

*Begränsning av
koloxidhalt i rökgas från
fastbränsleeldning*

5140

*Begränsning av
koloxidhalt i rökgas från
fastbränsleeldning*

Beställningsadress
Naturvårdsverket
Kundtjänst
SE-106 48 Stockholm, Sweden
Tfn: 698 12 00
Fax: 698 15 15
Internet-hemsida: www.environ.se
Miljöbokhandeln: www.miljobokhandeln.com

ISBN 91-620-5140-7
ISSN 0282-7298

Naturvårdsverket
Tryck: Naturvårdsverkets reprocentral 2001/01
Upplaga: 600

Förord

I samband med administrationen av systemet för miljöavgift på utsläpp av kväveoxider (NO_x) vid energiproduktion har framkommit att anläggningar trimmats för minimering av NO_x -utsläpp på sådant sätt att koloxidhalten i rökgaserna stigit med åtföljande risk för förhöjda utsläpp av olika kolväteföreningar.

Naturvårdsverket har därför uppdragit åt ÅF-Energikonsult AB i Stockholm att genomföra en studie av konsekvenserna av planerade generella föreskrifter om begränsning av koloxodhalten i rökgaserna från fastbränsleeldning.

Rapporten har utarbetats av Robert Schuster och Anna-Karin Hjalmarsson, ÅF-Energikonsult AB i Stockholm. Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta inte kan åberopas som Naturvårdsverkets ståndpunkt.

Stockholm i januari 2001

Naturvårdsverket

Innehåll	Sid
1 SAMMANFATTNING.....	7
1 INLEDNING.....	8
2 VARFÖR KRAV PÅ CO-UTSLÄPP FRÅN FÖRBRÄNNING?	8
2.1 KORTFATTAD BESKRIVNING AV SAMBANDET MELLAN CO, NO _x OCH KOLVÄTEN VID FÖRBRÄNNING.....	8
2.2 NUVARANDE KRAV PÅ CO FRÅN FASTBRÄNSLEELDADE ANLÄGGNINGAR	12
3 UTSLÄPPSNIVÅER AV CO FRÅN SVENSKA TYPANLÄGGNINGAR.....	13
3.1 FASTBRÄNSLEPANNOR I NO _x -AVGIFTSSYSTEMET	13
3.2 KRAFTVÄRME- OCH VÄRMEVERK.....	14
3.3 MASSA- OCH PAPPERSINDUSTRI	15
3.4 TRÄINDUSTRI	15
3.5 ÖVRIG INDUSTRI.....	16
4 MÖJLIGA ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA CO-UTSLÄPPEN.....	16
4.1 ÅTGÄRDER ÖVERGRIPANDE	16
4.2 TRIMNING OCH DRIFT	17
4.3 MINDRE OMBYGGNADER.....	18
4.4 OMFATTANDE OMBYGGNADER.....	18
5 EFFEKTER AV KRAV PÅ CO-UTSLÄPP.....	21
5.1 MILJÖEFFEKTER.....	21
5.2 INVESTERINGSKOSTNADER.....	22
5.2.1 Kraftvärme- och värmeverk	22
5.2.2 Massa- och pappersindustri.....	22
5.2.3 Träindustri.....	23
5.2.4 Summering	23
5.3 EFFEKTER AV UTSLÄPPSGRÄNSER BASERADE PÅ KORTARE TIDSPERIODER.....	23
6 DISKUSSIONER OCH SLUTSATSER	24
7 REFERENSER	25
Bilaga: Omvandlingstabell för CO	

Sammanfattning

Totalt ingick 375 produktionsenheter (pannor och gasturbiner) i NO_x-avgiftssystemet 1999. Av dessa är cirka 200 fastbränslepannor, exkl. avfallspannor. De flesta pannor som omfattas av NO_x-avgiftssystemet har trimmats på något sätt i syfte att nedbringa kväveoxidutsläppen. Detta har i många fall medfört en ökning av CO-halten i rökgaserna. Förhöjda CO-halter innebär ökad risk för bildning av såväl lätta kolväten (VOC) som tyngre kolväten (PAH).

Idag uppskattar vi att cirka 80 pannor har relativt höga utsläpp av CO, över i storleksordningen 500 mg/m³ som dygnsmedelvärde (cirka 190 mg CO/MJ tillfört bränsle). Om ett villkor på 500 mg CO/m³ skulle införas om några år bedömer vi att cirka 30 pannor skulle kunna nå villkorsnivån endast genom trimning och åtgärder i driften. Ombyggnader skulle krävas av cirka 50 pannor. Det totala investeringsbehovet för ombyggnaderna uppskattas till mellan 65 och 110 miljoner kronor. Över hälften av investeringarna skulle krävas inom massa- och pappersindustrin. Övriga ombyggnader skulle behövas av pannor inom kraftvärme- och värmesektorn (cirka 10-15 miljoner kronor) samt inom träindustrin (cirka 10-15 miljoner kronor).

Den viktigaste konsekvensen av införandet av ett villkor för CO-utsläpp kommer att vara att också utsläppen av lätta och tunga kolväten kommer att minska. Detta på grund av att många av de sämsta pannorna ur CO-synpunkt och de som idag släpper ut mest kolväteföreningar kommer att byggas om. Införandet av krav för CO-utsläpp kan dock komma att öka utsläppen av NO_x något.

1 Inledning

De flesta pannor som omfattas av NO_x-avgiftssystemet har trimmats på något sätt i syfte att nedbringa kväveoxidutsläppen. Detta har i många fall medfört en ökning av CO-halten i rökgaserna. Förhöjda CO-halter innebär ökad risk för bildning av såväl lätta kolväten (VOC) som tyngre kolväten (PAH). Vissa kolväteföreningar är cancerogena eller mutagena. En annan allvarlig effekt är att vissa kolväteföreningar påverkar bildningen av marknära ozon och andra fotokemiska oxidanter.

Syftet med detta uppdrag är att övergripande belysa vilka tekniska och ekonomiska konsekvenser en begränsning av utsläppsnivåerna för koloxid ger för svenska pannor.

Uppdraget omfattar enbart anläggningar för fasta bränslen, exklusive avfall, som omfattas av NO_x-avgiftssystemet. Det betyder att pannor större än 5 MW och som producerar mer än 25 GWh per år omfattas.

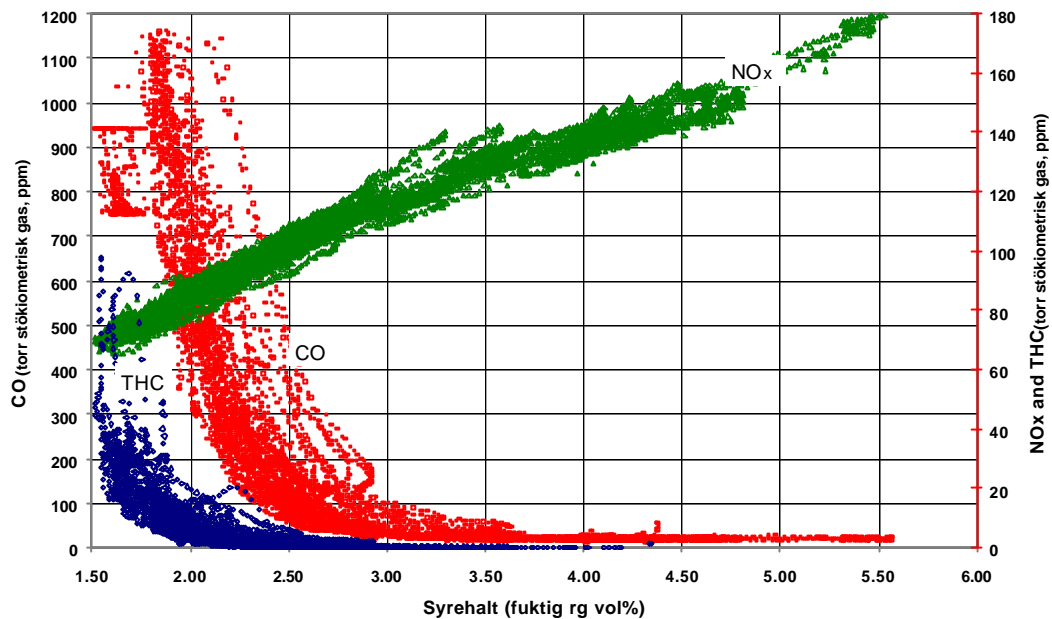
Den nivå som utgör utgångspunkt för diskussionerna är en koloxidhalt på i storleksordningen 500 mg/m³_n, torr gas vid 6% O₂, räknat som dygnsmedelvärde (cirka 190 mg CO/MJ tillfört bränsle). I förutsättningarna för uppdraget ingår också att erforderliga åtgärder för att klara denna nivå ska genomföras inom tidsperspektivet något år.

2 Varför krav på CO-utsläpp från förbränning?

2.1 Kortfattad beskrivning av sambandet mellan CO, NO_x och kolväten vid förbränning

Bildningen av NO_x gynnas av höga syrehalter och höga temperaturer. Bildningen av oförbrända kolväten i olika former däremot gynnas av låga syrehalter, låga temperaturer och/eller kort uppehållstid i eldstaden.

Det finns således ett motsatsförhållande mellan låga NO_x-halter och låga halter av oförbrända gaser. Detta illustreras i Figur 2.1 som visar hur olika gaskomponenter påverkas vid förändringar i syrehalten. Kväveoxidhalten sjunker när syrehalten sjunker samtidigt som koloxid och kolvätehalten ökar, när syrehalten minskats till ett visst värde. Värdena i figuren är från mätningar i en CFB-panna (cirkulerande fluidiserad bädd) med god förbränning. Varje punkt representerar ett medelvärde under 1 sekund.



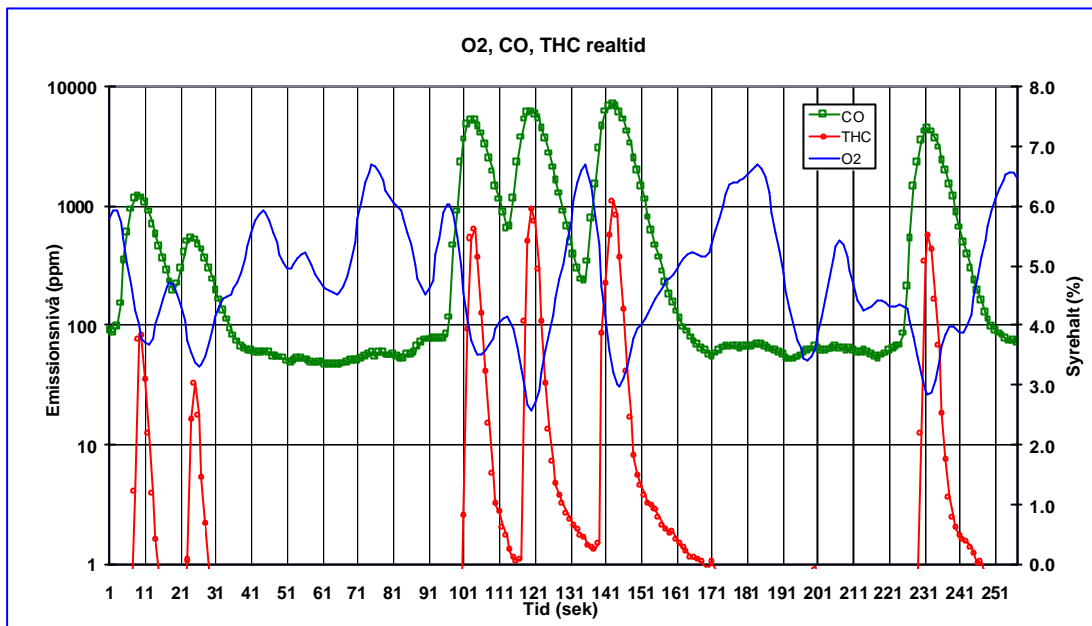
Figur 2.1 Exempel på hur syrehalten påverkar utsläpp med rökgas, uppmätta värden från en CFB-panna med god förbränning (varje punkt representerar medelvärde under 1 sekund, Jämtkraft 1997)

Alla pannor är individuella och emissionerna är starkt beroende av driftinställningar och bränsle. Kurvorna i

Figur 2.2 ser därför något olika ut för olika pannor. Det är framförallt vid vilken syrehalt (brytpunkt) som emissionerna stiger, som skiljer sig mellan olika pannor. Men formen och karakteristiken för kurvorna överensstämmer på flertalet pannor. Det kan också konstateras att koloxid och kolvätehalterna påverkas kraftigt av fukthaltsändringar i bränslet, medan NO_x -halten vid en och samma syrehalt och last påverkas avsevärt mindre av fukthaltsändringarna. Dessa slutsatser är bl.a. hämtade ur referenserna Schuster, 1993, Schuster, 1995, Wiklund m.fl., 1998 och Schuster m.fl. 1998.

Figur 2.2 visar ett exempel på relationen mellan syrgashalt, CO och halten av total kolväten (THC) från mätningar under en fyraminutersperiod. Figuren visar hur förändringar och instabilitet i förbränningsprocessen ger upphov till emissionstoppar av koloxid och kolväten. Det bör noteras att emissionsskalan till vänster är logaritmisk och syreskalan till höger är linjär.

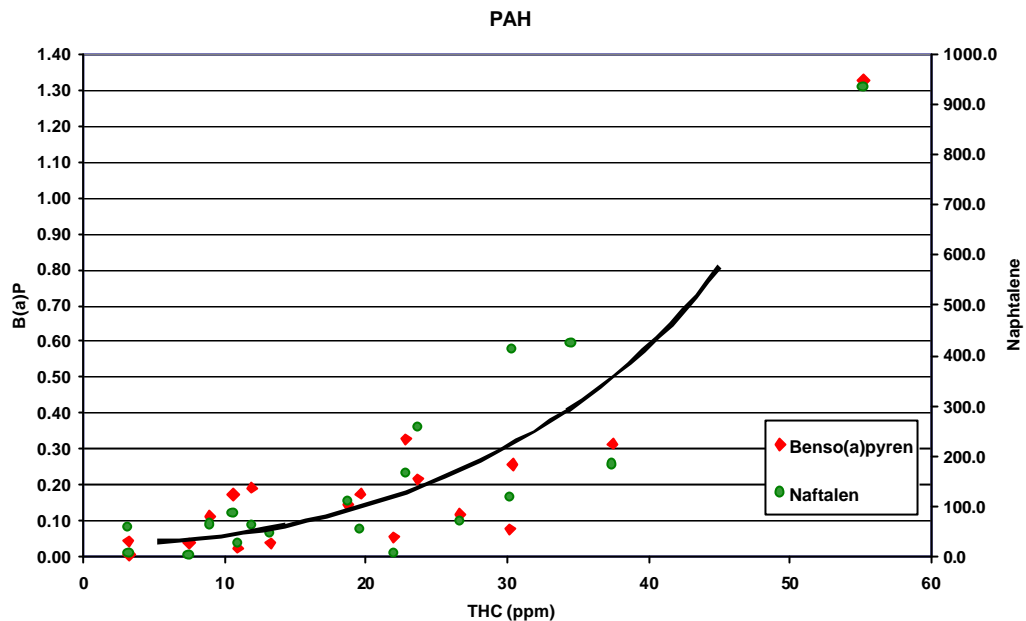
De flesta förbränningsanläggningar uppvisar denna bild med relativt låga emissionsnivåer som plötsligt avbryts av en eller flera emissionstoppar.



Figur 2.2 Uppmätta emissioner under drygt 4 minuter (Korstaverket CFB 1993)

Det kan med stor sannolikhet antas att det för nästan alla anläggningar föreligger ett starkt och exponentiellt samband både mellan halterna av CO och kolväten och mängden producerade tyngre, i många fall ringformiga cancerogena, kolväten (POM). Dvs en högre CO- eller THC-halt ger en mångdubbelt högre halt tyngre kolväten. Detta innebär att det inte är medelnivån av CO eller kolväten som är utslagsgivande för mängden POM utan frekvensen och höjden på de toppar av uppmätta halter oförbrända gaser som föreligger. Detta har bl.a. visats i referens Ingman och Schuster, 2000.

I Figur 2.3, som visar entimmesmedelvärden av PAH-ämnena benzo(a)pyren och naftalen, framgår det icke rätlinjiga samband mellan totalkolväte (THC) och PAH. Detta olinjära samband liksom sambandet med CO har också visats matematiskt i referens Ingman och Schuster, 2000. Det finns således en direkt koppling mellan oförbränt i form av CO och emission av oförbrända lätta och tyngre kolväten.



Figur 2.3 PAH och THC (medelvärde under drygt 1 timme, Korstaverket CFB, 1993)

Det är ett stort antal faktorer som påverkar nivån på CO-utsläppen från förbränning och även möjligheterna att minska utsläppen av CO. Olika typer av förbränningstekniker ger olika förutsättningar för förbränningen (här kallat panntyper) t.ex. roster, fluidbäddar eller brännare, men det är framförallt driften och utformningen av förbränningsanläggningen som svarar för de stora skillnaderna. Nedan ges några av de faktorer som påverkar

- Bränsletyp och -kvalitet påverkar CO-bildningen, t.ex. bidrar hög fukthalt till låga förbränningstemperaturer vilket normalt ger något högre CO-halter.
- Jämn inmatning av bränsle är viktigt för att få god förbränning och om olika bränslen eldas samtidigt är det viktigt att ha god blandning av bränslena.
- Ett tillräckligt högt luftöverskott ger förutsättning för god utbränning och låga halter av CO och kolväteföreningar. Det är även viktigt hur luften tillsätts för att få god förbränning och samtidigt låga NO_x -utsläpp.
- God omblandning, långa uppehållstider och hög temperatur bidrar till god utbränning och låga CO-nivåer. Det är dock inte de genomsnittliga värdena i eldstaden som styr emissionsnivåerna, utan hur pass homogen förbränningen kan göras både i tid och rum. Stråkbildning och bränsle/luft-variationer ger således uppkomst till oförbrända gaser även vid betryggande genomsnittliga luftöverskott.

- Lastnivåer och lastvariationer påverkar förhållandena för förbränningen. Vilken betydelse lastnivån har på utsläppen av CO beror på panntyp och panndesign. Det kan t.ex. vara svårt att hålla uppe temperaturen vid låga laster. Höga laster kan å andra sidan i vissa pannor ge för korta uppehållstider och låga luftöverskott. Snabba lastvariationer gör det i de allra flesta fall mycket svårt att ha bra förbränningsförhållanden bl a beroende på regleringssvårigheter.
- SNCR-anläggningar kan medföra att det bildas CO, speciellt då urea används som kemikalie. Dessa utsläpp är inte intressanta i detta sammanhang, eftersom de inte indikerar dålig förbränning och risk för kolväteutsläpp.

2.2 Nuvarande krav på CO från fastbränsleeldade anläggningar

För närvarande finns endast föreskrifter för utsläpp av CO från avfallsförbränningsanläggningar (SNFS 1993:13, SNFS 1993:14). Föreskrifterna har tillkommit som en följd av EU-direktiv.

I Naturvårdsverkets branschfaktblad (NV, 1993) anges exempel på utsläppsnivåer som kan vara vägledande vid provning av förbränningsanläggningar, se Tabell 2.1.

Typ	CO-halt	Enhet	Anmärkning
Eldning av fasta bränslen	250	mg/m ³ _n , vid 6 % O ₂	dygnsmedelvärde
	200	ppm, vid 6 % O ₂	dygnsmedelvärde
	90	mg/MJ tillförd energi	dygnsmedelvärde

n=normal, torr gas (vid 0°C, 101,3 kPa)

Tabell 2.1 Exempel på vägledande utsläppsnivåer för CO från fastbränsleeldning vid miljöskyddsprovning (Naturvårdsverket, 1993)

Fjärrvärmeföreningen har i en studie (Fjärrvärmeföreningen, 2000) kartlagt villkor och utsläpp från medlemmarnas bibränsleeldade pannor. Av de som ingick i undersökningen identifierades cirka 50 bibränsleeldade pannor med någon typ av villkor för utsläpp av CO. Det vanligaste villkoret är 90 mg CO/MJ tillförd energi räknat som dygnsmedelvärde och 180 mg CO/MJ tillförd energi räknat som timmedelvärde. De villkor uttryckta som dygnsmedelvärden som redovisas i databasen är mellan 90 och 200 mg/MJ. Det är stor variation på villkoren både vad gäller enhet och nivåer. Tidsbaserna är medelvärden räknat på halvtimme, timme, dygn, månad och år. Vissa värden är satta som gränsvärden och andra som besiktnings- eller riktvärden.

3 Utsläppsnivåer av CO från svenska typanläggningar

3.1 Fastbränslepannor i NO_x-avgiftssystemet

Antalet fastbränsleeldade pannor exkl. avfall i Sverige som 1999 ingick i NO_x-avgiftssystemet, enligt Naturvårdsverkets underlag, redovisas i Tabell 3.1 uppdelat på branscher. Totalt ingick 375 produktionsenheter (pannor och gasturbiner) i NO_x-avgiftssystemet 1999. Av dessa är cirka 200 fastbränslepannor, exkl. avfallspannor. I begreppet fastbränslepannor ingår även pannor i vilka fastbränsle sameldas med olja eller gas.

Bransch	Antal pannor
Kraftvärme- och värmeverk	117
Kemisk industri	1
Metall- och verkstadsindustri	0
Massa- och pappersindustri	47
Träindustri	36
Livsmedel	1

Tabell 3.1 Antal fastbränslepannor i Sverige, exkl. avfall som ingick i NO_x-avgiftssystemet 1999 (Naturvårdsverket, 2000)

I Tabell 3.2 redovisas ungefärlig fördelning av pannotyp för fastbränslepannorna inom respektive bransch baserat på de pannor som ingick i NO_x-avgiftssystemet 1999. Rosterpannor är den vanligaste typen för förbränning av fasta bränslen. Fluidiserade bäddar i form av CFB (cirkulerande fluidiserad bädd) och BFB (bubblande fluidiserad bädd) förekommer företrädesvis inom kraftvärme- och värmeverk. Det finns även pannor som eldar de fasta bränslet i pulverform i brännare. Som bränsle i dessa pannor används kol, torv och träbränsle var för sig eller i kombination. Olja eldas tillsammans med fasta bränslen i mer eller mindre omfattning i flera av pannorna. De flesta pannorna eldas med bibränsle enbart eller i kombination med andra fasta bränslen eller olja.

Bransch	Roster	CFB	BFB	Brännare
Kraftvärme- och värmeverk	67	18	18	14
Kemisk industri	0	1	0	0
Massa- och pappersindustri	36 ¹⁾	2	6	3
Träindustri	36	0	0	0
Livsmedel	1	0	0	0

¹⁾ 2 cyklonugnar ingår

Tabell 3.2 Fördelning av typer av fastbränslepannor som ingick i NO_x-avgiftssystemet 1999 (Naturvårdsverket, 2000)

Inom ramen för uppdraget har det inte varit möjligt att kartlägga utsläppen från samtliga pannor. Många pannor saknar kontinuerlig mätning av CO och ett stort antal av de som har mätare räknar inte ut dygnsmedelvärden. Uppgifter har tagits in från litteratur inklusive databaser och kontakter har tagits för att komplettera med representativa värden för respektive kategori. Vi redovisar här våra bedömningar av utsläppsnivåer från de olika panntyperna per bransch.

3.2 Kraftvärme- och värmeverk

Inom kraftvärme- och värmebranschen är de flesta pannorna försedda med roster. Av dessa finns cirka 10 med fast roster i storleksintervallet 8-30 MW. Resterande rosterpannor med rörlig roster är mellan cirka 10 och 130 MW. I BFB ingår 2 koleldade PFBC-pannor (trycksatt fluidiserad bädd). De flesta pannorna eldas med avverkningsrester, men kol och torv ingår även som bränslen.

Ett stort antal av de fastbränsleeldade pannorna i kraftvärme- och värmeverk är försedda med SNCR (selektiv icke-katalytisk reduktion) för att minska NO_x-utsläppen. Ett flertal av pannorna har relativt hårda villkor för NO_x-utsläppen.

Vanligtvis körs inte pannorna med större variationer i last över dygnet, men över året utnyttjas ett stort antal pannor från min- till maxlast för att täcka fjärrvärmebehovet. Fler än 30 fastbränsleeldade pannor inom kraftvärme- och fjärrvärmebranschen har SNCR och/eller SCR (selektiv katalytisk reduktion).

I Tabell 3.3 redovisas uppskattning av nivån på utsläpp från olika panntyper.

Typ av panna	CO-utsläpp, dygnsmedel		
	<500 mg/m ³ (<190 mg/MJ)	500-1000 mg/m ³ (190-380 mg/MJ)	>1000 mg/m ³ (>380 mg/MJ)
Roster	57	10	0
CFB	15	3	0
BFB	15	3	0
Brännare	11	3	0

angivet för torr gas vid 0°C, 101,3 kPa och 6 % O₂

Tabell 3.3 Uppskattning av antal pannor inom olika utsläppsintervall för CO inom kraftvärme- och värmeverk

De pannor som uppskattas ha högre CO-utsläpp är mindre och äldre rosterpannor och några större rosterpannor. Några fluidbäddpannor bedöms ha problem med CO-utsläppen främst inom vissa lastområden. Några av de träpulvereldade pannorna har även problem att klara villkoren för NO_x och samtidigt begränsa utsläppen av CO.

3.3 Massa- och pappersindustri

De flesta pannorna inom massa- och pappersindustrin är försedda med en fast rost ofta i kombination med en rörlig slutdel i form av en Kablitzrost. Bark eldas som huvudbränsle i samtliga pannor men för att snabbt kunna lasterglera finns även brännare installerade. Det är således relativt vanligt med sameldning med olja, men det finns även exempel på naturgas och kol. Andelen olja kan vara upp till 50 %, räknat på energiinnehåll. I flera av pannorna blandas även andra bränslen in, i huvudsak slam från olika delar av processen samt spån och träflis.

Speciellt för pannorna inom massa- och pappersindustrin är att pannlasten ofta varierar kraftigt och snabbt. Bränslena har ofta höga fukthalter och fukthalten kan variera mycket. Sammantaget ger detta förutsättningar som är svåra för att minimera utsläppen. Cirka 10 pannor inom mass- och pappersindustrin har SNCR.

I Tabell 3.4 redovisas en uppskattning av nivån på utsläpp från olika panntyper.

Typ av panna	CO-utsläpp, dygnsmedel		
	<500 mg/m ³ (<190 mg/MJ)	500-1000 mg/m ³ (190-380 mg/MJ)	>1000 mg/m ³ (>380 mg/MJ)
Roster	12	18	6
CFB	2	0	0
BFB	4	2	0
Brännare	2	1	0

angivet för torr gas vid 0°C, 101,3 kPa och 6 % O₂

Tabell 3.4 Uppskattning av antal pannor inom olika utsläppsintervall för CO inom massa- och pappersindustrin

För barkeldade rosterpannor finns ett relativt omfattande underlag beträffande utsläpp av CO (Schuster m.fl., 1999). Flera av dessa pannor har höga eller mycket höga utsläppsnivåer. BFB-pannorna är i de flesta fall oljepannor som byggts om till fasta bränslen genom att de kompletterats med en bubblande bädd. Några av dessa pannor bedöms ha problem med CO-utsläppen. CFB pannorna bedöms ge de lägsta utsläppsnivåerna.

3.4 Träindustri

Samtliga pannor inom branschen är av rostertyp och i storleksintervallet 5 till 25 MW. De flesta är mellan 5 och 10 MW. Pannorna eldas med restprodukter från träindustrin

i form av bark som oftast blandas med spån eller flis. Cirka en fjärdedel av pannorna är utrustade med fast rost. Ingen av pannorna inom träindustrin är försedd med SNCR för NO_x-rening.

Typ av panna	CO-utsläpp, dygnsmedel		
	<500 mg/m ³ (<190 mg/MJ)	500-1000 mg/m ³ (190-380 mg/MJ)	>1000 mg/m ³ (>380 mg/MJ)
Roster	5	18	14

angivet för torr gas vid 0°C, 101,3 kPa och 6 % O₂

Tabell 3.5 Uppskattning av antal pannor inom olika utsläppsintervall för CO inom träindustrin

De flesta av dessa pannorna bedöms ha höga emissioner av CO. Det är troligt att relativt många pannorna körs med för låga luftöverskott för att minimera utsläppen av NO_x och att CO-utsläppen därför är över 1000 mg/m³ i ett relativt stort antal pannor.

3.5 Övrig industri

För övrig industri ingår endast två fastbränsleeldade pannor i NO_x-avgiftssystemet, en koleldad rosterpanna och en biobränsleeldad CFB. Båda pannorna bedöms ha låga CO-utsläpp.

4 Möjliga åtgärder för att minska CO-utsläppen

4.1 Åtgärder övergripande

Vad kan göras för att möta hårdare krav vad gäller CO? Åtgärderna varierar för olika pann typer, bränslen m.m. och andra anläggningsspecifika förutsättningar. Åtgärderna delas här in enligt följande:

- Trimning och driftstrategi
- Mindre ombyggnader
- Omfattande ombyggnader

Tabell 4.1 visar uppskattning av storleksordning på kostnader för olika typer av installationer som bedöms krävas för att kunna uppnå skärpta krav på utsläpp av CO för olika branscher (utan att öka utsläppen av NO_x). Kostnaderna i miljoner kronor anges per panna och för olika intervall för pannstorlekar.

Bransch	Typ av ombyggnad	Pannstorlek, MW		
		5-20 MW	20-100 MW	>100 MW
Kraftvärme- och värme Massa och papper	Mindre omfattande	0,6-0,8	0,8-1	1-1,5
	Omfattande	4-6	5-10	8-13
Träindustrin	Mindre omfattande	0,6-1	Ej relevant	Ej relevant

Tabell 4.1 Kostnadsuppskattningar för olika typer av installationer för att minska utsläppen av CO, MSEK per panna

4.2 Trimning och drift

Exempel på åtgärder i driften och genom trimning som kan bidra till att minska utsläppen av CO:

- Blanda och homogenisera bränslet till en jämnare kvalitet
- Ändra typ eller kvalitet på bränsle genom inköp
- Trimma till en jämnare bränsleinmatning
- Installera CO-mätare
- Trimma mot jämnare styr- och reglerfunktion för förbränningslufttillförseln, dvs trimma hastigheten för luftpådraget vid laständringar
- Höja O₂-halten och/eller fördela om luften
- Begränsa lastområdet för pannan (kan vara både max- och minlast)
- Utbildning av personal

Det finns fortfarande vissa pannor av de som ingår i NO_x-avgiftssystemet som inte är försedda med CO-mätare överhuvudtaget och vissa har sådana mätare som endast kan användas som indikering för överskridna nivåer. Ett första steg bör vara att samtliga enheter som ingår i NO_x-avgiftssystemet förses med kontinuerliga CO-mätare så att driftpersonalen har möjlighet att optimera driften även med avseende på CO-halten. Ett CO-instrument (komplett installerat) som kan användas för villkorskontroll kostar mellan 150-200 tusen kronor. Ombyggnad av ett befintligt NO-instrument så att det även kan mäta CO kostar cirka 50-100 tusen kronor. Det finns även enklare CO-instrument som mest lämpar sig för övervakning och larm. Dessa kostar cirka 50-100 tusen kronor.

Trimning av anläggningen kan innebära att höja O₂-halten för att få ner nivån av CO och minska risken för emissionstoppar, vilket ofta kan medföra ökad NO_x-halt.

4.3 Mindre ombyggnader

Beroende på anläggnings- och panntyp kan man genom mindre ombyggnader minska utsläppen av CO genom t.ex.:

- Komplettering med ytterligare nivåvakter och varvtalsstyrning på bränsletillförsel-system
- Ökning av tryckfall över rost för bättre luftfördelning genom montage av stryp-brickor
- Installation av IR-givare för styrning av bränslebädd (rosteldning)
- Installation av flödesindikerande givare för förbränningsluft.
- Komplettering med enklare OFA (over fire air/eller överluft –portar) och/eller justering av luftregister
- Förändring av styrsystem, t.ex. genom anpassning av syrehalten baserat på uppmätta CO-halter
- Underhåll och utökning av murverk

4.4 Omfattande ombyggnader

Beroende på anläggnings- och panntyp kan det vara olika typer av åtgärder och kombinationer av åtgärder såsom:

- Förfinade styr- och reglersystem samt blandnings utrustning för olika bränslekvaliteter och bränslehomogeniseringsutrustning
- Ombyggnad av rost med nya rostelement, tätare luftflådor, nya zoner
- ombyggnad av brännare
- Ombyggnader/skapande av gashalsar ledskenor eller andra strömningsstyrande åtgärder
- Utökning av murverk med avpassade termiska egenskaper
- Rökgasåterföring till primär och sekundärzoner samt för styrning av strömningsbild
- Komplettera med ett eller flera stegade överluftregister
- Förändringar av styrsystem för att bibehålla rätt bränsle/luftblandning i förbränningsrummets olika zoner oberoende av last och bränslevariationer
- Utökning av förbränningsrumsvolym

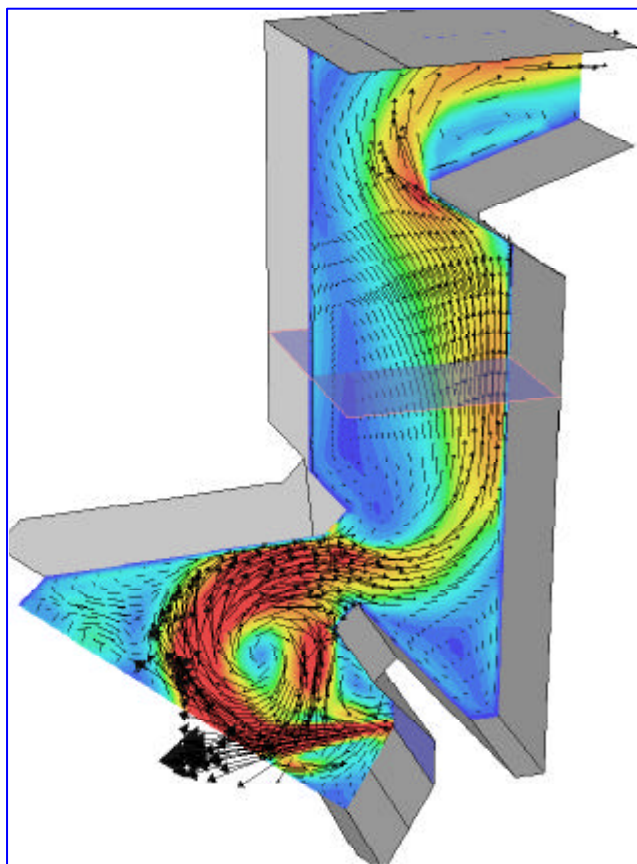
Som ett exempel på vad detta kan innebära i praktiken ges följande beskrivning av en verklig ombyggnad.

Barkpannan nedan uppvisar stora inaktiva områden. Huvuddelen av gasströmmen går med hög hastighet upp efter pannans bakvägg och ut genom övre delen av överhettar-

na, med korta uppehållstider som följd. I övre eldstadsrummet bildas en stor inaktiv zon med en långsam recirkulationsvirvel vid frontväggen.

Det mätplan som användes för att säkerställa simuleringarna syns som en halvtransparent horisontell skiva i eldstaden. Mätning skedde också i gashalsen

I figuren kan noteras att sekundärluftstrålen i ugnen och den virvel som uppstår påverkar bädden och är en av orsakerna till att mycket bäddmaterial förs upp i gasströmmen och vidare till eldstaden.



Figur 4.1 Strömningsbild före ombyggnad, barkpanna 100 ton ånga/h, Kvarnsveden

I åtgärderna ingår att bränslematningssystemet ses över. Inblandning av slam skall ske proportionellt gentemot övrigt bränsle. Askutmatning både från ugn och eldstad kontrolleras och åtgärdas med avseende på läckage.

Förbränningsluften minskas i ugnen från idag nästan 100 %, så att en stökiometri på cirka 0,75 uppnås i gashalsens utlopp. Infodringen med murverk kompletteras och ses över. Dessa två åtgärder höjer temperaturen i ugnen, ökar torkeffekten, minskar

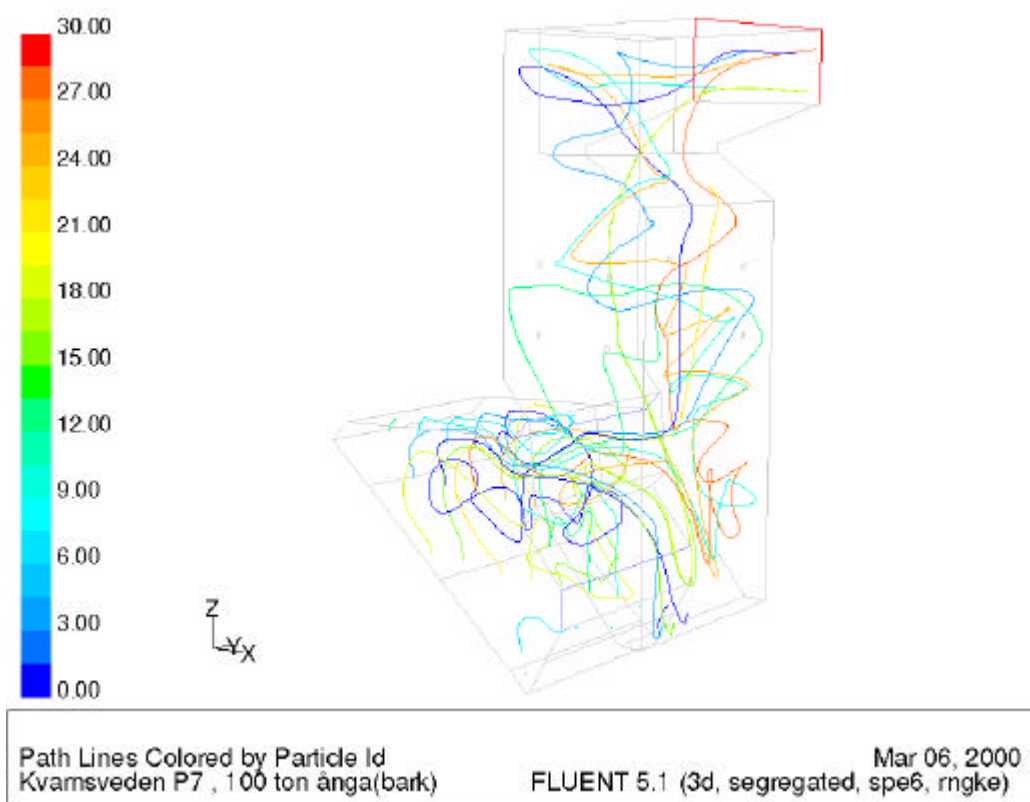
stoff/bränslemedrycket och behovet av primärluft. Primärlufthålen minskas för att bibehålla och öka tryckfallet över rosten. Vid behov installeras luftkanoner under rosten, för att undvika större bäddras.

Sekundärluftdysorna riktas parallellt med rosten, minskas något i diameter och sekundärluften blandas med 50 % rökgas för att bibehålla impulsen och strömningsmönstret, utan att tillföra för mycket syre till ugnen. Tertiärluften blandas med 50 % rökgas, men bibehålls i princip oförändrad i (halva) gashalsen.

Nuvarande gasström in i eldstaden visade sig vid simulering vara oerhört stabil. Snedfördelningen kunde endast brytas med mycket stora korrigerande luft/rökgasflöden eller stora styrtor i eldstaden. Genom att halva gashalsen muras igen i sidled utnyttjas eldstadens naturliga utformning. Detta ger ett betydligt bättre utnyttjande av eldstaden, utan att några ytor eller korrigerande gasströmmar behövs. Eldstaden bakvägg, mitt emot gashalsen, bekläds med murmassa för att skydda eldstadsväggen och framförallt för att inte kyla de brännbara gaserna.

Kvartärluft tillsätts i två plan med fyra tangentiellt verkande dysrader i undre planet och åtta i övre planet. Tillförseln sker i medström av relativt stora dysor med låg relativ hastighet. Avsikten är att understödja det utbildade strömningsmönstret, men inte påverka det alltför mycket.

I Figur 4.2 visas strömningsmönstret i panna efter ombyggnaden genom att några av strömlinjerna i pannan märkts ut. Det kan tydligt ses hur strömlinjerna från ugnen liksom tidigare går horisontellt ut från ugnen, men därefter viker av nedåt-höger och vänder vänster-uppåt för att sedan utbilda en roterande rörelse. Denna roterande rörelse skapas primärt av det sneda inloppet i eldstaden.



Figur 4.2 Strömningslinjer i modifierad panna, barkpanna 100 ton ånga/h, Kvarnsveden

Skillnaden i uppehållstid, enbart av modifieringen av gashalsen är stora och en ökning av uppehållstiden till mer än det dubbla erhålls för de flöden som tidigare hade den kortaste uppehållstiden. Det bör observeras att utfallet blir ännu bättre när kvartärluften stagat upp rotationen och en stor andel av luften inte tillsätts tidigt i ugnen, utan längre nedströms i eldstaden.

5 Effekter av krav på CO-utsläpp

5.1 Miljöeffekter

Införande av föreskrifter gällande CO-utsläpp kan komma att medföra något högre utsläpp av kväveoxider från cirka 15 % av de totalt 200 fastbränslepannorna som idag ingår i NO_x-avgiftssystemet. Vi bedömer att utsläppen av kväveoxider kan komma att öka i de anläggningar där man minskar CO-utsläppen genom trimning och ändrad drift. NO_x-utsläppen från samtliga 375 pannor och gasturbiner som ingick i NO_x-avgiftssystemet 1999 var cirka 14 000 ton. Utsläppen från de pannor som trimmas för att minska CO-utsläppen kan medföra att NO_x-utsläppen initialt ökar med i storleksordningen 200-300 ton per år.

Vi bedömer att kraven sannolikt också kommer att medföra att de värsta pannorna ur CO-synpunkt kommer att byggas om. Driften kommer då att ske med större marginal till de driftpunkter där man riskerar att kolväteföreningar bildas. Utsläppen av CO och såväl lätta som tyngre kolväten kommer då att minska. I några av de pannorna som byggs om kan även NO_x-utsläppen också minska något.

Lägre CO-utsläpp kommer att innebära marginellt högre förbränningsverkningsgrad och därmed något lägre bränsleförbrukning. Halten oförbränt kommer också att minska i de anläggningar där åtgärder vidtas. Halten oförbränt i askan är en av de parametrar som ingår för att bedöma möjligheterna att behandla askan (hög halt oförbränt i askan är inte bra vid pellettering av aska). Höga halter oförbränt är heller inte önskvärt vid spridning av aska i skogen.

5.2 Investeringskostnader

Kostnader för att bygga om utrustning har uppskattats med hjälp av schabloner angivna som ett intervall. Kostnaderna är givetvis mycket anläggningsspecifika och de som anges här ska ses som en indikering på storleksordning.

5.2.1 Kraftvärme- och värmeverk

Enligt vår bedömning är det inte tillräckligt med enbart trimningsåtgärder för att nå cirka 500 mg CO/m³ (190 mg CO/MJ) som dygnsmedelvärde och samtidigt innehålla villkoren på NO_x. Förutom trimning av några anläggningar, bedömer vi att det kommer att krävas mindre ombyggnader på cirka 15 av pannorna. Investeringarna som krävs uppskattas till mellan 10 och 15 miljoner kronor.

Kostnader kan även tillkomma för att installera CO-mätare på några pannor som idag saknar kontinuerlig mätning.

5.2.2 Massa- och pappersindustri

Inom massa- och pappersindustrin är det relativt stora problem med CO-utsläppen. Av de pannor som antas ha problem med CO-utsläpp antas att 7 kan minska CO-utsläppen genom trimning och driftåtgärder. Vi bedömer att ungefär hälften av massa- och pappersindustrins fastbränslepannor behöver byggas om för att klara CO-utsläpp i nivån 500 mg/m³. Av dessa kommer troligtvis 14 pannor att kräva mindre ombyggnader, medan ungefär 6 pannor kommer att kräva mer omfattande åtgärder. Investeringss behovet för ombyggnaderna uppskattas till mellan 45 och 80 miljoner kronor.

Kostnader kan även tillkomma för att installera CO-mätare på några pannor som idag saknar kontinuerlig mätning.

5.2.3 Träindustri

Det antas här finnas möjligheter att kraftigt begränsa utsläppen av CO genom åtgärder som trimning och utbildning av personal. Här antar vi att det är möjligt att nå nivån 500 mg CO/m³ genom trimning och utbildning i ungefär 15 av pannorna. Vi bedömer att det trots detta kommer att krävas ombyggnader av ungefär 15 pannor, främst i de mindre pannorna. Åtgärder bedöms bestå i att separera förbränningsluften så att stegvis lufttillförsel blir möjlig, varvtalsreglering av fläktar, komplettera med styrsystem och för vissa anläggningar även komplettera med O₂-instrument som kan kopplas till styrsystemet. Det är även viktigt med utbildning av personal, såväl företagsledning som pannskötare, för att nå bra resultat vid ombyggnad. Kostnaderna för ombyggnaderna uppskattas till mellan 10 och 15 miljoner kronor för hela branschen.

Kostnader kan även tillkomma för att installera CO-mätare på några pannor som idag saknar kontinuerlig mätning.

5.2.4 Summering

Tabell 5.1 redovisar bedömningar av investeringsbehov för att möta skärpta krav på CO-utsläpp i nivån 500 mg/m³ (190 mg/MJ) som dygnsmedelvärde. Investeringsbehovet är uppdelat i kraft- och värmebranschen, pappers- och massaindustrin samt träindustrin.

	Investering, MSEK
Kraftvärme- och värme	10-15
Massa och papper	45-80
Träindustrin	10-15
Summa	65-110

Tabell 5.1 Bedömning av investeringsbehov för att möta skärpta krav på CO-utsläpp, 500 mg/m³ (190 mg/MJ) som dygnsmedelvärde

Det största investeringsbehovet är inom pappers- och massaindustrin följt av kraft- och värmeverken. Investeringsbehovet inom träindustrin är mindre, men drabbar ett relativt stort antal mindre pannor, 5-20 MW.

5.3 Effekter av utsläppsgränser baserade på kortare tidsperioder

Som tidigare angivits finns bristfälligt underlag över CO-utsläppen. Vår bedömning är att om tidsperioden för beräkning av medelvärdet kortas är det betydligt fler anläggningar som kommer att ha svårighet att klara de skärpta kraven. Det är under vissa driftförhållanden och perioder, t ex uppstart, snabba lastvariationer, låglast, tillfälliga förändringar i bränslen, som flera pannor som klarar dygnsmedelvärden kommer att överskrida nivån för CO-utsläpp, beräknat som tim- eller femtonminutersmedelvärdet.

Det finns dock flera pannor inom kraft- och fjärrvärmesektorn som redan idag har 180 mg CO/MJ som villkor räknat som halvtimmesmedelvärde (flesta fall angivet som riktvärde) och som uppger att de inte överskrider villkoret.

Det finns för närvarande ingen anläggning som har något villkor gällande CO som är baserat på 15 minuter. Flertalet av pannorna bedöms ha svårigheter att klara ett medelvärde baserat på 15 minuter.

Om ett värde på kortare tid än ett dygn införs bör det kopplas till en procentsats, t ex att timmedelvärdet ska understigas 98 % av tiden (av antalet timmar).

6 Diskussioner och slutsatser

Det finns idag cirka 200 fastbränslepannor som omfattas av NO_x-avgiftssystemet. De flesta av pannorna är inom kraftvärme- och fjärrvärmesektorn. Vi bedömer att de redan idag klarar ett villkor på cirka 500 mg CO/m³ som dygnsmedelvärde. Många anläggningar har villkor i den nivån eller lägre. Förutom trimning av några anläggningar, bedömer vi att det kommer att krävas mindre ombyggnader på cirka 15 pannor inom kraftvärme- och värmesektorn. Investeringskostnader för detta uppskattas till cirka 10-15 miljoner kronor totalt för kraftvärme- och fjärrvärmebranschen.

Problemen är större för pannorna inom massa- och pappersindustrin. Genom trimning, främst i form av ökat luftöverskott och att man går in med oljebrännarna oftare, kommer flera anläggningar klara CO-nivån. Dessa åtgärder kommer att ske på bekostnad av NO_x-utsläppen. Vi bedömer att cirka hälften av pannorna kräver ombyggnad. Det kommer att vara tillräckligt med mindre ombyggnader i de flesta pannorna, men omfattande ombyggnader kommer troligen att behövas i några pannor. Investeringsbehovet bedöms ligga mellan 45 och 80 miljoner kronor. Eventuellt kan krav på CO leda till att de pannor som kräver omfattande ombyggnader kommer att avvecklas i förtid och ersättas med nya pannor. Vi har här inte haft möjlighet att bedöma kostnaderna för detta.

Ett stort antal av pannorna inom träindustrin körs idag med höga CO-utsläpp för att minimera NO_x-avgiften. Genom trimning kan CO-utsläppen minskas i flera pannor, troligtvis på bekostnad av ökade NO_x-utsläpp. Vi bedömer dock att det kommer att

krävas ombyggnader av ungefär 15 pannor, till en total kostnad av cirka 10-15 miljoner kronor.

Införandet av krav för CO-utsläpp kan komma att öka utsläppen av NO_x något (initialt i storleksordningen 200-300 ton/år). Den viktigaste konsekvensen av införandet av ett villkor för CO-utsläpp kommer att vara att också utsläppen av lätta och tunga kolväten kommer att minska. Detta på grund av att de sämsta pannorna ur CO-synpunkt och de som idag släpper ut mest kolväteföreningar kommer att byggas om. Askkvaliteten kan bli bättre i några av de anläggningar där åtgärder vidtas, genom att restkolhalten i askan blir lägre.

Ett krav på att samtliga pannor som ingår i NO_x-avgiftssystemet även ska ha kontinuerliga CO-mätare kommer att innebära ytterligare investeringar. Vi bedömer kostnaderna till någon miljon kronor.

7 Referenser

Fjärrvärmeföreningen (2000) Miljötilstånd och emissioner för biobränsleeldade anläggningar.

Hjalmarsson A-K, Hedin K (1996) Miljökonsekvenser av NO_x-avgiften. Naturvårdsverket. Rapport 4649

Naturvårdsverket (1996) Utsläpp av ammoniak lustgas och ofullständigt förbrända ämnen vid införandet av NO_x-reducerande åtgärder. PM

Naturvårdsverket (1993) Naturvårdsverket informerar, Branschfakta, Förbräningsanläggningar för energiproduktion.

Münter M, Nandorf E m fl (1998) Emissioner från små värmeanläggningar (0,5-10 MW). Naturvårdsverket, rapport nr 4871

Schuster, R (1993) Kväveoxider kontra kolväteemissioner i medelstora fastbränslepannor. Värmeforskrapport 447

Schuster, R (1995) Emissioner av kolväten vid låga luftöverskott i CFB. Värmeforskrapport 541,

Schuster, R, Berge, N, Strömberg B (1998) Environmental optimisation of waste combustion. RVF Svenska renhållningsverksföreningen. Asvfallsförbränningsgruppens rapport nr 3

Schuster R., Edholm A., Franzén L (1999) Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning. Etapp 1 "Diagnos och analys av nuläge. Värmeforsk Service AB. Rapport nr 660

Schuster R., Lundborg R (2000) Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrin barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning – Etapp 2 Redovisning av generella möjligheter och tillämpningar på fyra utvalda anläggningar. Värmeforsk/Åforsk

Wiklund, S-E, Schuster, R, Lundin, T (1998) Energiutvinning ur papper ett demonstrationsprojekt, Jämtkraft, Reforsk, RVF, SKÅ, Åforsk

Wrangensten R., Schuster R., Sendelius M., Wiklund S-E, Niemi E., Sjöblom R, Bjurström H. (2000) Åtgärder för minskning av emissioner och påverkan från energiproduktionsanläggningar i syfte att uppfylla miljö kvalitetsmålen. En underlagsrapport till Miljömålskommitténs arbete. Statens energimyndighet

Ingman R., Schuster R. (2000) Metodutveckling för indirekt bestämning av PAH utgående från mätt momentan CO-halt. Värmeforsk (under publicering)

Bilaga: Omvandling av CO till olika enheter

Jämförelse av nivåer för riktlinjer på CO i olika enheter

Siffrorna i tabellen är baserade på nedanstående omräkningsfaktorer

Jämförelse av CO-nivåer i olika enheter

mg/m ³	ppm	mg/MJ _{tillfört bränsle}
500	400	190
600	480	225
480	380	180
240	190	90

Nyckeltal för omräkning

1 ppm CO¹⁾ = 1,25 mg CO/m³ ¹⁾ = 0,47 mg/MJ tillfört bränsle

¹⁾ vid 6 % O₂ för ved och kol (3 % O₂ för olja och gas) torr gas vid 0°C, 101,3 kPa

RAPPORT 5140

Begränsning av koloxidhalt i rökgas från fastbränsleeldning

DE FLESTA PANNOR SOM omfattas av systemet för miljöavgift på utsläpp av kväveoxider(NO_x) har trimmats på något sätt i syfte att nedbringa kväveoxidutsläppen. Detta har i många fall medfört en ökning av koloxidhalten(CO) i rökgaserna. Förhöjda CO-halter innebär ökad risk för förhöjda utsläpp av olika kolväteföreningar.

Rapporten redovisar de tekniska och ekonomiska konsekvenserna av en begränsning till 500 mg CO per m^3 i rökgaserna från fastbränsleeldning, exklusive avfallspannor. Omkring 80 av de cirka 200 fastbränslepannor som skulle omfattas av begränsningen har CO-utsläpp som ligger över denna nivå. Rapporten visar vilka olika förbrännings- och renings-tekniska åtgärder som skulle behöva genomföras vid dessa pannor för att utsläppsgränsen ska kunna innehållas. Kostnader för ombyggnader av vissa pannor kommer att bli stora framförallt inom skogs- och träindustri.

Den viktigaste konsekvensen av införandet av en begränsning för CO-utsläpp kommer att vara att utsläppen av lätta och tunga kolväten kommer att minska.

ISBN 91-620-5140-7

ISSN 0282-7298

NATURVÅRDSVERKETS FÖRLAG