



## Notat om metaller og beregning af skorstenshøjder for affaldsforbrændingsanlæg og kul-fyrede anlæg

Brøndby, 9. november 2012

Knud Christiansen

### 1 Baggrund

Ved beregninger af skorstenshøjder for især affaldsforbrændingsanlæg og anlæg, der anvender f.eks. kul, vil skorstenshøjden blive meget høj, såfremt man anvender de angivne emissionsgrænser i bekendtgørelser og vejledninger for metaller (metallerne er dimensionerende for skorstenshøjden).

Praksis er, at man ofte anvender målte emissionsdata eller erfaringstal fra andre anlæg til skorstensberegningerne. Målte emissioner er ofte meget lavere end grænseværdierne og nogle gange under detektionsgrænsen for målingerne. I praksis godkendes skorstenshøjder, hvor B-værdierne for metaller kan overholdes, men hvor der i praksis ikke er nogen kontrol.

Det er almindeligt, at grænseværdierne ikke ændres i miljøgodkendelsen, således at de stemmer overens med de værdier, der er benyttet til skorstenshøjdeberegningen. Der bør i stedet fastsættes en ny emissionsgrænseværdi, som eftervises ved præstationskontrol.

Notatet gennemgår problemstillingen for affaldsforbrændingsanlæg og store fyr (kulfyring), og giver anbefalinger til håndtering af problemstillingen i miljøgodkendelsen.

### 2. Beregning af skorstenshøjder

#### 2.1 OML-modellen

Til beregning af skorstenshøjden anvendes i dag OML-modellen. OML-modellen foretager spredningsmeteorologiske beregninger.

Ved beregningerne bruger modellen standardmeteorologiske datasæt for en ét års periode fra Kastrup i år 1976. Modellen regner på en tidsserie, timevis over et helt år. Resultatet er månedsvis opgjorte 99-percentiler på timebasis. Det er den største 99-percentil, der skal sammenlignes med den vejledende immissionsgrænseværdi (B-værdi).

Modellen beregner virksomhedens bidrag i omgivelserne i op til 540 receptorpunkter fordelt langs 36 radier ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , ...,  $350^\circ$ ) i op til 15 afstande.

Receptornettet er udlagt, så retningen angiver, hvor receptoren befinder sig. En påvirkning ved  $0^\circ$  betyder, at luften fra afkastet udbreder sig mod nord. Det vil sige, at vinden er sydlig. Beregningen bygger på en gaussisk fordeling, hvor modellen antager, at emissionen er normalfordelt.

Modellen gennemregner anlæggene for drift i alle årets 8.784 timer.

#### 2.2 Bestemmelse af skorstenshøjder

Når skorstenshøjden med forskellige emissioner skal vurderes, beregnes først *spredningsfaktoren S*. Stoffet med den største spredningsfaktor er dimensionerende for afkasthøjden.

Spredningsfaktoren er defineret som kildestyrken G i mg/s af det pågældende stof divideret med B-værdien i mg/m<sup>3</sup> for det samme stof.

$$S \text{ [m}^3\text{/s]} = \frac{G \text{ [mg/s]}}{B \text{ - værdi [mg/m}^3\text{]}}$$

S er udtryk for den luftmængde, som luften i afkastet hvert sekund skal opblandes jævnt med for at blive fortyndet til B-værdien.

### 3. Affaldsforbrændingsanlæg

#### 3.1 Grænseværdier for affaldsforbrændingsanlæg

Grænseværdier for emissioner fra affaldsforbrændingsanlæg findes i miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1356 af 21. december 2011<sup>1</sup>. Grænseværdier for metaller for disse anlæg er vist i nedenstående tabel. Grænseværdierne ændres ikke med det nye Industriemissionsdirektiv (IED). Det er disse parametre der er bestemmende for skorstenshøjden, eksempelvis er spredningsfaktoren for NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> væsentlig mindre end for metallerne.

**Tabel 1. Grænseværdier for emission af metaller fra affaldsforbrændingsanlæg.**

Metal	Grænseværdi mg/m <sup>3</sup> ved 10 % O <sub>2</sub>
Cd + Tl	0,05 mg/normal m <sup>3</sup>
Hg	0,05 mg/normal m <sup>3</sup>
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5 mg/normal m <sup>3</sup>

#### 3.2 Beregning af skorstenshøjde

I vejledning nr. 2/1993<sup>2</sup> er anført en beskrivelse af, hvordan skorstenshøjden for affaldsforbrændingsanlæg skal beregnes. Ifølge afsnit 3.6 i denne vejledning skal skorstenshøjden beregnes efter Miljøstyrelsens daværende Luftvejledning<sup>3</sup>. Denne vejledning er udgået og erstattet af Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/2001<sup>4</sup>.

Ifølge vejledningerne skal skorstenshøjden beregnes for den maksimale driftssituation ved anvendelse af røggasrensingsanlægget.

Ifølge vejledningen fra 1993 emitterer affaldsforbrændingsanlæg tungmetaller (spormetaller), der dels kan henføres til hovedgruppe 1 og hovedgruppe 2 i Miljøstyrelsens vejledninger omkring luftemissioner.

Dette betyder, at gennemsnitsværdien B<sub>r</sub> skal anvendes ved skorstenshøjdeberegningerne. Der skal udregnes en B<sub>r</sub>-værdi for hovedgruppe 1 og en B<sub>r</sub>-værdi for hovedgruppe 2 efter følgende model:

Hovedgruppe 1 for Ni + Cd + Cr + As

<sup>1</sup> BEK nr 1356 af 21/12/2011: Bekendtgørelse om anlæg, der forbrænder affald

<sup>2</sup> Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/1993 "Begrænsning af forurening fra forbrændingsanlæg"

<sup>3</sup> Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1990 "Begrænsning af luftforurening fra virksomheder"

<sup>4</sup> Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/2001 "Luftvejledningen – Begrænsning af luftforurening fra virksomheder"



Hovedgruppe 2, stofgruppe damp- eller gasformige uorganiske stoffer Cu + Mn + Hg

I vejledning 2/1993 er endvidere anført at *opmærksomheden henledes på, at skorstenshøjden afhænger direkte af emissionsgrænseværdiernes størrelse. Vælges der rensningsanlæg, som kan rense betydeligt bedre således, at der kan opstilles væsentlig lavere emissionsgrænseværdier end de værdier, der er opstillet i bekendtgørelser/vejledninger for anlægget, bør disse værdier indgå i skorstenshøjdeberegningen for at reducere udgifterne til skorstenen.*

$B_r$  bestemmes ved hjælp af nedenstående formel:

$$B_r = G / ((G_1/B_1) + (G_2/B_2) + \dots + (G_n/B_n))$$

hvor  $B_r$  er den resulterende bidragsværdi i  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

G er summen af  $G_1, G_2, \dots, G_n$

$G_1$  er kildestyrken af stof 1 i  $\text{mg}/\text{s}$ ,

$B_1$  er den bidragsværdi, som er fastsat for stof 1.

I forhold til den bekendtgørelse, der var gældende i 1993, hvor vejledningen blev udarbejdet, kom der i 2003 en ny bekendtgørelse<sup>5</sup>. Denne bekendtgørelse indførte fire nye metaller Sb, Co, Tl og V. Disse metaller bør derfor også vurderes i forhold til skorstenshøjden. Metallerne tilhører alle hovedgruppe 2, men  $B$ -værdierne er væsentlig lavere end for Cu og Mn, hvilket betyder, at  $B_r$ -værdien bliver mindre.

Ifølge luftvejledningen<sup>4</sup> kan der, når stofferne har samme effekter og virkemåde, være grundlag for at summere eksponeringsbidraget for de enkelte stoffer ( $B_r$ -værdien).

Der bør i praksis ske addition i  $B$ -værdisammenhæng for ensvirkende stoffer når

- stofferne er homologe stoffer (stoffer fra samme kemiske stofgruppe, f.eks. alkoholer, ketoner eller etere etc.), **og**
- stofferne tilhører samme stofgruppe i luftvejledningen, **og**
- stofferne har sundhedsrelaterede  $B$ -værdier (dvs., at de ikke er mærket med et L).

Hvis alle tre punkter er opfyldt, bør afkastberegningen foretages på grundlag af den samlede emission af stofferne og fastlæggelse af den resulterende  $B_r$ -værdi.  $B_r$ -værdien er udtryk for en samlet  $B$ -værdi for blandingen, beregnet på grundlag af de enkelte stoffers kildestyrke og  $B$ -værdier.

Det kan umiddelbart være svært for myndighederne, at vurdere om de ekstra stoffer opfylder disse krav til  $B_r$ . Det anbefales derfor, at vurdere skorstenshøjden ud fra det enkelte stof. Dette vurderes ikke at have væsentlig indflydelse på skorstenshøjden, da et stof med en meget lav  $B$ -værdi vil dominere  $B_r$ -værdien.

I tabel 2 er vist  $B$ -værdierne for de udvalgte metaller.

---

<sup>5</sup> Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 162 af 11. marts 2003



Tabel 2. B-værdier for udvalgte metaller

Parameter	B-værdi mg/m <sup>3</sup>
As	0,00001
Cd	0,00001
Co	0,0005
Cr	0,001
Cu	0,01
Hg	0,0001
Ni	0,0001
Mn	0,001
Pb	0,0004
Sb	0,001
Tl	0,0003
V	0,0003

Beregnes bidraget i omgivelserne eksempelvis ved en 50 meter høj skorsten vil dette ved en koncentration på 1 mg/m<sup>3</sup>(n,t) i skorstenen svare til et niveau på ca. 0,0006 mg/m<sup>3</sup>. For at kunne overholde en B-værdi på 0,00001 mg/m<sup>3</sup> må koncentrationen i skorstenen (emissionen), alt andet lige ikke overstige 0,02 mg/m<sup>3</sup>(n,t). Dette er væsentligt lavere end emissionsgrænserne, idet eksempelvis As har en sådan B-værdi, men reelt en emissionsgrænse på 0,5 mg/m<sup>3</sup>.

De reelle emissionskoncentrationer af As og andre metaller er behandlet i næste afsnit.

### 3.3 Emissioner fra affaldsforbrændingsanlæg

I det følgende er gengivet måleresultater fra et par udvalgte affaldsforbrændingsanlæg. Undersøgelsen er naturligvis ikke fyldestgørende for affaldsforbrændingsanlæg generelt i Danmark, ligesom der ikke er taget højde for eventuelle driftsforstyrrelser som f.eks. et defekt posefilter. Undersøgelsen giver dog en idé om metalemissionernes niveau. I Tabel 3 angives den laveste og højeste målte værdi på udvalgte anlæg for de metaller, der er emissionsgrænseværdier for.



Tabel 3. Målte metalværdier på udvalgte affaldsforbrændingsanlæg

Parameter	B-værdier mg/m <sup>3</sup>	Højeste målte værdi mg/m <sup>3</sup> (n,t) 11 % O <sub>2</sub>	Laveste målte værdi mg/m <sup>3</sup> (n,t) 11 % O <sub>2</sub>	Grænseværdi mg/m <sup>3</sup> (n,t) 11 % O <sub>2</sub>
As	0,00001	0,018	0,002	0,5 <sup>2</sup>
Cd	0,00001	0,024	0,0002	0,05 <sup>1</sup>
Co	0,0005	0,002	0,0003	0,5 <sup>2</sup>
Cr	0,001	0,017	0,0004	0,5 <sup>2</sup>
Cu	0,01	0,077	0,0001	0,5 <sup>2</sup>
Hg	0,0001	0,039	0,0001	0,05
Ni	0,0001	0,026	0,0007	0,5 <sup>2</sup>
Mn	0,001	0,021	0,0007	0,5 <sup>2</sup>
Pb	0,0004	0,38	0,0004	0,5 <sup>2</sup>
Sb	0,001	0,011	0,0002	0,5 <sup>2</sup>
Tl	0,0003	0,004	0,00003	0,05 <sup>1</sup>
V	0,0003	0,0023	0,00034	0,5 <sup>2</sup>
Cd + Tl	-	0,028	0,0002	0,05
As+Co+Cr+Cu+Ni+Mn +Pb+Sb+V	-	0,55	0,005	0,5

<sup>1</sup> Grænseværdien gælder for summen af Cd+Tl

<sup>2</sup> Grænseværdien gælder for summen af As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb og V

For de fleste metaller ligger de højeste målte værdier væsentligt under grænseværdierne i bekendtgørelsen. For Pb, Cd og Hg ses dog ind imellem værdier tæt på grænseværdierne. Disse stoffer har dog ikke de laveste B-værdier, og vil dermed ikke være dimensionerende for skorstenshøjden. For metallerne med de laveste B-værdier, kan der tilsyneladende uden problemer fastsættes lavere emissionsgrænseværdier, som er i overensstemmelse med den aktuelle eller planlagte skorstenshøjde. I den forbindelse bør det selvfølgelig undersøges om emissionen af de andre metaller for indflydelse på bestemmelsen af skorstenshøjden.

#### 4. Kulfyrede anlæg

##### 4.1 Grænseværdier for kulfyrede anlæg

Der findes vejledende grænseværdier<sup>6</sup> for metalindholdet i røggassen ved anvendelse af kul.

I Miljøstyrelsens Luftvejledning findes følgende grænseværdier for metaller:

Hg	= 0,1	mg/normal m <sup>3</sup> tør røggas ved 10 % O <sub>2</sub>
Cd	= 0,1	mg/normal m <sup>3</sup> tør røggas ved 10 % O <sub>2</sub>
Summen (Σ) af Ni, V, Cr, Cu og Pb	= 5	mg/normal m <sup>3</sup> tør røggas ved 10 % O <sub>2</sub>

##### 4.2 Emissioner fra kulfyrede anlæg

Kul indeholder som fuelolie en række metaller. Ved kulfyring vil metaller binde sig til støvet. Dette støv og dermed metallerne udskilles i elektrofilteret. Der vil sandsynligvis ikke blive emitteret metaller på niveau med de vejledende grænseværdier.

<sup>6</sup> Miljøstyrelsens vejledning nr.2/2001

Miljøstyrelsens Miljøprojekt nr. 138<sup>7</sup> angiver emissionsniveauer for metaller ved bl.a. kulfyring. I miljøprojektet er de anførte værdier i brændslet angivet i µg/MJ, men omregnet i Tabel 4 til mg/kg ved anvendelse af en brændværdi på 25 MJ/kg.

**Tabel 4. Forventede emissioner fra kulfyring (fra miljø projekt 138)**

Metal	Tilført		Emitteret i %		
	µg/MJ	mg/kg	Bundaske	Flyveaske	Røggas
As	-	-	6	91	3
Cd	10	0,25	6	91	3
Cr	400	10	35	61	4
Cu	400	10	33	67	0
Hg	4	0,1	0	60	40
Ni	400	10	24	75	1
Pb	500	12,5	11	88	1
V	900	22,5	15	84	1

- Der er ingen værdier for As, men i tabellen er det antaget at As udskilles som Cd.

Kullenes metalindhold i tabel 4 er generelt lavere end de niveauer, som FORCE Technology har kendskab til (fra brændselsanalyser). I Tabel 5 er angivet værdier, baseret på aktuelle brændselsanalyser (kullenes indhold af metaller afhænger af, kullenes oprindelse). Tallene i Tabel 5 bør derfor betragtes som niveau angivelser. I tabellen er endvidere anført den forventede emission pr. kg indfyret kul baseret på de i Tabel 4 angivne procenter for emission i røggas.

**Tabel 5. Niveauer af tilførte og emitterede metaller (ud fra aktuelle brændselsanalyser)**

Metal	Tilført mg/kg indfyret kul	Emitteret i røggas mg/kg indfyret kul
As	5	0,15
Cd	0,3	0,009
Cr	10	0,4
Cu	20	0
Hg	0,1	0,04
Ni	20	0,2
Pb	20	0,2
V	40	0,4

Det er muligt at beregne m<sup>3</sup> røggas ud fra følgende formel<sup>8</sup>:  $130/(21 - 6) = 8,7 \text{ m}^3 \text{ (n,t) pr. kg brændsel}$  og dermed emissionen af metaller. Det er forudsat, at anlægget drives ved 6 % O<sub>2</sub>.

På baggrund af de i Tabel 5 emissionsniveauer for metaller samt emissionsgrænseværdierne for de øvrige komponenter (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, støv, HCl)<sup>9</sup> kan spredningsfaktorerne beregnes.

<sup>7</sup> Miljøstyrelsens projekt nr. 138/1990 "Renere Teknologi på energiområdet"

<sup>8</sup> Formel 15 på side 77 i Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/2001 m<sup>3</sup> røggas pr kg brændsel  $130/(21 - O_2 \%)$

<sup>9</sup> Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 808 af 25. september 2003

I tabel 6 er beregnet spredningsfaktorerne for emissionerne fra kulfyrede anlæg.

**Tabel 6. Spredningsfaktorer for emission fra kulfyrede anlæg.**

Parameter	Koncentration mg/m <sup>3</sup>	Emission mg/s	B-værdi mg/m <sup>3</sup>	Spredningsfaktor m <sup>3</sup> /s
NO <sub>2</sub>	(NO <sub>x</sub> ) 600 <sup>1</sup> /200 <sup>2</sup>	(NO <sub>2</sub> ) 300/100	0,125	2.400/1250
SO <sub>2</sub>	2000 <sup>1</sup>	2000	0,250	8.000
Støv	100 <sup>1</sup> /25 <sup>2</sup>	100/25	0,08	1.250/313
HCl	14	14	0,05	280
	mg/kg			
As	0,15	0,02	0,00001 <sup>3</sup>	2.000
Cd	0,009	0,001	0,00001	100
Cr	0,4	0,05	0,001	50
Cu	0	0	0,01	0
Hg	0,04	0,005	0,0001	50
Ni	0,2	0,02	0,0001	200
Pb	0,2	0,02	0,0004	50
V	0,4	0,05	0,0003	170

<sup>1</sup> Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 808 af 25. september 2003. Grænseværdierne kan blive ændret i forbindelse med implementering af IED-direktivet

<sup>2</sup> Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 486 af 25. maj 2012 gælder for anlæg mindre end 50 MW

<sup>3</sup> Beregnet ud fra, at 1 m<sup>3</sup>/s opnås ved indfyring af 1/8,7 kg/s = 0,11 kg/s

Det er således SO<sub>2</sub>, der er dimensionerende for skorstenshøjden. Grænseværdien for As bør imidlertid fastsættes til niveauet 0,08 mg/m<sup>3</sup> (n,t) ved 6 % O<sub>2</sub> for at undgå, at dette stof bliver dimensionerende for skorstenshøjden. Hvis emissionen af As er fire gange større, bliver spredningsfaktoren for As større end spredningsfaktoren for SO<sub>2</sub>.

Luftvejledningen har ingen emissionskrav til As specielt for kulfyrede anlæg, men den vejledende emissionsgrænseværdi er 0,25 mg/m<sup>3</sup>.

Da analyser viser, at der kan være As i kul i sådanne mængder, at den kan få indflydelse på skorstenshøjden, bør der foretages en vurdering i forhold til emissionsgrænse og skorstenshøjde.

For de øvrige metaller gælder, at indholdet i kul typisk er så lavt, at emissionen af disse ikke bliver dimensionerende.

Vælger man at fastsætte lavere emissionsgrænseværdier for f.eks. SO<sub>2</sub>, kan det betyde, at metallerne eller andre stoffer bliver dimensionerende.

Det er forholdsvis enkelt at beregne emissionerne fra denne type anlæg på baggrund af en brændselsanalyse. Der behøves ikke nødvendigvis at blive stillet krav om emissionsmålinger til dokumentation af grænseværdierne, men der kan stilles krav til indhold af de forskellige stoffer i brændslet.

## 5. Anbefalinger

### 5.1 Affaldsforbrændingsanlæg

Både på nye og eksisterende anlæg er det relevant at foretage en vurdering af problemstillingen vedr. metaller, således at emissionsgrænseværdierne afspejler den aktuelle eller ønskede skorstenshøjde.

Dette bør resultere i nye emissionsgrænseværdier for alle metallerne i bekendtgørelsen (eller evt. udvalgte metaller), som bør kontrolleres ved præstationsprøvning.

Da der i forvejen foretages regelmæssige målinger af samtlige metaller, er der ikke tale om, at der skal udføres flere målinger.

I forbindelse med implementeringen af Industri Emissions Direktivet (IED) vil det være hensigtsmæssigt at fastsætte ens emissionsgrænseværdier for enkeltmetaller (eller evt. for sum af udvalgte metaller), som baseres på erfaringstal og OML-beregninger. Dette vil forenkle miljøgodkendelsen af affaldsforbrændingsanlæg fremover, men også sætte begrænsninger i anlæggenes spillerum vedr. skorstenshøjde etc. Alternativt bør der indsættes en bemærkning i bekendtgørelsen om, at det er nødvendigt at fastsætte emissionsgrænseværdier for enkeltmetaller eller grupper af metaller.

### 5.2 Kulfyrede anlæg

Skorstenshøjde kan fastsættes på baggrund af emissionsgrænseværdierne for denne type anlæg. Det vurderes ikke nødvendigt at kræve strengere emissionsgrænseværdier end de anførte i luftvejledningen og bekendtgørelsen for anlæg større end 50 MW.

Hvis anlægget fyrer med kul, som indeholder mere As end angivet i Tabel 5, bør der fastsættes en emissionsgrænseværdi for As, som passer med den aktuelle eller ønskede skorstenshøjde.

### 5.3 Generelt

Anlæg hvor skorstenshøjden betyder meget for den samlede pris, bør det altid overvejes at fastsætte lavere emissionsgrænseværdier (som forventes at kunne overholdes) med henblik på at reducere udgifterne til skorstenshøjden.

På baggrund af, at der bl.a. er sket ændringer af emissionskravene til affaldsforbrændingsanlæg, vil vi anbefale, at skorstenshøjden bestemmes ud fra det enkelte metal.

Metaller måles efter MEL -08a. Metodens detektionsgrænse er på niveauet  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$ , så der burde ikke være problemer med dokumentationen, selvom grænseværdien bliver nedsat med en faktor 10.