



PFAS-destruktion ved slamforbrænding

Miljøprojekt nr. 2288

Juli 2025

Deklaration af konsulentrapporter udarbejdet for offentlige myndigheder

Titel på rapport:

PFAS-destruktion ved slamforbrænding

Formål med rapport:

Projektets formål var:

- At undersøge graden af destruktion af PFAS ved forbrænding af PFAS-holdigt spildevandsslam på et fuldskala anlæg, der drives ved en EBK-temperatur (temperatur i efter-forbrændingskammer) på mindst 850⁰ C.
- At undersøge udledninger til luften af mulige nedbrydningsprodukter af PFAS (HF, CFCer mv.).
- At få erfaringer, der kan anvendes på et evt. kommende projekt om undersøgelse af destruk-tion af PFAS på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg.

Udarbejdet af:

NIRAS

Udarbejdet for:

Miljøstyrelsen, Erhverv

Finansieret af:

Miljøstyrelsen

Leveringsdato for rapport:

16-12-2024

Offentliggørelsesdato:

Juli 2025

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Martin Badike Skovmand, NIRAS

Birgitte Holm Christensen, NIRAS

Peter Blinksbjerg, 12plus30

Jesper Mundt, NIRAS

Fotos:

NIRAS

ISBN: 978-87-7564-020-1

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Forord	6
2.	Resume og konklusion	7
2.1	Resume	7
2.2	Undersøge destruktionsgrad af PFAS	7
2.3	Mulige nedbrydningsprodukter af PFAS	8
2.4	Erfaringer til brug for andre forsøg	8
3.	Summary	9
3.1	Summary	9
3.2	Investigate the degree of destruction of PFAS	9
3.3	Possible degradation products of PFAS	10
3.4	Experience for use in other experiments	10
4.	Indledning og formål	11
4.1	Indledning	11
4.2	Formål	12
5.	Anlægsbeskrivelse	13
6.	Forberede afbrændingsforsøg	14
6.1	Identificere egnet slam til forsøg	14
6.2	Klargøre anlæg til forsøg	15
6.3	Opstille prøveplan	17
7.	Afbrændingsforsøg	18
7.1	Omfang	18
7.2	Måle- og analyseparametre	18
7.3	Detektionsgrænse og kvantifikationsgrænse	19
7.3.1	Analyseparametre for forsøgsslam, cyklonaske og posefilteraske	19
7.3.2	Måle- og analyseparametre røggas	21
7.3.3	Nedbrydningsprodukter i røggas	21
7.3.4	PFAS-forbindelser	22
7.3.5	Andre parametre fra SRO-systemet	23
7.4	Varighed	23
7.5	Driftsforhold under forsøget	23
8.	Resultater	24
8.1	Resultater for materialemængder	24
8.2	Resultater for forsøgsslam	25
8.3	Resultater for cyklonaske	26
8.4	Resultater for posefilteraske	26
8.5	Resultater for røggas inkl. nedbrydningsprodukter	26
9.	Opstilling af massebalance for PFAS og fluorider	29
9.1	Massebalancer	29

9.1.1	Destruktionseffektivitet og destruktions-fjernelseseffektivitet	29
9.1.2	PFAS-4	30
9.1.3	PFAS-21	30
9.1.4	Fluor og fluorholdige nedbrydningsprodukter	30
9.1.5	Kulstof	31
10.	Diskussion af massebalancer	32
10.1	Vurdering af usikkerhed på de udførte massebalancer	32
10.2	Vurdering af i hvilket omfang der sker destruktion af PFAS ved forbrænding	32
10.3	Vurdering af i hvilket omfang der sker udledning af mulige nedbrydningsprodukter via røggassen	34
11.	Beskrivelse af erfaringer af relevans for evt. tilsvarende forsøg på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg	35
11.1	Valg af analyseparametre	35
11.1.1	Ønske til påviselig destruktionsgrad	35
11.1.2	Målestrategi	35
11.1.3	Valg af anlæg	36
11.1.3.1	Størrelse	36
11.1.3.2	Røgrensningssystem	36
11.1.3.3	Mulighed for indfødning af kendt mængde forsøgsaffald	36
11.1.4	Forberede anlæg for prøvetagning og dataudtræk	36
11.1.5	Prøveplan	36
11.1.6	Mulighed for dialog med opdragsgiver	36
12.	Sammenfattende konklusion	37
12.1	Undersøge destruktionsgrad af PFAS	37
12.2	Mulige nedbrydningsprodukter af PFAS	38
12.3	Erfaringer til brug for andre forsøg	38
13.	Referencer	39
Bilag 1.	Anlægsdata	40
Bilag 1.1	Anlægsdata, forsøgsdag 1 og 2	40
Bilag 2.	Analyseresultater for slam, cyklonaske og posefilteraske	41
Bilag 2.1	Slam Dag 1	42
Bilag 2.2	Cyklonaske Dag 1	44
Bilag 2.3	Posefilteraske Dag 1	46
Bilag 2.4	Slam Dag 2	48
Bilag 2.5	Cyklonaske Dag 2	50
Bilag 2.6	Posefilteraske Dag 2	53
Bilag 3.	Uddrag PFAS i røggas	55
Bilag 3.1	Uddrag fra Rapport nr. 229577-151-122, Mølleåværket A/S. Præstationsmåling ved slamforbrændingen maj 2024 (Eurofins) (Pedersen, 2024)	55
Bilag 3.2	Uddrag fra Notat: Måling af nedbrydningsprodukter fra PFAS i røggas fra termisk behandling af slam. FORCE Technology. (Bræstrup, 2024)	58

1. Forord

Miljøstyrelsen iværksatte denne undersøgelse af PFAS-destruktionen på et fuldskala slamforbrændingsanlæg.

Renseanlægget Mølleåværket, drevet af Lyngby-Taarbæk Forsyning, stillede sit slamforbrændingsanlæg til rådighed for forsøget. NIRAS med underleverandører blev valgt til at løse opgaven.

Projektet blev igangsat i 2023 og fuldskalaforsøget var planlagt at blive udført samme år. Men på grund af tekniske problemer måtte forsøget udskydes til foråret 2024. Analyserne af de udtagne prøver forløb hen over sommeren og i efteråret 2024 kunne resultaterne rapporteres.

NIRAS har udarbejdet denne rapport, som beskriver projektets forløb og resultater.

NIRAS ønsker at takke vores underleverandører samt Lyngby-Taarbæk Forsyning og personalet på renseanlægget for at stille anlæg til rådighed og deltage dedikeret i forberedelser og afvikling af forsøget. En særlig tak til Mølleåværkets rådgiver, som bistod med at trække data ud fra anlægget.

2. Resume og konklusion

Destruktion af PFAS undersøgt ved fuldskalaforsøg

2.1 Resume

For at undersøge destruktion af PFAS ved forbrænding af spildevandsslam, iværksatte Miljøstyrelsen et fuldskalaforsøg. Det blev udført på renseanlægget Mølleåværket, der stillede sin slamforbrændingsovn til rådighed for forsøget. Ovnens er af typen fluid-bed og er forsynet med efterbrændere, så de lovkrævede 850 °C til stadighed kan opretholdes i efterforbrændingen.

NIRAS stod for at lede forberedelsen, afviklingen af forsøget og afrapporteringen. Det skete i samarbejde med anlæggets personale samt med NIRAS' underleverandører. Forsøget strakte sig over to forsøgsdage, hvor de ind- og udgående strømme blev målt og analyseret.

Sammenfattende må det siges, at projektet har opfyldt sine tre formål:

- at undersøge destruktionsgraden af PFAS
- at undersøge mulige nedbrydningsprodukter
- at opnå erfaringer til eventuelle nye forsøg.

2.2 Undersøge destruktionsgrad af PFAS

Graden af destruktion af PFAS skulle undersøges ved forbrænding af PFAS-holdigt spildevandsslam på et fuldskala anlæg, der drives ved en EBK-temperatur (temperatur i efterforbrændingskammer) på mindst 850°C.

For de to askefraktioner, cyklonaske og posefilteraske, var resultatet for alle målte PFAS lavere end detektionsgrænsen, og for røggassen var resultatet for alle målte PFAS lavere end kvantifikationsgrænsen.

Projektet viste at:

- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99 % målt som destruktionseffektivitet (DE) og
- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99,82 % og 99,81 % på dag 1 og dag 2 målt som destruktions- og fjernelseeffektivitet (DRE)

Tilsvarende viste det sig at:

- PFAS-21 blev destrueret med mindst 87,8 % og 88,8 % på dag 1 og 2 målt som destruktionseffektivitet (DE) og
- PFAS-21 blev destrueret med mindst 99,28 % og 99,27 % på dag 1 og 2 målt som destruktions- og fjernelseeffektivitet (DRE).

DE er forskellen mellem PFAS tilført og *alt* PFAS fraført i cyklonaske, posefilteraske og røggas.

DRE er forskellen mellem PFAS tilført og PFAS fraført med røggassen.

Der er en vis usikkerhed forbundet med beregningerne. Den største usikkerhed er ved bestemmelsen af værdierne for forsøgsslammets massestrømme. Usikkerheden var her et produkt af bestemmelsen af slammængden, bestemmelsen af slammets tørstofindhold og bestemmelsen af koncentrationen af PFAS. Den samlede usikkerhed vurderedes at være på

36 %. Usikkerheden på bestemmelse af massestrømmene af cyklonaske og posefilteraske samt røggas var alle fra 14 % til 19 %.

Massebalancer for fluor og kulstof blev brugt for at få et indtryk af, hvor godt massestrømmene af slam, aske og røggas var bestemt.

Massebalancen for kulstof stemmer godt, hvilket indikerer, at massestrømmene af slam, aske og røggas var godt bestemt.

Fluorbalancen stemmer mindre godt. Fluor er vanskeligt at opstille balance for, da fluor er meget reaktivt og kan danne andre fluorforbindelser end de her analyserede. De analyserede fluor-mængder var forholdsvis tæt på kvantifikationsgrænsen, hvilket yderligere vanskeliggør en massebalance.

På denne baggrund konkluderes det, at massestrømmene er målt med en tilfredsstillende nøjagtighed og kan anvendes til at vurdere destruktionsgraden af PFAS.

På grund af laboratoriets grænser for, hvor lave koncentrationer, der kunne analyseres for, kan destruktionsgraden ikke angives mere præcist. Størrelsen af ovenstående destruktionsgrader og destruktions- og fjernelsesgrader afhænger nemlig i det væsentligste af laboratoriernes kvantifikationsgrænser og detektionsgrænser.

Havde kvantifikationsgrænserne og detektionsgrænserne været lavere, ville man kunne have bestemt en højere minimums-destruktionsgrad, med flere betydende cifre, eller også ville den præcise destruktionsgrad have kunnet blive bestemt. Tilsvarende for destruktions- og fjernelsesgraden.

2.3 Mulige nedbrydningsprodukter af PFAS

Udledninger til luften af mulige nedbrydningsprodukter af PFAS (HF, CFCer mv.) er blevet undersøgt.

Ingen af de nedbrydningsprodukter, der blev analyseret for i røggassen, blev fundet i mængder, der gav signal over detektionsgrænsen. Detektionsgrænsen for de analyserede stoffer kan ikke opgives eksakt, da der ikke findes kalibreringsmaterialer for forbindelserne, men metoden vil dog typisk have en nedre detektionsgrænse på ca. 1 ppm, for nogle stoffer dog lavere. På grund af det svage signal er her kun set på detektionsgrænsen og ikke kvantifikationsgrænsen.

2.4 Erfaringer til brug for andre forsøg

Der er opnået erfaringer, der kan anvendes på et eventuelt kommende projekt om undersøgelse af destruktion af PFAS, herunder undersøgelse på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg. Erfaringerne omfatter valg af analyseparametre, ønske til påviselig destruktionsgrad, målestrategi, valg af anlæg, forberedelse af anlæg til forsøg, prøveplan og dialog undervejs.

3. Summary

Destruction of PFAS investigated in full-scale experiments

3.1 Summary

To investigate the destruction of PFAS by incineration of sewage sludge, the Danish Environmental Protection Agency launched a full-scale experiment. It was carried out at Mølleåværket wastewater treatment plant, which made its sludge incinerator available for the experiment. The stove is of the fluid-bed type and is equipped with afterburners so that the legally required 850 degrees C can be always maintained in the afterburn.

NIRAS was responsible for leading the preparation, execution of the trial and reporting. This was done in collaboration with the plant's staff and with NIRAS' subcontractors. The experiment lasted over two trial days, during which the inbound and outgoing flows were measured and analyzed.

In summary the project has fulfilled its three objectives:

- to investigate the degree of destruction of PFAS
- to investigate possible degradation products
- to gain experience for possible new trials.

3.2 Investigate the degree of destruction of PFAS

The degree of destruction of PFAS was to be investigated by incineration of PFAS-containing sewage sludge at a full-scale plant operating at an EBK (temperature in after-combustion chamber) of at least 850°C.

The result was below the detection limit for all measured PFAS for the two ash fractions, cyclone ash and bag filter ash, and below the quantification limit for all the measured PFAS in the flue gas.

The project showed that

- PFAS-4 was destroyed by at least 99 % measured as DE
- PFAS-4 was destroyed by at least 99.82 % and 99.81 % on days 1 and 2 measured as destruction and removal efficiency, DRE

Similarly, it turned out that

- PFAS-21 was destroyed by at least 87.8 % and 88.8 % on days 1 and 2 measured as destruction efficiency, DE
- PFAS-21 was destroyed by at least 99.28 % and 99.27 % on days 1 and 2 measured as destruction and removal efficiency, DRE.

DE is the difference between PFAS added and *all* PFAS removed in cyclone ash, bag filter ash and flue gas, compared to PFAS added.

DRE is the difference between PFAS added and PFAS removed with the flue gas compared to PFAS added.

There is some uncertainty associated with the calculations. The largest uncertainty is in determining the values for the mass flows of the test sludge. The uncertainty was a product of the determination of the sludge amount, the determination of the dry matter content of the sludge and the determination of the concentration of PFAS. The total uncertainty was estimated to be 36 %. The uncertainty in determining the mass flows of cyclone ash and bag filter ash as well as flue gas were all from 14 % to 19 %.

Mass balances for fluorine and carbon were used to get an idea of how well the mass flows of sludge, ash and flue gas were determined.

The mass balance of carbon agrees well, indicating that the mass streams of sludge, ash, and flue gas were well determined.

The fluorine balance is less accurate. Fluorine is difficult to establish a balance for, as fluorine is very reactive and can form other fluorine compounds than those analyzed here. The analyzed fluorine amounts were relatively close to the quantification limit, which further complicates a mass balance.

On this basis, it is concluded that the mass flows have been measured with a satisfactory accuracy and can be used to assess the degree of destruction of PFAS.

Due to the laboratory's limits on how low concentrations could be analyzed, the destruction cannot be stated more precisely. The amount of the above destruction efficiencies and destruction and removal efficiencies depends essentially on the quantification and detection limits of the laboratories.

Had the limits of quantification and detection been lower, a higher minimum degree of destruction could have been determined, with more significant digits, or the exact degree of destruction could have been determined. The same applies to the degree of destruction and removal.

3.3 Possible degradation products of PFAS

Emissions to the air of possible degradation products of PFAS (HF, CFCs, etc.) have been investigated.

None of the degradation products analysed for in the flue gas were found in quantities that gave a signal above the detection limit. The detection limit for the analysed substances cannot be stated exactly, as there are no calibration materials for the compounds, but the method will typically have a lower detection limit of approx. 1 ppm, for some substances, however, lower. Because of the weak signal, only the limit of detection and not the limit of quantification has been looked at.

3.4 Experience for use in other experiments

Experience has been gained that can be applied to a possible future project on the investigation of the destruction of PFAS, including a study at a dedicated waste incineration plant. The experience includes choice of analysis parameters, desire for demonstrable degree of destruction, measurement strategy, choice of plant, preparation of plant for trials, test plan and dialogue during the planning and execution.

4. Indledning og formål

Destrueres PFAS ved slamforbrænding?

4.1 Indledning

Miljøstyrelsen har ønsket at undersøge destruktion af PFAS ved slamforbrænding, og igangsatte derfor i 2023 et fuldskalaprojekt til belysninger heraf. Rådgiveren NIRAS blev udvalgt til at gennemføre projektet. Foruden NIRAS' egne projektdeltagere har Mølleåværkets personale samt akkrediterede målefirmaer, slamleverandør, entreprenør og ekstern konsulent deltaget som underleverandører i opgavens løsning. På grund af tekniske problemer blev forsøget først udført i foråret 2024.

PFAS er perfluorerede og polyfluorerede alkylstoffer.

Stofgruppen består af mere end 4.700 kemikalier. De er menneskeskabte, og nogle kan føre til en række sygdomme (Miljøagentur, 2024). De indeholder alle kulstof-fluor-bindinger, hvilket gør dem svært nedbrydelige. De kan akkumuleres over tid i mennesker, dyr og miljøet. PFAS er blevet anvendt i mange forskellige produkter siden 1950'erne, fordi de har gode smudsafvisende og vandskyende effekter (Arnold, 2023). Eksempelvis ses PFAS i imprægneret tekstil og tøj, møbler, køkkenudstyr, elektronik og byggematerialer. PFAS anvendes desuden til fremstilling af flourpolymerer såsom PTFE, bedre kendt som Teflon. (Arnold, 2023) refererer en undersøgelse fra 2015, der viste, at PFAS-imprægnering var til stede i 10 – 30 % af udendørs tøj til børn. Koncentrationen var typisk op til 0,05 – 0,5 vægt % i tekstil og tøj (Gaines, 2023). Tabet af PFAS fra tøjet til miljøet kan ske i brugsfasen grundet slid, hvilket øges ved ultraviolet stråling, høj temperatur og fugt.

Det Europæiske Miljøagentur skønner, at 45.000 – 80.000 tons PFAS bruges i tekstiler, polster, læder, beklædning og tæpper i EU årligt. Selvom industrien bevæger sig væk fra at anvende PFAS, findes mange af disse produkter stadig i samfundet (Miljøagentur, 2024).

Når produkterne vaskes, kan PFAS blive udledt til kloakken med vaskevandet og dermed ende i spildevand og spildevandsslam.

Eksempler på andre kilder til PFAS i spildevand og slam er industrier samt tidligere deponering på lossepladser, hvis perkolatvand ledes til renseanlæg.

4.2 Formål

Projektets formål var:

- At undersøge graden af destruktion af PFAS ved forbrænding af PFAS-holdigt spildevandsslam på et fuldskala anlæg, der drives ved en EBK-temperatur (temperatur i efterforbrændingskammer) på mindst 850°C.
- At undersøge udledninger til luften af mulige nedbrydningsprodukter af PFAS (HF, CFCer mv.).
- At få erfaringer, der kan anvendes på et evt. kommende projekt om undersøgelse af destruktion af PFAS på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg.

5. Anlægsbeskrivelse

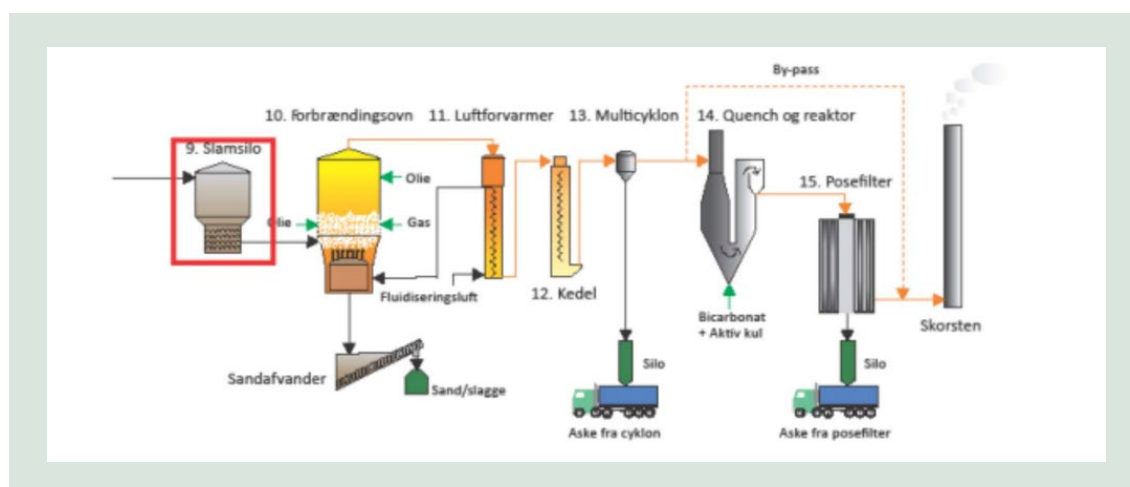
Undersøgelsen blev udført på Slamforbrændingsanlægget ved renseanlægget Mølleåværket, Hjortekærbakken 12, 2800 Kgs. Lyngby, nord for København. Slamforbrændingsanlægget fik den 15. december 2023 miljøgodkendelse til at udføre forsøget.

Slamforbrændingsanlægget er omfattet af listepunkt K 215 på bilag 2 til godkendelsesbekendtgørelsen. Listepunkt K 215 omfatter anlæg, der forbrænder ikke-farligt affald med en kapacitet på mindre end eller lig med 3 tons pr. time.

Slamforbrændingsanlægget er miljøgodkendt til at forbrænde maks. 550 kg tørstof pr. time. Slamforbrændingsanlægget, der er et fluidbed anlæg, er bygget som vist i nedenstående FIGUR 1. Fra slamsiloen kan slam indføres i forbrændingsovn, hvor slammet blandes med det varme sandlag, der blæses op med forvarmet fluidiseringsluft. Herved opnås god kontakt mellem slam og forbrændingsluft.

Anlægget er udstyret med to støttebrændere, en, der anvender biogas og en, der anvender gasolie som brændsel. Efter kedelparten renses røggassen først i et cyklonfilter, hvor grove partikler fraskilles. En quench og reaktor, hvor bicarbonat og aktivt kul tilsættes, renses røgen for gasformige forureninger, og det efterfølgende posefilter renses for finere partikler, før røggassen udledes gennem skorsten. Aske fra cyklon og fra posefilter opsamles i askesiloer.

For uddybende beskrivelse henvises til Revurdering af miljøgodkendelse af 19. maj 2022.



FIGUR 1. Skematisk oversigt over slamforbrændingsanlægget. I praksis dannes der ikke slagge, så der kommer kun sand ud af sandafvander.

6. Forberede afbrændingsforsøg

NIRAS har søgt at gribe opgaven an på en sådan måde, at forudsætningerne for at få de mest valide testresultater i størst muligt omfang var til stede. Først og fremmest ved at have et egnet tilgængeligt medie (PFAS-holdigt slam), som under kontrollerede forhold transporteredes til og blev afbrændt i forbrændingsanlægget, og hvor der med akkrediterede standarder blev målt på alle in- og output fra anlægget.

6.1 Identificere egnet slam til forsøg

Som forberedelse til forsøget blev indledende massebalancer, baseret på forventede værdier, sat op. Herved kunne det vurderes, hvilken destruktionsgrad det ville være muligt at eftervise, hvis slammet havde et givet indhold af PFAS og hvis laboratorierne kunne opnå nogle givne kvantifikationsgrader.

Data for det slam, Mølleåværket normalt afbrænder, blev sammenholdt med de indledende massebalancer. Derved kunne mere præcise kravspecifikationer formuleres til det slam, der skulle anvendes ved afbrændingsforsøget. Kravspecifikationerne omhandlede blandt andet tørstofindhold, brændværdi og PFAS-indhold samt tilgængelige mængder.

Forskellige slamleverandører blev kontaktet, før en slamleverandør med passende slam blev identificeret. I forbindelse med at forsøget, som nævnt indledningsvis, blev udskudt fra 2023 til 2024 pga. tekniske problemer på slamforbrændingsanlægget, var det nødvendigt at genoverveje, hvilket slam, der skulle benyttes til forsøget.

Der var flere muligheder i spil, hvor overvejelserne især gik på slammets tørstofprocent og indhold af organisk stof (glødetab) af hensyn til slammets brændværdi, samt slammets indhold af PFAS. I sidste ende faldt valget på slam fra et nordsjællandsk renseanlæg, som med kort frist kunne levere de ønskede mængder og med en passende kvalitet. Dette slam havde ikke et specielt højt tørstofindhold (knap 20 %), men til gengæld et meget højt glødetab på hele 70 % og samtidigt et indhold af PFAS tæt på grænseværdien for PFAS-4. Slammet var aktivt slam fra procestanke afvandet mekanisk.



FIGUR 2. Forsøgsslam ankommer med lastbil i container

6.2 Klargøre anlæg til forsøg

Forsøgsslammet skulle kunne indføres under kontrollerede forhold. Det var derfor ikke hensigtsmæssigt at indføre det via det almindelige indfødningsystem, da det derved ville blive blandet så meget med det almindelige slam, at det ville være svært at vide, hvornår forsøgsslammet nåede ind i ovnen. Dermed ville det være svært at vide, hvornår målingerne skulle starte og slutte.

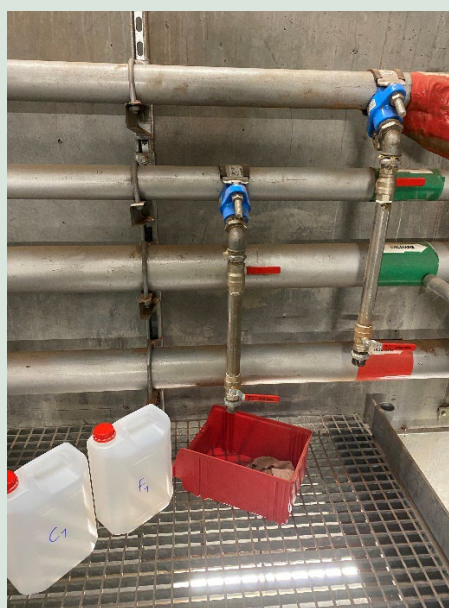
Mølleåværket, entreprenøren Tscherning og NIRAS satte i samarbejde et indfødningsystem op, der kunne føde slammet ind fra containeren, det blev leveret i. Normalt modtager slamforbrændingsanlægget afvandet slam fra Mølleåværkets dekanter, men da der skulle indføres slam fra et andet renseanlæg, var det nødvendigt at opsætte et alternativt indfødningsystem. Det blev til et system, hvor entreprenøren vha. krangrab og håndmand lagde slammet fra containeren på et transportbånd, der førte ind til en monteret tragt ved indfødningsen til forbrændingsovnen.

Normalt tilsættes sand til fluid-bed'-ovnen manuelt med nogle dages mellemrum. Umiddelbart inden forsøget sikredes, at der var passende med sand i fluid-bed'en, så der ikke skulle tilføres noget under selve forsøget.



FIGUR 3. Manuel indfødnings af forsøgsslam

Et prøvetagningssystem til at udtage askeprøver fra henholdsvis cyklonaskesilo og posefilteraskesilo blev desuden etableret i samarbejde mellem Mølleåværket og NIRAS. Askeudtagene blev placeret på rørledningerne, der leder asken til siloerne ved hjælp af trykluft.



FIGUR 4. Placering af askeudtag

Målestedet til røggasprøverne var på skorstenen, hvor der er fire åbninger med muffer. Stedet skulle gøres klar med stillads og overdækning, så de to akkrediterede laboratorier kunne placere og betjene deres udstyr.



FIGUR 5. Målested til måling og prøvetagning af røggasprøver

6.3 Opstille prøveplan

For at fokusere prøvetagningen af de delstrømme, der har størst indflydelse på bestemmelse af destruktionsgraden og samtidig sikre, at de involverede parter var enige om, hvordan prøver skulle udtages og hvor mange, der skulle udtages, blev en prøveplan udarbejdet.

7. Afbrændingsforsøg

7.1 Omfang

Afbrændingsforsøget omfattede registrering af mængderne af ind- og udgående strømme, som præsenteret i TABEL 1:

TABEL 1. Ind- og udgående strømme, hvor mængderne blev registreret

Indgående strømme	Udgående strømme
Forsøgsslam	Cyklonaske
Bicarbonat til røggasrensning	Posefilteraske
Olie	Røggas
Biogas	

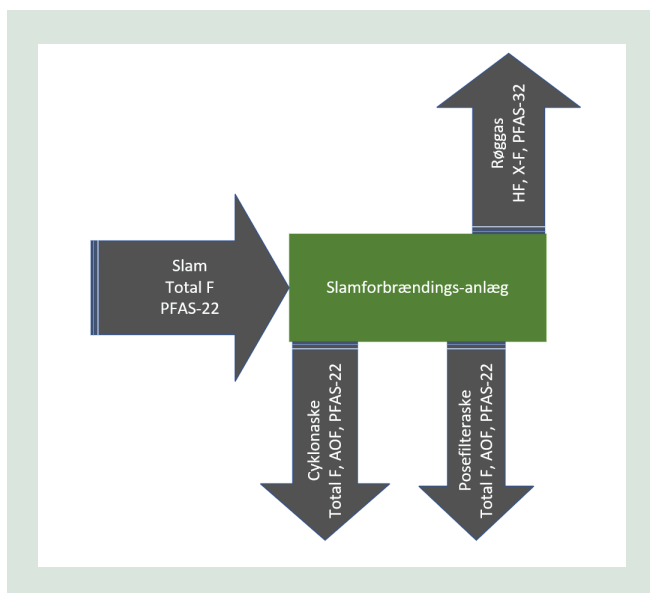
Bicarbonat, olie og gas indeholder ikke PFAS, men strømmenes mængdemæssige størrelse blev bestemt af hensyn til de øvrige masse- og energibalancer. Sand til fluid-bed'en ville ligeledes ikke indeholde PFAS, men ville kunne påvirke vægt af aske. Det blev derfor sørget for, at fluid-bed'en var godt fyldt op med sand, før forsøget gik i gang, så yderligere sand ikke skulle tilsættes under forsøget.

7.2 Måle- og analyseparametre

To akkrediterede laboratorier, Eurofins og FORCE Technology, bistod med prøvetagning og analyser af forsøgsslam, cyklonaske, posefilteraske og røggas. Desuden blev målte data trukket ud af anlæggets system for styring, regulering og overvågning (SRO-system).

I denne rapport bruges ordet "måling" om direkte måling af en parameter, hvilket f.eks. kan være en vejning. Ordene "prøvetagning" og "analyse" bruges, når en prøve blev udtaget og derefter bragt hjem til laboratoriet for efterfølgende analyse, hvilket f.eks. gjaldt PFAS-forbindelser og HF.

Det var ikke alle de ind- og udgående strømme, hvor PFAS eller andre fluorforbindelser ville kunne forekomme. Forsøgsslammet, cyklonasken, posefilterasken og røggassen var hovedstrømme, hvori fluor kunne tænkes at forekomme enten som PFAS eller som andre fluorforbindelser, hvilket er illustreret på FIGUR 6.



FIGUR 6. Illustration af ind- og udgående massestrømme samt hvilke fluor-forbindelser, de blev analyseret for. X-F står for fluor bundet til andre forbindelser end PFAS og HF.

7.3 Detektionsgrænse og kvantifikationsgrænse

Ved en analyse er der grænser for, hvor lav koncentration, der kan påvises, og hvor lav koncentration, der med rimelighed kan bestemmes. Analyse kvalitetsbekendtgørelsen (Miljøstyrelsen, BEK nr 811 af 19/06/2024, 2024) definerer detektionsgrænse LD og kvantifikationsgrænse, LQ. Bekendtgørelsen gælder ikke for målinger af luftemissioner, men principerne vil være de samme.

Detektionsgrænsen, LD er "den laveste værdi af output-signal eller koncentration, ved hvilket det på et nærmere angivet konfidensniveau kan erklæres, at en prøve adskiller sig fra en blindprøve, der ikke indeholder den pågældende parameter. Detektionsgrænsen er den laveste koncentration, der kan påvises. Ved output-signal forstås i denne bekendtgørelse måleværdier, der ikke udtrykker koncentrationenheder". Detektionsgrænsen er i bekendtgørelsen defineret som "3 gange standardafvigelsen inden for en serie".

Kvantifikationsgrænsen, LQ, er "et nærmere angivet multiplum af detektionsgrænsen ved en koncentration af parameter, som med rimelighed kan bestemmes med et acceptabelt niveau af nøjagtighed og præcision. Kvantifikationsgrænsen kan bestemmes med en passende standard eller prøve og kan beregnes fra det laveste kalibreringspunkt på kalibreringskurven, ekskl. blindprøven." Kvantifikationsgrænsen er i bekendtgørelsen defineret som "3 gange detektionsgrænsen."

7.3.1 Analyseparametre for forsøgsslam, cyclonaske og posefilteraske

I løbet af hver måledag blev fire delprøver på 500 g udtaget af henholdsvis forsøgsslam, cyclonaske og posefilteraske. De fire delprøver blev derefter blandet sammen til én prøve på 2 kg og analyseret i laboratoriet og rapporteret som en værdi for hver massestrøm for hver forsøgsdag.

Forsøgsslam, cyclonaske og posefilteraske blev analyseret for parametrene vist i TABEL 2. Tørstofindhold blev bestemt ved tre forskellige metoder. Derudover blev vandindhold i forsøgs-

slammet bestemt. Summen af tørstof- og vandindhold bør give 100. Bestemmelse af tørstofindholdet har indflydelse på massebalancen, da flere af de øvrige parametre bestemmes som andel af tørstofindholdet.

TABEL 2. Analyseparametre i forsøgsslam, cyklonaske og posefilteraske

Analyseparameter	Forsøgsslam	Cyklonaske	Posefilteraske
Tørstof	✓	✓	✓
Glødetab på tørstof	✓	-	-
Fluor total (F)	✓	✓	✓
AOF (Adsorberbar Organisk Fluor)	-	✓	✓
Vandindhold	✓	-	-
TOC, totalt org. kulstof	✓	✓	✓
PFAS-22	✓	✓	✓

Da forsøgsslam blev ført ind i anlægget på en anden måde end anlæggets eget slam normalt føres ind, måtte en metode til at registrere massestrømmen sættes op.

Slamsiloen er forsynet med en snegl til at føre slam ind samt en anden snegl til at føre slam ud af siloen. De to snegle kører uafhængigt af hinanden. Når ovnen er i drift, kører udmadningssneglen hele tiden, så der hele tiden føres slam ind i ovnen. Slamsiloens vægt kunne bestemmes ved hjælp af vejeceller.

I og med ind- og udfødningsneglene kan køre uafhængigt af hinanden, kunne en differensmåling af slamsiloens vægt ikke stå alene som udtryk for den indfyrede slammængde.

I stedet blev slamsiloen først fyldt op med forsøgsslam ved hjælp af indfødningsneglen. Derefter blev indfødningsneglen slukket. Udmadningssneglens hastighed over en given periode under konstant drift blev bestemt. I samme periode blev vægttabet i slamsiloen bestemt ved en differensvejning. På denne måde kunne udmadningssneglens hastighed omsættes til en indfyret mængde forsøgsslam.

Ud fra disse registreringer blev der bestemt en kalibreringsfaktor som gennemsnit af minimum tre bestemmelser per forsøgssdag. Kalibreringsfaktoren blev bestemt efter følgende formel, hvor VLT % er omdrejningshastighed, midlet over en given tid og Delta vægt er vægttab i silo over samme givne tid:

Kalibreringsfaktor for slam-flow ind:

$$Kal.faktor = \frac{\Delta \text{vægt}}{VLT \%} \cdot \frac{1}{Minutter} \quad [\text{kg}/(\text{min} \cdot VLT - \%)]$$

Den indfyrede mængde forsøgsslam kunne herefter beregnes ud fra kalibreringsfaktoren og registreringer af omdrejningshastighed og tiden for siloens udmadningssnegl efter følgende formel:

$$Indfyret \text{ mgd.} = Kal.faktor \cdot VLT \% \cdot Minutter$$

Den indfyrede mængde forsøgsslam bestemmes ud fra kortidsværdier og summeres over prøveperioden, som er givet i Eurofins prøvningsrapport for røggasprøverne.

Vejetal for cyklonaske og posefilteraske blev registreret i SRO-systemet ved hjælp af vejeceller under hver askecontainer.

Før målingerne blev sat i gang, kørte anlægget først 2 timer med forsøgsslammet for at sikre, at anlægget så vidt muligt blev tømt for almindeligt slam.

7.3.2 Måle- og analyseparametre røggas

Røggassen blev målt og analyseret af de akkrediterede laboratorier for de 14 parametre, der fremgår af nedenstående (2-spaltede) liste. Parametre markeret med * blev kun målt dag 1:

Røggastemperatur	Statisk tryk i kanal
HF	O ₂
NO _x regnet som NO ₂ *	Nedbrydningsprodukter (X-F)*
Lufttryk	CO *
Vandindhold	Dynamisk tryk i kanal
PFAS-32	CO ₂
SO ₂ *	NO*

Derudover blev målte værdier for røggassens temperatur, O₂ samt røggasflow udtrukket fra anlæggets SRO-system. Desuden blev kanaldiameteren målt. TVOC og CO blev antaget at forekomme i så lave koncentrationer, at det kunne negligeres. CO blev dog målt dag 1 i forbindelse med måling af nedbrydningsprodukter, og resultatet bekræftede antagelsen om negligerbare størrelser.

7.3.3 Nedbrydningsprodukter i røggas

Udover HF består nedbrydningsprodukter af PFAS af kortkædede fluorforbindelser. De er generelt ikke toksiske, men kan være stærke drivhusgasser.

Det var en særlig udfordring at planlægge analyse for disse forbindelser, da der ikke foreligger nogen standarder for målemetoder.

FORCE Technology skulle i anden forbindelse tage et nyt udstyr i brug, baseret på en spektroskopisk metode, PTR-ToF-MS. Hvis udstyret havde været klar til prøvetagningstidspunktet, var det planen at anvende det. Udstyret var imidlertid ikke klar.

Løsningen blev, at FORCE Technology udtog prøver af røggas, som efterfølgende blev analyseret ved hjælp af gaschromatografi og massespektroskopi (GC-MS). Resultaterne angav ikke en koncentration, men en information om, hvorvidt hvert enkelt stof kunne detekteres eller ikke detekteres. Disse måleprøver blev kun udtaget på måledag 1.

Nedbrydningsprodukter blev udtaget som seks gasprøver i diffusionstætte aluminiumsposer á 5 liter. Opsamling af prøvegas blev udført over 8 – 9 minutter og gentaget en gang i timen. Herved blev prøveopsamling fordelt ligeligt over hele testperioden.

De fluorholdige nedbrydningsprodukter, som røggassen blev analyseret for, er angivet på nedenstående (2-spaltede) liste.

1-fluoromethan CH ₃ F	1,1,1,2-tetrafluoroethan CF ₃ CH ₂ F
1,1-difluoromethan CH ₂ F ₂	1,1,2,2-tetrafluoroethan CHF ₂ CHF ₂
1,1,1-trifluoromethan CHF ₃	1,1,1,2,2-pentafluoroethan CF ₃ CHF ₂
Tetrafluoromethan CF ₄	Hexafluoroethan CF ₃ CF ₃
1-fluoroethan CH ₃ CH ₂ F	1-fluoropropan CH ₃ CH ₂ CH ₂ F
1,1-difluoroethan CH ₃ CHF ₂	2-fluoropropan CH ₃ CH ₂ CHF ₂
1,2-difluoroethan CH ₃ CHF ₂ F	2,2-difluoropropan CH ₃ CF ₂ CH ₃
1,1,1-trifluoroethan CF ₃ CH ₃	1,1,2,2-tetrafluoropropan CHF ₂ CF ₂ CH ₃
1,1,2-trifluoroethan CHF ₂ CH ₂ F	Octafluoropropan CF ₃ CF ₂ CF ₃

7.3.4 PFAS-forbindelser

22 individuelle PFAS-forbindelser blev analyseret i forsøgsslam, cyklonaske og posefilteraske og 32 i røggassen. Når PFAS-summer anvendes i massebalancerne, skal det være summen af de samme enkeltforbindelser i alle materialestrømmene. PFOSA analyseres i de faste prøver, men ikke i røggassen. I resultatafsnittet anføres derfor summen af PFAS-21 og PFAS-4, og det er også disse summen, der anvendes i massebalancerne. De PFAS, som indgår i PFAS-4-summen, er markeret med lysegrønt i TABEL 3.

TABEL 3. Analyserede PFAS-forbindelser. De PFAS-forbindelser, der indgår i summen PFAS-4, er markeret med lysegrønt. Det bemærkes, at laboratoriet har anvendt danske navne for analyserne af forsøgsslam, cyklonaske og posefilteraske, og engelske for røggas.

PFAS-forbindelser i forsøgsslam, cyklonaske og posefilteraske (22 forbindelser)	PFAS-forbindelser i røggas (32 forbindelser)
PFBA (Perfluorbutansyre)	Perfluorobutanoic acid (PFBA)
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	Perfluorobutansulfonate (PFBS)
PFPeA (Perfluorpentansyre)	Perfluoropentane acid (PFPeA)
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	Perfluoropentanesulfonic acid (PFPS)
PFHxA (Perfluorhexansyre)	Perfluorohexanoic acid (PFHxA)
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	Perfluorhexanesulfonic acid (PFHxS)
PFHpA (Perfluorheptansyre)	Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	Perfluoroheptane sulphonate (PFHpS)
PFOA (Perfluoroktansyre)	Perfluorooctanoic acid (PFOA)
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	Perfluorooctansulfonate (PFOS)
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	6:2 Fluorotelomer sulfonate (6:2 FTS) (H4PFOS)
PFNA (Perfluoronansyre)	Perfluoronanoic acid (PFNA)
PFNS (Perfluoronansulfonsyre)	Perfluoronananesulfonic acid (PFNS)
PFDA (Perfluordekansyre)	Perfluorodecanoic acid (PFDA)
PFDS (Perfluordekane-sulfonsyre)	Perfluorodecanesulfonic acid (PFDS)
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)
PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)	Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	Perfluorododecane acid (PFDoDA)
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	Perfluorododecane sulfonic acid (PFUoDS)
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	Perfluorotridecane acid (PFTTrDA)
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTTrDS)
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	
	Perfluorotetradecane acid (PFTTeDA)
	Perfluorohexadecanic acid (PFHxDA)
	Perfluorooctadecanic acid (PFODA)
	F-53 B major
	F-53 B minor
	HFPO-DA (GenX)
	DONA
	Perfluoro-3,7-dimethyloctane acid (PF-3,7-DMOA)
	1H, 1H, 2H,2H-Perfluorohexanesulfonic acid (4:2 FTS)
	8:2 Fluorotelomer sulfonic acid (8:2 FTS)
	10:2 Fluorotelomer sulfonic acid (10:2 FTS)

7.3.5 Andre parametre fra SRO-systemet

Anlæggets system for styring, regulering og overvågning (SRO-system) forsynede forsøget med data for en række andre parametre:

- Gasforbrug (biogas), støttebrændsel til slamforbrændingen
- Temperaturmåling, dome (kuplen øverst i ovnen)
- Temperaturmåling, øvre fribord
- Temperaturmåling, nedre fribord
- Temperaturmåling, sandlag
- Trykmåler, differenstryk over sandlag
- Trykmåler, differenstryk dysehvelving

Fluid-bed-ovnens nedre og øvre fribord samt kuplen i toppen af forbrændingskammeret ("dome") udgør efterforbrændingszonen, så temperaturerne her udgør efterforbrændingstemperaturen.

7.4 Varighed

Forsøget strakte sig over to sammenhængende forsøgsgange. De første to timer på den første forsøgsgang blev brugt til at indfyre forsøgsslam og køre anlægget rent for almindeligt slam. Derefter blev forsøget sat i gang, så prøvetagninger og målinger strakte sig over 6 timer hver gang.

7.5 Driftsforhold under forsøget

Driftspersonalet havde på forhånd forberedt sig på at skulle afbrænde andet slam end anlæggets normale slam og overvågede derfor anlægsdata nøje under forsøget, så passende indgreb for at opretholde stabil drift kunne foretages, hvis det skulle vise sig nødvendigt.

Under forsøget lykkedes det driftspersonalet at opretholde stabile driftsforhold, selvom forsøgsslammet havde lidt andet tørstofindhold og brændværdi end det normale slam. Det ses af bilag 1, der viser ganske ens anlægsdata fra SRO-anlægget for de to forsøgsgange.

Forbruget af olie og biogas som støttebrændsel under forsøget blev registreret i SRO-anlægget. Forbruget svarede til normalt forbrug.

TABEL 4. Støttebrændsel forbrug

Støttebrændsel	Enhed	Dag 1	Dag 2
Biogas	Nm ³	658	663
Olie	liter	72	107

Fluid-bed-ovnens nedre og øvre fribord samt kuplen i toppen af forbrændingskammeret ("dome") udgør efterforbrændingszonen, så temperaturerne her udgør efterforbrændingstemperaturen. Gennemsnitstemperaturerne er vist i bilag 1 og gengives nedenfor. De lå stabilt på begge forsøgsgange med en spredning på gennemsnittet på 1 til 7 grader. Dette viser, at kravet om mindst 850°C har været overholdt under hele forsøgsperioden.

TABEL 5. Temperatur, målt i °C

Temperaturmålers placering	Dag 1	Dag 2
Dome	877	867
Øvre fribord	887	883
Nedre fribord	877	876

8. Resultater

Resultaterne for PFAS-4, PFAS-21, fluor og kulstof opsummeres i dette kapitel, da det er disse fire parametre, der er opstillet massebalancer for i næste kapitel.

Hvor resultatet var lavere end kvantifikationsgrænsen, er det angivet som "< Værdi for kvantifikationsgrænse".

De bagvedliggende resultater foreligger som:

- Udtræk fra anlæggets SRO-system i form af logninger med ca. 2 minutters interval. På baggrund heraf er værdier for hver forsøgsdag beregnet. Udvalgte værdier for anlægsdata for forsøgsdagene er vist i Bilag 1.
- Analyserapporter for forsøgsslam, cyklonaske og posefilteraske. Analyserapporterne foreligger som særskilte filer, der er fremsendt til Miljøstyrelsen. De er gengivet i bilag 2.
- Rapport over røggasmålinger foreligger som særskilte filer, der er fremsendt til Miljøstyrelsen (Pedersen, 2024) og (Bræstrup, 2024). Uddrag er vist i bilag 3 og i teksten i dette kapitel.
- Manuelt udfyldte måleskemaer (Ikke vedlagt).

I rapporten her vises uddrag af analyserapporterne. De fulde analyserapporter er fremsendt til Miljøstyrelsen og kan rekvireres efter anmodning til Miljøstyrelsen.

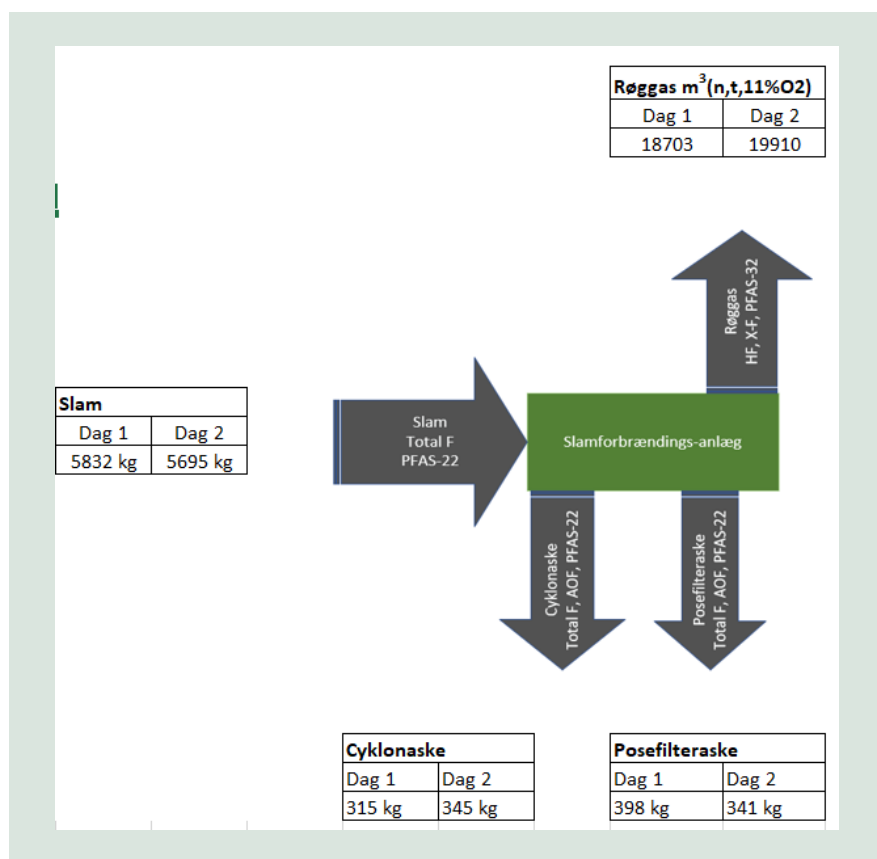


FIGUR 7. Prøver udtaget til analyse

8.1 Resultater for materialemængder

De ind- og udgående mængder af forsøgsslam, cyklonaske, posefilteraske og røggas var vigtige størrelser, da de skulle multipliceres med de målte og analyserede koncentrationer for at kunne opstille massebalancerne. Strømmenes størrelser blev gjort op for de tidsperioder, målt i minutter, som forsøgene varede de enkelte forsøgsdage. På FIGUR 8 kan størrelserne ses.

I kulstofbalancen, som sættes op i senere afsnit, er bidraget fra støttebrændsel (olie og biogas) fratrasket røggassens CO₂-indhold. Mængderne af forbrugt olie og biogas præsenteres derfor ikke i resultaterne for materialemængder i dette afsnit.



FIGUR 8. Massestrømme hvori fluorforbindelser kan forekomme: Forsøgsslam, cyklonaske, posefilteraske og røggas på forsøgsgdag 1 og 2. Mængderne for forsøgsslam, cyklonaske og posefilteraske er angivet som vægt per forsøgsgdag og de er inklusiv vandindhold. Røggasmængden er i normal-kubikmeter tør ved et referenceoxygenindhold på 11 % oxygen, ligeledes per forsøgsgdag.

De målte og analyserede koncentrationer angives i de følgende tabeller for forsøgsslam, cyklonaske, posefilteraske og røggas.

8.2 Resultater for forsøgsslam

Resultaterne for indhold i forsøgsslammet for de to forsøgsgdage ses af tabellen nedenfor. Til brug for kulstofbalancen i senere afsnit er kulstof i slam bestemt ud fra glødetab på tørstof, idet kulstof i slammet kan forekomme som såvel organisk kulstof i form af C-H-forbindelser og som uorganisk i form af bl.a. karbid, svovlkulstof og som grundstof, C. Analyseparameteren TOC omfatter kun organisk kulstof, mens bortglødeligt omfatter dem alle. Bortglødeligt omfatter imidlertid også nitrogen i tørstof, som derfor må fratrækkes tallet for bortglødeligt. Bemærk at for at gå fra % til g/kg tørstof ganges der med 10.

$$(\text{Glødetab \% af tørstof} - \text{N-indhold \% af tørstof}) \times 10 = \text{kulstof i slam g/kg tørstof}$$

For PFAS-4 og PFAS-21 var koncentrationen af nogle af enkeltstofferne over kvantifikationsgrænsen, LQ, mens andre var under.

- "PFAS-4" angiver summen af de PFAS, der havde en værdi over kvantifikationsgrænsen.
- "PFAS-4 inkl. LQ" angiver summen inklusiv talværdien for kvantifikationsgrænsen.

Tilsvarende for PFAS-21.

TABEL 6. Forsøgsslam resultater

Parameter	Enhed	Dag 1	Dag 2
PFAS-4	µg/kg ts.	9,7	9,7
PFAS-4 inkl. LQ	µg/kg ts.	< 9,8	< 9,8
PFAS-21	µg/kg ts.	12	14
PFAS-21 inkl. LQ	µg/kg ts.	< 24	< 26
Fluor	mg/kg ts.	320	370
Glødetab på tørstof	% ts.	71	70
N fra Sydkysten analyse	% ts.	5,9	5,9
Kulstof beregnet	g/kg ts.	651	641
Tørstof (SS-EN-metode)	%	18,5	18,5
Tørstof (DS/EN-metode)	%	19	18
Tørstof (L8:DIN EN metode)	% (w/w)	18,3	17,9
Vandindhold	%	81,6	82

8.3 Resultater for cyklonaske

Resultaterne for indhold i cyklonasken for de to forsøgsg dage ses af tabellen nedenfor. Ingen af de analyserede PFAS havde en værdi, der var større end detektionsgrænsen. Laboratoriet har ikke angivet kvantifikationsgrænsen for askeprøverne.

TABEL 7. Cyklonaske resultater

Parameter	Enhed	Dag 1	Dag 2
PFAS-4 inkl. DL	µg/kg ts.	< 0,12	< 0,12
PFAS-21 inkl. DL	µg/kg ts.	< 4,23	< 4,23
Fluor	% (w/w)	0,035	0,007
Adsorberbar organisk fluor (AOF)	mg/l	< 0,001	< 0,001
TOC, total org. kulstof	mg/kg ts.	660	600

8.4 Resultater for posefilteraske

Resultaterne for indhold i posefilterasken for de to forsøgsg dage ses af tabellen nedenfor. Ingen af de analyserede PFAS havde en værdi, der var større end detektionsgrænsen. Laboratoriet har ikke angivet kvantifikationsgrænsen for askeprøverne.

TABEL 8. Posefilteraske resultater

Parameter	Enhed	Dag 1	Dag 2
PFAS-4 inkl. DL	µg/kg ts.	< 0,12	< 0,12
PFAS-21 inkl. DL	µg/kg ts.	< 4,23	< 4,23
Fluor	% (w/w)	0,015	0,005
Adsorberbar organisk fluor (AOF)	mg/l	< 0,001	< 0,001
TOC, total org. kulstof	mg/kg ts.	9.900	18.000

8.5 Resultater for røggas inkl. nedbrydningsprodukter

Resultaterne for indhold af PFAS, HF og kulstof i form af CO₂ i røggassen for de to forsøgsg dage ses af tabellen nedenfor. Yderligere detaljer for PFAS kan ses i bilag 3. Røggassens indhold af CO blev målt dag 1 samtidig med måling af nedbrydningsprodukter. CO-koncentrationen var lav (mindre end 10 mg/Nm³, tør 11 vol %O₂), hvilket bekræfter, at den i forhold til kul-

stofbalancen kan ses som negligerbar. Resultaterne for indhold af nedbrydningsprodukter omtales efter tabellen. Ingen af de analyserede PFAS havde en værdi, der var større end detektionsgrænsen, og dermed heller ikke større end kvantifikationsgrænsen.

TABEL 9. Resultater for røggas

Parameter	Enhed	Dag 1	Dag 2
PFAS-4 inkl. LQ	µg/Nm ³ , tør 11vol %O ₂	< 0,001	< 0,001
PFAS-32 inkl. LQ	µg/Nm ³ , tør 11vol %O ₂	< 0,02	< 0,02
PFAS-21 inkl. LQ	µg/Nm ³ , tør 11vol %O ₂	< 0,01	< 0,01
HF	mg/Nm ³ , tør 11vol %O ₂	< 0,2	< 0,2
CO	mg/Nm ³ , tør 11vol %O ₂	10	-
CO ₂	Vol %, tør	6,7	6,9

Røggaskoncentrationen af enkelt-stoffet PFOS (perfluorooctansulfonat) blev målt til < 0,0003 µg/Nm³, tør 11 vol % O₂.

De udtagne prøver af røggas, der i laboratoriet blev analyseret for nedbrydningsprodukter, indeholdt primært en række velkendte forbrændingsgasser (O₂, CO₂, CO m.fl.) og meget lave koncentrationer af enkelte andre forbindelser (bl.a. en C₄H₈-forbindelse). Resultaterne er givet i

TABEL 10 .

TABEL 10. Resultat for nedbrydningsprodukter (Bræstrup, 2024)

Forbindelse	Resultat
1-fluoromethan CH ₃ F	Kan ikke vurderes*
1,1-difluoromethan CH ₂ F ₂	Ikke detekteret
1,1,1-trifluoromethan CHF ₃	Ikke detekteret
Tetrafluoromethan CF ₄	Ikke detekteret
1-fluoroethan CH ₃ CH ₂ F	Ikke detekteret
1,1-difluoroethan CH ₃ CHF ₂	Ikke detekteret
1,2-difluoroethan CH ₂ FCH ₂ F	Kan ikke vurderes*
1,1,1-trifluoroethan CF ₃ CH ₃	Ikke detekteret
1,1,2-trifluoroethan CHF ₂ CH ₂ F	Ikke detekteret
1,1,1,2-tetrafluoroethan CF ₃ CH ₂ F	Ikke detekteret
1,1,2,2-tetrafluoroethan CHF ₂ CHF ₂	Ikke detekteret
1,1,1,2,2-pentafluoroethan CF ₃ CHF ₂	Ikke detekteret
Hexafluoroethan CF ₃ CF ₃	Ikke detekteret
1-fluoropropan CH ₃ CH ₂ CH ₂ F	Kan ikke vurderes*
2-fluoropropan CH ₃ CH ₂ CHF ₂	Ikke detekteret
2,2-difluoropropan CH ₃ CF ₂ CH ₃	Ikke detekteret
1,1,2,2-tetrafluoropropan CHF ₂ CF ₂ CH ₃	Ikke detekteret
Octafluoropropan CF ₃ CF ₂ CF ₃	Ikke detekteret

Note:* De karakteristiske ioner i forbindelsens massespektrum er overlejet af de primære forbrændingsgasser i prøverne. Det er derfor ikke muligt at vurdere, hvorvidt gasarten findes i prøven, men der er ikke umiddelbart indikationer på det.

Ingen af de nedbrydningsprodukter, der blev analyseret for i røggassen, blev fundet i mængder, der gav signal over detektionsgrænsen. Dog fandtes et svagt signal fra to forskellige kulbrinter, benævnt komponent A og B. Forbindelsen for komponent A kunne ikke identificeres med sikkerhed, men signalet kan stamme fra acetone eller en anden keton. Komponent B har ligeledes ikke kunnet identificeres med sikkerhed, men er sandsynligvis en kulbrinte med sumformlen C_4H_8 , f.eks. cyclobutan eller isobutylen. De to kulbrinter var således sandsynligvis ikke fluorholdige.

Antallet af dannede ioner kan variere for hver forbindelse. Forholdet mellem forskellige kemiske forbindelsers respons er derfor ikke et direkte udtryk for forholdet mellem disse forbindelsers koncentration i prøven. Da der ikke forefindes kalibreringsmaterialer for de analyserede forbindelser og de ligeledes ikke er detekteret i prøverne, kan detektionsgrænse for de enkelte stoffer ikke opgives eksakt. Metoden vil dog typisk have en nedre detektionsgrænse på ca. 1 ppm, men kan for nogen stoffer være lavere.

9. Opstilling af massebalance for PFAS og fluorider

9.1 Massebalancer

For hver forsøgsdag er fire massebalancer beregnet og opstillet, for:

- PFAS-4
- PFAS-21
- Fluor
- Kulstof

For slamprøverne har laboratoriet angivet såvel detektionsgrænse (DL) som kvantifikationsgrænse (LQ). Hvor de målte koncentrationer var mindre end kvantifikationsgrænsen (LQ), er selve værdien for kvantifikationsgrænsen anvendt i massebalancerne og "<" (mindre end) er angivet foran værdien for massestrømmens værdi.

For askeprøverne har laboratoriet kun angivet detektionsgrænse (DL), men ikke kvantifikationsgrænsen (LQ). Hvor de målte koncentrationer var mindre end detektionsgrænsen for aske og røggas, er selve værdien for detektionsgrænsen anvendt i massebalancerne og "<" (mindre end) er angivet foran værdien for massestrømmens værdi.

For røggasprøverne har laboratoriet angivet detektionsgrænse (DL), for HF og kvantifikationsgrænse (LQ) for PFAS. I begge tilfælde er selve værdien for detektionsgrænsen eller kvantifikationsgrænsen anvendt i massebalancerne og angivet med "<" (mindre end) foran massestrømmens værdi.

Det bemærkes, at massestrømmene var af meget forskellig størrelse og derfor er angivet i forskellige enheder for de forskellige stoftyper. PFAS-forbindelser var således af størrelsesordenen mg, mens fluor i HF blev målt i 1.000 gange højere mængder i løbet af forsøgsgangene, nemlig i gram. Kulstof blev målt i kg.

9.1.1 Destruktionseffektivitet og destruktions-fjernelseseffektivitet

PFAS destrueres i større eller mindre grad ved forbrænding. Forskellen mellem den indgående mængde og de udgående mængder i cyklonaske, posefilteraske og røggas udtrykkes som en destruktionseffektivitet (DE) (UNEP Secretariat for Basel Convention, 2023) for henholdsvis PFAS-4 og PFAS-21:

$$DE = \frac{PFAS \text{ tilført} - \text{Sum af al PFAS fraført}}{PFAS \text{ tilført}} * 100 \%$$

Derudover beregnes forskellen mellem den indgående mængde og den udgående mængde i røggas som en procentdel i forhold til indgående mængde. Denne størrelse kaldes "Destruction and Removal Efficiency (DRE)", (UNEP Secretariat for Basel Convention, 2023) eller på dansk: Destruktions- og fjernelseseffektivitet.

$$DRE = \frac{PFAS \text{ tilført} - PFAS \text{ fraført med røggas}}{PFAS \text{ tilført}} * 100 \%$$

Fluor (F) og kulstof (C) er begge grundstoffer og destrueres derfor *ikke* ved forbrænding. Derfor anvendes ordlyden "Præcision af balance".

9.1.2 PFAS-4

En massebalance for PFAS-4 er opstillet i nedenstående tabel.

TABEL 11. PFAS-4 i mg per forsøgsdag

Massestrøm	Dag 1 Værdi, mg	Dag 1 Usikkerhed, %	Dag 2 Værdi, mg	Dag 2 Usikkerhed, %
Ind				
Forsøgsslam	< 10,5	36 %	< 10,4	36 %
Ud				
Cyklonaske	< 0,037	14 %	< 0,041	14 %
Posefilteraske	< 0,047	15 %	< 0,040	15 %
Røggas	< 0,019	21 %	< 0,020	21 %
Sum, Ud	< 0,103	n/a	< 0,101	n/a
Destruktionsgrader				
Destruktion, DE	> 99,0 %	n/a	> 99,0 %	n/a
DRE	> 99,82 %	n/a	> 99,81 %	n/a

9.1.3 PFAS-21

En massebalance for PFAS-21 er opstillet i nedenstående tabel.

TABEL 12. PFAS-21 i mg per forsøgsdag

Massestrøm	Dag 1 Værdi, mg	Dag 1 Usikkerhed, %	Dag 2 Værdi, mg	Dag 2 Usikkerhed, %
Ind				
Forsøgsslam	< 26,1	36 %	< 27,4	36 %
Ud				
Cyklonaske	< 1,319	14 %	< 1,459	14 %
Posefilteraske	< 1,667	15 %	< 1,416	15 %
Røggas	< 0,187	19 %	< 0,199	19 %
Sum, Ud	< 3,173	n/a	< 3,075	n/a
Destruktionsgrader				
Destruktion, DE	> 87,8 %	n/a	> 88,8 %	n/a
DRE	> 99,28 %	n/a	> 99,27 %	n/a

9.1.4 Fluor og fluorholdige nedbrydningsprodukter

En massebalance for fluor-andelen af andre fluorforbindelser end PFAS er opstillet i nedenstående tabel. Ingen af de fluorholdige nedbrydningsprodukter, der blev analyseret for, blev fundet i mængder, der gav signal over detektionsgrænsen. Dog fandtes et svagt signal fra to forskellige kulbrinter, men ingen af de to kulbrinter var fluorholdige. Detektionsgrænsen for de analyserede stoffer kan ikke opgives eksakt, da der ikke findes kalibreringsmaterialer for forbindelserne, men metoden vil dog typisk have en nedre detektionsgrænse på ca. 1 ppm, for nogle stoffer dog lavere. På grund af det svage signal er her kun set på detektionsgrænsen og ikke kvantifikationsgrænsen.

TABEL 13. Fluor, F i g per forsøgsdag

Massestrøm	Dag 1 Værdi, g	Dag 1 Usikkerhed, %	Dag 2 Værdi, g	Dag 2 Usikkerhed, %
Ind				
Forsøgsslam	341,52	16 %	389,84	13 %
Ud				
Cyklonaske	109,15	16 %	24,15	16 %
Posefilteraske	59,10	16 %	130,60	16 %
Røggas	3,74	19 %	3,98	19 %
Sum, Ud	171,99	n/a	158,73	n/a
Præcision				
Præcision af balance	49,6 %	n/a	59,3 %	n/a

9.1.5 Kulstof

En massebalance for kulstof er opstillet i nedenstående tabel. Bidraget til røggassens CO₂-indhold fra biogas, olie og bicarbonat er fratrasket røggassens CO₂-indhold. Derved vedrører kulstofbalancen kun slamforbrændingen og ikke forbrændingen af biogas og olie samt CO₂ fra bicarbonaten.

TABEL 14. Kulstof, C, i kg per forsøgsdag. *CO₂ fra støttebrændsler og bicarbonat er fratrasket den viste værdi for røggassen

Massestrøm	Dag 1 Værdi kg	Dag 1 Usikkerhed %	Dag 2 Værdi kg	Dag 2 Usikkerhed %
Ind				
Forsøgsslam	694,8	16 %	675,4	16 %
Ud				
Cyklonaske	0,206	18 %	0,207	18 %
Posefilteraske	3,901	18 %	6,028	18 %
Røggas*	692,7	21 %	735,6	21 %
Sum, Ud	696,8	n/a	741,9	n/a
Bhc hvad her				
Præcision af balance	-0,3 %	n/a	-9,8 %	n/a

10. Diskussion af massebalancer

Formålet med massebalancerne er at få et indtryk af, om PFAS destrueres ved forbrænding. Massebalancerne hviler på et stort antal målinger og analyser, som hver især er behæftet med usikkerhed. I det følgende diskuteres usikkerheden og hvad, der kan vises, om destruktion af PFAS.

10.1 Vurdering af usikkerhed på de udførte massebalancer

Laboratorierne har angivet usikkerheder for de målte og analyserede parametre, og disse er anvendt ved beregningen af de viste usikkerheder. Derudover er der udført kontrolberegninger for at sandsynliggøre de målte og rapporterede værdier.

Således er f.eks. røggasflow målt både med anlægsinstrument, laboratoriernes instrumenter og beregnet ud fra de indfyrede mængder af slam, biogas og olie. Et andet eksempel er, at CO₂ og O₂ blev målt af begge laboratorier.

Sådanne kontrolberegninger er foretaget, hvor det var praktisk muligt. Kontrolberegningerne viste god overensstemmelse.

Generelt afføder slamanalyserne en større usikkerhed end analyserne i de øvrige massestrømme. Årsagen er, at slamanalyserne foretages i vådt slam, hvorefter analyserne ganges op i forhold til den lave tørstofprocent i slammet. Det vil sige, når tørstofindholdet lå på under 19 %, så ganges analyseresultatet med lidt over 5 til tør værdi. Herved ganges usikkerheden/fejlen også op. Dette afspejler sig tydeligst i balancerne for fluor og kulstof.

Fluor og kulstof er grundstoffer, så den mængde, der kommer ind, bør også komme ud eller blive ophobet i anlægget.

Fluorbalancen stemmer mindre godt. Fluor er vanskeligt at opstille balance for, da fluor er meget reaktivt og kan danne andre fluorforbindelser end de her analyserede. De analyserede fluor-mængder var forholdsvis tæt på kvantifikationsgrænsen, hvilket yderligere vanskeliggør en massebalance.

Massebalancen for kulstof stemmer godt.

På denne baggrund konkluderes det, at massestrømmene er målt med en tilfredsstillende nøjagtighed og kan anvendes til at vurdere destruktionsgraden af PFAS.

10.2 Vurdering af i hvilket omfang der sker destruktion af PFAS ved forbrænding

Resultater og beregninger fra forsøget har inkluderet talværdien for kvantifikationsgrænserne eller detektionsgrænserne (alt efter hvad laboratoriet har opgivet, jf. afsnit 9.1) for de enkelte PFAS-stoffer. Det betyder, at der er set på worst-case.

Ved forsøget viste det sig, at

- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99 % målt som destruktionseffektivitet (DE)
- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99,82 og 99,81 på dag 1 og dag 2 målt som destruktions- og fjernelseseffektivitet (DRE)

Tilsvarende viste det sig at

- PFAS-21 blev destrueret med mindst 87,8 % og 88,8 % på dag 1 og 2 målt som destruktions-effektivitet (DE)
- PFAS-21 blev destrueret med mindst 99,28 % og 99,27 % på dag 1 og 2 målt som destruktions- og fjernelseseffektivitet (DRE).

DE er som tidligere nævnt forskellen mellem PFAS tilført og alt PFAS fraført i forhold til PFAS tilført.

DRE er forskellen mellem PFAS tilført og PFAS fraført med røggassen i forhold til PFAS tilført.

På grund af laboratoriets grænser for, hvor lave koncentrationer, der kunne analyseres for, kan destruktionsgraden ikke angives mere præcist. Størrelsen af ovenstående destruktionsgrader og destruktions- og fjernelsesgrader afhænger nemlig i det væsentligste af laboratoriernes kvantifikationsgrænser og detektionsgrænser.

Havde kvantifikationsgrænserne og detektionsgrænserne været lavere, ville man kunne have bestemt en højere minimums-destruktionsgrad, med flere betydende cifre, eller også ville den præcise destruktionsgrad have kunnet blive bestemt. Tilsvarende for destruktions- og fjernelsesgraden.

Ved analyserne af forsøgsslammet havde tre PFAS-stoffer en detektionsgrænse på 1 µg/kg TS og en kvantifikationsgrænse på 3 µg/kg TS. Det var væsentligt højere end detektions- og kvantifikationsgrænsen for de øvrige stoffer, så disse tre stoffer er vanskelige for laboratoriet at måle lave koncentrationer af. De tre stoffer var:

- PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)
- PFDoDS (Perfluordodecansulfonsyre)
- PFTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)

Danmark har (endnu) ingen grænseværdier for PFAS i udeluft. Fem stater i USA har grænseværdier for indhold af enkeltstoffet perfluorooctansyre (PFOA) i udeluft, nemlig Michigan, New Hampshire, New York, Minnesota og Texas. Texas har de laveste grænseværdier, nemlig 0,05 µg/m³ som 1-timegennemsnitsværdi, og 0,005 µg/m³ som års-gennemsnitsværdi. (Velthuisen, 2021). I Texas udtrykkes grænseværdierne i form af en såkaldt "Effect Screening Level".

Røggaskoncentrationen af enkelt-stoffet PFOA (perfluorooctansyre) blev ved forsøget målt til < 0,0003 µg/Nm³, tør 11 vol % O₂. Når røggas forlader en skorsten, sker der en spredning af røggassen, så den typisk fortyndes i størrelsesordenen 1.000 gange. Ved en sådan fortynding på 1.000 gange vil udeluftkoncentrationen være 0,000 000 3 µg/m³.

Det er mere end 10.000 gange lavere end Texas' års-gennemsnits-grænseværdi og mere end 100.000 gange lavere end 1-timesgennemsnitsgrænseværdien, udtrykt som de såkaldte Effect Screening Levels for udeluft i Texas.

Det vides ikke i skrivende stund, om og hvordan Texas' Effect Screening Level-grænseværdier kan sammenlignes med, hvordan danske luftgrænseværdier fastsættes.

Det vil være hensigtsmæssigt, hvis de danske myndigheder kan udarbejde relative potensfaktorer for PFAS i luft, baseret på humantoksikologi.

10.3 Vurdering af i hvilket omfang der sker udledning af mulige nedbrydningsprodukter via røggassen

Ingen af de nedbrydningsprodukter, der blev analyseret for i røggassen, blev fundet i mængder, der gav signal over detektionsgrænsen. Dog fandtes et svagt signal fra to forskellige kulbrinter. De kunne ikke identificeres med sikkerhed, men signalet for den ene forbindelse kunne stamme fra acetone eller en anden keton. Den anden er sandsynligvis en kulbrinte med sumformlen C_4H_8 , f.eks. cyclobutan eller isobutylen.

Stofferne kan eventuelt også tænkes at stamme fra uforbrændt organisk materiale fra slam eller måske olie, hvis der var kommet en større "klump" i slammet med ind i ovnen.

11. Beskrivelse af erfaringer af relevans for evt. tilsvarende forsøg på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg

I dette afsnit beskrives de opnåede erfaringer, der kan være relevante, hvis et tilsvarende forsøg med at forbrænde PFAS-holdigt affald skal gennemføres på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg.

11.1 Valg af analyseparametre

Det bør på forhånd besluttes hvilke PFAS og hvilke eventuelle nedbrydningsprodukter, man ønsker at analysere for. Beslutningen bør tages efter overvejelser om enkeltstofferne effekter på sundhed og miljø, samt efter dialog med analyselaboratorier, så man kender til de mulige analysemetoder og disses kvantifikations- og detektionsgrænser.

11.1.1 Ønske til påviselig destruktionsgrad

Ønske til hvor høj en destruktionsgrad for PFAS man ønsker at kunne påvise, hænger sammen med valg af affald, hvor stor andel af indfødte mængde, der eventuelt skal være affald med kendt PFAS-indhold (forsøgsaffald), og krav til kvantifikationsgrænser. Disse forhold kan derfor med fordel planlægges i samme arbejdsangang.

Erfaring fra dette studie viser, at en god måde at gøre det på, er at opstille en "baglæns" massebalance, hvor man tager udgangspunkt i, hvor høj en destruktionsgrad, man gerne vil kunne eftervise. Vil man være tilfreds med at kunne vise, at destruktionsgraden er mindst 90 %? Eller ønsker man at kunne vise mindst 98 % eller måske mindst 99 % destruktionsgrad?

Før man lægger sig helt fast, bør man undersøge, hvor højt PFAS-indhold, tilgængelige affaldsfraktioner har. Måske skal flere leverandører kontaktes.

Ved at forsøge sig frem med forskellige scenarier i den baglæns massebalance, kan man nå frem til hvilke størrelser, der vil være realistiske at opnå, og hvilken destruktionsgrad, man kan forvente at kunne eftervise.

11.1.2 Målestrategi

Affaldsforbrændingsanlæg er meget robuste og kan brænde meget forskelligartet affald, hvor affaldets brændværdi, størrelse og indholdsstoffer kan variere meget.

Ved et forsøg vil man dog næppe indfyre 100 % forsøgsaffald, men måske nærmere 10 eller 20 %. Dette for at sikre, at anlæggets forbrændingsforhold trods alt ikke forstyrres så meget, at forbrændingen ikke længere er repræsentativ for almindelig forbrænding. Der er imidlertid den udfordring, at affald er så inhomogent, og det ikke er praktisk muligt at tage prøver af affald. Det skal overvejes, hvordan dette kan håndteres.

Det kan overvejes, om man f.eks. udfører målinger først med almindeligt affald alene, dernæst med indføddning af udvalgte affaldsfraktioner med kendt PFAS-indhold (forsøgsaffald) og i kendt mængde og dernæst igen med affald alene. Måling i en periode før og efter perioden, hvor forsøgsaffald indføddes, vil kunne dokumentere et normalt PFAS-niveau i udgående

strømme ved fyring med affald. Målingen efter vil (forhåbentlig) også kunne bruges til at vise, at der ikke er nogen målbar memory-effekt efter en periode med et forhøjet niveau af PFAS inde i anlægget.

11.1.3 Valg af anlæg

11.1.3.1 Størrelse

Jo større anlæg, man vælger, jo mere forsøgsaffald skal der bruges til et forsøg, hvilket er u hensigtsmæssigt. Et meget lille anlæg er måske ikke repræsentativt for branchen. En passende balance bør findes.

11.1.3.2 Røgrensningssystem

Affaldsforbrændingsanlæg har forskellige typer af røgrensningssystemer og har derfor forskellige strømme ud af disse: Våde røgrensningssystemer har spildevand, som ofte får en efterbehandling, hvor tungmetaller fældes, så de udgående strømme består af såvel rensset spildevand som af bundfald inklusiv fældningskemikalier – altså to udgående strømme fra ét rensningssystem. Tør og semitør røgrensning har andre typer udgående strømme. Det bør overvejes, om nogle af disse er mindre komplicerede at bestemme vægten af og udtage prøver fra. Desuden bør det overvejes, om de laveste kvantifikationsgrænser kan opnås i f.eks. spildevand eller i restprodukt fra tør eller semitør røgrensning.

11.1.3.3 Mulighed for indfødning af kendt mængde forsøgsaffald

Det vil være mest hensigtsmæssigt, hvis det valgte forsøgsaffald kan håndteres med grab ligesom almindeligt affald kan.

Der vil være behov for at vide, hvor meget, der indfyres i forhold til almindeligt affald.

Det kan give behov for enten at kunne etablere en særskilt bunke i affaldssiloen, hvor kranoperatøren kan tage f.eks. hver femte eller hver tiende grabfuld fra. Eller der kan være behov for at have et særskilt indfødningssystem udenom affaldssiloen. Disse overvejelser bør indgå i valget af anlæg.

Ved nærværende projekt blev der brugt en del kræfter på at planlægge, hvordan indfødning af slam i slamforbrændingsanlæg kunne foregå. Ved et eventuelt projekt med forsøgsaffald på et affaldsforbrændingsanlæg kan eventuelle erfaringer fra forbrændingsanlæg, som har erfaring med forbrænding af særlige affaldstyper, såsom hospitalsaffald, inddrages. Dette vil eventuelt kunne ske via kontakt med brancheforeningen.

11.1.4 Forberede anlæg for prøvetagning og dataudtræk

Måske skal der udtages prøver under forsøget fra materialestrømme, hvor man ikke normalt tager prøver. Så må prøvesteder etableres. Desuden må det aftales, hvor de udtagne prøver kan opbevares sikkert i løbet af forsøgsgangene, indtil de afsendes til laboratorie.

Det bør ligeledes afklares, om anlæggets SRO-system kan levere de nødvendige dataudtræk, eller om særskilte dataudtræk skal forberedes.

11.1.5 Prøveplan

En god hjælp ved dette forsøg var, at en prøveplan på forhånd var udarbejdet, så forsøgets deltagere hver især kendte deres opgaver før, under og efter forsøgsgangene.

11.1.6 Mulighed for dialog med opdragsgiver

Ved dette forsøg var der dialog med Miljøstyrelsen om forskellige spørgsmål. For at sikre fremdriften er det vigtigt, at en sådan dialog er mulig.

12. Sammenfattende konklusion

Sammenfattende må det siges, at projektet har opfyldt sine tre formål:

- at undersøge destruktionsgraden af PFAS
- at undersøge mulige nedbrydningsprodukter
- at opnå erfaringer til eventuelle nye forsøg.

12.1 Undersøge destruktionsgrad af PFAS

Graden af destruktion af PFAS skulle undersøges ved forbrænding af PFAS-holdigt spildevandsslam på et fuldskala anlæg, der drives ved en EBK-temperatur (temperatur i efterforbrændingskammer) på mindst 850°C.

For de to askefraktioner, cyklonaske og posefilteraske, samt for røggassen, var resultatet for alle målte PFAS lavere end detektionsgrænsen.

Projektet viste at

- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99 % målt som DE
- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99,82 og 99,81 på dag 1 og dag 2 målt som destruktions- og fjernelseeffektivitet, DRE

Tilsvarende viste det sig at

- PFAS-21 blev destrueret med mindst 87,8 % og 88,8 % på dag 1 og 2 målt som destruktions-effektivitet, DE
- PFAS-21 blev destrueret med mindst 99,28 % og 99,27 % på dag 1 og 2 målt som destruktions- og fjernelseeffektivitet, DRE.

DE er forskellen mellem PFAS tilført og alt PFAS fraført i cyklonaske, posefilteraske og røggas, i forhold til PFAS tilført.

DRE er forskellen mellem PFAS tilført og PFAS fraført med røggassen i forhold til PFAS tilført.

Der er en vis usikkerhed forbundet med beregningerne. Den største usikkerhed var ved bestemmelsen af værdierne for forsøgsslammets massestrømme. Usikkerheden var her et produkt af bestemmelsen af slammængden, bestemmelsen af slammets tørstofindhold og bestemmelsen af koncentrationen af PFAS. Den samlede usikkerhed vurderedes at være på 36 %. Usikkerheden på bestemmelse af cyklonaske og posefilteraske samt røggas var alle fra 14 % til 19 %.

Massebalancer for fluor og kulstof blev brugt for at få et indtryk af, hvor godt massestrømmene af slam, aske og røggas var bestemt.

Massebalancen for kulstof stemmer godt overens, hvilket indikerer, at massestrømmene af slam, aske og røggas var godt bestemt.

Fluorbalancen stemmer mindre godt. Fluor er vanskeligt at opstille balance for, da fluor er meget reaktivt og kan danne andre fluorforbindelser end de her analyserede. De analyserede fluor-mængder var forholdsvis tæt på kvantifikationsgrænsen, hvilket yderligere vanskeliggør en massebalance.

På denne baggrund konkluderes det, at massestrømmene er målt med en tilfredsstillende nøjagtighed og kan anvendes til at vurdere destruktionsgraden af PFAS.

På grund af laboratoriets grænser for hvor lave koncentrationer, der kunne analyseres for, kan destruktionsgraden ikke angives mere præcist. Størrelsen af ovenstående destruktionsgrader og destruktions- og fjernelsesgrader afhænger nemlig i det væsentligste af laboratoriernes kvantifikationsgrænser og detektionsgrænser.

Havde kvantifikationsgrænserne og detektionsgrænserne været lavere, ville man kunne have bestemt en højere minimums-destruktionsgrad, med flere betydende cifre, eller også ville den præcise destruktionsgrad have kunnet blive bestemt. Tilsvarende for destruktions- og fjernelsesgraden.

12.2 Mulige nedbrydningsprodukter af PFAS

Udledninger til luften af mulige nedbrydningsprodukter af PFAS (HF, CFCer mv.) er blevet undersøgt.

Ingen af de nedbrydningsprodukter, der blev analyseret for i røggassen, blev fundet i mængder, der gav signal over detektionsgrænsen. Detektionsgrænsen for de analyserede stoffer kan ikke opgives eksakt, da der ikke findes kalibreringsmaterialer for forbindelserne, men metoden vil dog typisk have en nedre detektionsgrænse på ca. 1 ppm, for nogle stoffer dog lavere. På grund af det svage signal er her kun set på detektionsgrænsen og ikke kvantifikationsgrænsen.

12.3 Erfaringer til brug for andre forsøg

Der er opnået erfaringer, der kan anvendes på et eventuelt kommende projekter om undersøgelse af destruktion af PFAS, herunder undersøgelse på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg. Erfaringerne omfatter valg af analyseparametre, ønske til påviselig destruktionsgrad, målestrategi, valg af anlæg, forberedelse af anlæg til forsøg, prøveplan og dialog undervejs.

13. Referencer

- Arnold, M. e. (22. Februar 2023). *Headache fractions in mixed municipal waste*. Hentet fra Eionet Portal: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2023-3-headache-fractions-in-mixed-municipal-waste>
- Bræstrup, F. (2024). *Notat: Måling af nedbrydningsprodukter fra PFAS i røggas fra termisk behandling af slam*. Sagsnummer: 123-31309. Brøndby: August.
- Gaines, L. G. (7. December 2023). Historical and current usage of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A literature review. *Am J Ind Med*, s. 66: 353-378.
- Miljøagentur, E. (09. 09 2024). *Hvad er PFAS, og hvordan er de farlige for mit helbred?* Hentet fra Helpdesk FAQ: <https://www.eea.europa.eu/da/help/ofte-stillede-sporgsmal-faq/hvad-er-pfas-og-hvordan>
- Miljøstyrelsen. (2024). BEK nr 811 af 19/06/2024 . *Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger*. Lovtidende A.
- Miljøstyrelsen. (11. april 2024). Grænseværdier for PFAS i miljøet. Odense, Danmark.
- Pedersen, J. B. (2024). *Mølleåværket A/S. Præstationsmåling ved slamforbrændingen*. Sagsnr. 229577-151-122. Galten: Eurofins.
- UNEP Secretariat for Basel Convention. (May. 12 2023). General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants. *Addendum from Sixteenth meeting. Agenda item 4 (b) (i)*. UNEP/CHW.16/6/Add.1/Rev.1. Geneva: UNEP.
- 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/>

Bilag 1. Anlægsdata

Bilag 1.1 Anlægsdata, forsøgsdag 1 og 2

Beskrivelse	Enhed	Forsøg 1 2024-05-14 Gennemsnit	Forsøg 1 2024-05-14 Variation (spredning på gennemsnit)	Forsøg 2 2024-05-15 Gennemsnit	Forsøg 2 2024-05-15 Variation (spredning på gennemsnit)
Indfyret slam [kg] (beregnet)	kg/h	966,6	48	928,6	46
FO01-KB04-FLONM Gasflow slamforbrænding (0.0-120.0 Nm³/h)	Nm³/h	108,0	0,1	107,6	0,2
FO01-MV07-VIS Temperaturmåler, dome (0-900 °C)	°C	877,1	1,0	866,8	7,2
FO01-MV06-KAL Kalibreret tempe- raturmåler, øvre fribord (0-900 °C)	°C	887,0	0,8	883,4	4,4
FO01-MV05-VIS Temperaturmåler, nedre fribord (0-900 °C)	°C	876,5	2,1	875,6	7,2
FO01-middeltemperatur Tempera- turmåler, sandlag (0-900 °C)	°C	757,1	2,5	750,9	9,5
FO01-MI03-VIS Trykmåler, diff.tryk sandlag (0.0-40.0 mbar)	mbar	33,5	0,4	35,5	0,3
FO01-MI02-VIS Trykmåler, diff.tryk dysehvelving (0.0-140.0 mbar)	mbar	107,6	0,6	107,2	0,4
FO01-MF02-VIS (0-2500 Nm³/h)	Nm³/h	2.007	34	1.957	17
RQ01-OTEMPROGG-vis Temp røggas (0.0-250.0 °C)	°C	199,6	2,8	193,0	4,1
RQ01-OO2ROGG-vis O² røggas (0.0-25.0 %)	vol. %	9,36	1,46	9,19	1,22
RQ01-FLOWrøggas Røggas flow (0-7000 Nm³/h)	Nm³/h	5.877	338	5.712	256

Bilag 2. Analyseresultater for slam, cyklonaske og posefilteraske



Eurofins Miljø A/S
Ladelundvej 85
6600 Vejen
Danmark
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-28848196

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038345-01
Batchnr.: EUDKVE-24038345
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 16.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Slam					
Prøvetager:	Rekvirenten		MAST			
Prøveudtagning:	14.05.2024 kl. 10:33	til	14.05.2024 kl. 15:28			
Analyseperiode:	16.05.2024 - 09.07.2024					
Prøvemærke:						
Lab prøvenr:	835-2024-81365377	Enhed	DL	Metode	Urel (%)	Urel (%)
Tørstof	18.5	%	5	SS-EN 12880:2000 mod. Thermo gravimetri	A	5
Tørstof	19	%	0.05	DS/EN 15934:2012		15
Tørstof	18.3	%(w/w)	0.1	L8:DIN EN 14346:2007-03A; F5:DIN EN 15934:2012-11A	B	10
Glødetab på tørstof	71	% ts.	0.1	DS/EN 15935:2012		15
Uorganiske forbindelser						
Fluor total (F)	60	mg/kg rå produkt	50	DIN EN 14582: 2016-12 Beregning	B	
Fluor total (F)	320	mg/kg ts.	50	DIN EN 14582: 2016-12 Beregning	B	
Vandindhold	81.6	Ma.-% Raw Product	0.1	DIN EN 12880 (S2a): 2001-02	B	
Organiske samleparametre						
TOC, totalt org. kulstof	380000	mg/kg ts.	500	DS/EN 15936:2012 metode A Dumas (TCD)		15
PFAS-forbindelser						
PFBA (Perfluorbutansyre)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFPeA (Perfluorpentansyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFHxA (Perfluorhexansyre)	0.14	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFHpA (Perfluorheptansyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFOA (Perfluoroktansyre)	0.76	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	8.7	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	0.24	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFNA (Perfluornonansyre)	0.26	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	<0.65	µg/kg ts.	0.2	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFDA (Perfluordekansyre)	1.5	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	<3.3	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFDODA (Perfluordodekansyre)	0.37	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFDODS (Perfluordodekansulfonsyre)	<3.3	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36

Tegnforklaring:

<: mindre end

>: større end

#: ingen parametre er påvist

DL: Detektionsgrænse

*): Ikke omfattet af akkrediteringen

i.p.: ikke påvist

i.m.: ikke målelig

n): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

°): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 1 af 2

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038345-01
Batchnr.: EUDKVE-24038345
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 16.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Slam	
Prøvetager:	Rekvirenten	MAST
Prøveudtagning:	14.05.2024 kl. 10:33	til 14.05.2024 kl. 15:28
Analyseperiode:	16.05.2024 - 09.07.2024	

Prøvemærke:

Lab prøvenr:	835-2024-81365377	Enhed	DL	Metode	^{a)} Urel (%)
PFTrDA (Perfluortridekansyre)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	<3.3	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
Sum af PFOA,PFOS,PFNA og PFHxS	0.0097	mg/kg ts.		* Beregning	
Sum af PFOA,PFOS,PFNA og PFHxS	9.7	µg/kg ts.		* Beregning	
Sum af 22 PFAS	0.012	mg/kg ts.		* Beregning	
Sum af 22 PFAS	12	µg/kg ts.		* Beregning	

Oplysninger fra rekvirent

Prøvetagningsdato 1	10:33	*
Prøvetagningsdato 2	12:08	*
Prøvetagningsdato 3	13:25	*
Prøvetagningsdato 4	15:28	*
Antal delprøver	4	*
Produkttype	Slam	*

Underleverandør:

A: Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) (ISO/IEC 17025:2017 SWEDAC 1977)
B: Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiburg) (DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00)

835-2024-81365377 Prøvekommentar:

Prøven kunne ikke analyseres for AOF på grund af prøvens sammensætning.

Batchkommentar:

Detektionsgrænsen for PFAS forbindelser er hævet grundet prøvens høje vandindhold.

Kopi til:

NIRAS A/S, BHC@niras.dk, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk
NIRAS A/S, Peter Blinksbjerg, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk

09.07.2024

Kundecenter
Tlf: 70224231
iww@etn.eurofins.com

Salli H. Frandsen
Salli Holm Frandsen
Teamleder Eurofins, Miljø A/S

Tegnforklaring:

<: mindre end
>: større end
#: Ingen parametre er påvist
DL: Detektionsgrænse
*): Ikke omfattet af akkrediteringen
i.p.: ikke påvist
i.m.: ikke målelig
σ): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

^{a)} Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 2 af 2

Bilag 2.2 Cyklonaske Dag 1



Eurofins Miljø A/S
Ladelundvej 85
6600 Vejen
Danmark
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-28848196

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038317-01
Batchnr.: EUDKVE-24038317
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Aske					
Prøvetager:	Rekvirenten MAST					
Prøveudtagning:	14.05.2024 kl. 10:54 til 14.05.2024 kl. 15:32					
Analyseperiode:	15.05.2024 - 20.06.2024					
Kundeoplysninger:	Delprøverne er udtaget: 10:24, 12:27, 13:29 og 15:32					
Prøvemærke:	Cyklonaske					
Lab prøvernr:	835-2024-03831701	Enhed	DL	Metode	^{a)} Urel (%)	
Fluorid	35	mg/l	2	* DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07 IC-EC	B 12.14	
Tørstof	99.2	%	5	SS-EN 12880:2000 mod. Thermo gravimetri	A 5	
Tørstof	99.0	% (w/w)	0.1	L8:DIN EN 14346:2007-03A; F5:DIN EN 15934:2012-11A	B 10	
Tørstof	100	%	1	DS 204		20
Uorganiske forbindelser						
Fluor total (F)	0.035	% (w/w) ts.	0.005	* DIN EN 14582: 2016-12 IC-EC	B	
Organiske samleparametre						
AOE (Adsorberbar Organisk Fluor)	< 0.001	mg/l	0.001	* Internal Method SAA-H-AOE.010: 2018-11 IC-EC	B	
TOC, totalt org. kulstof	660	mg/kg ts.	500	DS/EN 15936:2012 metode A Dumas (TCD)		15
PFAS-forbindelser						
PFBA (Perfluorbutansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFPeA (Perfluorpentansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFHxA (Perfluorhexansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFHpA (Perfluorheptansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFOA (Perfluoroktansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFNA (Perfluornonansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	<0.20	µg/kg ts.	0.2	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFDA (Perfluordekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFDS (Perfluordekane-sulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	
PFDoDS (Perfluordodecansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36	

Tegnforklaring:

<: mindre end *) Ikke omfattet af akkrediteringen
>: større end i.p.: ikke påvist
#: ingen parametre er påvist i.m.: ikke målelig
DL: Detektionsgrænse u): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

o): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 1 af 2

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038317-01
Batchnr.: EUDKVE-24038317
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analysereport

Prøvetype:	Aske				
Prøvetager:	Rekvirenten	MAST			
Prøveudtagning:	14.05.2024 kl. 10:54	til	14.05.2024 kl. 15:32		
Analyseperiode:	15.05.2024 - 20.06.2024				
Kundeoplysninger:	Delprøverne er udtaget: 10:24, 12:27, 13:29 og 15:32				
Prøvemærke:	Cyklonaske				
Lab prøvenr:	835-2024-03831701	Enhed	DL.	Metode	^{a)} Urel (%)
PFTTrDA (Perfluoridekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFTTrDS (Perfluoridekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
Sum af PFAS4 excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A
Sum af PFAS excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A

Underleverandør:

A: Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) (ISO/IEC 17025:2017 SWEDAC 1977)
B: Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg) (DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00)

Kopi til:

NIRAS A/S, BHC@niras.dk, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk
NIRAS A/S, Peter Blinksbjerg, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk

20.06.2024

Kundecenter
Tlf: 70224231
iww@etn.eurofins.com


Lisa Lasota
Kunderådgiver Eurofins, Miljø

Tegnforklaring:

<: mindre end
>: større end
#: ingen parametre er påvist
DL: Detektionsgrænse
*): Ikke omfattet af akkrediteringen
i.p.: ikke påvist
i.m.: ikke målelig
a): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.
°): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 2 af 2

Bilag 2.3 Posefilteraske Dag 1



Eurofins Miljø A/S
Ladelundvej 85
6600 Vejen
Danmark
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-28848196

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038307-01
Batchnr.: EUDKVE-24038307
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Aske				
Prøvetager:	Rekvirenten MAST				
Prøveudtagning:	14.05.2024 kl. 10:58 til 14.05.2024 kl. 15:35				
Analyseperiode:	15.05.2024 - 14.06.2024				
Kundeoplysninger:	delprøverne er udtaget kl 10:58, 12:30, 13:32 og 15:35				
Prøvemærke:	Filteraske				
Lab prøvenr:	835-2024-03830701	Enhed	DL	Metode	^{a)} Urel (%)
Fluorid	< 2.0	mg/l	2	* DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07 IC-EC	B 12.14
Tørstof	99.6	%	5	SS-EN 12880:2000 mod. Thermo gravimetri	A 5
Tørstof	99.9	% (w/w)	0.1	L8:DIN EN 14346:2007-03A; F5:DIN EN 15934:2012-11A	B 10
Tørstof	100	%	1	DS 204	20
Uorganiske forbindelser					
Fluor total (F)	0.015	% (w/w) ts.	0.005	* DIN EN 14582: 2016-12 IC-EC	B
Organiske samleparametre					
AOE (Adsorberbar Organisk Fluor)	< 0.001	mg/l	0.001	* Internal Method SAA-H-AOE.010: 2018-11 IC-EC	B
TOC, totalt org. kulstof	9900	mg/kg ts.	500	DS/EN 15936:2012 metode A Dumas (TCD)	15
PFAS-forbindelser					
PFBA (Perfluorbutansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeA (Perfluorpentansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxA (Perfluorhexansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpA (Perfluorheptansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOA (Perfluoroktansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNA (Perfluorononansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNS (Perfluorononansulfonsyre)	<0.20	µg/kg ts.	0.2	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDA (Perfluordekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36

Tegnforklaring:

<: mindre end
>: større end
#: ingen parametre er påvist
DL: Detektionsgrænse

*) Ikke omfattet af akkrediteringen
i.p.: ikke påvist
i.m.: ikke målelig
u): udført af underleverander

Urel (%): Ekspanderede relative målesikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

o): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 1 af 2

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038307-01
Batchnr.: EUDKVE-24038307
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Aske					
Prøvetager:	Rekvirenten	MAST				
Prøveudtagning:	14.05.2024 kl. 10:58	til	14.05.2024 kl. 15:35			
Analyseperiode:	15.05.2024 - 14.06.2024					
Kundeoplysninger:	delprøverne er udtaget kl 10:58, 12:30, 13:32 og 15:35					
Prøvemærke:	Filteraske					
Lab prøvenr:	835-2024-03830701	Enhed	DL	Metode	Urel (%)	
PFTDA (Perfluoridekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFTDS (Perfluoridekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
Sum af PFAS4 excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	
Sum af PFAS excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	

Underleverandør:

A: Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) (ISO/IEC 17025:2017 SWEDAC 1977)
B: Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg) (DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00)

Kopi til:

NIRAS A/S, BHC@niras.dk, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk
NIRAS A/S, Peter Blinksbjerg, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk

14.06.2024

Kundecenter
Tlf: 70224231
iww@etn.eurofins.com


Kirsten From Jensen
Senior Kunderådgiver
Eurofins, Miljø

Teanforklaring:

<: mindre end *) Ikke omfattet af akkrediteringen
>: større end i.p.: ikke påvist
#: ingen parametre er påvist i.m.: ikke målelig
DL: Detektionsgrænse n): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

°): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 2 af 2

Bilag 2.4 Slam Dag 2



Eurofins Miljø A/S
Ladelundvej 85
6600 Vejen
Danmark
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-28848196

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038342-01
Batchnr.: EUDKVE-24038342
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Slam				
Prøvetager:	Rekvirenten MAST				
Prøveudtagning:	15.05.2024 kl. 08:56 til 15.05.2024 kl. 13:28				
Analyseperiode:	15.05.2024 - 09.07.2024				
Prøvemærke:					
Lab prøver:	835-2024-81365378	Enhed	DL	Metode	^{a)} Urel (%)
Fluorid	s	mg/l	2	* DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07 IC-EC	B 12.14
Tørstof	18.5	%	5	SS-EN 12880:2000 mod. Thermo gravimetri	A 5
Tørstof	18	%	0.05	DS/EN 15934:2012	15
Tørstof	17.9	% (w/w)	0.1	L8:DIN EN 14346:2007-03A; F5:DIN EN 15934:2012-11A	B 10
Glødetab på tørstof	70	% ts.	0.1	DS/EN 15935:2012	15
Uorganiske forbindelser					
Fluor total (F)	66	mg/kg rå produkt	50	DIN EN 14582: 2016-12 Beregning	B
Fluor total (F)	370	mg/kg ts.	50	DIN EN 14582: 2016-12 Beregning	B
Vandindhold	82.0	Ma.-% Raw Product	0.1	DIN EN 12880 (S2a): 2001-02	B
Organiske samleparametre					
TOC, totalt org. kulstof	370000	mg/kg ts.	500	DS/EN 15936:2012 metode A Dumas (TCD)	15
PFAS-forbindelser					
PFBA (Perfluorbutansyre)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	1.0	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeA (Perfluorpentansyre)	0.11	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxA (Perfluorhexansyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpA (Perfluorheptansyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOA (Perfluoroktansyre)	0.76	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	8.6	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	0.22	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNA (Perfluorononansyre)	0.37	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNS (Perfluorononansulfonsyre)	<0.65	µg/kg ts.	0.2	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDA (Perfluordekansyre)	1.9	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	<0.098	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	0.43	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)	<3.3	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36

Tegnforklaring:

<: mindre end *) Ikke omfattet af akkrediteringen
>: større end i.p.: ikke påvist
#: ingen parametre er påvist i.m.: ikke målelig
DL: Detektionsgrænse *) udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.
°): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 1 af 2

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038342-01
Batchnr.: EUDKVE-24038342
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analysereport

Prøvetype:	Slam	
Prøvetager:	Rekvirenten	MAST
Prøveudtagning:	15.05.2024 kl. 08:56	til 15.05.2024 kl. 13:28
Analyseperiode:	15.05.2024 - 09.07.2024	

Prøvemærke:						
Lab prøvenr:	835-2024-81365378	Enhed	DL.	Metode	ⁿ⁾ Urel (%)	
PFDODA (Perfluordodekansyre)	0.54	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFDODS (Perfluordodekansulfonsyre)	<3.3	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFTrDA (Perfluortridekansyre)	<0.33	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	<3.3	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
Sum af PFOA,PFOS,PFNA og PFHxS	0.0097	mg/kg ts.		* Beregning		
Sum af PFOA,PFOS,PFNA og PFHxS	9.7	µg/kg ts.		* Beregning		
Sum af 22 PFAS	0.014	mg/kg ts.		* Beregning		
Sum af 22 PFAS	14	µg/kg ts.		* Beregning		

Oplysninger fra rekvirent

Prøvetagningsdato 1	08:56	*
Prøvetagningsdato 2	10:25	*
Prøvetagningsdato 3	12:42	*
Prøvetagningsdato 4	13:28	*
Antal delprøver	4	*
Produkttype	Slam	*

Underleverandør:

A: Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) (ISO/IEC 17025:2017 SWEDAC 1977)
B: Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiburg) (DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00)

835-2024-81365378 Prøvekommentar:

Prøven kunne ikke analyseres for AOF på grund af prøvens sammensætning.

Batchkommentar:

Detektionsgrænsen for PFAS forbindelser er hævet grundet prøvens høje vandindhold.

Kopi til:

NIRAS A/S, BHC@niras.dk, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk
NIRAS A/S, Peter Blinksbjerg, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk

09.07.2024

Kundecenter
Tlf: 70224231
iww@etn.eurofins.com

Salli H. Frandsen
Salli Holm Frandsen
Teamleder Eurofins, Miljø A/S

Tegnforklaring:

<: mindre end	*) Ikke omfattet af akkrediteringen
>: større end	i.p.: ikke påvist
#: ingen parametre er påvist	i.m.: ikke målelig
DL: Detektionsgrænse	n): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

^o j): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Side 2 af 2

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Bilag 2.5 Cyklonaske Dag 2



Eurofins Miljø A/S
Ladelundvej 85
6600 Vejen
Danmark
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-28848196

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038320-01
Batchnr.: EUDKVE-24038320
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Aske				
Prøvetager:	Rekvirenten MAST				
Prøveudtagning:	15.05.2024 kl. 09:02 til 15.05.2024 kl. 13:30				
Analyseperiode:	15.05.2024 - 19.06.2024				
Kundeoplysninger:	Delprøverne er udtaget: 09:02, 10:30, 12:00 og 13:30				
Prøvemærke:	Cyklonaske				
Lab prøvenr:	835-2024-03832001	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
Fluorid	2.2	mg/l	2	* DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07 IC-EC	B 12,14
Tørstof	99.4	%	5	SS-EN 12880:2000 mod. Thermo gravimetri	A 5
Tørstof	99.1	% (w/w)	0.1	L8:DIN EN 14346:2007-03A; F5:DIN EN 15934:2012-11A	B 10
Tørstof	100	%	1	DS 204	20
Uorganiske forbindelser					
Fluor total (F)	0.007	% (w/w) ts.	0.005	* DIN EN 14582: 2016-12 IC-EC	B
Organiske samleparametre					
AOF (Adsorberbar Organisk Fluor)	< 0.001	mg/l	0.001	* Internal Method SAA-H-AOF.010: 2018-11 IC-EC	B
TOC, totalt org. kulstof	600	mg/kg ts.	500	DS/EN 15936:2012 metode A Dumas (TCD)	15
PFAS-forbindelser					
PFBA (Perfluorbutansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeA (Perfluorpentansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxA (Perfluorhexansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpA (Perfluorheptansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOA (Perfluoroktansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNA (Perfluornonansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	<0.20	µg/kg ts.	0.2	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDA (Perfluordekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36

Tegnforklaring:

<: mindre end *) Ikke omfattet af akkrediteringen
>: større end i.p.: ikke påvist
#: ingen parametre er påvist i.m.: ikke målelig
DL: Detektionsgrænse a): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.
a): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 1 af 2

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038320-01
Batchnr.: EUDKVE-24038320
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Aske					
Prøvetager:	Rekvirenten		MAST			
Prøveudtagning:	15.05.2024 kl. 09:02	til	15.05.2024 kl. 13:30			
Analyseperiode:	15.05.2024 - 19.06.2024					
Kundeoplysninger:	Delprøverne er udtaget: 09:02, 10:30, 12:00 og 13:30					
Prøvemærke:	Cyklonaske					
Lab prøvenr:	835-2024-03832001	Enhed	DL.	Metode	^{*)} Urel (%)	
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	36
Sum af PFAS4 excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	
Sum af PFAS excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A	

Underleverandør:

A: Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) (ISO/IEC 17025:2017 SWEDAC 1977)
B: Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg) (DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00)

Kopi til:

NIRAS A/S, BHC@niras.dk, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk
NIRAS A/S, Peter Blinksbjerg, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk

Underleverandør:

A: Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) (ISO/IEC 17025:2017 SWEDAC 1977)
B: Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg) (DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00)

Kopi til:

NIRAS A/S, BHC@niras.dk, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk
NIRAS A/S, Peter Blinksbjerg, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk

19.06.2024

Kundecenter
Tlf: 70224231
iww@etn.eurofins.com

Neža Filipić
Neža Filipić
Kunderrådgiver
Kunderrådgiver

Teanforklaring:

<: mindre end	*): Ikke omfattet af akkrediteringen
>: større end	i.p.: ikke påvist
#: ingen parametre er påvist	i.m.: ikke målelig
DL: Detektionsgrænse	□): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

□): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 2 af 2

Bilag 2.6 Posefilteraske Dag 2



Eurofins Miljø A/S
Ladelundvej 85
6600 Vejen
Danmark
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-28848196

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038322-01
Batchnr.: EUDKVE-24038322
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analyserapport

Prøvetype:	Aske		MAST		
Prøvetager:	Rekvirenten				
Prøveudtagning:	15.05.2024 kl. 09:04	til	15.05.2024 kl. 13:33		
Analyseperiode:	15.05.2024 - 20.06.2024				
Kundeoplysninger:	Delprøverne er udtaget: 09:04, 10:33, 12:03 og 13:33				
Prøvemærke:	Filteraske				
Lab prøvenr:	835-2024-03832201	Enhed	DL	Metode	^{a)} Urel (%)
Fluorid	38	mg/l	2	* DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07 IC-EC	B 12.14
Tørstof	98.9	%	5	SS-EN 12880:2000 mod. Thermo gravimetri	A 5
Tørstof	98.2	% (w/w)	0.1	L8:DIN EN 14346:2007-03A; F5:DIN EN 15934:2012-11A	B 10
Tørstof	100	%	1	DS 204	20
Uorganiske forbindelser					
Fluor total (F)	0.039	% (w/w) ts.	0.005	* DIN EN 14582: 2016-12 IC-EC	B
Organiske samleparametre					
AOE (Adsorberbar Organisk Fluor)	< 0.001	mg/l	0.001	* Internal Method SAA-H-AOE.010: 2018-11 IC-EC	B
TOC, totalt org. kulstof	18000	mg/kg ts.	500	DS/EN 15936:2012 metode A Dumas (TCD)	15
PFAS-forbindelser					
PFBA (Perfluorbutansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeA (Perfluorpentansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxA (Perfluorhexansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpA (Perfluorheptansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOA (Perfluoroktansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNA (Perfluorononansyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFNS (Perfluoronansulfonsyre)	<0.20	µg/kg ts.	0.2	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDA (Perfluordekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDS (Perfluordekane-sulfonsyre)	<0.030	µg/kg ts.	0.03	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDODA (Perfluordodekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFDODS (Perfluordodekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36

Teanforklaring:

<: mindre end
>: større end
#: ingen parametre er påvist
DL: Detektionsgrænse

*) : Ikke omfattet af akkrediteringen
i.p.: ikke påvist
i.m.: ikke målelig
n): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.
*) : Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 1 af 2

NIRAS A/S
Ahlgade 3M
4300 Holbæk
Att.: Martin Badike Støvring(MAST)

Rapportnr.: AR-24-CA-24038322-01
Batchnr.: EUDKVE-24038322
Kundenr.: CA0000194
Modt. dato: 15.05.2024

Analysereport

Prøvetype:	Aske				
Prøvetager:	Rekvirenten	MAST			
Prøveudtagning:	15.05.2024 kl. 09:04	til 15.05.2024 kl. 13:33			
Analyseperiode:	15.05.2024 - 20.06.2024				
Kundeoplysninger:	Delprøverne er udtaget: 09:04, 10:33, 12:03 og 13:33				
Prøvemærke:	Filteraske				
Lab prøvenr.:	835-2024-03832201	Enhed	DL.	Metode	^{a)} Urel (%)
PFTrDA (Perfluoridekansyre)	<0.10	µg/kg ts.	0.1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
PFTrDS (Perfluoridekansulfonsyre)	<1.0	µg/kg ts.	1	* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A 36
Sum af PFAS4 excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A
Sum af PFAS excl. LOQ	ND			* DIN 38414-14 mod. LC-MS/MS	A

Underleverandør:

A: Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) (ISO/IEC 17025:2017 SWEDAC 1977)
B: Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg) (DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00)

Kopi til:

NIRAS A/S, BHC@niras.dk, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk
NIRAS A/S, Peter Blinksbjerg, Ahlgade 3M, 4300 Holbæk

20.06.2024

Kundecenter
Tlf: 70224231
iww@etn.eurofins.com


Lisa Lasota
Kunderådgiver Eurofins, Miljø

Tegnforklaring:

<: mindre end
>: større end
#: ingen parametre er påvist
DL: Detektionsgrænse
*): Ikke omfattet af akkrediteringen
i.p.: ikke påvist
i.m.: ikke målelig
a): udført af underleverandør

Urel (%): Ekspanderede relative måleusikkerhed med dækningsfaktor 2. For resultater på detektionsgrænseniveau kan usikkerheden være større end oplyst på rapporten.

a): Usikkerheder på mikrobiologiske parametre angives som logaritmeret standardafvigelse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Side 2 af 2

Bilag 3. Uddrag PFAS i røggas

**Bilag 3.1 Uddrag fra Rapport nr. 229577-151-122, Mølleåværket A/S.
Præstationsmåling ved slamforbrændingen maj 2024 (Eurofins)
(Pedersen, 2024)**

Parameter	Enhed	Test 1 (14-05-2024)	Test 2 (15-05-2024)
PFOS	µg/Nm ³ , 11vol%O ₂	< 0,0003	< 0,0003
PFOA	µg/Nm ³ , 11vol%O ₂	< 0,0003	< 0,0003
SUM PFOS / PFOA*	µg/Nm ³ , 11vol%O ₂	< 0,0007	< 0,0007
SUM PFOS / PFOA / PFNA / PFHxS*	µg/Nm ³ , 11vol%O ₂	< 0,001	< 0,001
PFAS (sum 32)*/**	µg/Nm ³ , 11vol%O ₂	< 0,02	< 0,02
HF	mg/Nm ³ , 11vol%O ₂	< 0,2	< 0,2
Røggasmængde	Nm ³ /h	3.900	4.100
CO ₂	vol%, tør	6,7	6,9
O ₂	vol%, tør	13,0	12,8
Reference:	Nm ³ = Tør røggas, 0°C, 1013 mbar		

< : Mindre end

* : Sum incl LOQ (kvantifikationsgrænse)

** : Enkelte PFAS stoffer er ikke omfattet af akkrediteringen (se afsnit 5.3, Delresultater)

5.3.2 Test 1 (14-05-2024), PFAS

Resultater - PFAS:		Slamforbrænding		Virksomhed: Mølleåværket		Res1 PFAS
Sagsnr:	229577-151-122					Dioxin29-EN1948 4.xlsm
Dato:	14-05-2024					Rev 23.11.2021
ID:			Kontrol nr	17-06-2024 10:54		
Prøve nr			1			Gennemsnit
Dato		14-05-2024				
Måleperiode start	kl	10:39				
Måleperiode slut	kl	16:41				
O2	vol%, tør	13,0				13,0
CO2	vol%, tør	6,7				6,7
PFAS						
Perfluorooctansulfonate (PFOS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Total PFOS/PFOA incl. LOQ	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0007				< 0,0007
Perfluoromonanoic acid (PFNA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorohexanesulfonic acid (PFHxS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Total PFOS / PFOA / PFNA / PFHxS incl. LOQ	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluoropentane acid (PFPeA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorotridecanoic acid (PFTriDA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorotetradecanoic acid (PFTeDA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0006				< 0,0006
Perfluorohexadecanoic acid (PFHxDA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
Perfluorobutansulfonate (PFBS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluoropentanesulfonic acid (PFPS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluoroheptane sulphonate (PFHpS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluorononanesulfonic acid (PFNS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0007				< 0,0007
Perfluorodecanesulfonic acid (PFDS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0003				< 0,0003
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	* < 0,0007				< 0,0007
Perfluorododecane sulfonic acid (PFUoDS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,0007				< 0,0007
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTriDS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	* < 0,0007				< 0,0007
F-53 B major	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
F-53 B minor	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
HFPO-DA (GenX)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
DONA	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
Perfluoro-3,7-dimethyloctane acid (PF-3,7-DMOA)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	* < 0,0006				< 0,0006
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorohexanesulfonic acid (4:2 FTS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
6:2 Fluorotelomer sulfonate (6:2 FTS) (H4PFOS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
8:2 Fluorotelomer sulfonic acid (8:2 FTS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
10:2 Fluorotelomer sulfonic acid (10:2 FTS)	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,001				< 0,001
SUM 32 incl LOQ	µg/Nm3, tør 11vol%O2	< 0,02				< 0,02
Bemærkninger:						
* ; Metoden er ikke omfattet af akkrediteringen						
< : Mindre end						

5.3.4 Test 2 (15-05-2024), PFAS

Resultater - PFAS:		Slamforbrænding			
Sagsnr:	229577-151-122			Virksomhed:	Mølleåværket
Dato:	15-05-2024				Res1 PFAS
ID:				Kontrol nr	Dioxin29-EN1948 4.xlsm
					Rev 23.11.2021
Prøve nr		1			Gennemsnit
Dato		15-05-2024			
Måleperiode start	kl	08:22			
Måleperiode slut	kl	14:30			
O2	vol%, tør	12,9			12,9
CO2	vol%, tør	6,8			6,8
PFAS					
Perfluorooctansulfonate (PFOS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Total PFOS/PFOA incl. LOQ	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0007			< 0,0007
Perfluorononanoic acid (PFNA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorohexanesulfonic acid (PFHxS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Total PFOS / PFOA / PFNA / PFHxS incl. LOQ	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluoropentane acid (PFPeA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorotetradecanoic acid (PFTeDA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0006			< 0,0006
Perfluorohexadecanoic acid (PFHxDA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
Perfluorobutansulfonate (PFBS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluoropentanesulfonic acid (PFPS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluoroheptane sulphonate (PFHpS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluorononanesulfonic acid (PFNS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0007			< 0,0007
Perfluorodecanesulfonic acid (PFDS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0003			< 0,0003
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2 *	< 0,0007			< 0,0007
Perfluorododecane sulfonic acid (PFUoDS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,0007			< 0,0007
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2 *	< 0,0007			< 0,0007
F-53 B major	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
F-53 B minor	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
HFPO-DA (GenX)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
DONA	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
Perfluoro-3,7-dimethyloctane acid (PF-3,7-DMOA)	µg/Nm3, tør 11vol% O2 *	< 0,0006			< 0,0006
1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorohexanesulfonic acid (4:2 FTS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
6:2 Fluorotelomer sulfonate (6:2 FTS) (H4PFOS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
8:2 Fluorotelomer sulfonic acid (8:2 FTS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
10:2 Fluorotelomer sulfonic acid (10:2 FTS)	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,001			< 0,001
SUM 32 incl LOQ	µg/Nm3, tør 11vol% O2	< 0,02			< 0,02
Bemærkninger:					
* : Metoden er ikke omfattet af akkrediteringen					
< : Mindre end					

**Bilag 3.2 Uddrag fra Notat: Måling af nedbrydningsprodukter fra PFAS i
røggas fra termisk behandling af slam. FORCE Technology.
(Bræstrup, 2024)**

Kemisk forbindelse	Formel	Prøve 1 - 6
1-fluoromethan	CH ₃ F	Kan ikke vurderes*
1,1-difluoromethan	CH ₂ F ₂	Ikke detekteret
1,1,1-trifluoromethan	CHF ₃	Ikke detekteret
Tetrafluoromethan	CF ₄	Ikke detekteret
1-fluoroethan	CH ₂ FCH ₃	Ikke detekteret
1,1-difluoroethan	CHF ₂ CH ₃	Ikke detekteret
1,2-difluoroethan	CH ₂ FCH ₂ F	Kan ikke vurderes*
1,1,1-trifluoroethan	CF ₃ CH ₃	Ikke detekteret
1,1,2-trifluoroethan	CHF ₂ CH ₂ F	Ikke detekteret
1,1,1,2-tetrafluoroethan	CF ₃ CH ₂ F	Ikke detekteret
1,1,2,2-tetrafluoroethan	CHF ₂ CHF ₂	Ikke detekteret
1,1,1,2,2-pentafluoroethan	CF ₃ CHF ₂	Ikke detekteret
Hexafluoroethan	CF ₃ CF ₃	Ikke detekteret
1-fluoropropan	CH ₂ FCH ₂ CH ₃	Kan ikke vurderes*
2-fluoropropan	CH ₃ CH ₂ FCH ₃	Ikke detekteret
2,2-difluoropropan	CH ₃ CF ₂ CH ₃	Ikke detekteret
1,1,2,2-tetrafluoropropan	CHF ₂ CF ₂ CH ₃	Ikke detekteret
Octafluoropropan	CF ₃ CF ₂ CF ₃	Ikke detekteret

* De karakteristiske ioner i forbindelse med massespektrum er overlejret af de primære forbrændingsgrasser i prøverne. Det er derfor ikke muligt at vurdere, hvorvidt gasarten findes i prøven, men der er ikke umiddelbart indikationer på det.

PFAS-destruktion ved slamforbrænding

Der er gennemført et fuldskalaforsøg for at undersøge destruktion af PFAS ved forbrænding af spildevandsslam ved en EBK-temperatur (temperatur i efterforbrændingskammer) på mindst 850⁰ C. Forsøget blev udført på slamforbrændingsanlægget på renseanlægget Mølleåværket, der drives af Lyngby-Taarbæk Forsyning. Forsøget strakte sig over to sammenhængende for-søgsdage.

Indholdet af PFAS er målt i spildevandsslammet, cyklonasken, posefilterasken og røggassen. For de to askefraktioner var resultatet for alle målte PFAS lavere end detektionsgrænsen, og for røggassen var resultatet for alle målte PFAS lavere end kvantifikationsgrænsen.

Projektet viste bl.a. at:

- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99 % målt som destruktionseffektivitet (DE)
- PFAS-21 blev destrueret med mindst 87,8 % og 88,8 % på dag 1 og 2 målt som destruktionseffektivitet (DE).
- PFAS-4 blev destrueret med mindst 99,82 % og 99,81 % på dag 1 og dag 2 målt som destruktions- og fjernelseseffektivitet (DRE)
- PFAS-21 blev destrueret med mindst 99,28 % og 99,27 % på dag 1 og 2 målt som destruktions- og fjernelseseffektivitet (DRE).

Havde kvantifikationsgrænserne og detektionsgrænserne været lavere, ville man kunne have bestemt en højere minimums-destruktionsgrad, med flere betydende cifre, eller også ville den præcise destruktionsgrad have kunnet blive bestemt. Tilsvarende for destruktions- og fjernelsesgraden.

Udledninger til luften af mulige nedbrydningsprodukter af PFAS (HF, CFCer mv.) blev undersøgt. Ingen af de nedbrydningsprodukter, der blev analyseret for i røggassen, blev fundet i mængder, der gav signal over detektionsgrænsen.

Med projektet er der opnået erfaringer, der kan anvendes på et eventuelt kommende projekt om undersøgelse af destruktion af PFAS, herunder undersøgelse på et dedikeret affaldsforbrændingsanlæg.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk