

A3. Förbränning

Förbränningsförloppet består i själva verket av ett antal delprocesser. Generellt kan förloppet beskrivas med följande fyra faser;

- 1) Veden torkas, värme åtgår (startfas).
- 2) Veden sönderdelas, gaser bildas (pyrolys).
- 3) Huvuddelen av gaserna förbränns, värme avges (gasförbränningsfasen).
- 4) Återstoden av träkolet förbränns, värme avges (slutfas).

Det är alltså inte vedträet i sig självt som brinner utan främst brännbara gaser som bildas vid pyrolysen. För att komplicera bilden ytterligare så pågår de olika processerna samtidigt men kanske på olika håll i eldstaden.

Avslutningsvis ges i kapitlet en genomgång av emissionsproblem vid vedeldning.

Vedens energi

Vedens energi består i grunden av kemiska bindningar. Fotosyntesen har satt ihop de enkla molekylerna i vatten och koldioxid till stora molekyler av bland annat cellulosa. Solenergin, som är fotosyntesens drivkraft, omvandlas till kemisk energi i bindningarna mellan atomerna i de stora molekylerna. Ved är alltså inget annat än omvandlad och kemiskt lagrad solenergi. Vatten och koldioxid består tillsammans av tre grundämnen: kol, syre och väte (*se avsnitt om Bränslet*). När veden förbränns fullständigt omvandlas all den kemiska energi som byggdes upp vid fotosyntesen till värme. De stora molekylerna har åter brutits ned till de ursprungliga molekylerna koldioxid och vatten.

Förbränningen påverkas av ett antal faktorer:

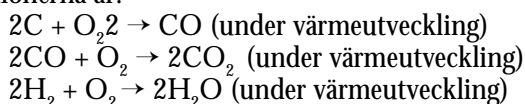
- bränslets beskaffenhet, det vill säga fukthalt och styckestorlek
- bränsletillförseln, det vill säga tillförselmetod och -frekvens
- förbränningstemperaturen
- uppehållstiden
- luft/bränsleförhållandet
- hur effektiv blandningen av bränsle och luft är

Förbränningsprocessen

Veden är uppbyggd av cellulosa och lignin. Dessa är komplicerade molekyler i som huvudsak består av kol i långa kedjor med syre och väte. Vid förbränningen bryts dessa stegvis ner via

mellanprodukter som lätta kolväten, kolmonoxid och vätgas till slutprodukterna koldioxid och vatten. Om inte förbränningen är fullständig uppstår utsläpp av kolmonoxid och oförbrända kolväten i form av till exempel tjära eller flyktiga organiska ämnen, VOC.

Förbränningen innebär att man låter syret i luften reagera med bränslets väte och kol och bilda koldioxid och vatten. Ett stort antal delreaktioner sker men de väsentligaste övergripande reaktionerna är:



Av detta framgår att man måste tillsätta luft så att förbränningen underhålls. Vid för låg syretillförsel blir förbränningen ofullständig och i stället för koldioxid bildas giftig kolmonoxid.

För att uppnå en optimal förbränning krävs att varje delprocess sker under rätt förhållanden. Man brukar tala om förbränningens 3 T, Tid, Temperatur och Turbulens, som skall vara uppfyllda för en god förbränning. Förbränningen måste pågå under tillräckligt lång tid, vid tillräckligt hög temperatur och med tillräcklig turbulens, det vill säga omblandning av komponenterna. Detta uppnås genom utformningen av eldstaden, olika bafflar och placering av luftintag med mera.

Tid

Många pannor är undermåligt utformade för gasförbränning. Det saknas helt enkelt utrymme för att okylt förbränna gaserna. Detta ger förbränningsmässiga svårigheter. Gaserna får alltför snabbt genom eldstaden och då uppstår problem med ofullständig förbränning. Emission av olika pyrolysisprodukter förstärks många gånger av eldarens okunskap att hantera utrustningen.

Ett annat sätt att uttrycka problemet är att gaserna inte håller rätt temperatur under tillräckligt lång tid. Varje delprocess kräver nämligen en viss minsta tid för att reaktionen skall bli fullständig. Här talar man om uppehållstid för ett visst ämne. Med detta begrepp menas den tid som till exempel gasen – eller voden – håller rätt betingelser för att kunna reagera.

Slutförbränning

Ungefär 20 procent av voden blir kvar i glödbädden och förbränns där i den så kallade koksförbränningen. Syret vandrar i kolpartiklarna och reagerar där till koldioxid och koloxid som sedan vandrar ut ur partikeln. Detta jämfört med pyrolysen där ämnen avges från bränslet och reagerar med syret utanför bränslepartikeln. Koksförbränningen kräver längre tid för att bli fullständig och det är viktigt att partiklarna har stora ytor. Här är askan ett problem i och med att den täpper till porer som annars skulle ökat exponeringsytan för koksförbränningen.

C = Kol
O₂ = Syrgas (syre ur luft)
CO = Kolmonoxid (koloxid)
CO₂ = Koldioxid
H₂ = Vätgas (väte)
H₂O = Vatten

Förbränningens 3 T:

- Tid
- Temperatur
- Turbulens

Uppehållstid = den tid som till exempel gasen – eller voden – håller rätt betingelser för att kunna reagera.

Slutförbränning av kolresterna tar tid.

Askegenskaper

Aska består av icke brännbara, oorganiska metallföreningar. För biobränslen är det i första hand innehållet av natrium, kalium, kalcium, magnesium och klor som avgör askegenskaperna. Dessa ämnen bildar föreningar som smälter vid låga temperaturer som 700–800 °C. Tillsammans med spårämnen kan än lägre smälttemperaturer erhållas. Lågsmltande föreningar fungerar som klister på ytan av en askpartikel. Dessa bildar lätt beläggningar i eldstaden och på efterföljande ytor.

Normalt innehåller ved låga halter av de besvärliga ämnena och askan förblir torr och fastnar inte.

Temperatur

Primärluft tas in tidigt i pannan för att torka och förgasa veden och för att underhålla förbränningen.

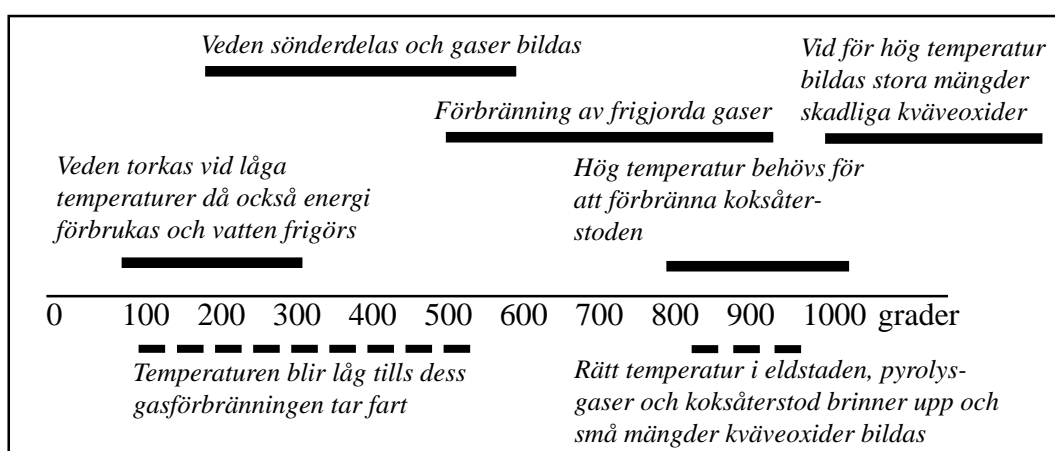
Förgasning eller pyrolys av bränslet börjar så tidigt som vid 100 °C då olika kolväten frigörs. Hela 60–80 viktprocent av veden avges i form av flyktiga beståndsdelar redan vid 350°C. Sekundärluft behövs sedan för att slutförbränna vedgasen. Vedgasen består av ett stort antal olika gaser, var och en med sin antändningstemperatur. För CO är den hela 850 °C. Då gas förbränns ovanför bädden avges värme som värmer upp bränslet ytterligare och mer gas bildas, tills endast träkol finns kvar. En god förbränning erhålles inom temperaturintervallet 850–1100 °C.

Den nedre gränsen krävs för fullständig förbränning och den övre markerar askans smältpunkt (vilken kan variera något). Vid högre temperatur ökar också bildningen av kväveoxider, NOx och materialproblem uppstår i pannan. Om temperaturen å andra sidan är för låg blir förbränningen ofullständig. Oförbrända kolväten, PAH (PolyAromatic Hydrocarbons) och tjära bildas.

PAH = Polyaromatiska kolväten, till exempel bensen, naftalen, toluen.

POH = Icke aromatiska kolväten, till exempel metan, propan.

Temperaturen är avgörande för förbränningens förlopp.



Lufttillförsel

Lufttillförseln måste vara så stor att tillfört syre räcker för att omvandla bränslet till koldioxid och vatten (jämfte aska och andra ämnen). Den minsta luftmängden, som krävs för fullständig förbränning, räknat per kg brännbart ämne, kallas "den stökiometriska luftmängden". Den stökiometriska luftmängden är ungefär lika för alla vedslag. Räknat per kilogram torr ved är den 4,7 normalkubikmeter (cirka 6 kg luft).

I praktiken är det svårt att torka veden absolut torr. En del vatten blir alltid kvar. Lufttorr ved håller cirka 25 procent fukt. Av varje kilogram lufttorr ved är cirka 250 gram vatten, resten är ved. Den minsta mängden luft som krävs för fullständig förbränning av 1 kg lufttorr ved är i runda tal 3,5 normalkubikmeter eller 4,5 kg luft. Räknat per kilogram ved kan det skenbart se ut som den lufttorra veden kräver mindre mängd luft än den stökiometriska mängden för ett kilogram absolut torr ved. Vid förbränning avgår fukten ur bränslet, som första steg, när det kommer in i eldstaden. Till detta åtgår värmeenergi, som tas från bränslet.

För att kunna förbränna ved med teoretiskt minsta möjliga luftmängd fordras en utomordentligt god inblandning av luften i bränslet. Detta är näst intill omöjligt att åstadkomma.

Vid förbränning måste man därför i praktiken alltid sätta till luft i överskott. Hur stort luftöverskott som behövs beror på pannans konstruktion. Äldre pannor kan kräva mer än hundra procent luftöverskott, medan moderna klarar sig med 50 procent. Ur verkningsgradssynpunkt skall luftöverskottet hållas så lågt som möjligt. Ju mer uppvärmd luft som går upp genom skorstenen desto mer energi går förlorad.

Det finns ingen teknik på den svenska marknaden i dag som automatiskt kontrollerar förhållandet mellan luftmängd och vedens avgasningshastighet vid förbränningen och som därigenom optimerar luftöverskottet.

Turbulens

Förbränningsluften ska komma i god kontakt med bränslet och vedgasen. Detta sker på flera sätt:

- Bränslets styckestorlek avpassas till pann- och rosttypen.
- Fyrens tjocklek avpassas till bränslets styckestorlek.
- Förbränningsluften tillsätts på flera ställen i pannan.
- Eldstaden utformas så att turbulensen underlättas.
- Bafflar med mera kan sättas in för att öka omblandningen.

Bränslestorlek

Bränslets styckestorlek påverkar luftströmningen på så sätt att man vid stora, tjocka bränslestycken har liten kontaktyta mellan

*" Stökiometrisk
luftmängd" = Den
teoretiskt minsta
luftmängd, som krävs
för fullständig förbrän-
ning av ett brännbart
ämne.*

bränsle och luft. Luften som tillförs en fyr bestående av sådant grovt bränsle kommer i dålig beröring med bränslet och måste därför passera genom en relativt hög bränslemassa för att all luft ska utnyttjas. Vid klenare dimensioner och små bränslebitar till exempel flis eller pellet blir luftkanalerna i bränslebädden mindre och luften får därför bättre kontakt med bränslet.

Om veden är krokig och ojämn finns det också risk för att den hänger sig och att det bildas hål i bränslebädden där luften smiter förbi utan att utnyttjas effektivt.

Utsläpp från vedeldning

En vedeldningsanläggnings emissionsprofil beror på förbränningen som i sin tur beror på teknisk utformning, bränsle, eldningsteknik med mera. Särskilt känslig är situationen i inlednings- och avslutningsskedet i en förbränningscykel.

Fukt

Fuktigt bränsle ger normalt sämre förbränning och därmed ökade emissioner, med undantag för NO_x. Detta gäller såväl hel ved som förädlade bränsleformer. En jämförande undersökning av eldning med torr (19 procent fukthalt) respektive fuktig ved (41 procent) i kamin gav följande resultat (*Naturvårdsverket rapport 1331, 1980*):

- CO-halten ökade med en faktor 3 (medelvärde).
- tjärhalten ökade med en faktor 5–10.
- VOC ökade med en faktor 10.
- PAH ökade med en faktor 30.

Moderna miljögodkända pannor är mindre känsliga för fukthalten, men ändå ökar halterna av oförbrända kolväten då fuktig ved används. Äldre pannor är mycket känsliga för fukthalten.

Bränsleformens och bränsletillförselns inverkan

Då råvaran i flis och träpellet är den samma som i ved, skiljer sig inte avgasningsprodukterna mellan dessa tre bränsleformer. Vid förbränning av ved/flis/pellet kan man anta att halterna av oförbränt minskar i takt med en minskning av bränslestyckstorleken och en ökad kontinuitet i tillförseln. Generellt kan sägas att eldning med manuell bränsletillförsel ger högre emissioner än eldning med kontinuerlig bränsletillförsel (*se avsnitt Förbränning*). Orsaken till detta är att förbränningsprocessen får fortgå kontinuerligt utan tillförsel av kall fuktig ved, genombränningar etcetera när flis matas kontinuerligt jämfört med manuell tillförsel av ved.

De mätningar som finns gjorda på Sveriges Provnings- och forskningsinstitut (SP) bekräftar ovanstående då vissa pellets-kaminer och -brännare (det vill säga kontinuerlig bränslemätning)

har gett mätvärden på några enstaka mg tjära/MJ, vilket är i nivå med de bästa miljögodkända pannorna.

Eldningscykelns faser

Vid satsvis eldning i en vedpanna uppstår en stor del av utsläppen i början av eldningscykeln då veden är kall och fuktig. Då en ordentlig glödbädd bildats sjunker utsläppen och förbränningen blir mer fullständig eftersom bränslet torkas och förgasas kontinuerligt allteftersom det sjunker ner mot rosten. Förbränningen liknar då vad som sker vid kontinuerlig matning. I slutet av cykeln bildas kanaler genom glödbädden, temperaturen sjunker och utsläppen av CO ökar åter. Utsläppen av tjära och annat oförbränt är emellertid låga eftersom endast koks återstår av bränslet. Vid vedpåfyllning, hängningar och andra störningar uppstår toppar av oförbrända kolväten. Det är därför viktigt att vedmagasinet är så utformat att hängningar så långt möjligt undviks.

Förbränningsutrymmets påverkan

Vid omvänd respektive underförbränning brinner endast den del av bränslet som ligger närmast rosten (*se avsnitt Eldningsprinciper*). Bränslet avgasas på så sätt successivt, vilket ger goda förbränningstekniska förutsättningar.

Vid överförbränning övertänds hela bränsleinlägget. Detta leder inledningsvis till att stora mängder flyktiga beståndsdelar frigörs. Förbränningsutrymmet skall i detta fall fungera som både förgasnings- och förbränningszon. Vanligtvis innebär detta dålig förbränning av gaserna. Vid vedpåfyllning i varm överförbränningspanna är detta extra märkbart.

I kombination med ackumulator ger omvänd och underförbränning med miljögodkänd teknik relativt låga emissioner av oförbränt, medan NO_x-halten ökar på grund av den höga temperaturen. (*se avsnitt Förbränning*).

Lastförhållandets inverkan på emissionen:

Akkumulatoreldad panna

Akkumulatoreldas en panna blir emissionen oberoende av variationen i hushållets effektuttag. Detta beror på att man vid "laddning" av ackumulatorn kör pannan under förbränningsmässigt bättre förhållanden och kortare tid än vid direkteldning.

Direkteldas pannan fås en helt annan emissionsbild, då pannan skall klara de olika betingelser som gäller vid olika belastningar. Pannorna med naturligt drag redovisar en gradvis sänkning av tjäremissionen ju närmare sina maxeffekter de kommer. Värt att notera är att pannor som är miljögodkända vid akkumulatoreldning, som motsvarar maxeffekt cirka 25 kW, fortfarande har relativt höga emissioner vid 15 kW effekt.

Fläktstyrd panna

Den fläktstyrda pannan uppvisar omvända förhållanden. Här stiger tjäremissionen med ökande effektuttag upp till en viss nivå. Förklaringen till detta finner man hos fläkten. Fläkten slår av när önskad effekt är uppnådd, ett luftunderskott uppstår, vilket leder till en fortsatt förgasning utan möjlighet till förbränning. När sedan förbränningen skall starta igen slås fläkten på och de föroreningar som gasats av blåses ut utan möjlighet till förbränning. Vid ökande effektuttag ökar pannans temperatur, samtidigt som fläkten slås av och på oftare. För denna fläktstyrda panna ökar emissionen med ökande effektuttag vid direktledning fram till dess att pannan eldas på maximal effekt och fläkten går oavbrutet, vilket resulterar i en abrupt sänkning av emissionen.

Emissioner

Ett stort antal kemiska föreningar bildas i en förgasnings- förbränningsprocess. Efter den ideala förbränningen bildas bara rena restprodukter som koldioxid och vatten. I verkligheten blir inte allt slutförbränt. Nedan ges en genomgång av ämnesföreningar och begrepp som är vanligt förekommande i sammanhanget.

Kolväten

Är ett samlingsbegrepp för en stor grupp organiska ämnen som till exempel metan, etanol, bensen med mera. Vissa är relativt harmlösa eller nyttiga för miljön och människors hälsa, men fler är skadliga eller mycket skadliga. De värsta ger människor cancer och skador i centrala nervsystemet. Kolväten som släpps ut i luften kan reagera under solljusets inverkan med kväveoxider, varvid ozon och andra så kallade fotokemiska oxidanter bildas vid marken. Dessa kan ge människor cancer och luftvägsproblem. Eten är ett enkelt uppbyggd men kemiskt reaktivt. Eten som släpps ut i luften reagerar med kväveoxider och bildar ozon och andra oxidanter som angriper skog och växande grödor. Dioxiner bildas vid dålig förbränning då klor finns närvarande. Det har exempelvis varit ett problem vid sopförbränning men har ej påvistats ge problem vid vedeldning.

Tjära

Den allmänna benämningen för tyngre kolväten. Farligast för människor är de polyaromatiska kolvätena (PAH), som bildas vid syrefattig förbränning av organiskt material. Flera av dessa ämnen är starkt cancerframkallande. Tjärprodukter och polyaromater bildas även till exempel vid cigaretttrökning och grillning.

Stoft

Stoft, med andra ord små partiklar, är bärare av olika kemiska föreningar. Stoft kan förflyttas långa vägar och om partiklarna är tillräckligt små kan de komma långt ner i lungorna och där ställa till skada. Skador som kan vara betydligt allvarligare genom de föroreningar som kan ha befunnits på storftpartikelns yta.

Formaldehyd

En aggressiv förening som bildas vid förbränning. Bedömningar har dock visat att det ej utgör något problem vid vedeldning om inte den befintliga bakgrundshalten av aldehyd är mycket hög av andra orsaker.

Svavel

Svavel som i form av svaveldioxid släpps ut i luften försurar sjöar, marker och grundvatten. Svaveldioxid är också farligt för hälsan. I städer som värms med svavelhaltig olja tar stadsbornas lungor skada. Svavelhalten i olja har dock sänkts på senare år. Vedrök innehåller mycket små mängder svavel men innehåller även basiska ämnen som effektivt neutraliserar de sura svavelföreningarna. Svavel ingår aktivt i ett naturligt kretslopp.

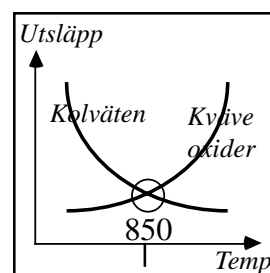
Kväveoxider

En grupp riskabla ämnen för både människors hälsa och miljön. De ger astmatiker akuta problem och misstänks ge cancer. Kväveoxider som släpps ut i luften försurar och övergöder naturen, samt bildar tillsammans med kolväten under solljusets inverkan ozon och andra oxidanter som skadar människor, skog och grödor. Utsläppet av kväveoxider ökar med pannans last. Studier bekräftar att det finns ett omvänt samband mellan kväveoxider och kolväten. Den teknikutveckling som har förekommit under de senaste tio åren har varit inriktad på att minska utsläppen av tunga kolväten, det vill säga tjära, genom en höjning av förbränningstemperaturen och genom styrning av tilluften. Detta har alltså gett upphov till högre utsläpp av kväveoxider.

Koldioxid – Koloxid

Koldioxid är en gas som inte är giftig, människor och djur andas ut den och växter behöver den. Ökning av koldioxid i atmosfären förstärker dock den så kallade växthuseffekten, vilket bedöms leda till att jordens naturliga klimat förändras. Eftersom träd som växer binder koldioxid ger vedeldningen inget nettotillskott till atmosfären av denna gas.

Vid ofullständig förbränning bildas också giftig koloxid (CO). Vid fullständig förbränning omvandlas all koloxid till koldioxid. Detta sker bland annat genom att man har tillräckligt med syre. Utsläppet av koloxid kan alltså ses som ett mått på förbränningens effektivitet.



För hög temperatur ger utsläpp av NO_x, för låg temperatur ger utsläpp av kolväten. Rätt förbränningstemperatur är omkring 850 °C.

Korrelationer mellan ämnen

Under 80-talets början studerades korrelationen mellan ett antal olika föroreningar. Syftet var att ta fram representativa utsläppsparametrar för pannor och kaminer, lämpade för provningsregler. Slutsatsen av emissionsstudierna var att totalkolväte- och tjärhalt var lämpliga indikatorsubstanser för utsläpp av kolväten och organiska ämnen vid manuell bränsletillförsel, samt att koloxid var en lämplig indikatorsubstans vid automatisk bränsletillförsel. Naturvårdsverkets bedömning att tjära var mer lämpat som indikatorsubstans än totalkolväte resulterade i att SP utarbetade provningsregler.

Dagens mätmetod (mätning av tjärutsläpp) har varit bra för att skilja ut pannor med undermålig teknik och mycket höga emissioner (SP METOD 1071). I Sverige finns idag ingen praxis för mätning av utsläpp från vedeldning på ort och ställe, det vill säga direkt i husets skorsten. SP's mätmetod är ej tillämplig i detta fall utan här skulle istället ett förenklat mätförfarande vara bättre lämpat (*se avsnitt Funktionskontroll*)

Det är av flera skäl intressant att känna till en eventuell korrelation mellan emissionen av olika föroreningar. Bland annat är en ökad kunskap om korrelationen ett viktigt steg på vägen för framtagandet av ny teknik för begränsning av utsläpp. Det är också av intresse att finna lätt mätbara parametrar som "representerar utsläppsbilden" och därmed förenklar provning och kontroll. Utvärderingen av utländska mätningar underlättas också då olika länder sällan anger utsläppsvärden för samma förorening.

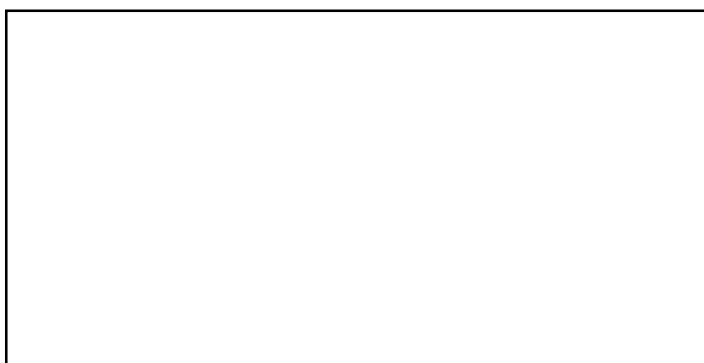
De komplexa kemiska reaktionerna som fortgår när ved förbränns försvårar bestämmandet av korrelationer. Särskilt svårt är det att finna samband under start- och slutfasen. För att få förståelse för hur emissionen av skilda föroreningar samvarierar under hela förbränningscykler krävs att antalet mätningar på en och samma anläggning mångdubblas. Hitills utförda mätningar med endast ett fåtal (2-3) mätserier per anläggning, ger för spridda data för att tjäna som bra underlag vid bestämning av korrelation mellan olika emissioner.

Tjära – Stoft

SP mäter tjära och stoft i sina tester för miljögodkännande av pannor och kaminer. Korrelationen mellan stoft och tjära för ett antal olika vedslag har undersökts vid KTH, Stockholm. Ingen av undersökningarna har kunnat påvisa att det föreligger ett systematiskt samband mellan stoft- och tjäremissionen.

VOC, Tjära – THC

Av naturliga skäl borde VOC- och tjärhalten korrelera med totalkolvätehalten. Det föreligger idag flera undersökningar av korrelationen mellan olika typer av kolväten. Resultaten är dock



Möjlig generell karaktäristik för samband mellan NOx och CO, totalkolväte och CO respektive tjära och CO.

ej entydiga. Forskarna är eniga om att korrelation föreligger, men någon exakt kvantifiering har ej kunnat göras. Vad gäller korrelationen mellan tjära och VOC har man kunnat konstatera att utsläppen av VOC minskar mindre än utsläppen av tjära vid övergång till bättre teknik.

CO – THC

Så väl svenska som utländska mätningar visar att en relativt stark positiv korrelation föreligger mellan emissionerna av CO och totalkolväte under gasförbränningsfasen. Sambandet varierar dock under de olika förbränningsfaserna, samt även mellan olika typer av pannor. Då både VOC och tjära är en del av totalkolvätehalten bör rimligtvis även dessa ha ett samband med CO. Detta samband har dock hittills inte kunnat preciseras.

Tjära, Dioxiner – PAH

Det har ej kunnat konstateras någon korrelation mellan tjära och PAH respektive dioxiner. I en undersökning av dioxinemissionen från småskalig vedeldning gjordes bedömningen att det fanns en tendens till att dioxinhalterna från respektive panna minskade vid sämre förbränning. Samma studie visade att en traditionell överförbränningspanna hade högre dioxinutsläpp än en modern keramiskt infodrad panna.

Referenslitteratur

Att värma med ved. Konsumentverket, 1993.

Prestandaförbättring av befintliga pannor. B-E Löfgren ÅFAB, 1994.

Småskalig vedeldning. Teknik, luftföroreningar, lagstiftning m.m. Naturvårdsverket rapport nr 4268, 1993.

Vedboken. Modern vedeldning i villa. L Krögerström, 1994.

Vedeldning Teoretiska grunder och praktiska råd. Egruppen Teknikinformation, 1987.

Bioenergeboken del 2, Förbränning, Ulf Hagström 1995

1996.05.20

Vedpärmen
A3. Förbränning

Sidan A3. 11

Personlig kommunikation

Lennart Gustavsson, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB,
SP Borås, 1995

SNV rapport 4204, 4268, 4270.

Vårt arbete för en bättre miljö, Naturvårdsverket.

Vägskal för miljön, Naturvårdsverket, 1994.

Prop. 1990/91:90

SNV årsredovisning 94/95