

Projekt SWX-Energi

Rapport nr 38

Eldningsresultat för pellets med tillsats av magnesium

Jochen Riedel, Tomas Persson, Ulf Bexell,
Jonas Berghel och Kaung Myat Win



En investering för framtiden



FÖRORD

Rapporten **Eldningsresultat för pellets med tillsats av magnesium** är framtagen av Jochen Riedel, Tomas Persson, Ulf Bexell och Kaung Myat Win vid Högskolan Dalarna samt Jonas Berghel från Karlstad Universitet. Karlstad Universitet har tillverkat pellets med olika tillsatser och eldningsförsöken har genomförts vid Högskolan Dalarna.

Studien syftade till att undersöka om tillsats av magnesium till träpellets kan minska avsättningar i pannans konvektionsparti samt minska utsläpp av partiklar. Magnesium kan reagera med alkali och bilda föreningar med hög smältpunkt och förhindra att de sätter sig i pannans konvektionsparti.

Resultaten var inte helt lyckade då både mängden avsättningar och flygaska ökade liksom partikelemissionerna.

Troligen var magnesiumtillsatsen för hög, jämfört med mängden alkali i pelletsen. Slutsatsen är att andelen alkaliföreningar i pellets är så pass låg och förbränningseffektiviteten redan är så pass hög att det är svårt att förbättra den ytterligare.

Ska magnesium tillsättas, så måste rätt mängd tillsättas i förhållande till mängden alkali i bränslet. Tillsatser bör nog först och främst användas i bränslen med högre askhalt och därmed högre halt av alkali som till exempel pellets tillverkad av spannmål.

2011-10-14

Lars Persson
Projektchef,
SWX-Energi
0653-77211, 070-2117896
lars.persson@gde-kontor.se

Jonas Berghel
Projektledare, delprojekt
Pellets
054-7001247, 070-3471026
jonas.berghel@kau.se

Tomas Persson
Projektledare, delprojekt
Sol och bio
023-778717
tpe@du.se

SAMMANFATTNING

Vid förbränning av bibränslen såsom träpellets bildas partiklar som orsakar avsättningar på ytor i pannans konvektionsparti. Det som leder till försämrad effektivitet och kräver sotning. Dessutom sker utsläpp av partiklar till uteluften som kan ge hälsoeffekter.

Vid förbränning kan alkalimetaller, som till exempel kalium, frigöras från bränslet och de kan bilda klibbiga avsättningar tillsammans med klor, svavel eller kisel, som i sin tur samlar in mer partiklar och det bygger på avsättningar i konvektionspartiet. Det förväntas att magnesium reagerar (huvudsakligen med klor, svavel och kisel) så att sammansättningar med högre smältpunkter erhålls, vilket kan minska avsättningar i konvektionspartiet.

Karlstads Universitet har producerat tre olika typer av träpellets; en referenspellet utan tillsatser, en pellet med magnesiumoxid (MgO) och en pellet med magnesiumhydroxid (Mg(OH)₂). Kortare eldningsprov med de olika bränslena har genomförts i en 20 kW pelletspanna och uppkomna avsättningar i konvektionspartiet och emissioner har registreras. Avsättningarna i konvektionspartiet kvantifierades med en gravimetrisk metod och analyserades med SEM, vilket gör det möjligt att se vilka grundämnen som förekommer i avsättningarna. Gasformiga emissioner som CO, NO och TOC registrerades liksom partikelutsläpp. Motsvarande försök gjordes också med en kommersiellt tillverkad pellet.

Tillsats av MgO och Mg(OH)₂ ökade mängden flygaska och partikelutsläpp (PM 2,5). Massan av fasta beläggningar i konvektionspartiet ökade också jämfört med referenspellets utan dessa tillsatser. Dessutom bildades stora mängder flygaska i fallen med magnesiumtillsats.

Att tillsatserna bildade flygaska kan förklaras av den normalt mycket låga askhalten i träpellets och därmed är också halten av alkalimetaller låg jämfört med pellets som tillverkas av spannmål. Magnesiumtillsatsen syftar till att reagera med alkalimetaller och bilda föreningar med så hög smältpunkt att de inte fastnar i pannans konvektionsparti. Troligen är magnesiumtillsatsen för hög jämfört med mängden alkali i pelletsen.

Från SEM-analysen kan man se att mängden kalium minskar med magnesiumtillsatserna och det verkar som att principen fungerar. Dock hamnade stora mängder flygaska med hög andel magnesium i konvektionspartiet (lös flygaska har avlägsnats före den gravimetriska mätningen och före SEM-analysen av substraten). Detta kan ha förhindrat substraten från att få högre andel fasta avsättningar från bland annat kalium och klor under denna korta mätperiod som genomfördes. Det kan dock inte uteslutas att de minskade avsättningarna av kalium och klor berodde på just tillsatsen av magnesium.

INNEHÅLL

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | INTRODUKTION | 4 |
| 2 | METOD | 5 |
| 2.1 | Produktion av pellets med tillsatser | 5 |
| 2.2 | Mätuppställning | 7 |
| 2.3 | Mätningar | 8 |
| 3 | RESULTAT OCH DISKUSSION | 11 |
| 3.1 | Gasformiga utsläpp | 11 |
| 3.2 | Flygaska och partiklar | 12 |
| 3.3 | Gravimetriska mätningar | 14 |
| 3.4 | EDS-kartläggning | 15 |
| 3.5 | Askanalyser | 18 |
| 4 | SLUTSATSER | 19 |
| 5 | REFERENSER | 20 |

1 INTRODUKTION

Sot och avsättningar i pellets pannor orsakar minskande effektivitet och kan minska pannans livslängd. Därför måste de rengöras regelbundet, vilket ger ökade driftskostnader. Uppkomst av gasformiga emissioner och partiklar skapar problem på grund av deras hälsoeffekter på människokroppen [1]. Av dessa anledningar vill man minska mängden partiklar som bildas vid förbränning av träpellets.

Vid förbränning kan alkalimetaller, som kalium, frigöras från bränslet och de kan bilda klibbiga avsättningar tillsammans med klor, svavel eller kisel, som i sin tur samlar in mer partiklar och det bygger på avsättningar i konvektionspartiet. De kan dessutom leda till korrosion [2,3].

Det förväntas att magnesium reagerar (huvudsakligen med klor, svavel och kisel) så att sammansättningar med höga smältpunkter erhålls. Dessa sammansättningar skall ha liten benägenhet att fästa i konvektionspartiet [4]. Det är också känt från förbränning av diesel [5] och spannmål [6,7] att metalltillsatser kan minska avsättningar och partikelutsläpp.

Syftet med försöket har varit att undersöka hur tillsats av magnesium till träpellets påverkar rökgasemissioner och avsättningar i en pellets panna.

2 METOD

Karlstads Universitet har producerat tre olika typer av träpellets; en referenspellets utan tillsatser, en pellet med magnesiumoxid (MgO) och en variant med magnesiumhydroxid (Mg(OH)₂). Kortare eldningsprov med de olika bränslena har genomförts i en 20 kW pellets-panna injusterad för ca 15 kW effekt och uppkomna avsättningar och emissioner har registreras.

Varje förbränningsförsök kördes två gånger tre timmar inklusive en 25 minuters paus mellan eldningsperioderna. Under varje period uppnåddes stabila eldningsförhållanden med konstant värmeeffekt. Det fanns två referensprover utan tillsatser, en från Karlstads universitet och ett kommersiellt producerat bränsle från Dalapellets AB, en med magnesiumoxid MgO och en med magnesiumhydroxid Mg(OH)₂.

De olika experimenten kommer att benämnas med namnet på bränslets tillsats:

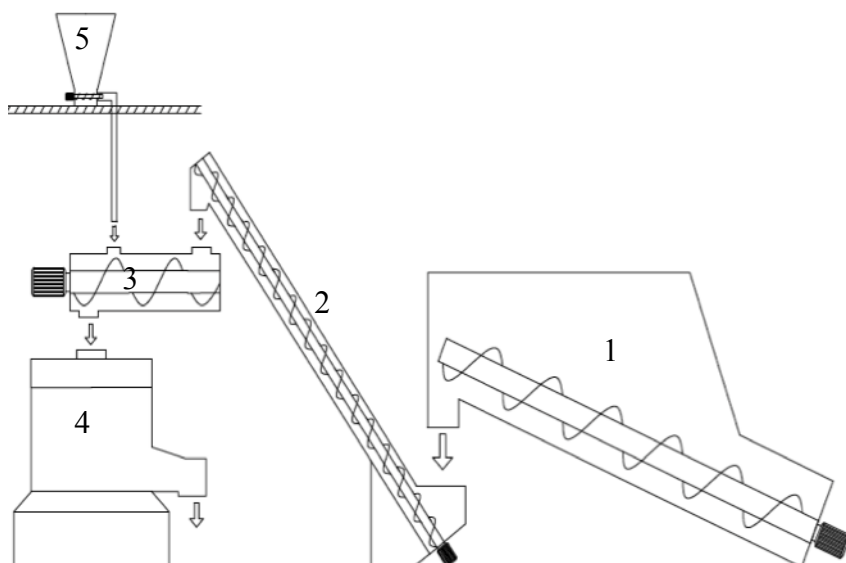
- Kommersiell pellets (Dalapellets AB)
- Referenspellets (Karlstads universitet (0 % tillsats))
- MgO (0,8 viktsprocent tillsats av MgO)
- Mg(OH)₂ (0,8 viktsprocent tillsats av Mg(OH)₂)

2.1 Produktion av pellets med tillsatser

Pelleten producerades i en produktionsenhet som ligger vid Avdelningen för energi, miljö- och byggteknik vid Karlstads universitet (*se Figur 2.1*). Den består av: (1) en blandare, (2) en transportskruv, (3) en skruvmatare där befuktning och dosering sker vid behov, (4) en Aman-dus Kahl C33-390 pelletspress med en planmatris med en maximal kapacitet av 300 kg/h, och (5) en volymetrisk matare för tillsatser. Efter pelletpressen finns möjlighet till kylning av producerad pellets.

Den plana matrisen har nio rader med 52 hål i varje rad, totalt 468 hål. Matrisen har en arbetsbredd på 75 mm, en effektiv kompressionslängd på 30 mm och en totaltjocklek på 50 mm. Hålen har en diameter på 8 mm. Den öppna andelen av matrisen är 64 % av det totala arbetsområdet.

Sågspån som användes var färsk sållat gransågspån (*Picea abies*) och det hämtades från Stora Enso Timber AB vid Gruvön. Sågspån var malt och färdigtorkat vid lågtemperatur (60-80 °C) på en bandtork till ca 10 % fukthalt. Spånets konditionerades på KaU genom tillsättning av vatten till vald fukthalt.



Figur 2.1. Pelletsproduktionsanläggningen vid Karlstads Universitet.

Pelletspressen kördes tills stationära förhållanden erhöles. När tillsatsen ändrades gjordes en inkörningsperiod på minst 5 minuter med nuvarande additiv för att säkerställa stationära förhållanden innan pelletsen började insamlas. MgO och Mg(OH)₂ i pulverform användes som tillsatsämne. Tillsatsflödet från den volymetriska mataren hölls oförändrad på 0,8 % av den producerade vikten pellets. Produktionsförhållandena framgår av *Tabell 2.1*.

De tre nytillverkade bränslena och den kommersiella pelletsen analyserades med avseende på sammansättning (*Tabell 2.2*) och detta användes som underlag vid utvärdering av mätdata och framräkning av emissioner och energibalans. Dock har inte grundämnena i askan kunnat analyseras i detalj inom fastställd budget.

Tabell 2.1
Produktionsförhållanden för pellets med och utan tillsats.

| Test | Mängd tillsats | Matris tryck | Matris temperatur | Fukthalt i sågspån | Producerad pelletsmängd |
|---------------------|----------------|--------------|-------------------|--------------------|-------------------------|
| | [vikts-%] | [bar] | [°C] | [vikts-%] | [kg/min] |
| Referens | 0,0 | 101,1 | 104 | 12,4 | 1,5 |
| MgO | 0,8 | 93,8 | 106 | 12,4 | 1,5 |
| Mg(OH) ₂ | 0,8 | 96,5 | 108 | 12,4 | 1,5 |

Tabell 2.2

De olika bränslenas sammansättning. De ämnen som ingår i askan har inte analyserats förutom magnesiuminnehållet.

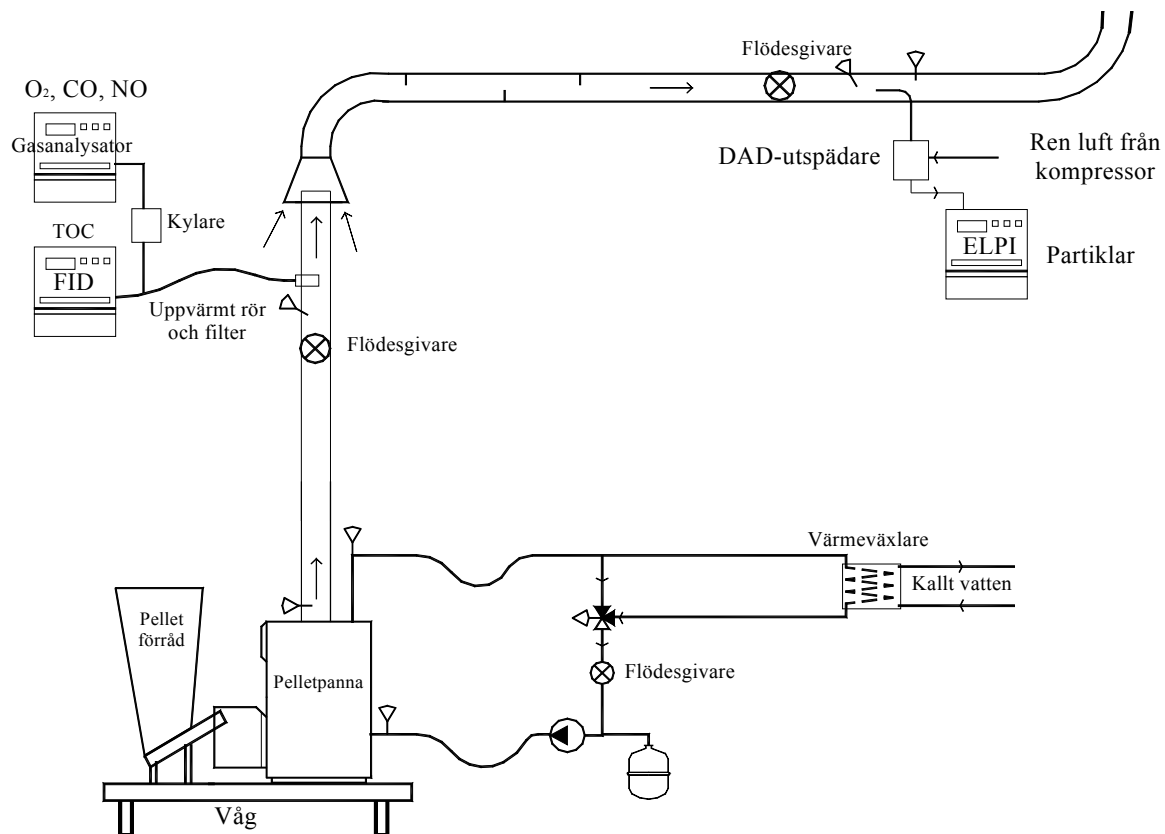
| | Kommersiell pellets | Referenspellets | MgO | Mg(OH) ₂ | | Norm |
|--|---------------------|-----------------|-------|---------------------|--------|----------------|
| Fuklthalt | 6,8 | 7,1 | 8,6 | 7,7 | % | CEN 14774:2004 |
| Kol (C) torrt prov | 50,9 | 50,7 | 50,3 | 50,0 | % | CEN 15104:2006 |
| Väte (H) torrt prov | 6,5 | 6,2 | 6,2 | 6,1 | % | CEN 15104:2006 |
| Kväve (N) torrt prov | 0,27 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | % | CEN 15104:2006 |
| Syre (O) torrt prov | 42,2 | 42,7 | 42,5 | 42,8 | % | (Beräknad) |
| Svavel (S) torrt prov | - | 0,009 | 0,010 | 0,008 | % | CEN 15289:2006 |
| Askhalt torrt prov | 0,42 | 0,3 | 0,9 | 1,0 | % | CEN 14775:2004 |
| Magnesium (Mg) torrt prov | - | 0 | 0,424 | 0,446 | % | - |
| Kalorimetriskt värmevärde torrt prov | 5,349 | 5,259 | 5,266 | 5,228 | kWh/kg | CEN 14918:2005 |
| Kalorimetriskt värmevärde leveransfukthalt | 4,939 | 4,838 | 4,755 | 4,773 | kWh/kg | CEN 14918:2005 |

2.2 Mätuppställning

Figur 2.2 visar en schematisk bild av mätuppställningen. Ett externt bränslelager med transportskruv används för att mata pellets till förbränningskammaren. Bränslet faller ner via en slang direkt in i förbränningsrummet, där förbränningsluft tillförs av en fläkt. Förbränningen äger rum i en 20 kW övermatad horisontell pelletsbrännare kopplad till en panna med horisontella konvektortuber. Pannan var ansluten till en värmeväxlare via en laddomat (trevägs blandningsventil och cirkulationspump) som säkerställde en konstant inloppstemperatur på cirka 75 °C.

Brännaren kan eldas i maximalt tre timmar i sträck på grund av en begränsning i brännarens styrenhet. Tillgången på bränsle med magnesiumtillsats var begränsad, så maximalt två eldningscykler på vardera tre timmar med ett kort stopp emellan kunde genomföras.

Mätning av gasformiga utsläpp gjordes i skorstenen, där en liten del av rökgasen suges ut genom ett uppvärmt filter och en uppvärmd mätgasledning. Detta för att inte kolväten skall kondensera innan rökgasen når flamjoniseringsinstrumentet FID. Rökgasen som analyserades med avseende på O₂, NO och CO passerade först genom en kylare som torkade gasen. Koncentrationen av de gasformiga utsläppen relaterades till det uppmätta rökgasflödet så att massflödet av de olika emissionerna kunde beräknas kontinuerligt. Mer om rökgasanalysen ges under *avsnitt 2.3, Rökgasanalys*.



Figur 2.2. Mätupställning med analysutrustning och givarplacering.

Partiklar mättes efter utspädning av gasen med rumsluft i en spädtunnel, varpå den späddes ytterligare en gång med ren torr tryckluft innan den analyserades i ELPI. Partikelkoncentrationen relaterades till volymflödet i spädtunneln och utspädningsförhållandet i utspädaren så att massflödet av partikelemissionerna kunde beräknas kontinuerligt.

2.3 Mätningar

Mätning av pelletsbehov och förbränningseffekt

Pelletsförbrukningen mättes med tre olika metoder. Det sker dels genom att panna och bränsleförråd är monterade på en våg och att uppmätt pelletsförbrukning korrigeras med avseende på pannans vatteninnehåll och dess densitet utgående från uppmätt panntemperatur. En speciellt utvecklad flödesmätare i skorstenen användes för att bestämma rökgasflödet och tillsammans med aktuell syrehalt kan pelletsförbrukning beräknas momentant. Den tredje metoden som tillämpades var att med en separat våg mäta bränslemängden som fylldes på och mängden kvarvarande bränsle vid provets slut.

Energimängden som pannan levererade till vattenkretsen mättes med temperaturgivare och flödesgivare på anslutande rörledningar.

Rökgasanalys

Kontinuerlig mätning av gasformiga utsläpp, syre (O₂), koldioxid (CO₂), kolmonoxid (CO), kväveoxid (NO) och totalt organiskt kol (TOC) utförs genom att extrahera en liten del rökgas från skorstenen via ett uppvärmt filter (180 °C). De analytiska metoderna för gasanalysatorn är icke-dispersiv infraröd för mätning av CO₂, CO och NO, paramagnetisk gasanalysator för O₂ och flamjonisationsdetektor (FID) för mätning av TOC, som propanekvivalent.

Prover från partikelutsläpp är tagna från den efterföljande utspädningstunneln (ej-isokinetisk provtagning) och en andra spädning med ren torr tryckluft görs innan mätning sker med en Elektrisk lågtrycksimpaktor (ELPI). Antalkoncentration och storleksfördelning av partiklar mäts i intervallet 7 nm till 10 µm och redovisas för PM 2,5.

Gravimetrisk mätning av avsättningar i konvektionspartiet

Mängden avsättningar i konvektionspartiet mättes genom att montera fyra ringar av rostfritt stål som passade precis i konvektionstuber. Materialnummret för det rostfria stålet är EN 1.4432 (ASTM 316L) med en nominell sammansättning av, i viktprocent, 16.9 Cr, 10.7 Ni, 2.6 Mo och resten Fe. Två av ringarna placerades i början av konvektionspartiet (position A) där rök Gastemperaturen är hög (cirka 460 °C) och två av dem i mitten av konvektionspartiet (position B) där rök Gastemperaturen är (cirka 260 °C). Ringarna vägdes före och efter mätningen till närmaste 0,01 mg och mängden avsättningar relaterades till ringens yta. Ett medelvärde skapades för alla de uppmätta fyra proverna. Den flygaska som var helt lös på ringarna avlägsnades med en svag luftström innan vägning. Ringarna torkades i ugn vid 550 °C enligt CEN/TS 14775:2004 och fick svalna, innan de vägdes och placerades i pannan. Ringarna vägdes sedan omedelbart efter att provet avslutats så snart ringarna hade svalnat.



Figur 2.3. En av ringarna tillverkade av det rostfria stålet 1.4432 med sammansättning X2CrNiMo17-12-3. Ringarna placerades i tuberna och användes för den gravimetriska mätningen av beläggningar. Det lilla substratet med måtten 15 x 15 mm² är av samma material som ringarna polerades absolut rena och placerades bredvid ringarna i konvektionstuber.

SEM/EDS- analys för bestämning av den kemiska sammansättningen.

Sammansättningen hos avsättningarna i konvektionspartiet analyserades i ett svepelektronmikroskop (SEM). Substrat (15x15 mm²) från samma rostfria material som ringarna polerades och placerades intill ringarna för gravimetrisk mätning. Avsättningarna på substraten analyserades i ett SEM (Jeol820) utrustat med ett LINK ISIS EDS-system.

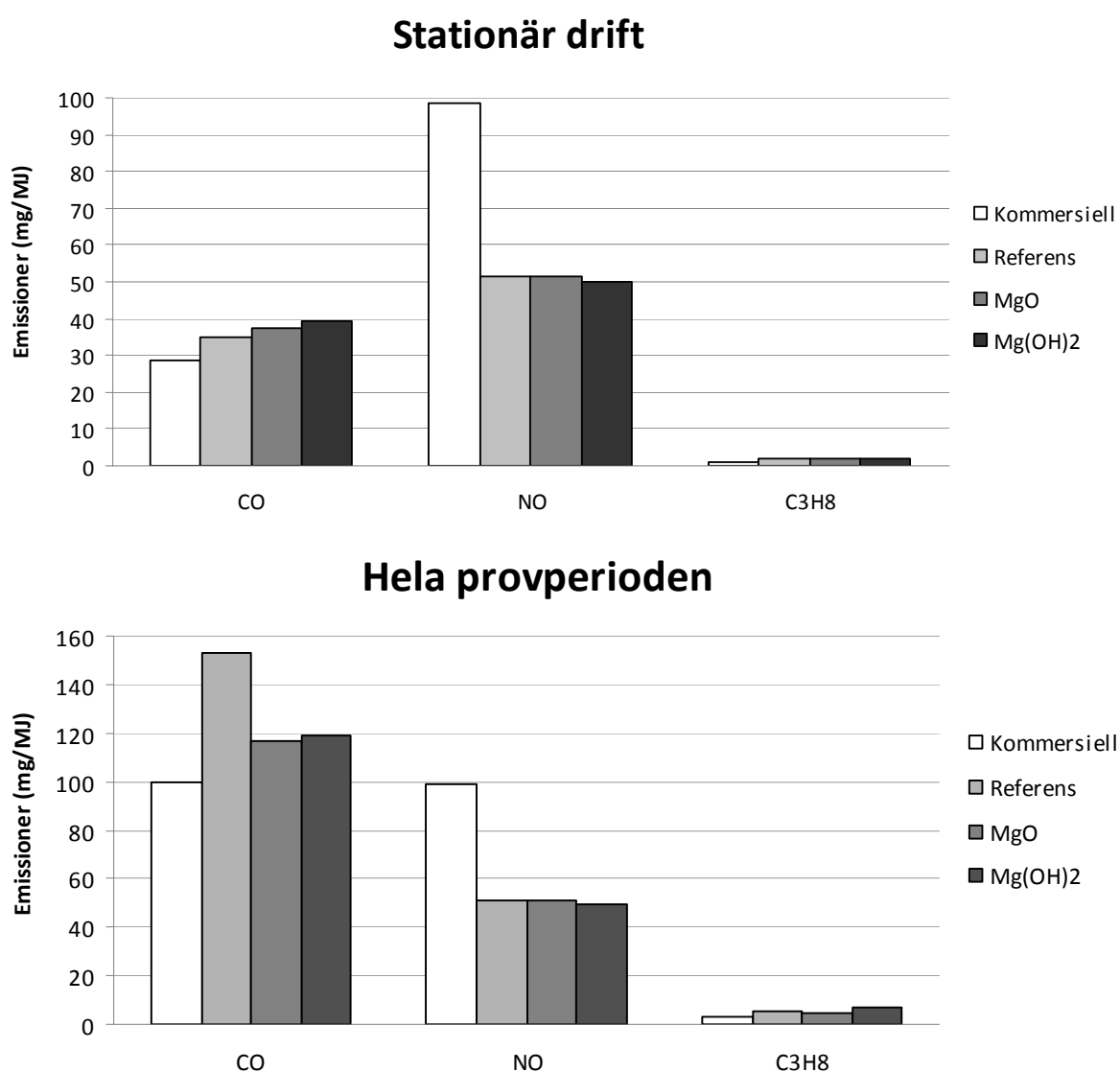
Askanalys

Askan från konvektionsparti och asklåda insamlades och askanalys genomfördes enligt CEN / TS 14775:2004. Metoden ger den så kallade glödförlusten som anger andelen oförbränt i askan.

3 RESULTAT OCH DISKUSSION

3.1 Gasformiga utsläpp

Figur 3.1 visar gasformiga emissioner för de olika bränslena, dels för hela provperioden om 3 plus 3 timmar samt för den första stationära eldningsperioden. Vid stationär förbränning var de gasformiga utsläppen ungefär desamma för alla förbränningsprov oavsett tillsatser. Endast NO-utsläppen var betydligt högre för den kommersiella pelletsen. De högre NO-utsläppen för den kommersiella pelletsen beror sannolikt på de högre kvävehalterna för detta bränsle (Tabell 2.2).

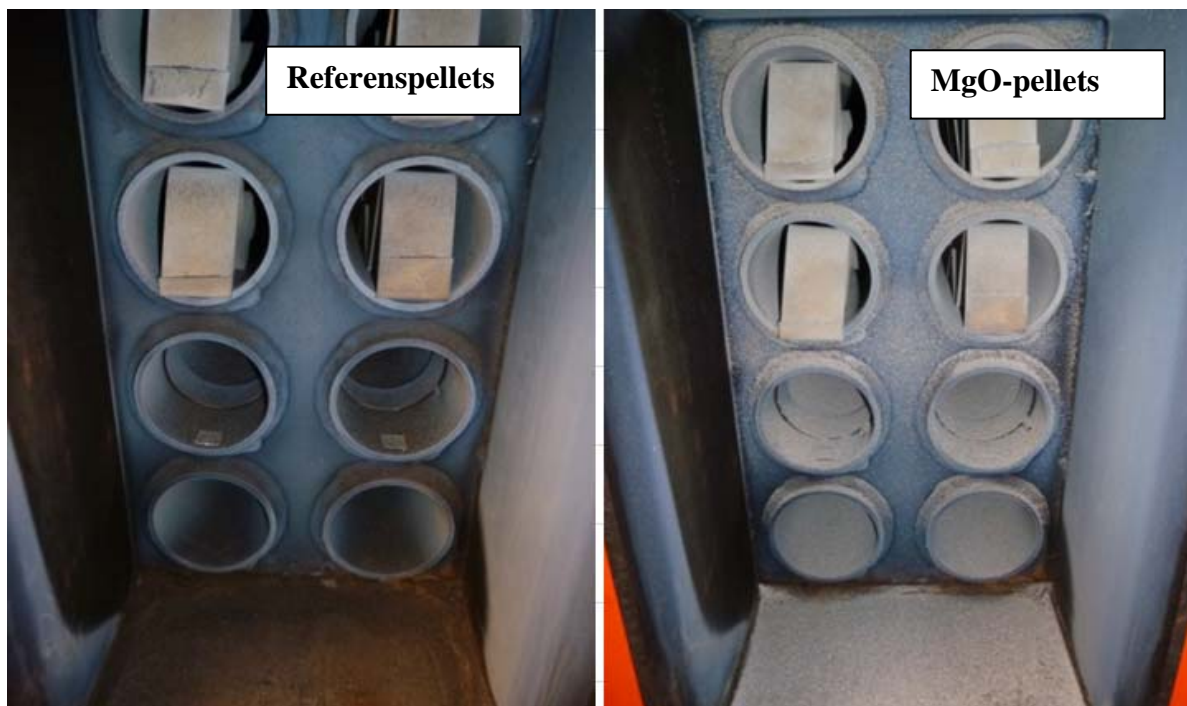


Figur 3.1. Gasformiga emissioner från den stationära driftsperioden respektive hela mätperioden, inklusive start och stopp.

Särskilt i referenspelletsen från Karlstad universitet fanns det en hel del damm och fina partiklar, eftersom de smulade lätt och var ömtåliga. Den höga mängden damm i referenspelletsen påverkade inte de gasformiga utsläppen under drift. Däremot orsakade den smulande pelletsen mycket höga CO-utsläpp efter att brännaren stängts av och under efterföljande uppstart på grund av att oförbrända partiklar lämnade brännaren och hamnade i asklådan och där fortsatte glöda under lång tid. Därav är CO-emissionerna lite högre för denna pellets under hela provperioden.

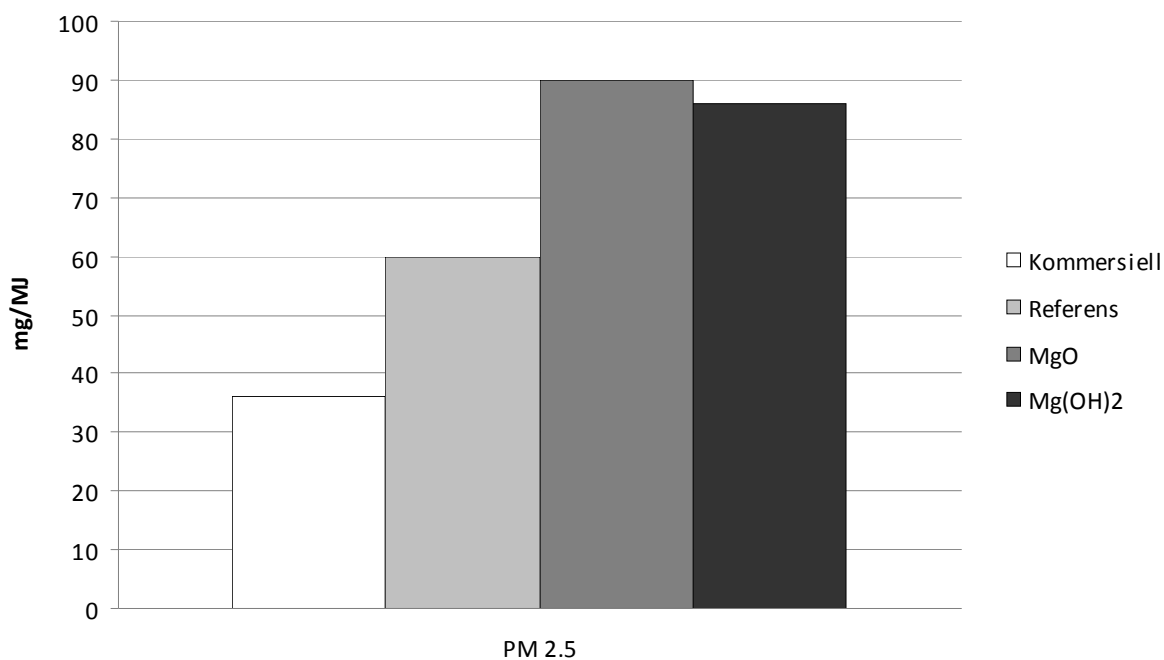
3.2 Flygaska och partiklar

I eldningsförsöken med MgO och Mg(OH)₂ täcktes konvektionstuberna inne i pannan helt av ett vitt lager flygaska och partiklar som framgår av *Figur 3.2*. SEM-analys av flygaskan visade att partiklarna främst bestod av magnesium, vilket tyder på att en hel del av magnesiumtillsatsen lämnade förbränningskammaren som partiklar och flygaska utan någon kemisk reaktion.



Figur 3.2. Värmeväxlaren efter eldning med referenspelletsen (till vänster) respektive efter eldning med pellets med MgO-tillsats. Eldning av pellets med Mg(OH)₂-tillsats gav liknande problem med flygaska som pelletsen med MgO-tillsats.

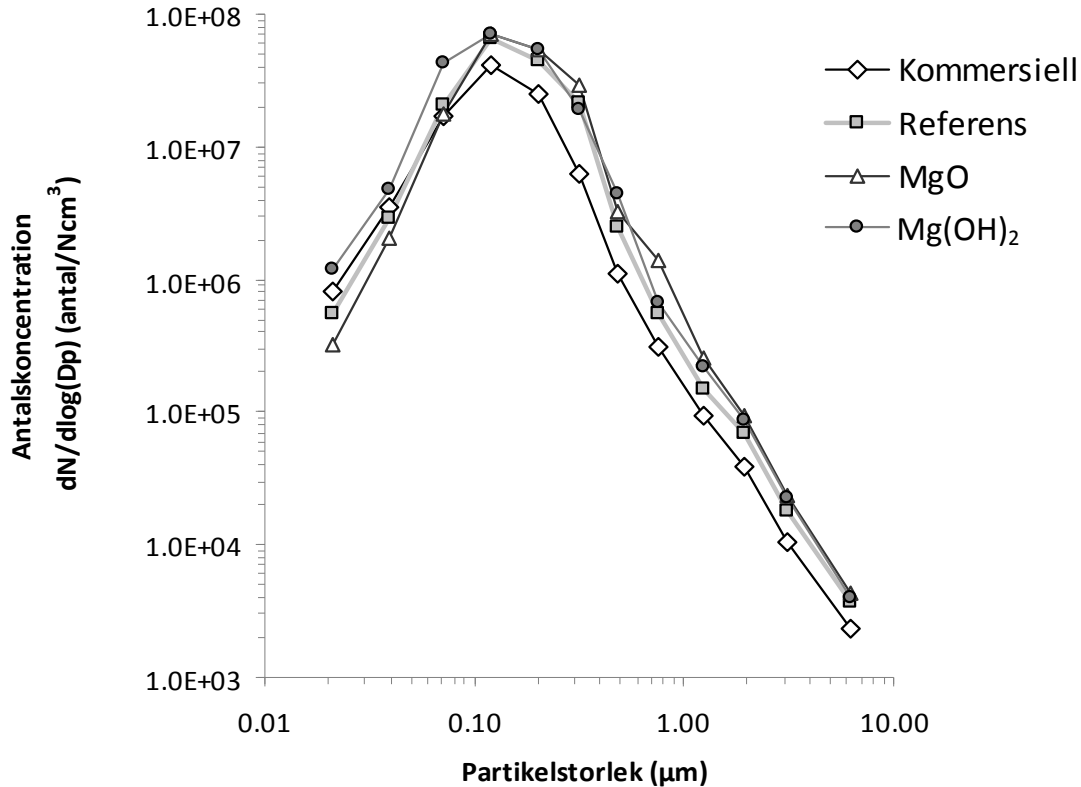
Figur 3.3 visar partikelutsläppen för de olika fallen. Jämfört med referenspelletsen var partikelutsläppen (PM 2,5) med MgO-pellets ca 50 % högre respektive 45 % högre för Mg(OH)₂-pellets. Vid försöket med den kommersiella pelletsen var partikelutsläppen allra lägst, bara ungefär 60 % av vad som uppmättes med referenspellets.



Figur 3.3. Partikelemissioner PM 2,5 för de olika eldningsförsöken med fyra olika pellets; kommersiell pellets, referenspellets samt pellets med tillsats av MgO respektive Mg(OH)₂.

Figur 3.4 visar antal-storleksfördelning för partikelutsläppen, dvs det genomsnittliga antalet partiklar som en funktion av partikeldiameter. Majoriteten av antalet partiklar är mindre än 1 µm med största antal vid en storlek på 0,12 µm för alla fyra fall.

Antalet mycket små partiklar under 0,1 µm var lägst för MgO-pellets och högst för Mg(OH)₂-pellets. Från antalsmaximum och uppåt hade den kommersiella pelletsen lägsta antal partiklar medan de andra pelletsproverna hade högre och ungefär samma antal partiklar.



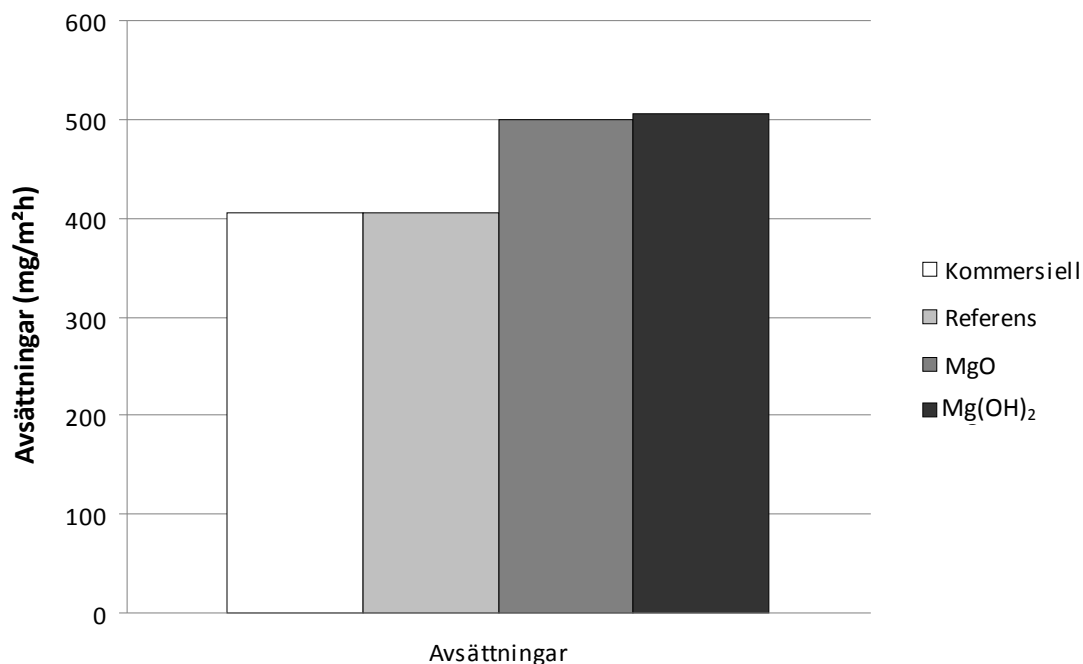
Figur 3.4. Antal-storleksfördelning för partikelutsläppen normaliserade till 10 % O₂.

3.3 Gravimetriska mätningar

Figur 3.5 visar beläggningar (massökningen) på ringarna för eldningsproverna med de olika bränslena. Alla provtytor exponerades i 6,37 timmar utom för mätningen med Mg(OH)₂-pelletsen som exponerades i 5,42 timmar på grund av att brännaren stannade av ett tekniskt brännarfel. Men då beläggningsökningen redovisas som gram per m² och timme så har det med all sannolikhet en ganska liten inverkan.

Den specifika viktökningen för avsättningarna var lägst för den kommersiella pelletsen och referenspelletsen och var ca 25 % högre för pelletsproverna med magnesiumtillsats.

Detta är troligtvis den ökade mängden flygaska i proverna med magnesiumtillsats som gör att fler askpartiklar fastnar på ytan. Beläggningsökningen kan möjligtvis ha förvärrats av att pannan hade horisontella tuber, då speciellt i nedre delen av ringarna, men den största delen av askan som ansamlats i tuberna var lös flygaska avlägsnades inför vägning.



Figur 3.5. Genomsnittlig mängd fasta avsättningar på fyra ringar. Två ringar placerades vid inloppet till konvektionspartiet och två ringar i mitten av konvektionspartiet.

3.4 EDS-kartläggning

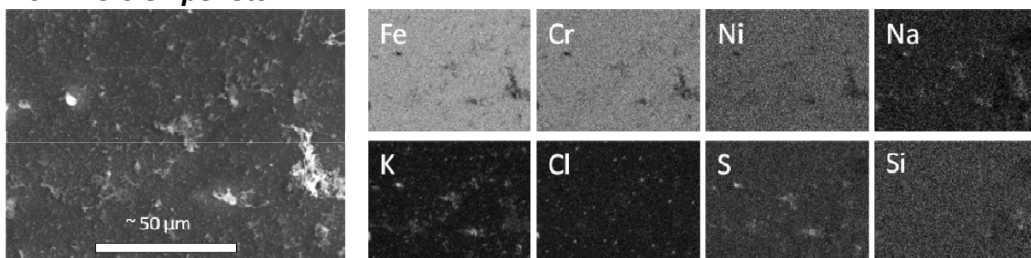
Grundämnen på substraten som placerats i konvektionspartiet identifierades med hjälp av röntgenanalys. Vid kartläggning med energidispersiv röntgenspektroskopi (EDS) kommer fördelningen av aktuellt ämne avteckna sig med olika intensitet i en bild. En svart bild betyder alltså ingen förekomst av grundämnet och ljusa områden indikerar förekomst av det aktuella grundämnet.

Figur 3.6 och Figur 3.7 visar EDS-kartläggning för de olika fallen och de två positionerna av ringarna A och B i pannan, där A avser inloppet till konvektionspartiet och B avser mitten av konvektionspartiet. Rök Gastemperaturen är ungefär 460 °C i position A och cirka 260 °C i position B.

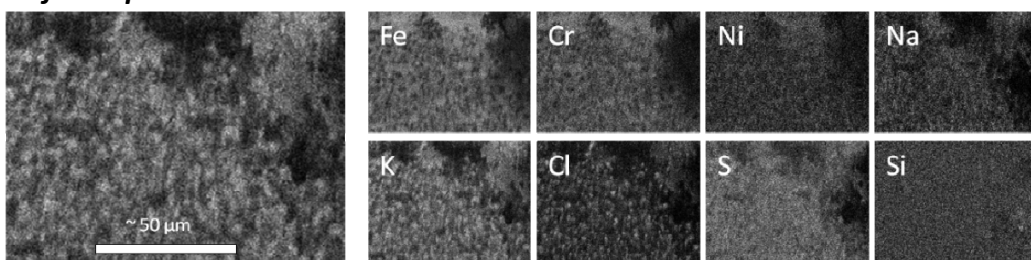
Grundämnena järn (Fe), krom (Cr) och nickel (Ni) som finns i det rostfria stålet som används som substrat visas i de tre första bilderna i den övre raden av EDS kartläggningar. Om bilden visar hög intensitet (ljusa partier) innebär det att området har en liten avsättning av aska. De övriga bilderna visar grundämnena natrium (Na), kalium (K), klor (Cl), svavel (S) och kisel (Si). I fallen med pellets med tillsatser visas även magnesium (Mg).

Figureerna visar generellt att partikelavsättningarna på substratet från början av konvektionspartiet (Figur 3.6) var större och mer oregelbundna än partiklarna från substratet som var placerat i mitten av konvektionspartiet (Figur 3.7) där de var mindre och mer punktformade. Jämfört med bilder från Obernberger [8] är de större oregelbundna partiklarna grövre flygaska och de små partiklarna är oorganiska aerosoler.

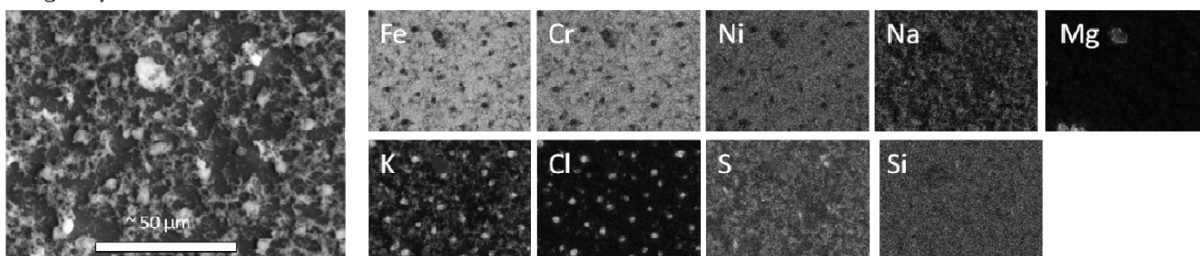
Kommersiell pellets



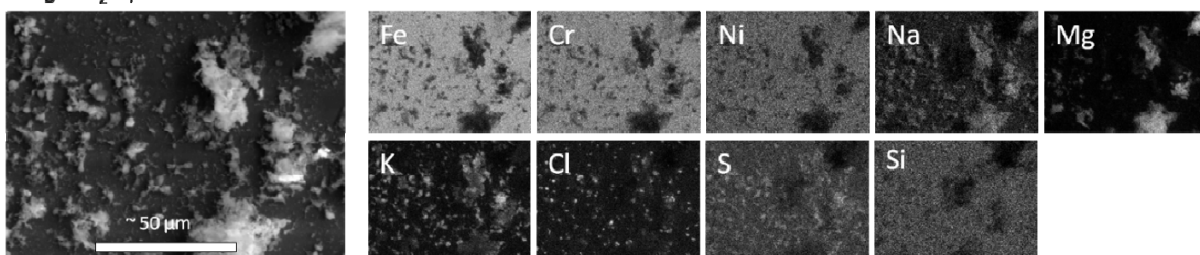
Referenspellets



MgO - prov



MgOH₂ - prov



Figur 3.6. EDS-kartläggning för de fyra olika pelletskvaliteterna vid inloppet till konvektionspartiet (A).

Det prov som uppvisar störst mängd partikelavsättningar är referenspelletsen, då speciellt i position A vid inloppet till konvektionspartiet (stor andel mörka partier i karteringarna för ämnena karakteristiska för substratet, Fe, Cr och Ni). Proven med magnesiumtillsats visade betydligt mindre avsättningar. Dock fanns det enstaka riktigt stora partiklar av magnesium i proven som troligen har gett upphov till den högre massan som registrerats på ringarna med magnesiumtillsats i pelletsen enligt Figur 3.5. Det var tydligt att huvuddelen av partikelmassan för proven med magnesiumtillsats återfanns på den nedre delen av ringarna och på substraten och det kan ha blockerat substraten från ytterligare beläggningar.

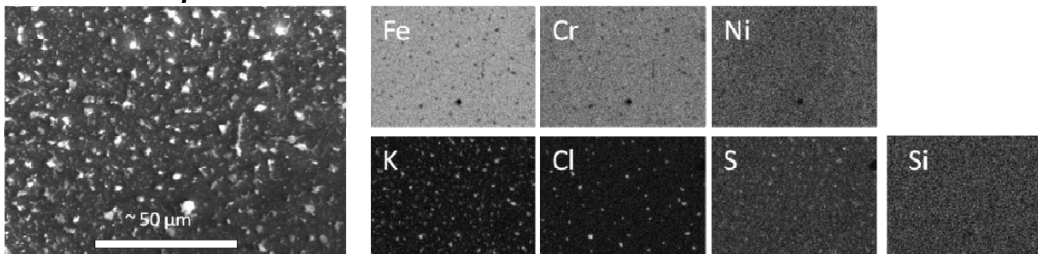
En spekulativ slutsats är alltså att de stora partiklarna inte skulle ha fastnat i konvektionstuberna om pannan haft vertikala tuber eller om rökgasflödes hastigheten varit högre och då kanske en reduktion av beläggningar kunnat uppnås. Å andra sidan visar sig den kommersiell-

la pelletsen vara allra bäst så det verkar inte behövs någon tillsats om pellets har en hög kvalitet och låg askhalt.

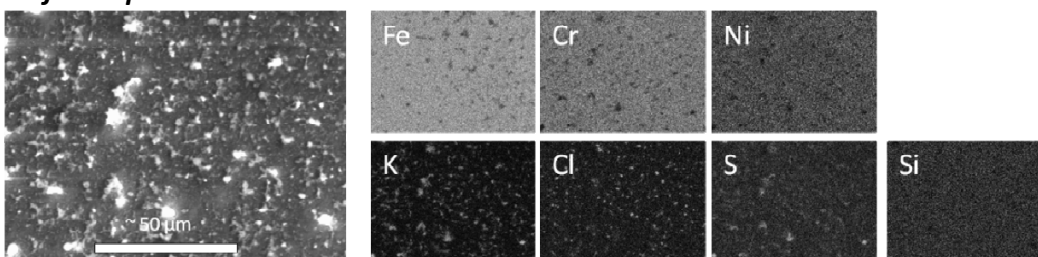
Det kan också vara så att en pellets med betydligt lägre andel magnesiumtillsats skulle fungera bättre. Partikelutsläppen för små partiklar PM 2,5 var högre med tillsats av magnesium (Figur 3.3) och detta talar också för att halterna av magnesium i pelletsen skall vara betydligt lägre.

För proven med MgO- och Mg(OH)₂-pellets återfinns större partiklar med mindre avsättningar mellan, där de största partiklarna identifieras som magnesium. På alla fyra substrat finns partiklar av kalium, klor och svavel vilket indikerar att fyndigheten består av kaliumklorid och kaliumsulfater. Mängden är störst för fallet med referenspellets i position A. I position B är skillnaden mellan de olika bränslena mindre.

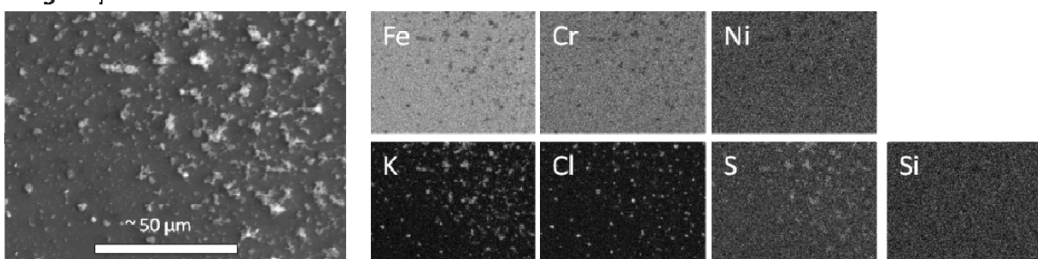
Kommersiell pellets



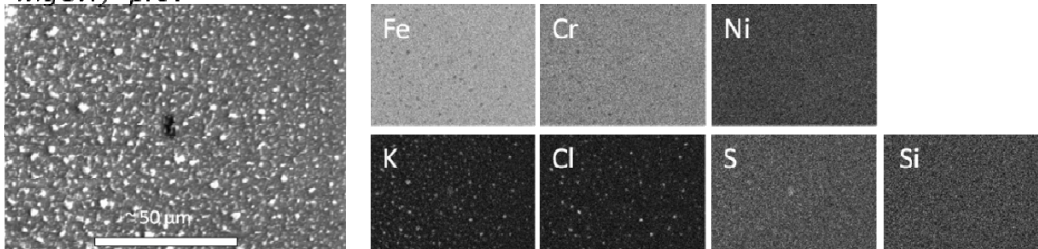
Referenspellets



MgO - prov



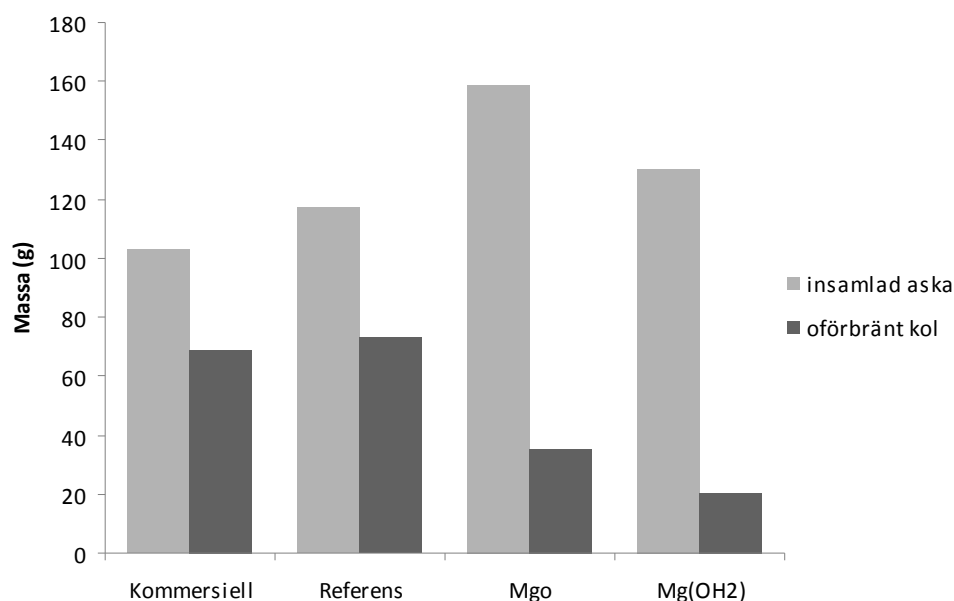
MgOH₂ - prov



Figur 3.7. EDS-kartläggning för de fyra olika pelletskvaliteterna i mitten av konvektionspartiet (B).

3.5 Askanalyser

Figur 3.8 visar den totala mängden aska som samlats in från asklåda och konvektionsparti samt mängden oförbränt för de fyra olika pelletskategorierna. Den totala mängden aska var högst för provet med MgO och näst högst för provet med Mg(OH)₂. Totala askmängden var betydligt lägre för provet med referenspellets och allra lägst för den kommersiella pelletsen. Däremot var mängden oförbränt högst i referenspelletsen och lägst i fallet med Mg(OH)₂-tillsats. Även provet med MgO-tillsats hade lägre halter oförbränt än referenspelletsen och den kommersiella pelletsen. Magnesiumtillsatsen tycks alltså ha en positiv inverkan på andelen oförbränt i askan.



Figur 3.8. Total mängd aska och viktandelen oförbränt i askan, den så kallade glödförlusten enligt CEN/TS 14775:2004 [9].

Tabell 3.1

Energiinnehållet i askan från de olika fallen beräknade under antagande att allt oförbränt utgörs av kol. Total mängd eldad pellets samt andel oförbränt redovisas också.

| | Oförbränt kol i aska [kWh] | Energiinnehåll i förbrukad pellets [kWh] | Energiförlust i aska [%] |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------|
| ComRef | 0,63 | 90,35 | 0,70 |
| Ref | 0,67 | 86,98 | 0,77 |
| MgO | 0,32 | 85,42 | 0,37 |
| Mg(OH)₂ | 0,19 | 74,89 | 0,25 |

Med antagandet att allt oförbränt i askan utgörs av kol har energiinnehållet i askan beräknats och redovisas i Tabell 3.1. Jämfört med den totala mängden eldad pellets är energimängden som finns kvar i asklådan mindre än 1 % för alla proven och skillnaden med Mg(OH)₂-tillsats utgör cirka en halv procent av energiinnehållet i pelletsen.

4 SLUTSATSER

Tillsats av MgO och Mg(OH)₂ ökade mängden flygaska och partikelutsläpp (PM 2,5). Massan av fasta beläggningar i konvektionspartiet ökade också jämfört med referenspellets utan dessa tillsatser. Dessutom bildades stora mängder flygaska i fallen med magnesiumtillsats.

Att tillsatserna bildade flygaska kan förklaras av den normalt mycket låga askhalten i träpellets och därmed är också halten av alkalimetaller låg jämfört med pellets som tillverkas av spannmål. Magnesiumtillsatsen syftar till att reagera med alkalimetaller och bilda föreningar med så hög smältpunkt att de inte fastnar i pannans konvektionsparti. Troligen är magnesiumtillsatsen för hög jämfört med mängden alkali i pelletsen.

I proven med MgO och Mg(OH)₂ var mängden tillsatser nästan tre gånger högre än den ursprungliga askhalten exklusive magnesiumtillsats. Det leder till antagandet att mängden tillsatser är högre än nödvändigt och därför orsakade stor mängd flygaska. Miles *et al.* [10] visade att problem med avsättningar från alkali vid förbränning av biobränsle börjar när andelen alkalimetaller är högre än 0,34 kg/GJ (ungefär 0,6 viktprocent). Eftersom askhalten i pelletsprov utan tillsatser är lägre än 0,6 viktprocent är alltså alkalihalten betydligt mindre än vad Miles anser ger eldningsproblem. MgO eller Mg(OH)₂ bör alltså främst tillsättas pellets eller andra biobränslen med en högre askhalt och därmed högre halt av alkalimetaller. Det bränsle som uppvisade allra lägst partikelutsläpp och minst avsättningar i konvektionspartiet var den kommersiella pelletsen.

Från SEM-analysen kan man se att mängden kalium minskar med magnesiumtillsatserna och det verkar som att principen fungerar. Dock hamnade stora mängder flygaska med hög andel magnesium i konvektionspartiet (lös flygaska har avlägsnats före den gravimetriska mätningen och före SEM-analysen av substraten). Detta kan ha förhindrat substraten från att få högre andel fasta avsättningar från bland annat kalium och klor under denna korta mätperiod som genomfördes. Det kan dock inte uteslutas att de minskade avsättningarna av kalium och klor ändå berodde på tillsats av magnesium.

Partikelutsläpp från pelletseldning består till största antalet av små partiklar (mindre än 1 µm). Genom tillsats av magnesiumoxid (MgO) minskade antalet små partiklar under 0,1 µm och antalet större partiklar ökade något. Tillsats av magnesiumhydroxid (Mg(OH)₂) ökade antalet partiklar något över hela storleksintervallet.

5 REFERENSER

- [1] A. D. Kappos, *et al.*, Health effects of particles in ambient air. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 207 (2004) s. 399 – 407.
- [2] H. Kaufmann, T. Nussbaumer, L. Baxter, N. Yang, Deposit formation on a single cylinder during combustion of herbaceous biomass. *Fuel* 79 (2000) s. 141–151.
- [3] K.O. Davidsson, L-E. Åmand, B.-M. Steenari, A.-L. Elled, D. Skilsson, B. Leckner, Countermeasures against alkali-related problems during combustion of biomass in a circulating fluidized bed boiler. *Chemical Engineering Science* 63 (2008) s. 5314 – 5329.
- [4] R.E.H. Sims, *Bioenergy options for a cleaner environment*, Book, Elsevier 2003, ISBN: 978-0-08-044351-5.
- [5] J. Lyyränen, J. Jokiniemi, E. Kauppinen, The effect of Mg-based additive on aerosol characteristics in medium-speed diesel engines operating with residual fuel oils. *Aerosol Science* 33 (2002) s. 967–981.
- [6] L.S. Bäfver, M. Rönnbäck, B. Leckner, F. Claesson, C. Tullin, Particle emission from combustion of oat grain and its potential reduction by addition of limestone or kaolin. *Fuel Processing Technology* 90 (2009) s. 353–359.
- [7] T.R. Miles, T. R. Miles Jr, L.L. Baxter, R.W. Bryers, B.M. Jenkins and L. L. Oden, Boiler deposits from firing biomass fuels. *Biomass and Bioenergy* Vol. 10. Nos 2-3. (1996) s. 125-138.
- [8] I. Obernberger, *Aerosols from small-scale biomass combustion plants*. Presentation on IEA Bioenergy Task 32. workshop Jauary 2011, Graz, Austria.
- [9] SIS, CEN/TS 14775:2004, *Fasta biobränslen - Metod för bestämning av askhalt*. 2004, SIS, Swedish Standards Institute: Stockholm, Sweden.
- [10] T.R. Miles, T.R. Miles, Jr., L.L. Baxter, R.W. Bryers, B.M. Jenkins, L.L. Oden, *Alkali deposits found in biomass power plants: a preliminary investigation of their extent and nature*, Summary report, National Renewable Energy Laboratory, Golden, USA, 1995.

RAPPORTER

- 1) Säffle biogas – Förstudie
- 2) Skogsskötselmodeller anpassade för skogsbränsleuttag – några exempel
- 3) Framtidens pelletsfabrik
- 4) Småhusens framtida utformning – Hur påverkar Boverkets nya byggregler?
- 5) Långa toppar
- 6) Ackumulerande fällaggregat i gallringsbestånd
- 7) Undersökning av efterfrågan på grön grot
- 8) Studie av storbuntaren Rogbico
- 9) Marknadspotential för sol- och biovärmesystem
- 10) Byggregler och småhustillverkare. Husens framtida utformning.
- 11) Möten med husföretag
- 12) Solvärme i nybyggda hus
- 13) Husköparens val av värmesystem – Hinder och möjligheter
- 14) Användning och vidaretransport av skogsenergisortiment
- 15) Vidaretransport av skogsenergisortiment – Tidsstudier och kostnadskalkyler
- 16) Utveckling av logistiken för skog
- 17) Transport av skogsenergisortiment – Företags- och samhällsekonomiska kostnader
- 18) Potential för skogsbränsle i Värmland – hinder och möjligheter
- 19) Ekonomi vid skogsskötsel inriktad mot energi- och industrisortiment
- 20) Biogas Säffle – Förstudie Värmlandsnäs
- 21) Småskalig rökgasrening – metoder för att minska utsläppen från småskalig bio-bränsleeldning
- 22) Tillsatser som kvalitetshöjare för pellets
- 23) Kartläggning och nulägesbeskrivning av pelletskedjan
- 24) Täckningsbidrag vid uttag av skogsbränsle i unga bestånd
- 25) Miljöeffekter av biobränslen från spån till pellets
- 26) Handbok för kombinerade sol- och biovärmesystem
- 27) Underlag för utökad besiktning av sol- och biovärmesystem
- 28) Provningsmetod för sol- och biovärmesystem
- 29) Bioenergikombinat Falun – ett systemperspektiv på kraftvärmeanläggningar
- 30) Konditionering av råvara före pelletering
- 31) Rötresten – åter till kretsloppet
- 32) Småskalig uppgradering av biogas
- 33) Teknik för småskalig elgenerering
- 34) Ett bad när som helst – Dimensioneringsråd för varmvatten
- 35) Bracke-aggregatet
- 36) Branschintervjuer, tankar om framtid
- 37) Utveckling av teknik och metoder för skörd av skogsbränsle
- 38) Eldningsresultat för pellets med tillsats av magnesium

Projekt SWX-Energi omfattar Värmlands, Dalarnas och Gävleborgs län.

Projektägare: Region Gävleborg

Delprojektansvariga: Högskolan Dalarna och Karlstads Universitet

Projektbudget: 32 miljoner kronor

Projektid: 2008-2011

www.regiongavleborg.se/verksamhet/swxenergi

Projektet delfinansieras av Europeiska Unionen.

Finansiärer

Offentliga

EU, Norra Mellansverige
Region Gävleborg
Region Dalarna
Högskolan Dalarna
Karlstads Universitet
Gävle Dala Energikontor
Värmlands Energikontor

Energimyndigheten
Banverket
Säffle kommun
Gävle Energi
Hofors Energi
Borlänge Energi
Fortum Värme AB

Privata

Neova
Mellanskog
Naturbränsle
Bruks Klöckner