

Lennart Gustavsson
Mats Lennart Karlsson
Jenny Larfeldt
Bo Leckner

Emissioner från småskalig biobrännstleeldning - forskningsbehov

Abstract

Emissions from small scale biomass Combustion - Research needs

Earlier investigations have shown that small scale biomass combustion leads to unacceptable emissions to the air. The most important problem is high levels of unburnt hydrocarbons. This report analyzes which are the most important reasons to these emissions and which research efforts that are necessary to increase the knowledge about the combustion processes, thereby promoting the development of environmentally feasible equipment. The following factors are defined as most crucial to emission levels: size of combustion chamber, air excess ratio, means of combustion air supply, mixing between air and fuel, transient events, and fuel quality. It is concluded that both basic and research within the area is needed. More specific, research in the form of systematic analysis of best available technology, reactor experiments, compilation of knowledge about relevant basic combustion processes, mathematical modelling as well as development of measurement techniques are called for.

Key word: emissions, biomass, small scale combustion, research needs.

**Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 1993:44
ISBN 91-7848-430-8
ISSN 0284-5172
Borås 1994


**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 1993:44

Postal address:
Box 857, S-501 15 BORÅS
Sweden
Telephone + 46 33 16 50 00
Telex 36252 Testing S
Telefax + 46 33 13 55 02

Förord

Föreliggande rapport har utarbetats på uppdrag av Närings- och Teknikutvecklingsverket (NUTEK) som en förstudie inför forskningsprogrammet "Småskalig förbränning av biobränslen". Arbetet har utförts i samarbete mellan Enheten för Energiteknik, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut och Institutionen för Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola. Rapporten utges därför både i form av föreliggande SP-RAPPORT och som rapport från CTH, Institutionen för Energiteknik.

Borås i september 1993


Lennart Gustavsson



INLEDNING

Emissioner från småskalig vedeldning har uppmärksammats allt mer under den senaste tioårsperioden. De negativa effekterna av emissionerna har främst satts i samband med tyngre kolväten (tjära) och gränsvärden har införts för tjärutsläpp från pannor och kaminer som installeras i tätort. Dessa gränsvärden för tjärutsläpp, 30 mg/MJ och 40 mg/MJ, för miljögodkännande av villapannor resp. kaminer (BFS 1988) har medfört att pannor med betydligt förbättrade emissions-egenskaper vad gäller tjärutsläpp har utvecklats. Tjärutsläppen kunde reduceras med en till två tiopotenser jämfört med tidigare konstruktioner. I takt med att befintliga pannor byts ut mot nya, miljögodkända erhålls därmed en dramatisk förbättring från miljösynpunkt.

Emellertid visar emissionsmätningar (Karlsson och Gustavsson 1992) att även betydande emissioner av flyktiga organiska ämnen (VOC, Volatile Organic Compounds) och kväveoxider (NO_x) förekommer. Kväveoxidemissionerna är normalt mycket högre än vad som tolereras från större anläggningar och VOC är oönskade pga diverse negativa miljöeffekter.

Samtidigt som man konstaterar att emissionerna från småskaliga biobränsleeldade anläggningar är högre än vad som tolereras som utsläpp från större pannor är kunskapen om förloppen i små anläggningar betydligt mycket mindre än om motsvarande i stora anläggningar. Överhuvudtaget har, även internationellt sett, endast obetydlig uppmärksamhet riktats mot förbränning av biobränslen. Det finns alltså anledning att diskutera vad som behöver göras för att förbättra kännedomen om förbränning av biobränslen, främst trä, i småskaliga förbränningsanordningar. Detta är ämnet för föreliggande rapport som skall behandla anordningar mindre än 10 MW_v, alltifrån pannor för uppvärmning av enstaka hus till pannor för större byggnader, industrier och fjärrvärmesystem. Storleksbegränsningen 10 MW har valts i enlighet med propositionen 1992/93:179.

DEFINITIONER OCH UTGÅNGSPUNKTER

Emissioner

Med **tjäror** menas tyngre kolväten eller organiska föreningar med kokpunkter vid höga temperaturer. Hit hör också polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och

dioxiner. Vid utförda mätningar (Karlsson och Gustavsson 1992) har i många fall betydande halter av PAH registrerats vid eldning av ved, men inga dioxiner (endast ett prov har gjorts). Utsläppen av tjära bedöms lokalt bidra till akuta besvär i luftvägarna hos vissa personer samt medföra en förhöjd risk för lungcancer.

VOC är ett samlingsbegrepp för organiska ämnen som avges i gasfas. I begreppet innefattas en rad ämnesgrupper såsom lättare alkaner, alkener, alkyner, aldehyder, ketoner, aromater och alkoholer. Även enkla halogensubstituerade organiska ämnen räknas in. VOC bidrar till växthuseffekten och är en väsentlig orsak till oxidantbildningen i atmosfären. Vissa komponenter har också direkta hälsoeffekter, t ex bensen.

THC, totalkolväten uttryckt som metanekvivalenter, är en storhet som mäts genom förbränning av rökgas i en speciell analysator. Det är ett samlingsbegrepp som alltså även omfattar det mesta av ovanstående tjäror och VOC.

Kolmonoxid, CO, är den traditionellt använda indikatorn på ofullständig förbränning. CO kan grovt sett korreleras med kolvätena, eftersom huvuddelen av CO liksom kolvätena härstammar från bränslenas flyktiga beståndsdelar.

Om syftet enbart är att karakterisera en anläggnings förbränningsegenskaper räcker det att diskutera emissionerna av CO och THC, båda är mått på ofullständig förbränning.

Kväveoxiderna (NO_x) är en betydelsefull emission. Den består praktiskt taget enbart av NO, och andra kväveoxider. NO_2 och lustgas N_2O , förekommer endast i obetydliga kvantiteter vid förbränning av trä vid atmosfärstryck. I motsats till tidigare nämnda emissioner är kväveoxiderna inte ett resultat av ofullständig förbränning utan en slutprodukt.

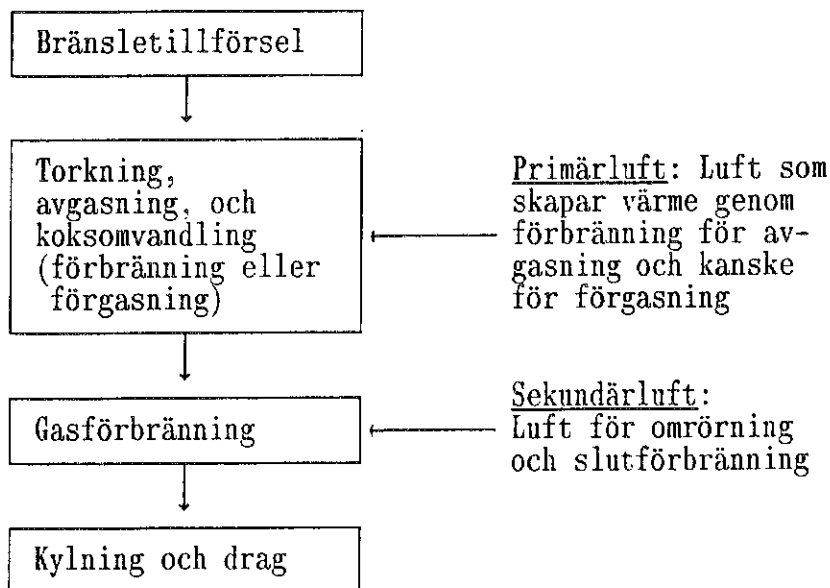
Det primära problemet vid bibränsleförbränning i småskaliga anläggningar är att uppnå slutförbränning av de gasformiga bränslekomponenterna. Därför fokuseras intresset främst på dessa. Minskning av kväveoxider blir genomförbart först då förbränningen totalt sett kan kontrolleras eller styras så att oönskade restprodukter i form av tjäror VOC och CO ligger på en för omgivningen acceptabel nivå. Därmed är inte sagt att kväveoxidminskning inte är ett väsentligt arbetsområde.

Luftfaktorn anger hur mycket av den tillförda luften som förbrukas. Luftfaktorn är oändlig om ingen förbränning skett och lika med ett om allt syre i luften konsumerats vid fullständig förbränning. En luftfaktor t ex lika med två innebär alltså att endast hälften av det tillförda syret förbrukats vid förbränningen.

Pannor

En panna består av en anordning för bränslemottagning, en förbränningsanordning och en värmemottagande del. Pannorna kan delas in i **satsvis** eldade och **kontinuerligt** eldade. Normalt hör villapannor eldade med styckeved till den första typen, medan de större pannorna ofta är kontinuerligt eldade med något berett bränsle; flis, pellets, briketter eller pulver.

Förbränning är torkning, avgasning och slutförbränning av koks och gaser och förbränningsanordningarna är mer eller mindre konstruerade enligt denna princip som tydligare visas i figur 1.



Figur 1 Princip för förbränningsanordning

Ideellt skall primärluften bara förbränna så mycket bränsle som behövs för att värma det tillförda bränslet så att det torkar och avgasas samt för att förbränna eller eventuellt förgasa koksåterstoden.

Sekundärluft tillsätts för slutförbränning men utnyttjas även för att skapa omrörning.

I många pannor är de olika stegen i figur 1 tydligt skiljda från varandra vilket ger möjligheter att påverka förbränningen mer än om stegen är blandade. Vid villa-pannor med undre avbränning, exempelvis, är de olika förbränningsstegen separerade ungefär så som visas på figuren. I vissa fall t ex i större pannor sker de första stegen efter varandra på en rost och gasen förbränns ovanför rosten i förbränningsrummet.

Emissionsproblemet består i att slutförbränna gaserna i gasförbränningssteget. Primärsteget är indirekt viktigt genom att det kan skapa störningar i tillförseln av gas, vilket i sin tur kan ge upphov till oförbränd gas.

Bränslet

Bränslets utseende påverkar förbränningsanordningens konstruktion och bränslets egenskaper också dess funktion och därigenom påverkas emissionerna.

Bränslets utseende: Helved, flis, pellets, briketter, pulver.

Bränslets egenskaper: Fukthalt, kvävehalt och askans sammansättning.

Eldningssättet

Stora förbränningsanläggningar sköts av speciellt utbildad och för ändamålet avsedd personal, medan mindre anläggningar, och särskilt villa-pannor, inte med säkerhet handhas med intresse och omsorg; eldning och skötsel av en panna är sannolikt en lågt prioriterad sysselsättning. Därför kan, av sådana skäl, av samhället oönskade emissioner uppstå. Denna aspekt tas inte upp här utan istället antas att alla förbränningsanordningar handhas så som avsetts av tillverkaren.

TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Det finns en omfattande litteratur om avgasning, förbränning och förgasning av enstaka partiklar, särskilt med inriktning på kol, men även på biobränslen. Det bör särskilt påpekas att mycket av det arbete som utförts med anknytning till kol även kan tillämpas på biobränslen. Vidare har gasförbränning och tillhörande reaktionsmekanismer studerats tidigare. Även detta kan användas för studier av förbränning av gaser från biobränsleavgasning, men inom hela detta område återstår mycket att göra.

Däremot finns inte så mycket publicerat om emissioner från småpannor för biobränsleeldning. Den tidigare verksamheten inom detta område var huvudsakligen inriktad på att förbättra förbränningen med syfte att öka verkningsgraden. De CO-utsläpp som då var av intresse låg betydligt högre än dagens önskemål om mycket låga halter i samband med emissionsminimering.

I början på 80-talet gjordes ett försök till kemisk och biologisk karaktärisering av rökgasen från några mindre biobränsleanläggningar, Rudling m.fl. 1981. Några år senare genomfördes ett par undersökningar av ett större antal pannor, Schuster och Berge 1985 samt Schuster m.fl. 1985. I emissionsavseende redovisades främst mätningar av CO och i vissa fall THC. Resultaten visar en stor spridning i de emitterade halterna, men i många fall indikeras höga halter av oförbränt.

I Schweiz genomfördes 1986–88 en omfattande studie av emissioner från ett tiotal olika anläggningar, Nussbaumer 1990. Parallellt med dessa öppna undersökningar har ett stort antal miljöprovningar av främst vedeldade villapannor och kaminer genomförts vid bl.a. Statens Provningsanstalt. Mätningarna begränsar sig i dessa fall till tjära och stoft samt kolmonoxid. För att närmare undersöka emissionsnivåerna av framför allt VOC utförde Statens Provningsanstalt 1990–92 på STEV/NUTEKs uppdrag en serie mätningar, Karlsson 1992, Karlsson och Gustavsson 1992, Karlsson, Wallin och Gustavsson 1992. Dessa mätningar omfattade villapannor och andra pannor mindre än 10 MW vid stationär och instationär drift. CO, VOC, tjära, THC och NO_x registrerades. Diskussionen i föreliggande rapport utgår från dessa omfattande arbeten.

Ett försök till uppskattning av VOC-emissioner från kaminer har vidare redovisats i Braathen m.fl. 1991. Emissioner från kaminer etc redovisas också i Karlsvik m.fl.

1993. Samband mellan emissioner av oförbränt och av NO_x från rosterpannor har studerats av Schuster, 1990 resp. 1992.

EMISSIONSBILDEN

Befintliga mätningar ger en bild av nuläget vad beträffar emissioner från små helvedeldade pannor och litet större, mestadels kontinuerligt eldade pannor.

Vedpannor

I det följande avses, om inte annat sägs, emissioner från moderna, miljögodkända, vanligen keramiskt infordrade pannor. Data är hämtade från den undersökning som publicerats av Karlsson och Gustavsson 1992. Jämfört med större pannor är utsläppen av oförbrända gaser höga. Om CO-emissionen tas som jämförelsemått visar mätningar på större fastbränslepannor och olje/gaspannor värden i området 50 till 100 mg/MJ, medan vedpannorna ger 10 till 100 gånger mer CO. De höga CO-utsläppen åtföljs av andra oförbrända ämnen. Uttryckt som totalcolväte är colväteemissionerna genomgående 50 till 5000 mg CH_4 /MJ. I andra tillämpningar är sådana utsläppsnivåer helt oacceptabla. Motsvarande utsläpp av colväten från större fastbränslepannor och olje/gaspannor är noll eller under alla förhållanden klart under 10 mg CH_4 /MJ.

Emissionerna av oförbränt är ännu högre för traditionella, vattenkylda eldstäder än för modernare, miljögodkända pannor med keramiskt infordrade förbränningsrum, se tabell 1.

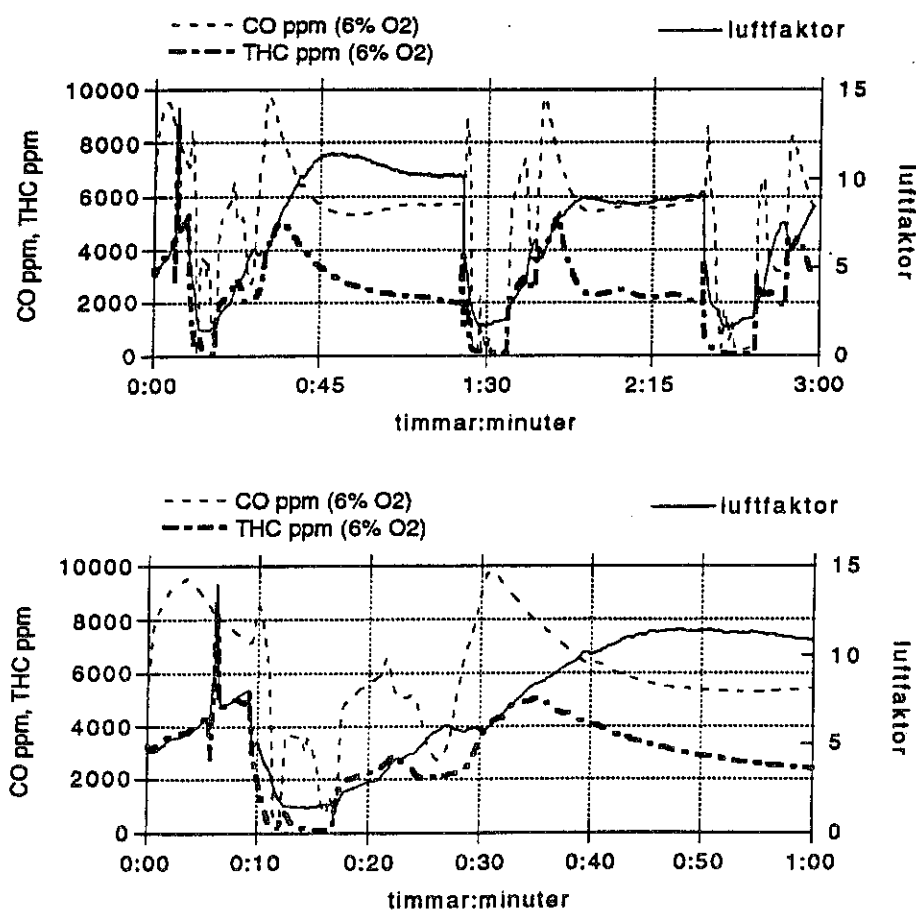
Tabell 1 Jämförelse mellan vattenkylda och keramiskt infordrade pannor, medelvärden (Karlsson och Gustavsson 1992)

	CO mg/MJ	Tjära mg/MJ	VOC mg/MJ	NO_x mg/MJ
Miljögodkända pannor	1300	22	453	116
Traditionell panna	6200	687	1804	68

Skillnaden är större för de tyngre kolvätena (tjära) än för de lättare (VOC). Observera även NO_x emissionerna som ändras i motsatt riktning jämfört med övriga emissioner.

Ovanstående emissionsdata är medelvärden över tidsperioder som innehåller störningar på grund av transienta förlopp vid start–stopp, störningar i bränslebädden och andra oregelbundenheter som förekommer vid normal drift av småpannor.

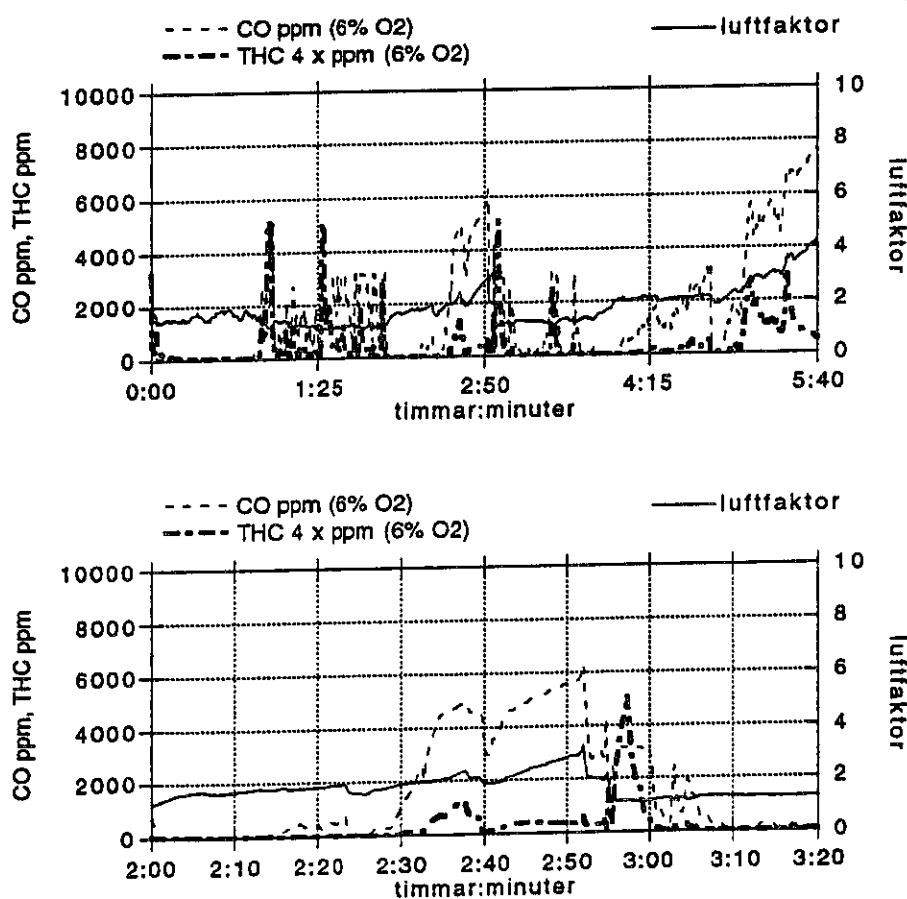
Störningarna i emissionsbilden vid transienta förlopp märks tydligt vid dellasteldning av fläktstyrda pannor, figur 2. I exemplet i figur 2 är fläkten i drift under de tre perioderna med låga emissioner och en luftfaktor strax under två. Under resten av tiden står fläkten stilla, men ett läckflöde av luft går genom pannan och



Figur 2 Variationer i emissionerna av CO och THC vid dellasteldning med fläktstyrd panna. Även luftöverskottets variation visas. Det nedre diagrammet är en uppförstoring av det övre diagrammets första timma.

ger upphov till en viss förbränning. Även bränslets avgasning fortsätter under stilleståndsperioden. Omblandningen är dålig och temperaturen faller, varför koncentrationerna av CO och THC ökar. Samtidigt är gasflödet lågt, något som bör beaktas vid tolkningen av figur 2, som ju endast visar koncentrationerna. Då fläkten startar på nytt skall en stor mängd oförbränd gas förbrännas vid, i första ögonblicket, låg temperatur. Kraftiga emissioner kan bli följden och dessa kvarstår tills pannan nått sitt normala driftläge. Figur 2 visar dock att den aktuella pannan endast ger upphov till en kort "spik" i THC vid återstart.

Störningar av transient natur kan också uppstå under kontinuerlig drift på grund av vedtillförsel, genombränning av bränslebädden, valvbildning med påföljande ras i bädden och omrörning i fyren. Två besläktade exempel på de transienta förloppens negativa inverkan är upptändning och vedinlägg på glödbädd. I båda fallen kan emissionerna av oförbränt öka kraftigt. I upptändningsfallet beror detta



Figur 3 Variationer i emissionerna av CO och THC vid kontinuerlig drift med vedinlägg (ackumulatoredad panna). Det nedre diagrammet är en uppförstoring av det övre mellan klockan 2:00 och 3:20.

på låg temperatur. Vid vedinlägg tillkommer, förutom en viss avkyllning av bränslebädden, även en plötslig avgasning så att slutförbränning inte alltid kan ske.

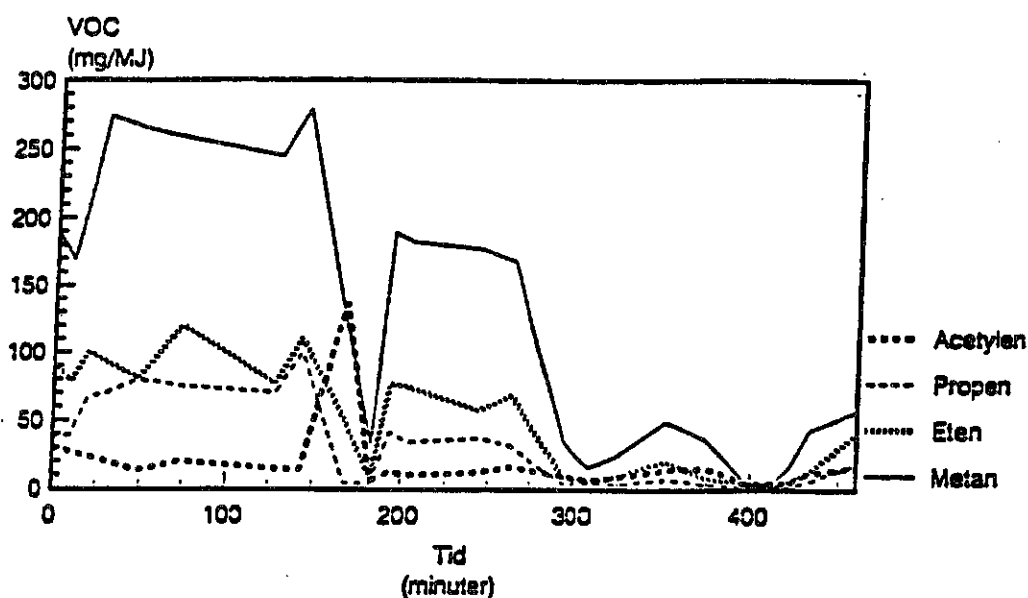
Figur 3 visar ett exempel på att transienta förhållanden kan spela en roll även under kontinuerlig drift. Man ser av figur 3 att emissionerna ökar när veden börjar ta slut, förbränningsintensiteten minskar, luftöverskottet ökar och temperaturen (ej mätt) sjunker under tidsperioden strax före vedinlägget vid 3-tiden. Omedelbart efter vedinlägget ökar THC något, men förbränningen förbättras, luftöverskottet sjunker och efter 10 minuter fungerar pannan bra.

Dessa förlopp kan bli olika, beroende på bränsle och pannkonstruktion. Även om de är tidsmässigt korta är de betydelsefulla, eftersom de utgör en avsevärd del av de totala emissionerna.

Ovanstående transienta förlopp utgör det stora problemet vid uppvärmning av en byggnad, eftersom lasten varierar och pannan får köras mestadels vid dellast eller t o m extrem dellast. För en panna med naturligt drag innebär körning vid dellast att lufttillförseln minskas, vilket gör att omblandningen gas-luft försämras. Därvid blir förbränningen mindre intensiv, luftöverskottet ökar och förbränningstemperaturen sjunker. Detta får som resultat att slutförbränningen av gaser blir dålig, CO- och THC-emissionerna ökar. Det uppstår en obalans mellan den avgasningshastighet som motsvarar effektbehovet och den som uppstår som en följd av pannans ytor, volymer och reglering av lufttillförsel. Ett exempel på emissioner från drift av en panna med naturligt drag vid dellast visas på figur 4.

I en fläktrulerad panna är det möjligt att styra lufttillförseln bättre än i en panna med naturligt drag, men i stället ökar antalet start och stopp vid ökande last. Detta får till följd att emissionerna ökar med ökande dellast (i motsats till pannor med naturligt drag). Först då lastnivån nått den för pannan maximala blir emissionsvärdena måttliga (relativt sett). Figur 5 visar emissionsförloppen för en 25 kW fläktstyrd panna vid dellasterna 15, 7 och 3 kW.

Pannan i figur 5 visar samma beteende som den i figur 2. Återigen kan man konstatera att funktionen är bättre under perioderna med lufttillförsel än under stilleståndsperioderna. Å andra sidan är gasflödet lågt under stilleståndsperioderna, vilket naturligtvis minskar de totala utsläppen. Ett sätt att



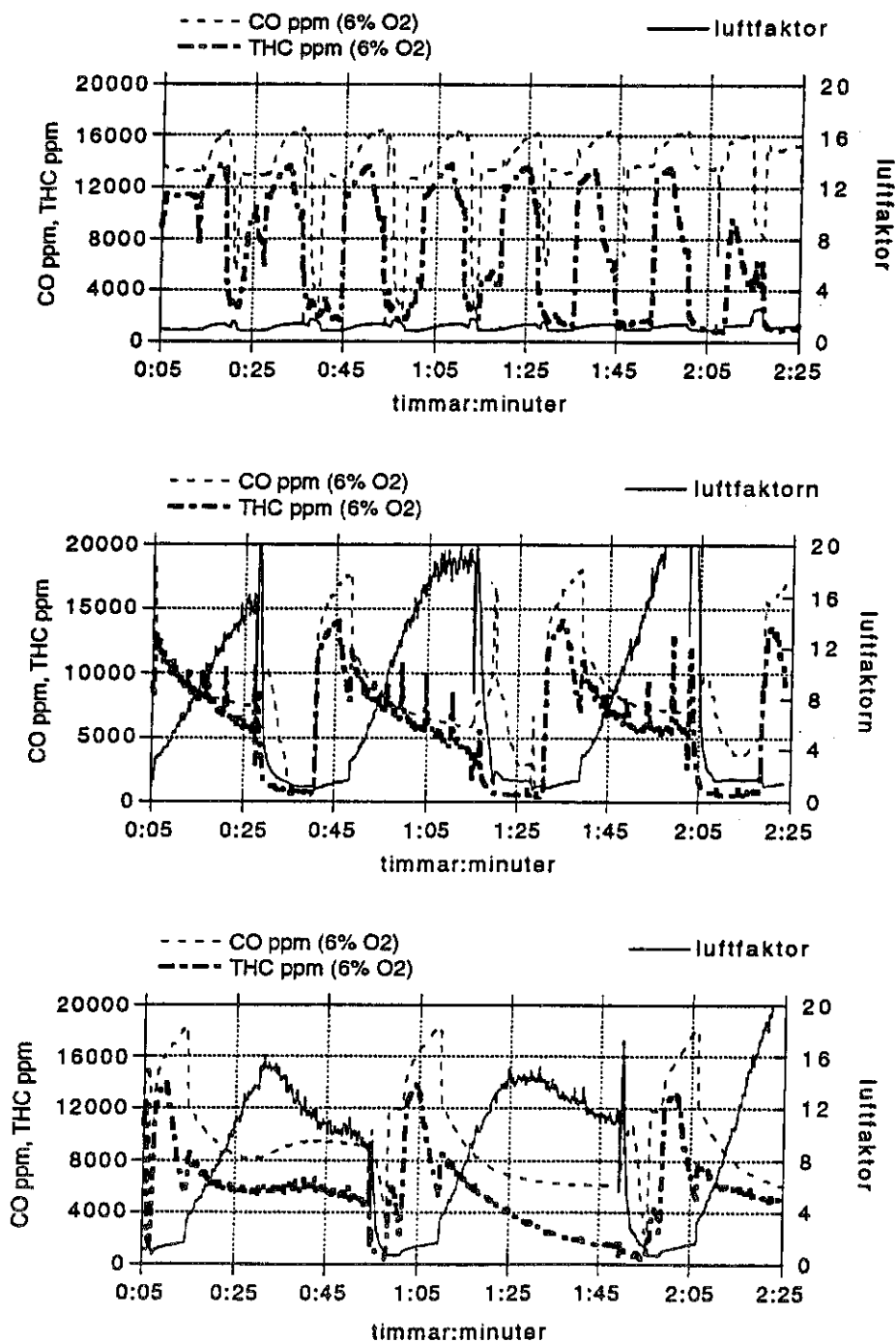
Figur 4 Emissioner av några typer av kolväten från en keramiskt infordrad 15 kW panna med naturligt drag. Lasten var 3 kW (timmarna 0–2), 7 kW (timmarna 3–5) och 15 kW (timmarna 6–8). (Karlsson 1992).

minimera antalet start–stopp samt att låta pannan gå på maxlast under en lång tid är att pannan får ladda en värmeackumulator som räcker för byggnadens värmebehov under en viss tid, t ex ett dygn. Detta kallas "ackumulatordning" i motsats till "direktledning" då pannan levererar värme direkt efter byggnadens behov.

Kontinuerligt eldade pannor

Med kontinuerligt eldade pannor menas pannor där bränslet tillförs regelbundet i motsats till satsvis eldade. Därmed räknas även stokermatade pannor som kontinuerligt eldade.

I en omfattande undersökning av biobränsleeldade pannor i storleksordningar från 0,5 till 10 MW som utförts av Statens Provningsanstalt (Karlsson m.fl. 1992) erhöles emissionsnivåer som normalt låg betydligt under de bästa som uppmätts för villapannor.



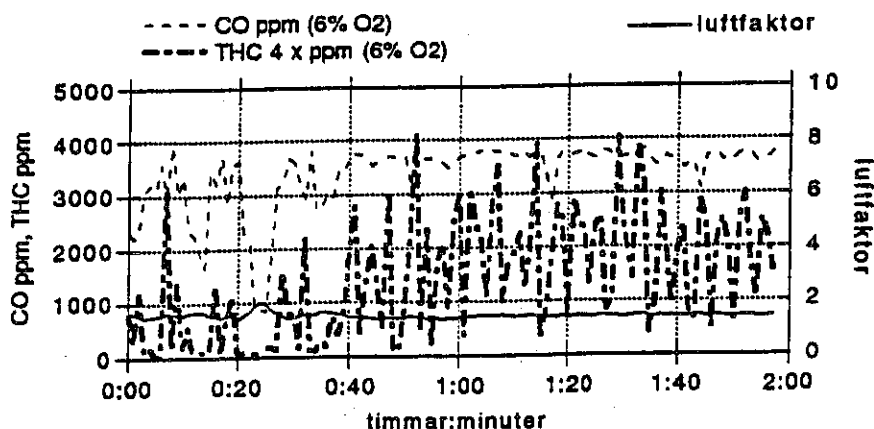
Figur 5 Emissioner från en 25 kW fläktstyrd panna vid dellasterna 15, 7 och 3 kW. Pannan regleras genom på- och avslag

Emissionsförloppens tidsvariationer, varav ett exempel ges i figur 6, visar att en stor del (nästan hela) av kolväteemissionen beror på oregelbundenheter i bränsletillförseln till pannan eller på eldningsanordningen.

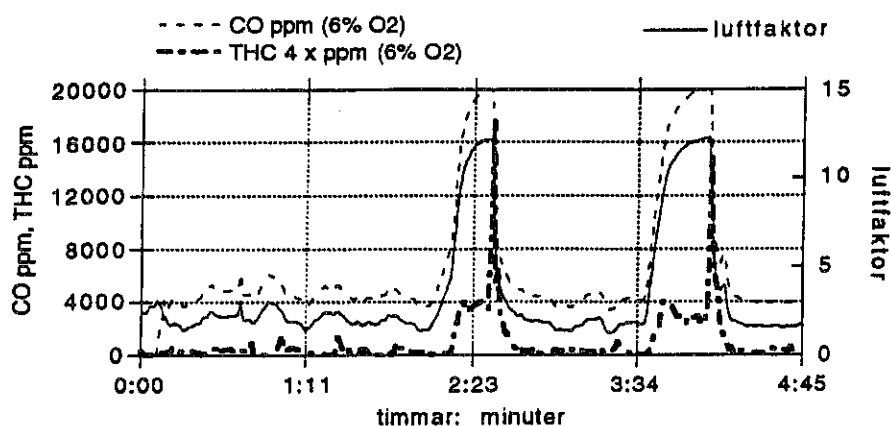
Orsaken till variationerna framgår inte av mätningarna, men den bör fastläggas genom nya mätningar, eftersom det kan misstänkas att denna typ av störningar relativt lätt kan åtgärdas genom ändringar i konstruktionen av bränslehanterings-systemet eller i bränsleberedningen.

Mätningar på Chalmers cirkulerande fluidiserad bädd (CFB) panna vid upp till 8 MW last visar avsevärda CO och THC koncentrationer i förbränningsrummets utlopp före cyklonen, men efter cyklonen erhålls för normalt bränsle (regelbundna pellets, briketter och flis) inga kolväten och mycket låga CO-koncentrationer (30 ppm) (Karlsson och Leckner 1992). Tydligt har omrörningen i CFB-pannans cyklon en välgörande inverkan på slutförbränningen. Däremot räckte cyklonens funktion som slutförbrännare inte till när bränslet (träbriketter) delvis smulades sönder i transportsystemet och tillfördes pannan i en oregelbunden blandning av fint och grovt bränsle. Det fina bränslet tenderar att transporteras genom pannan utan att brinna färdigt. Det brinner då i cyklonen men hinner inte brinna upp och resultatet av emissionsmätningar i detta fall (Karlsson och Leckner 1992) liknar det som illustrerades på figur 6.

En annan typ av störning uppträder då pannorna lastregleras genom på- och avslag. På figur 7 visas ett exempel med två stopp vid 2 h och 3,5 h. Särskilt vid



Figur 6 Variationer i emissionen av CO och THC från en panna kontinuerligt eldad med träbriketter.



Figur 7 Variationer i emissionen av CO och THC från en fliseldad planrost med förugn under perioder med start och stopp. (Förbränningen representeras av CO₂-koncentrationen.)

påeldning förekommer avsevärda emissions-"spikar" i THC-emissionen som liknar förloppen vid fläktstyrda vedpannor. Liksom visades för andra typer av pannor (se t ex figur 2) uppstår även här kraftiga emissioner under avställningsperioderna.

Kväveoxidemissioner

Kväveoxidemissionerna är i storleksordningen 50 till 140 mg NO₂/MJ. Jämfört med den svenska riktlinjen för maximiemissioner (50 mg/MJ) eller maxvärden för stora anläggningar i städer (Värtan, 30 mg/MJ) verkar de uppmätta värdena för små biobrännleeldade eldstäder vara helt oacceptabla. Även gränsvärdena för oljeeldade villapannor ligger lägre (40 mg/MJ).

Tillgängliga mätresultat är inte sådana att slutsatser kan dras om påverkande faktorer. Flera potentiellt påverkande faktorer har inte mätts eller har varierat.

PÅVERKANDE FAKTORER

Ett stort antal mätresultat från ett stort antal anläggningar kan reduceras till en diskussion om inverkan av ett fåtal primärt påverkande faktorer. Här skall främst påverkan på utbränningen beaktas, kväveoxiderna behandlas separat.

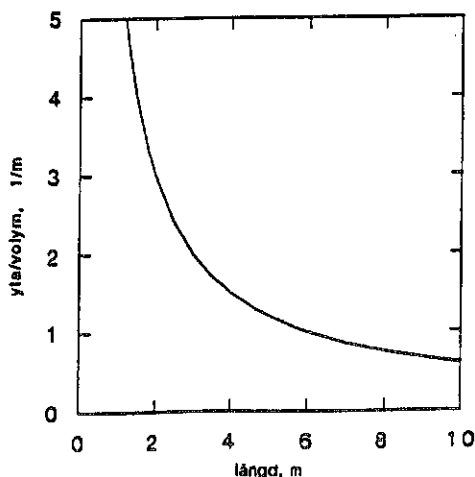
Följande primärt påverkande faktorer skall diskuteras:

- 1) Förbränningsrummets storlek
- 2) Luftfaktor
- 3) Lufttillförsel
- 4) Omblandning av bränsle-luft
- 5) Transienta förhållanden
- 6) Bränslet.

Förbränningsrummets storlek

Förbränningsrummets storlek påverkar förbränningsförloppen på ett flertal olika sätt.

I små förbränningsrum blir begränsningsytan stor i förhållande till volymen, figur 8. Då kan värmeförlusten p g a strålning till väggarna bli stor om väggarna är kylda och om det brinnande mediet har stor strålningsförmåga, t ex vid koksförbränning och förbränning med lysande flammor, men inte vid ren gasförbränning. Om väggarna är okylda kan de ändå ha en negativ effekt, t ex innan de blivit varma. Tjocka väggar bevarar värme under längre tid och tjänar därmed som en utjämnande buffert men tar längre tid att värma.

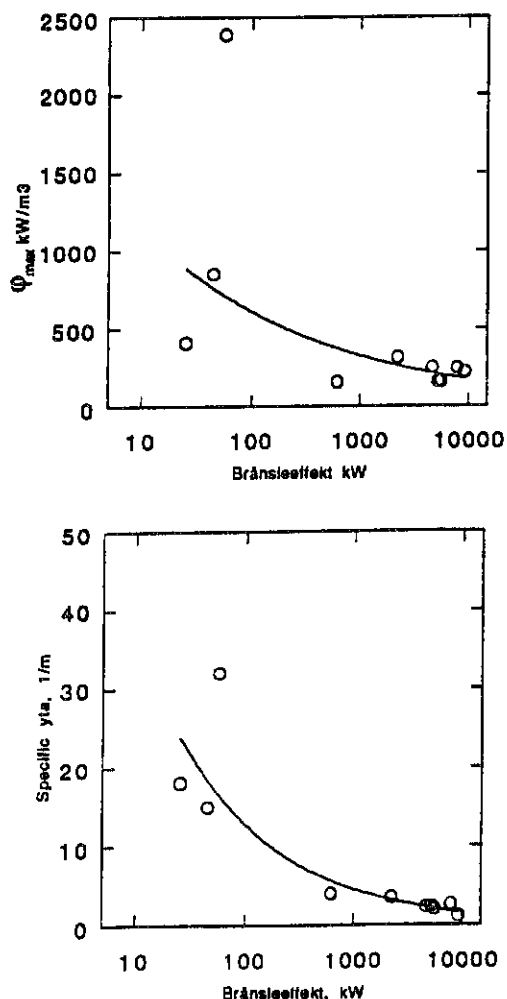


Figur 8 Yta/volymsförhållandet i ett kubiskt rum.

En motsvarande storhet är effekt–volym förhållandet, φ_{\max} . Effekten är pannans maximala bränseffekt och volymen den del av rökgasutrymmet där huvuddelen av gasförbränningen sker. Förhållandet illustreras med några exempel från kommersiella pannor i figur 9.

Eftersom bränseffekten vid givet luftöverskott är direkt relaterad till ett rökgasflöde (m^3/s) uttrycker kriteriet φ_{\max} även den inverterade medeluppehållstiden τ för gasen, $\varphi_{\max} \sim 1/\tau$. Ju mindre φ_{\max} desto längre uppehållstid har gasen i förbränningsrummet och desto större blir sannolikheten för utbränning.

Slutsatsen är att de små förbränningsrummen principiellt har en svårare förbränningssituation än de stora, dels på grund av kortare gasuppehållstid, dels på grund av förhållandevis större yta. Det senare förklarar varför effekten av keramikytor för att minska utsläppen av tjära blev så stor; förbränningsrummen



Figur 9 Specifik effekt och specifik yta som funktion av pannstorlek för några av de pannor som undersökts av Statens Provingsanstalt.

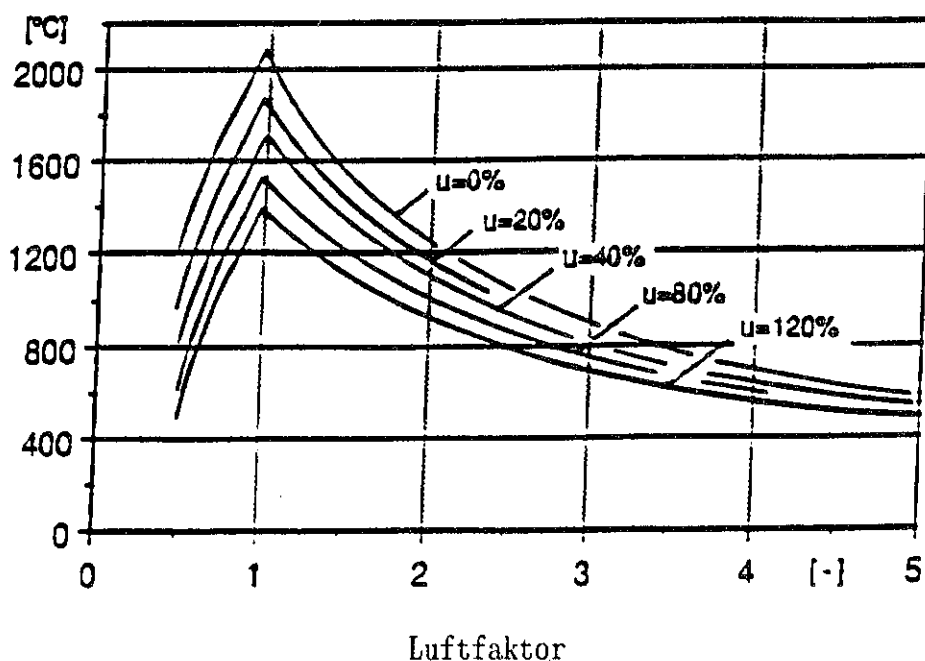
var helt enkelt felkonstruerade med alltför mycket kylta i små rum och keramikytorna ledde till en minskning av den kylda ytans storlek.

Tre faktorer är betydelsefulla: Yta-volymförhållandet, gasuppehållstiden och andelen kylda väggar.

Luftfaktorn

Luftfaktorn bestäms genom rökgasanalys (O_2 eller CO_2 med hänsyn tagen till oförbrända gaser; CO, THC). Luftfaktorn är i den aktuella tillämpningen ett mått på hur mycket av den genomströmmande luften som förbrukats för förbränning. Den säger egentligen inte så mycket om lufttillgången vid själva förbränningen eftersom bränsle och luft kan vara separerade på grund av dålig omblandning (jfr "falskluft"). En hög luftfaktor bidrar till att minska både gasens uppehållstid och förbränningstemperaturen. Den senare aspekten uttrycks av begreppet "adiabatisk förbränningstemperatur", som baseras på det totala gasflödet genom pannan, se figur 10.

Adiabatisk
förbrännings-
temperatur



Figur 10 Adiabatisk förbränningstemperatur vid olika fuktkvoter u , Nussbaumer 1992.

Den adiabatiska förbränningstemperaturen uttrycker den maximala temperatur som kan uppnås vid förbränningen (då ingen värme avges till omgivningen). I en mer eller mindre kyld brännkammare blir temperaturen alltid lägre än den adiabatiska.

En rimlig förbränning kan upprätthållas vid temperaturer över 750°C. Som synes av figurerna 2 till 6 jämfört med figur 10 har luftfaktorn ofta varit för hög för att denna temperaturnivå skulle kunna upprätthållas. Enbart detta räcker för att förklara en stor del av de höga utsläppen som observerats vid emissionsmätningar på småpannor. Slutsatsen är att vare sig pannan är av självdragstyp eller fläktstyrd har lufttillförseln ofta i de undersökta pannorna varit så hög i förhållande till den förbränning som förekommit att förbränningen släckts eller blivit ofullständig.

Lufttillförseln

Förbränningsförloppet kan enklare styras om de olika stegen, som visas i figur 1, separeras. Därvid separeras lufttillförseln i primär och sekundärluft. Primärluftflödet måste vara sådant att en temperatur på åtminstone 800°C kan upprätthållas i primärzonen. Sekundärluften måste tillsättas på ett sådant sätt att omrörning skapas i sekundärzonen. Detta kan vara svårt att åstadkomma i praktiken, t ex i en självdragspanna vid dellast då den tillförda luftens rörelsemängd är liten. Kunskapen om hur lufttillförseln fördelar sig i småpannor är ofullständig.

Ombländning av bränsle och luft

Ombländning och uppehållstid på en tillräckligt hög temperaturnivå är de två primära faktorerna som avgör om gasen skall brinna upp eller inte. I de flesta studerade anordningarna är luftöverskottet mycket stort. Det saknas alltså inte syre för förbränningen utan problemet är att syre och brännbar gas inte blandas (vid tillräckligt hög temperaturnivå). Någon, men kanske otillräcklig, omrörning sker då sekundärluft tillsätts och någon ombländning uppstår vid ändring av strömningsriktningen i krökar. Den senare är troligen liten p g a gasens relativt höga viskositet.

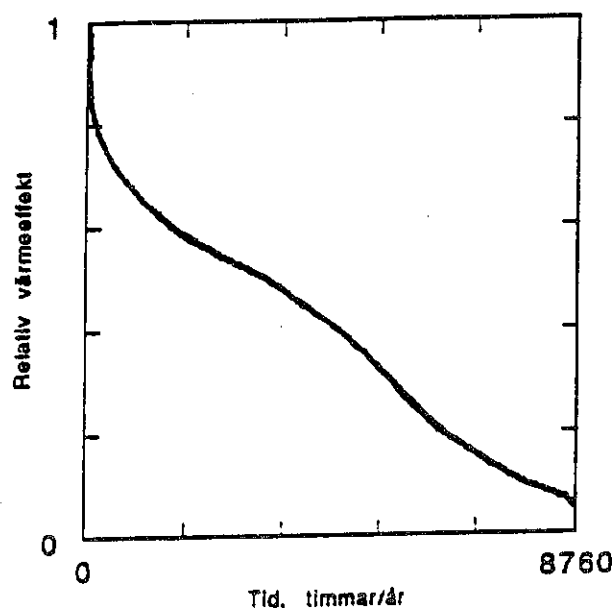
Det finns två typer av omblandning:

- makroomblandning, som sker mellan gas och luft som strömmar i stråk genom gaskanalerna
- mikroomblandning, d v s normal turbulent omblandning i reagerande gas.

Mikroomblandningen är alltid närvarande och kan behandlas med konventionella statistiska betraktelsesätt. Makroomblandningen är troligen det stora problemet i de aktuella eldstäderna. Det är oklart hur den skall behandlas, men det kan konstateras att i det ovan nämnda exemplet med CFB-pannan åstadkomms makroomblandning i cyklonen, vilket ledde till hög utbränning av gasen. Mikroomblandningen var ingen begränsande faktor.

Transienta förhållanden

Uppvärmningsbehovet varierar starkt över året. Ett typiskt belastningsdiagram för byggnadsuppvärmning och tappvarmvatten är mycket spetsigt, figur 11.



Figur 11 Belastningsdiagram för uppvärmning och tappvarmvatten.

En panna som skall leverera värme till en byggnad måste vara dimensionerad för den största värmelasten (vid lägsta dimensionerande utetemperatur, LUT, dvs ett värde som ligger något över den största verkliga relativa värmelasten 1 på figur 11), vilket betyder att pannan så gott som alltid går med dellast. Start och avstängningsförlopp och eventuell reglering av lasten har därmed en stor betydelse för fortsatta studier. Kombinationer med andra uppvärmningssätt för att minska topplasten är också möjliga.

Detta problem blir mindre i stora uppvärmningssystem. Dels är större pannor (det gäller fortfarande pannor mindre än 10 MW) lättare att reglera utan alltför stora olägenheter, dels kan stora system bestå av ett antal pannor som tillsammans tillgodoser de största belastningarna. Dessa enheter kan därmed gå med konstant last under långa tider och problemet med transienter undviks.

Den andra orsaken till transienta förhållanden är satsvis eldning.

Stor ved	}	satsvis eldning
Små pannor		

Berett bränsle	}	kontinuerlig eldning
Storapannor		

Störningar i samband med lastreglering visades ovan vara orsaken till mycket stora emissioner av oförbränt från satsvis eldade villapannor. Kontinuerlig eldning är bättre från miljösynpunkt, men även i sådana fall uppstår störningar av transient natur, figur 6.

Problemet kan undvikas genom att använda berett bränsle (pellets, pulver) även i små anläggningar, men uppenbarligen finns andra hinder för en sådan tillämpning; outvecklad teknik, ekonomi.

Bränslet

Olika grad av beredning påverkar förbränningsanordningen och dess funktion:

Helved, huggen	–	satsvis eldning
Flis	–	kontinuerlig eldning
Pellets	–	"
Pulver	–	"

Vidare har kväveinnehåll, fukthalt och askans egenskaper betydelse.

Bränslenas kvalitet, t ex fukthalten, varierar ofta med tiden. Pannornas tolerans för kvalitetsvariationer bör undersökas.

Kväveoxider

Kväveoxidemissionerna är endast delvis beroende av ovanstående faktorer. Sannolikt är temperaturnivåerna så låga att inga termiska kväveoxider bildas utan kväveoxidernas ursprung ligger i bränslets kväve. Eftersom bibränslen kan innehålla mycket olika halter av kväve är bränslets kväveinnehåll kanske en av de mest betydelsefulla faktorer som påverkar emissionerna (Leckner och Karlsson 1993). Kvävet avgår dels med de flyktiga beståndsdelarna, sannolikt till största delen som ammoniak, och dels från koksförbränningen som kväveoxid. Denna ammoniak och denna kväveoxid kan sedan antingen resultera i mer kväveoxid eller kan ammoniaken bidra till reduktion av befintlig kväveoxid tillsammans med syre och kolmonoxid.

Denna kvalitativa beskrivning kan i första hand ytterligare klarläggas genom gas-koncentrationsmätningar i förbränningsrum och gaskanaler. Därefter kan strategier för NO reduktion diskuteras.

FORTSATT ARBETE

En teknisk utveckling av småskaliga eldningsanordningar har ägt rum, ett antal konstruktioner har byggts och utprovats, men fortfarande är emissionsnivåerna otillfredsställande höga. Förbränning av bibränslen i småskaliga pannor är ett försummat kunskapsområde. Endast ett fåtal systematiska undersökningar har utförts och teoretisk analys saknas helt. Därför är det lätt att föreslå områden för forskning och vidare undersökningar. Nedan föreslås fem verksamhetsinriktningar som har olika karaktär, men som bör kopplas till varandra.

Sonderande verksamhet

En fortsättning behövs av den utvärdering av emissioner från småpannor som redan påbörjats av Statens Provningsanstalt. Det är önskvärt att karaktärisera och jämföra befintliga pannkonstruktioner samt att närmare undersöka pannorna som system bestående av olika komponenter: Bränslematning, torkning, avgasning, gasförbränning, koksförbränning, kylning av förbränningsprodukterna och emissioner vid stationära och transienta förhållanden. Inverkan av primär- och sekundärluft bör undersökas. Temperaturer och koncentrationsförlopp bör mätas, både i utloppet och i förbränningsrum och gaskanaler.

Om möjligt bör undersökningarna omfatta både stationära och transienta förhållanden vid olika laster.

En jämförelse mellan befintliga konstruktioner och storlekar bör göras med utgångspunkt från specifika effekter, medeluppehålltider för gasen och andelar kylvitor i förbränningsrum och gaskanaler. Dessa kriterier kan knytas an till mätresultat och teoretiska beräkningar, t ex, teoretiskt beräknade utbränningstider vid olika temperaturer kan jämföras med anläggningarnas medeluppehålltider.

Provningsverksamhet

Denna verksamhet kan omfatta systematiskt upplagda försök i en speciellt byggd försöksanläggning som är lämpad och åtkomlig för detaljerade mätningar. Syftet kan vara att närmare studera olika förlopp på ett mer generellt och renodlat sätt än vad som kan göras vid sonderande försök i en panna. Exempel på väsentliga aspekter och parametrar:

- temperatur
- utbränning av gaser, jämförelse med beräkningar
- omrörning
- inverkan av stegad förbränning (samspel mellan primär- och sekundärluft)
- bildning och reduktion av kväveinnehållande gaskomponenter.

Även inverkan av konstruktionselement kan studeras:

- anordningar för lufttillförsel
- anordningar för omblandning
- inverkan av väggar
- katalysatorer
- reglerutrustning.

Ytterligare en viktig faktor som bör undersökas är inverkan av bränslets utseende och egenskaper.

Vetenskaplig verksamhet

Denna verksamhet hör ihop med ovanstående. Syftet är att skapa baskunskaper i den mån de inte redan finns tillgängliga i litteraturen.

Ett grundläggande kunskapselement är förbränning och avgasning av "enstaka" partiklar i olika omgivningar. Här finns mycket redan gjort om små kokspartiklar i samband med kolpulvereldning. I den aktuella tillämpningen är det istället avgasningsförloppet och slutförbränning av stora bränslebitar som är av intresse. I samband med detta bör speciell uppmärksamhet fästas vid avgången av kväveföreningar vid avgasning och slutförbränning av koks samt vid kväveföreningarnas form. Det är logiskt att låta problemdefinitionen följa gasen på dess väg genom pannan: Strömningsförlopp, särskilt blandning, och anknytning mellan strömning och förbränningsförlopp, homogena gasfasreaktioner för tyngre kolväten (utan blandningsbegränsning), osv. Allmänt uttryckt finns det ett önskemål att skapa underlag för tolkning och beskrivning av observerade förlopp samt till förutsägelser av förloppen och som stöd för matematiska modeller.

Matematisk modellering

Matematiska modeller (av olika slag) behövs för att analysera förloppen i de småskaliga förbränningsrummen med syfte att tolka mätresultat, kartlägga svaga punkter och föreslå och utvärdera förbättringar.

Modellerna kan utnyttja befintliga datorprogram och befintlig kunskap men måste kompletteras med information angående biobränslen och andra förhållanden som är speciella för den aktuella tillämpningen.

Utveckling av mätteknik

Relevant mätteknik är ett viktigt redskap för undersökningar av förbränningsförlopp. Metoder och utrustning för mätning av temperaturer, gassammansättning och gasflöden i förbränningsrum och gaskanaler finns redan i viss utsträckning tillgänglig. En anpassning och vidareutveckling med hänsyn till bl.a. de aktuella pannornas små dimensioner är emellertid nödvändig. Detta gäller speciellt sonder av olika typer för mätning i eldstaden. Vidareutveckling av mätteknik, t.ex. FTIR, för bestämning av olika mellanprodukter i en komplex förbränningsmiljö är angelägen.

En utvärdering av olika metoder för mätning av kolväteemissioner (THC, tjära, PAH, VOC, Priority Pollutants) med hänsyn till bl.a. inbördes samband, relevans och repeterbarhet, bör göras. Detsamma gäller för olika kväveinnehållande ämnen (NO_x , HCN, NH_3 , N_2O , HCNO etc) i en kolväterik miljö.

Slutligen bör, som förberedelser för sonderande mätningar, en mall tas fram för hur denna typ av undersökningar bör ske. Mallen bör innefatta principer för försöksplanering, provtagnings- och analysmetodik, dokumentation av anläggningar och försöksbetingelser samt möjligen också standardisering av bränslekvaliteter.

SLUTSATS

Förbättringar av småskaliga pannor för biobränslen har gjorts under 1980-talet, men särskilt för villapannor är fortfarande emissionerna betydligt mycket högre än vad som accepteras för större förbränningsanläggningar.

På grundval av gjorda mätningar går det att kvalitativt gissa sig till orsakerna för höga emissioner av CO, totalkolväten och andra organiska ämnen: transienta driftförhållanden, otillräcklig omblandning av den producerade gasen med syre och otillräcklig uppehållstid vid tillräckligt hög temperatur. En så enkel slutsats räcker

inte för att lösa problemen och därför föreslås fortsatt verksamhet för att bättre förstå och förutsäga förloppen i en liten panna i anknytning till pannans konstruktionselement. Denna fortsatta verksamhet kan bestå av flera olika delar: Sonderande mätningar, provningsverksamhet, grundläggande kunskapsinhämtande och matematisk modellering.

REFERENSER

Boverkets Nybyggnadsregler, BFS 1988:18.

Braathen O.-A., Schmidbauer N. och Hermansen O., Utslipp av metan og hydrokarboner fra vedfyrning. Norsk Institutt for Luftforskning, Rapport 28/91, ISBN 82-425-0249-8, 1991.

Karlsson M. och Leckner B., Opublicerade mätningar, 1992.

Karlsson M.-L., Emissioner från vedpannor — Lastförhållandets betydelse, Statens Provningsanstalt, Rapport 1992:48.

Karlsson M.-L. och Gustavsson L., Karaktärisering av rökgaser från vedpannor, Statens Provningsanstalt, Rapport 1992:49.

Karlsson M.-L., Wallin P.-A. och Gustavsson L., Emissioner från biobränsleeldade anläggningar mellan 0,5 och 10 MW, Statens Provningsanstalt, Rapport 1992:46.

Karlsvik, E., Hustad J.E. och Sønju, O.K., Emission from wood stoves and fireplaces, Elsevier, 1993.

Leckner B. och Karlsson M., Gaseous emissions from circulating fluidized bed combustion of wood, *Biomass and Bioenergy*, 4, 379-389, 1993.

Nussbaumer T., Emissionen von Holzfeuerungen. Inst für Energietechnik, Eidgenössische Technische Hochschule. Zürich, 1990.

Rudling L., Ahling B. och Löfroth G., Kemisk och biologisk karakterisering av rökgaser från småskalig vedeldning med flis och ved, Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1331, 1981.

Schuster R., Wester L. och Berge N., Projekt Pannutvärdering. Energiupphandlingsdelegationen, 1985.

Schuster R. och Berge N., Provning av fastbränsleeldade anläggningar < 0,5 MW, Statens Naturvårdsverk PM 1929, 1985.

Schuster R., Förbränningstekniska åtgärder för emissionsbegränsning i skogsbränsleeldad panna med rörlig rost, rökgasåterföring och befuktning av förbränningsluft. Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, Rapport 387, 1990.

Schuster R., Kväveoxider kontra kolväteemissioner i medelstora fastbränslepannor. Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, Rapport 447, 1992.

Åtgärder mot klimatpåverkan mm, Proposition 1992/93:179.

