

Handläggare, enhet  
David Eskilsson  
Energiteknik  
033-16 56 56, david.eskilsson@sp.se

Stiftelsen Lantbrukets Utveckling

## Dioxiner/furaner och hexaklorbensen från småskalig spannmålsförbränning (havre)

### Inledning

En spannmålspanna som är installerad i en villa eller mindre fastighet går vanligtvis intermittent vilket innebär att den har ett cykliskt beteende med två driftslägen. Hur lång tid varje cykel tar beror på hur stor effekt man tar ut, d v s på värmebehovet i huset. Majoriteten av spannmålspannor för villabruk är konstruerade med underhållsfyr.

En spannmålspanna med underhållsfyr har följande två driftslägen:

1. Förbränning. Man har en kontinuerlig frammatning av spannmål, mycket energi utvecklas som värmer upp pannvattnet, man har ett högt rökgasflöde och låga emissioner av OGC (organiskt bundet kol) och CO (kolmonoxid). Vid ett konstant effektuttag på 3kW så motsvarar denna fas ca 30 % av drifttiden för den aktuella pannan.
2. Underhållsfyr. Man har en glödbädd som då och då tillförs små mängder spannmål till brännarkoppen. Endast lite energi utvecklas eftersom förbränningen bara syftar till att hålla glöden vid liv tills pannvattnet har kallnat och det är dags att gå över till förbränningsläge igen. Rökgasflödet är lägre och man kan ha höga emissioner av OGC och CO. Vid ett konstant effektuttag på 3kW så motsvarar denna fas ca 70 % av drifttiden för den aktuella pannan.

Allmänna fakta om dioxiner:

Dioxin används som ett samlingsnamn för PCDDs (polyklorerade dibenso-*p*-dioxiner) och PCDFs (polyklorerade dibensofuraner). Dessa två grupper av föreningar har likartade kemiska och toxiska egenskaper. Det finns 75 PCDDs och 135 PCDFs. Den mest toxiska och bäst studerade dioxinen kallas TCDD (2,3,7,8-tetraklordibenso-*p*-dioxin). Det finns även andra föreningar som till struktur och toxicitet liknar dioxiner, t ex dioxinlika PCB kongener. Dioxiner bildas i spårmängder vid tillverkning av klorföreningar som klorfenoler, fenoxysyror och polyklorerade bifenyler (PCB). Dioxiner bildas också vid förbränningsprocesser där klorinnehållande ämnen förekommer, t ex vid sopförbränning och vid produktion av järn och stål. Tidigare var även klorblekning av papper en betydande källa. PCDD och PCDF är lipofila persistenta ämnen, d.v.s. de söker sig till fettrik vävnad och är motståndskraftiga mot nedbrytning. Halten dioxiner uttrycks ofta toxiska ekvivalenter och den mest erkända är den internationella toxiska ekvivalenten (I-PCDD/F-TEQ).

### Syfte

Syftet med uppdraget är att karakterisera emissioner av dioxiner och hexaklorbensen från en spannmålspanna för villabruk eldad med havre.

#### SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Postadress  
SP  
Box 857  
501 15 Borås

Besöksadress  
Västeråsen  
Brinellgatan 4  
Borås

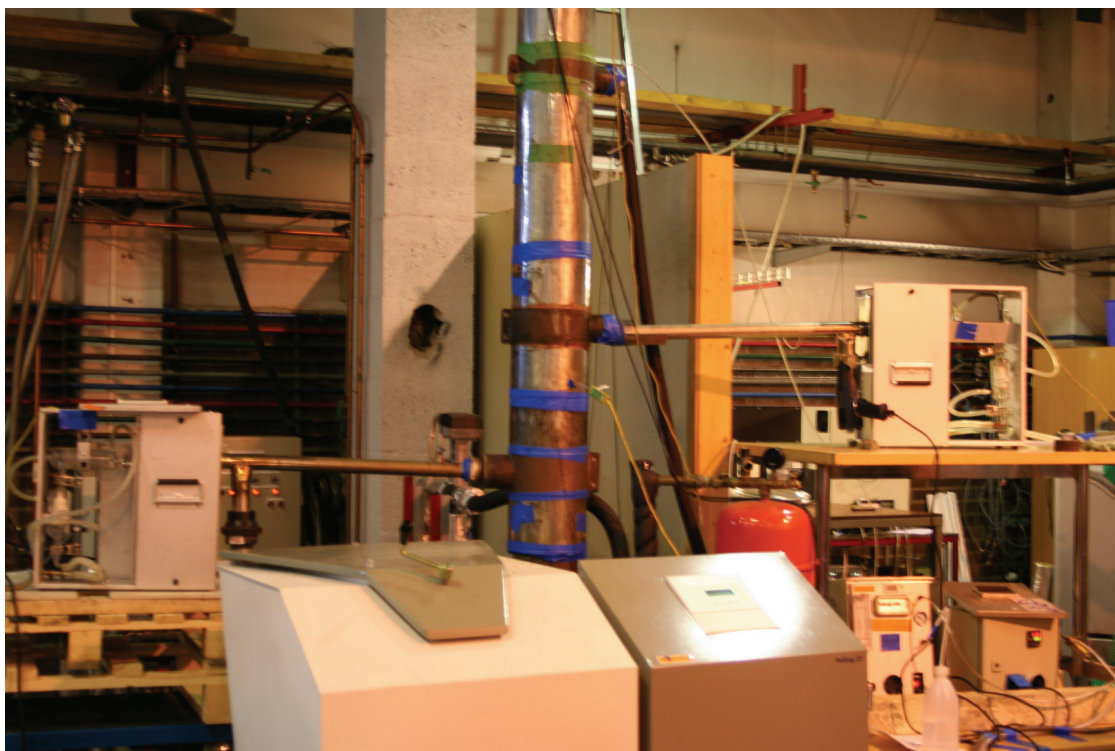
Tfn / Fax / E-post  
033-16 55 01  
033-13 19 79  
info@sp.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte SP i förväg skriftligen godkänt annat.

## Genomförande

Emissionerna provtogs vid intermittent drift motsvarande ett värmebehov i huset på 3 kW. Detta värmebehov är representativt för en normalvilla samt för den använda spannmålspannan. Spannmålspannan som användes var av märket Ling 25 utrustad med effekt och rökgasstyrning. Spannmålspannan studerades vid sina två olika driftslägen. Två dioxinprovtagare monterades i skorstenen, där den ena provtagaren provtog rökgaser under förbränningsläget och där den andra provtog vid underhållsfyr.

Förbränningsläget definieras i dessa mätningar som när CO<sub>2</sub> halten överstiger 5 % i rökgasen och underhållsfyren definieras som när CO<sub>2</sub> halten i rökgasen understiger 5%. Emissionerna under hela förbränningscykeln räknades fram utifrån de två driftslägena genom att vikta bidragen från respektive driftläge m a p avgiven rökgasvolym. Spannmålspannan avgav sin värme till en rigg som simulerar värmebehovet i huset.



Figur 1: Provuppställning med dioxinprovtagare vid försöken.

I försöken förbrändes torkad havre se bilaga 1 för bränsleanalys.

Provtagningen av rökgas utfördes isokinetiskt, d v s hastigheten i sondspetsen var lika med hastigheten i rökgaskanalen genom att flödet på provtagningsutrustningen anpassades efter den kontinuerligt uppmätta rökgashastigheten. Isokinetisk provtagning är en förutsättning för att provtagningen ska vara korrekt av stoftbundna ämnen. För att mängden dioxin i det uppsamlade provet ska kunna kvantifieras på laboratorie måste provtagningstiden vara tillräckligt lång. Därför var provtagningstiden i dessa mätningar 20 timmar. Utrustningen för rökgasprovtagning av dioxiner och hexaklorbensen hyrdes av Metlab och fungerar enligt principen med uppvärmd sond samt filter, se SS-EN 1945-1 [1]. Vid mätningarna gjordes en kontroll av att provtagningsutrustningen är lufttät m a p inläckage. Osäkerheten i dioxinmätningen vid underhållsfyr uppskattas till  $\pm 2$  ng I-PCDD/F-TEQ/ m<sub>N</sub><sup>3</sup> på 10 % CO<sub>2</sub>.

Efter försöken tillvaratogs bottenaskan genom uppsamling i glasburkar. Av praktiska skäl kunde inte bottenaska från olika driftslägen separeras.

De kemiska analyserna av dioxiner och hexaklorbensen gjordes av Alcontrol AB.

Rökgaserna analyseras förutom de efterfrågade emissionerna också m a p rökgasflöde för att säkerställa isokinetisk provtagning, samt m a p emissionerna OGC, CO, och CO<sub>2</sub> (koldioxid), och O<sub>2</sub> (syre) för att relatera dioxinmissionerna till förbränningsförhållandena. Dessutom mättes uttagen effekt under försöken genom mätning av vattenflöde, samt in- och utgående temperatur till riggen som simulerar värmebehov i huset. Kontinuerliga instrument med gasanalytatorer som fungerar enligt följande principer användes: icke-dispersiv infraröd (CO<sub>2</sub>, CO), paramagnetism (O<sub>2</sub>) och flamjonisation (OGC/TOC). Rökgasflödet mättes kontinuerligt med en ultraljudsmätare.

## Resultat och diskussion

Emissionen av CO är ett mått på hur ofullständig förbränningen var, ju högre värde desto mer ofullständig förbränning. Uppmätta CO-halter visar att förbränningen var betydligt sämre vid underhållsfyr. I tabell 1 redovisas emissionerna i enheten mg/m<sub>N</sub><sup>3</sup> rökgas normerat mot 10 % CO<sub>2</sub>. I tabell 2 redovisas uppmätta halter dioxiner i bottenaskan. I tabell 3 har emissionsvärdena av dioxiner från tabell 1 beräknats till emitterad dioxinmängd vid en värmeproduktion av 15 000 kWh och vid ett konstant effektuttag på 3 kW. OGC (halten organiskt bundet kol) är ett mått på hur mycket kolväten som finns i rökgaserna.

Emissionsdata för intermittent drift har beräknats genom att vikta mätresultat från de två driftslägena m a p volym rökgas samt tid. Emissionerna vid respektive driftsläge presenteras dessutom separat i tabell 1.

### Dioxiner

Halterna av dioxiner uttrycks i denna rapport i I-PCDD/F-TEQ vilket är den internationella nomenklaturen för toxiska ekvivalenter gällande dioxiner. De uppmätta rökgaskoncentrationerna av dioxiner i tabell 1 kan jämföras med EU-direktivet för avfallsförbränning där rökgaskoncentrationen I-PCDD/F-TEQ maximalt får vara 0,1 ng/ m<sub>N</sub><sup>3</sup> på 10% O<sub>2</sub>. Värdena kan även jämföras med tidigare dioxinhalter rapporterade i litteraturen [2] då dioxinhalterna (ng I-PCDD/F-TEQ/ m<sub>N</sub><sup>3</sup> på 11 % O<sub>2</sub>) fanns vara mellan 0,0025-0,73 vid förbränning av ren trä.

Totala mängden dioxin (I-PCDD/F-TEQ) i provet från provtagningen vid kontinuerlig förbränning var mycket låg (0,017 ng) men ligger ändå över analyslaboratoriets blankprover (0,004-0,006 ng). Totala mängden dioxin i provet från underhållsfyr var klart över blankproverna (0,85 ng). Under försöket provtogs 1,45 m<sub>N</sub><sup>3</sup> provgas vid förbränningsläget samt 1,48 m<sub>N</sub><sup>3</sup> vid underhållsfyr under totalt 20 timmars tid. Emissionerna från intermittent drift har beräknats genom att vikta rökgasvolymen och tiden för de olika driftlägena.

Bottenaskan från spannmålseldningen innehöll 33 ng I-PCDD/F-TEQ per kg torr substans aska, se tabell 2.

**Hexaklorbensen (HCB).** Halterna av hexaklorbensen i rökgasproverna var under analysmetodens detektionsnivå i alla rökgasprover samt i askprovet.

**Tabell 1: Emissioner av dioxiner och furaner (I-PCDD/F-TEQ) genom rökgasutsläpp från spannmålsförbränning (havre) i en villapanna. Emissionsdata presenteras på enheten ng respektive mg förorening per m<sup>3</sup> torra rökgaser.**

	Uppmätt vått rökgasflöde (m <sup>3</sup> /h)	Prov-volym (m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (%)	CO (mg/m <sup>3</sup> ), 10 % CO <sub>2</sub>	OGC (mg/m <sup>3</sup> ), 10 % CO <sub>2</sub>	Dioxiner (ng I-PCDD/F TEQ / m <sup>3</sup> ), 10 % CO <sub>2</sub>
<b>Medelvärde av förbränning &amp; underhållsfyr vid 3 kW effektuttag<sup>a</sup></b>	21	-	3,8	3195	490	0,92
<b>Förbränningsläge</b>	30	1,45	7,0	1111	69	0,02
<b>Underhållsfyr</b>	18	1,48	1,6	9404	1743	3,6

<sup>a</sup>Medelvärde från de två olika förbränningslägena där driftlägena har viktats map rökgasvolym samt tid.

**Tabell 2 Halter av dioxiner och furaner (I-PCDD/F TEQ) i bottenaska från spannmålsförbränning i villaskala.**

	Dioxiner (ng I-PCDD/F TEQ /kg TS)
<b>Bottenaska från spannmålsförbränning i villaskala</b>	33

**Tabell 3 Emitterade mängder dioxiner och furaner (ng I-PCDD/F TEQ) vid produktion av 15000 kWh baserat på antaganden i nedanstående tabell samt uppmätta emissioner i tabell 1.**

<b>Beräkningsantaganden</b>	
Bränsle värmevärde, MJ/kg	15,37
Bränslets askhalt, vikt %	2,47
Bottenaskans oförbränthalt, vikt %	14
Pannans totalverkningsgrad, %	80
Årsvärmebehov, kWh	15 000
Drifttid för produktion av 15000 kWh vid 3 kW konstant effektuttag, h	5000
Andel tid med förbränningsläge vid 3 kW effektuttag, %	30
Andel tid med underhållsfyr vid 3 kW effektuttag, %	70
<b>Beräknade emitterade mängder dioxiner (ng I-PCDD/F TEQ) baserat på ovanstående antaganden samt uppmätta emissioner, 15000 kWh</b>	<b>ng I-PCDD/F TEQ</b>
Emitterade mängder från rökgas vid förbränningsläge, ng I-PCDD/F TEQ	482
Emitterade mängder från rökgas vid underhållsfyr, ng I-PCDD/F TEQ	35220
Totalt emitterade mängder från rökgas, ng I-PCDD/F TEQ	35703
Emitterade mängder från bottenaskan, ng I-PCDD/F TEQ	4074

## Slutsats

Dessa data baseras på två mätningar på en spannmålspanna vilket är ett för litet statistiskt underlag för att dra några långtgående slutsatser. Följaktligen bör fler dioxinmätningar göras på fler förbränningsanordningar och med andra bränslekvaliteter. Resultaten i detta arbete indikerar dock att underhållsfyr i spannmålspannor står för majoriteten av emitterad mängd dioxin och att de uppmätta dioxinhalterna (I-PCDD/F TEQ) i rökgasen från underhållsförbränning är relativt höga. Detta är också i linje med kunskapen om dioxinbildning där höga halter av oförbränt samt klor förväntas ge höga dioxinmissioner. Emissionerna av oförbränt (CO och kolväten) är höga vid underhållsfyr. De uppmätta dioxinhalterna (I-PCDD/F TEQ) vid förbränningsläget är låga.

Resultaten indikerar möjligheter till mycket låga dioxinmissioner genom teknikutveckling av småskaliga spannmålspannor så att underhållsfyren minimeras eller ersätts med alternativ tändteknik.

## Referenser

- [1] Gustavsson, L., Nyquist, G., Värmeforsk Mäthandbok 2005, Miljö- och förbränningsteknik, rapport 937, [www.varmeforsk.se](http://www.varmeforsk.se)
- [2] Lavric, E. D., Konnov, A. A., De Ruyck, J., Dioxin levels in wood combustion-a review, Biomass & Energy 26 (2004), p 114-145

**SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut**  
**Energiteknik - Förbränningsteknik**

Claes Tullin  
Tekniskt ansvarig

David Eskilsson  
Teknisk handläggare

**Bilaga 1**

Bränsleanalys på använt bränsle i mätningarna, torkad havre

På inlämnat prov

Fukthalt (vikt %)	12,77
Effektivt värmevärde (MJ/kg)	15,37

På torrt prov

Effektivt värmevärde (MJ/kg)	17,98
Askhalt (vikt %)	2,47
Kol (vikt %)	46,8
Väte (vikt %)	6,5
Kväve (vikt %)	2,1
Syre (vikt %)	41,9
Klor (vikt %)	0,065
Svavel (vikt %)	0,175