

Projekt SWX-Energi

Rapport nr 21

# Småskalig rökgasrening -metoder för att minska utsläppen från småskalig biobränsleeldning

Tomas Persson och Kaung Myat Win



En investering för framtiden





## FÖRORD

Rapporten **Småskalig rökgasrening - metoder för att minska utsläppen från småskalig biobränsleeldning** är framtagen av Tomas Persson och Kaung Myat Win inom delprojekt Sol- och biovärme.

Rapportens syfte är att ge en översikt över olika metoder för att minska utsläpp vid småskalig eldning av biobränsle och att kvantifiera möjliga utsläppsminskningar med tekniken.

Förutom aktiva metoder som elektrostatiske filter och katalysatorer för att rena rökgaserna inventeras också andra metoder för att minska emissionerna:

- förbättrad styrning
- gassensorer
- utbildning och information
- kombination med solvärme
- effektivare eldstäder.

Slutsatsen är, att det snabbaste sättet att minska emissionerna från småskalig biobränsleeldning kan ske genom utbildning av dem som eldar med ved.

Tekniker som, förutom emissionsminskningar, också ger högre verkningsgrad och enklare handhavande, kan ha lättare att nå marknaden än tekniker, som enbart minskar emissionerna. De ger ett ekonomiskt incitament

2011-04-06

Lars Persson  
Projektchef, SWX-Energi  
0653-10377, 070-2117896  
[lars.persson@gde-kontor.se](mailto:lars.persson@gde-kontor.se)

Tomas Persson  
Projektledare, delprojekt Sol och bio  
023-778717  
[tpe@du.se](mailto:tpe@du.se)

## SAMMANFATTNING

Emissioner (utsläpp) från bibränsleeldning och därtill hörande hälsorisker har varit föremål för stora forskningssatsningar. Detta arbete avser att sammanställa olika åtgärder som kan vidtas inom småskalig bibränsleeldning för att ytterligare minska utsläppen. Arbetet bygger på en litteraturstudie där databaser och Internet har genomskotts efter litteratur och publikationer, som redovisar olika tekniker för utsläppsminskningar. Undersökningen ska ge en överblick över olika tekniker för emissionsminskning och dessutom försöka kvantifiera minskningspotentialen med respektive teknik.

Genomgången visar på en rad olika möjligheter för att minska emissionerna. Det innefattar primära åtgärder som optimal eldstadsutformning och att elda rätt. Stora minskningar kan också göras genom att styra lufttillförseln på ett bra sätt, till exempel genom stegad lufttillförsel och användning av gassensorer. Mer avancerad teknik för att styra start och stopp samt eventuell effekttreglering av brännare kan också minska emissionerna. Solvärme minskar emissionerna under sommarhalvåret genom att ersätta låglastdriften, som har högst emissioner per producerad kWh. Gemensamt för ovanstående åtgärder är, att de också ökar systemens verkningsgrad och därmed finns ett ekonomiskt motiv till att genomföra åtgärderna.

Tekniker för aktiv rening, som elektrostatiske filter och katalysatorer, har svårare att komma ut på marknaden, då de inte ger några ekonomiska vinster för brukaren. Här krävs i så fall att myndighetskraven skärps.

För att minska emissionerna från småskalig eldning ur ett nationellt perspektiv är det främst från den småskaliga vedeldningen som emissionerna måste minskas. Här kan man snabbast nå minskningar genom utbildning av dem som eldar med ved samt genom att införa ackumulatortankar. Emissioner från lokaleldstäder blir svårast att minska då det fortfarande installeras icke miljögodkänd utrustning och då livslängden för dessa eldstäder är mycket lång.

# INNEHÅLL

1	INTRODUKTION .....	7
1.1	Bakgrund .....	7
1.2	Syfte och Metod .....	7
1.3	Förklaring av emissionsbegrepp.....	7
2	EMISSIONSFAKTORER FÖR OLIKA KÄLLOR .....	9
3	ATT ELDA RÄTT .....	11
4	ELDNING MOT ACKUMULATORTANK.....	12
5	KOMBINATION MED SOLVÄRME .....	13
6	ELDSTADSUTFORMNING.....	15
6.1	Stegad lufttillförsel.....	15
6.2	Rökgasåterföring .....	16
7	FÖRBÄTTRADE STYRALGORITMER .....	17
7.1	Underhållsfyr.....	17
7.2	ON/OFF-reglering och modulerande brännarstyrning.....	17
7.3	Gassensorer .....	18
7.4	Styrning på flamtemperatur.....	19
8	KATALYSATORER .....	20
9	TILLSATSÄMNEN.....	21
10	RENINGSTEKNIK.....	22
10.1	Rökgaskondensering .....	22
10.2	Rökgasbrunn.....	23
10.3	Elektrostatiska filter .....	24
10.4	Saltspärr.....	24
11	FÖRGASNINGSTEKNIK.....	25
12	DISKUSSION .....	26
13	SLUTSATSER.....	29
14	REFERENSER.....	30



# 1 INTRODUKTION

## 1.1 Bakgrund

Emissioner (utsläpp) från bibränsleeldning och därtill hörande hälsorisker har varit föremål för stora forskningssatsningar bland annat inom forskningsprogrammet "Hälsa och Luftkvalitet". Eldningstekniken har förbättrats för vedeldning genom införande av ackumulatortankar och keramiska insatser, som effektiviserar eldningen och minskar utsläppen. Pelletseldning har tillkommit som en ny företeelse och med ökad användning av bibränsle blir det allt viktigare att emissionerna kan minskas.

## 1.2 Syfte och Metod

I den här rapporten sammanställs olika åtgärder, som kan vidtas inom småskalig bibränsleeldning, för att ytterligare minska utsläppen. Arbetet bygger på en litteraturstudie där databaser och Internet har genom sökts efter litteratur och publikationer, som redovisar olika tekniker för utsläppsminskningar. Undersökningen ska ge en överblick över olika metoder för emissionsminskning och dessutom försöka kvantifiera minskningspotentialen med respektive åtgärd.

## 1.3 Förklaring av emissionsbegrepp

### *Partiklar*

Fokus på hälsofarliga utsläpp har alltmer kommit att riktas mot partiklar och då framförallt mot de mindre partiklarna, som kan tränga långt ner i andningsvägarna. Gasformiga emissioner och partiklar brukar anges i mg/MJ bränsle eller mg/Nm<sup>3</sup> (normalkubikmeter rökgas vid 20°C, normerat till ett luftöverskott på 10 %) Partiklar brukar dessutom delas upp i PM<sub>10</sub>, som innehåller alla partiklar mindre än 10 µm (1 µm = 10<sup>-6</sup> m) och PM<sub>2,5</sub>, som innehåller alla partiklar mindre än 2,5 µm. Partikelutsläpp härrör från askpartiklar, sot, och oförbrända kolväten. Kolväten, som är gasformiga vid normal rökgastemperatur, fångas inte upp om mätningen görs med uppvärmt filter i skorstenen, men dessa kolväten kondenserar till partiklar när rökgaserna blandas med uteluften. Uppmätta värden blir därför högre när mätningarna görs på utspädd kall rökgas. Partiklarna från bibränsleeldning utgörs huvudsakligen av partiklar under PM<sub>2,5</sub>.

### *Kolväten*

Kolväten är ett samlingsnamn för ett stort antal olika organiska föreningar och beroende på temperatur kan de befinna sig i gasfas eller vätskefas. Ett sätt att mäta alla kolväten, som är gasformiga vid cirka 180°C som vanligtvis benämns TOC, (totalt organiskt kol) är, att använda en FID (flamjoniseringsdetektor) som ger resultatet i propanekvivalenter. Totala kolväten (THC) redovisas ibland och troligen är det likvärdigt med TOC. OGC förekommer också i vissa referenser och betyder organiskt gasformigt kol. Detta är samma som det i gasfas före-

kommande TOC, men är omräknat till koncentrationen av kolatomer i mg/Nm<sup>3</sup> för en specifik syrehalt.

Anges enbart THC eller TOC kan man alltså inte säga något om hälsofaran eller bidraget till växthuseffekten då man inte vet andelen av de olika substanserna. Vissa kolväten är kraftigt cancerogena, till exempel benso(a)pyren, men även metan som inte är giftig för människor, men som är en kraftig växthusgas ingår i TOC. Bensen, NMVOC och PAH är andra delar av gruppen kolväten. VOC är flyktiga organiska föreningar, men dess exakta avgränsning och innehåll tycks skilja mellan standarder i USA och i Europa.

Med en mätmetod som benämns FTIR kan man med hjälp av gasernas optiska egenskaper särskilja olika komponenter i gruppen kolväten. Kolväten kondenserar i rumstemperatur och klumpar ihop sig med andra partiklar då de släpps ut i luften.

### ***Kolmonoxid***

Kolmonoxid eller koloxid, CO är en gas, som bildas vid ofullständig förbränning. Den är luktlös och är farlig på så sätt att den hindrar syreupptagningen och kan därför leda till kvävning. Kolmonoxid och kolväten bildas alltså båda under dålig förbränning, och dess koncentration är alltså som högst vid upptändning och nedsläckning.

### ***Kväveoxider***

Samlingsnamnet för kväveoxider (NO och NO<sub>2</sub>) är NO<sub>x</sub>. Kväveoxider är skadligt för lungorna, bidrar till försurning och bildandet av marknära ozon. Bildandet av NO vid förbränning har främst två huvudkällor, det ena är oxidation av kväve i bränslet samt oxidation av kväve i luften, såkallad termisk NO<sub>x</sub>.



## 2 EMISSIONSFAKTORER FÖR OLIKA KÄLLOR

Inom forskningsprogrammet "Hälsa och Luftkvalitet", med underprogrammet "Biobränsle, hälsa, miljö" (BHM) har omfattande mätningar av emissioner genomförts för olika typer av eldningsutrustningar [1]. Dessa emissionsfaktorer redovisas som min-, median- och maxivärden för olika eldningsutrustningar och de ligger till grund för de nationella beräkningarna av årliga emissioner. I Tabell 2.1 redovisas en sammanställning av dessa emissionsfaktorer. Vi kan se att de icke miljögodkända vedpannorna har de högsta utsläppen och att pelletseldning i regel har de lägsta utsläppen. Det är endast utsläpp av NO<sub>x</sub> som ligger på ungefär samma nivå för alla kategorier.

Tabell 2.1.

Emissionsdata (mg/MJ) för olika eldningsutrustningar sammanställda inom BHM-projektet [1].

		CO	Bensen	VOC	NMVOG	Metan	Partiklar	PAH	Benso(a) -pyren	NO <sub>x</sub>
Icke BBR-godkänd panna -pyreldning	Min	5 200	12	6 800	2 000	1 200	350	17	0,23	17
	Median	12 000	52	6 800	2 000	1 300	1 300	79	0,23	36
	Max	16 000	91	6 800	2 000	4 800	2 200	300	0,23	72
Icke BBR-godkänd panna -braseldning	Min	2 400	11	270	150	81	73	1,4	0,002	64
	Median	4 500	18	460	280	190	120	10	0,07	68
	Max	8 900	71	1 000	560	610	260	34	0,38	71
Icke BBR-godkänd panna +ackumulatortank	Min	4 100	22	1 100	430	360	87	2,3	0,09	34
	Median	7 700	44	1 100	430	540	95	15	0,09	63
	Max	8 300	66	1 100	430	670	100	23	0,09	67
BBR-godkänd panna +ackumulatortank	Min	160	0,01	2,1	1,3	0,8	11	0,04	0,001	43
	Median	1 300	2,1	330	180	22	44	1,2	0,02	100
	Max	8 700	130	1 900	930	1 000	450	24	0,49	130
Pelletseldning	Min	30	0,04	1,5	1,0	0,55	10	0,0	0,00001	34
	Median	200	0,14	4,6	2,8	1,8	28	0,2	0,001	68
	Max	1 700	11	37	23	14	66	8,5	0,12	90
Lätta vedeldade lokaleldstäder	Min	750	1,7	64	16	11	22	0,5	0,004	74
	Median	1 900	6,9	140	56	88	58	1,8	0,01	82
	Max	4 700	47	280	260	230	180	17	0,27	110

I Tabell 2.2 har utsläppen viktats mot antal installerade eldningsutrustningar av varje slag. Uppskattad energianvändning och total mängd utsläpp har beräknats. Även andel av utsläppen, som varje typ av eldningsutrustning bidrar med, har beräknats. Här kan vi se, att de icke miljögodkända pannorna helt dominerar emissionerna. Då vi kan förvänta oss att pannorna förr eller senare kommer att bytas mot miljögodkända pannor, kommer så småningom lokaleldstäderna att framstå som de största utsläppskällorna. Sett ur detta perspektiv är det alltså lokaleldstäder, som kommer att utgöra de största utsläppskällorna på längre sikt, och där åtgärdsbehovet därför är som störst. Pelletseldning framstår ur denna synvinkel som helt

oproblematisht, men då den lämpar sig bra även i mer tätbebyggda områden och då den förväntas öka kraftigt inom Europa, kan det även vara värt att beakta möjliga emissionsminskningar även för denna kategori.

Tabell 2.2

Beräknade totala emissioner från småskalig biobränsleeldning i Sverige och dess fördelning på respektive eldningsutrustning [1].

	CO	Bensen	VOC	NMVOC	Metan	Partiklar	PAH	Benso- (a)pyren	NO <sub>x</sub>
Icke BBR-godkänd panna -pyreldning (7 500 st)	9%	9%	32%	20%	19%	26%	25%	13%	1%
Icke BBR-godkänd panna -braseldning (142 500 st)	60%	62%	41%	53%	52%	46%	59%	66%	36%
Icke BBR-godkänd panna+ackumulatortank (10 000 st)	7%	11%	7%	6%	11%	2%	6%	7%	2%
BBR-godkänd panna +ackumulatortank (70 000 st)	7%	3%	12%	14%	2%	7%	3%	8%	21%
Pelletseldning (67 000 st)	1%	0%	0%	0%	0%	4%	1%	1%	13%
Vedeldade lokaleldstäder (695 000 st)	16%	15%	8%	7%	16%	14%	7%	6%	27%
<b>Totalt (ton/år)</b>	<b>128 000</b>	<b>500</b>	<b>19 030</b>	<b>8 858</b>	<b>6 182</b>	<b>4 530</b>	<b>288</b>	<b>1,66</b>	<b>3 348</b>

### 3 ATT ELDA RÄTT

Vid vedeldning är emissionsmängderna kraftigt beroende av hur man eldar och bränslets beskaffenhet. Det gäller alltså att använda torr ved och att ha rätt lufttillförsel. Någon av de kraftfullaste åtgärderna för att minska emissionerna kan därför vara, att informera om hur man ska elda ved. Stig Jahnsson [2] går så långt, att han vill införa ett körkort för vedeldning. Han menar, att det mest kostnadseffektiva sättet att minska emissionerna är utbildning och teknisk support till vedeldare samt verkningsfull kontroll med sanktionsmöjligheter.

De viktigaste punkterna att följa, som dessutom bör kontrolleras av sotarväsendet, är enligt Jansson:

- 1) Använd torr ved med fuktkvot lägre än 20 % (fukthalt 16-17%). Veden ska torkas under våren.
- 2) Lufttillförseln ska vara tillräcklig. Om "blanksot och tjära" bildas i konvektionsparti och skorsten är lufttillförseln för låg.
- 3) Askan ska endast innehålla minimala rester av oförbränt material.
- 4) Tryckimpregnerat virke får inte eldas.

Fältmätningar [3] visar, att skillnaden i emissioner mellan BBR-godkända pannor med ackumulatortank och icke godkända pannor som braseldas är ganska liten. Om pannan istället för braseldning, eldas med strypt drag, så blir emissionerna mycket höga [3].

Enligt Tabell 2.1 är pyreldning, det vill säga, att mata pannan full med ved och sedan strypa draget för att reglera effekten, det ur miljösynpunkt sämsta sättet att elda en panna. Braseldning är det ur emissionssynpunkt effektivaste sättet att elda en icke miljögodkänd vedpanna. Det innebär, att små vedinlägg görs för att anpassa effekten mot lasten. Kan brukaren övergå till en sådan eldning jämfört med att pyrellda, kan emissionerna minska avsevärt och detta utan att det kostar någonting. Det är enligt referens [1] tom bättre att braselda än att elda en icke miljögodkänd panna mot ackumulatortank. Av bekvämlighetsskäl kan det dock vara bättre att välja en lösning med ackumulatortank. Enligt Tabell 2.1 kan man genom att braselda sin panna jämfört med pyreldning minska alla emissioner utom  $\text{NO}_x$  med mellan 60 och 90 % beräknat på medianvärdet.  $\text{NO}_x$  fördubblas dock med denna åtgärd.

Under tändningsfasen sker stora utsläpp och de varierar med brukaren och vilken teknik som används. I eldstäder med keramisk insats kan emissionerna under tändningsfasen till och med vara högre än för icke miljögodkända pannor. Detta måste alltså kompenseras genom att använda en ackumulatortank så att antalet tändningar minskar och så att varje eldningscykel kan förlängas.

Information till och utbildning av eldaren har en avgörande betydelse för emissionerna från vedeldning. Pannor och kaminer med automatiskt styrd lufttillförsel med hjälp av gassensorer kan vara ett steg att minska inverkan från brukarbeteendet, men tekniken måste vidareutvecklas ytterligare [18] (se avsnitt 7.3).

## 4 ELDNING MOT ACKUMULATORTANK

Tabell 2.1 visar att vedeldning i icke BBR-godkända pannor (Boverkets Byggregler) mot ackumulatortank ger sänkta emissioner jämfört med pyreldning. Dock är det förvånande nog inte lika effektivt som braseldning. Komplettering med ackumulatortankar kan dock motiveras av bekvämlighet och ger jämfört med pyreldning en rejäl minskning av emissionerna. CO minskar med cirka 36 % baserat på medianvärdet. Övriga gasformiga utsläpp utom bensen och  $\text{NO}_x$  samt partikelutsläpp minskar med mellan 60 och 90 % baserat på medianvärdet. Bensen minskar med 15 % och  $\text{NO}_x$  ökar med 75 %.

Det är emellertid självklart att använda ackumulatortank tillsammans med nya miljögodkända vedpannor. Livslängden för en ackumulatortank är mycket lång och om radiatorer och varmvattenberedning kopplas till ackumulatortanken ökar flexibiliteten för att i framtiden även ansluta solvärme, eller andra energikällor.

När det gäller pelletseldning mot ackumulatortank är det tveksamt om det kan motiveras om systemet inte samtidigt kompletteras med solvärme. Antalet start/stopp för brännare som går med ON/OFF kan visserligen minskas, men samtidigt ökar värmeförlusterna vilket försämrar driftsekonomin. Utan solvärme kan man inte spara in pannans värmeförluster under sommarhalvåret. Dock bedöms de extra värmeförlusterna från ackumulatortanken vara små i jämförelse mot pannförlusterna enligt mätningar gjorda vid ÄFAB [4] och vinsten av färre starter och stopp i form av minskat slitage mer än väl kompenseras av de ökade förlusterna. Å andra sidan visar kostnadsanalyser att solvärme i kombination med pelletseldning nästan är lönsamt och kan man motivera kostnaden för ackumulatortanken på annat sätt är det definitivt lönsamt att komplettera pelletseldning med solvärme [5, 6].



## 5 KOMBINATION MED SOLVÄRME

Genom att komplettera pelletseldning med solvärme kan pannan vara avstängd då solvärmen ensamt täcker värmebehovet. Detta betyder, att pannan normalt inte behöver används under sommarmånaderna, då värmeförluster och rökgasemissionerna per producerad kWh är som högst. Enligt en studie baserad på verkliga konverteringar av bränslebaserade uppvärmningssystem [7] har energibesparingen, efter att solvärme installerats, varit betydligt större än den energimängd som solfångarna har levererat. Resultaten stöds även av mätningar och simuleringar från referenser [6, 8, 9]. Genom att använda en solvärmd ackumulatortank undviks pannvärmeförluster under sommarperioden.



Enligt beräkningar baserade på energipriser från 2006 [6] är solvärme tillsammans med pelletseldning nu precis på gränsen till att vara lönsamt. Det innebär, att vi troligen kommer att se en ökad marknad för kombinationen solvärme och pelletseldning.

Att komplettera solvärme med vedeldning kan vara lönsamt om alternativet är att använda el. Men eldar man ved även sommartid är det främst bekvämligheten, som måste värderas, för att investeringen ska kunna räknas hem.

Enligt referenser [6, 10] kan CO-emissionerna (räknat som kg/år) minskas med 45 % om pelletseldning kombineras med solvärme. Detta förutsätter, att kombipannan byts mot en laddpanna med liten vattenvolym och kopplas mot en välisolerad solvärmd ackumulatortank.

Inga studier finns om hur stora utsläppsminskningar man kan nå med solvärme i vedeldade system.

Framtidsscenariet är att kombinationer med solvärme blir mycket lönsamt med tanke på ökande energipriser. Dessutom kan det motiveras med ökad bekvämlighet.



## 6 ELDSTADSUTFORMNING

Vid eldning med bibränsle har eldstadens utformning en avgörande betydelse för förbränningsresultatet och därmed emissionerna. Miljögodkända vedpannor innehåller en keramisk insats, som ger effektivare förbränning och emissioner av partiklar uppges minska med 54 %, kolväten med 70 % och CO med 83 % baserat på medianvärdena i Tabell 2.1.

En annan viktig faktor för förbränningsresultatet är att tillåta minsta möjliga lufttillförsel till glödbädden för att minimera medryckningen av fast material och att minska avgången av flyktiga organiska ämnen [11, 12]. Tillräcklig uppehållstid och temperatur av förbränningsgaserna i brännkammaren har också betydelse för att få en god förbränning.



### 6.1 Stegad lufttillförsel

Stegad lufttillförsel innebär att lufttillförseln sker i flera steg och att förgasning av bränslet i bädden sker med så lite luft som möjligt. Förbränningen sker med sekundärluft i en väl tilltagen förbränningskammare med god turbulens.

Enligt mätningar av Oser och Nussbaumer [13] kan förbränningen effektiviseras och emissionerna minskas vid tillämpning av stegad lufttillförsel. En konventionell undermatad pelletspanna med effekten 100 kW vidareutvecklades och användes som referens. Partikelemissionerna kunde minskas med 34 % vid fullast och med hela 86 % vid 20-procent last. CO ökade dock med 190 % vid fullast, men redan vid 50 % last minskade CO med 71 % och vid

20 % -last med hela 87 % jämfört med referensspannan. Då drifttiden på dellast torde bli dominerande, ser tekniken ut att ha en potential att kunna minska emissionerna rejält.

Forskning på hur emissionerna påverkas av pelletsbrännarens konstruktion har också genomförts vid ETC i Piteå [14]. Mätningar och simuleringar har visat, att för att minska partikelemissionerna ska omblandningen i förbränningszonen ökas. Dessutom ska förbränningstemperaturen i glödbädden minskas och temperaturen i sekundära förbränningszonen maximeras. Fördjupade studier [15] av hur temperaturen och uppehållstiden i brännkammaren påverkade emissionerna visade att partikelemissionerna räknat som mg/MJ inte påverkades av uppehållstiden, men däremot minskade antalet partiklar.

## 6.2 Rökgasåterföring

Rökgasåterföring till små pellets pannor för villabruk har testats i två olika studier. Dels genom att försöka minska NO<sub>x</sub> emissioner [16], dels för att kunna reducera förbränningseffekten och ändå bibehålla en god förbränning [17]. Försöken med att minska NO<sub>x</sub>-emissionerna [16] resulterade i en minskning av NO<sub>x</sub> med som mest 21%, men samtidigt ökade CO-utsläppen kraftigt. Försök gjordes också att samtidigt tillföra tertiärluft vid lågans topp, men det hjälpte inte för att minska CO-emissionerna.

Försöken att med rökgasåterföring kunna sänka förbränningseffekten i en pelletsbrännare [17] med fortsatt god förbränning hade målsättningen att kunna elda en pelletsbrännare steglöst mellan 1 till 15 kW. Om detta var möjligt, skulle behovet av att starta och stoppa brännare minska kraftigt, med minskade emissioner som följd. Flera olika prototyper provades och man hade stora svårigheter att kunna styra brännaren på ett adekvat sätt. Vissa mätningar visade att NO<sub>x</sub> kunde halveras med acceptabla CO- emissioner, men man klarade inte att sänka förbränningseffekten så mycket som man hade hoppats på. Man upptäckte också problem med att pannverkningsgraden minskade bland annat genom värmeförluster från rökgasåterföringssystemet. Författarna var efter försöken mycket tveksamma till om rökgasåterföring var en framkomlig väg för att kunna bygga en kraftigt modulerande pelletsbrännare.



## 7 FÖRBÄTTRADE STYRALGORITMER

Pelletsbrännare justeras idag manuellt genom att bränslematning (skruvhastighet) och lufttillförsel (fläktvarvtal) injusteras som konstanta inställningar vid installation av pannan. Tillkommande störningar i form av variationer i bränslekvalitet och dragförhållanden kan sedan påverka luftöverskottet så att emissionerna ökar. Brännarens till- och frånslag styrs också vanligtvis på ett enkelt sätt med en temperaturgivare placerad i pannans vattenmantel. Forskningen visar, att det finns en potential att minska emissionerna både genom effektivare styrning av förbränningen via gassensorer [18] och genom stegad lufttillförsel [11, 14], men också genom att förbättra styrningen så att antalet start och stopp av brännaren minskas [6, 10, 19, 20]. Detta är åtgärder som också kan öka systemverkningsgraden och därför också drivas ur ett ekonomiskt perspektiv. En total översyn av hur förbränningsanläggningar och uppvärmningssystem styrs i Storbritannien visade att upp till 20 % av energibehovet kan sparas genom att optimera styrfunktionerna [21].

### 7.1 Underhållsfyr

En undersökning av hur pelletsbrännare arbetar under låglastdrift, då endast varmvattenbehov föreligger, visar, att emissioner av oförbränt kan vara mycket höga under sådana driftsförhållanden [20]. Resultaten från mätningar av tre objekt med underhållsfyr och två objekt med el-tändning visar att brännare med underhållsfyr jämfört med elektrisk tändning får mellan 20 och 60 gånger högre utsläpp av OGC vid denna låglastdrift. Utsläpp av partiklar  $PM_{2,5}$  var mellan 10 och 75 gånger högre med underhållsfyr och utsläppen av CO var mellan 5 och 13 gånger så höga med underhållsfyr. Underhållsfyr bör alltså undvikas, speciellt under låglastdrift.

### 7.2 ON/OFF-reglering och modulerande brännarstyrning

Styrning av pelletsbrännare sker ofta med ON/OFF-reglering med en temperaturgivare placerad i pannan eller ackumulatortanken. Minskat antal start och stopp kan framför allt minska emissioner av oförbränt, men även verkningsgraden kan ökas. Det sänker också emissionerna totalt sett, dock inte när de presenteras som mg/MJ bränsle.

I studien [6, 10, 19, 22] undersöks bland annat olika styralgoritmer för pelletskaminer. ON/OFF-reglering baserad på rumstemperaturen jämförs med en variant av effektmodulerande styrning där förbränningseffekten varieras för att hålla konstant rumstemperatur. Simuleringsresultat visade, att CO-emissionerna (mg/MJ) kunde minskas mellan 9 och 33 % genom att använda modulerande styrning [19]. Årsverkningsgraden kunde också ökas med upp till cirka 10 procentenheter om kaminen var väl injusterad vid låga förbränningseffekter så att luftöverskottet begränsades.

I studien undersöktes också hur en pelletspanna kunde effektiviseras genom olika åtgärder. En parameterstudie visar, att de årliga CO-emissionerna (kg/år) kunde minskas med 24 % genom

att använda modulerande brännarstyrning [10]. Förbättrad reglering, som minskar antalet start och stopp av brännaren, kan alltså minska CO-emissionerna avsevärt.

När en pelletspanna kopplas mot en solvärmd ackumulatortank måste pelletsbrännaren styras av temperaturgivare i ackumulatortanken. Då kopplas pannan automatiskt från när solvärmen ensam täcker värmebehovet. Det förekommer både en- och två-givarstyrningar för start och stopp av pannan. En-givarstyrning har i vissa fall fungerat tillräckligt bra och i andra fall mindre bra, men teoretiskt bör två-givarstyrning alltid ge längre gångtider för brännaren och säkerställa att tanken laddas mellan två angivna områden.

Modulerande styrning av pelletspannor kopplade till ackumulatortank är svårt, eftersom tidsfördröjningen mellan att brännarens effekt ändras och att temperaturen vid givaren i tanken ändras är mycket stor. Detta leder till att brännareffekten lätt kommer i ofas och kan leda till att brännaren endast går ON/OFF trots den modulerande styrningen. Modulerande brännarstyrning i kombination med ackumulatortank kräver ytterligare utveckling och troligtvis måste brännarens effekt styras av en givare i pannan, medan start och stopp styrs av givare i ackumulatortanken.

I en annan simuleringsstudie har system med solvärme och pelletsbrännare studerats [23]. I studien undersöks bland annat hur antalet start/stopp påverkas av olika åtgärder. Många olika alternativa styrprinciper undersöks för en pelletspanna kopplad till en ackumulatortank. Antalet start/stopp för de olika reglerprinciperna varierar mellan 900 och 2700 st/år. De mest gynnsamma strategierna bygger på att använda två separata givare för start och stopp av brännaren i kombination med modulerande brännareffekt. Från föregående studie [6, 10] vet vi, att minskat antalet start och stopp minskar CO-emissionerna på årsbasis.

### 7.3 Gassensorer

Gassensorer gör det möjligt att reglera förbränningen utifrån förbränningsförutsättningarna. Genom att använda en lambdasond, som mäter syrehalten i rökgaserna, kan syrehalten hållas konstant under driften. Det kvarstående problemet är att den optimala syrehalten varierar med driftsförutsättningarna (förbränningseffekt, bränslesammansättning och renhetsgrad). Därför måste syrehalten ställas relativt högt. Genom att kombinera en syresensor med en sensor för oförbränt (CO) kan man hela tiden optimera syrehalten så att onödigt luftöverskott undviks.

I referenser [18, 24, 25] har man utvecklat regleralgoritmer för att styra förbränningen i pelletsbrännare som utrustats med CO- och O<sub>2</sub>-sensorer. Slutsatsen från projektet är, att den utvecklade reglerstrategin, som använder både CO- och O<sub>2</sub>-sensorer sänker emissionerna från pelletseldning och ökar verkningsgraden jämfört med enbart O<sub>2</sub>-styrning och traditionell reglering. Framförallt minskar CO-emissionerna vid eldning av barkpellets. Då är reduktionen av CO cirka 60 %. NO<sub>x</sub> kunde minskas med 8-15 %. En verkningsgradsökning på cirka 5 % uppmättes för testcykeln. Enbart O<sub>2</sub>-styrning gav inte högre verkningsgrad och lägre emissioner, eftersom O<sub>2</sub>-halten måste hållas lite högre för att klara varierande förbränningseffekt. Styrningen har även provats i en vedpanna, men här krävs ytterligare utveckling.

Problematiken kring styralgoritmerna är bland annat, att sensorerna driver och inte är långtidsstabila, vilket kräver att regleringen aktivt söker efter minimum. Annan problematik är att livslängden för givarna är relativt kort. Utveckling av givare med längre livslängd sker dock

och är nödvändig för att tekniken skall kunna marknadsintroduceras. I rapporten [18] ges en hel del praktiska råd vid utveckling av styralgoritmer. Ett liknande projekt har genomförts i Österrike med resultaten presenterade i en tyskspråkig rapport [26].

#### 7.4 Styrning på flamtemperatur

Förbränningstemperaturen kan mätas med en temperaturgivare. Den är betydligt mera pålitlig och långtidsstabil än gassensorer och genom avancerade algoritmer kan förbränningstemperatur användas för att styra luftmängden. Tekniken med att styra på en temperaturgivare finns bland annat på lite mer avancerade pelletskaminer för att styra förbränningsluftflödet. Fördelen är, att en temperaturgivare är betydligt mer robust än gassensorer. Korpela *et al.* [27] har gjort försök med en temperaturgivare placerad i förbränningskammaren tillsammans med en datormodell som beräknar syrehalt och CO-emissioner för att styra förbränningen effektivare. Fyra olika metoder för att styra förbränningen studerades för två pelletsbrännare och slutsatserna var att CO-emissionerna inte kunde minskas i försöken, men att verkningsgraden kunde ökas. Det anses dock finnas en potential till att minska emissionerna, men att det kräver en hel del ytterligare intrimning för respektive typ av brännare och panna. Bland annat rapporterades problem med varierande dragförhållanden som algoritmerna inte kunde kompensera för.



## 8 KATALYSATORER

Katalysatorer för vedpannor kan öka förbränningen och minska emissionerna. De monteras före pannans konvektionsparti och arbetar vid cirka 600°C. Ett problem med tekniken är att katalysatorn tappar effektivitet med tiden, speciellt med avseende på kolväten. Men man anser, att det går att tillverka katalysatorer med en livslängd på mellan två och tio år, beroende på vad de får kosta. Ett annat marknadsrelaterat problem är att de normalt inte ökar verkningssgraden, och därför inte ger någon ekonomiskt vinning för kunden. Ett genomslag för tekniken handlar därför främst om emissionskrav från myndigheterna. KTH har länge jobbat med utveckling av katalysatorer för vedeldning och katalysatorerna har testats vid TPS i Studsvik och Ved & Solteknik i Långshyttan AB [28-31].

En katalysator för att effektivisera förbränningen i en modern vedpanna med keramisk eldstad har testats inom projektet "BHM, biobränsle, hälsa, miljö" vid TPS i Studsvik [32]. Katalysatorn installerades efter den keramiska insatsen där rökgastemperaturen är cirka 600°C. En katalysator oxiderar kvarvarande gasformiga kolföreningar i förbränningsgaserna, men den huvudsakliga problematiken är, att de kommersiellt tillgängliga katalysatorerna relativt snabbt tappar oxidationsförmågan. Initialt minskade mängderna CO och kolväten (THC) i rökgaserna med 80 respektive 60 %. Efter en eldningssäsong hade aktiviteten mot CO och THC minskat till 40 respektive 25 %. Ett positivt resultat var dock att det var främst reduktionen av metan som försämrades. Hälsosofarliga substanser som VOC och PAH var fortfarande låga efter ett års eldning.

För att katalysatorn ska fungera även under startfasen, har katalysatorn värmts med el innan antändning av veden. Detta har enligt mätningar reducerat emissionerna av CO under de första 10 minuterna av tändningsfasen med 67 % [28].

Två katalysatorer utan dyra ädelmetaller har testats hos Ved & Solteknik i Långshyttan AB [33]. Här mättes enbart CO och NO<sub>x</sub> för den ena katalysatorn och CO halten (ppm) kunde minskas något, men rökgastemperaturen ökade i den ena pannan och minskade i den andra pannan. Det eldades med inmonterade katalysatorer i ett års tid, men ingen information ges om långtidsegenskaperna annat än att det rapporteras vissa färgskiftningar. Man rapporterade också att ansamling av stoft, sot och aska på katalysatorytorna inte orsakade några problem.

## 9 TILLSATSÄMNINGEN

Tillsatsämnen kan användas som katalysatorer för att bland annat minska emissioner av partiklar. Tillsats av kaolin vid eldning av havre i en 15 kW-brännare har minskat utsläpp av partiklar med mellan 31 och 57 % räknat som mg/MJ mätt på varma rökgaser [34, 35]. Antalet partiklar har dock ökat med 70-80 %. Sammanklumpning (agglomerering) av små partiklar sker när rökgaserna släpps ut i omgivningen och kyls till rumstemperatur. Samtidigt skapas nya partiklar när oförbrända kolväten kondenserar [36]. Vid tillsats av både kaolin och kalksten halverades mängden kolväten, vilket medför att hälsofaran från partikelutsläppen minskar med åtgärden. Även CO minskade med upp till cirka 70 % i försöken med kaolin och med 40 % med kalksten. Tillsatserna minskade dock inte SO<sub>2</sub>-halten i rökgaserna och tycktes öka NO-utsläppen något.



Inom SWX-Energi-projektet avses att studera hur tillsatser vid pelletstillverkningen påverkar eldningsförutsättningar och emissioner. Försök med målsättningen att minska emissionerna kommer att genomföras i samarbete mellan Karlstad universitet och Högskolan Dalarna.



## 10 RENINGSTEKNIK

De vanligaste reningsteknikerna för stoftreduktion vid bibränsleledning är cykloner, elektrostatiska filter och textila spärrfilter [37]. Även rökgaskondensering kan användas för att minska stoftutsläppen. De är samtliga kommersiell teknik för större anläggningar, men de lämpar sig olika bra i mindre anläggningar. Multicykloner avskiljer partiklar från cirka 1 till 5  $\mu\text{m}$ , och spärrfilter avskiljer i princip alla partiklar, men problematiken är höga tryckfall som kräver el till fläktar och att spärrfilter inte tål höga temperaturer. Rökgaskondensering och elektrostatiska filter är de tekniker som man testat för mindre anläggningar i villaskala och närvärmeskala.

### 10.1 Rökgaskondensering

Genom rökgaskondensering kan främst partikelemissionerna reduceras. För att öka infångningen kompletteras ofta med någon form av sprayanordning. Speciellt i torra rökgaser från till exempel pelletseldning blir avskiljningen dålig utan sprayfunktion. Grundläggande förutsättningar och teori för rökgaskondensering från vedeldning sammanställs av Neuenschwander *et al.* [38].

Prestanda för en rökgaskondensator med skrubber för pelletspannor kallad "Hydro Box" har utvärderats av Rawe *et al.* [39]. Rökgaskylaren monteras på skorstenen efter pannan och har en sprayfunktion kombinerat med en värmväxlare mot ingående pannvatten och en annan värmväxlare kopplad mot ingående kallvatten som kyler sprayvattnet. Avskiljningsgraden för partiklar var mellan 40 och 70 % beroende på utförandet av sprayfunktionen. Energibesparingen definierad som andel av avgiven värmeeffekt (15 kW) varierade mellan någon procent vid 55 graders returtemperatur till cirka 17 % vid varmvattentappningar.

I ett annat projekt [40] undersöktes rökgaskondensering för en villavedpanna, en skogsbränsleeldad stokerpanna 2x3 MW med plattvärmväxlare och en briketteldad stokerpanna 1 MW med multicyklon och rökgaskylare. För den briketteldade stokerpannan uppmättes en stoftreduktion på 35 % utan tillsats av sprejvatten. Med sprejvatten på 4 liter/min erhöles en stoftreduktion på 48 %. För den skogsbränsleeldade stokerpannan erhöles en stoftreduktion på cirka 80 %. Uppmätta stofthalter i



villavedpannan före kondensorn var mellan 32 och 40 mg/Nm<sup>3</sup> normaliserat till 10 % CO<sub>2</sub>. Efter rökgaskylaren var stofthalterna mellan 14 och 28 mg/Nm<sup>3</sup> oavsett om vattenspray skedde före kylaren eller ej. I en fortsättning på projektet [41] studeras utformningen av kondensorn, hantering av kondensatet och hur kondensorn kan integreras i ett uppvärmningssystem ur teknisk och ekonomisk synvinkel. Räfflade ytor i kondensorn ökade kyleffekten avsevärt. Analyser av kondensatet med avseende på komponenter, som är reglerande för utsläpp i avlopp, visade, att kondensatet mest troligt kan ledas till avloppssystemet utan rening.

Även Persson [42] har studerat en vedeldad villapanna med rökgaskondensering och skrubber. Framförallt utvärderades de energimässiga och ekonomiska egenskaperna. Läckage vid mätpunkterna gjorde mätresultaten beträffande emissioner osäkra. Resultaten visade att tillgänglig temperatur till kondensorn är helt avgörande för energiutbytet. Vattentemperatur till kondensorn på under 20°C gav en nyttiggjord effekt på över 4 kW, men vid temperaturer över 30°C på kondensorn var avgiven effekt mellan 1 och 2 kW.

Messerer *et al.* [43] genomför mätningar av partikelreduktion för en rörvärmeväxlare. Luft används för att kyla rökgasen. Rökgas från en pelletspanna och en vedkamin används i undersökningen och en delström av rökgasflödet suges genom rörvärmeväxlaren. Antalet partiklar mättes före och efter värmeväxlaren och reduktionsgraden uppmättes till mellan 38 och 95 % beroende på rökgasflöde och rökgastemperatur.

I ett nyligen avslutat projekt inom småskalprogrammet undersöktes rökgaskondensering för närvärmeapparater med den så kallade ADIAK-processen, som avser att öka återvinningsgraden. Preliminära resultat visar på reduktion av partiklar med cirka 40 % [44].

## 10.2 Rökgasbrunn

Rökgasbrunnar är en slags rökgaskondensering avpassad för spannmålseldning för att primärt förhindra korrosion i skorstenen. Det är också en teknik som minskar emissionerna av partiklar till luften.

Intresset för spannmålseldning har varierat med prisläget på spannmål och hur kvaliteten på skörden har slagit ut. Det finns dock en tveksamhet vad gäller att elda mat, speciellt med tanke på en förväntad matbrist. Dock finns problematiken med sura rökgaser och korrosion även vid eldning av till exempel halm. För att minska risken för korrosion i skorstenen kan man använda en rökgasbrunn. Rökgaserna leds då genom ett rör i marken där de avkyls, varpå en del av de sura ämnena, och även en del av stoftet, samlas upp i brunnen. Mätningar på en befintlig anläggning med rökgasbrunn visade på en reduktion av klor med 67 %, reduktion av stoft med 42 % och reduktion av svavel med 40 % [45].

Som materialval föreslås glaserade betongrör tills temperaturen fallit så pass mycket att syraresistent markavloppsrör kan användas [45]. En ejektorfläkt minskar risken för kondens och korrosion i fläkten. Det sura kondensatet ska förhindras från att rinna ut i omgivningen, men det finns inga regler eller rekommendationer från myndigheterna hur kondensatet ska tas om hand. I små anläggningar kan det räcka att kalkstensmjöl årligen fylls på i botten av brunnen.

### 10.3 Elektrostatiska filter

I elektrostatiska filter (elektrofilter, ESP) laddas partiklarna och förs sedan till motsatt laddade uppsamlingsplattor som kan vara torra eller våta. Plattorna rengörs mekaniskt genom skakning eller med en elektrisk puls. Elektrostatiska filter ger nästan total avskiljningsgrad för större partiklar, men något lägre avskiljning för partiklar mindre än 1  $\mu\text{m}$  [37].

Elektrostatiska filter för småskalig eldning av olika bibränslen har undersökts av Bologna *et al.* [46]. En vedkamin på 9 kW, en pelletsbrännare på 20 kW och panna på 32 kW för eldning av spannmål, halm eller ved användes i undersökningen. Partikelemissionerna mättes under stationär drift och reduktionen uppmättes till 88 % för ved, 82 % för pellets, 73 % för spannmål och 77 % för halm.

### 10.4 Saltspärr

Saltspärren är en teknik för att minska partikelutsläppen för bibränsleeldade anläggningar i MW-skalan och kan vara ett mera prisvärt alternativ till elektrofilter. En saltspärr fungerar som ett vått elektrofilter och verkar i kombination med kondensorn [47]. Större partiklar avskiljs i kondensorn och därmed belastas saltspärren mindre. Den behöver endast behandla en väldefinierad storlek av små partiklar. Små partiklar fångas genom att dessa får en negativ laddning samtidigt som en upptagningsmassa får en positiv laddning [48]. Tekniken är idag en kommersiell produkt för anläggningar i MW-skalan, men att döma av komplexiteten är det inte ekonomiskt möjligt att den skalas ned till villastorlek.



## 11 FÖRGASNINGSTEKNIK

Förgasning av biomassa och därefter förbränning i en gaspanna är en teknik för att kunna effektivisera förbränningen och minska emissioner av partiklar och gasformiga utsläpp [49]. Syntesgas producerad från förgasningsreaktorn bränns direkt i en panna för värmeproduktion. Genom att separera förgasningsprocessen och förbränningsprocessen kan föroreningar som sot och tjära förbrännas. Därför behöver inte syntesgasen renas innan den förbränns, vilket krävs om gasen ska användas för att producera el via en gasturbin eller gasmotor.

Den vanligaste formen av förgasare för småskaliga system är fastbäddsförgasning. Förgasarna karakteriseras efter bränsle- och luftflödesriktningen genom reaktorn. Biobränslet förgasas i reaktorn och den producerade syntesgasen blandas med sekundärluft och förbränns i en keramisk brännare med tertiärluft. En studie av den nyutvecklade förgasningspannan Pyro-man med pellets visade på mycket låga utsläpp av partiklar och gasformiga emissioner jämfört med vanliga pelletspannor. Partikelutsläppen (PM1) uppmättes under stationär drift på nominell effekt till 2,4 mg/MJ [49] jämfört med vanliga pelletspannor, som ligger mellan 10 och 66 mg/MJ (Tabell 2.1). Partiklarna är dock mindre än för motsvarande pelletspanna och majoriteten av partiklarna ligger i storleksintervallet 10 till 100 nm och antalet partiklar var  $1,8 \times 10^{13}$  stycken per MJ. CO-emissionerna uppmättes till 6,1 mg/MJ att jämföra med Tabell 2.1 som anger mellan 30 och 1 700 mg/MJ.

Det finns nu ett flertal kommersiellt tillgängliga förgasningspannor på marknaden för flis, ved och pellets som presenteras i Tabell 11.1 nedan.

Tabell 11.1

*Kommersiellt tillgängliga biobränslepannor med förgasningsteknik.*

Panna	Bränsle	Kapacitet (kW)	Termisk verkningsgrad
Künzel, HV, HV-S, BT	Ved, flis	15 – 50	upp till 92 %
Ligno, Turbomax	Ved, flis	18 – 50	> 89 %
Thermocombi TC 30	Ved	5 - 30	> 85 %
	Pellets	5 – 25	> 91 %
Atmos	Ved, pellets	6 – 24	84 -91 %
Pyro-man	Pellets	15	-

## 12 DISKUSSION

Det är svårt att jämföra de olika metoder som presenterats i denna studie med avseende på emissionsreduktionen. Studierna har genomförts för olika bränslen och med olika typer av referenssystem. Emissionsfaktorer för stationär drift och totala emissioner för ett års drift kan avvika stort från varandra trots att de gäller samma system. En översiktlig sammanställning av de metoder för emissionsminskning som studerats i rapporten, finns i Tabell 12.1.

Betänker man att minskade emissioner inte direkt ger några sänkta kostnader för brukaren, är det främst strängare krav, som kan skapa en marknad för tekniker med aktiv rökgasrening i små anläggningar för bibränsleeldning. Det gör att tekniker som katalysatorer och elektrostatiska filter i små system kommer att ha svårt att hitta en marknad utan kravskärpningar. Dock är övriga åtgärder, som presenteras i Tabell 12.1, av sådan art, att de också ökar effektiviteten i systemet och minskar energianvändningen. Energibesparing och ökad bekvämlighet kan därför bidra till att göra tekniken lönsam. Det finns också åtgärder som inte kostar någonting alls. Det är kunskapen att elda rätt, så att emissionerna minimeras. Här finns det möjlighet till kraftiga emissionsminskningar om kunskapen att elda kan föras ut till vedeldarna.

### *Vedpannor och lokaleldstäder*

Ser vi hur emissionerna från småskalig eldning fördelar sig mellan olika källor (Tabell 2.2) är det framförallt icke miljögodkända vedpannor samt lokaleldstäder som dominerar utsläppsbilden. Vedpannorna kommer så småningom att fasas ut och ersättas av miljögodkända produkter eller andra värmekällor, men då livslängden på en panna är mycket lång, kan det ta tid. Då brukarbeteendet uppenbarligen har stor inverkan (Tabell 2.1) är det snabbaste sättet att nå stora utsläppsminskningar att satsa på utbildning av de personer som eldar med ved. Ett krav på ackumulatortank kan också ge en minskning för de som pyreldar. En kombination med solvärme är ett annat alternativ, som minskar emissionerna, främst under sommarperioden.

Det är inte lika säkert att lokaleldstäderna kommer att ersättas av miljögodkända produkter. Dessa eldas mer sällan och har en mycket lång livslängd. De största utsläppskällorna i framtiden ser därför ut att kunna bli lokaleldstäderna. För denna typ av eldstäder är det också utbildning av eldaren som snabbt kan sänka emissionerna. Därefter är det nog främst elektrostatiska filter som skulle kunna appliceras som tillsats i efterhand för att uppnå en partikelreduktion. Men då krävs det ytterligare teknikutveckling och sänkta kostnader av dessa filter och dessutom ett tvingande krav för att kunna motivera den investeringen.

Katalysatorer har vissa livslängdsproblem och de är svåra att applicera i befintliga eldstäder. Nyutvecklade lokaleldstäder kan komma att innefatta nya tekniker som gassensorer och avancerade styrprinciper som ger sänkta emissioner, men detta kommer inte att ge någon större effekt på de totala emissionerna i Sverige, så länge icke miljögodkända produkter som klassiska vedspisar och öppna spisar tillåts att installeras.

### ***Flis- och pelletseldning***

När det gäller pelletseldning och mindre närvärmepannor med flis är det en teknik som har ökat kraftigt i Sverige, och som troligen också kommer att öka kraftigt i övriga Europa. Här är utsläppen redan lägre än för vedeldning, men då den är särskilt lämplig i tätbebyggda områden och kan komma att ersätta gas- och oljepannor, så är det också extra viktigt med låga emissioner för att inte skapa nya problem när pelletseldningen ökar. Här kan teknik med stegad lufttillförsel, gassensorer, rökgaskondensering, solvärme och effektivare styralgoritmer komma att introduceras i allt större antal, eftersom det också ökar effektiviteten och förenklar handhavandet. Potentialen för elektrostatiske filter och katalysatorer är nog även här beroende av tvingande emissionskrav.

### ***Partikelreduktion***

Partiklar är nog de utsläpp som anses ställa till störst hälsoproblem, och här är det aktiva reningstekniker som elektrostatiske filter som har störst reduktion. Men även att undvika pyroeldning (elda rätt och undvika underhållsfyr), att förbättra eldstadsutformning och införa stegad lufttillförsel för att minska medryckningen från bränslebädden, rökgaskondensering, och förgasningsteknik har visat sig vara effektiva sätt att minska partikelutsläppen (Tabell 12.1).

### ***Reduktion av oförbränt***

Reduktion av oförbränt (CO och kolväten) kan minskas med de flesta metoder som sammanställs i Tabell 12.1, men inte med rökgaskondensering, elektrostatiske filter eller rökgasåterföring. Även solvärme kan göra stor skillnad, eftersom driften med låg verkningsgrad och förhållandevis många starter och stopp per levererad kWh kan undvikas.

### ***Reduktion av NO<sub>x</sub>***

Metoder för reduktion av NO<sub>x</sub> är sällsynta och endast mindre reduktioner är möjliga med hjälp av rökgasåterföring och gassensorer (Tabell 12.1). Rökgasåterföring har dock visat sig öka CO-emissionerna istället. Åtgärder som till exempel att elda rätt och att elda mot ackumulatortank samt en bra eldstadsutformning ökar dessvärre NO<sub>x</sub>-emissionerna.

Tabell 12.1

Sammanställning över olika metoder som minskar emissioner från småskalig biobränsleeldning. De procentuella besparingar, som anges, är inte jämförbara med varandra, då de har uppmätts för olika driftsförhållanden och med olika förutsättningar som referens. Data är ofullständiga och för vissa studier har enbart CO-emissioner undersökts. "-" anger att inga mätresultat redovisas.

Åtgärd	möjlig reduktion				Anmärkning
	PM	Kolväten	CO	NO <sub>x</sub>	
Att elda rätt	91 %	93 %	63 %	ökar	Braseldning i vedpanna jämfört med pyrelldning [1]
Eldning mot ackumulatortank	93 %	84 %	36 %	ökar	Gammal vedpanna kopplas mot tank [1]
Kombination med solvärme	-	-	45 %	-	Årsbasis, endast pelletseldade system undersökta [6, 10]
Eldstadsutformning	54 %	70 %	83 %	ökar	Ny BBR-godkänd panna jämfört med gammal panna (mot tank) [1]
Stegad lufttillförsel	30-90%	-	<87%	-	Pelletsbrännare [13]
Rökgasåterföring	-	-	ökar	20 %	Pelletsbrännare [16]
ON/OFF istället för underhållsfyr	>90%	>90%	-	-	Låglastdrift med pelletsbrännare [20]
Modulerande istället för ON/OFF	-	-	9-33%	-	Möjlig minskning på årsbasis med pelletsbrännare [19]
Gassensorer	-	-	60 %	8-15%	5-30% red. av NO <sub>x</sub> och CO för pelletsbrännare [18]
Katalysatorer	-	<60%	<80%	-	Vedpannor [32]
Tillsatsämnen	31-57%	50 %	70 %	-	Tillsats av Kaolin vid eldning av havre [34, 35]
Rökgaskondensering	30-70%	0	0	0	Ved, pellets [40, 44, 39]
Rökgasbrunn	42 %	-	-	-	Spannmålseldning cirka 40 % red. av svavel, 67 % reduktion av klor [45]
Elektrostatiska filter	70-90%	0	0	0	Pellets, ved, spannmål och halm [46]
Förgasningsteknik	>75%	-	>80%	-	Uppmätt med pellets, även flis och ved finns på marknaden [49]

## 13 SLUTSATSER

Genomgången av olika tekniker för att minska emissionerna visar, att det finns många olika sätt att minska emissionerna från bibränsleeldning. De flesta teknikerna innebär också att systemets verkningsgrad kan ökas och att handhavandet förenklas. Detta kan vara drivkraften för att tekniken så småningom kommer att införas även utan hårdare krav. Tekniker som enbart minskar emissionerna, som elektrostatiske filter, kommer troligen inte att införas utan att kraven skärps.

För att minska emissionerna från småskalig eldning ur ett nationellt perspektiv är det främst från den småskaliga vedeldningen, som emissionerna måste minskas. Här kan man snabbast nå minskningar genom utbildning av dem som eldar med ved samt genom att införa ackumulatortankar. Emissioner från lokaleldställen blir svårast att minska då det fortfarande installeras icke miljögodkänd utrustning och då livslängden för dessa eldställen är mycket lång. Kanske enda möjliga åtgärden i efterhand kan vara elektrostatiske filter för partikelreduktion, men då de inte ger några ekonomiska vinster för brukaren måste sådana åtgärder vara tvingande. Ytterligare teknikutveckling och prissänkning för dessa tekniker är också nödvändig. Detta gäller också katalysatorer, som skulle kunna appliceras i efterhand i vissa pannor och kaminer. Kombinationen av katalysatorer och elektrostatiske filter ger en mycket god rening av både partiklar och kolväten.

Utvecklingen av eldställen och brännare har kommit ganska långt och de flesta nya produkter kan inte utvecklas så mycket mer beträffande eldstadsutformning. Vissa förbättringar kan troligen göras genom bland annat stegad lufttillförsel, men det är framförallt andra åtgärder, som kan minska emissionerna ytterligare, som till exempel mer avancerad reglering och användning av gassensorer.

Kombination med solvärme är en bra åtgärd för all bibränsleledning. Det minskar emissionerna under sommarhalvåret och tekniken kommer att införas efterhand som energin blir dyrare. Avancerade styrsystem med gassensorer kräver ytterligare utveckling, för att uppnå längre livslängd av sensorerna. Metoden har visat sig öka verkningsgraden och förenkla handhavandet. Mer utveckling behövs dock av styralgoritmer för applicering av gassensorer på vedpannor.

För automatiskt eldade pannor kan förbättrade styrsystem för att minska antalet start och stopp minska emissionerna och öka verkningsgraden. Modulerande drift istället för ON/OFF kan också ge vissa emissionsminskningar och en bättre komfort med pelletskaminer.

Rökgasbrunn och tillsatsämnen är tekniker, som främst ger reduktion av emissioner från spannmålseldning och halm. Tekniker som ger reduktion av  $\text{NO}_x$  är mer sällsynta och endast gassensorer och rökgasåterföring har visat på en liten minskning. Åtgärder som till exempel att elda rätt och att elda mot ackumulatortank samt en bra eldstadsutformning ökar dessvärre  $\text{NO}_x$ -emissionerna.

## 14 REFERENSER

- [1] Todorović, J. *et al.*, Syntes och analys av emissionsfaktorer för småskalig biobränsleförbränning. Slutrapport för avtal 503 0506 och 503 0507 på Naturvårdsverket, 2007. Naturvårdsverket, Sweden.
- [2] Jahnsson, S., Förslag till åtgärder för att minimera utsläppen från småskalig eldning med ved. *Energi & Miljö nr 8*, 2005, p. 56-58.
- [3] Johansson, L., *et al.*, Förstudie av metan och andra viktiga komponenter från vedpannor. . Report Slutrapport för Energimyndighetsprojekt nr 21826-1, 21826-2 och avtal 503 0403 på Naturvårdsverket, 2006. Emissionsklustret Biobränsle Hälsa Miljö, Borås, Sweden.
- [4] Löfgren, B.E. and O. Arkelöv, *Pelletselldning mot ackumulatortank*. Report Project nr 20400-1, 2003. ÄFAB, Lidköping, Sweden.  
[http://www.afabinfo.com/pdf\\_doc/rapporter/pelletssacktank\\_rapport.pdf](http://www.afabinfo.com/pdf_doc/rapporter/pelletssacktank_rapport.pdf)
- [5] Persson, T., *Elbesparing med pelletskaminer och solvärme i direktvärmda småhus*. Licentiate thesis Trita REFERENSERR Report No 04/43, 2004, Energiteknik, KTH, Stockholm, Sweden.
- [6] Persson, T., *Combined solar and pellets heating systems for single-family houses - How to achieve decreased electricity usage, increased system efficiency and increased solar gains*. Doctoral Thesis Trita REFERENSERR Report No. 06/56, 2006, Department of Energy Technology, KTH - Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [7] Larsson, T., Internrapport *Enkätundersökning om energibesparing och drift med solfångare*. Report 00:00, 2000. Institutionen för teknik, Örebro universitet, Örebro.
- [8] Thür, A., S. Furbo, och L.J. Shah, Energy savings for solar heating systems. *Proc. Eurosun 2004*, 20 - 23 June, 2004, Freiburg/Germany.
- [9] Thür, A., S. Furbo, and L.J. Shah, Energy savings for solar heating systems. *Solar Energy* 80 (2006) sid. 1463-1474.
- [10] Persson, T., *et al.*, Increasing efficiency and decreasing CO-emissions for a combined solar and wood pellets heating system for single-family houses. In *Proc. Pellets 06*. 30 May - 1 June 2006. Jönköping, Sweden,
- [11] Nussbaumer, T., Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction *Energy & Fuels* **17** (2003) sid. 1510-1521.
- [12] Wiinikka, H. and R. Gebart, Experimental investigations of the influence from different operating conditions on the particle emissions from a small-scirkale pelletss combustor. *Biomass and Bioenergy* 27 (2004) sid. 645-652.

- [13] Oser, M. and T. Nussbaumer, Low Particle Furnace for Wood Pellets Based on Advanced Staged Combustion. In *Proc. Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion*. 30 Aug. to 2 Sept 2004. Victoria, Canada.
- [14] Wiinikka, H. and R. Gebart, Critical Parameters for Particle Emissions in Small-Scale Fixed-Bed Combustion of Wood Pellets. *Energy & Fuels* 18 (2004) sid. 897-907.
- [15] Pettersson, E., *et al.*, Design changes in a fixed-bed pellets combustion device: Effects of temperature and residence time on emission performance. *Energy & Fuels* 24 (2009) sid. 1333-1340.
- [16] Zandeckis, A., *et al.*, Methods of Nitrogen Oxide Reduction in Pellets Boilers. *Scientific Journal of Riga Technical University, Environmental and Climate Technologies* 4 (2010) sid. 123-129.
- [17] Löfgren, B. and T. Blom, *Rökgasåterföring till småskaliga pelletsbrännare*. 2003. Åfab, MiLab.
- [18] Eskilsson, D., *et al.*, Final report to Energimyndigheten STEM. *Utveckling av ett regelsystem som utnyttjar information från gassensorer för att styra tillförseln av förbränningsluft (Development of a control system that utilises the information from gas sensors to control the supply of combustion air)*. 2004. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP), Borås, Sweden.
- [19] Persson, T., S. Nordlander, and M. Ronnelid, Electrical savings by use of wood pellets stoves and solar heating systems in electrically heated single-family houses. *Energy & Buildings* 37 (2005) sid. 920-929.
- [20] Pettersson, U., M. Johansson, and H. Persson, *Låglastkaraktistik i små pelletsanläggningar*. Report Energimyndigheten, projekt nr 20778-1, 2004. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, Sweden.  
<http://www.itm.su.se/bhm/rapporter/emission/207781.pdf>
- [21] Liao, Z. and A.L. Dexter, The potential for energy saving in heating systems through improving boiler controls. *Energy and Buildings* 36 (2004) sid. 261-271.
- [22] Persson, T., *Solar and Pellets Heating Systems: Reduced Electricity Usage in Single-family Houses* 2009, Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Müller. ISBN: 3639122062.
- [23] Haller, M.Y., C. Bales, and W. Streicher, Combined Solar and Pellets Heating Systems for Houses: Improvement of Energy Efficiency and Reduction of Boiler ON/OFF. In *Proc. Eurosun 2010*. 28-sept-1 oct 2010. Graz, Austria.
- [24] Eskilsson, D., *et al.*, Optimisation of efficiency and emissions in pellets burners. *Proc. The first world conference on pellets*. Stockholm, Sweden: Swedish Bioenergy Association. 2002.
- [25] Eskilsson, D., *et al.*, Optimisation of efficiency and emissions in pellets burners. *Biomass and Bioenergy* 27 (2004) sid. 541-546.

- [26] Padinger, R., *Regelungstechnik für die Hausheizung der Zukunft. Untersuchungen zur Regelung von Biomassefeuerungen zur emissions- und effizienzoptimierten Beheizung von Wohn- und Bürobauten*. Report Berichte aus Energie- und Umweltforschung 5/2002, 2002. Projektfabrik Waldhör, Wien, Austria.
- [27] Korpela, T., *et al.*, *Final report of the project: Control potential of different operating methods in small-scale wood pellets combustion (COPECOM)*. 2009. ERA-NET Bioenergy.
- [28] Ferrandon, M., *Mixed Metal Oxide - Noble Metal Cirkatalysts for Total Oxidation of Volatile Organic Compounds and Cirkarbon Monoxide*. Doctoral Thesis, 2001, Department of Chemicirkal Engineering and Technology, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-3156>
- [29] Grimm, A., Laboratory tests of cirkatalysts for total oxidation of combustibles representative for flue gases from combustion of wood. In *Proc. International Scientific Conference of Mechanicirkal Engineering*. 2004. Santa Clara, Cuba.
- [30] Grimm, A., *Environmentally friendly utilization of biomass*. Licentiate thesis, 2007, School of Chemicirkal Science and Engineering KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-4438>
- [31] Ohlsson, M., *et al.*, Vedeldning med katalysator - det smarta sättet att elda. *Energimagasient* nr 1, 1999.
- [32] Padban, N., *et al.*, *Partikel och gasfas emissioner från småskalig biobrännleeldning: framtidsteknik för emissionsminskning*. 2005. TPS Termiska Processer AB, Studsvik, Sweden och Göteborgs Universitet, Göteborg, Sweden.
- [33] Liss, J.-E., *Långtidstest av nya katalysatorer avsedda för vedeldade villapannor - Uthållighetstest och okulärbesiktning av katalysatorns kondition under normala eldningsbetingelser*. 2002. Ved & Solteknik i Långshyttan AB och KTH, Stockholm, Sweden.
- [34] Bäfver, L.S., *Particles from biomass combustion -Characteristics and influencirka of aditives*. Doctoral thesis, 2008, Department of energy and environment, Chalmers university of technology, Göteborg, Sweden, ISBN 978-91-7385-177-0.
- [35] Bäfver, L.S., *et al.*, Particle combustion of oat grain and its potential reduction by addition of limestone or kaolin. *Fuel Processing Technology* 90 (2009) sid. 353-359.
- [36] Johansson, L., *et al.*, Comparison of particle sampling in chimney and dillution tunnel during residential combustion of wood logs In *Proc. World Bioenergy 08*. 27-29 May 2008. Jönköping, Sweden.
- [37] Rönnbäck, M. and O. Arkelöv, Report *Tekniska och miljömässiga problem vid eldning av spannmål - en förstudie*. 2006. SP Sveriges Provnings och Forskningsinstitut och Äfab Älvdalens Fastbrännleteknik AB, Borås, Sweden. <http://www.sp.se/sv/publicirkations/Sidor/Publikationer.aspx>
- [38] Neuenschwander, P., J. Good, and T. Nussbaumer, *Grundlagen der Abgaskondensati-on bei Holzfeuerungen*. 1998. Ingenieurbüro Verenum, Zürich, Switzerland.



- [39] Rawe, R., H. Kuhrmann, and J. Niehaves, Secondary heat and mass exchanger for condensing operation of biomass boilers dust separation and energy recovery. In *Proc. Pellets 2006*. 2006. Jönköping, Sweden.
- [40] Fredriksson, C. and L. Rudling, *Optimerad ved/pelletsspanna med rökgaskondensering, etapp 2*. Report TPS-00/43, 2000. TPS Termiska Processer AB, Nyköping, Sweden.
- [41] Fredriksson, C., E. Ramström, and N. Berge, *Optimerad ved-/pellets spanna med rökgaskondensering*. Report TPS-02/15, 2002. TPS Termiska Processer AB, Nyköping, Sweden.
- [42] Persson, M., *Rökgaskondensering med skrubber till vedeldade villapannor*. Examensarbete Nr 007 2005, ISSN 1651-761X, 2005, Institutionen för bioenergi, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Sweden.
- [43] Messerer, A., *et al.*, Combined particle emission reduction and heat recovery from combustion exhaust-A novel approach for small wood-fired appliances. *Biomass and Bioenergy* 31 (2007) sid. 512-521.
- [44] Hermansson, R., Energieffektiv partikelavskiljning för närvärmepannor. In *Proc. Programkonferens och seminarium för småskalig värmeförsörjning med biobränslen*. 20-21 oktober 2009. Växjö, Sweden.
- [45] Rönnbäck, M., *et al.*, *Rökgasbrunn vid spannmålseldning*. Report 2007:02, ISBN 91-85533-66-1, 2007. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, Sweden.  
<http://www-v2.sp.se/publ/user/default.aspx?RapportId=7919>
- [46] Bologna, A., *et al.*, Particle Emissions from Small Scirkale Wood Combustion Devices and their Control by Electrostatic Precipitation. *Chemicirkal Engineering Transactions* 22 (2010) sid. 119-124.
- [47] Opcon\_Bioenergy, *Saltspärr Renergi SSP*  
[http://www.opcon.se/web/Saltsparren\\_2.aspx](http://www.opcon.se/web/Saltsparren_2.aspx)
- [48] Bengtsson, S., Rökgaskondensering en sparbössa. *Energimagasinet* 7, 2003, sid. 14-16.
- [49] Nuutinen, I., *et al.*, Fine particle and gas emissions of a novel pellets burner based on gasificirkation combustion. In *Proc. International Aerosol Conference*. 29 may – 3 september 2010 2010. Helsinki, Finland.

**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](http://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

## 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 biosystem
- 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 – Tidstudier och kostnadskalkyler
- 16) Utveckling av logistiken för skogsbränslen
- 17) Transport av skogsenergisortimentsbränslen – 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-bränsleledning