

Notat om PFAS fra affaldsforbrænding

Opsummering af målinger

Brancheforeningen Cirkulær

Dato: 16. maj 2024

Indhold

1	Baggrund	1
1.1	Læsevejledning	2
2	Metoden bag resultaterne	2
3	Hvor lave koncentrationer kan måles?	3
3.1	Prøvetagningstid og laboratorieudstyr påvirker detektionsgrænsen	3
4	Måleresultater	5
5	Grænseværdier	5
5.1	Grænseværdier for luft i arbejdsmiljø	5
5.2	Grænseværdier for udeluft	5
6	Sammenligning af målinger med grænseværdier for udeluft	6
7	Er affaldsforbrænding en egnet metode til at fjerne PFAS fra samfundet?	6
8	Konklusion	7
9	Referencer	8

1 Baggrund

PFAS står for Per- og polyfluoralkylstoffer og -salte og er en gruppe af stoffer, hvoraf nogle er problematiske for sundhed og miljø. PFAS er svært nedbrydelige og kan ophobes i miljø og i fødekæder.

Der har været omtale af PFAS i brandslukningsskum, men PFAS findes ikke alene i brandslukningsskum; det findes også i mange af vores dagligdags produkter, såsom friluftstøj, makeup, møbler og maling. Mens produkterne bruges, kan de afgive noget af deres PFAS til vores miljø indendørs og udendørs. Når produkterne smides ud, bliver de en del af affaldsstrømmen, og hvad sker der så med PFAS'en?

Det er der flere parter, der forsøger at finde ud af. Miljøstyrelsen har sat forskellige undersøgelser i gang, og også i udlandet arbejder forskere og andre med at kortlægge det.

Hvis affaldet bliver genbrugt eller materiale-genanvendt, vil PFAS'en kunne komme med over i det nye produkt eller det nye materiale. Hvis affaldet lægges på deponi, tyder undersøgelser på, at regnvand kan udvaske PFAS, så perkolat-væske, der opsamles under deponiet, indeholder PFAS. Ingen af disse metoder fjerner PFAS fra samfundet. Derfor kaldes PFAS i pressen ofte for evighedskemikalier.

Brancheforeningen Cirkulær og medlemsgruppen bestående af danske affaldsenergianlæg er blandt dem, der gerne vil vide, hvad der sker, hvis PFAS-holdigt affald brændes i affaldsenergianlæg.

Et af de vigtige spørgsmål er, om PFAS kommer ud med røggassen, og hvis det gør, hvor meget, der kommer, og om det er i problematiske mængder for sundhed og miljø. Hvis der kommer PFAS ud med røggassen, vil stoffet blive spredt i omgivelserne på en forholdsvis ukontrolleret måde.

En række af anlæggene har derfor for egen regning fået målt røggassens PFAS-indhold.

Den uafhængige rådgiver, NIRAS, har hjulpet brancheforeningen Cirkulær og dens medlemmer med at samle og analysere resultaterne, og præsentere dem i samlet form.

1.1 Læsevejledning

Notatet fortæller først lidt om metoden bag resultaterne, hvor lave koncentrationer, der kan måles, og hvad det påvirkes af. Dernæst præsenteres de målte resultater og de sammenlignes med grænseværdier. Derefter følger et afsnit om hvorvidt affaldsforbrænding er en egnet metode til at fjerne PFAS fra samfundet og endelig følger en konklusion.

2 Metoden bag resultaterne

Uafhængige laboratorier har udtaget 20 røggasprøver fra 11 affaldsenergianlægs 20 ovnlinjer i overensstemmelse med metoder, Miljøstyrelsen har fastlagt. De udtagne prøver er derefter analyseret for PFAS-forbindelser.

Røggassens temperatur samt indhold af vand og oxygen (ilt) er bestemt samtidig med at prøven er udtaget, og bruges til at omregne røggaskoncentrationen til en referencetilstand, så resultaterne kan sammenlignes. Referencetilstanden er $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t) ved 11% O_2 (mikrogram per normal kubikmeter tør røggas ved en reference-iltprocent på 11 procent ilt).

Nogle anlæg har flere ovnlinjer. Røggaskoncentrationen af PFAS-forbindelser er beregnet for hver måling på hver ovnlinje.

Brancheforeningen Cirkulær har indsamlet resultaterne og videresendt de originale rapporter til den uafhængige rådgiver, NIRAS.

NIRAS har desuden modtaget spredningsberegninger for et antal af anlæggene. Spredningsberegningerne viser, hvor meget koncentrationen af et givet stof i røggassen fra et anlæg bidrager med til omgivelserluftens koncentration af det givne stof. Spredningsberegningerne er udført af forskellige rådgivere for de enkelte anlæg i forbindelse med undersøgelse af, om anlæggenes skorstenshøjder var tilstrækkelige dengang de blev bygget. Spredningsberegningerne er foretaget med den metode, Miljøstyrelsen foreskriver, den Operationelle Meteorologiske Luftkvalitetsmodel, OML.

NIRAS har sammenstillet resultaterne i dette notat.

3 Hvor lave koncentrationer kan måles?

Resultaterne viser, at PFAS i mange tilfælde forekommer i så lave koncentrationer i røg fra affaldsforbrænding, at det ikke er målbart. Dog har det været muligt for et af laboratorierne at kunne måle så lave koncentrationer, at der viser sig målbare koncentrationer i nogle tilfælde.

Den laveste koncentration, et laboratorium kan måle, kaldes detektionsgrænsen.

3.1 Prøvetagningstid og laboratorieudstyr påvirker detektionsgrænsen

Jo længere tid, man opsamler røggas i prøvetagningsudstyret, jo lavere detektionsgrænse kan et laboratorium komme ned på. Og jo mere følsomme apparater, laboratoriet har til at detektere indholdet i den opsamlede prøve, jo lavere detektionsgrænse kan opnås. Prøvetagningstiden for PFAS er typisk på 6 timer. Til sammenligning er prøvetagningstiden for en "almindelig" støvprøve typisk på en halv til 1 time.

Tabellen nedenfor viser den laveste og den højeste detektionsgrænse set i undersøgelsen. For PFOS ses således, at detektionsgrænsen i nogle tilfælde var 0,000080 µg/m³ (n,t) ved 11% O₂ og i andre 0,003 µg/m³ (n,t) ved 11% O₂. Måleenheden udtales "mikrogram per normal kubikmeter tør røggas ved en reference-iltprocent på 11 procent ilt."

PFAS-forbindelse	Laveste detektionsgrænse for et laboratorium	Højeste detektionsgrænse for et laboratorium
	µg/m ³ (n,t) ved 11% O ₂	µg/m ³ (n,t) ved 11% O ₂
Perflouroctansulfonate (PFOS)	0,000080	0,003
Perflouroctanoic acid (PFOA)	0,000080	0,003
Perflourhexanesulfonic acid (PFHxS)	0,000080	0,003
Perflourmonaioic acid (PFNA)	0,000080	0,003
Perflourobutansulfonate (PFBS)	0,000080	0,003
Perflourobutanoic acid (PFBA)	0,00009	0,003
Perflourioentanesulfonic acid (PFPeS)	0,000080	0,003
Perflouropentane acid (PFPeA)	0,00009	0,003
Perflourohexanoic acid (PFHxA)	0,00009	0,003
Perflouroheptane sulphonate (PFHpS)	0,000080	0,003
Perflouroheptanoic acid (PFHpA)	0,00009	0,0036

Perflouroctane sulfonamide (PFOSA)	0,0003	0,003
Perflouro-3,7-dimethyloctane acid (PF-3,7-DMOA)	0,0003	0,005
Perflourodecane sulphonate (PFDS)	0,000080	0,003
Perflouridecanoic acid (PFDA)	0,000080	0,003
Perflouroundecanoic acid (PFUnA)	0,000080	0,003
Perflourododecane acid (PFDoA)	0,000080	0,003
Perflourotridecane acid (PFTrA)	0,000080	0,003
Perflourotetradecane acid (PFTA)	0,00009	0,005
7H-Dodecaflouroheptanoic acid (HPFHpA)	0,0006	0,005
2H,2H-Perflourodecane acid (H2PFDA)	0,0006	0,005
2H,2H,3H,3H-Perflouroundecane acid (H4PFUnA)	0,0006	0,005
1H,1H,2H,2H-Perflourohexanesulfonic acid (4:2 FTS)	0,0002	0,003
6:2 Flourotelomer sulfonate (6:2FTS) (H4PFOS)	0,0002	0,006
8:2 Flourotelomer sulfonic acid (8:2 FTS)	0,0003	0,005
10:2 Flourotelomer sulfonic acid (10:2 FTS)	0,0003	0,005
N-methyl-perflourooctane sulfonamide (N-MeFOSA)	0,0006	0,005
N-ethyl-perflourooctane sulfonamide (N-EtFOSA)	0,0006	0,005
N-methyl-perflourooctane sulfonamido ethanol (N-MeFOSE)	0,0006	0,03
N-ethyl-perflourooctane sulfonamido ethanol (N-EtFOSE)	0,0006	0,03
N-methyl-perflourooctanesulfonamidoacetic acid (N-MeFOSAA)	0,0006	0,005
Perflour-1-octanesulphonamide-EtAce (PFOSAA)	0,0006	0,005
Perflournonansulfonsyre (PFNS)	0,0002	0,001
Perflourundecansulfonsyre (PFUnS)	0,0002	0,001
Perflourdodecansulfonsyre (PFDoS)	0,0002	0,001
Perflourtridecansulfonsyre (PFTrS)	0,0002	0,0003529

4 Måleresultater

Ud af de forskellige PFAS-forbindelser, der er målt for, er der kun fundet målbare koncentrationer på 2 af ovenlinjerne, hvor man fandt 4 forbindelser, og på en tredje, hvor man fandt 6 forbindelser. På grund af sammenfald, svarer det til 7 forskellige PFAS-forbindelser ud af de analyserede. Tabellen nedenfor viser de højeste målte værdier som var over detektionsgrænsen.

PFAS-forbindelse	Højeste værdi målt over detektionsgrænse
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t) ved 11% O ₂
Perflouroctanoic acid (PFOA)	0,00039
Perflourmonaioic acid (PFNA)	0,0005
Perflourobutanoic acid (PFBA)	0,015
Perflouropentane acid (PFPeA)	0,027
Perflourohexanoic acid (PFHxA)	0,0024
Perflouroheptanoic acid (PFHpA)	0,0036
Perflouroundecanoic acid (PFUnA)	0,00017

5 Grænseværdier

Myndighederne har endnu kun i begrænset omfang fastlagt grænseværdier for PFAS i luft. For *luft i arbejdsmiljø* er der i nogle tilfælde fastlagt grænseværdier. For *udeluft* har USA i nogle delstater fastlagt grænseværdier for enkelte PFAS (Velthuisen, 2021), jf. afsnittene nedenfor

5.1 Grænseværdier for luft i arbejdsmiljø

I Danmark rummer Arbejdstilsynets liste over grænseværdier i arbejdsmiljø kun en grænseværdi for ammoniumsalt af PFOA, nemlig ammoniumperfluoroctanoat (Arbejdstilsynet, 2024). Grænseværdien er på 0,01 mg/m³ som gennemsnit over 8 timer. I Tyskland er der en arbejdspladsgrænseværdi for PFOS (perfluoroctansulfonsyre) på 0,01 mg/m³ (TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte). Tyskland har desuden en såkaldt MAK-værdi (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) på 0,005 mg/m³ for PFOA og salte af PFOA (Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2022).

5.2 Grænseværdier for udeluft

Danmark har (endnu) ingen grænseværdier for PFAS i udeluft. Af de 7 forbindelser, der er fundet målbare koncentrationer af, er der kun fundet grænseværdier for udeluft for en af dem, nemlig Perflouroctansyre (PFOA). Det er fem stater i USA, der har grænseværdier for indhold af stoffet i udeluft, nemlig Michigan, New Hampshire, New York, Minnesota og Texas (Velthuisen, 2021).

Texas har de laveste grænseværdier, nemlig $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som 1-timegennemsnitsværdi, og $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årgennemsnitsværdi.

Det ses dermed, at hvor der er grænseværdier for arbejdsmiljø, er de typisk højere end grænseværdier for udeluft, hvilket er normalt, da grænser for udeluft skal tage højde for ophold i udeluften i hele døgnet.

6 Sammenligning af målinger med grænseværdier for udeluft

Den højest målte røggaskoncentration i undersøgelsen her var PFOA, der blev målt til $0,00039 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t) ved 11% O_2 .

Hvis man forestillede sig, man sad med hovedet inde i skorstenen fra et affaldsenergianlæg og indåndede røgen direkte, ville man indånde en koncentration af PFOA på ca. 10 gange lavere end grænseværdien for årgennemsnit i Texas, og 100 gange lavere end 1-timegennemsnitsværdien.

Ingen indånder røg direkte fra en skorsten. I Danmark kræver miljømyndighederne, at en skorsten skal kunne sprede de kendte typer af forurening på en effektiv måde. Skorstenens nødvendige højde for at sikre tilstrækkelig spredning beregnes derfor før skorstenen bygges. Røgen fra de undersøgte anlæg bliver således fortyndet mellem 2000 og 10.000 gange.

Det betyder, at den koncentration, som affaldsforbrænding bidrager til i omgivelsesluften er 20.000 til 100.000 gange lavere end grænseværdien for årgennemsnit i Texas og mellem 200.000 og 1 mio gange lavere i forhold til timegennemsnitsværdien.

7 Er affaldsforbrænding en egnet metode til at fjerne PFAS fra samfundet?

Det er endnu for tidligt at sige med sikkerhed, hvilken metode, der er den bedste til at fjerne PFAS fra samfundet, for det er svært at sige præcist, hvor store koncentrationer og hvilke typer af PFAS, der kommer ind med affaldet, og dermed er det svært at beregne metodernes destruktionsgrad.

Ser man på affaldsforbrænding som metode til at nedbryde PFAS, er et vigtigt spørgsmål hvilken temperatur, der skal til for at destruere de enkelte PFAS-forbindelser. Selvom PFAS stoffer kaldes evigheds-kemikalier når de forekommer i naturen/omgivelserne, så er disse stoffer ikke termisk stabile, dvs. de nedbrydes ved høje forbrændingstemperaturer.

Lovgivningen i EU kræver i dag, at affaldsenergianlæg, der brænder ikke-farligt affald, opnår en temperatur på mindst 850°C i mindst 2 sekunder, selv under de mest ugunstige forhold. EU's lovgivning er indarbejdet i den danske bekendtgørelse om affaldsforbrænding (Miljøministeriet, 2017).

Indtil videre tyder undersøgelser på, at jo flere fluor-atomer, der er på en PFAS, jo højere temperatur kræves for at nedbryde det ved forbrænding.

Den amerikanske miljømyndighed, US EPA, har i april 2024 udgivet et udkast til vejledning om destruktion og bortskaffelse af PFAS (US EPA, 2024). Injektion af PFAS i undergrunden, kontrollerede lossepladser samt termisk behandling, dvs. forbrænding, er de tre metoder, hvor US EPA vurderer, der er de laveste potentiale for, at PFAS udledes ukontrolleret til miljøet.

Angående forbrænding, henviser US EPA til en ældre undersøgelse, der viste, at stoffet tetrafluorkulstof (CF_4 , bedre kendt som freon) kræver over $1400\text{ }^\circ C$ for at blive nedbrudt (US EPA, 2024). US EPA anbefaler at det undersøges, om højere temperaturer, god opblanding i forbrændingen samt længere opholdstid vil være nødvendigt og tilstrækkeligt for at sikre passende destruktion af de PFAS, der forekommer i affald. Det skal dog understreges, at tetrafluorkulstof/freon er et dårligt billede på PFAS, fordi den kemiske struktur i stoffet er meget mere stabil end i andre PFAS-stoffer og dermed sværere at nedbryde ved forbrænding.

Tetrafluorkulstof/freon er ikke et stof, der forekommer i almindeligt affald, og det har ikke de samme sundhedsskadelige effekter som man er bekymret for ved en del af PFAS-stofferne – det er en gas, som skader ozonlaget og derfor er blevet forbudt.

Der er gennemført enkelte studier af PFAS-stoffers termiske stabilitet, dvs. hvor høj temperatur, de kræver for at blive nedbrudt, bl.a. (Geertinger & Astrup Jensen, 2023). Studiet viser, at nogle PFAS-stoffer begynder at nedbrydes allerede ved $300\text{-}325\text{ }^\circ C$. Hvad de nedbrydes til, og hvor problematiske, nedbrydningsprodukterne er, skal undersøges nærmere.

8 Konklusion

De 20 målinger af mere end 30 PFAS-forbindelser, affaldsenergianlæggene har fået udført for 20 ovnlinjer på 11 anlæg, viser i de fleste tilfælde koncentrationer, der er lavere, end hvad laboratorierne kan måle. Ud af de forskellige PFAS-forbindelser, der er målt for, er der kun fundet målbare koncentrationer på 2 af ovnlinjerne, hvor man fandt 4 forbindelser, og på en tredje, hvor man fandt 6 forbindelser. På grund af sammenfald, svarer det til 7 forskellige PFAS-forbindelser ud af de analyserede.

Myndighederne har endnu kun i begrænset omfang fastlagt grænseværdier for PFAS i udeluft. I USA har nogle delstater fastlagt grænseværdier for en enkelt PFAS, nemlig Perflouroctansyre (PFOA). For arbejdsmiljø er der ligeledes i nogle tilfælde fastlagt grænseværdier.

Hvis man forestillede sig, man indåndede røgen direkte fra skorstenen, ville man indånde en koncentration af PFAS-forbindelsen PFOA på ca. 10 gange lavere end grænseværdien for årgennemsnittet i udeluft i Texas, og 100 gange lavere end 1-timesgennemsnitsværdien.

Ingen indånder røg direkte fra en skorsten. I Danmark kræver miljømyndighederne, at en skorsten skal kunne sprede de kendte typer af forurening på en effektiv måde. Røgen fra de undersøgte anlæg bliver derfor fortyndet mellem 2000 og 10.000 gange.

Det betyder, at den koncentration, som affaldsforbrænding bidrager til i omgivelserluft er 20.000 til 100.000 gange lavere end grænseværdien for årgennemsnit i Texas og mellem 200.000 og 1 mio gange lavere i forhold til timegennemsnitsværdien.

Samlet set må det siges, at målingerne fra de 20 undersøgte ovnlinjer viser en meget begrænset udledning af PFAS fra skorstenene på affaldsenergianlæg.

Det er dog endnu for tidligt at sige med sikkerhed, hvilken metode, der er den bedste til at fjerne PFAS fra samfundet, for det er svært at sige præcist, hvor store koncentrationer og hvilke typer af PFAS, der kommer ind med affaldet, og dermed er det svært at beregne metodernes destruktionsgrad. Der mangler yderligere viden om de termiske (forbrændingsmæssige) mekanismer for nedbrydning af PFAS-stofferne.

9 Referencer

- Arbejdstilsynet. (2024). Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 291 af 19. marts 2024. *Grænseværdier for stoffer og materialer (kemiske agenser) i arbejdsmiljøet*. Arbejdstilsynet.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft. (2022). Ständige Senatskommission zur Prüfung. *MAK- und BAT-Werte-Liste 2022. Mitteilung 58*. <https://mak-dfg.publisso.de/>.
- Geertinger, A., & Astrup Jensen, A. (2023). *Litteraturstudie om PFAS fra affaldsforbrænding, Miljøprojekt nr. 2246, September 2023*. Miljøstyrelsen.
- Miljøministeriet. (21. 11 2017). Bekendtgørelse om anlæg, der forbrænder affald. Miljøministeriet.
- TRGS 900 *Arbeitsplatzgrenzwerte*. (u.d.). Hentet fra BAUA: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900.html>
- US EPA. (2024). *Interim Guidance for Public Comment on the Destruction and Disposal of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances and Materials Containing Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances. Version 2*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Velthuisen, R. (17. August 2021). *TRC (The Research Corporation)*. Hentet fra PFAS Air Emissions Standards and Trends for Summer 2021: <https://www.trccompanies.com/insights/pfas-air-emissions-standards-and-trends-for-summer-2021/>