
 - × <3,15 mm: 19 % för anläggning med CFB
 - × <4 mm: 7,5 % för anläggning med BFB
 - × <4 mm: 15,9 % för anläggning med BFB och CFB
 - × <5,6 mm: ca 25 % för anläggning med både BFB och CFB
- 11 av 12 anläggningar ställer krav på överstort, gränsen ligger mellan 100 - 300 mm.
- 7 av 12 anläggningar följer upp kravspecifikationerna, av dessa upplever 5 att efterlevnad är god.
- 8 av 12 anläggningar är nöjda med sin kravspecifikation.
- 2 av 12 anläggningar arbetar aktivt med att ändra sin kravspecifikation.
- 4 av 12 anläggningar har uppfattningen att bränslefraktionen gett upphov till olika typer av "förbränningsproblem".
- Endast en av anläggningarna (1 av totalt 4 st) som har "förbränningsproblem", arbetar aktivt med att ändra sin kravspecifikation.
- Pannleverantörernas uppfattning är att finfraktion kan orsaka sen förbränning med CO som följd, och påslag på överhettare och/eller cyklon, i synnerhet mindre BFB-pannor. Dock är problem med finfraktion sällan stora. Pannleverantörernas rekommendationer på maximal andel finfraktion (<cirka 3 mm) mellan 5 upp till 30 %. Specifikt anger en leverantör för BFB-pannor maximalt ca 25 % (<3 mm) och för CFB-pannor maximalt 2 % <1mm.

Det blir tydligt att merparten av anläggningarna ställer krav på fraktionsstorlek samt att de som väljer att följa upp sina krav, också upplever att efterlevnaden är god. Vidare så visar svaren att merparten av anläggningarna är nöjda med sin kravspecifikation. Ungefär en tredjedel av anläggningarna har uppfattningen att bränslefraktionen gett upphov till olika typer av "förbränningsproblem", men av dessa anläggningar så är det endast en anläggning som aktivt arbetar med att ändra sin kravspecifikation. Känslan från workshopen och efterföljande diskussioner är dock att området inte är speciellt välkänt för anläggningarna, och detta kan ge upplevelsen att problemet är mindre än vad det egentligen är. I enkäten ställdes en direkt fråga om fraktionsrelaterade förbränningsproblem finns vid anläggningen. Det kan vara så att många anläggningar upplever diverse diffusa förbränningsproblem som de av tradition ej förknippar med bränslefraktionen, även om det finns en sådan koppling.

Anläggningarnas finfraktionandel kan jämföras med lab- och fullskaleförsökens referensbränslen där fraktionen <4 mm utgjorde 40-50 % respektive 25 %. Det blir därmed tydligt att andelen finfraktion som nyttjats i bränslena i detta projekt är betydligt högre än det som nyttjas i praktiken vid anläggningar. Leverantörernas rekommendation på max andel finfraktion ligger i samma nivå som referensbränslet som nyttjades vid fullskaleförsöken, d.v.s. kring 25 %. De bränslen som nyttjades vid labskaleförsöken hade hög andel finfraktion vilket även var en medveten strategi då det eftersträvades att inducera tydliga responser från respektive försök.

Det skall även poängteras att i detta projekt deltog 12 pannanläggningar med totalt 19 st fluidiserade bädd-pannor och av dessa så är fem av pannorna mindre än 40 MW. I Sverige finns ca 100 pannor baserade på fluidiserad bädd-teknik vilket ger att cirka 20 % av svenska pannbeståndet deltog i denna erfarenhetsinsamling.

4.2 RESULTAT FRÅN LAB- OCH FÄLTFÖRSÖK

En jämförelse av de resultat som erhöles från försöken i labskala i fluidbäddsrigen, och i fullskala vid Idbäcksverket, görs i Tabell 17.

En viktig skillnad mellan de bränslen som användes i lab-, respektive fältförsöken, är storleksfördelningen på fraktionen <4 mm. Vid labförsöken fanns möjlighet att dela upp finfraktionen i en dammfraktion (<0,25 mm) och en mellanfraktion (0,25 - 4 mm). Båda dessa fraktioner kunde sedan tillföras eller dras bort från det ingående bränslet, det vill säga det ingående bränslet hade högre eller lägre andel damm- eller mellanfraktion.

I fältförsöken så kunde av praktiska skäl endast en sållning av bränsle som var <4 mm genomföras (finfraktionen). Det ingående bränslet i fältförsöken hade därmed högre eller lägre andel finfraktion, vilket då inkluderar både damm- och finfraktion. Det skall dock poängteras att andelen damm- respektive mellanfraktion i labförsöken var kraftigt förstärkta med andelar 15 – 35 %, respektive 30 – 50 %. I fältförsöken så var andelen bränslepartiklar <4 mm för det fina bränslet 38 %, vilket skall jämföras med referens- och grovbränslet vars motsvarande andel var cirka 25 respektive 7 %. Med hänsyn till de rekommendationer som pannleverantörerna ger på innehåll av finfraktion på mellan 5 - 25%, så får det grova bränslet och referensbränslet anses representera ett mer realistiskt spann på partikelstorlek.

Indikatorer på sen förbränning är CO-halt i rökgaserna, men även eldstadstemperatur och behov av insprutningsvatten för ångkylning mellan respektive överhettarsteg. Med utgångspunkt från mätadata från fältförsöken och Idbäcksverkets eget miljömätningssystem, så blir det tydligt att ett finare bränsle ger en senare förbränning. För bränslet med högst andel finfraktion så blir temperaturen innan sista överhettaren (ÖH 3) något högre (och mer varierande) och därmed ökar även mängden insprutningsvatten mellan överhettarstegen. Behovet av insprutningsvatten ökade med ca 20 % mellan referensbränsle och fint bränsle. Utöver sen förbränning av själva bränslepartikeln så var rökgasflödet, och därmed rökgashastigheten, högst för det fina bränslet (p.g.a. högst fukthalt) och detta kan ytterligare ha förstärkt ändringar i pannan värmeupptag och därmed ökat behov av ångkylning. Vidare så är den CO som uppmättes i skorstenen högst för bränslet med störst andel finfraktion, och eldstadsfilmningen visade även på en mer "dammig" gasmiljö i överhettarregionen för detta bränslefall. Även om temperaturen i övre eldstaden uppvisade kraftigare fluktuationer med högre toppar för det fina bränslet så observerades även en jämnare temperaturprofil i pannans tvärsnitt (höger-vänster sida), och detta kan tyda på en bättre blandning av brinnande partiklar i eldstaden för denna typ av bränsle.

För den lokala CO-mätning som gjordes manuellt i övre högra delen av eldstaden så visade mätningen på högst CO för grovbränslet (1260 ppm), lägst för referensen

(748 ppm) och med finfraktionen något högre (880 ppm). Trots en viss skillnad i lokal CO mellan bränslena så syntes detta ej i data från anläggningens egen instrumentering. Stråkbildning kan vara en förklaring till resultatet från den lokal CO-mätning, och visst stöd till denna tolkning finns i mätdata från de lokala O₂- och OxyMap-mätningarna som gjordes. Det grova bränslet ger sammantaget en bild av att ha "minst sen förbränning", och referensbränslet någonstans mellan fint och grovt bränsle.

Resultaten från labförsöken pekar på att det i huvudsak är partiklar <0,25 mm som är benägna att lämna bränslebädden tidigt, och brinna klart först högre upp i eldstaden, med ökad CO som konsekvens. Möjligen förstärker ett finare bränsle pulsationer i bränslematningen vilket ytterligare bidrar till högre CO-spikar och därmed en genomsnittligt högre CO vid detta bränslefall. Vidare så kan resultaten med sänkning av CO vid förstärkt mellanfraktion (0,25 - 4 mm) i labförsöken tolkas som en konsekvens av minskad pulsning av inmatningen i kombination med att mellanfraktionen dels stannar kvar i bädden längre och dels har en möjlighet att "binda upp" dammfraktionen som därmed ej blir lika benägen att lämna bränslebädden tidigt. Det skall dock poängteras att respons på ökad CO från ökad andel dammfraktion var mycket tydligare än den motsvarande minskning av CO som uppstod vid ökad andel mellanfraktion.

Stofthalten i rökgasen ökade något vid ökad andel dammfraktion i labförsöken, samt vid ökad andel finfraktion i fältförsöken. Dessa resultat ligger i linje med utfallet kopplat till hur CO-emissionerna påverkas av dammfraktionen. För ökning av mellanfraktionen så blev resultaten olika om man jämför skogsbränsle och RT-flis. För mellanfraktionen så ökade stoffkoncentrationerna för skogsflisen med ökad andel mellanfraktion, medan det omvända gällde för RT-flis. Det skall dock poängteras att skillnaderna var relativt små, och denna trend därmed blir svårare att tolka.

Beläggingsbildningen och kemiska sammansättningen på dessa blev i detta projekt relativt svårtolkad i huvudsak p.g.a. det fina bränslet hade en avsevärt högre askhalt än referens och grovt. Det förväntade var att det fina bränslet skulle ge mest beläggingsbildning men istället var det grov- respektive referensbränsle som resulterade i mest påslagstillväxt vid front och ÖH. Det skall dock poängteras att skillnaderna mellan varje bränslefall var relativt liten. Det var dock intressant att se att andelen svavel och zink reducerades kraftigt när den fina fraktionen togs bort, och detta är en tänkbar förklaring till varför både påslagsbildning och klorhalt var "höga" för detta bränsle (p.g.a. mindre grad av egensulfatering). Askhalten bör ha en viss inverkan på beläggingshastigheten men askkompositionen bidrar desto mer till påslagsbildningen. Detta blir tydligt om man jämför de olika bränslena m.a.p. askinnehåll och askkomposition. Det askrika fina bränslet kan utöver en utspädande effekt på beläggningar även ha haft en eroderande effekt på dessa trots att det innehöll högre halter av beläggingsbildande komponenter (i huvudsak Cl och K). Resultatet med minskade påslag med ökad andel fina partiklar i bränslet kan därför i frågasättas. Denna parameter bedöms vara starkt beroende på askans sammansättning, vilken ändrades av de föröroringar som misstänks ha kommit in i det fina bränslet vid den manuella hantering som gjordes i bränsleberedningen. Det vore därför

intressant att se likadana försök göras med fint bränsle som inte förorenats – skulle beläggingsbildningen ha ändrats då?

I fullskala obeserverades också en lugnare och mindre varierande drift med avseende på temperaturer och luftflöden i fallen med referensbränsle och grovt bränsle, jämfört med bränslet med finare partikel-storleksfördelning. För övriga parametrar så blir jämförelsen svårare att göra, då inga tydliga trender och/eller skillnader mellan de olika försöken och bränslefraktionerna kunde urskiljas. Erfarenheter från liknande anläggningar visar att en ändrad fraktionsstorlek kan ge en ändrad fördelning mellan de olika bränslestupen samt att det resulterar i en mer pulserande bränsleinmatning. Det sistnämnda var dock inget som kontrollerades i projektet då hela bränslehanteringen låg utanför projektets systemgräns, men det kan ha haft inverkan på resultatet.

Tabell 17. Jämförelse av resultaten från försöken i labbskala i fluidbäddsrighen och i fullskala vid Idbäcksverket.

Parameter	Labbskala	Full-skala
CO	-Ökar med ökad dammfraktion (<0,25 mm) -Minskar med ökad mellanfraktion (0,25 - 4 mm)	Ökar något med ökad finfraktion (<4 mm) vid mätning i skorstenen.
Eldstadstemperatur	Mättes ej.	Jämnare profil i eldstadens tvärsnitt och högre fluktuationer med ökad andel finfraktion.
Stoft	-Ökar med ökad dammfraktion (<0,25 mm) -Skogsbränsle: ökar med ökad mellanfraktion (0,25 - 4 mm) -RT-flis: minskar med ökad mellanfraktion (0,25 - 4 mm)	Ökar med ökad andel fina partiklar i bränslet.
Oförbränt i stoft	Mättes ej/oklara data	Ingen tydlig trend/"spretiga data".
Oförbränt i flygaska	Mättes ej/oklara data	Tendens med att minska med ökad andel "fina" partiklar, men troligen utspädningseffekt av askan.
Påslag	Ingen tydlig trend	Svårtolkat p.g.a. förmodade föroreningar i det fina bränslet. Resultatet med minskade påslag med ökad andel fina partiklar i bränslet (vid ÖH) kan därför i frågasättas. Denna parameter bedöms vara starkt beroende på på askans sammansättning
Gas-emissioner	Ingen tydlig trend	NOx ökar något med minskad finfraktion (<4 mm). Styrts till önskad nivå.
"Jämn panndrift"	-	Panna bedömdes gå lugnare med mindre variationer på flertalet driftparametrar vid referensbränsle och med gorvt bränsle jämfört med ett finare bränsle

5 Slutsatser

Med stöd i anläggningsintervjuer och experimentella resultat som tagits fram i projektet, kopplat till huvudfrågeställningen hur sen förbränning kan kopplas till bränslets storleksfördelning, kan följande slutsatser dras:

- Andelen finfraktion som nyttjats vid försöken i detta projekt var betydligt högre än de typiska nivåer som återgavs i enkätsvaren från erfarenhetsinsamlingen som gjordes, samt även högre än de rekommendationer som pannleverantörer anger i sina specifikationer. Skillnaderna mellan bränslekvaliteterna grovt och referens, som i praktiken är realistiska ytterligheter på andel finfraktion, har i detta projekt påvisats vara relativt små.
- Finfraktionen (<4 mm) har störst påverkan på sen förbränning. Resultet pekar vidare på att det inom finfraktionen (<4 mm) verkar vara den så kallade dammfraktionen (<0,25 mm) som bidrar mest till ökad CO i rökgaserna.
- Bränslekompositionen ändrades vid siktning av referensbränslet. Bortsett från innehåll av kalium (K) och natrium (Na) som ökade något, så fick det grova bränslet ett reducerat innehåll av de flesta askbildande ämnen jämfört med referensbränslena. I synnerhet kisel (Si), svavel (S) och zink (Zn) som minskade med mellan 60-70 %. Det fina bränslet fick en kraftig ökning av askhalt, sannolikt beroende på att det vid hanteringen kom in jord och sand i bränslet, och detta gav att askhalten ökade oväntat mycket för denna bränslekvalitet.
- Resultatet med minskade påslag med ökad andel fina partiklar i bränslet bör ifrågasättas. Denna parameter bedöms vara starkt beroende på askans sammansättning, vilken ändrades av de förroreningar som misstänks ha kommit in i det fina bränslet vid den manuella hantering som gjordes i bränsleberedningen. Ett minskat innehåll av svavel relativt klor bedöms därför orsaken till varför både påslagsbildning och klorhalt var "höga" för det grova bränslet.
- Från fullskaleförsöken kan det konstateras att det uppstod en lugnare och mindre varierande drift med avseende på temperaturer och luftflöden i fallen med referensbränsle och grovt bränsle, jämfört med bränslet med finare partikel-storleksfördelning. För övriga parametrar så blir jämförelsen svårare att göra, då inga tydliga trender och/eller skillnader mellan de olika försöken och bränslefraktionerna kunde ses.
- Förbränningsanläggningar har relativt skilda definitioner av finfraktion, i detta arbete varierade den mellan 1 mm och 5,6 mm. Anläggningar som följer upp sina bränslekravspecifikationer upplever generellt att efterlevnaden är god. En tredjedel av de tillfrågade anläggningarna upplever att bränslefraktionen orsakat olika typer av "förbränningsproblem", men merparten av dessa anläggningar är trots detta nöjda med sin kravspecifikation och avser ej ändra denna.
- Att ställa krav på sina bränsleleveranser, samt följa upp dessa tillsammans med bränsleleverantörerna, verkar borge för god efterlevnad av kraven. Vidare bör de krav som ställs på levererat bränsle till bränslegården, bero på anläggningens krav vid inmatningspunkt till eldstaden vid pannväggen.

- Uppföljning av efterlevnad görs bäst i samarbete med bränsleleverantören. Snabba svar på vilken bränslekvalitet som levereras är önskvärt, gärna redan innan bränslet anländer till anläggningen. Till exempel så skulle en flishugg/sönderdelare redan i produktionsleder i skogen kunna utföra siktanalys, givet att anläggningens krav är kända. Goda rutiner, praktiska möjligheter till provtagning (gärna med automatik) i befintliga bränslehanteringssystem, men även enklare (subjektiva) metoder såsom att filma damningsegenskaper vid lossning, är exempel på viktiga verktyg i uppföljningsarbetet.
- Givet att levererad kvalitet ej överensstämmer med kravspecifikationen så måste mekanismer finnas i bränslekontrakten som reglerar en sådan situation, till exempel pris-trappor om bränslet är strax utanför specifikationen, samt möjlighet att avvisa bränslelass med kraftigt avvikande kvalitet. Om förbränningsanläggningen har möjligheter att under perioder lagra bränslelass med sämre kvalitet, för att senare blanda in det med annat bränsle, så bör detta övervägas. Detta görs givetvis i kombination med ovan nämnda åtgärder.

6 Rekommendationer och användning

Förbränningsproblem kopplat till bränslespecifikationen verkar inte vara ett större problem för merparten av anläggningarna som deltog i detta projekt. Dock verkar detta komma som ett resultat från att anläggningarna både ställer krav på sina bränsleleverantörer samt följer upp att kraven efterlevs.

Resultaten från projektet visar att det i första hand verkar vara dammfractionen ($<0,25$ mm) som påverkar CO-emissioner i förbränningsprocessen, sannolikt en kombination av sen förbränning av små medryckta partiklar och pulserande/förändrad bränsleinmatning.

I det fall en anläggning upplever problem som misstänks kunna kopplas till fraktionsstorlek, rekommenderas inledningsvis att genomföra kontroller på mottaget bränsle, men även bränslet som det är just vid pannvägg innan det går in i eldstaden.

Om bränsle skall siktas rekommenderas att göra uppföljning på hur bränslesammansättningen förändras. I detta projekt resulterade grovfractionen i ett fall i något ökad beläggingsbildning, sannolikt en konsekvens av att sammansättningen ändrades (minskad andel svavel relativt klor).

Ett för "hårt" kravställande kan resultera i ökade kostnader för både anläggningen och bränsleleverantören. I detta projekt har inga lönsamhetsvärderingar gjorts av siktnings/modifiering av bränslets storleksfraktion. Dessa är sannolikt till stor del anläggningsspecifika, men måste givetvis tas i beaktning innan beslut om storskalig siktnings kan motiveras ur ett kostnadsbesparingsperspektiv.

En generell rekommendation till branschen är att hitta en entydig definition av finfraktion där även en dammfraction kan definieras, samt föra dialog mellan anläggningar och bränsleleverantörer kring hur fin- och dammfractionen kan hanteras i praktiken.

7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Eftersom det finns skillnader i resultaten mellan testerna i fält och de gjorda på lab, med avseende på uppmätt CO-halt och även uppmätt stofthalt, kan det vara nyttigt att utreda orsakerna till detta.

Två större olikheter mellan lab- och fältförsök kan framhållas. Dels är det en stor skillnad i skala samt att finfraktionen är upp delad i ytterligare en fraktion - dammfraktion - för labförsöken. Dammfraktionen (<0,25 mm) återfinns i fältförsöks-bränslets finfraktion och eventuella påverkan på förbränningen kommer inte fram på ett lika tydligt vis som vid labförsöken.

Eftersom dammfraktionen (<0,25mm) ger upphov till ökad CO-halt och ökad stoftmängd i labförsöken, bör det dels utredas om motsvarande effekt kan fås i en fullskalig panna, samt under vilken fraktionstorleksgräns den är dominerande.

Förslagsvis görs tester med storlekar på dammfraktionen i en fullskalig panna för att utröna dammfraktionens påverkan på CO- och stofthalter i pannans rågas. Man bör även överväga om det är möjligt att ytterligare reducera effekten av pulserande bränslematning vid nyttjande av fina bränslen, t.ex. genom att nyttja pellets som i sig består av fina/små partiklar förpackade på ett "matningsvänligt" sätt. Vidare så rekommenderas att nya arbeten på detta tema även inkluderar bränslehanteringssystemet, t.ex. för att kunna studera hur finare bränsle påverkar pulsationer i bränslematningen, vilket i sin tur kan påverka CO-bildning.

Projektet har genomförts vid Vattenfalls anläggning Idbäcksverket som har en panneffekt på ca 100 MW. Detta är en relativt stor panna. Mindre pannor sägs vara känsligare för bränslefraktion och detta skulle kunna vara fokus för ytterligare arbeten.

8 Litteraturreferenser

Bäfver, L. och Renström C., Fraktionsfördelning som kvalitetsparameter för skogsbränsle – Kraft- och värmeverkens perspektiv, Arbetsrapport från Skogforsk nr. 505, år 2013

Berg, M., Andersson, A., Andersson, C., von Bahr, B., Ekvall, A., Eriksson, J., Eskilsson, D., Harnevie, H., Hemström, B., Jungstedt, J., Keihäs, J., Kling, Å., Mueller, C., Sieurin, J. Tullin, C., Wikman, K., Förbränning av returträflis – Etapp 2 av ramprojekt returträflis, Värmeforsk rapport 820, år 2003

Fridh, L., Vestlund Ekerby, K., Engberg, M. och Bäfver, L., Produkttegenskaper för skogsbränsle Förslag till indelning, struktur och definitioner, Arbetsrapport från Skogforsk nr 873, år 2015

International standard ISO 17225-1:2014 Solid biofuels – fuel specifications and classes, Part 1 General requirements, First edition 2014-05-01

Bilaga A: Frågor vid erfarenhetsinsamling

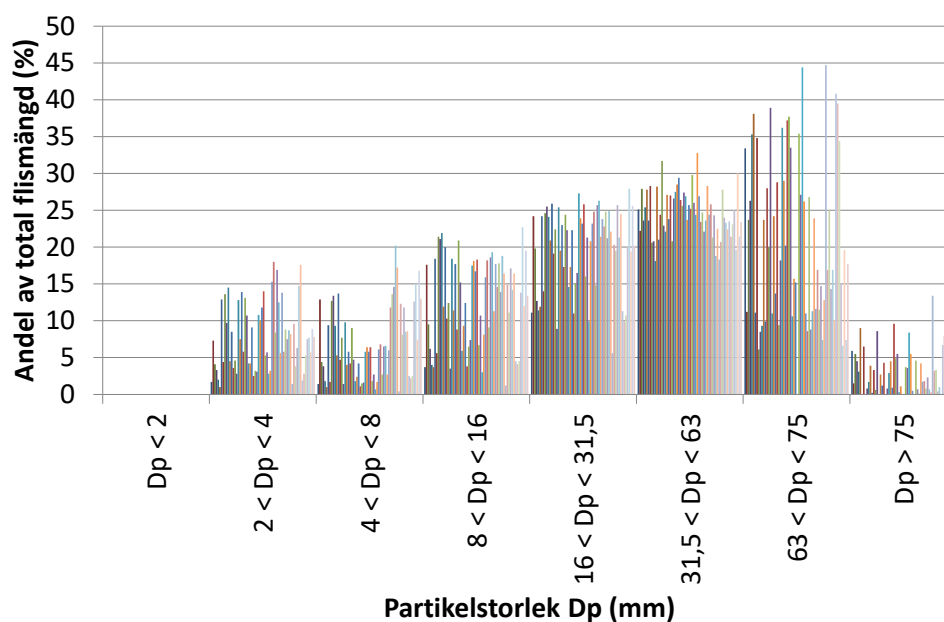
Vid erfarenhetsinsamlingen ställdes nedanstående frågor till anläggningarna. Erfarenheter från pannleverantörer samlades in genom att ställa frågorna 4, 5 och 6.

1. Vilka bränslen eldas och ungefär vilken fördelning är det emellan dem?
2. Har ni för BFB och/eller CFB-pannor och vilken effekt har de?
3. Vad har ni för bränsleberedning (hammarkvarn, skivsall, rejektkross, metallavskiljning etc)?
4. Vad ställer ni för krav på bränslets storleksfördelning (begränsningar % m.a.p. innehåll av finfraktion, överstort material, etc)?
5. Hur väl efterlevs krav-specifikationen?
6. Har ni rätt specifikation på bränslets storleksfördelning, eller finns det planer på att ändra den?
7. Har ni haft några problem i panna/förbränning/emissioner som direkt kan kopplas till storleksfraktionen på bränslet?
8. Skulle vi kunna få ta del av några analyser på storleksfördelning som ni gjort det senaste året?
9. Är det ok att använda svaren i vår rapport till Energiforsk? De skulle då hamna i en tabell (och/eller diagram) med uppgifter från 10-15 anläggningar som får heta var sin anonym bokstav eller siffra. Rapporten blir publik och ska publiceras av Energiforsk.

Bilaga B: Storleksfördelningar från BFB-anläggningar

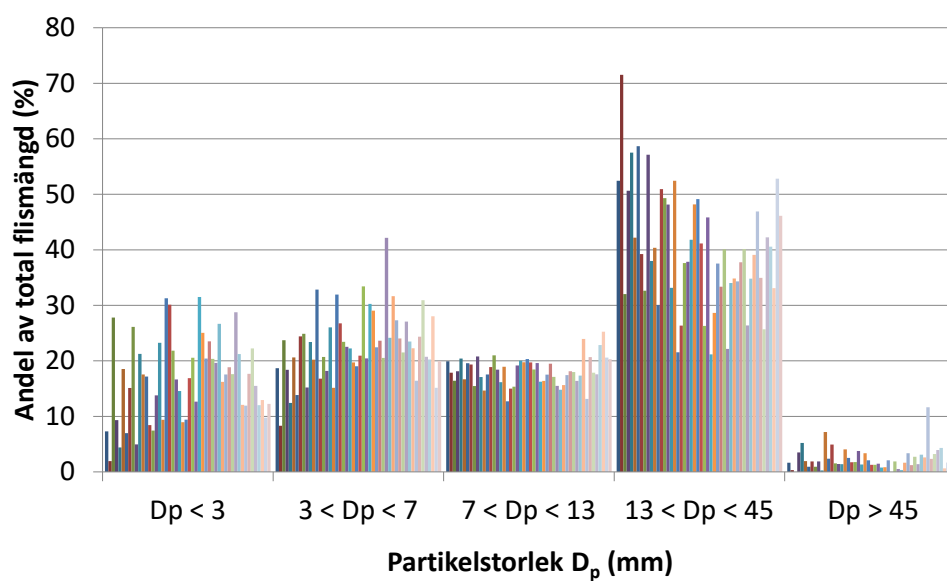
Anläggning A – Storleksfördelningar på returträflis.

	$D_p < 2 \text{ mm}$	$2 \text{ mm} < D_p < 4 \text{ mm}$	$4 \text{ mm} < D_p < 8 \text{ mm}$	$8 \text{ mm} < D_p < 16 \text{ mm}$	$16 \text{ mm} < D_p < 31,5 \text{ mm}$	$31,5 \text{ mm} < D_p < 63 \text{ mm}$	$63 \text{ mm} < D_p < 75 \text{ mm}$	$D_p > 75 \text{ mm}$
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Median	0,0	7,5	5,9	13,6	21,3	24,4	18,2	3,2
Min	0,0	1,0	0,4	1,2	5,6	18,1	6,1	0,1
Max	0,0	18,0	20,2	22,7	27,9	32,8	44,7	13,4



Anläggning D – Storleksfördelningar på skogsbränsleflis.

	$D_p < 3$ (%)	$3 < D_p < 7$ (%)	$7 < D_p < 13$ (%)	$13 < D_p < 45$ (%)	$D_p > 45$ (%)
Median	17,0	22,4	18,1	39,2	1,8
Min	2,0	8,3	12,7	21,2	0,0
Max	31,5	42,2	25,3	71,5	11,6



Bilaga C: Storleksfördelningar från CFB-anläggningar.

Anläggning G – Storleksfördelningar på skogsbränsleflis.

Mix (inkl slam): Finfraktion cirka 11 % och material >20 cm cirka 2,5 %.

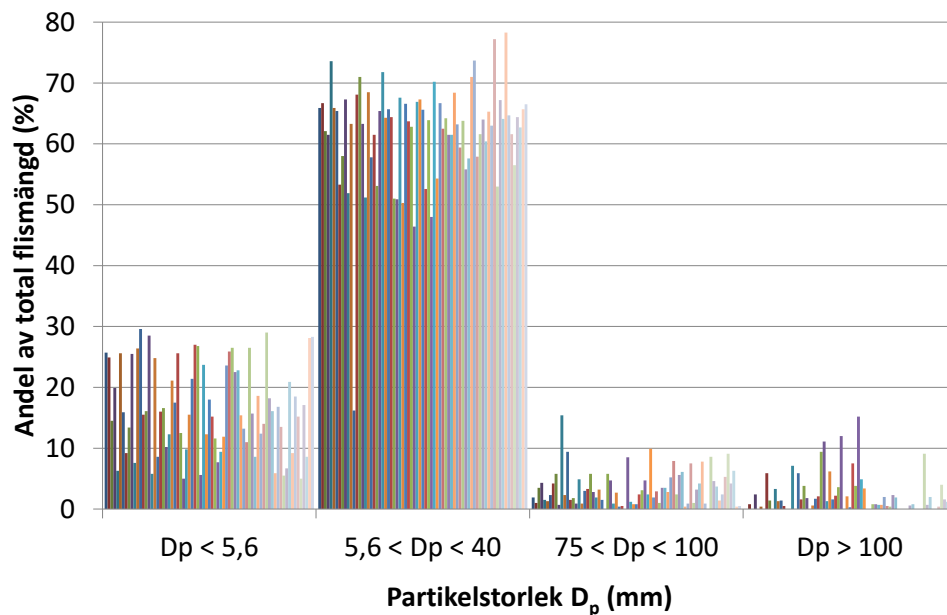
Siktanalys på mix (exkl slam):

- >45 mm: 6 %,
- 45 - 15 mm: 30 %,
- 15 - 3,15 mm: 12 %,
- <3,15 mm: 19 %

Bilaga D: Storleksfördelningar från anläggningar med både BFB- och CFB-pannor

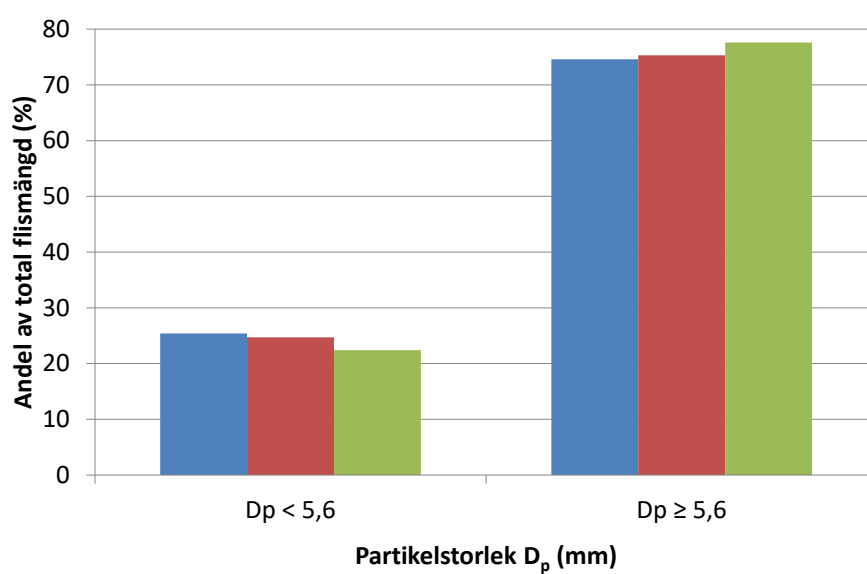
Anläggning I – Storleksfördelningar på returträflis.

	$D_p < 5,6$	$5,6 < D_p < 40$	$75 < D_p < 100$	$D_p > 100$
	(%)	(%)	(%)	(%)
Median	15,9	63,8	2,8	0,8
Min	5,0	16,2	0,0	0,0
Max	29,6	78,3	15,4	15,2



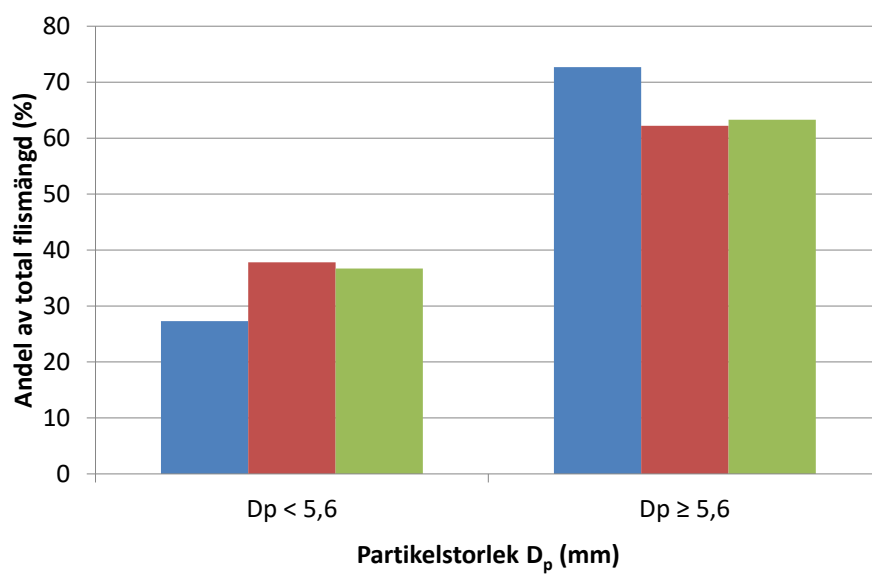
Anläggning J – Storleksfördelningar på returträflis.

Dp < 5,6	Dp ≥ 5,6
(%)	(%)
25,4	74,6
24,7	75,3
22,4	77,6



Anläggning J – Storleksfördelningar på skogsbränsleflis: Bark.

Dp < 5,6	Dp ≥ 5,6
(%)	(%)
27,3	72,7
37,8	62,2
36,7	63,3



Bilaga E: Flygaskeanalyser

Test 1 – Bortsiktad finfraktion



Eurofins Environment Testing Sweden AB
Box 737
531 17 Lidköping
Tlf: +46 10 450 8110
Fax: +46 10 450 8051

Vattenfall AB Heat Nordic
Ulf Nordqvist
Idbacksvägen 14
611 38 NYKÖPING

AR-17-SL-248762-01

EUSEL2-00490579

Kundnummer: SL7635540

Analysrapport

Provnummer:

177-2017-12120332

Provtagare

Anna Helgesson

Provbeskrivning:

Provtagningsdatum

2017-11-21

Matris:

Aska

Provets ankom:

2017-12-12

Utskriftsdatum:

2017-12-27

Provmarkning:

Fraktionstest siktat

Provtagningsplats:

Flygaska, Idbackverket

Test 1

Bortsiktad finfraktion

Analyse	Resultat	Enhet	Mått.	Metod/ref	
Provbereidning krossning, maling	1.0			SS 187117:1997	a)
Torrsubstans	96.2	%	10%	SS-EN 12880:2000	a)
Fukthalt	3.8	%	10%	EN 14774-1,2,3:2009	a)
				mod/15414-1,2,3:2011 mod/SS187	
Klor Cl	6.78	% Ts	15%	SS 187185	a)*
Oförbränt	14.6	% Ts	10%	SS 187187:1995	a)
Aluminium Al	31000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Aluminiumoxid Al2O3	58000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Fosfor P	4200	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Fosforoxid P2O5	9600	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Järn Fe	33000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Järnoxid Fe2O3	47000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kadmium Cd	31	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
		Ts			
Kalcium Ca	200000	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kalciumoxid CaO	270000	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kalium K	24000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kaliumoxid K2O	29000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kisel Si	76000	mg/kg	20%	EN 14385 / ICP-AES	a)*
		Ts			
Kiseloxid SiO2	160000	mg/kg	30%	EN 14385	a)*
		Ts			
Magnesium Mg	14000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Magnesiumoxid MgO	23000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Mangan Mn	3000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Manganoxid MnO2	4800	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Förklaringar

Laboratorier/laboratorierna är ackrediterade av respektive lands ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *

Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag relaterat till analyser utförda utanför Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det insända provet.

AR-007v17

Sida 1 av 3



AR-17-SL-248762-01

EUSELI2-00490579

Provnnummer:	177-2017-12120332	Provtagare	Anna Helgesson		
Provbeskrivning:		Provtagningsdatum	2017-11-21		
Matris:	Aska	Test 1 Bostsiktade finfraktion			
Provet ankom:	2017-12-12				
Utskriftsdatum:	2017-12-27				
Provmärkning:	Fraktionstest siktat				
Provtagningsplats:	Flygaska, Idbäckverket				
Analys	Resultat	Enhet	Måto.	Metod/ref	
Natrium Na	14000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Natriumoxid Na2O	19000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Titan Ti	31000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Titanoxid TiO2	51000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Arsenik As	800	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Antimon Sb	270	mg/kg	15%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Barium Ba	1800	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Beryllium Be	< 2.5	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Bly Pb	4800	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Kobolt Co	32	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Koppar Cu	2200	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Krom Cr	770	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Lantan La	13	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)*
Molybden Mo	< 21	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Nickel Ni	100	mg/kg	35%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Svavel S	23000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)*
Tenn Sn	140	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Vanadin V	67	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Wolfram W	< 11	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)*
Zink Zn	13000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Bor B	320	mg/kg	25%	EN ISO 11885:2009 / SS 028150 utg 2	a)*
Kvikksilver Hg	4.0	mg/kg	25%	SS028150mod/SS-EN ISO17852mod	a)*

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Förklaringar

Laboratoriet/laboratorierna är ackrediterade av respektive länds ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *

Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag relaterat till analyser utförda utanför

Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till

det insända provet.

AR-007v17

Sida 2 av 3

Test 2 och 3 – Normalfraktion/Referens.



Eurofins Environment Testing Sweden AB
Box 737
531 17 Lidköping
Tlf: +46 10 490 8110
Fax: +46 10 490 8051

Vattenfall AB Heat Nordic
Ulf Nordqvist
Idbäcksvägen 14
611 38 NYKÖPING

AR-17-SL-248763-01

EUSELI2-00490579

Kundnummer: SL7635540

Analysrapport

Provnummer:	177-2017-12120333	Provtagare	Anna Helgesson
Provbeskrivning:		Provtagningsdatum	2017-11-22
Matris:	Aska	Test 2,3 Normalfraktion/Referens	
Provets ankom:	2017-12-12		
Utskriftsdatum:	2017-12-27		
Provmärkning:	Fraktionstest referens		
Provtagningsplats:	Flygaska, Idbäckverket		
Analys	Resultat	Enhet	Måto, Metod/ref
Proberedning krossning, malning	1,0		SS 187117:1997
Torrsubstans	95,8	%	10% SS-EN 12880:2000
Fukthalt	4,2	%	10% EN 14774-1,2,3:2009
Klor Cl	6,47	% Ts	15% SS 187185
Oförbränt	11,0	% Ts	10% SS 187187:1995
Aluminium Al	33000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	63000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Fosfor P	5300	mg/kg	20% EN 13656 mod. / ICP-AES
Fosforoxid P ₂ O ₅	12000	mg/kg	20% EN 13656 mod. / ICP-AES
Järn Fe	33000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Järnoxid Fe ₂ O ₃	47000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Kadmium Cd	30	mg/kg	30% EN 13656 mod. / ICP-MS
Kalcium Ca	200000	mg/kg	30% EN 13656 mod. / ICP-AES
Kalciumoxid CaO	280000	mg/kg	30% EN 13656 mod. / ICP-AES
Kalium K	23000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Kaliumoxid K ₂ O	27000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Kisel Si	84000	mg/kg	20% EN 14385 / ICP-AES
Kiseloxid SiO ₂	180000	mg/kg	30% EN 14385
Magnesium Mg	15000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Magnesiumoxid MgO	24000	mg/kg	25% EN 13656 mod. / ICP-AES
Mangan Mn	3100	mg/kg	20% EN 13656 mod. / ICP-AES
Manganoxid MnO ₂	4900	mg/kg	20% EN 13656 mod. / ICP-AES

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Förklaringar

Laboratorier/laboratorierna är ackrediterade av respektive länds ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *

Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag relaterat till analyser utförda utanför Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det insända provet.

AR-007v1.7

Sida 1 av 3



AR-17-SL-248763-01

EUSELI2-00490579

Provnnummer:	177-2017-12120333	Provtägare	Anna Helgesson		
Provbeskrivning:		Provtagningsdatum	2017-11-22		
Matris:	Aska	Test 2,3 Normalfraktion-ref			
Provet ankom:	2017-12-12				
Utskriftsdatum:	2017-12-27				
Provmärkning:	Fraktionstest referens				
Provtagningsplats:	Flygaska, Idäcksverket				
Analys	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	
Natrium Na	16000	mg/kg Ts	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Natriumoxid Na2O	21000	mg/kg Ts	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Titan Ti	32000	mg/kg Ts	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Titanoxid TiO2	54000	mg/kg Ts	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Arsenik As	760	mg/kg Ts	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Antimon Sb	260	mg/kg Ts	15%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Barium Ba	1200	mg/kg Ts	30%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Beryllium Be	< 2,7	mg/kg Ts	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Bly Pb	4900	mg/kg Ts	20%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Kobolt Co	33	mg/kg Ts	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Koppar Cu	2200	mg/kg Ts	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Krom Cr	750	mg/kg Ts	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Lantan La	15	mg/kg Ts	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)*
Molybden Mo	< 21	mg/kg Ts	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Nickel Ni	110	mg/kg Ts	35%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Svavel S	26000	mg/kg Ts	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)*
Tenn Sn	150	mg/kg Ts	20%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Vanadin V	68	mg/kg Ts	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Wolfram W	< 11	mg/kg Ts	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)*
Zink Zn	16000	mg/kg Ts	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Bor B	330	mg/kg Ts	25%	EN ISO 11885:2009 / SS 028150 utg 2	a)*
Kviksilver Hg	3,7	mg/kg Ts	25%	SS028150mod/SS-EN ISO17852mod	a)*

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Förklaringar

Laboratoriet/laboratorierna är ackrediterade av respektive lands ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *

AR-007 v17

Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag relaterat till analyser utförda utanför Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det insända provet.

Sida 2 av 3

Test 4 – Tillsatt finfraktion



Eurofins Environment Testing Sweden AB
Box 737
531 17 Lidköping

Tlf: +46 10 490 8110
Fax: +46 10 490 8051

Vattenfall AB Heat Nordic
Ulf Nordqvist
Idbäcksvägen 14
611 38 NYKÖPING

AR-17-SL-248764-01

EUSELI2-00490579

Kundnummer: SL7635540

Analysrapport

Provnnummer:	177-2017-12120334	Provtagare	Anna Helgesson		
Provbeskrivning:		Provtagningsdatum	2017-11-23		
Matris:	Aska	Test 4 Tillsatt finfraktion			
Provet ankom:	2017-12-12				
Utskriftsdatum:	2017-12-27				
Provmärkning:	Fraktionstest dopat				
Provtagningsplats:	Flygaska, Idbäckverket				
Analys	Resultat	Enhet	Måto.	Metod/ref	
Provberedning krossning, malning	1.0			SS 187117:1997	a)
Torrsubstans	98.3	%	10%	SS-EN 12860:2000	a)
Fukthalt:	1.7	%	10%	EN 14774-1,2,3:2009	a)
				mod/15414-1,2,3:2011 mod/SS187	
Klor Cl	6.56	% Ts	15%	SS 187185	a)*
Oferbrant	6.6	% Ts	10%	SS 187187:1995	a)
Aluminium Al	35000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Aluminiumoxid Al2O3	67000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Fosfor P	6400	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Fosforoxid P2O5	15000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Järn Fe	32000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Järnoxid Fe2O3	46000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kadmium Cd	34	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
		Ts			
Kalcium Ca	190000	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kalciumoxid CaO	270000	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kalium K	20000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kaliumoxid K2O	24000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Kisel Si	91000	mg/kg	20%	EN 14385 / ICP-AES	a)*
		Ts			
Kiseloxid SiO2	200000	mg/kg	30%	EN 14385	a)*
		Ts			
Magnesium Mg	16000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Magnesiumoxid MgO	26000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Mangan Mn	3000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			
Manganoxid MnO2	4700	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
		Ts			

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Förklaringar

Laboratorier/Laboratorierna är ackrediterade av respektive lands ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *
Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag relaterat till analyser utförda utanför Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran.
Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det insända provet.

AR-007v17

Side 1 av 3



AR-17-SL-248764-01

EUSELI2-00490579

Provnnummer:	177-2017-12120334	Provtagare	Anna Helgesson		
Provbeskrivning:		Provtagningsdatum	2017-11-23		
Matris:	Aska	Test 4. tillsatt finfraktion			
Provet ankom:	2017-12-12				
Utskriftsdatum:	2017-12-27				
Provmärkning:	Fraktionstest dopat				
Provtagningsplats:	Flygaska, Idböcksverket				
Analys	Resultat	Enhet	Måto.	Metod/ref	
Natrium Na	17000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Natriumoxid Na2O	23000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Titan Ti	33000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Titanoxid TiO2	55000	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Arsenik As	770	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Antimon Sb	310	mg/kg	15%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Barium Ba	760	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Beryllium Be	< 2,6	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Bly Pb	6300	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Kobolt Co	37	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Koppar Cu	2200	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Krom Cr	740	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Lantan La	17	mg/kg	30%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)*
Molybden Mo	< 21	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Nickel Ni	160	mg/kg	35%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Svavel S	27000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)*
Tenn Sn	170	mg/kg	20%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Vanadin V	75	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)
Wolfram W	< 11	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-MS	a)*
Zink Zn	17000	mg/kg	25%	EN 13656 mod. / ICP-AES	a)
Bor B	360	mg/kg	25%	EN ISO 11885:2009 / SS 028150 utg 2	a)*
Kviksilver Hg	3,1	mg/kg	25%	SS028150mod/SS-EN ISO17852mod	a)*

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Förklaringar

Laboratoriet/Laboratorierna är ackrediterade av respektive lands ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *

Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag relaterat till analyser utförda utanför

Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det insända provet.

AR-007v17

Sida 2 av 3

BETYDELSEN AV TRÄDBRÄNSLETS STORLEKSFÖRDELNING

I Sverige finns över 100 individuella fluidiserade bädd-pannor, och merparten av dessa eldar någon form av trädbaserat bränsle. Ett generellt problem relaterat till trädbränslets storleksfördelning, är när bränslepartiklar lämnar bränslebädden och brinner sent i pannan. Det kan medföra problem med påslag på värmeöverförande ytor, CO-emission och oförbränt i flygaskan. Här har betydelsen av trädbränslets storleksfördelning på förbränning, emissioner och påslag studerats.

Resultaten visar att finfraktionen har störst inverkan på sen förbränning och att det inom denna fraktion verkar vara den så kallade dammfraktionen som bidrar mest till ökad CO i rökgaserna.

Det är tydligt att det finns relativt skilda definitioner av finfraktion, som varierar mellan 1 millimeter och 5,6 millimeter, och att anläggningar som följer upp sina specifikationer för bränslekrav generellt upplever att efterlevnaden är god. En tredjedel av de tillfrågade anläggningarna upplever att bränslefraktionen orsakat olika typer av förbränningsproblem, men merparten av dessa anläggningar är trots det nöjda med sin kravspecifikation och planerar inte att ändra specifikationen.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se