

Referencelaboratoriet for måling af emissioner til luften	
Titel	EBK temperaturkrav til el-opvarmede krematorieovne
Undertitel	
Forfatter(e)	Ole Schleicher
Kvalitetssikring	Lars Gram
Arbejdet udført, år	2024
Udgivelsesdato	Oktober 2026
Revideret, dato	-
Referencelaboratoriets rapporter og notater er udarbejdet som baggrundsinformation for Miljøstyrelsen eller som fagligt input til en problemstilling inden for Referencelaboratoriets fagområde. Kun hvis det specifikt fremgår af rapporten, er indholdet udtryk for Miljøstyrelsens holdning. Miljøstyrelsen beslutter på baggrund af rapportens indhold, om det er påkrævet med ændringer i vejledninger og bekendtgørelser.	

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
1.1	Baggrund.....	3
1.2	Formål.....	3
2	Beskrivelse af krematorieovne og røggasrensning.....	5
2.1	Ovntyper	5
2.2	Principper for udformning af kremeringsovne	5
2.2.1	Danske kremeringsovne.....	5
2.2.2	EBK, måling af temperatur og varmeoverførsel	7
2.2.3	El-opvarmede ovne.....	7
2.3	Forbrændingen	8
2.4	Temperaturforløb under kremeringer (olie- og gasforbrænding).....	9
2.5	Dannelse og emission af partikler, CO, TVOC og PCDD/F	10
2.6	Rensning med aktivt kul	13
3	Regulering af krematorier i Europa	14
3.1	Danske regulering med standardvilkår for J 202 Krematorier	14
3.2	HELCOM recommendation for regulering af krematorier.....	15
3.3	Sverige	16



Rapport nr.: 103

3.4	Tyskland	18
3.5	Schweiz	20
3.6	Holland	21
3.7	Belgien	21
3.8	Norge	22
4	Resume af oplysninger om el-ovne og sænkning af EBK	24
4.1	Målinger fra Tyskland	25
4.2	Målinger fra Schweiz.....	28
4.3	Målinger fra Holland	28
4.4	Målinger fra Norge	29
4.5	Målinger fra England	30
5	Besvarelse af Miljøstyrelsen spørgsmål	31
5.1	Forslag/anbefaling.....	35
6	Brændselsforbrug og CO ₂ -emission fra krematorier	36
6.1	CO ₂ -emissionsfaktorer	38
6.2	CO ₂ -emission fra støttebrændsel på de danske krematorier	38
7	Konklusion	41
Bilag A	Oversigt over regulering af krematorier i Europa fra 2017	42
Bilag B	Dannelse af PCDD/F i kremeringer	43

1 Indledning

Denne rapport er udarbejdet af Referencelaboratoriet som baggrundsrapport for Miljøstyrelsen eller som fagligt input til en problemstilling inden for Referencelaboratoriets fagområde. Kun hvis det specifikt fremgår af rapporten, er indholdet udtryk for Miljøstyrelsens holdning. Miljøstyrelsen beslutter på baggrund af rapportens indhold, om det er påkrævet med ændringer i vejledninger og bekendtgørelser.

I denne rapport anvendes følgende forkortelser:

EBK:	EfterBrændKammer
EBK-temperatur:	Temperaturen i EBK
PCDD/F:	PolyChloreredeDibenzo Dioxiner og -Furaner (dioxiner og furaner)
TVOC:	Total Volatile Organic Carbon
DKL:	Danske Krematoriers Landsforening

1.1 Baggrund

Miljøstyrelsen er over det seneste år, blevet kontaktet af krematorie virksomheder samt kommuner, som har udtrykt ønske om at installere eldrevne krematorieovne eller mulighed for at give tilladelse til disse. Dette ønske sker på baggrund af muligheden for at reducere gas/olie forbruget og hermed reducere både CO₂-emissionen og de økonomiske omkostninger ved kremeringer.

Krematorier er i Danmark listevirksomheder opført under listepunkt J 202 på bilag 2 i Bekendtgørelse om godkendelse af listevirksomhed. Dette medfører at de skal udstedes en miljøgodkendelse før et krematorie må anlægges eller påbegyndes og ved udvidelse og ændringer, som indebærer forøget forurening kan tages i brug. Krematorier er omfattet af standardvilkår. Standardvilkårene fremgår af Standardvilkårsbekendtgørelsen bilag 1, afsnit 14. Vilkårene omfatter blandt andet krav til indretning og drift samt luftforurening og egenkontrol.

Standardvilkår nr. 6 angiver, at "*Temperaturen i ovnens efterforbrændingskammer (EBK) skal styres, så den både før indsættelse af kisten og under hele kremeringen er mindst 800°C.*"

Standardvilkår nr. 7 angiver, at "*Efterforbrændingszonens volumen skal svare til, at røggasserne opnår en opholdstid på mindst 1 sekund ved 800°C.*"

Det er pt. ikke muligt at miljøgodkende og installere eldrevne krematorieovne, da temperaturen i efterforbrændingskammeret ikke kan opfylde kravet om mindst 800°C og standardvilkårene hermed ikke kan overholdes.

Miljøstyrelsen har foretaget en rundspørge i andre europæiske lande (Belgien, Holland, Tyskland, Schweiz, Sverige og Norge), hvor eldrevne krematorieovne er i drift i mindre eller større grad, om hvordan de er reguleret.

1.2 Formål

1. En kort, sammenfattende beskrivelse af reglerne for emissionsgrænseværdier og krav til EBK-temperatur og røggassens opholdstid i EBK for krematorier i Danmark, Belgien, Holland, Tyskland, Schweiz, Sverige og Norge.

2. Vurdering af påvirkningen af luftemissioner ved at sænke gældende temperaturkrav på 800°C for el-ovne, herunder vurdering af om den vejledende emissionsgrænseværdi for PCDD/F på 0,1 ng I-TEQ/normal m³¹ ved 15 % O₂ kan overholdes ved den lavere EBK-temperatur på mindst 750°C eller 700°C.
3. Vurdering af om det er nødvendigt at ændre krav til røggassens opholdstid i EBK ved et sænket temperaturkrav på 750°C eller 700°C i elovne, for at overholde de gældende emissionsgrænseværdier i standardvilkårsbekendtgørelsen, baseret på faktiske målinger.
4. Vurdering af påvirkningen af luftemissioner ved at sænke gældende temperaturkrav på 800°C for ovne, der anvender gasolie, naturgas, LPG og bygas som støttebrændsel, herunder vurdering af om den vejledende emissionsgrænseværdi for PCDD/F på 0,1 ng I-TEQ/normal m³ ved 11 % O₂ kan overholdes ved den lavere EBK-temperatur på mindst 750°C eller 700°C.
5. Vurdering af om det er nødvendigt at ændre krav til røggassens opholdstid i EBK ved et sænket temperaturkrav på 750°C eller 700°C i ovne, der anvender gasolie, naturgas, LPG og bygas som støttebrændsel, for at overholde de gældende emissionsgrænseværdier i standardvilkårsbekendtgørelsen, baseret på faktiske målinger.
6. Vurdering af om et evt. sænket krav til EBK-temperaturen på mindst 750°C eller 700°C giver anledning til at standardvilkårene bør suppleres med en emissionsgrænseværdi for PCDD/F og evt. målekrav for PCDD/F i form af egenkontrol.
7. Vurdering af om standardvilkårsbekendtgørelsens CO emissionsgrænseværdierne (for én kremering og for to minutters gennemsnit) kan overholdes ved et sænket temperaturkrav på mindst 750°C eller 700°C for både el- (15 % O₂) og gas/olie (11 % O₂) opvarmede krematorier.
8. Estimering af CO₂-emissionen fra brændslet (kg CO₂/kremering) fra forbrænding af de forskellige typer brændsel (el, gasolie, naturgas, LPG og bygas) ved en gennemsnitlig kremering.

¹ Jf. Miljøstyrelsens Luftvejledning

2 Beskrivelse af krematorieovne og røggasrensning

For at give en baggrund for at forstå og vurdere indholdet i denne rapport, startes med en generel introduktion og beskrivelse af krematorieovne, forbrændingsforløb, ovntyper, støttevarmeoverførsel, måling af EBK-temperatur.

Desuden beskrives sammenhængen mellem EBK-temperatur og opholdstid og dannelse/emission af CO og TVOC (organiske stoffer), herunder PCCD/F.

2.1 Ovntyper

Alle de danske krematorieovne er i princippet opbygget på samme måde, med et brændkammer og et EBK, som beskrevet i næste afsnit. Hovedparten er leveret af de 4 firmaer, Mitab, Envikraft, Tabo og DFW. Alle ovnene er beregnet til kun at være i drift i dagtimerne på hverdage, for de bliver alt for varme, hvis de har for mange driftstimer. Der ses en tydelig stigning i temperaturen i brændkammeret fra mandag til fredag, og det giver dels en for kraftig og ukontrollabel forbrænding, og en stærkt forøget nedbrydning af den ildfaste udmuring. Ovnene skal derfor have pause om natten og i weekenden for at køle af.

Der findes andre typer krematorieovne, som er designet til mere kontinuert drift døgnet rundt, som ikke behøver stopperioder for at afkøle. I Tyskland anvendes i en vis udstrækning kontinuerede ovne, som kører i døgndrift, og derfor kører med meget konstante temperaturer i både brændkammer og i EBK. De har ikke har en daglig opvarmningsperiode, så på den måde er de mere energieffektive end de typer vi anvender i Danmark. Princippet i disse kontinuerede ovne er en 3-delt forbrænding. Kisten sættes ind, og når flammeforbrændingen er færdig, åbnes en lem i bunden af ovnrummet, og aske og gløder falder ned i et kammer under brændkammeret, hvor udbrændingen sker. Lemmen lukkes igen, og den næste kiste indsættes og brænder i brændkammeret. Når udbrændingen er færdig, skræbes asken ned i det tredje kammer, hvor det afkøles og føres videre til askeberedningen.

Der er udført målinger med reduktion af EBK-temperaturen på kontinuerede gasfyrede etageovne i Tyskland til 750°C og 650°C, og det antages, at de resultater også vil være nogenlunde repræsentative i forhold til danske krematorieovne.

Kontinuerede kremeringsovne anvendes ikke i Danmark, og forventes ifølge Dansk Krematorieforening heller ikke at blive det.

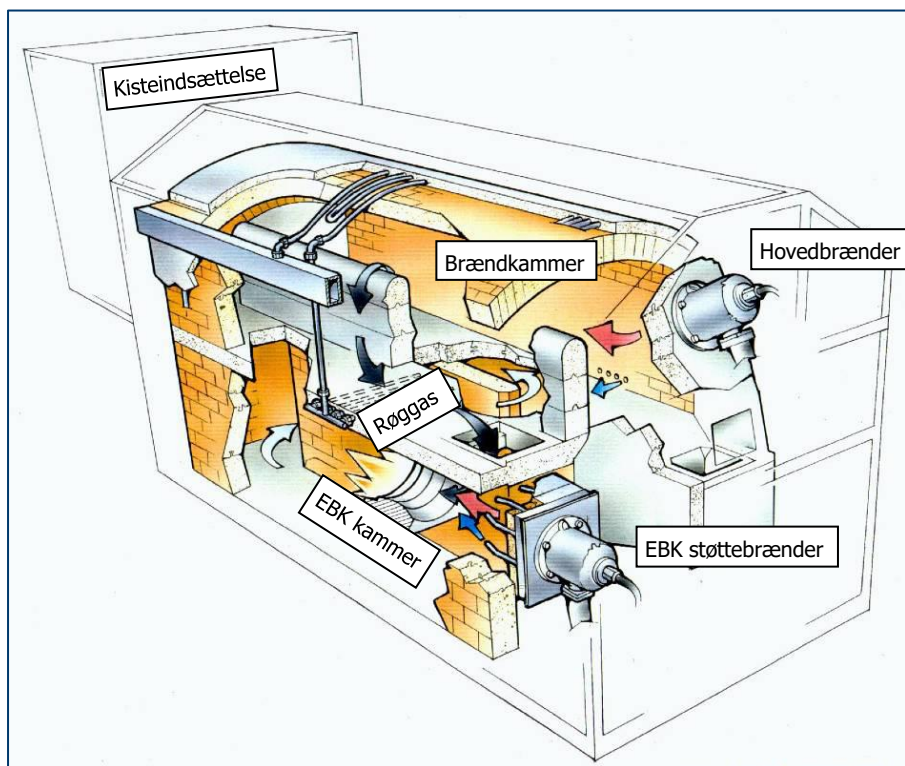
Selvom der er forskellige fabrikater af kremeringsovne, som har varierende alder, så er de alle opbygget nogenlunde ens, og de ældste har formentlig alle fået opgraderet deres styringssystem, så de kan præstere en så effektiv forbrænding som muligt under de generelt vanskelige forbrændingsforhold, der er for kremeringer. Det er i princippet de samme typer kremeringsovne, der er udbredt i de lande, der omfattes af dette projekt, så de undersøgelser og målinger, der er udført i disse, vurderes derfor at være repræsentative for de danske krematorieovne.

2.2 Principper for udformning af kremeringsovne

2.2.1 Danske kremeringsovne

Kremeringsovne er murede ovne med et brændkammer, hvor kisten sættes ind og brænder, og et efterfølgende opvarmet EBK, hvor uforbrændte gasser fra forbrændingen kan brænde færdigt. Termoføleren til måling af EBK-temperaturen er normalt placeret i midten af afslutningen på EBK. Den målte EBK-temperatur vil

derfor være den laveste temperatur i EBK. Temperaturen kan være noget højere i starten af EBK, specielt i den første del af kremeringer, hvor der er kraftig flammeforbrænding.



Krematorieovne til olie og gas er opdelt i et hovedbrændkammer, hvor kisten indsættes, og brændes, og et EBK, hvor restgasserne brændes.

Røgen ledes fra hovedbrændkammeret ned til EBK under hovedbrændkammeret.

EBK er en muret kanal der vender 180° 2 - 3 gange.

Der tilsættes sekundær forbrændingsluft ved overgangen til EBK, og der er en olie- eller gasfyret brænder i indgangen.

Brænderen startes automatisk, hvis temperaturen falder til under set punkt (800°C).

EBK temperaturføleren sidder i slutningen eller ved udgangen af efterbrændkammeret.

Figur 1 Snittegning af krematorieovn

Røggassen afkøles i en efterfølgende varmeveksler, typiske til 120 -140°, hvorefter den renses for partikler i et posefilter, samt for Hg, TVOC og PCDD/F, enten ved dosering af aktivt kul før posefilteret eller i et kulfilter/kulbed (beholder med aktivt kul).

Der er ikke krav til udarbejdelse af en kalibreringsfunktion, som på affaldsforbrændingsanlæg, hvilket heller ikke er påkrævet med den placering termoføleren har, dels fordi den er helt afskærmet fra strålingsvarme fra forbrændingen, og dels fordi den kun skal dokumentere temperaturen lige der hvor den er installeret.

De fleste krematorieovne i Danmark har EBK placeret under brændkammeret, så røgen nemt ledes videre til røggasrensningen, som enten er placeret i kælderen under kremeringsovn, eller i et separat rum/bygning ved siden af. Nogle nyere anlæg har dog EBK placeret over brændkammeret, hvor røggaskanalen er ført ned langs siden af ovnen til røggasrensningen i kælderen.

Der er en støttebrænder monteret i brændkammeret og en i indgangen til EBK. Efter kisteindsættelsen er flammeforbrændingsfasen så kraftig, at temperaturen typisk stiger med 100°C - 200°C i både brændkammer og i EBK. I den periode er der ikke behov for at anvende støttebrænderne. Først i udbrændingsfasen, giver forbrændingen så lidt varme, at der er behov for at køre med støttebrænderne. Dels med hovedbrænderen for at sikre en hurtige og effektiv udbrænding, og dels med EBK støttebrænderen, for at holde den krævede EBK-temperatur.

2.2.2 EBK, måling af temperatur og varmeoverførsel

Målingen af temperaturen i brændkammeret sker med en termoføler, der typisk er placeret i bagenden eller i toppen af brændkammeret, modsat støttebrænderen. I EBK er termoføleren placeret ved udgangen af EBK, hvor den laveste temperatur i EBK antages at være.

Der vil altid være en temperaturgradient fra midten af røggassen og ud til den ildfaste udmuring.

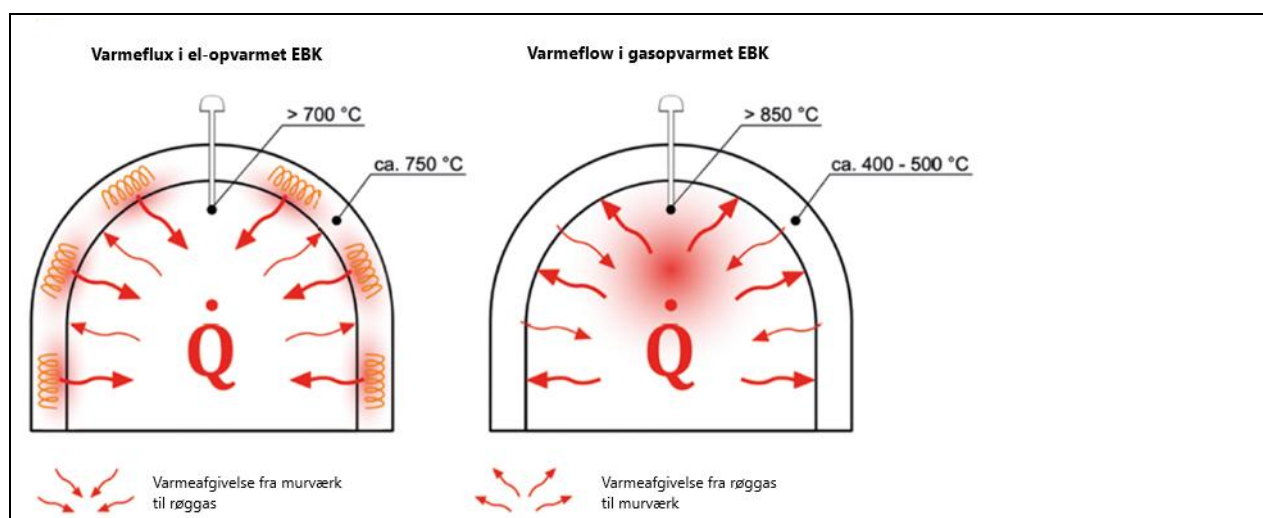
På gas/olie fyrede ovne, er der varmest i midten af EBK, fordi varmen kommer fra røggassen og støttebrænderens flamme, og der tabes varme ud gennem den ildfaste udmuring. Overfladen af den ildfaste udmuring er derfor koldere end røggassen, og temperaturmålingen i midten af slutningen på EBK, vil derfor være lidt højere end ved overfladen af den ildfast udmuring. Den målte EBK-temperatur er således lidt højere end gennemsnittet for røggassen over hele arealet.

2.2.3 El-opvarmede ovne

På el-opvarmede ovne, opvarmes røggassen med varmetråde indlagt i den ildfaste udmuring i både hovedbrændkammer og i EBK, så det er varme fra overfladen af den ildfaste udmuring, der opvarmer røggassen. Temperaturen vil derfor være lidt højere ved overfladen af udmuring i forhold til midten af EBK. Den målte EBK-temperatur vil derfor være lidt mindre end gennemsnittet for røggassen over hele arealet.

Der er dog nok tale om relativt små afvigelser, som ikke har nogen stor betydning for forbrændingen. Det som kan have en betydning er, at den el-opvarmede ovn har en meget mere homogen temperatur på overfladerne, så risikoen for lokalt kolde områder med dårligere forbrænding er mindre.

Temperaturforholdene er illustreret i Figur 2.



Figur 2 Illustrering af varmekraft og termoføler i EBK i el- og gasopvarmet krematorieovn²

² IFZW Brochure Electric Cremator IFZW KFX 200E. Materiale sendt til Miljøstyrelsen vedr. ansøgning fra Rønne Krematorium (MILJØSTYRELSEN Id nr.: 10445274) fra DKL.

2.3 Forbrændingen

Forbrændingen i en kremering er en batch proces, med flere meget forskellige forbrændingsfaser, som yderligere varierer med typen af kiste og den afdødes vægt og brændværdi (hvilket primært bestemmes af indholdet af kropsfedt). Nogle kremeringer forløber hurtigt uden ret meget forbrug af støttebrændsel (formentlig pga. af et stort indhold af kropsfedt), mens andre tager længere tid, og kræver meget støttebrændsel, for at få en fuldstændig udbrænding (fx pga. lavt fedtindhold i forhold til knogle- og muskelmasse). Derudover forekommer der atypiske kremeringer, som skyldes ligets tilstand.

Forbrændingen styres og reguleres efter O₂-koncentrationen, men der vælges også program efter en vurdering af kistens forventede indhold og vægt, omsat til en forventet kremeringstid. Under kremeringen holdes der øje med forløbet, og varigheden justeres manuelt efter behov. Det er dog umuligt at vurdere, hvilken varighed der vil være mest velegnet i alle tilfælde. Der forekommer atypiske kremeringer, der forløber med dårligere forbrænding end andre, hvilket giver en større CO-emission end normalen. Det ses dels i kortvarige CO-spids, som kan give overskridelser af 2-min. grænseværdien, enten ved kisteindsættelsen eller ved kistesammenfaldet, og/eller ved forhøjede CO-værdier i noget eller hele kremeringsforløbet.

Brændingsprocessen i hovedbrændkammeret kan opdeles i mindst fire faser:

- Fase 1: Fra indsætning til kistesammenfald
- Fase 2: Kistesammenfald
- Fase 3: Efter kistesammenfald
- Fase 4: Udbrændingsfasen

Fase 1. Fra indsætning til kistesammenfald

Når kisten sættes ind i det meget varme ovnrum, bryder maling og kistemateriale umiddelbart i brand, og der sker en ret kraftig brænding. For ikke at få alt for høje temperaturer er det vigtigt at begrænse tilførsel af primærluften. Det kan ikke undgås, at forbrændingens effektivitet bliver kortvarigt reduceret med forhøjet CO dannelse og lidt ringere forbrænding af VOC til følge. Det meste VOC vil dog blive forbrændt i EBK, så effekten på røggassen efter EBK bliver mindre. I denne fase af kremeringen, som typisk varer 8 – 12 minutter, vil en forøgelse af primærluften medføre en øget forbrænding og en alt for høj temperaturstigning. Pga. den kraftige forbrænding stiger temperaturen i både ovnrum og i EBK.

I denne fase, er der udelukkende forbrænding af kisten, som ikke indeholder forbrændingsmæssigt problematiske stoffer, idet den består af massivt træ eller spånplade, som typisk er malet hvid. Både massivt træ og spånplade, samt malingen består hovedsageligt af C, H og O, samt lidt N i spånplade og typisk titandioxid som farvepigment i malingen. Selvom der i denne fase kan forekomme høje CO-spids, så er der ikke basis for at forvente en stor dannelse af problematiske stoffer, som fx PCDD/F.

Fase 2: Kistesammenfald

Når kisten er brændt igennem og falder sammen typisk 8 – 12 minutter efter kisteindsættelsen, sker der en pludselig fordampning af kropsvæsker, som bevirker en kortvarig afkøling af luften omkring liget. Næsten samtidigt frigøres brændbare gasser. Forbrændingen lige omkring liget bliver derfor kold og ufuldstændig samtidig med, at der lidt længere væk er et overskud af brændbare gasser, som kræver ilt for at brænde. Resultatet af disse modsatrettede processer er vanskelige at styre, så der kan kortvarigt være forhøjet dannelse af CO og sod, som følge af lokalt lavere temperatur og dårlige blandingsforhold mellem ilt og brændbare gasser. Det er ikke nok blot at forøge primærluften for at undgå disse problemer. På de mange ovne vil registreringsudstyret vise et fald i O₂% og en CO-spids, samtidig med at temperaturen er normal.

Fase 3: Efter kistesammenfald

Efter kistesammenfald vil forbrændingen forløbe roligere med flammer. Det er nu muligt at styre temperaturen ved hjælp af primærluften. I begyndelsen af denne fase har det brændbare materiale en stor overflade, og forbrændingen forløber kraftigt, hvilket medfører en yderligere opvarmning af ovnrummet og EBK. Der dannes stadig CO pga. den kraftige forbrænding, hvilket kan reduceres ved at øge primærluften, men det vil medføre en alt for kraftig temperaturstigning, som ovnsens murværk vil tage skade af. Det er derfor ønskværdigt at begrænse temperaturen til ca. 900-950 °C i brændkammeret.

Hvis temperaturen bliver for høj, skal tilførsel af primærluften derfor reduceres, og ikke forøges. I denne fase er der kun behov for at bruge støttebrændere ved de første kremeringer efter opstart med "kold" ovn, specielt ved opstart efter weekender.

Ved kraftigt undervægtige lig, hvor der ikke er ret meget brændbart materiale, vil en forøgelse af primærluften ikke øge forbrændingen, men kun bevirke at temperaturen i hovedbrændkammeret bliver lavere. Det kan derfor være nødvendigt at bruge støttebrænderne til at vedligeholde antændelsestemperaturen. Denne situation svarer til udbrændingsfasen for en normal kremering.

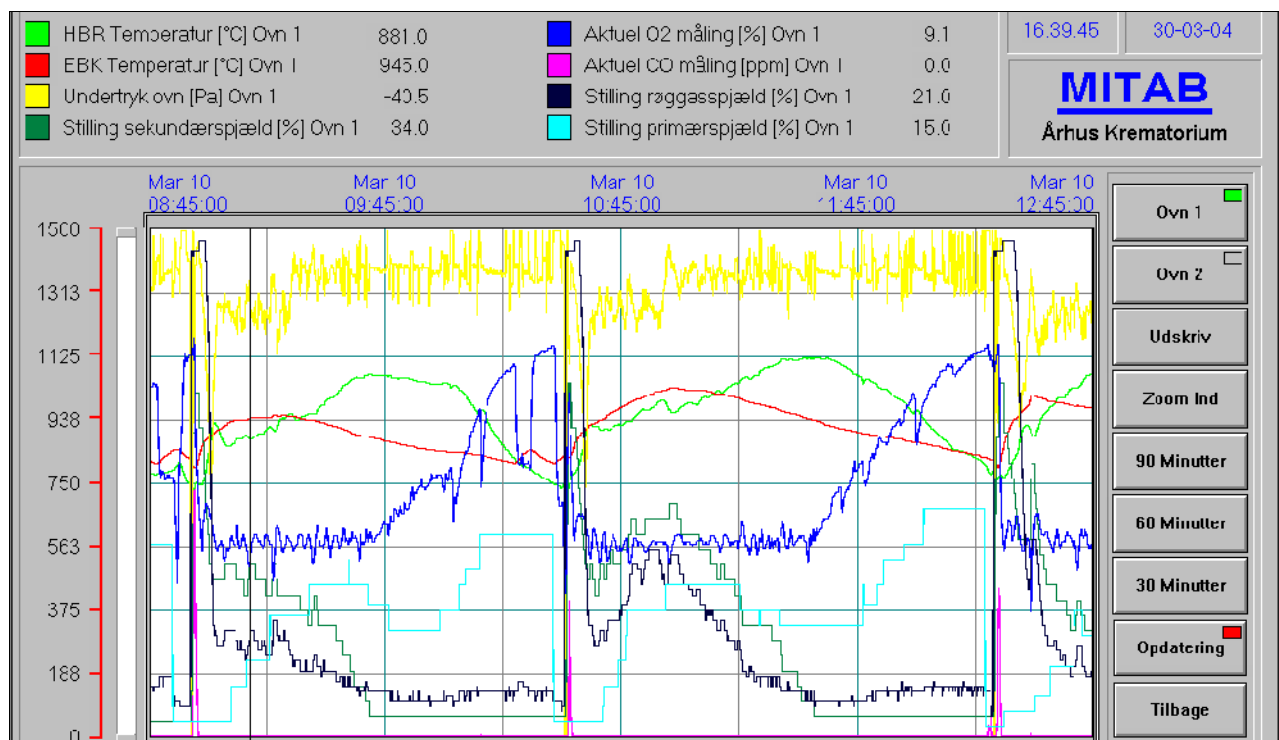
Fase 4: Udbrændingsfasen

Efterhånden som det organiske materiale der afgiver gasser, som brænder med flammer, er brændt op, aftager forbrændingen, så der kun er gløder tilbage. Gløderne er primært kulstof der oxideres til CO og CO₂, så i denne fase er der en forholdsvis høj dannelse af CO, som oxideres videre til CO₂ i EBK. Varmed udviklingen er mindre, så det kan også være nødvendigt med støttefyring, for at få de sidste rester til at udbrænde fuldstændigt.

Ved de sidste kremeringer ved gennemvarm ovn vil temperaturen ofte fortsætte med at stige, og det kan være nødvendigt at øge primærluften for at køle. Specielt sidst på arbejdsugen, hvor ovnen har været i brug i flere dage og er gennemvarm, kan det være nødvendigt med tilsætning af køleluft.

2.4 Temperaturforløb under kremeringer (olie- og gasforbrænding)

Når der indsættes en kiste i ovnen, skal temperaturen i EBK være mindst 800°C, og temperaturen i brændkammeret er normalt mindst 650° og op til omkring eller over 800°C. På grund af den høje temperatur, antændes kisten momentant, og den kraftige forbrænding giver en høj røggastemperatur, som medfører en temperaturstigning i EBK til mere end 900°C. Se den røde kurve for EBK-temperatur og skala i °C i Figur 3.



Figur 3 Trendkurver for 2 kremeringer med EBK³

Det ses, at EBK-temperaturen under den første kremering stiger til ca. 940°C og falder jævnt ned ca. 800°C i slutningen af kremeringen, hvor der anvendes støttebrændsel i den sidste del af udbrændingsfasen. Det samme mønster ses i den anden kremering, hvor EBK-temperaturen dog stiger til helt op omkring 1.030°C.

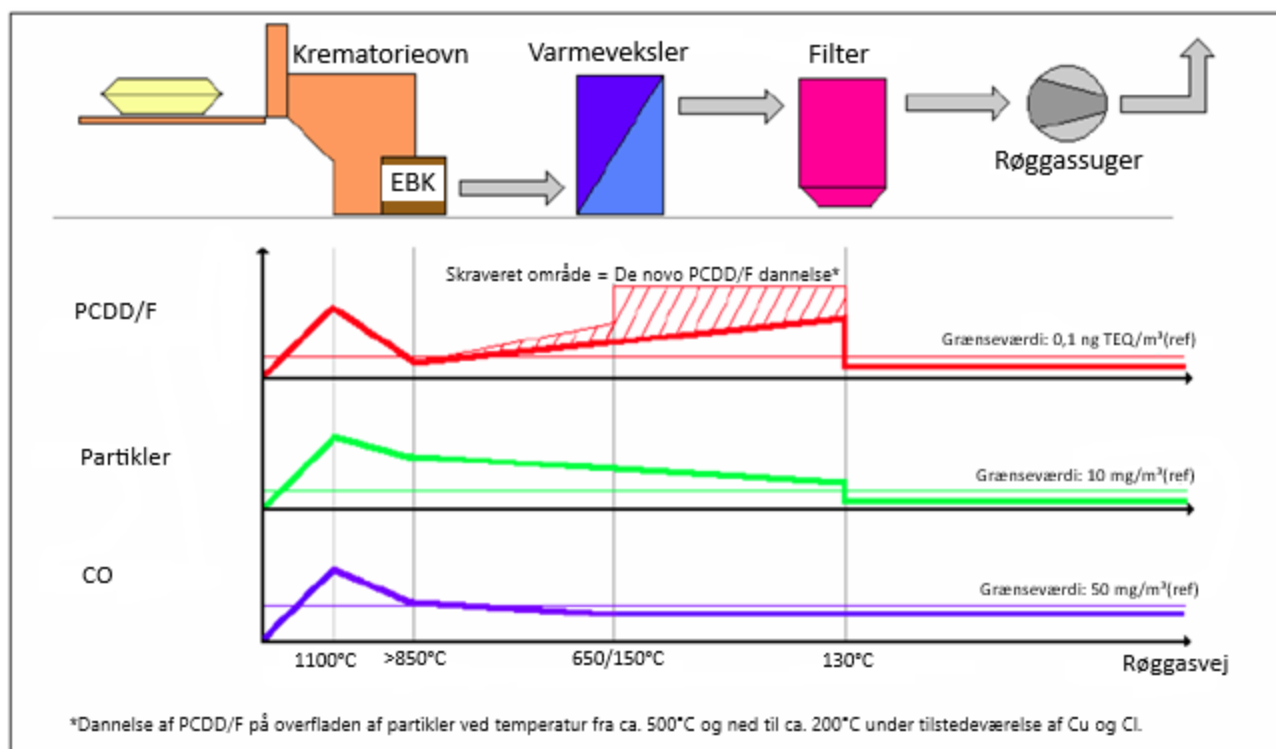
I den fase med kraftig forbrænding med flammer frem til udbrændingsfasen, som varer 20-40 minutter, sker forbrændingen af hovedparten af alle organiske stoffer (specielt fedt) i kisten og kroppen. I den efterfølgende udbrændingsfase med glødebrand af kulstof og mindre brændbart organisk stof (muskler/proteiner), falder temperaturen, og det kan være nødvendigt at køre med støttebrænderen i brændkammeret, for at opnå en hurtigere og effektiv udbrænding.

Dette forløb kan bruges til sige noget om mulighederne for dannelse af CO, TVOC og PCDD/F i de forskellige faser, og hvilken effekt på dannelsen en reduktion af kravet til temperaturen i EBK kan tænkes at have.

2.5 Dannelse og emission af partikler, CO, TVOC og PCDD/F

Dannelse, destruktion og rensning af partikler, CO, TVOC og PCDD/F er illustreret i Figur 4. Se også Bilag B om dannelse af PCDD/F i kremeringer.

³ Kriegbaum M, Jensen E. Input til branchebilag for krematorieanlæg. Kommentarer og begrundelser. Den 23. september 2005. <https://mst.dk/media/1dad3vej/j-202-j-4-indlaeg-fra-branchen-om-krematorieanlaeg-j202.pdf>



Figur 4 Principper for dannelse og reduktion af PCDD/F, partikler og CO over anlægsdelene på et krematorium⁴

Alle tre forløb viser en stigning i koncentrationen, fordi der dannes/frigives de pågældende stoffer i forbrændingen i brændkammeret, hvorefter der sker et fald i koncentrationen ved forbrænding i EBK.

PCDD/F

Koncentrationen af PCDD/F stiger ved forbrændingen i ovnen, hvor kroppens evt. indhold af PCDD/F fordamper og delvist nedbrydes igen i flammerne og i EBK. Ved afkølingen af røggassen dannes der PCDD/F igen ved kobberkatalytiske reaktioner mellem organiske fragmenter og klor på overfladen af partikler i temperaturområdet fra cirka 500° og ned til ca. 250°C, som vist med det skraverede område i Figur 4. Afhængigt af nedkølingshastigheden og tilstedeværelsen af organiske fragmenter, klor, kobber og partikler, dannes der mere eller mindre PCDD/F. I filteret er der vist en reduktion af koncentrationen til mindre, eller normalt meget mindre end 0,1 ng TEQ/m³(ref). Filteret fjerner mekanisk den mængde PCDD/F, der findes på partikelform. Derudover er der tilsat aktivt kul til filteret, for at fjerne Hg og PCDD/F på dampform. På anlæg med Hg fjernelse i en kulbed, sker reduktionen af PCDD/F på dampform først i dette trin.

Hovedparten af PCDD/F emissionen vurderes at komme i fase 3, dvs. efter kistesammenfaldet, fordi det er her, at kroppens indhold af organiske stoffer forbrænder, og giver noget TVOC i røggassen, som kan indgå i dannelsen af PCDD/F ved afkølingen i varmeveksleren. Desuden vil kroppens indhold af kobber frigives med partikler og klor fordampet til røggassen, hvilket er en forudsætning for dannelse af PCDD/F.

Der er ikke kendskab til, hvilken parameter der konkret er begrænsende for dannelsen af PCDD/F, men følgende er vigtige for dannelsen af PCDD/F:

- Koncentrationen af organiske fragmenter

⁴ Analyse af omkostningerne for rensning for kviksølv på krematorier i Danmark. Miljøprojekt Nr. 1191, 2008.

- Tilstedeværelsen af kobber, klor og aske/sodpartikler
- Opholdstiden i det temperaturområde dannelsen sker.

Uanset hvilken parameter der reelt er begrænsende, så vil koncentration af organiske fragmenter have en betydning, og den kan være påvirket af temperaturen i EBK.

Uanset hvilken koncentration af PCDD/F der dannes frem til filteret, så viser målinger, at rensningen for partikler og med aktivt kul vil sikre en emission der er mindre eller langt mindre end Luftvejledningens emissionsgrænseværdi for PCDD/F på 0,1 ng TEQ/m³(ref).

Partikler

Partikler dannes i forbrændingen, dels i form af sod fra ufuldstændig forbrænding, men også i høj grad i form af medrivning af udbrændte askepartikler og ved fordampning og efterfølgende kondensering af uorganiske salte.

Ved måling af partikelkoncentrationen i en røggas, suges noget af røggassen ud gennem et filter, som opsamler partiklerne på overfladen. Kremeringer fra en velfungerende og god forbrænding giver prøvefilteret en lidt gråblålig farve, mens en dårlig forbrænding med soddannelse giver prøvefilteret en grålig til kulsort farve.

Koncentrationen af partikler falder lidt over varmeveksleren, fordi der sker aflejringer på overfladerne ved afkølingen, så den skal renses manuelt med jævne mellemrum. Der sker et momentant fald i partikelkoncentrationen over filteret, hvor der i velfungerende og tætte filtre typisk renses til mindre end detektionsgrænsen for måling af partikler.

CO

Det nederste forløb viser først dannelsen af CO i brændkammeret og en efterfølgende reduktion ved forbrænding i EBK. Der er også vist en lille reduktion af CO over røggaskøleren, og det er fordi CO kan oxideres til CO₂, så længe temperaturen er større end antændelsestemperaturen for CO på ca. 650°C. En reduktion i EBK-temperaturen kan derfor medføre en lille stigning i koncentrationen af CO, da den samlede opholdstid ved en temperatur større end antændelsestemperaturen for CO bliver kortere.

Da den største koncentration af CO normalt forekommer i antændelse- og forbrændingsfaserne i brændkammeret, hvor den kraftige flammeforbrænding medfører, at EBK-temperaturen er meget højere end 850°C, vurderes det, at forbrændingen af CO i EBK vil være så effektiv, at den mulige stigning i CO-emissionen vil være lille.

TVOC (uforbrændt organisk stof)

Forløbet for dannelse og nedbrydning af organisk stof i røggassen er en mellemting mellem kurverne for partikler og CO. Afhængigt af forbrændingsforholdene i ovnen når de dannede organiske gasser ikke at brænde ud, inden røggassen når EBK. Her vil hovedparten af den resterende TVOC brænde mere effektivt end CO, fordi antændelsestemperaturen for hovedparten af TVOCerne er lavere end for CO.

I rensningen med aktivt kul i filteret eller en kulbed, vil en stor del af den resterende TVOC (dog ikke methan) blive fjernet ved adsorbering til det aktive kul.

2.6 Rensning med aktivt kul

Aktivt kul er rent kulstof, som ved en speciel proces er gjort meget porøs, så et gram kan have en indre overflade på mere end 1.000 m². Denne indre overflade kan adsorbere mange organiske stoffer og visse uorganiske stoffer, hvilket gør det velegnet til at rense disse stoffer både luft og røggas, samt fra væsker, fx vand, spildevand og fiskeolie.

Aktivt kul er effektivt til at rense for Hg, PCDD/F og organiske stoffer (TVOC) (dog ikke methan), og det er derfor en meget anvendt rensningsteknologi til røggasrensning. Det anvendes til at rense for Hg og PCDD/F på de fleste anlæg til forbrænding af affald og farligt affald, hvorved emissionerne reduceres til under eller langt under de gældende emissionsgrænseværdier. Da det også adsorberer alle muligt andre organiske stoffer, så vil det også adsorbere uforbrændte organiske stoffer fra røggassen. Det er da også FORCEs erfaring fra udførelse af emissionsmålinger på mange affaldsforbrændingsanlæg gennem mange år, at den målte koncentration normalt altid er mindre end måle metodens detektionsgrænse.

Hvis en reduktion i EBK-temperaturen skulle medføre en lille stigning i dannelsen af PCDD/F, så vil det med stor effektivitet blive fjernet i rensningen med aktivt kul. Målingerne af PCDD/F-emissionen ved reduceret EBK-temperatur, der refereres i kapitel 5, viser heller ikke nogen forøget emission.

Det samme vil gælde for uforbrændte organiske stoffer, men da der ikke er nogen dansk emissionsgrænseværdi for TVOC, så er det ikke undersøgt nærmere, om en reduceret EBK kan medføre en lille stigning i koncentrationen af TVOC før rensning med aktivt kul.

Alle danske krematorier, undtagen det i Rønne, har røggasrensning med aktivt kul til at rense for Hg, som derfor også vil rense for både PCDD/F og TVOC.

3 Regulering af krematorier i Europa

Miljøstyrelsen har specifikt bedt om en redegørelse for regler og krav til EBK og grænseværdier for luftemissioner fra krematorier i Sverige, Tyskland, Schweiz, Holland, Belgien og Norge, og har delt landenes svar med Ref-Lab.

Via DKF (Danske Krematoriernes Landsforening) er der fremskaffet en oversigt fra 2017 med regler for regulering af krematorier i de forskellige europæiske lande. Data kommer fra en spørgeskemaundersøgelse blandt nationale medlemmer af ECN (European Cremation Network)⁵; og er altså ikke fra myndigheder. Oversigten indeholder heller ikke omtale af regler og regulering af elovne, måske fordi de var meget lidt udbredte da oplysningerne blev indsamlet.

Oplysninger kan også være erstattet af nye regler i nogle lande, men det er kontrolleret at data for de lande Miljøstyrelsen har ønsket redegørelse for, svarer til dem der gælder i dag.

Oversigten er vedlagt som Bilag A, og i de følgende afsnit redegøres for den nuværende regulering af krematorier i de lande Miljøstyrelsen har sendt forespørgsel til, samt yderligere om reguleringen i Norge og i HELCOM Recommendation 29/1 for krematorier.

3.1 Danske regulering med standardvilkår for J 202 Krematorier

Den Danske miljøregulering af krematorier følger af godkendelsesbekendtgørelsen og standardvilkårsbekendtgørelsen nr. 1537 af 09-12-2019 i Afsnit 14, J 202: Krematorier Nedenfor er angivet de for dette projekt relevante standardvilkår:

⁵ European Cremation Network hjemmeside: WWW.cremation-network.com

14.1 Anvendelsesområde

Dette afsnit omfatter krematorieanlæg, hvor opvarmning kan foregå med el, gasolie eller naturgas, LPG eller bygas.

Indretning og drift

- 6. Temperaturen i ovnens efterforbrændingskammer (EBK) skal styres, så den både før indsættelse af kisten og under hele kremeringen er mindst 800 °C.
- 7. Efterforbrændingszonens volumen skal svare til, at røggasserne opnår en opholdstid på mindst 1 sekund ved 800 °C.
- 8. Tilsætningen af forbrændingsluft til efterforbrændingszonen skal være iltstyret. Røggassens indhold af O₂ skal under hele processen være mindst 4 %.

Luftforurening

- 11. Krematorieanlægget skal være forsynet med et røggasrensningsanlæg, der sikrer, at emissionsgrænseværdierne i tabel 1 er overholdt.

Tabel 1. Emissionsgrænseværdier for krematorier

Stof	Midlingstid	Emissionsgrænseværdi mg/normal m ³ *
Totalstøv	1 kremering	10
CO	1 kremering	50
CO	2 minutter	500
Hg	1 kremering	0,1

mg/normal m³ betyder mg stof pr. m³ tør røggas omregnet til 0°C og 101,3 kPa ved følgende O₂-indhold: For ovne med støttebrændere 11% O₂ og for el-opvarmede ovne 15% O₂.

Egenkontrol

Automatisk kontrol

18. AMS-målere for O₂ og CO skal:

- gennemgå en årlig kontrol og serviceeftersyn af et sagkyndigt firma,
- efterses og kalibreres med kalibreringsgasser efter leverandørens anvisninger,
- kontrolleres ved en parallelmåling hvert tredje år, og
- foretages første gang senest 3 måneder efter et anlæg er taget i brug.

Overholdelse af emissionsgrænseværdierne skal dokumenteres en gang årligt ved præstationskontrol over tre kremeringer med den angivne midlingstid.

Figur 5 Krav til krematorier i standardvilkårsbekendtgørelsen⁶

Erfaringerne i Danmark er, at der relativt ofte ses overskridelse af 2-min. grænseværdien for CO, specielt i forbindelse med kisteindsættelsen eller askeudskrabningen.

3.2 HELCOM recommendation for regulering af krematorier

Den 5. marts 2008 blev HELCOM recommendation 29/1 om Reduction of Emissions from Crematoria⁷ vedtaget. De anbefalede krav og grænseværdier svarer meget godt til de danske krav i standardvilkårene i J 202: Krematorier.

⁶ Standardvilkårsbekendtgørelsen nr. 1537 af 09-12-2019. Afsnit 14, J 202: Krematorier.

⁷ HELCOM recommendation 29/1. Reduction of Emissions from Crematoria.
<https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Rec-29-1.pdf>

- Temperaturen på røggassen før den kommer ind i skorstenen skal være mindst 110°C.
- Temperaturen i ovnens efterbrændingskammer bør kontrolleres og bør være mindst 800°C før indsættelsen af kisten og under kremeringen.
- Tilsætningen af forbrændingsluft bør styres efter en ilt-måling i røggassen efter forbrændingen.
- Indholdet af O₂ bør være mindst 4%.

Krav til reduktion af emissioner til luft og udledninger til vand.

Krematorierne bør være forsynet med et røggasrensningssystem som anført i afsnit 1.4 eller drives på en måde, der sikrer, at følgende grænseværdier ikke overskrides:

Grænseværdier i HELCOM recommendation 29/1

Stof	Grænseværdi – mg/normal m ³ *
Totalt støv	10
CO	50 – (500)**
Hg	0,1

* mg/normal m³ betyder mg stof pr. m³ tør røggas beregnet ved 0°C og 101,3 kPa ved et iltindhold mellem 11% og 15%.

** 500 mg CO/normal m³ accepteres i maksimalt to minutter.

4. Måle- og analysemetoder

Installationen skal være udstyret med teknik til at styre, regulere og overvåge forbrændingsprocessen.

Udstyret skal som minimum vise temperaturen i efterbrændingskammeret og inkludere automatisk måling af O₂- og CO-koncentrationer. Krematorierne bør registrere disse parametre for hver kremering.

Figur 6 Anbefalinger til regulering af krematorier i HELCOM recommendation 29/1

Det skal bemærkes, at der ikke er angivet en specifik reference-O₂%, da grænseværdierne angives til at være ved et iltindhold mellem 11% og 15%.

Anbefalingerne i HELCOM recommendationen er ikke blevet fulgt og implementeret i reguleringen af krematorier i alle de lande der har ratificeret aftalen. Den danske regulering i standardvilkårene er i god overensstemmelse med anbefalingerne, og de indgår også i de Svenske anbefalinger som omtales i næste afsnit, men de ses ikke implementeret i andre lande.

3.3 Sverige

Der er ingen bindende regler for regulering af krematorier i Sverige. Der findes en ældre og forældet guideline, som kun regulerer med krav til temperaturer, som vist i Figur 7.

- En temperatur i på mindst 700°C i ovnen, dog mindst 650°C for elovne.
- En EBK-temperatur på 800°C, dog kun 750°C for elovne.
- Temperaturkravene gælder fra og med det sjette minut efter at ovndøren er lukket efter kisteindsætningen, og skal overholdes for mindst 95% af antallet af kremeringer per år.

Figur 7 Krav i ældre guideline for regulering af krematorier i Sverige

Krematorierne reguleres lokalt fra sag til sag, og der er givet godkendelse til flere el-opvarmede ovne, uden at antallet dog er oplyst.

Der er i Branchfakta om Krematorieverksamhet⁸ fra Naturvårdsverket, anbefalinger om følgende regulering af krematorier:

⁸ Krematorieverksamhet. Branchfakta fra Naturvårdsverket. Utgåva 4, Juni 2010. <https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1637811/FULLTEXT01.pdf>

Tabel 1 Krav til krematorier i Branchfakta fra Naturvårdsverket

Brændsel	Enhed	Værdi
Ref. O ₂ :	% tør	11
Partikler	mg/m ³ (ref)	10
CO	mg/m ³ (ref)	50
CO 2-min. ¹⁾	mg/m ³ (ref)	500
Hg	mg/m ³ (ref)	0,1
Ovn temp.	°C	700

¹⁾ Dog anbefales det som 1-min. middelværdier i godkendelser af nye anlæg.

Der er så vidt vides endnu ikke nogen el-opvarmede krematorier i drift i Sverige, men der er tilsendt 2 eksempler på miljøgodkendelse af el-opvarmede krematorier, så de to anlæg kan være under etablering.

Det ene er et nyt krematorium i Oskarshamn fra den 13-12-2023, og gælder for op til 1.500 kremeringer per år, for en eksisterende og en ny kremeringsovn. Det var ikke på godkendelsestidspunktet besluttet, om den nye ovn skulle køre med gas eller el, og derfor indeholder godkendelsen både krav for el-opvarmning og gas/olie fyring, som er vist i Tabel 2. I godkendelsen angives, at der på det tidspunkt endnu ikke findes nogen el-opvarmede krematorier i Sverige.

Den anden godkendelse er for et krematorium i Skövde Ryd fra den 12-09-2023 og gælder for op til 3.500 kremeringer per år.

Vilkårene for de to krematorier er vist i Tabel 2.

Tabel 2 Vilkår til krematorierne i Oskarshamn og Skövde Ryd

		Oskarshamn fra 13-12-2023		Skövde Ryd 12-09-2023
Brændsel	Enhed	Gas/olie	El	El
Ref. O ₂ :	% tør	11		11
Partikler	mg/m ³ (ref)	10		10
CO	mg/m ³ (ref)	50		100
CO 1-min. ¹⁾	mg/m ³ (ref)	500		Ingen krav
Ovn temp. ¹⁾	°C	700	650	600
EBK ²⁾	°C	800	750	700
CO-AMS	Ja/Nej	Ja		Ja
O ₂ -AMS	Ja/Nej	Ja		Ja
Krav til dosering af aktivt kul:				
Mængde	g/kremering	200		200
Overflade	m²/g	> 700		> 900

1) Gælder for 97% af driftstiden.

2) Gælder fra 6. minut efter ovndør er lukket, og skal overholdes for mindst 95% af de årlige kremeringer.

Ifølge note 1 i tabellen gælder 1-min. grænseværdien for CO, samt ovn- og EBK temperaturkravene for 97% af driftstiden, og det er uklart hvordan det skal tolkes. Den umiddelbare tolkning er, at CO som 1-min. middelværdier må være højere end 500 mg/m³(ref) i 3% af driftstiden for hver kremering. Da en kremering ty-

pisk varer omkring 1½ timer (80 - 100 minutter), så må grænseværdien overskrides i 2 - 3 1-min. middelværdier i hver kremering. Efter FORCES erfaringer med målinger på krematorier, vil det sandsynligvis kunne overholdes for hovedparten af alle kremeringer.

3.4 Tyskland

Miljøstyrelsen har fra Tyskland modtaget to mails med svar på deres henvendelse om regulering af krematorier i Tyskland.

Regulering af krematorier i Tyskland sker i henhold til 27. BImSchV, med krav og emissionsgrænseværdier som angivet i Tabel 3.

Tabel 3 Grænseværdier og krav til krematorier i den tyske 27. BImSchV

	Enhed	Værdi
Reference O ₂ :	% tør	11
Partikler	mg/m ³ (ref)	10
CO	mg/m ³ (ref)	50
Hg	mg/m ³ (ref)	Ingen
Dioxins: PCDD/F	ng TEQ/m ³ (ref)	0,1
TVOC	mg/m ³ (ref)	20
EBK (10-minutters middelværdier)	°C	850
EBK-opholdstid	sekund	Ingen
Kontinuert måling (AMS)		
EBK-Temperatur AMS	Ja/Nej	Ja
CO-AMS	Ja/Nej	Ja
O ₂ -AMS	Ja/Nej	Ja
Partikler-AMS	Ja/Nej	Ja

Grænseværdien for CO skal ifølge 27. BImSchV overholdes for alle timemiddelværdier, men der er godkendelser hvor kravet er at 97% af alle kremeringer per år skal overholde grænseværdien. Da det i begge tilfælde skal dokumenteres med AMS-målingerne af CO og O₂, skal de kalibreres og kvalitetssikres med sporbare referencemetoder, ligesom det der gælder for affaldsforbrændingsanlæg. Det samme gælder for AMS-målingerne af partikler og EBK-temperatur.

§12 i 27. BImSchV giver mulighed for at myndighederne kan tillade undtagelser fra bestemmelserne, hvis individuelle krav ikke kan opfyldes eller kun kan opfyldes med uforholdsmæssig stor indsats, samt at det ikke medfører en forøget risiko for skadelige miljøpåvirkninger. En række krematorier har ansøgt om tilladelse til at etablere elektriske krematorieovn, og da de ikke kan opnå en EBK-temperatur på 850°C, har de søgt om dispensation til at reducere EBK-temperaturkravet til 750°C eller 700°C. Begrundelser for ikke at kunne opnå 850°C er, at det vil kræve flere varmeelementer end der er plads til i murværket, og at de skal op på en temperatur på over 1.000°C. Dette ville også medføre et uøkonomisk strømforbrug og uforholdsmæssigt højt slid, hvorfor dette bør undgås. På den baggrund, er der dispenseret fra kravet til EBK. Der er etableret flere el-opvarmede krematorier i Tyskland.

Begrundelse for at give dispensationen for krematoriet i Hameln⁹ i forhold til, at dispensationen ikke må medføre nogen forøget risiko for skadelige miljøpåvirkninger, er gengivet her i dansk oversættelse:

"Endvidere må indrømmelsen af undtagelsen ikke forventes at medføre skadelige miljøpåvirkninger (§12, stk. 1, nr. 2, 27. BImSchV). Ifølge §4 27. BImSchV kræves overholdelse af grænseværdier for støv, organiske forbindelser, kulilte og forskellige PCDD/F. PCDD/F viser ingen afhængighed mellem de her betragtede temperaturområder og deres egen koncentration, så grænseværdierne overholdes fortsat, hvis minimumstemperaturen sænkes. Støvemissioner er også forurenende stoffer, der er fuldstændig uafhængige af forbrænding og derfor ikke påvirkes af en temperaturreduktion. På den anden side kan en reduktion i temperaturen påvirke udledningen af kulilte (CO). CO-emissioner er dog ikke udelukkende afhængige af temperatur, så afhængigt af systemkonfigurationen og driftsformen kan CO-emissionsgrænsen sikkert overholdes selv ved temperaturer under 850 °C. Organiske forbindelser har lignende emissionsadfærd som kulilte, hvilket betyder, at overholdelse af CO-emissionsgrænsen på 50 mg/m³ i henhold til § 4 nr. 1 27 i BImSchV normalt er ledsaget af overholdelse af emissionsgrænsen for organiske forbindelser iht. § 4 Nummer 2b af 27 i BImSchV. Hvis minimumstemperaturen sænkes og undtagelsen gives, antages det generelt, at der ikke vil være nogen skadelige miljøeffekter i form af overskridelse af emissionsgrænser."

Følgende er oplyst i de to mails:

- Kravet om en temperatur på mindst 850°C i EBK under normal drift i 27. BImSchV, blev oprindeligt indført baseret på kravet i 17. BImSchV (affaldsforbrændingsanlæg), hvor formålet var at minimere dannelsen af det meget giftige PCDD/F. I mellemtiden har omfattende langtidsstudier i krematorier vist, at selv med en reduceret minimumstemperatur i efterbrændingskammeret, er forholdene alligevel til effektivt at minimere dannelsen af PCDD/F.
- På baggrund af gasmanglen efter starten af krigen i Ukraine, udstedte Federal/State Working Group on Immission Control (LAI) en håndhævelsesinstruks, der tillader, at minimumstemperaturen kan sænkes i en begrænset periode under visse betingelser.¹⁰
- Det er planlagt en revision af kravene i 27. BImSchV, og derfor er VDI 3891 om reduktion af emissioner fra krematorier under revision, så en revision af kravene kan ske på baggrund af den nyeste tekniske viden om krematorieanlæg.
- Der er i september 2024 udgivet et høringsudkast til revideret VDI 3891, hvor der står en del relevante oplysninger i forhold til el-opvarmede krematorier og specielt omtale af de seneste resultater inden for reduktion af EBK-temperaturen.

VDI 3891 er i september 2024 udkommet i en Draft udgave, som er i høring frem til årsskiftet. Derefter vil den udkomme i en endelig version, efter eventuelle rettelser er gennemført, hvorefter der må forventes en revision af 27. BImSchV, som vil omfatte regler for el-opvarmede krematorier.

⁹ Brev fra Landesamt für Umwelt til Krematorium Elbe-Elster GmbH dateret den 21. April 2021, med tilladelse til at installere en DFW elektrisk ovn, hvor kravet til EBK-temperaturen er 700°C.

Pdf fil fra DKL: 05 DFW Entscheidung zum Antrag auf Ausnahme Krematorium EE.pdf

¹⁰ Kommentar: Dette antages at være gældende for alle eksisterende gasopvarmede krematorier, og perioden antages også at være udløbet, efter at gasforsyningen blev mere stabil.

VDI 3891 beskriver det teknologiske niveau for krematorier og de muligheder der er for udvikling og ændringer, som reguleringen bør give plads til. Der er dog også begrundede anbefalinger til ændring af regler og regulering, som kort refereres her:

- Forsøg og målinger har vist, at EBK-temperaturkravet kan reduceres på (eksisterende) olie- og gasfyrede krematorier, uden at det medfører væsentligt forhøjede emissioner. Det anbefales derfor at tillade at EBK-temperaturen reduceret til ikke under 750°C for olie- og gasfyrede krematorier. Den bør dog sænkes gradvist over en tilstrækkelig tidsperiode, fx 2 uger, og i samarbejde med ovnleverandøren, så anlægget løbende kan justeres til de nye driftsbetingelser. Forudsætningen herfor er dog også, at kravene i 27. BImSchV opfyldes, under hensyntagen til "3%-reglen", som er beskrevet i afsnit 10 i VDI3891, og anbefaler at grænseværdien for CO må overskrides for 3% af årets kremeringer.
- Da el-opvarmede krematorieovne opvarmes via varmetråde i den ildfaste udmuring, sker opvarmningen fra overfladen af murværket, som derved er varmere end røggassen. Derved undgås kolde hjørner og områder, og der opnås en bedre og mere homogen forbrænding. Derfor anbefales at kravet til EBK-temperaturen for elopvarmede ovne kan fastsættes til 700°C.

3.5 Schweiz

Mail fra Scientific collaborator, Daiana Leuenberger¹¹

I Schweiz er der ingen krav om efterforbrændingstemperaturer hverken i affaldsenergianlæg eller til krematorier. Der er også en langvarig tradition for at anvende el-opvarmede krematorier i Schweiz, som vist nok går mere end 100 år tilbage i tiden. Forholdet mellem antallet af el-opvarmede og gasopvarmede krematorieovne af de cirka 100 krematorieovne der findes i Schweiz, oplyses at være cirka 2:1. Der er ingen krematorier med olieopvarmning.

I Schweiz reguleres krematorier i henhold til: Ordinance on Air Pollution Control¹² (OAPC), med følgende generelle emissionsgrænseværdier fra bilag 1:

Partikler:	20 mg/m ³ , gældende ved overskridelse af massestrøm på 200 g/h
Hg:	0,2 mg/m ³
NO _x :	250 mg/m ³ , gældende ved overskridelse af massestrøm på 2.500 g/h
CO:	50 mg/m ³
TVOC:	20 mg/m ³
PCDD/F:	0,1 ng/m ³

Alle grænseværdierne gælder for tør gas ved standardiseret tilstand (0°C, 1.013 mbar), og en referenceilt på 11% for gasopvarmede og 15% for el-opvarmede ovne.

Alle krematorier har røggasrensning for partikler, Hg og PCDD/F med partikelfiltre og adsorption med aktivt kul.

¹¹ Department of the Environment, Transport, Energy and Communications, Federal Office for the Environment FOEN, Air Pollution Control and Chemicals Division

¹² https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/en

Som nævnt er der ingen krav til temperaturen i hverken brændkammer eller EBK, og det anføres, at det heller ikke er nødvendigt for at overholde de gældende emissionsgrænseværdier.

Det oplyses, at der er planlagt en revision med opdatering af grænseværdierne i OAPC, hvilket sandsynligvis vil træde i kraft i 2028.

3.6 Holland

Den Hollandske regulering af luftemissioner, findes i Besluit Activiteiten Leefomgeving¹³.

Der er specifikke regler for regulering af krematorier, som findes i §5.4.4¹⁴.

Reguleringen for EBK-temperaturen på krematorier er næsten den samme som i Danmark, idet kravet også er mindst 800°C, men med en opholdstid på mindst 1,5 s.

Der angives ikke nogen krav til emissionen af CO.

Der skal anvendes Low-NOx-brændere i ovnens hovedbrændkammer og i EBK.

Der gælder en emissionsgrænseværdi for Hg på 0,05 mg/m³(ref), hvis den årlige masse emission overstiger 0,075 kg/år, hvilket dokumenteres ved en engangsmåling. Dog anses Hg kravene overholdt, hvis der er installeret rensning for Hg (hvilket også vil rense for PCDD/F).

Det forventes, at der ved drift af et krematorium i henhold til forskrifterne ikke vil være nogen overskridelse af emissionsgrænseværdierne for andre relevante stoffer.

Om nødvendigt kan den kompetente myndighed pålægge yderligere emissionsgrænseværdier.

I mailen oplyses også, at reguleringen er skrevet for gasopvarmede krematorier, og at der ikke er nogen specifik regulering for elektrisk opvarmede krematorier. En virksomhed kan dog bruge andre teknikker, hvis den kan bevise, at påvirkningen af miljøet er den samme eller mindre i forhold til de gældende krav.

3.7 Belgien

Miljøstyrelsen har modtaget svar på henvendelsen til Belgien, om regulering af krematorier i Belgien.

Der er dels kommet svar og materiale fra miljømyndigheden Environmental and Spatial Development Department i Brussels, og dels fra Federal Office for the Environment FOEN i Berne, som refereres her:

Det oplyses, at der er generelt bindende regler for krematorier i Belgien med emissionsgrænseværdier som angivet i kapitel 5.58 Crematoria i afsnit II i VLAREM¹⁵, som dog ser ud til at være fra juni 1995.

¹³ Besluit Activiteiten Leefomgeving. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041330/2025-01-01>

¹⁴ https://wetten.overheid.nl/BWBR0041330/2025-01-01#Hoofdstuk4_Paragraaf4.54

¹⁵ VLAREM er: Dekret fra den flamske regering af 1. juni 1995 indeholdende generelle og sektorbestemte bestemmelser om miljøhygiejne.

Tabel 4 Grænseværdier for krematorier i Belgien

Data fra:		Mail	ECN		
	Enhed	VLAREM	Bruxelles	Flanders	Wallonia
Ref. O ₂ :	% tør	11	11	11	11
Partikler	mg/m ³ (ref)	30	30	30	20
CO	mg/m ³ (ref)	Ingen	100	100	50
Hg	mg/m ³ (ref)	0,2	0,1	0,2	0,05
SO ₂	mg/m ³ (ref)	300	200	300	
NO _x	mg/m ³ (ref)	400	Ingen	400	400
Dioxins: PCDD/F	ng TEQ/m ³ (ref)	0,1	0,1	0,1	0,1
TVOC	mg/m ³ (ref)	Ingen	Ingen	150	150
HCl	mg/m ³ (ref)	Ingen	Ingen	30	20

Der oplyses følgende i mail:

- der ikke er nogen krav til temperaturer i hverken ovn eller EBK.
- der skelnes ikke mellem gasfyrede og el-opvarmede ovne.
- Ved revurdering af godkendelser, kan der ske reguleringer af grænseværdierne.
- Der findes flere el-opvarmede krematorievne, men kontakten havde ikke viden om de konkrete krav til dem.

3.8 Norge

Norge har en regulering af krematorier der gælder for hele Norge, i kapitel 10 i Forurensningsforskriften¹⁶.

Kravene til krematorier er delt for krematorier med mere eller mindre end 200 kremeringer om året. Hvor der er højere grænseværdier for anlæg med mindre end 200 kremeringer per år. De er dog ikke relevante at medtage her, da alle danske anlæg har mere end 200 kremeringer per år.

Tabel 5 Krav til krematorier i Norge med mere end 200 kremeringer per år

Brændsel	Enhed	Krav
Ref. O ₂ :	% tør	11
Partikler	mg/m ³ (ref)	20
CO	mg/m ³ (ref)	100
CO 10-min. middel	mg/m ³ (ref)	150
Hg	mg/m ³ (ref)	0,05
Ovn-temperatur	°C	Ingen krav
EBK- temperatur	°C	850
EBK-opholdstid	sekund	1
EBK-temp AMS måling	Ja/Nej	Ja
CO-AMS måling	Ja/Nej	Ja
O ₂ -AMS måling	Ja/Nej	Ja

¹⁶ Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) fra Miljøverndepartementet fra den 01-07-2004.
<https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2004-06-01-931>

Rapport nr.: 103

EBK temperaturkrav til el-opvarmede krematorieovne

Resultaterne af AMS-målingerne skal rapporteres til myndigheder for hver kalenderår inden den 1. marts det følgende år.

Der er kendskab til en el-opvarmede krematorieovn fra tyske IFZW med EBK på 750°C, som er blevet installeret på Vestfold Krematorium i Sandefjord i Norge og taget i drift medio 2024.

4 Resume af oplysninger om el-ovne og sænkning af EBK

Miljøstyrelsen har udleveret en del materiale, som omfatter

- Undersøgelser om effekten ved at sænke EBK temperaturen på olie/gas fyrede krematorier.
- Eksempler på godkendelser af el-opvarmede krematorieovne, med krav til EBK på 700/750°C.
- Rapporter for emissionsmålinger på el-opvarmede krematorieovne.
- Materiale om regulering af krematorier.

Herudover er der indhentet materiale fra Danske Krematoriers Landsforening, der er søgt på internettet og der er indsamlet tidligere udarbejdet rapporter, som kunne indeholde relevante oplysninger om krematorier. Der er yderligere indkøbt et eksemplar af VDI 3891:2024-09 – Draft. Emissionsminderung - Anlagen zur Humankremation, som er en revideret udgave der er i høring frem til årsskiftet.

Materialet omfatter mange hundrede sider, hvoraf hovedparten er på engelsk, tysk og hollandsk. Det der er på tysk og hollandsk er meget vanskeligere tilgængeligt end det på engelsk, og på grund af omfanget af materialet, har det ikke været muligt at gennemgå det hele i detaljer. Materialet er skimmet så godt som muligt, og oplysninger der så ud til at være relevante er gennemgået grundigere, delvist ved hjælp af Google Translate, specielt af tekster på tysk og hollandsk. Det har dog været specielt vanskeligt at finde de relevante oplysninger i materialet på hollandsk, så der indgår ikke ret meget fra det materiale. Omfanget af tekster på hollandsk er dog også begrænset, så det vurderes at der ikke er meget vigtige oplysninger herfra, som ikke er kommet med.

Mange af målerapporterne indeholder ikke målinger af CO, fordi det kontrolleres med anlæggenes AMS-målere til O₂ og CO, hvor det antages at resultaterne indrapporteres til myndighederne. Det ser også ud til, at mange anlæg har krav til overholdelse af CO som ½timeværdier, og at det på årsbasis skal overholdes for 97% af alle ½ times middelværdier. Til gengæld må anlæggene have krav til kalibrering og kontrol af AMS-målerne, svarende til kravene for affaldsforbrændingsanlæg. Flere af målerapporterne svarer nemlig til udarbejdelse af kalibreringskurve for AMS-CO målere (QAL2), og årlig kontrol af AMS-CO målere (AST).

Der er ikke noget krav til emissionen af Hg for krematorier i Tyskland, men til gengæld er der krav til emissionen af PCDD/F. Derfor indeholder flere af målerapporterne måling af PCDD/F og ikke af Hg.

I Holland er der en emissions grænseværdi for Hg, men der er ikke krav om årlige målinger, men højest krav om en måling efter opstart, til dokumentation for at den overholdes.

Der er ikke nogen krav til CO-emissionen på korttidsbasis, som den danske 2-minutters grænseværdi, ud over en anbefaling i Sverige og en 10-minutters grænseværdi for anlæg i Norge. Derfor findes der ikke nogen målinger fra andre lande, som omfatter tilsvarende korttidsmålinger af CO.

Flere af målerapporter angiver ikke om der er tale om en el-opvarmet krematorieovn, eller hvilket brændsel det anvender, ligesom der også kan mangle oplysninger om, hvilken EBK-temperatur anlægget har kørt med under målingerne.

Her følger et kort resume af de oplysninger i materiale der anses for vigtige og relevante for denne rapport.

4.1 Målinger fra Tyskland

I den ene mail til Miljøstyrelsen oplyser afsenderen, at han i de sidste omkring 15 år har arbejdet på at få reduceret kravet til EBK til 750°C eller lavere i 27. BImSchV, primært for at reducere energiforbruget og dermed CO₂-emissionen fra krematorier. Han henviser til mange undersøgelser der viser, at det ville reducere energiforbruget i størrelsesordenen mindst 30%, uden nævneværdig indflydelse på emissioner af CO og PCDD/F på moderne designede krematorier.

Undersøgelsen, som er udført med målinger af emissioner ved tre EBK-temperaturer på henholdsvis 650°C, 750°C og 850°C viste, at ingen af de emissionsgrænseværdier, der er fastsat i 27. BImSchV, var påvirket af temperatursænkningen på en sådan måde, at det var i nærheden af at forårsage overskridelser.

Rapporten indeholder resultater for målinger på et krematorie i Düsseldorf, som er udstyret med tre gasfyrede etageovne med posefiltre til rensning for partikler. Siden 2002 har alle tre ovne haft katalytisk filtrering¹⁷ for at fjerne PCDD/F fra røggassen. Rapporten indeholder meget detaljerede resultater for driften af krematorierets ovnlinje 3 ved tre forskellige EBK-temperaturer, på henholdsvis 850°C, 750°C og 650°C. Målingerne er udført kontinuert i perioden fra den 4. november 2008 til den 25. februar 2009. Måleresultaterne for CO og TVOC præsenteres på kurveform, og middelværdierne for alle kremeringerne for hver EBK-temperatur angives i teksten. Disse middelværdier er vist i Tabel 6.

Tabel 6 Måleresultater for CO og TVOC på Düsseldorf krematorium¹⁸

Stof	Enhed	850°C	750°C	650°C
CO	mg/m ³ (n,t,11% O ₂)	6,4	11,0	16,9
TVOC	mg/m ³ (n,t,11% O ₂)	3,0	6,5	0,8

Resultaterne viser en stigende CO-koncentration ved reducere af EBK-temperaturen, men selv ved 650°C er middelkoncentrationen lavere end grænseværdien på 50 mg/m³(ref). Rapporten nævner dog, at der er en lille stigning i antallet af kremeringer, der overskrider grænseværdien.

I slutningen af målingerne ved hver EBK-temperatur, blev der udført 3 målinger af PCDD/F koncentrationen i både rågassen og rengassen, dvs. henholdsvis før og efter rensning i det katalytiske filter. Ved EBK på 750°C, blev der dog ikke udført målinger i rågassen. Resultaterne er vist i Tabel 7.

Tabel 7 Måleresultater for PCDD/F på Düsseldorf krematorium¹⁸

Prøve	EBK-temperatur	850°C		750°C		650°	
Nr.	Enhed	Rågas	Rengas	Rågas	Rengas	Rågas	Rengas
1	ng TEQ/m ³ (n,t,11%O ₂)	2,2	0,02	-	0,01	0,5	0,01
2	ng TEQ/m ³ (n,t,11%O ₂)	1,6	0,02	-	0,01	0,9	0,02
3	ng TEQ/m ³ (n,t,11%O ₂)	1,8	0,02	-	0,01	0,9	0,02
Middel	ng TEQ/m ³ (n,t,11%O ₂)	1,9	0,02	-	0,01	0,8	0,01

¹⁷ Katalytisk filtrering er filterposer med integreret katalysator, som nedbryder PCDD/F.

¹⁸ Untersuchung der Möglichkeiten und Auswirkungen der Temperaturabsenkung in der Nachbrennkammer bei der Einäscherung in Krematorien. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU). Sept. 2008 / Nov. 2009.

Målingerne viser det samme lave niveau for PCDD/F-emissionen ved alle tre EBK-temperaturer. Det tilskrives rensningen for PCDD/F, som udligner de forskelle der kunne være i koncentrationen ved de tre EBK-temperaturer. Målinger på røggassen indikerer, at PCDD/F-koncentrationen falder ved reduceret EBK-temperatur, hvor mange ville forvente en stigning, pga. mindre effektiv forbrænding i EBK af de organiske komponenter i røggassen, som PCDD/F dannes ud fra ved afkølingen af røggasserne. Et fald kan forklares med, at røggassen afkøles hurtigere, fordi den har en lavere temperatur efter EBK og dermed får en kortere opholdstid i det kritiske vindue for PCDD/F dannelsen.

DBU-rapporten referer også nogle målinger for 3 andre krematorier, som er medtaget i Tabel 8.

Tabel 8 Måleresultater på andre krematorier i DBU-rapport¹⁹

Emissionsmålinger på krematorier		EBK-temp. °C	CO mg/m ³ (ref)	TVOC mg/m ³ (ref)	PCDD/F ng TEQ/m ³ (ref)
Grænseværdier i 27. BimSchV	Ovnlinje	850	50	20	0,1
Berlin-Ruhleben krematorium Idriftssat: 1987/8 Ovn renovering: 1999 Måling: Nov. 2000	1	850	12,7	2,3	0,006
		800	5,0	2,3	0,007
		650	2,3	3,7	0,012
	2	850	26,1	2,8	0,004
		800	12,1	4,7	0,005
		650	15,4	3,0	0,009
	3	850	5,2	1,4	0,009
		800	6,5	1,3	0,002
		650	7,7	2,5	0,003
	4	850	5,9	3,5	0,006
		800	6,2	3,2	0,009
		650	4,1	2,6	0,009
Reutlingen krematorium Idriftssat: 2002 Måling: Marts 2002	1	850	16,6	< 4	0,012
			16,3	< 4	0,014
			13,7	< 4	0,015
		700	10,9	< 4	0,013
			8,6	< 4	0,013
Saarbrücken krematorium Idriftssat: 1995 Måling: Aug. 2002	1	850	n.d.	< 2	0,003
		750	n.d.	< e2	0,002
	2	850	n.d.	< 2	0,015
		750	n.d.	< 2	0,018

Resultaterne for CO viser variationer for de forskellige EBK-temperaturer, målingerne er udført ved, som er 850°C, 800°C, 750°C, 700°C og 650°C. Der er dog ikke nogen helt klar tendens om, at CO stiger ved reduceret EBK-temperatur, bl.a. fordi variationerne er så små, at det kan tilskrives de variationer, der normalt forekommer på krematorier.

I de tyske forsøg med at reducere EBK temperaturen nævnes det, at for at det fungerer ordentligt, skal der foretages justeringer af styringen af forbrændingen, uden at det dog beskrives hvordan.

¹⁹ Untersuchung der Möglichkeiten und Auswirkungen der Temperaturabsenkung in der Nachbrennkammer bei der Einäscherung in Krematorien. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU). Sept. 2008 / Nov. 2009.

Der er fundet målinger af PCDD/F på et el-opvarmet krematorium fra IFZW, hvor der er udført 3 målinger over hver 6 timer på 3 efterfølgende dage, den 20, 21 og 22 juni 2023. EBK-temperaturen under målingerne fremgår ikke af rapporten. Resultaterne er vist i tabel 9.

Tabel 9 Måling af PCDD/F på krematorie i Hameln fra juni 2023²⁰

	Enhed	1	2	3	Middel
PCDD/F	ng TEQ/m ³ (ref)*	0,001	<1,001	<0,001	<0,001

* Ved 15% O₂.

Middelværdien for de tre PCDD/F målinger på krematoriet i Hameln er mindre end 1% af emissionsgrænselværdier for PCDD/F.

Der er også målinger af PCDD/F på et el-opvarmet krematorium fra DFW, hvor der er udført 3 målinger over hver 6 timer på 3 efterfølgende dage, den 20, 21 og 22 juni 2023. EBK-temperaturen under målingerne fremgår ikke af rapporten, men den formodes at være 750°C, da el-opvarmet ovne fra DFW ikke kan køre med en højere EBK-temperatur. Måleresultaterne er vist i Tabel 10.

Tabel 10 Måling af PCDD/F på krematorie i Elbe-Elster fra februar 2022²¹

	Enhed	1	2	3	Middel
PCDD/F	ng TEQ/m ³ (ref)*	0,01	0,008	0,002	0,007

* Ved 15% O₂.

Middelværdien for de tre PCDD/F målinger på krematoriet i Elbe-Elster udgør 7% af emissionsgrænselværdier for PCDD/F.

Der er også medsendt et manuskript¹⁹ på tysk, som omhandler målte data fra et krematorie i Sydtykland, som blev præsenteret på VDI-konferencen "Emissioner 2024". Her refereres resultaterne for besparelsen i energiforbruget på 4 krematorier ved at sænke EBK-temperaturen til henholdsvis 750°C, 700°C og 650°C

Tabel 11 Total gasforbrug opgjort per kremering på 4 krematorier

Krematorium	Düsseldorf	München	Berlin	Pforzheim
Driftform	1 (2) – Skift ca. 9 Krem./d	1 (2) - Skift ca. 9 Krem./d	2 (3) - Skift ca. 16 Krem./d	2 (3) - Skift 24 til 32 Krem./d
850°C Reference	59,2 m ³ /Krem.	26,0 m ³ /Krem.	40,2 m ³ /Krem.	7,6 m ³ /Krem.
750 °C	43,7 m ³ /Krem. △ - 26%	22,6 m ³ /Krem. △ - 13%	28,8 m ³ /Krem. △ - 28%	1,7 m ³ /Krem. △ - 78%
700 °C	-	13,4 m ³ /Krem. △ - 48%	-	-
650 °C	42,7 m ³ /Krem. △ - 28%	17,4 m ³ /Krem. △ - 33%	24,2 m ³ /Krem. △ - 39%	-

Grå celler er driftstilstand hvor CO-grænseværdien overskrides for mere end 3% af kremeringerne per år.

²⁰ Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen. Målerapport fra Umweltanalytik Saalfeld GmbH. Pdf fil med navnet "3 IFZW Bericht Emi OL2 Hameln 2023 kpl sign.pdf", udleveret af Miljøstyrelsen.

²¹ Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen. Målerapport fra IFU GmbH. Målerapport indeholdt i pdf fil med navnet "Tekniske rapporter DFW.pdf" udleveret af Miljøstyrelsen.

De to første krematorier i tabellen svarer bedst til krematorierne i Danmark, hvor de to sidste er kontinuerte krematorier, som kan køre døgnet rundt, uden at skulle ligge stille for at køle af. Det giver en lidt bedre energidnyttelse, fordi der ikke hver morgen og specielt efter weekender skal bruges gas til opvarmning af ovnen til den nødvendige driftstemperatur.

Energibesparelsen ved at reducere EBK-temperaturen i de to første krematorier er ikke overbevisende store, medmindre den sænkes til 700°C eller 650°C, hvilket dog kan medføre flere kremeringer der overskrider CO-grænseværdien.

Reduktionen af temperatur i EBK angives også i manuskriptet¹⁸ at medføre mindre termisk slid på den ildfaste udmuring, så den holder længere, men effekten af dette kan kun bestemmes ved observationer over længere driftstid.

4.2 Målinger fra Schweiz

I mail fra Schweiz var der medsendt en tysk rapport fra 2008/9, om en Undersøgelse af muligheder og effekter af at sænke temperaturen i efterbrændingskammeret ved kremering i krematorier, og da den vedrører forsøg og målinger på tyske krematorier, så refereres resultaterne i afsnit 4.1 Målinger fra Tyskland.²²

4.3 Målinger fra Holland

I mailen fra Holland til Miljøstyrelsen var der medsendt en målerapport fra juni 2019 for målinger på et nyt elektrisk opvarmet krematorie. Her har myndighederne besluttet, at selvom temperaturen i efterbrænderkammeret ikke kan overholde 800°C, men kun 750°C, så tillades det alligevel, fordi virksomheden fremlagde en rapport, som viste at emissionerne var meget lave.

Tabel 12 Emissionsmålinger på el-opvarmet DFW-krematorieovn i Geleen fra juni 2019²³

Parameter	Enhed	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Middelværdi
O ₂	Vol.-%	14,2	15,7	15,7	15,2
CO	mg/m ³ (ref)	0,3	13,5	18,1	10,6
Partikler	mg/m ³ (ref)	0,6	< 0,5	0,6	0,6
HCl	mg/m ³ (ref)	< 0,3	3,5	1,6	1,8
Hg	mg/m ³ (ref)	< 0,002	0,003	< 0,002	< 0,003
SO ₂	mg/m ³ (ref)	4,1	4,7	4,5	4,4
NO _x	mg/m ³ (ref)	123	106	167	132
PCDD/F	ng TEQ/m ³ (ref)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Ref = Referencen tør røggas ved 0°C, 101,3 kPa og en referenceilt på 11%

Måleresultaterne afspejler meget godt de variationer der kan være mellem kremeringer, som kan tilskrives de variationer der kan være mellem de enkelte kister og deres indehold.

Middelværdien for CO på 10,6 mg/m³(ref) er pænt under den danske emissionsgrænseværdi på 50 mg/m³(ref).

²² Untersuchung der Möglichkeiten und Auswirkungen der Temperaturabsenkung in der Nachbrennkammer bei der Einäscherung in Krematorien. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Sept. 2008 / Nov. 2009.

²³ Emissions measurements at cremation installation Geleen. DFW. October 9, 2019. Målerapport indeholdt i pdf fil med navnet "Tekniske rapporter DFW.pdf" udleveret af Miljøstyrelsen.

4.4 Målinger fra Norge

Der er kendskab til en el-opvarmet krematorieovn fra IFZW, som er blevet installeret på Vestfold Krematorium i Sandefjord i Norge og taget i drift medio 2024.

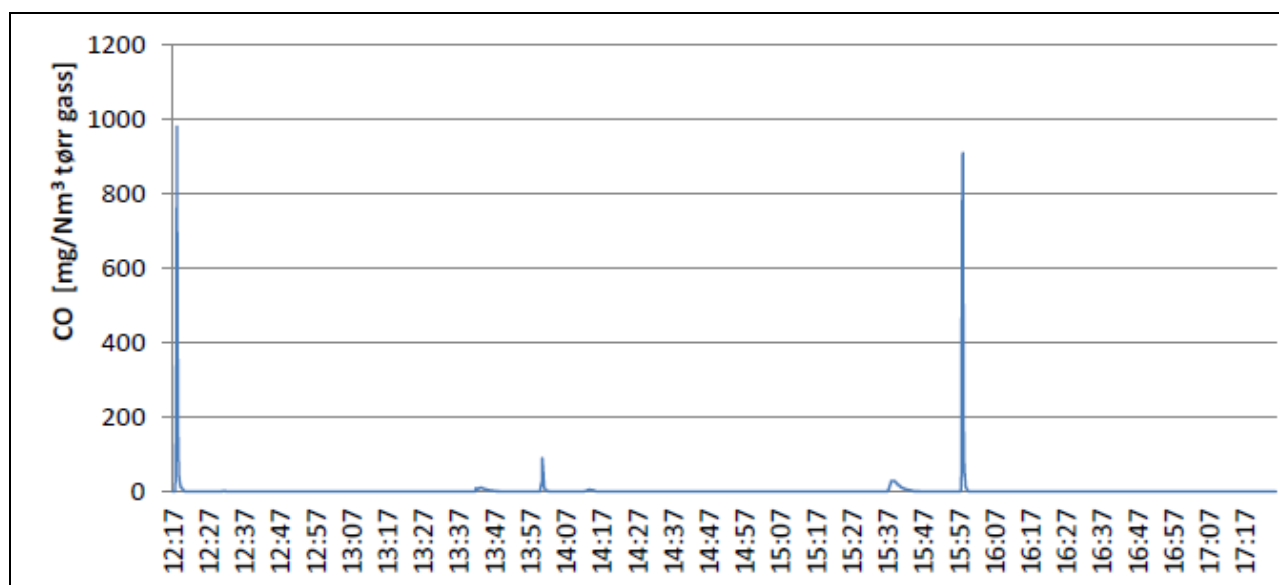
Der er udført emissionsmålinger den 14. november 2024 over 3 hele kremeringer. Set punktet for EBK-temperaturen var 750°C under målingerne. Hovedresultaterne er vist i Tabel 13.

Tabel 13 Emissionsmålinger på Vestfold krematorium den 14-11-2024²⁴

Kremering		Støv	Hg	CO	NOx
Nr.	Varighed	mg/m ³ (ref)	mg/m ³ (ref)	mg/m ³ (ref)	mg/m ³ (ref)
1	12:17 - 13:38	< 0,21	0,0203	4,6	336
2	14:00 - 15:35	< 0,23	0,032		
3	15:58 - 17:26	< 0,24	0,0364		
Middelværdi		< 0,22	0,030	-	-

De målte koncentrationer af støv, Hg og CO er langt mindre end de gældende emissionsgrænselværdier for krematorier i både Norge og Danmark.

CO måles kontinuert, og målingen for hele perioden med de 3 kremeringer er vist i Figur 8.



Figur 8 CO emission over hele måleperioden på Vestfold krematorium²⁴

Den maksimale 10-minutters middelværdi er beregnet til at være 51,2 mg/m³(ref), for tidsperioden kl. 12:17 – 12:27, hvor den højeste CO-peak er.

Diagrammet med CO-målingerne er meget typisk for krematorier, hvor der er en højt spids lige efter kisteindsættelsen. Det ses også, at spidsen lige efter kisteindsættelse nr. 2 kl. 14:00, er meget lille i forhold til de to andre. Det er meget normalt, at der kan være meget stor forskel i størrelsen af CO spidser mellem kremeringerne.

²⁴ Vestfold krematorium IKS. Konsesjonsmåling 2024. Rapport nr.: 31638. Applica Test & Certification.

Det er ikke muligt at vurdere, om de to høje CO-spids vil give en 2-minutters middelværdi der er højere end den danske grænseværdi på 500 mg/m³(ref)

4.5 Målinger fra England

På et el-opvarmet krematorie leveret af DFW i Kent i England er der udført målinger den 25 og 26 september 2023, og en kopi af målerapporten er tilsendt sammen med andre målerapporter fra Miljøstyrelsen.²⁵

Målerapporten oplyser at temperaturen i EBK varierer i området 759°C til 777°C, som gennemsnit over kremeringerne. Målingerne omfatter flere stoffer end de danske krav, og de vises i de næste tabeller:

Tabel 14 Manuelle målinger på el-opvarmet krematorie i England

Måling	Nr.	1	2	3	Middel	Grænse- værdi	% af grænse- værdi
Start	tt:mm	12:19	13:26	14:45			
Varighed	mm	60	60	60			
Partikler	mg/m ³ (ref)	3,0	5,0	6,4	4,8	20	24%
HCl	mg/m ³ (ref)	0,58	0,17	0,72	0,49	30	2%
Hg	mg/m ³ (ref)	0,0045	0,0028	0,0063	0,0045	0,05	9%
TVOC	mg/m ³ (ref)	6,7	18,1	9,5	11,4	20	57%
PCDD/F	ng TEQ/m ³ (ref)	En måling over 2 timer			0,0027	0,1	3%

Målingerne af CO er udført med 6 målinger over 30 minutter.

Tabel 15 Kontinuert måling af CO på el-opvarmet krematorie i England

Måling	Nr.	1	2	3	4	5	6	Middel- værdi	Emissions- Grænse- værdi	% af grænse- værdi
Start	tt:mm	12:19	12:49	13:26	14:10	14:45	15:15			
Varighed	mm	30	30	30	30	30	30			
CO	mg/m ³ (ref)	20,5	20,5	94,9	137	6	10,8	48	100	48%

Målingerne af TVOC og CO ser høje ud, men er pænt under de gældende engelske emissionsgrænseværdier.

En årsag kan være, at der ifølge DFW ikke er nogen krav og regulering af de materialer der anvendes til fremstilling af kister i England, ligesom der er i Danmark. Derfor kan der være meget stor forskel på hvordan kisterne brænder, og det kan medføre dårligere forbrændingsforhold og ekstra meget CO og TVOC, specielt i forbindelse med kisteindsættelsen.

Disse måleresultater menes ikke at være repræsentative for driften af et tilsvarende anlæg i Danmark, så det anbefales ikke at lægge vægt på dem i de vurderinger, som denne rapport vil give anledning til.

²⁵ Stack Emission Monitoring Report fra Atesta. Job Reference: JOB-778. Del af pdf fil med navnet "Tekniske rapport DFW", tilsendt fra Miljøstyrelsen.

5 Besvarelse af Miljøstyrelsen spørgsmål

Miljøstyrelsen har ønsket konkrete svar på de 8 spørgsmål, som er angivet i afsnit 1.2, og de besvares efterfølgende, men de er slået sammen to og to, så der kun er 4 spørgsmål:

1. Hvordan påvirkes emissionen af PCDD/F og CO, og kan de vejledende grænseværdier overholdes, hvis EBK-kravet sænkes til henholdsvis 750°C og 700°C for el-ovne.
2. Hvordan påvirkes emissionen af PCDD/F og CO, og kan de vejledende grænseværdier overholdes, hvis EBK-kravet sænkes til henholdsvis 750°C og 700°C for ovne, der anvender gasolie, naturgas, LPG og bygas som støttebrændsel.
3. Vurdering af om kravet til røggassens opholdstid i EBK skal ændres ved et EBK-krav på mindst 750°C eller 700°C, for at overholde de gældende emissionsgrænseværdier.
4. Vurdering af, om et sænket EBK-krav på mindst 750°C eller 700°C, bør suppleres med en vejledende grænseværdi for emissionen af PCDD/F og evt. målekrav i form af egenkontrol.

1. Hvordan påvirkes emissionen af PCDD/F og CO, og kan grænseværdierne overholdes, hvis EBK-kravet sænkes til henholdsvis 750°C og 700°C for el-ovne.

PCDD/F

Ud fra de teoretiske overvejelser om dannelsen af PCDD/F, så kan det ikke afvises, at der kan dannes lidt mere PCDD/F ved en lavere EBK-temperatur, fordi den kan medføre en lille stigning i røggassen indhold af uforbrændte eller delvist forbrændte kulbrinter, som kan medvirke til dannelsen af PCDD/F ved afkølingen af røggassen i røggaskøleren. Dette gælder både for en temperatur på 700°C og 750°C. Der er dog målinger i røgassen før rensningen med aktivt kul fra et gasfyret krematorie Tyskland, som viser lavere koncentrationer af PCDD/F ved lavere EBK-temperatur. Det kan forklares med, at røggasmængden bliver mindre ved en lavere EBK-temperatur, fordi der anvendes mindre støttebrændsel, og det medfører en lidt længere opholdstid i EBK, og en hurtigere afkøling af røggassen i røggaskøleren, så opholdstiden i temperaturområdet for dannelse af PCDD/F bliver kortere.

På el-opvarmede ovne kan den effekt være endnu mere udtalt, fordi der slet ikke anvendes støttebrændsel, så de har udelukkende røggas fra selve kremeringen.

Det er dog også sikkert, at hvis der er en stigning i PCDD/F koncentrationen i røggassen før rensningen med aktivt kul, så vil den effektivt blive reduceret i rensningen for Hg med aktivt kul, så der ikke kan måles nogen stigning i emissionen. Det forudsætter dog, at doseringen af aktivt kul er tilstrækkelig stor til effektivt at reducere det dannede PCDD/F.

Her kan tilføjes, at hovedkilden til Hg emission er sølv-tandfyldninger, som er en Ag-Hg amalgam, og anvendelse af det blev med få undtagelser forbudt i oktober 2008. Mængden af sølv-tandfyldninger er derfor faldende, og indenfor en årrække vil der stort set ikke forekomme sølv-tandfyldninger. Det kan derfor blive overflødigt at rense røggassen med aktivt kul, for at overholde emissionsgrænseværdien for Hg. Hvis rensning med aktivt kul stoppes, så vil emissionen af PCDD/F stige til et højere niveau, som sandsynligvis vil være noget højere end luftvejledningens emissionsgrænseværdi på 0,1 ng TEQ/Nm³. Det kan derfor på sigt være hensigtsmæssigt med enten et generelt krav om røggasrensning med aktivt kul, eller indførelse af krav til PCDD/F emissionen, som medfører at røggassen fortsat renses med aktivt kul.

De tilgængelige målinger af PCDD/F på både gas/olie og el-opvarmede ovne med EBK-temperaturer på 650°C, 700°C og 750°C er på et niveau, der generelt er mindre eller meget mindre end 10% af Luftvejledningens emissionsgrænseværdi på 0,1 ng TEQ/m³(ref).

CO

Ud fra de teoretiske overvejelser om dannelsen af CO, så er det sandsynligt, at der kan komme en lidt større emission af CO, men på et lavt niveau, fordi effektiviteten af forbrændingen af CO i EBK reduceres lidt når temperaturen reduceres. Til gengæld stiger opholdstiden i EBK lidt, dels fordi røggasmængden bliver mindre, fordi der anvendes mindre støttebrændsel når EBK-temperaturen er lavere, og dels røggassen fylder mindre ved den lavere temperatur.

Målinger på eksisterende el-opvarmede krematorieovne viser tydeligt, at ingen af dem har problemer med at overholde en emissionsgrænseværdi på 50 mg/m³(n,t) ved 15% O₂.

De el-opvarmede krematorier, der er målinger fra, har ikke nogen korttidsgrænseværdi for CO, som den danske 2-min. grænseværdi på 500 mg/m³(ref). Der er derfor ikke tilgængelige målinger der viser, om der vil være problemer med at overholde den danske grænseværdi for elovne. Vurderingen er dog, at elovne repræsenterer den nyeste teknologi inden for krematorieovne, samt drift og styring af dem, så det forventes at de bedre vil overholde 2-min. grænseværdien for CO, end de eksisterende danske krematorier, hvor der jævnligt måles overskridelser.

Det er dokumenteret i et notat til DKL i 2018, der omfattede gennemgang af 3 års emissionsmålingerne på 15 krematorieovne med 135 enkeltmålinger over hver en kremering. Af de 135 målinger er der 15 overskridelser af 2-minutters grænseværdien (11%), som fordeler sig på 7 af de 12 krematorier og 9 af de 15 ovne. Der er altså 6 ovne på 5 krematorier der slet ikke har haft nogen overskridelser, men det blev ikke undersøgt, om der var nogen sammenhæng til en bestemt ovntype eller system til styring og regulering af forbrændingen. Undersøgelsen er fulgt op med forbedringer på nogle af krematorierne, men der foreligger ikke nogen data om effekten af det.

FORCE har erfaring fra udførelse af emissionsmålinger på mange af de danske krematorier, og har derfor kendskab til, at der fortsat forekommer overskridelser af 2-min CO-grænseværdien, men hyppigheden er ikke undersøgt og dokumenteret, ligesom i notatet til DKL.

FORCE's erfaring er samstemmende med DKL-notatet, at overskridelser af 2-min. grænseværdien for CO oftest sker ved kisteindsættelsen, hvor kisten momentant antændes og brænder kraftigt, samtidigt med at der kommer meget luft ind via den åbne luge. Det kan give en meget høj O₂-koncentration, som kan være højere end 19 – 20%, samtidigt med en forhøjet CO-koncentration, og det giver en uforholdsmæssig stor korrektion til referencen på 11% O₂. Det er dokumenteret i RefLab rapport nr. 72²⁶, som har medført, at der ved korrektion af emissionsmålinger på anlæg til direkte tørring, skal anvendes en reference O₂% på 19, for perioder hvor O₂-koncentrationen er større end 19%, hvilket fremgår af Luftvejledningen²⁷. Der ser dog ud til, at anlæggene generelt har fået indført forbedringer i styringen af forbrændingen, for der måles ikke så hyppigt O₂-koncentrationer, der er større end 19%. Overskridelserne ser dog ud til stadig hyppigst at ske i forbindelse med kisteindsættelsen og tilskrives den kraftige ukontrollable forbrænding, der sker ved den momentane antændelse af kisten. I undersøgelsen til DKL var der fx kun 2 af overskridelserne, der kunne henføres til en O₂% der var højere end 19%.

²⁶ RefLab rapport nr. 72. Grænseværdier for anlæg til direkte tørring.

²⁷ Luftvejledningen. Begrænsning af luftforurening fra virksomheder REVIDERET. Vejledning nr. 71. December 2024.

På grund af den batchvise forbrænding, som kremeringer er, samt den store forskel der kan være i kisternes indhold og hvordan de brænder, kan det ikke udgås at der lejlighedsvis vil forekomme overskridelser af emissionsgrænseværdierne for CO, specielt den for 2-minutters middelværdi. Selvom leverandørerne af kremeringsovne er blevet meget bedre til at bygge ovne og lave styring af forbrændingen, så vil der altid kunne forekomme meget atypiske kremeringer, som medfører overskridelser.

Det kan også pointeres, at kremeringer er batch forbrændinger, hvor der i starten af forbrændingen, dvs. de første minutter efter kisteindsættelsen, sker en ukontrollabel antændelse og forbrænding, indtil en mere stabil forbrænding er opnået. For krematorier gælder emissionsgrænseværdierne også for opstartsfaserne, hvor de på andre forbrændingsanlæg ikke gælder for opstart og nedlukningsperioderne.

På den baggrund foreslås det, at 2-minutters grænseværdien for CO ikke gælde for antændelsesfasen, men først skal overholdes fx 5 minutter efter ovenlugen er lukket efter kisteindsættelsen.

CO er en indikator for forbrændingens effektivitet. De høje CO-spidser der ofte ses på krematorier, er normalt meget kortvarige, hvilket viser, at der hurtigt sker en indregulering til en effektiv forbrænding. CO i sig selv, anses heller ikke for at være et meget problematisk stof, fordi det relativt hurtigt oxideres til CO₂ i atmosfæren. CO fungerer primært som en indikator for forbrændingens effektivitet, hvor høje værdier indikerer, at der kan være forhøjet emission af andre, og meget mere miljøproblematiske stoffer, som fx PAH og andre organiske stoffer. Emissioner af disse stoffer vil dog effektivt blive reduceret i rensningen med aktivt kul.

2. Hvordan påvirkes emissionen af PCDD/F og CO, og kan grænseværdierne overholdes, hvis EBK-kravet sænkes til henholdsvis 750°C og 700°C for ovne, der anvender gasolie, naturgas, LPG og bygas som støttebrændsel.

PCDD/F

Påvirkningen af PCDD/F emissioner fra ovne der fyres med gasolie, naturgas, LPG eller bygas ved at sænke temperaturkravet i EBK til henholdsvis 750°C eller 700°C, vurderes at være nogenlunde den samme som beskrevet for elovne under spørgsmål 1 på side 31.

CO

Vurderingen for CO, er også nogenlunde som beskrevet for elovne på forrige side, med den tilføjelse, at der må forventes at komme flere overskridelser af 2-min. grænseværdien, specielt på anlæg der i forvejen har problemer med overskridelser af den.

Der er en del af krematorierne som aldrig eller kun sjældent har overskridelser af 2-min. grænseværdien, må det også forventes, at der kan komme en stigning i størrelse og varigheden af CO-spidser, og dermed en mulig forøgelse i antallet af overskridelser. Det vil dog være vanskeligt at dokumentere en eventuel stigning i antallet, fordi der ikke findes nogen samlet dokumentation for det nuværende antal af overskridelser på de eksisterende anlæg.

3. Vurdering af om kravet til røggassens opholdstids i EBK skal ændres ved et EBK-krav på mindst 750° C eller 700° C, for at overholde de gældende emissionsgrænseværdier.

En længere opholdstid vil give en mere effektiv forbrænding i EBK, men effekten af at kræve en længere opholdstid vil nok være ubetydelig.

Både eksisterende og nye krematorieovne har en længere opholdstid i EBK end det danske krav på 1 sekund, så et krav om en længere opholdstid, vil reelt ikke medføre en længere opholdstid. Hvis der stille krav om en opholdstid, der er længere end den der er i leverandørernes standard ovndesign, så vil det formentlig medføre en væsentlig prisforøgelse, fordi der skal laves et nyt design for en specialovn.

Firmaet IFZW oplyser i deres materiale om den el-opvarmede krematorieovn de producerer, har en opholdstid i EBK, der er betydeligt længere end 2 sekunder.

Vurderingen er, at der hverken er basis for at dokumentere effekten af en længere opholdstid i EBK, og heller ikke for at beregne hvad den i givet fald skulle være. Det kan derfor ikke anbefales at stille krav om en længere opholdstid i EBK.

4. Vurdering af, om et sænket EBK-krav på mindst 750°C eller 700°C, bør suppleres med en grænseværdi for emissionen af PCDD/F og evt. krav om emissionsmålinger.

Både de teoretiske overvejelser om dannelsen af PCDD/F og de tilgængelige målinger på både gas/olie fyrede og el-opvarmede krematorier viser, at der ikke vil være nogen målelig stigning i emissionen af PCDD/F, ved en lavere EBK på 750°C eller 700°C.

De eksisterende krav til måling af Hg-emissionen vil indirekte dokumentere at PCDD/F er på et niveau, der er langt under grænseværdien på 0,1 ng TEQ/m³(ref), ved at dokumentere at der er aktivt kul nok til at rense for Hg til under grænseværdien.

Krematorierne i Tyskland har rensning med aktivt kul, men det er fordi de skal overholde en emissionsgrænseværdi for emissionen af PCDD/F og ikke for emissionen af Hg. Det formodes, at der findes data og erfaringer med den nødvendige dosering af aktivt kul, for at kunne overholde emissionsgrænseværdien, for både olie- og gasfyrede krematorier, og for elektriske krematorier, der kører med EBK-temperatur på 750°C og/eller 700°C. Det er meget muligt, at leverandørerne af el-opvarmede krematorie ovne kan oplyse det anbefalede forbrug af aktivt kul, for at emissionsgrænseværdien for PCDD/F altid kan overholdes.

Hg i kremeringen kommer hovedsageligt fra sølv tandfyldninger, som består af lige dele sølv og sølv, da det er erstattet med plastfyldninger, så vil den kilde til Hg-emission ophøre i løbet af en årrække. Derved vil Hg-rensningen med aktivt kul blive overflødig, og hvis det stoppes, så vil emissionen af PCDD/F sandsynligvis stige til et niveau der er større end grænseværdien på 0,1 ng TEQ/m³(ref).

Derfor anbefales det, at fastsætte en emissionsgrænseværdi for PCDD/F på fx 0,1 ng TEQ/m³(n,t) ved enten 11% O₂ eller 15% O₂ for henholdsvis olie- og gasfyrede og el-opvarmede krematorier, med krav om årlige kontrolmålinger, som suppleres med følgende:

- Har kremeringsovnen rensning med aktivt kul i et fast filter, så skal måling af PCD/F emissionen så vidt muligt udføres så kort tid før kullene skiftes som muligt, hvor der vil være den dårligste rensning (gælder også for Hg).
- Hvis den målte emission 2 år i træk er mindre end 60% af grænseværdien, kan målefrekvensen nedsættes til hver andet år. Hvis en måling efterfølgende er større end 60% af grænseværdien, vendes tilbage til årlig måling.
- Måling af PCDD/F kan udføres som en måling over tre kremeringer.

5.1 Forslag/anbefaling

Følgende forslag og anbefalinger gives på baggrund af den indsamlede viden til dette projekt, sammen med et stort kendskab til drift, røggasrensning og emissioner fra krematorier, fra mere end 15 års arbejde med projekter om, og emissionsmålinger på, en stor del af de danske krematorier.

Først nogle konstateringer:

- Emissionsgrænseværdien for CO 2-minutters middelværdi på 500 mg/m³(ref), kan generelt ikke overholdes for alle kremeringer, hverken på eksisterende eller nye krematorier, og derfor heller ikke for el-opvarmede krematorier.

Ovenstående forhold anbefales adresseret med ændringer i standardvilkårene, næste gang de bliver revideret.

Da 2-minutters grænseværdien for CO på 500 mg/m³(ref) generelt ikke kan overholdes på krematorier, fordi det ikke kan undgås at der er en ukontrollabel forbrænding i op til nogle minutter efter kisteindsættelse, og det giver ofte en CO-spids, som overskrider grænseværdien. På den baggrund foreslås det, at 2-minutters grænseværdien for CO ikke gælder for antændelsesfasen, men først skal overholdes fx 5 minutter efter ovnlugen er lukket efter kisteindsættelsen.

De følgende forslag og anbefalinger gives under forudsætning af, at 2-minutters grænseværdien ændres, så der kan ses bort fra at den ikke kan overholdes med den nuværende udformning af kravet, som også omfatter opstartsfasen.

Tillade en EBK-temperatur på ned til 750° for både eksisterende og nye anlæg, uanset om de opvarmes med olie, gas eller elektricitet, forudsat at alle emissionsgrænseværdierne kan overholdes. Det skal dokumenteres med de årlige emissionsmålinger i henhold til gældende regler for nye anlæg, og for anlæg med nye emissionskrav, fx eksisterende anlæg der har fået en godkendelse til at køre med en lavere EBK-temperatur. For eksisterende anlæg, der har fået godkendelse til at køre med en lavere EBK-temperatur, foreslås et krav om, at emissionen af CO skal dokumenteres med AMS-målerne gennem en periode på fx 100 kremeringer før EBK-temperaturen sænkes, og et tilsvarende antal efter, dels for at dokumentere at emissionsgrænseværdien på 50 mg/m³(ref) midlet over hver kremering kan overholdes, og dels for at dokumentere hvor meget sænkningen betyder for CO-emissionen. Disse målinger bør afsluttes med gennemførelse af den årlige akkrediterede emissionsmåling, som samtidigt skal omfatte en parallelmåling med AMS-målerne, for at dokumentere at de måler korrekt.

Hovedkilden til Hg emission er sølv-tandfyldninger, som er en Ag-Hg amalgam, og anvendelsen af det blev forbudt for mange år siden, mængden af sølvtandfyldningen i kremeringerne er dermed faldende. Indenfor en årrække vil der stort set ikke forekomme sølv-tandfyldninger, og behovet for rensning med aktivt kul vil falde og kan måske helt undværes. Hvis det sker, så vil emissionen af PCDD/F stige til et højere niveau, som sandsynligvis vil være noget højere end luftvejledningens emissionsgrænseværdi på 0,1 ng TEQ/Nm³. Det kan derfor på sigt være hensigtsmæssigt med enten et generelt krav om røggasrensning med aktivt kul, eller indførelse af krav til PCDD/F emissionen, som medfører at røggassen fortsat renses med aktivt kul. Derfor anbefales det at supplere emissionsgrænseværdierne med en grænseværdi for PCDD/F, på fx 0,1 ng TEQ/m³(ref).

6 Brændselsforbrug og CO₂-emission fra krematorier

Estimering af CO₂-emissionen af brændslet (kg CO₂/kremering) fra forbrænding af de forskellige typer brændsel (el, gasolie, naturgas, LPG og bygas) ved en gennemsnitlig kremering.

DKL har oplyst hvilke brændsler der anvendes på de danske krematorier, som er vist i Tabel 166.

Tabel 16 Anvendte brændsler på de danske krematorier

Krematorium	Ovnlinjer	Brændsel
Ballerup	1	Naturgas
Frederiksberg	1	
Fælleskrem. Kolding	3	
Fælleskrem. Ringsted	5	
Glostrup	1	
Hillerød	1	
Hjørring	1	
Horsens	2	
Odense	2	
Silkeborg	1	
Svendborg	1	
København Bispebjerg	4	Bygas
København Sundby	2	
Aalborg	2	
Esbjerg	1	LPG
Aabenraa	2	Bioolie/LPG
Aarhus	2	
Randers	1	
Holstebro	1	Gasolie
Rønne	1	
Sum:	35	35

78% af ovnlinjerne på de danske krematorier anvender gas, i form af naturgas, bygas og LPG. 14% anvender bioolie eller LPG, og kun 6% (2 ovnlinjer) anvender gasolie. Det ene er krematoriet i Rønne på Bornholm, som kun udfører omkring 500 kremeringer om året.

For at sandsynliggøre, at der ikke er nogen væsentlig forskel i de forbrændingstekniske forhold for anvendelse af de forskellige brændsler i krematorier i forhold til overholdelse af gældende emissions grænseværdier, uanset EBK-temperaturkravet, gennemgås de forskellige brændsler i det følgende.

Naturgas

Hovedparten af de danske krematorier anvender gas fra naturgasnettet, som er en blanding i varierende forhold mellem naturgas og bionaturgas, som er opgraderet biogas. Forbrændingsmæssigt er der ingen forskel på naturgas og bionaturgas, ud over en muligt lille forskel i brændværdien, men det tages der højde for ved afregning af forbruget.

Bygas

Bygas blev tidligere produceret ved forgasning af stenkul, og den gas var giftig pga. et højt indhold af CO.

Efter indførelse af naturgassystemet, produceres bygas ved at blande naturgas med luft, i forholdet 1:1. Derved kan gassen bruges direkte i alle eksisterende installationer, dvs. komfurer, gasblus mv.

Den nedre brændværdi for naturgas er ca. 38,6 MJ/Nm³, og ved blandingen med luft, som har en brændværdi på nul, bliver den nede brændværdi for bygas ca. 19,3 MJ/Nm³. En lavere brændværdi i forhold til naturgas, kan give anledning til dannelse af lidt mindre termisk NO_x, pga. af lidt lavere flammentemperatur, men niveauet vil også afhænge af brændertypen.

For krematorier har dette ingen betydning for hverken driften af ovnene eller emissionerne fra forbrændingen, i forhold til fyring med naturgas, fordi den mængde luft der er blandet i bygassen, bare giver anledning til et tilsvarende mindre forbrug af forbrændingsluft til selve kremeringen.

Det vurderes, at anvendelse af bygas i forhold til naturgas, ikke vil have nogen indvirkning på forbrændingen, og dermed heller ikke på dannelsen og emissionen af hverken CO og PCDD/F, og heller ikke for TVOC. Anvendelse af bygas sidestilles derfor med anvendelse af naturgas.

Bygas anvendes på de tre krematorier i København, Bispebjerg, Sundby og Frederiksberg, samt på krematoriet i Aalborg. De fire krematorier har tilsammen 9 kremeringsovne.

LPG

LPG eller flaskegas består af mindst 92,5% propan og højst 7,5% butan. Da det er længere kulstofkæder end methan, så er brændværdien også lidt højere end den er for naturgas. En højere brændværdi i forhold til naturgas, kan give anledning til dannelse af lidt mere termisk NO_x, pga. af lidt højere flammentemperatur, men niveauet vil også afhænge af brændertypen.

Det vurderes, at anvendelse af LPG i forhold til naturgas ikke vil have nogen indvirkning på forbrændingen, og dermed heller ikke på dannelsen og emissionen af hverken CO og PCDD/F, og heller ikke for TVOC. Anvendelse af LPG sidestilles derfor med anvendelse af naturgas.

Fyringsolie og bioolie

Ved fyring med olie anvendes forstøvningsbrændere, hvor olien sprayes ud i fine dråber i en luftstrøm, hvor olien fordampes, og gasserne brænder med flammer. Det giver normalt en meget effektiv forbrænding, men med en NO_x-emission der er lidt større end en gasbrænder. Bioolie kan desuden indeholde lidt kvælstof, som delvist vil brænde til NO_x, og medføre en forøget NO_x-emission.

Veljusterede oliebrændere giver også en meget lav CO-emission, som vil være forsvindende lille i forhold til den CO der kommer fra selve kremeringen.

Det vurderes, at der ikke vil være nogen målelig forskel i emissionerne af fra kremeringer ved fyring med fyringsolie eller bioolie, i forhold til fyring med naturgas.

6.1 CO₂-emissionsfaktorer

Energistyrelsens udgiver årligt opdaterede standardfaktorer for brændværdier og CO₂-emissionsfaktorer til brug for rapportering af CO₂-emissioner. Data fra 2023 for de brændsler der anvendes eller kunne anvendes på danske krematorier, er vist i Tabel 17, sammen med Energistyrelsen beregnede CO₂-emissionsfaktor for elektricitet for 2023.

Tabel 17 Energistyrelsens CO₂-emissionsfaktorer og brændværdier²⁸

Brændsel	Nedre brændværdi	Enhed	CO ₂ -Emissionsfaktor	Enhed
Naturgas	0,0396	GJ/m ³ ref	57	Ton CO ₂ /TJ
Bionaturgas	0,0396	GJ/m ³ ref	55	Ton CO ₂ /TJ
Gasolie/diesellole	35,87	GJ/m ³	74	Ton CO ₂ /TJ
LPG	46,00	GJ/m ³	65	Ton CO ₂ /TJ
Rapsolie	34,5	GJ/m ³	71	Ton CO ₂ /TJ
Biodiesel	37,5	GJ/m ³	71	Ton CO ₂ /TJ
Biolie og anden flydende biobrændsel	34,3	GJ/m ³	80	Ton CO ₂ /TJ
Elektricitet (for 2023) ²⁹			138	g/kWh
			38	Ton CO ₂ /TJ

CO₂-emissionsfaktoren for el, kan opgøres på forskellige måder, med forskellige resultater. Hvis der kun regnes med el produceret med vindmøller og solceller, så er CO₂-udledningen og dermed også CO₂-emissionsfaktoren nul. Da der stadig produceres el med fossile brændsler i Danmark, og vi køber også el fra vores nabolande, som i varierende grad produceres med fossile brændsler, så er CO₂-emissionsfaktoren større end nul. Efterhånden som sol- og vindkraft udbygges, og andelen af CO₂-neutral el stiger, så falder den gennemsnitlige CO₂-emissionsfaktoren for el.

Energistyrelsen laver beregninger af CO₂-emissionsfaktoren, hvor der tages hensyn til importeret strøm fra udlandet, og oplyser på deres hjemmeside med nøgletal²⁹, at CO₂-udledningen for elforbruget er 138 g CO₂/kWh for 2023. De har også fremskrivning af beregningerne flere år frem i tiden, som viser en forventet faldende tendens.

6.2 CO₂-emission fra støttebrændsel på de danske krematorier

DKL har indsamlet oplysninger om energiforbruget til kremeringer på de danske krematorier i 2020, for at beregne de danske krematoriers CO₂-aftryk. DKL har fået oplysninger fra ca. 2/3 dele af de danske krematorieovne, som omfatter ca. 33.000 kremeringer af de ca. 44.000 kremeringer der blev udført i 2020. Resultaterne er publiceret i en artikel, som findes på DKLs hjemmeside³⁰.

DKL har udleveret et regneark med de data der ligger bag det, der præsenteres i artiklen, og de er suppleret med beregninger af CO₂-emissionen per kremering ud fra typen af brændsel og Energistyrelsens CO₂-emissionsfaktorer i Tabel 177, fra hver af de krematorieovne der er data for. De samlede data er vist i Tabel 188.

²⁸ Standardfaktorer for brændværdier og CO₂- emissionsfaktorer til brug for rapporteringsåret 2023. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CO2/energistyrelsens_standardfaktorer_for_2023.pdf

²⁹ <https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/noegletal-og-internationale-indberetninger>

³⁰ Artikel om danske krematoriers CO₂-aftryk af krematoriekonsulent Søren R. Jepsen. <http://dkl.dk/info/artikler>

Tabel 18 CO₂-emission fra krematorier per kremering

Krematorium	Ovn linjer	Kreme- ringer	Brændsel	Energiforbrug pr kremering	CO ₂ -emission per kremering
	Antal	Antal		kWh	kg CO ₂ /kremering
Horsens Ovn2		1179	Naturgas	85	17
Horsens Ovn1		730	Naturgas	87	18
Glostrup	1	2318	Naturgas	108	22
Silkeborg	1	1637	Naturgas	110	23
Randers	1	1811	Bio Raps	122	31
Aalborg Ovn2		1353	Bygas	152	31
Aalborg Ovn1		1308	Bygas	161	33
Aabenraa Ovn0		1977	Olie	154	41
Hjørring	1	1355	Naturgas	170	35
Kolding Ovn1		1187	Naturgas	187	38
Holstebro	1	2690	Olie	188	50
Frederiksberg	1	1410	Naturgas	200	41
Odense Ovn1		1330	Naturgas	281	58
Odense Ovn2		1344	Naturgas	283	58
Ringsted	5	8554	Naturgas	309	64
Aarhus Ovn2		1236	Bio LPG	310	72
Aarhus Ovn1		1286	Bio LPG	336	78
Rønne	1	497	Olie	344	92
Kolding Ovn2		1169	Naturgas	369	76
Esbjerg	1	1213	LPG	449	105
Middel:				220	49
Minimum:				85	17
Maksimum:				449	105

Der er store variationer i energiforbruget per kremering på de forskellige krematorier, med forbrug fra 85 kWh til 449 kWh, med en middelværdi på 220 kWh per kremering.

Den beregnede CO₂-emission per kremering varierer både efter energiforbruget, og efter hvilket støttebrændsel der anvendes. Det varierer fra 17 til 105 kg CO₂/kremering, med en middelværdi på 49 kg CO₂/kremering.

Det samlede antal kremeringer på de danske krematorier gennem de sidste 5 år i vist i Tabel 199.

Tabel 19 Samlet antal kremeringer og døde i Danmark i de sidste 5 år³¹

Årstal	2019	2020	2021	2022	2023
Antal kremeringer	41.796	44.010	40.381	42.285	50.493
Døde i alt:	53.958	54.645	57.152	59.246	58.384

³¹ Statistik over død og kremeringer på DKL hjemmesiden: <http://dkl.dk/info/statistik>

Antallet af kremeringer er stigende gennem årene, så det i 2023 var lige over 50.000. Da antallet af døde er mindre end 60.000, kan der med rimelighed antages, at antallet af kremeringer fremover vil være i størrelsen 50.000 om året.

Med den gennemsnitlige CO₂-emission i Tabel 188, og en antagelse af det er repræsentativt for alle kremeringer på alle landets krematorier, kan den årlige CO₂-emission fra anvendelse af støttebrændsel på de danske krematorier beregnes til at være:

$49 \text{ kg CO}_2/\text{kremering} * 50.000 \text{ kremeringer}/\text{år} = 2.450.000 \text{ kg CO}_2/\text{år} = \text{ca. } 2.450 \text{ ton CO}_2/\text{år}$

Hvis der spares 25% af energiforbruget ved at sænke kravet til EBK-temperatur til 750°C, og det gøres på alle landets krematorier, så vil det medføre en reduktion i den årlige CO₂-udledning på ca. 612 t/år.

Hvis alle landets krematorier skifter til el-opvarmning, og under forudsætning af, at energiforbruget per kremering er den samme for elopvarmede ovne, som for fossilt opvarmede ovne, og Energistyrelsens CO₂-emissionsfaktor for elektricitet i Tabel 177, så vil den samlede CO₂-emission fra landets krematorier være:

$50.000 \text{ kremeringer}/\text{år} * 220 \text{ kWh}/\text{kremering} * 138 \text{ g CO}_2/\text{kWh} / 1.000.000 \text{ g/ton} = 1.518 \text{ ton}/\text{år}.$

Det svarer til en reduktion i CO₂-emissionen på 932 ton CO₂/år.

Reduktionen vil dog i praksis være større, dels fordi energiforbruget i el-opvarmede ovne er lavere end i fossilt opvarmede ovne, bl.a. pga. meget mindre varmetab med røggassen, og dels fordi CO₂-emissionsfaktoren for el med tiden bliver mindre, efterhånden som andelen af sol- og vindproduceret elektricitet stiger.

7 Konklusion

Første del af rapporten sandsynliggør, at de gældende emissionsgrænseværdier godt kan overholdes, selvom EBK-temperaturen på el-opvarmede og eksisterende gas- og oliefyrede krematorier sænkes til 750°C, og måske også ned til 700°C. Her ses der bort fra overholdelse af 2-minutters grænseværdien for CO, som i forvejen ikke kan overholdes for de eksisterende gas- og oliefyrede krematorier.

Da en reduktion i EBK-temperaturen kan give en væsentlig besparelse i forbruget af fossilt støttebrændsel på de eksisterende gas- og oliefyrede krematorier, og dermed også i udledningen af CO₂, vil det give god mening at tillade en lavere EBK-temperatur næste gang der laves revision af standardvilkårene for krematorier.

Bilag A Oversigt over regulering af krematorier i Europa fra 2017

Chart comparing the regulatory demands of European countries with regard to the atmospheric emissions of crematoria																			
Air pollutants	O ₂ Ref.	Belgique / Bruxelles		Belgique / Flandres		Belgique / Wallonie		Swiss		Germany		Poland		Czech Republic		Austria		UK	
		11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry
Dust	mg/m ³	30	30	20	20	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mercury: Hg	mg/m ³	0.1	0.2	0.05	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Dioxins: PCDD/F	mg/m ³	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Carbon Monoxide: CO	mg/m ³	100	100	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Hydrocarbons: TVOC	mg/m ³	-	150	150	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Oxides of Nitrogen: NOx	mg/m ³	-	400	400	250	250	250	350	350	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Hydrogen Chloride: HCl	mg/m ³	-	30	20	30	30	30	40	40	200	200	30	30	30	30	30	30	30	30
Oxides of Sulphur: SOx	mg/m ³	200	300	-	-	-	-	-	-	-	-	200	200	-	-	-	-	200	200
" - " = ingen krav eller ikke oplyst																			
* 500 gælder for 2-min. middelværdier																			
** 150 gælder for 10-min. middelværdier																			
Other significant information, Chart showing the legislation of countries with regard to the obligations of means to be respected during the operation of crematoria																			
O ₂ Ref.	11% Dry	Belgique / Bruxelles		Belgique / Flandres		Belgique / Wallonie		Swiss		Germany		Poland		Czech Republic		Austria		UK	
		11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry	11% Dry
Minimum O ₂ i EBK	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBK opholdstid	seconds	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimum temp. i EBK	°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimum temp. i ovnrum	°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Max temp. i ovnrum	°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exhaust gas (m/s)	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Krav til skorstensholde	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Regulering af kiste typer/materiale	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Regulering af kiste-indhold	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Regulering af ekstern støj	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Brændtid, mindre end:	Minutter	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMS maling af:																			
Temperature	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
O ₂	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CO	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Andet:																			
Other special features																			
Emissionskontrol -hyppighed	Hver:	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
Regulation on Fuel	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Antal kremationer i emissions test	Antal	6 hours	6 hours	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mulighed for en filterlinje til 2 eller 3 ovne?	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Er Bypass tilsluttet ved kontrol af filter?	Yes or No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Disponering af metalimplanter:		Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug	Genbrug

Kilde:
Data fra landenes krematorieföreningar til ECN (European Cremation Network) fra rundspørge i 2017.
Udleveret af Danske Krematoriers Landsforening.

Bilag B Dannelse af PCDD/F i kremeringer

I Miljøprojekt Nr. 649 fra 2001 om Måling af dioxinemission fra udvalgte sekundære kilder³², er der refereret målinger af PCDD/F-emissionen fra 3 krematorieovne. Målingerne er udført før der kom krav til emissionen af partikler og Hg, så anlæggene havde ikke partikelfilter og rensning med aktivt kul.

Den almindelige teknologi på den tids krematorier var, at den varme røggas fra krematorieovnen på omkring 800°C, blev blandet med ekstra luft, hvorved temperaturen blev reduceret til 2 - 400°C, for at skåne sugetræksblæser, røggaskanaler og skorsten.

Målingerne er omtalt i afsnit 4.5 i Miljøprojektet, og er medtaget her.

Målingerne viser PCDD/F emissionen uden rensning med aktivt kul, og det niveau antages at være uændret frem til i dag, så det svarer til niveauet før rensning med partikelfilter og aktivt kul på nuværende krematorier.

Afsnittet beskriver også dannelsen af PCDD/F, og hvilke faktorer og kemiske stoffer i kroppen der kan medvirke til emission og dannelse af PCDD/F.

4.5 Krematorier

De samlede målinger på 3 krematorieovne på 2 krematorier giver et interval for emissionen af dioxiner i intervallet:

Emissionsfaktor 180 - 930 ng I-TEQ/kremering
Koncentration 0,2 - 0,7 ng I-TEQ/m³(n,t,10%O₂)

Et gennemsnit af alle målingerne vægtet efter antal kremeringer i hver måling giver en emissionsfaktor på 350 ng I-TEQ/kremering, og en koncentration på 0,3 ng I-TEQ/ m³(n,t,10%O₂).

Målingerne vurderes at være repræsentative for de 50 danske krematorieovne.

Selvom der er relativt stor forskel på målingerne på de to krematorier, så er de alle væsentligt mindre end resultaterne fra en række udenlandske målinger. Disse udenlandske undersøgelser viser en stor variation i emissionen af dioxiner fra krematorier, fra 250 ng I-TEQ til 28.000 ng I-TEQ pr. kremering³³. De høje værdier kunne være målt på anlæg, der ikke har tilstrækkelig opholdstid eller tilstrækkelig høj forbrændingstemperatur under hele kremeringen. Hvis forbrændingstemperaturen ikke er høj nok, vil stort set alt det dioxin, der er ophobet i fedtet, formentlig fordampe og blive emitteret med røggassen.

Mønstrene fra krematorierne ligner ikke særlig meget de andre varmeproducerende anlæg, der er målt på, men ligner derimod mønstrene fra affaldsforbrændingsanlæg væsentlig mere.

³² Miljøprojekt Nr. 649 fra 2001 om Måling af dioxinemission fra udvalgte sekundære kilder. <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-868-2/html/>

³³ R. Groschwitz, E. Sommer. Dioxine und furane im Kremationsprozess und ihr katalytischer Abbau. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft. Nr. 4, April 2000.

Dioxinemissionen fra krematorier kan stamme fra direkte fordampning af dioxiner akkumuleret i fedtvævet. De kan også dannes under forbrændingen, bl.a. ud fra PCB og andre akkumulerede stoffer, som kan medføre dannelse af væsentlige mængder dioxiner ved forbrænding.

Den samlede mængde akkumuleret dioxin i mennesker er i gennemsnit større end de målte emissioner. I en tysk undersøgelse³³ er der målt fra 29 til 105 ng I-TEQ/kg fedt i mennesker. Med en fedtprocent på 20 til 40 og en gennemsnitsvægt på 70 kg indeholder et menneske fra 400 til 2.900 ng I-TEQ. Fuldstændig destruktion af dioxiner kræver normalt en meget høj temperatur (over 1.000 °C)³⁴.

Dannelsen af dioxiner i og efter forbrændingszonen afhænger af forbrændingseffektiviteten og tilstedeværelsen af chlor og visse katalysatorer, specielt kobber. Menneskekroppen har et meget konstant indhold af kobber på omkring 1 mg pr. kg legemsvægt³⁵. En voksen person på 70 kg indeholder således ca. 70 mg kobber. Indholdet af chlor i form af chlorid er noget større. Chlorid er en vigtig bestanddel af kroppens saltbalance og findes i en koncentration på ca. 0,2 %³⁶. En voksen person på 70 kg indeholder således ca. 140 g chlorid.

PCB akkumuleres i fedtvævet hos mennesker ligesom dioxinerne og findes i betydeligt større koncentrationer. PCB medfører dannelse af en betydelig mængde dioxiner ved forbrændingen. En fuldstændig destruktion, så dannelse af dioxiner undgås, kræver forbrænding ved temperaturer på over 1.000 °C. Koncentrationen af PCB i fedtvævet i danskere varierer meget, afhængigt af kostvaner og anden udsættelse for PCB. A.A. Jensen³⁴ opgiver indholdet af PCB i human fedtvæv til mellem 0,5 og 10 mg/kg, med enkelte højere værdier. Med 1 mg/kg PCB i fedtvævet indeholder en voksen person på 70 kg og et fedtindhold på 20 til 40 % derfor mellem 14 og 28 mg PCB. Det er 400 – 800 gange mere end den totale mængde dioxiner (alle 210 congenere), der emitteres per kremering, så selv om kun en meget lille del af PCB-mængden omdannes til dioxiner under kremeringen, så er det formodentlig den største kilde til dioxindannelse ved kremeringer.

Der kan også være chlorid i kisten, f.eks. fra hærder i spånplade, men mængden vil være forsvindende i forhold til kroppens indhold. Kister må i Danmark ikke fremstilles af materialer, der indeholder bl.a. PVC og tungmetaller, ligesom der ikke må anvendes messingskruer og -beslag (legering af kobber og zink). Det vides ikke, om ligklæderne eller foringen i kisten kan indeholde stoffer, der kan medføre forøget dannelse af dioxiner, men sandsynligheden for det anses for at være lav. Kister anses samlet for ikke at indeholde stoffer, der kan medføre en væsentlig forøget dannelse af dioxiner i kremeringsprocessen.

³⁴ Allan Astrup Jensen, Peter Blinksbjerg. Baggrundsdokument for fastsættelse af grænseværdi for Dioxin. Miljøprojekt. Oktober 1999. RefLab. (Side 8). [Findes på Web adressen: www.dk-teknik.dk.htm]

³⁵ U. Bergqvist, M. Sundbom. Copper – Health and Hazard. University of Stockholm, Institute of Physics. (Side 6.11).

³⁶ ScienceNet. [www.sciencenet.com]