



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Screenings-undersøgelse af udvaskning fra vindmøllevinger

Miljøprojekt nr. 2242

April 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Jiri Hyks og Ole Hjelmar,
Danish Waste Solutions ApS

ISBN: 978-87-7038-512-1

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

	Side
Forord	4
Sammenfatning	5
1. Baggrund og formål	7
2. Litteraturgennemgang	8
3. Materialer og metoder	13
3.1 Udfordringer relateret til prøveudtagning og analyse af PFAS	13
3.2 Indsamling af materialeprøver	14
3.3 Forbehandling af materialeprøver	15
3.4 Anvendte udvaskningstests	18
3.4.1 Testprincipper	18
3.4.2 Gennemførelse af batchudvaskningstests	18
3.4.3 Tankudvaskningstest	19
3.5 Analysering af eluater fra udvaskningstestene for indhold af PFAS og BPA	20
4. Resultater og diskussion	22
4.1 Udvasning fra knuste materialer (batchudvasningstest)	22
4.2 Udvasning fra materialer på plade-form eller monolitiske materialer (tankudvasningstest)	27
5. Konklusioner	32
6. Referencer	34
Bilag: Originale analysedata fra ALS CZ	36

Forord

I forbindelse med den igangværende gennemførelse af projektet "Anbefalinger til fremtidens deponeringsanlæg" og det såkaldte initiativ 115 – "Kortlægning og håndtering af affald fra vindmøllevinger" fra Miljøministeriets "Handlingsplan for Cirkulær Økonomi" fra juli 2021¹ har Miljøstyrelsen ønsket at få belyst, om der sker en udvaskning af stoffer fra glasfiberprodukter, herunder særligt vindmøllevinger. Miljøstyrelsen har derfor fået gennemført en screeningsundersøgelse til belysning af, om man generelt kan forvente en stofudvaskning fra glasfiberprodukter/vindmøllevinger og i givet fald, hvilke stoffer det drejer sig om.

Undersøgelsen, hvis resultater hermed foreligger, er udført af Danish Waste Solutions ApS ved Jiri Hyks og Ole Hjelmar.

¹ <https://mim.dk/miljoe/handlingsplan-for-cirkulaer-oekonomi/>

Sammenfatning

Der er gennemført en undersøgelse af vindmøllevinger med henblik på at belyse, om der kan forventes at ske nogen stofudvaskning fra disse, hvis og når de efter endt "service life" placeres på et deponeringsanlæg. På grund af den korte tidsramme for undersøgelsen er der kun tale om en **screening**, hvor der kun blev fokuseret på den eventuelle udvaskning af per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) og bisphenol A (BPA).

Undersøgelsen bestod dels af en hurtig gennemgang af tilgængelig litteratur om stofudvaskning fra vindmøllevinger og andre glasfiberprodukter i relation til deponering, dels af indsamling og testning af prøvemateriale fra udtjente vindmøllevinger, produktionsaffald fra fremstilling af vindmøllevinger, og vindmøllevinger, der allerede var anbragt på et deponeringsanlæg. Litteraturundersøgelsen gav ingen brugbare oplysninger.

De indsamlede prøver blev underkastet to slags tests, nemlig undersøgelse af stofudvaskningen ved såkaldte batchudvaskningstests (EN 12457-2/4), hvor materialet nedknuses til en partikelstørrelse på mindre end ca. 4 – 10 mm og anbringes i kontakt med vand under agitation, og tankudvaskningstests (modificeret prEN 16637-2) til undersøgelse af, om der ved kontakt med vand frigives stoffer fra overfladen af hele stykker af materialerne. Vandfaserne (eluatene) fra testene blev derefter analyseret parallelt hos to forskellige laboratorier for: (i) indhold af 22 PFAS'er samt BPA hos ALS i Tjekkiet og (ii) indhold af 35 PFAS'er hos Laboratory of Environmental Biotechnology, Institute of Microbiology at Czech Academy of Sciences (KU). 16 af de 22 PFAS'er indgik også i de 35 PFAS'er, så alle eluater blev analyseret for 41 forskellige PFAS'er. Da testningen af udvaskningsegenskaberne ikke blev udført som replikater, og da de fundne indhold af PFAS er meget lave (og derfor behæftet med en betydelig måleusikkerhed), bør nedenstående resultater af screeningen kun ses som foreløbige indikationer:

- De samme PFAS-forbindelser (PFHpA, PFOA, PFNA, PFOS) blev identificeret af to forskellige laboratorier i kvantificerbare mængder (mellem 0,2 og 9,7 ng/l for de enkelte forbindelser, svarende til 2-97 ng/kg) i eluaterne fra batchudvaskningstests udført på tre materialer, indsamlet og leveret af en affaldsbehandlingsvirksomhed i knust form. 6:2 FTS blev identificeret i eluat fra de samme materialer på et niveau af 0,4-1,5 ng/l (svarende til 4-15 ng/kg); dette blev dog ikke bekræftet på begge laboratorier. Desuden blev PFHxA identificeret af begge laboratorier i koncentrationer på 0,7-3,7 ng/l i eluat fra prøvemateriale leveret af en anden affaldsbehandlingsvirksomhed.
- PFHxA og PFHpA blev identificeret i kvantificerbare koncentrationer (mellem 0,4 og 3,7 ng/l, svarende til mellem 4 og 37 ng/kg testet materiale) i eluaterne fra batchudvaskningstests udført på to prøver, der blev indsamlet på plade-form på et deponeringsanlæg og knust som en del af prøveforbehandlingen.
- De mest "forurenede" prøver blev alle indsamlet på et fuldskala-shredderanlæg, der håndterer forskellige typer affald herunder metalskrot og kabelskrot. Det kan derfor ikke udelukkes at alle eller nogle af de identificerede PFAS'er i eluaterne fra disse prøver stammer fra krydskontaminering af prøverne under knusningen.
- Resultaterne fra tankudvaskningstestene viste både lavere koncentrationer og lavere antal af de kvantificerbare PFAS'er i eluaterne i forhold til batchudvaskningstestene. I modsætning til resultaterne for de knuste prøver blev der i eluaterne fra de tre tanktests på prøverne fra deponeringsanlægget kvantificeret NaDONA (33-60 ng/l) og FRD903 "GenX" (4,3-5,8

ng/l), der begge tilhører til såkaldte "next-generation" PFAS'er. Eluat fra fire andre tankudvaskningstests viste ingen kvantificerbare mængder af disse forbindelser. Hverken NaDONA eller FRD903 "GenX" indgår i de danske summeringsgrænseværdier Σ_4 PFAS og Σ_{22} PFAS.

- Mindre mængder af 6:2 FTS blev identificeret hos KU-laboratoriet i eluater fra flere tankudvaskningstests. Dette blev dog ikke bekræftet af resultaterne fra ALS-laboratoriet, og det kan nævnes, at 6:2 FTS også blev identificeret i vandet fra blindprøven med ståltråden på KU-laboratoriet.
- BPA blev identificeret i de fleste af eluaterne fra batchudvaskningstestene (mellem 3 og 59 µg/l svarende til 30-590 µg/kg testmateriale) og i alle eluaterne fra tankudvaskningstestene (mellem 0,06 og 0,24 µg/l).

På det foreliggende grundlag, som må betegnes som en screeningsundersøgelse, kan det konstateres, at der sandsynligvis kan udvaskes BPA fra vindmøllevinger. Derudover kan det ikke udelukkes, at der efter deponering kan udvaskes kvantificerbare mængder PFAS fra vindmøllevingeaffald, især efter knusning. De målte niveauer er meget lave, og forfatterne vurderer ikke, at de vil kunne bidrage synligt til den samlede PFAS-udvaskning observeret i perkolat fra deponeringsanlæg, som generelt er flere størrelsesordener højere. I betragtning af den miljømæssige persistens og mobilitet af nogle PFAS'er, kombineret med årtiers udbredt anvendelse, som har resulteret i PFAS-tilstedeværelse i overfladevand, grundvand, drikkevand, regnvand, jord, sediment, luft, planter, og humant blodserum over hele kloden, og en dermed forbundet risiko for krydskontaminering af prøver med PFAS, især ved forbehandling udenfor laboratoriemiljøet, og det begrænsede antal prøver samt meget lave koncentrationsniveauer, må det anbefales, at der gennemføres yderligere undersøgelser under fuldt kontrollerede forhold på et større antal prøver og med replikatbestemmelser, hvis man ønsker at kunne drage endelige konklusioner om mængde og betydning af udvaskning af PFAS fra glasfiberprodukter, herunder særligt vindmøllevinger.

Det skal understreges, at de koncentrationer, som i dette projekt er målt i eluaterne fra udvaskningstestene, afhænger af testbetingelserne, og at de derfor IKKE kan sammenlignes direkte med diverse grænseværdier for stoffer i grundvand og overfladevand. En eventuel vurdering i forhold til grænseværdier forudsætter, at der på et relevant datagrundlag gennemføres en egentlig risikovurdering baseret på modellering af konkrete scenarier.

1. Baggrund og formål

Udtjente vindmøllevinger, som ikke kan genanvendes eller materialenyttiggøres, bliver – eventuelt sammen med affald fra produktionen af vindmøllevinger – i et vist omfang placeret på danske affaldsdeponeringsanlæg. Der findes ikke umiddelbart nogen dokumentation af, hvorledes vindmøllevinger og vindmøllevingeaffald kan forventes at opføre sig, når det er placeret på en deponeringsenhed, herunder om der, når der trænger nedbør gennem affaldet, kan udvaskes potentielt skadelige stoffer fra vindmøllevingerne/vindmøllevingeaffaldet. I givet fald vil sådanne stoffer kunne bidrage til forureningen af perkolatet fra deponeringsenheden og eventuelt øge behovet for rensning af dette. Miljøstyrelsen har derfor anmodet Danish Waste Solutions ApS (DanWS) om at gennemføre en screeningsundersøgelse til belysning af, om man på deponeringsanlæg generelt må forvente en stofudvaskning fra glasfiberprodukter/vindmøllevinger og i givet fald, hvilke stoffer det drejer sig om.

Formålet med screeningsundersøgelsen har været følgende:

- At undersøge, om der i litteraturen findes informationer om stofudvaskning fra vindmøllevinger og andre glasfiberprodukter;
- At gennemføre udvaskningstests på forskellige typer af vindmøllevinger fra forskellige producenter og fra andre glasfiberprodukter. Der analyseres som minimum for de 22 PFAS'er, som pt. er reguleret i Danmark, men hvis det er muligt, ønskes analysemetoden QTOF anvendt til at udføre non-target-analyser med fokus på PFAS og andre problematiske stoffer.

Den meget snævre tidsramme for projektet har nødvendiggjort en målretning af aktiviteterne til kun at omfatte vindmøllevingeaffald og materiale fra produktion af vindmøllevinger (og ikke andre glasfiberproduktet) og en indsnævring til kun at undersøge den potentielle udvaskning af PFAS og bisphenol A. PFAS er valgt på grund af den store opmærksomhed, som risikoen for spredning af disse stoffer er genstand for, og fordi deres anvendelse i industrielle produkter generelt er meget udbredt. Bisphenol A (BPA) anvendes til produktion af polykarbonat, resiner og epoxyresiner og som brandhæmmer og additiv i andre plasttyper. I REACH-forordningen nævnes BPA som et særligt problematisk stof (SVHC).

Det skal bemærkes, at der er tale om en screeningsundersøgelse, som alene skal søge at påvise, om nogle af de ovennævnte stoffer kan forventes at kunne udvaskes i målelige mængder fra vindmøllevingeaffald og affald fra produktion af vindmøllevinger, primært i forbindelse med anbringelse af affaldet på et deponeringsanlæg. Det har ikke været hensigten at kvantificere den eventuelle stofudvaskning med hensyn til udvaskede mængder eller udvaskningshastighed i relation til nogen form for risikovurdering. På grund af prøvematerialets karakter (og den begrænsede tidsramme) vil det heller ikke være muligt at knytte en eventuel konstateret stofudvaskning til bestemte dele af en vindmøllevinge eller til bestemte fabrikater af møllevinger.

2. Litteraturgennemgang

I dette afsnit udføres en litteraturundersøgelse, der fokuserer på forøgelse af den eksisterende viden om udvaskning af "problematiske stoffer" fra glasfiberprodukter, herunder særligt vindmøllevinger, i forbindelse med deponering.

I modsætning til de omkring 85-90 % af en vindmølle, som kan genanvendes efter nedtagning (García Sánchez et al., 2014), er de resterende ca. 10-15 %, der udgøres af vinger og andre kompositdele, typisk blevet deponeret, brugt i cementproduktion i Tyskland eller genanvendt i mindre grad i f.eks. støjskærme, busskure eller legepladser² (Medici et al., 2020). Problemet med genanvendelse af vingerne har været, at de netop er designet og produceret af slidstærke materialer for at være lette og effektive, men stadig holdbare nok til at modstå barske miljøforhold. Glasfiber-kompositmateriale er meget svært at nedbryde og genanvende uden et stort forbrug af energi, der potentielt forårsager uønskede miljøpåvirkninger³. Lektor, PhD Lykke Margot Ricard, leder af forskergruppen for Innovation og Cirkulær Økonomi ved Syddansk Universitet, estimerer med udgangspunkt i de vindmølle anlæg, heraf især mange små landvindmøller, som i perioden fra 1987 og frem til 2021 er afmeldt fra elnettet i Danmark, at potentielt ikke-genanvendeligt affald fra vindmøllevinger har omfattet mindst 8400 tons glasfiberkomposit. Lykke Margot Ricard antager yderligere, at en stor del af vindmøllevingerne har været håndteret som ikke-genanvendeligt affald, og at mindst halvdelen er blevet sendt til deponeringsanlæg, når muligheder for videresalg og anvendelse som reservedelslager er fra trukket. Produktions- og serviceaffald indgår ikke i deponeringsestimatet på mindst 4200 tons for perioden (Ricard, 2023a). For yderligere information om produktion og nedtagning af vindmøller henvises til Ricard (2023b).

Historisk set har de deponerede vindmøllevinger været betragtet som ikke-problematiske med hensyn til stofudvaskning, og de er blevet placeret i deponeringsenheder for blandet eller mineralisk affald. For en god ordens skyld skal det bemærkes, at faktiske data om udvaskning af glasfibermaterialer (herunder vindmøllevinger) er meget sparsomme, da disse typer materialer typisk ikke underkastes udvaskningstests som en del af den grundlæggende karakterisering, der er defineret i BEK nr. 1253 af 21/11/2019 (Deponeringsbekendtgørelsen), før de deponeres. Selv om materialesammensætningen kan variere mellem tidsperioder, vingetyper og vindmølleproducenter, er vingerne generelt sammensat af følgende (WindEurope, 2020):

- Forstærkningsfibre (glas og kulstof), hvor glasfiber repræsenterer det primære forstærkningsmateriale i kompositkomponenterne i vindmøllevinger. Selv om kulfibers overlegne styrke og højere stivhed giver mange fordele i forhold til glasfiber, bruges kulfiber i vindmøllevinger i meget mindre grad på grund af dens højere pris.
- En polymermatrix, f.eks. termohærdende resiner såsom epoxy⁴, polyester, vinylestere, polyuretan eller (sjældnere) termoplast.
- En sandwichkerne, f.eks. balsatræ eller skum såsom polyvinylklorid (PVC) og polyethylen-terephthalat (PET).
- Strukturelle klæbemidler, f.eks. epoxy, polyuretan (PUR).
- Overfladebelægning/coating, f.eks. polyester (UPR), PUR.
- Metaller, f.eks. ledninger af kobber eller aluminium (lynbeskyttelsessystem), stålbolte.

² <https://greenpowerdenmark.dk/nyheder/vindmoelleindustrien-oensker-naa-100-pct-genanvendelse>

³ <https://www.tjekdet.dk/faktatjek/ja-vingerne-fra-vindmoeller-bliver-rigtig-nok-gravet-ned-men-hvorfor-genbruger-man-dem>

⁴ Oprindeligt blev polyester-resiner mest brugt, men med udviklingen af store og ekstra store vindmøller blev polyester erstattet med epoxy som bruges nu oftest som matricer af vindvingekompositter (Mishnevsky et al, 2017)

Med hensyn til udvaskning af "problematiske forbindelser" antages det, at disse ikke vil frigives fra hverken glasfibre, kulfibre eller de metalliske dele af vingerne. Det er netop de forskellige resiner, lime, skumtyper og ikke mindst overfladebelægninger, som kunne være relevante. Det drejer sig derfor formentlig om primært organiske forbindelser, der kunne være anvendt ved fremstilling eller servicering af vingerne. Derudover kan de "problematiske forbindelser" være til stede i form af urenheder eller tilsætningsstoffer til tilsætningsstoffer i mængder, der ikke kræver, at de registreres i henhold til REACH-forordningen. Et eksempel kan være PFHxA (perfluorhexansyre), der findes blandt de 22 perfluoralkyl- og polyfluoralkylstoffer (PFAS; cf. Tabel 2.1), der på nuværende tidspunkt (december 2022) monitoreres i Danmark, og for hvilke der findes grænseværdier for blandt andet jord, drikkevand, grundvand, og overfladevand (Tabel 2.2). PFHxA anvendes formentlig ikke til fremstilling af vindmøllevinger, men kan være til stede som urenhed i forskellige fluorpolymerer (Lassen et al., 2013), som kan tænkes anvendt ved fremstilling af vindmøllevinger.

TABEL 2.1. Kort historie om PFAS.

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS)⁵ er en stor gruppe af tusindvis af kemikalier, der er blevet produceret siden 1950'erne og anvendt i en bred vifte af forbrugerprodukter og industrielle anvendelser, da de har unikke ønskværdige egenskaber, herunder overfladeaktive egenskaber, høj hydrofobicitet, høj oleofobicitet, ikke-brændbarhed, høj kapacitet til at opløse gasser, høj stabilitet, ekstremt lav reaktivitet, høj dielektrisk nedbrydningsstyrke, god varmelednings-evne, lav dielektrisk konstant, m.fl. (Glüge et al. 2020; Lassen et al. 2013). PFAS'er består af en helt (per-) eller delvist (poly-) fluoreret kulstofkæde forbundet med forskellige funktionelle grupper. OECD (2021) definerer PFAS som stoffer, der indeholder mindst en perfluoreret methylgruppe (-CF₃) eller en perfluoreret methylengruppe (-CF₂-)⁶. Baseret på længden af den fluorerede kulstofkæde kan der skelnes mellem kort- og langkædede PFAS'er. Forskellige længder af den fluorerede kulstofkæde kan resultere i markant forskellige fysisk-kemiske egenskaber, der påvirker stoffets opløselighed og reaktivitet, og derfor både dets funktionalitet og dets opførsel i miljøet og i organismer, herunder dets bioakkumuleringsevne og (øko)toksicitet.

OECD estimerer, at der findes mere end 4700 individuelle PFAS-stoffer, som har været anvendt industrielt. I en nylig artikel af Glüge et al (2020) indsamlede forfatterne oplysninger om mere end 200 anvendelser i 64 forskellige anvendelseskategorier for mere end 1400 individuelle PFAS'er; for en detaljeret oversigt henvises til den originale publikation. Det skal noteres, at mange af de identificerede anvendelser ikke tidligere er beskrevet i den videnskabelige litteratur om PFAS. Forfatterne konkluderer derfor, at anvendelsen af PFAS er meget mere omfattende, end hidtil rapporteret i den videnskabelige litteratur. Desuden bemærkede Evich et al. (2022), at det store antal PFAS'er og deres hurtige udvildelse kombineret med deres komplekse miljøinteraktioner gør karakteriseringsstudier meget vanskelige, især i betragtning af det stadigt voksende antal "next generation"-forbindelser⁷. Mens de ældste "nedarvede" forbindelser (på engelsk "legacy PFAS") har kendte sundhedspåvirkninger, er mere nyligt udviklede PFAS'er ofte dårligt karakteriseret, mangler definerede kemiske strukturer, og har meget mindre kendte toksikologiske egenskaber.

I modsætning til det ovenstående bliver der på nuværende tidspunkt rutinemæssigt monitoreret for op til cirka 30 specifikke PFAS'er. I Danmark monitoreres 22 PFAS'er (PFBS, PFPS, PFHxA, PFHpA, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTs, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, og PFTDA), for hvilke der findes både et jord- og et grundvandskvalitetskriterium⁸. Denne liste er mere eller mindre sammenlignelig med lister i andre lande. Disse forbindelser indgår derfor i typiske target-undersøgelser af PFAS, der bliver udført af forskellige kommercielle analytiske laboratorier med nuværende konventionelle metoder til PFAS-analyse i forskellige matricer. Selv om antallet af analyserede target-forbindelser kan være noget større (op til ca. 60 forbindelser) i enkelte tilfælde, forbliver indholdet af en stor del af PFAS'erne stadig ubestemt.

Bisphenol A (BPA) er på EU's kandidatliste over særligt problematiske stoffer (SVHC-listen), fordi stoffet skader fertiliteten og er hormonforstyrrende. Det har været anvendt i store mængder, blandt andet som monomer til fremstilling af plasttypen polycarbonat og resiner og/eller epoxyresiner, der primært anvendes som overfladebehandlinger i lime, malinger og lakker. I

⁵ Hele gruppen af perfluoralkyl- og polyfluoralkylstoffer vil samlet blive betegnet PFAS selv om nogle myndigheder og forfattere af videnskabelige artikler bruger dette akronym kun for nogle undergrupper, f.eks. for perfluoralkylstofferne eller for perfluoralkylsulfonaterne

⁶ OECDs definition (OECD, 2021): "PFASs are defined as fluorinated substances that contain at least one fully fluorinated methyl or methylene carbon atom (without any H/Cl/Br/I atom attached to it), i.e. with a few noted exceptions, any chemical with at least a perfluorinated methyl group (-CF₃) or a perfluorinated methylene group (-CF₂-) is a PFAS."

⁷ "Next generation PFAS-forbindelser" anvendes om PFAS'er, som er udviklet og/eller taget i anvendelse med henblik på at erstatte andre PFAS'er, som er blevet uønskede eller forbudt.

⁸ https://mst.dk/media/223446/liste-over-jordkvalitetskriterier-juli-2021_final1.pdf

produktionen polymeriseres stoffet, og der skabes en stabil matrix. Ved polymerisationen vil der være en lille del tilbage af monomeren, som ikke polymeriserer. Frigivelsen af BPA skyldes hovedsageligt frigivelse af frie monomerer, der ikke er bundet i matricen. BPA bruges også som flammehæmmer og additiv i andre plasttyper. På grund af dens toksicitet er BPA ofte erstattet af tetrabrombisphenol A (TBBPA) i mange applikationer inkl. produktionen af polycarbonat og epoxyresiner. Globalt set har TBBPA og dets derivater været den vigtigste gruppe af bromerede flammehæmmere i årtier, og det skal bemærkes, at BPA kan dannes under anaerobe forhold (f.eks. i deponi) ved debromering af TBBPA (Lassen, et al. 2014).

TABEL 2.2. Oversigt over PFAS-grænseværdier for jord, drikkevand, grundvand, overfladevand, badevand og slam; jf. Liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord⁹.

Medie	Stof	Værdi	Enhed	Bemærkning	Omtalt i bekendtgørelse
Jord	Σ 4 PFAS	0,01	mg/kg TS	Vejledende iht. § 14 i miljøbeskyttelsesloven	
	Σ 22 PFAS	0,4	mg/kg TS	Vejledende iht. § 14 i miljøbeskyttelsesloven	
Drikkevand	Σ 4 PFAS	0,002	µg/l	Sumkriteriet fremgår af et brev til alle landets kommuner, som Miljøstyrelsen sendte d. 8. juni 2021.	Et skærpet kvalitetskrav for de 4 PFAS'er forventes i en opdateret version af drikkevandsbekendtgørelsen
	Σ 12 PFAS	0,1	µg/l	Kvalitetskrav til nationalt fastsatte kemiske parametre	Drikkevandsbekendtgørelsen
Grundvand	Σ 4 PFAS	0,002	µg/l	Vejledende iht. § 14 i miljøbeskyttelsesloven	
	Σ 22 PFAS	0,1	µg/l	Vejledende iht. § 14 i miljøbeskyttelsesloven	
Overfladevand	PFOS	0,65	ng/l	Generelt kvalitetskrav for indlandsvand	BEK nr. 1625 af 19/12/2017
		0,13	ng/l	Generelt kvalitetskrav for andet overfladevand	
		36	µg/l	Maksimumkoncentration for indlandsvand	
		7,2	µg/l	Maksimumkoncentration for andet overfladevand	
		9,1	µg/kg vådvægt	Kvalitetskrav Biota	

Med hensyn til andre "glasfiberprodukter" er spektret af deponerede materialer meget bredt og kan omfatte glasfiberskibe/både/kajakker, legepladsartikler, sanitet, opbevaringstanke, svømmebassiner, flagstænger, tagdækninger, værktøj (skaft), m.fl. Også her er den primære opmærksomhed med hensyn til udvaskningen knyttet til anvendelse af forskellige kemikalier ved fremstilling eller vedligeholdelse frem for selve (glas)fibrene.

Ved søgningen blev de "problematiske forbindelser" i første omgang defineret som PFAS og BPA. Ved undersøgelse af den eksisterende viden om udvaskningen af disse fra glasfiberprodukter blev der anvendt både åbne tilgængelige informationskilder som artikler, rapporter og industrielle faktaark og licenserede videnskabelige databaser under Web of Science netværk. Følgende keywords og deres kombinationer blev brugt ved litteraturscreeningen: *wind; turbine; epoxy; leach*; landfill; perco*; elua*; contam*; blade; landf*; FRP; GFR; glas*; fib*; PUR;*

⁹ https://mst.dk/media/223446/liste-over-jordkvalitetskriterier-juli-2021_final1.pdf

source. For en god ordens skyld bemærkes, at anvendelse af (*) under søgeprocessen resulterer i, at alle ord, hvori den valgte del forekommer, indgår i søgningen. For eksempel omfatter ordet "leach*" følgende resultater: leaching, leachate, leachable, unleachable, non-leachable. I Tabel 2.3 ses en skematisk oversigt over resultaterne af litteraturscreeningen udført i december 2022.

TABEL 2.3. Oversigt over resultater af litteraturscreeningen (udført i december 2022) med fokus på udvaskning fra deponerede glasfiberprodukter/vindmøllevinger.

Keyword(s)	Hits	Kommentar
wind	685268	-
wind + turbine	48763	-
wind + turbine + epoxy	407	Ingen data om udvaskning
wind + turbine + epoxy + leach*	1	Ingen data om udvaskning
wind	685268	-
wind + turbine	48763	-
wind + turbine + resin	330	Ingen data om udvaskning
wind + turbine + resin + contam*	1	Ingen data om udvaskning
wind	685268	-
wind + turbine	48763	-
wind + turbine + landfill	23	Ingen data om udvaskning
wind + turbine + landfill + leach*	0	-
wind + turbine + landfill + perco*	0	-
wind + turbine + landfill + elua*	0	-
wind + turbine + landfill + contam*	1	Ingen data om udvaskning
wind + turbine + contam*	158	Ingen data om udvaskning
wind + turbine + contam* + leach*	0	-
wind + turbine + contam* + elua*	0	-
wind + turbine + contam* + perco*	0	-
wind	685268	-
wind + blade	11192	-
wind + blade + landf*	25	Ingen data om udvaskning
wind + blade + landf* + leach*	0	-
wind + blade + landf* + perco*	0	-
wind + blade + landf* + elua*	0	-
wind + blade + landf* + contam*	0	-
FRP	22588	-
FRP + landf*	30	Ingen data om udvaskning
FRP + landf* + leach*	0	-
FRP + landf* + perco*	0	-
FRP + landf* + elua*	0	-
FRP + landf* + contam*	0	-
GFRP	8736	-
GFRP + landf*	20	Ingen data om udvaskning
GFRP + landf* + leach*	0	-
GFRP + landf* + perco*	0	-
GFRP + landf* + elua*	0	-
GFRP + landf* + contam*	0	-
glass	669905	-
glass + fib*	83185	-
glass + fib* + compos*	42328	-

Keyword(s)	Hits	Kommentar
glass + fib* + compos* + leach*	197	Ingen data om udvaskning fra glassfiber komposit relevant til vindmøllevingerne eller andre glasfiberprodukter
glass + fib* + compos* + leach* + landf*	5	Ingen data om udvaskning
PFAS	3946	-
PFAS + landf*	118	-
PFAS + landf* + leach*	77	Ingen data om udvaskning relevant til vindmøllevingerne eller andre glasfiberprodukter
PFAS + landf* + leach* + source	18	Ingen data om udvaskning relevant til vindmøllevingerne eller andre glasfiberprodukter
PFAS + landf* + leach* + FRP	0	-
PFAS + landf* + leach* + GFRP	0	-
PFAS + landf* + leach* + glas*	0	-
PFAS + landf* + leach* + epoxy*	0	-
PFAS + landf* + leach* + PUR	0	-
PFAS + landf* + perco*	1	Ingen data om udvaskning fra glasfibre-komposit
BPA	18058	-
BPA + leach*	497	-
BPA + leach* + epoxy	58	Flere artikler diskuterer udvaskning af BPA fra polykarbonat og epoxy resiner, dog ingen data om udvaskning fra vindmølle/glasfiber produkter.
BPA + leach* + epoxy + wind*	0	-
BPA + leach* + landf*	90	-
BPA + leach* + landf* + source	10	Omfatter ingen data om udvaskning fra glasfiber-komposit, mens der er indikationer på, at væsentlige kilder til BPA i perkolat fra affaldsdeponeringsanlæg må være PVC, pap og papir.

Ud fra resultaterne af litteraturscreeningen kan det konkluderes at:

- Der findes ingen specifikke danske (og heller ikke udenlandske) data vedr. udvaskning fra deponerede vindmøllevinger.
- Der findes ingen specifikke danske (og heller ikke udenlandske) data vedr. udvaskning fra deponerede glasfiberkomposit(er).
- Selv om perkolat fra affaldsdeponeringsanlæg efter forfatterens opfattelse er en af de største *ikke-direkte* (hvor *direkte* omfatter produktion og anvendelse) kilder til PFAS, findes der ingen data (udenlandske eller danske) om udvaskning af PFAS (eller BPA) i perkolat fra deponeringsanlæg, som kan knyttes direkte til deponeret glasfiberkomposit, epoxy, eller PUR.

3. Materialer og metoder

3.1 Udfordringer relateret til prøveudtagning og analyse af PFAS

Det skal for en god ordens skyld bemærkes, at den miljømæssige persistens og mobilitet af nogle PFAS, kombineret med årtiers udbredt anvendelse, har resulteret i deres tilstedeværelse i overfladevand, grundvand, drikkevand, regnvand¹⁰, jord, sediment, iskapper, udendørs og indendørs luft, planter, dyrevæv og humant blodserum over hele kloden (EPA, 2021). De nuværende grænseværdier for PFAS i forskellige typer vand er ekstremt lave (ng/l), hvilket kombineret med PFAS' ovennævnte allestedsnærværende karakter lægger ekstra pres på at undgå falske-positive resultater pga. krydskontaminering ved indsamling af prøver og forbehandling eller analyse af disse, da påvisning af PFAS potentielt har betydelige konsekvenser for anlægsejere, producenter, offentligheden og andre stakeholders.

Det skal yderligere nævnes, at flere almindeligt anvendte materialer og/eller udstyr, der bruges til prøvetagning i felten og til opbevaring eller transport af prøver, er opført som uønskede eller forbudte i flere PFAS-prøveudtagningsvejledninger udgivet af forskellige føderale og civile organisationer^{11,12}. Selv om det giver mening at undgå materialer sammensat af polytetrafluoroetylen (PTFE; f.eks. Teflon), fordi PTFE er fremstillet med fluorerede polymerisationshjælpemidler, er begrundelsen for mange udelukkede materialer i PFAS-dedikerede prøveudtagningsvejledninger ikke baseret på offentliggjorte data (Rodowa et al., 2020). Det er i flere studier undersøgt hvilke materialer, der kan afgive PFAS'er til prøvemateriale (Denly et al., 2019; Rodowa et al. 2020; Field et al. 2021), og det er klart, at den højeste risiko for krydskontaminering eller tab (hvor PFAS-forbindelser i prøvemateriale kan afgives fra prøven via f.eks. adsorption til prøvetagnings- eller opbevaringsudstyr, hvorved koncentrationen i prøven falder) findes i forbindelse med prøvetagning og opbevaring af forskellige vandprøver. Det er i dag muligt at opnå kvantificeringsgrænser på 0,1-0,3 ng/l ved analyse for udvalgte PFAS'er, mens der samtidig for vandprøver findes en veldefineret kontakt- og transportvej mellem kontaminanten (PFAS'er på eller i materialer anvendt til prøvetagning: pumper, rør, slange, flaske, filtre, mm.) og receptoren (vandprøven). På den anden side antages omfanget af mulig kontaminering af faste prøver via kontakt med andet fast materiale under kortidsopbevaring og transport at være væsentligt lavere.

Generelt set omfatter forbehandling af faste prøver forud for testning af stofudvaskningen tilskæring, neddeling og knusning, der kan ses som de mest plausible kilder til en eventuel krydskontaminering forud for en udvaskningstest. I den aktuelle sammenhæng blev en del af prøveindsamlingen og for nogle prøvers vedkommende også forbehandlingen udført uden for laboratoriemiljøet og af andre end forfatterne eller deres underleverandører. Nogle af de undersøgte prøver er desuden indsamlet fra kasserede vindmøllevinger, som i længere tid har været placeret i et deponeringsanlægsmiljø. Der må derfor indrømmes en vis mangel på kontrol over mulig kontaminering eller eventuelt tab af analyter.

To analytiske laboratorier blev anvendt til bestemmelse af PFAS i eluatprøver, som blev dannet ved anvendelse af to forskellige udvaskningstests (se Kapitel 3.4): ALS Tjekket og Laboratorium for miljøbioteknologi, Institut for Mikrobiologi under CAS (Czech Academy of Sci-

¹⁰ Det kan eksempelvis nævnes, at medianindholdet af $\Sigma 4$ PFAS i regnvand fra byområder i Sverige ligger på ca. 1 ng/l (Cousins et al., 2022). Denne oplysning kan være relevant for de prøver, som er indsamlet på overfladen af et deponeringsanlæg.

¹¹ https://www.miljoeogressourcer.dk/filer/lix/5319/PFAS-h_ndbogen_29092022b.pdf

¹² <https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/PFAS-Response/Sampling-Guidance/General.pdf>

ence); herefter refereret til som KU. ALS Tjekket har via dens akkreditering et meget omfattende kvalitetssikringsprogram omkring PFAS-analyserne. KU-laboratoriet er ikke akkrediteret, men har flere års erfaring med kvantificering af PFAS'er i forskellige matricer, offentliggør resultaterne i videnskabelige tidsskrifter og udfører regelmæssigt blindprøver for at overvåge potentielle kilder til både kontaminering og tab af analyter.

3.2 Indsamling af materialeprøver

Da der deponeres møllevinger eller dele af vindmøllevinger på nogle danske deponeringsanlæg, ville det være nærliggende at opsamle og analysere perkolat fra de pågældende deponeringsenheder for indhold af PFAS og BPA. Dette forudsætter imidlertid, at vindmøllevingematerialet er placeret i dedikerede enheder eller celler med separat perkolatsamling. Forfatterne havde kendskab til tre danske deponeringsanlæg, som modtager eller har modtaget vindmøllevingeaffald. Det viste sig imidlertid, at møllevingerne på disse anlæg var blevet deponeret sammen med det øvrige affald i enheder for blandet affald. Da det har vist sig, at perkolat fra de fleste deponeringsenheder for blandet affald i forvejen ofte indeholder signifikante mængder PFAS, ville man i givet fald ikke vide, om et eventuelt indhold af PFAS i perkolatet stammede fra vindmøllevingerne eller fra det øvrige affald. Denne fremgangsmåde blev derfor opgivet.

På ét af deponeringsanlæggene, Gerringe Miljøcenter på Lolland, var der på overfladen af deponiet midlertidigt oplagret en mindre mængde forholdsvis gamle, kasserede vindmøllevinger, fra hvilke forfatterne med tilladelse fra REFA med en vinkelsliber udsavede en række prøver, både fra den ydre og indre del af forskellige vingeprofiler (se Figur 3.1). De udsavede prøver fra Gerringe Miljøcenter er vist i Figur 3.2



FIGUR 3.1. Udsavning af prøver af vindmøllevingeprofiler på Gerringe Miljøcenter.



FIGUR 3.2. Prøver udtaget fra vindmøllevinger på Gerringe Miljøcenter.

Ud over de ovenfor nævnte prøver blev der fra et antal vindmøllevingeproducenter og affaldsbehandlere, som behandler vindmøllevingeaffald, indsamlet yderligere prøver i form af dele af vindmøllevingeprofiler og spåner fra behandling af kasserede vindmøllevinger og/eller affald fra produktion af disse. Udvalgte prøver af disse blev efterfølgende forbehandlet med henblik på gennemførelse af udvaskningstests.

3.3 Forbehandling af materialeprøver

Udvalgte prøver på pladeform (2022-156-1, 2022-156-3, 2022-156-9B, 2022-156-11, 2022-156-12, og 2022-156-13A) blev skåret vha. vinkelsliber udstyret med en diamantskæreskive til mindre stykke af regulær form, hvilket muliggjorde anvendelse af en dynamisk overfladeudvaskningstest (= tanktest) i henhold til prEN 16637-2 (se afsnit 3.4). Prøven 2022-156-2, som var et kompositmateriale bestående af ca. 45 mm tykt lag glasfiber og 35 mm vedhæftet "skum"-lag (Figur 3.3), blev testet som modtaget (altså uden yderligere forbehandling) i en tanktest.



FIGUR 3.3. Prøve af materiale (registreret som 2022-156-2) indsamlet på Gerringe Miljøcenter.

Tre materialeprøver (2022-156-6, 2022-156-7, og 2022-156-8) blev indhentet i knust form fra en affaldsbehandlingsvirksomhed, og disse blev underkastet en batchudvaskningstest i henhold til DS/EN 12457-4 (se afsnit 3.4). Desuden blev flere udvalgte materialer/prøver (2022-156-4, 2022-156-5, 2022-156-9D, og 2022-156-13B) knust til mindre end 10 mm (eller mindre end 4 mm hvis teknisk muligt) først ved hjælp af manuel skæring og efterfølgende i en skæremølle (Retsch SM 200) og underkastet en batchudvaskningstest i henhold til DS/EN 12457-2 eller -4. Neddeling af prøverne blev udført hos Institute of Chemical Processes Fundamentals Czech Academy of Sciences (UCHP) i Prag, Tjekkiet. Et detaljeret overblik over prøverne, forbehandling, testning og analyse er vist i Tabel 3.1.

TABEL 3.1. Oversigt over type og anvendelse af prøver til testning.

Prøve nr.	Beskrivelse/Oprindelse	Neddeling	Forbehandling	Testning	Analyse
2022-156-1	Vinge/deponi	Skåret til tanktest	DanWS	UCHP	ALS, KU
2022-156-2	Vinge/deponi	Anvendt til tanktest	-	UCHP	ALS, KU
2022-156-3	Vinge/deponi	Skåret til tanktest	DanWS	UCHP	ALS, KU
2022-156-4	Lim?/deponi	Knust til batchtest	UCHP	UCHP	ALS, KU
2022-156-5	Vinge/deponi	Knust til batchtest	UCHP	UCHP	ALS, KU
2022-156-6	Knust blanding/ABV	Anvendt til batchtest	-	UCHP	ALS, KU
2022-156-7	Knust blanding/ABV	Anvendt til batchtest	-	UCHP	ALS, KU
2022-156-8	Kunst blanding/ABV	Anvendt til batchtest	-	UCHP	ALS, KU
2022-156-9B	Vinge/ABV	Skåret til tanktest	DanWS	UCHP	ALS, KU
2022-156-9D	Vinge/ABV	Knust til batchtest	UCHP	UCHP	ALS, KU
2022-156-11	Vinge/Producent	Skåret til tanktest	DanWS	UCHP	ALS, KU
2022-156-12	Vinge/Producent	Skåret til tanktest	DanWS	UCHP	ALS, KU
2022-156-13	Vinge/Producent	Skåret til tanktest (delprøve A)/knust til batchtest (delprøve B)	DanWS, UCHP	UCHP	KU

ABV: Affaldsbehandlingsvirksomhed/ophugger

DanWS: Danish Waste Solutions ApS

UCHP: Institute of Chemical Processes Fundamentals of the Czech Academy of Sciences (CAS)

ALS: ALS Czech Republic

KU: Laboratory of environmental biotechnology, Institute of Microbiology of the CAS

I Figur 3.4 vises eksempler på de forskellige materialetyper, der er testet i projektet.



FIGUR 3.4. Eksempler på prøveforbehandling.

3.4 Anvendte udvaskningstests

3.4.1 Testprincipper

På grund af de indsamlede prøvematerialers forskellighed med hensyn til fysisk fremtræden både før og efter forbehandling (som partikler eller spåner eller som plader af hårdt materiale), er det valgt at anvende to forskellige udvaskningstests:

Partikulært materiale eller spåner testes med en såkaldt batchudvaskningstest, DS/EN 12457-2 (eller DS/EN 12457-4), som anvendes, når udvaskningsmekanismen forventes at være frigivelse af stof under ligevægtslignende forhold. Resultater af batchudvaskningstest måles som koncentrationer i eluatet, typisk i mg/l, der omregnes og angives som mg/kg prøve-materiale på tørstofbasis.

Materiale på plade-form testes med en såkaldt dynamisk overfladeudvaskningstest, prEN 16637-2, som anvendes, når udvaskningsmekanismen forventes at være frigivelse eller diffusion ud gennem en overflade. Denne test kaldes også en tankudvaskningstest. Ved prEN 16637-2 udvaskes monolitisk materiale med minimumsdimensioner i alle retninger på 40 mm med demineraliseret vand. Materialeprøven, hvis overfladeareal skal være kendt, suspenderes i en vandfyldt beholder (tank) ved et væske-/overfladearealforhold (L/A) på ca. 80 liter per m². Efter 6 timer hældes vandet fra til analysering, og nyt vand tilsættes. Dette gentages med voksende tidsintervaller, indtil der efter i alt 64 døgn er opsamlet 8 eluatfraktioner. Ved at afbilde de målte stofkoncentrationer eller stofmængder mod tiden kan man for hvert stof få information om frigivelsesmekanismen (diffusion, overfladeafskylning eller begrænsning pga. stoffjernelse), ligesom man for hvert tidspunkt for eksempel kan få et udtryk for stoffrigivelsesfluxen (f.eks. i mg/m²/døgn). I denne sammenhæng blev der anvendt en stærkt modificeret udgave af testen. Da det som tidligere nævnt ikke er hensigten at bestemme frigivelseshastigheden for PFAS og BPA, men kun om stofferne rent faktisk udvaskes i målelige mængder, blev tanktesten kun udført i ét trin. Intervallerne mellem vandskiftene er udviklet som et kompromis mellem for det første at forhindre opbygning af høje koncentrationer i vandfasen, da dette vil reducere diffusionshastigheden ud af materialets overflade, og man derfor ønsker at bevare den størst mulige drivende kraft for stoffrigivelsen, og for det andet, at der opbygges et koncentrationsniveau, som er højt nok til at kunne måles med de anvendte analysemetoder. Jo længere kontaktid mellem materialet og vandfasen, jo højere stofkoncentration kan man forvente, indtil koncentrationen i vandfasen er så høj, at diffusionsprocessen stagnerer. I det aktuelle tilfælde var hensigten blot at konstatere, om der overhovedet kan udvaskes målelige mængder af PFAS og BPA. Samtidig skulle der tages hensyn til nogle logistiske forhold såsom arbejdstider mv. Tanktestene blev derfor udført i ét trin med en udvaskningsperiode på 6 døgn. Resultaterne måles som koncentrationer i eluatet og omregnes i det aktuelle tilfælde blot til udvasket stofmængde per m².

3.4.2 Gennemførelse af batchudvaskningstests

Alle batchudvaskningstestene blev udført hos UCHP efter bestemmelse af tørstofindhold. Ved DS/EN 12457-2 eller DS/EN 12457-4 blev materiale med partikelstørrelse henholdsvis < 4 mm eller < 10 mm (da det var ikke i alle tilfælde muligt at nedknuse materialet til < 4 mm) udvasket med demineraliseret vand ved et væske-/faststofforhold (L/S) på 10 l/kg i en lukket flaske af polypropylen, der baseret på laboratoriets erfaring har vist sig at give få vedhæftningsproblemer med hensyn til PFAS-analyse. Flaskerne blev agiteret ved rotation om længdeaksen ved 8-10 rpm i 24 timer, hvorefter vandfasen (eluatet) blev dekanteret. I enkelte tilfælde blev store stykker materiale adskilt ved hjælp af en keramisk Büchnertragt uden papirfilter (Figur 3.5).

Efter bestemmelse af pH og ledningsevne blev eluaterne fra batchudvaskningstestene opdelt i to portioner, hvor den ene portion blev sendt til det akkrediterede laboratorium ALS og analyseret for indhold af PFAS og BPA (se afsnit 3.5), mens den anden eluatportion blev sendt til KU og analyseret for indhold af PFAS (se afsnit 3.5).



FIGUR 3.5. Batchudvaskningstest i henhold til DS/EN 12457-2 (-4).

3.4.3 Tankudvaskningstest

Alle tanktestene blev udført hos UCHP i glasudstyr af passende størrelse (Figur 3.6). Metaltråd (galvaniseret) blev brugt til at fastholde teststykkerne nedsænket under testen. Udvas-
kning af PFAS fra metaltråden blev testet ved udvaskning i vand over 6 dage (henvist til som 2022-156-WW) og ved udvaskning i metanol over 2 timer (henvist til som W-MeOH).



FIGUR 3.6. Tankudvaskningstest.

Efter testperioden på 6 dage blev en lille eluatmængde udtaget og brugt til måling af pH og ledningsevne. Derefter blev eluaterne opdelt i to portioner, hvor den ene portion blev sendt til det akkrediterede laboratorium ALS og analyseret for indhold af PFAS og BPA, mens den anden eluatportion blev sendt til KU og analyseret for indhold af PFAS (se afsnit 3.5).

3.5 Analysering af eluater fra udvaskningstestene for indhold af PFAS og BPA

Hos det akkrediterede laboratorium ALS blev eluaterne analyseret ved hjælp af gaskromatografi-massespektrometri (GC-MS) i henhold til EN ISO 18857-2 for indhold af BPA og ved hjælp af væskerkromatografi-tandemmassespektrometri (LC-MS/MS) i henhold til DIN 38414-14 for indhold af de 22 PFAS'er, der på nuværende tidspunkt (december 2022) monitoreres i Danmark. Eluaterne blev homogeniseret, og prøverne blev spiked med ISTD-opløsning. Blandingen blev centrifugeret og ekstraheret ved hjælp af Solid Phase Extraction (SPE)-patroner, som blev forudkonditioneret, først med 5% NH₄OH i metanol, dernæst med metanol og til sidst med milli-Q vand. Prøven blev indført til SPE-patronen med en hastighed på 1 dråbe/s. Bagefter blev SPE-patronen tørret under vakuum og efterfølgende elueret med 5% NH₄OH i metanol og metanol. Ekstraktet blev opkoncentreret under N₂ i et opvarmet vandbad, derefter justeret til et volumen på 1 ml med 5 mM ammoniumacetat og filtreret gennem et 0,2 µm mættet cellulosefilter til klare hætteglas. Blandingen af PFAS blev adskilt ved hjælp af et LC-MS/MS-system udstyret med C18-forkolonne (5 x 2,1 mm, 1,7 µm) og C18-kolonne (100 x 2,1 mm, 1,7 µm). Gennemstrømningshastigheden blev indstillet til 0,4 ml/min, og kolonnetemperaturen blev holdt konstant ved 40 °C. 100 µl blev injiceret, og separation blev opnået ved gradienteluering ved at kombinere to mobile faser: 5mM ammoniumacetat (A) og acetonitril (B). De adskilte PFAS'er blev detekteret af et MS-system.

Hos KU blev eluaterne analyseret ved hjælp af LC-MS/MS for indhold af i alt 35 PFAS-forbindelser, herunder flere "next-generation"-forbindelser såsom 11Cl-PF3OUdS, 9Cl-PF3ONS, NaDONA og FRD903 "GenX". Eluatprøverne blev ekstraheret ved hjælp af Oasis HLB (Waters) SPE-patroner og elueret med metanol. Blandingen af PFAS blev adskilt ved hjælp af et LC-MS/MS-system bestående af en Shimadzu Nexera 2 LC udstyret med XSelect CSH C18-kolonne (75 x 2,1 mm, 2,5 µm). Gennemstrømningshastigheden blev indstillet til 0,6 ml/min, og kolonnetemperaturen blev holdt konstant ved 40 °C. 5 µl blev injiceret, og separation blev opnået ved gradienteluering ved at kombinere to mobile faser: 99,5:0,5 acetonitril:myresyre (A) og 79,5:20,0:0,5 vand:acetonitril:myresyre (B). De adskilte PFAS'er blev detekteret af et MS (Sciex 4500) udstyret med elektro spray-ionisering og drevet i negativ tilstand. Kildetemperaturen blev indstillet til 650 °C, og ionkildespændingen blev indstillet til -5500 V. Detektionen af de 35 forbindelser blev udført i multiple reaction monitoring (MRM) i 60-sekunders optagelsesvinduer for hver forbindelse (= scheduled MRM).

I Tabel 3.2 ses et overblik over de enkelte PFAS'er undersøgt af de forskellige laboratorier sammen med kvantificeringsgrænserne (LOQ – limit of quantification) angivet i nanogram per liter (ng/l).

Det skal nævnes, at testningen af alle prøver undtagen 2022-156-11, 2022-156-12 og 2022-156-13A/13B blev udført i november-december 2022, mens de nævnte tre prøver pga. forsinket prøvemodtagelse blev testet i februar 2023. Der er således tale om to forskellige testnings- og analyserunder, som kan have påvirket måleusikkerheden forskelligt. Prøverne 2022-156-11 og 2022-156-13A/13B blev modtaget direkte fra vindmølleproducenterne, mens prøve 2022-156-12 også blev modtaget fra en vindmøllevejeproducent, men via et indsamlings- og transportfirma. Det vurderes umiddelbart, at risikoen for krydskontaminering pga. håndtering og potentiel kontakt med andre materialer har været mindre for de direkte fremsendte prøver end for prøverne indsamlet på deponeringsanlægget eller modtaget fra affaldsbehandlere.

TABEL 3.2. Oversigt over de analyserede PFAS'er sammen med kvantificeringsgrænser (LOQ) angivet af de to laboratorier.

Gruppe	Forbindelse	CAS	Σ4	Σ22	ALS LOQ ng/l	KU LOQ ng/l
PFCA'er	Perfluorobutanoic acid (PFBA)	375-22-4		x	2	1
	Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	2706-90-3		x	0,3	1
	Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	307-24-4		x	0,3	0,2
	Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	375-85-9		x	0,3	0,1
	Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	x	x	0,3	0,1
	Perfluorononanoic acid (PFNA)	375-95-1	x	x	0,3	0,2
	Perfluorodecanoic acid (PFDA)	335-76-2		x	0,3	0,1
	Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	2058-94-8		x	0,3	0,1
	Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	307-55-1		x	0,3	0,1
	Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	72629-94-8		x	0,3	0,1
	Perfluorotetradecanoic acid (PFTeDA)	376-06-7			-	0,1
	Perfluorohexadecanoic acid (PFHxDA)	67905-19-5			-	0,1
	Perfluorooctadecanoic acid (PFOcDA)	16517-11-6			-	0,1
PFSA'er	Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	375-73-5		x	0,3	0,5
	Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	2706-91-4		x	0,3	-
	Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	355-46-4	x	x	0,3	0,25
	Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	375-92-8		x	0,3	0,1
	Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	1763-23-1	x	x	0,3	0,1
	Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	68259-12-1		x	0,3	-
	Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	335-77-3		x	0,3	-
	Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	749786-16-1		x	1	-
	Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	335-77-3		x	0,3	-
	Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	791563-89-8		x	1	-
FTSA'er	4:2 Fluorotelomer sulfonic acid (4:2 FTS)	27619-93-8			-	0,5
	6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	27619-94-9		x	0,3	0,25
	8:2 Fluorotelomer sulfonic acid (8:2 FTS)	27619-96-1			-	0,25
	10:2 Fluorotelomer sulfonic acid (10:2 FTS)	108026-35-3			-	0,25
FASA'er	Perfluorooctane sulfonamide (FOSA)	754-91-6		x	0,3	0,1
	nMet PFBSA	68298-12-4			-	0,5
	N-Methyl perfluorooctane sulfonamide (MeFOSA)	31506-32-8			-	0,25
	N-Ethyl perfluorooctane sulfonamide (EtFOSA)	4151-50-2			-	0,1
FASAA'er	Perfluorooctane sulfonamidoacetic acid (FOSAA)	2806-24-8			-	0,5
	N-Methyl perfluorooctane sulfonamidoacetic acid (MeFOSAA)	2355-31-9			-	0,5
	N-Ethyl perfluorooctane sulfonamidoacetic acid (EtFOSAA)	2991-50-6			-	0,5
FTA'er	3:3 FTA	356-02-5			-	1
	5:3 FTA	914637-49-3			-	0,5
	7:3 FTA	812-70-4			-	0,25
Øvrige/ny	11-chloroeicosafluoro-3-oxaundecane-1-sulfonic acid (11Cl-PF3OUdS)	83329-89-9			-	0,1
PFC'er	9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonic acid (9Cl-PF3ONS)	73606-19-6			-	0,1
	NaDONA	958445-44-8			-	0,1
	FRD903 "GenX"	13252-13-6			-	0,1

PFCA'er: perfluoralkyl carboxylsyre; PFSA'er: perfluoralkyl sulfonsyre; FTSA'er: fluorotelomer sulfonsyre;
FASA'er: perfluoralkan sulfonamider; FASAA'er: fluoroalkyl sulfonamideddikesyre; FTA'er: fluorotelomer
syre; PFC'er: en forkortelse for "perfluorinated chemicals"

-: angiver, at det pågældende stof ikke er målt i eluaterne af det pågældende laboratorium.

4. Resultater og diskussion

4.1 Udvaskning fra knuste materialer (batchudvaskningstest)

I Tabel 4.1 ses resultaterne af batchudvaskningstestene i henhold til DS EN 12457-2/4 ved L/S = 10 l/kg som eluatkoncentrationer af 22 PFAS'er og BPA analyseret hos ALS-laboratoriet. Ligeledes ses i Tabel 4.2 resultaterne af batchudvaskningstestene som eluatkoncentrationer af 35 PFAS'er analyseret hos KU-laboratoriet. Eluatet fra prøve 2022-156-13B blev kun analyseret hos KU-laboratoriet, hvor der analyseres for 35 forskellige PFAS'er, inklusive PFAS 4, men uden seks af de PFAS'er, som indgår i PFAS 22 (PFPeS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS og PFTrDS). Eluaterne fra alle de øvrige prøver blev analyseret for indhold af 41 PFAS'er, hvoraf indholdet af 18 PFAS'er blev bestemt af begge laboratorier. Derudover blev der udført en blindtest med MQ-vand (2022-156-BL). På grund af de meget lave koncentrationniveauer skal der tages højde for en målingsusikkerhed på $\pm 40\%$ på alle resultater større end LOQ. Bemærk, at dette er usikkerheden på analyserne af eluatet og ikke omfatter den yderligere usikkerhed, som er forbundet med forbehandling og testning. De originale akkrediterede testrapporter fra ALS findes i Bilag.

TABEL 4.1. Resultaterne af batchudvaskningstestning (DS/EN 12457-2 eller -4) ved L/S = 10 l/kg angivet som koncentrationer af 22 enkelte PFAS'er og BPA i eluaterne analyseret hos ALS Tjekket. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affaldsbehandlingsvirksomhed eller ophugger. Prod: Producent af vindmøllevinger. Blind = Blindprøve alene med vand.

Parameter	Enhed	2022-156-4	2022-156-5	2022-156-6	2022-156-7	2022-156-8	2022-156-9D	2022-156-13B	2022-156-BL
Oprindelse		Deponi		ABV1			ABV2	Prod	Blind
L/S	l/kg	10,0	9,98	9,98	9,96	9,99	10,01	10,0	-
pH	-	7,5	3,2	7,3	6,7	7,2	7,1	5,3	6,8
Ledningsevne	mS/m	4,94	4,77	0,79	1,47	0,87	0,93	4,49	0,2
PFBA**	ng/l	2	30	2	12	4	2	-	2
PFPeA**	ng/l	15,6	5,1	0,9	25,5	18	12	-	0,3
PFHxA**	ng/l	6	7,5	3	9	3	3,65	-	0,3
PFHpA**	ng/l	0,3	0,36	0,54	1,27	0,32	0,38	-	0,3
PFOA*,**	ng/l	0,3	0,48	2,45	5,92	1,54	0,39	-	0,3
PFNA*,**	ng/l	0,3	0,3	0,44	0,77	0,36	0,3	-	0,3
PFDA**	ng/l	0,3	0,3	0,46	0,59	0,53	0,3	-	0,3
PFUnDA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFDoDA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFTrDA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFBS**	ng/l	0,68	0,6	4,8	2,4	3	0,9	-	0,3
PFPeS*,**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFHxS*,**	ng/l	0,3	0,3	0,95	0,88	0,3	0,3	-	0,3
PFHpS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFOS*,**	ng/l	0,3	0,49	1,71	3,43	0,98	0,3	-	0,3
PFNS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFDS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFUnDS**	ng/l	1	1	1	1	1	1	-	1

Parameter	Enhed	2022-156-4	2022-156-5	2022-156-6	2022-156-7	2022-156-8	2022-156-9D	2022-156-13B	2022-156-BL
Oprindelse		Deponi			ABV1		ABV2	Prod	Blind
PFD _o DS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
PFT _r DS**	ng/l	1	1	1	1	1	1	-	1
6:2 FTS**	ng/l	0,63	0,3	1,49	0,64	0,44	0,3	-	0,3
FOSA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3
BPA	µg/l	0,25	3,03	6,52	41,4	6,59	58,5	-	-

*: Inkluderet i Σ₄PFAS; **: Inkluderet i Σ₂₂PFAS; -: Ikke testet/målt

TABEL 4.2. Resultaterne af batchudvaskningstestning (DS/EN 12457-2 eller -4) ved L/S = 10 l/kg angivet som koncentrationer af 35 enkelte PFAS'er i eluaterne analyseret hos KU. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affaldsbehandlingsvirksomhed eller ophugger. Prod: Producent af vindmøllevinger. Blind = Blindprøve alene med vand.

Parameter	Enhed	2022-156-4	2022-156-5	2022-156-6	2022-156-7	2022-156-8	2022-156-9D	2022-156-13B	2022-156-BL
Oprindelse		Deponi			ABV1		ABV2	Prod	Blind
L/S	l/kg	10,0	9,98	9,98	9,96	9,99	10,01	10,0	-
pH	-	7,5	3,2	7,3	6,7	7,2	7,1	5,3	6,8
Ledningsevne	mS/m	4,94	4,77	0,79	1,47	0,87	0,93	4,49	0,2
PFBA**	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1
PFPeA**	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1
PFHxA**	ng/l	0,25	0,25	0,7	2,2	1,3	0,7	0,2	0,2
PFHpA**	ng/l	0,1	0,7	1,2	2	0,6	0,1	0,6	0,1
PFOA*,**	ng/l	0,1	0,1	3,7	9,7	2,8	0,1	0,1	0,1
PFNA*,**	ng/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
PFDA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFUnDA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFD _o DA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFT _r DA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFTeDA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFHxDA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFOcDA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFBS**	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
PFHxS*,**	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
PFHpS**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFOS*,**	ng/l	0,1	0,1	1,2	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1
4:2 FTS	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
6:2 FTS**	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,7	0,25
8:2 FTS	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
10:2 FTS	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
FOSA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
MeFOSA	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
EtFOSA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
FOSAA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Parameter	Enhed	2022-156-4	2022-156-5	2022-156-6	2022-156-7	2022-156-8	2022-156-9D	2022-156-13B	2022-156-BL
Oprindelse		Deponi			ABV1		ABV2	Prod	Blind
MeFOSAA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
EtFOSAA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
11Cl-PF3OUdS	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9Cl-PF3ONS	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
nMet PFBSA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3:3 FTA	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1
5:3 FTA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
7:3 FTA	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
NaDONA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	21,2	0,1	0,1	0,1
FRD903 GenX	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

*: Inkluderet i Σ_4 PFAS; **: Inkluderet i Σ_{22} PFAS

Det skal bemærkes, at fordi testningen af udvaskningsegenskaber ikke blev udført som replikater, bør resultaterne af screeningen ses som vejledende og anvendes med stor forsigtighed. Ikke desto mindre er det vist i Tabel 4.1 og Tabel 4.2, at begge laboratorier generelt identificerede samme fire PFAS-forbindelser (netop PFHpA, PFOA, PFNA, og PFOS), og for det meste var resultaterne i samme størrelsesorden, målingsusikkerhederne taget i betragtning. PFHxA blev identificeret i fire eluatprøver analyseret hos KU og i én prøve analyseret hos ALS (bemærk dog, at LOQ er højere hos ALS end hos KU), mens PFDA blev identificeret i tre eluatprøver analyseret hos ALS. Derudover blev PFHxS og 6:2 FTS identificeret i hhv. to og fire eluatprøver analyseret hos ALS. Bemærk, at eluat fra 2022-156-8 viste høj koncentration af NaDONA, som ikke er fundet i andre eluater fra batchtestene.

Det er oplyst, at prøverne 2022-156-6, 2022-156-7, og 2022-156-8 stammer fra et fuldskala-shredder anlæg, der håndterer forskellige typer affald, herunder også metalskrot og kabelskrot. Det kan derfor ikke udelukkes, at alle eller nogle af de identificerede PFAS'er i eluaterne fra disse prøver stammer fra krydskontaminering af prøverne under knusningen.

Som det ses, fandt ingen af de to laboratorier PFAS-koncentrationer, som oversteg kvantificeringsgrænserne, i blindprøven med vand alene uden prøve (2022-156-BL).

Det skal for en god ordens skyld bemærkes, at udvaskningen af mange PFAS'er muligvis er afhængig af L/S, og at der derfor måske ville kunne forventes højere eluatkoncentrationer, hvis batchtestene blev udført ved lavere L/S-forhold, som f.eks. ved L/S = 2 l/kg i stedet for L/S = 10 l/kg (Liu, et al. 2022). Det er en af grundene til, at de fundne koncentrationer af PFAS i eluaterne ikke umiddelbart kan sammenlignes med diverse grænseværdier for PFAS i f.eks. grundvand.

BPA blev identificeret i alle eluaterne fra batchudvaskningstest undtagen 2022-156-4. Koncentrationerne af BPA varierede mellem 3 og 59 µg/l. Eluatet fra 2022-156-13B blev ikke analyseret for BPA grundet begrænset eluatmængde; bestemmelsen af PFAS blev prioriteret højest.

I Tabel 4.3 og Tabel 4.4 ses resultaterne, som i Tabel 4.1 og Tabel 4.2 er præsenteret som koncentrationer i eluaterne (ng/l eller µg/l), omregnet til udvaskede stofmængder (ng/kg TS eller µg/kg TS).

TABEL 4.3. Resultater af batchudvaskningstestning angivet som udvaskede stofmængder af 22 enkelte PFAS'er (analyseret hos ALS-laboratoriet) ved L/S = 10 l/kg. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affaldsbehandlingsvirksomhed eller ophugger. Prod: Producent af vindmøllevinger.

Parameter	Enhed	2022-156-4	2022-156-5	2022-156-6	2022-156-7	2022-156-8	2022-156-9D	2022-156-13B
Oprindelse		Deponi			ABV1		ABV2	Prod
L/S	l/kg	10,0	9,98	9,98	9,96	9,99	10,01	10,0
pH	-/-	7,5	3,2	7,3	6,7	7,2	7,1	5,3
Ledningsevne	mS/m	4,94	4,77	0,79	1,47	0,87	0,93	4,49
PFBA**	ng/kg TS	20	300	20	120	40	20	-
PFPeA**	ng/kg TS	160	51	9,0	250	180	120	-
PFHxA**	ng/kg TS	60	75	30	90	30	37	-
PFHpA**	ng/kg TS	3,0	3,6	5,4	13	3,2	3,8	-
PFOA*,**	ng/kg TS	3,0	4,8	24	59	15	3,9	-
PFNA*,**	ng/kg TS	3,0	3,0	4,4	7,7	3,6	3,0	-
PFDA**	ng/kg TS	3,0	3,0	4,6	5,9	5,3	3,0	-
PFUnDA**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFDoDA**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFTTrDA**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFBS**	ng/kg TS	6,8	6,0	48	24	30	9,0	-
PFPeS*,**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFHxS*,**	ng/kg TS	3,0	3,0	9,5	8,8	3,0	3,0	-
PFHpS**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFOS*,**	ng/kg TS	3,0	4,9	17	34	9,8	3,0	-
PFNS**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFDS**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFUnDS**	ng/kg TS	10	10	10	10	10	10	-
PFDoDS**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
PFTTrDS**	ng/kg TS	10	10	10	10	10	10	-
6:2 FTS**	ng/kg TS	6,3	3,0	15	6,4	4,4	3,0	-
FOSA**	ng/kg TS	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
BPA	µg/kg TS	2,5	30	65	410	66	590	-

*: Inkluderet i Σ_4 PFAS; **: Inkluderet i Σ_{22} PFAS, -: Ikke testet

TABEL 4.4. Resultater af batchudvaskningstestning angivet som udvaskede stofmængder af 35 enkelte PFAS'er (analyseret hos KU-laboratoriet) ved L/S = 10 l/kg. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affaldsbehandlingsvirksomhed eller ophugger. Prod: Producent af vindmøllevinger.

Parameter	Enhed	2022-156-4	2022-156-5	2022-156-6	2022-156-7	2022-156-8	2022-156-9D	2022-156-13B
Oprindelse		Deponi			ABV1		ABV2	Prod
L/S	l/kg	10,0	9,98	9,98	9,96	9,99	10,01	10,0
pH	-/-	7,5	3,2	7,3	6,7	7,2	7,1	5,3
Ledningsevne	mS/m	4,94	4,77	0,79	1,47	0,87	0,93	4,49
PFBA**	ng/kg TS	10	10	10	10	10	10	10
PFPeA**	ng/kg TS	10	10	10	10	10	10	10
PFHxA**	ng/kg TS	2,5	2,5	7,0	22	13	7,0	2,0
PFHpA**	ng/kg TS	1,0	7,0	12	20	6,0	1,0	6,0
PFOA*,**	ng/kg TS	1,0	1,0	37	97	28	1,0	1,0
PFNA*,**	ng/kg TS	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
PFDA**	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFUnDA**	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFDODA**	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFTTrDA**	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFTeDA	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFHxDA	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFOcDA	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFBS**	ng/kg TS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
PFHxS*,**	ng/kg TS	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
PFHpS**	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PFOs*,**	ng/kg TS	1,0	1,0	12	9,0	1,0	1,0	1,0
4:2 FTS	ng/kg TS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
6:2 FTS**	ng/kg TS	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	7,0
8:2 FTS	ng/kg TS	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
10:2 FTS	ng/kg TS	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
FOSA**	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
MeFOSA	ng/kg TS	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
EtFOSA	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
FOSAA	ng/kg TS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
MeFOSAA	ng/kg TS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
EtFOSAA	ng/kg TS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
11Cl-PF3OUdS	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
9Cl-PF3ONS	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
nMet PFBSA	ng/kg TS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
3:3 FTA	ng/kg TS	10	10	10	10	10	10	10
5:3 FTA	ng/kg TS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
7:3 FTA	ng/kg TS	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
NaDONA	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	210	1,0	1,0
FRD903 GenX	ng/kg TS	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

*: Inkluderet i Σ_4 PFAS; **: Inkluderet i Σ_{22} PFAS

4.2 Udvaskning fra materialer på plade-form eller monolitiske materialer (tankudvaskningstest)

I Tabel 4.5 ses resultaterne af 6-dages tankudvaskningstestene som eluatkoncentrationer af 22 PFAS'er og BPA analyseret hos ALS-laboratoriet. Ligeledes ses i Tabel 4.6 resultaterne af 6-dages tankudvaskningstestene som eluatkoncentrationer af 35 PFAS'er analyseret hos KU-laboratoriet. Derudover vises i begge tabellerne resultatet af udvaskningstest udført med galvaniseret tråd i MQ-vand over en 6-dags periode (2022-156-WW). Resultat af udvaskningen med galvaniseret tråd i metanol vises kun i Tabel 4.6 som W-MeOH. De originale akkrediterede testrapporter fra ALS findes i Bilag.

TABEL 4.5. Resultaterne af tankudvaskningstestning angivet som koncentrationer af de enkelte 22 PFAS'er og BPA i eluaterne analyseret hos ALS Tjekket. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affaldsbehandlingsvirksomhed eller ophugger. Tråd-V: Ophængningsståltråd udvasket med vand.

Parameter	Enhed	2022-156-1	2022-156-2	2022-156-3	2022-156-9B	2022-156-11	2022-156-12	2022-156-13A	2022-156-WW
Oprindelse		Deponi			ABV	Producenter			Tråd-V
Vægt	g	220,95	778,08	248,22	1107,5	245,3	189,1	147,12	100
Vand (L)	ml	1721	4406	1708	1435,5	1523	1770	1556	1000
Overflade (A)	cm ²	397,9	646,4	758,3	429,3	470,3	506,9	459,4	-
L/A	l/m ²	43,3	68,2	22,5	33,4	32,4	34,9	33,9	-
pH	-/-	7,42	6,92	7,40	5,93	8,18	6,66	6,53	7,28
Ledningsevne	mS/m	3,07	5,82	1,37	5,23	1,38	3,5	9,21	0,83
PFBA**	ng/l	2	6,6	2	2	2	4	6	2
PFPeA**	ng/l	0,6	1,8	0,3	1,2	0,3	1,2	1,2	0,3
PFHxA**	ng/l	0,3	0,9	0,3	0,6	0,3	0,9	0,3	0,3
PFHpA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFOA*,**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFNA*,**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFDA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFUnDA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFDODA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFTTrDA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFBS**	ng/l	0,39	0,6	0,9	0,3	0,6	0,6	0,3	0,3
PFPeS*,**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFHxS*,**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFHpS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFOS*,**	ng/l	0,31	0,48	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFNS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFDS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFUnDS**	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1
PFDODS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PFTTrDS**	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1
6:2 FTS**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
FOSA**	ng/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
BPA	µg/l	0,238	0,144	0,062	0,094	14,1	14,6	1,28	-

*: Inkluderet i Σ₄PFAS; **: Inkluderet i Σ₂₂PFAS; -: Ikke testet

TABEL 4.6. Resultaterne af tankudvaskningstestning angivet som koncentrationer af de enkelte 35 PFAS'er i eluaterne analyseret hos KU. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affaldsbehandlingsvirksomhed eller ophugger. Tråd-V: Ophængningsståltråd udvasket med vand. Tråd-Me: Ophængningsståltråd udvasket med metanol.

Parameter	Enhed	2022-156-1	2022-156-2	2022-156-3	2022-156-9B	2022-156-11	2022-156-12	2022-156-13A	2022-156-WW	W-MeOH
Oprindelse		Deponi			ABV	Producenter			Tråd-V	Tråd-Me
Vægt	g	220,95	778,08	248,22	1107,5	245,3	189,1	147,12	100	20
Vand (L)	ml	1721	4406	1708	1435,5	1523	1770	1556	1000	50
Overflade (A)	cm ²	397,9	646,4	758,3	429,3	470,3	506,9	459,4	-	-
L/A	l/m ²	43,3	68,2	22,5	33,4	32,4	34,9	33,9	-	-
pH	-/-	7,42	6,92	7,40	5,93	8,18	6,66	6,53	7,28	-
Ledningsevne	mS/m	3,07	5,82	1,37	5,23	1,38	3,5	9,21	0,83	-
PFBA**	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PFPeA**	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PFHxA**	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
PFHpA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFOA*,**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1
PFNA*,**	ng/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
PFDA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFUnDA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFDoDA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFTTrDA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFTeDA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFHxDA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFOcDA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFBS**	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
PFHxS*,**	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
PFHpS**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PFOS*,**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4:2 FTS	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
6:2 FTS**	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	1,9	1	0,7	0,25
8:2 FTS	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
10:2 FTS	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
FOSA**	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
MeFOSA	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
EtFOSA	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
FOSAA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5
MeFOSAA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5
EtFOSAA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
11Cl-PF3OUdS	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9Cl-PF3ONS	ng/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
nMet PFBSA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3:3 FTA	ng/l	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5:3 FTA	ng/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
7:3 FTA	ng/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
NaDONA	ng/l	32,5	51,2	59,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
FRD903 GenX	ng/l	4,6	5,8	4,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

*: Inkluderet i Σ_4 PFAS, **: Inkluderet i Σ_{22} PFAS, -: Ikke testet

Både koncentrationer og antal af de identificerede PFAS'er i eluaterne fra tanktestene er generelt lavere end i eluaterne fra batchtestene, hvilket sandsynligvis skyldes (i) den større reaktionsoverflade af knust materiale og agitation under batchtesten eller (ii) mindre krydskontaminering af prøverne i forhold til knusning i en industriel knuser. I modsætning til de knuste prøver blev der dog identificeret NaDONA og FRD903 "GenX" (der begge tilhører de såkaldte "next-generation" PFAS'er) i de tre prøver indsamlet fra vindmøllevinger på deponeringsanlægget. Især NaDONA blev målt i relativt høje koncentrationer mellem 33 og 60 ng/l. I alle syv tests blev der anvendt det samme glasudstyr, og galvaniseret metaltråd blev brugt til at holde testelementerne nedsænket under testen (se Figur 3.6). Metaltråden blev underkastet en dedikeret blindprøve-undersøgelse (2022-156-WW) samt en testning af udvaskningen i metanol (W-MeOH). Hverken NaDONA eller FRD903 "GenX" blev identificeret i eluatprøverne 2022-156-WW og W-MeOH), og det ser derfor ikke ud til, at de observerede koncentrationer af disse to PFAS'er i prøverne 2022-156-1, 2022-156-2, og 2022-156-3 er relateret til det anvendte udstyr. Hverken NaDONA eller FRD903 "GenX" indgår i de danske summeringsgrænseværdier Σ_4 PFAS og Σ_{22} PFAS. I forbindelse med testningen af prøverne 2022-156-11, 2022-156-12 og 2022-156-13A, blev 6:2 FTS identificeret i blindprøven 2022-156-WW hos KU, men ikke hos ALS-laboratoriet. Samtidig blev små mængder af 6:2 FTS fundet af KU i eluaterne fra de tre ovennævnte prøver fra vindmølleproducenterne. Det kan ikke umiddelbart forklares, hverken om dette er resultatet af en krydskontaminering, eller hvad der i givet fald har forårsaget denne. Det er dog igen en klar indikation af, at fordi der er tale om små værdier, og fordi testningen af udvaskningsegenskaber ikke blev udført som replikater, bør resultaterne af screeningen anvendes med stor forsigtighed.

Kun i ét tilfælde blev dele af den samme prøve testet på pladeform ved en tankudvaskningstest (2022-156-13A) og på knust form ved en batchudvaskningstest (2022-156-13B). Eluatet fra batchudvaskningstesten blev som tidligere nævnt kun analyseret af KU, som fandt 0,6 ng/l PFHpA (blindprøve < 0,1 ng/l) og 0,7 ng/l 6:2 FTS (blindprøve 0,25 ng/l), mens indholdet af de øvrige PFAS'er var < LOQ. I eluatet fra tanktesten på prøve 2022-156-13A fandt ALS ingen koncentrationer af PFAS'er større end LOQ, mens KU fandt PFHpA < 0,1 ng/l (altså < LOQ) og 1 ng/l 6:2 FTS (blindprøve 0,7 ng/l). 6:2 FTS var det eneste stof, som blev fundet i blindprøven. Som også nævnt ovenfor, kan det ikke afvises, at der kan være sket en krydskontaminering. Under alle omstændigheder illustrerer disse lidt modstridende resultater, at de målte udvaskede mængder af PFAS er meget små, og at usikkerheden på målingerne, som vokser, når man nærmer sig LOQ, derfor er meget stor. Den samlede usikkerhed på udførelsen af analyserne af indholdet af PFAS'er i eluaterne og udførelsen af udvaskningstestene er sandsynligvis af samme størrelsesorden som resultaterne.

BPA blev identificeret i alle eluaterne fra tankudvaskningstestene, dog på meget lavere niveau i forhold til resultaterne fra batchtestene, hvor BPA med én undtagelse (prøven 2022-156-4 fra Gerringe Miljøcenter), også blev fundet i alle eluater. Koncentrationerne af BPA i eluaterne fra tankudvaskningstestene varierede mellem 0,06 og 15 µg/l.

I Tabel 4.7 og Tabel 4.8 ses resultaterne af tankudvaskningstestene som udvasket stof-mængde per m² (ng/m² for PFAS'erne og µg/m² for BPA). Alle værdier er angivet med to betydende cifre.

TABEL 4.7. Resultaterne af tankudvaskningstestning angivet som udvaskede stofmængder af de enkelte 22 PFAS'er og BPA analyseret hos ALS-laboratoriet. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affalds-behandlingsvirksomhed eller ophugger.

Parameter	Enhed	2022-156-1	2022-156-2	2022-156-3	2022-156-9B	2022-156-11	2022-156-12	2022-156-13A
Oprindelse			Deponi		ABV		Producenter	
Vægt	g	220,95	778,08	248,22	1107,5	245,3	189,1	147,12
Vand (L)	ml	1721	4406	1708	1435,5	1523	1770	1556
Overflade (A)	cm ²	397,9	646,4	758,3	429,3	470,3	506,9	459,4
L/A	l/m ²	43,3	68,2	22,5	33,4	32,4	34,9	33,9
pH	-	7,42	6,92	7,40	5,93	8,18	6,66	6,53
Ledningsevne	mS/m	3,07	5,82	1,37	5,23	1,38	3,5	9,21
PFBA**	ng/m ²	87	450	45	67	65	140	200
PFPeA**	ng/m ²	26	120	6,8	40	9,7	42	41
PFHxA**	ng/m ²	13	61	6,8	20	9,7	31	10
PFHpA**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFOA*,**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFNA*,**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFDA**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFUnDA**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFDoDA**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFTTrDA**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFBS**	ng/m ²	17	41	20	10	19	21	10
PFPeS*,**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFHxS*,**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFHpS**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFOS*,**	ng/m ²	13	33	6,8	10	9,7	10	10
PFNS**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFDS**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFUnDS**	ng/m ²	43	68	23	33	32	35	34
PFDoDS**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
PFTTrDS**	ng/m ²	43	68	23	33	32	35	34
6:2 FTS**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
FOSA**	ng/m ²	13	20	6,8	10	9,7	10	10
BPA	µg/m ²	10	9,8	1,4	3,1	460	510	43

*: Inkluderet i Σ₄PFAS; **: Inkluderet i Σ₂₂PFAS

TABEL 4.8. Resultaterne af tankudvaskningstestning angivet som udvaskede stofmængder af de enkelte 35 PFAS'er analyseret hos KU-laboratoriet. Resultater med rød skrift er mindre end de angivne kvantificeringsgrænser (LOQ – limit of quantification). ABV = Affaldsbehandlings-virksomhed eller ophugger.

Parameter	Enheden	2022-156-1	2022-156-2	2022-156-3	2022-156-9B	2022-156-11	2022-156-12	2022-156-13A
Oprindelse		Deponi			ABV	Producenter		
Vægt	g	220,95	778,08	248,22	1107,5	245,3	189,1	147,12
Vand (L)	ml	1721	4406	1708	1435,5	1523	1770	1556
Overflade (A)	cm ²	397,9	646,4	758,3	429,3	470,3	506,9	459,4
L/A	l/m ²	43,3	68,2	22,5	33,4	32,4	34,9	33,9
pH	-/-	7,42	6,92	7,40	5,93	8,18	6,66	6,53
Ledningsevne	mS/m	3,07	5,82	1,37	5,23	1,38	3,5	9,21
PFBA**	ng/m ²	43	68	23	33	32	35	34
PFPeA**	ng/m ²	43	68	23	33	32	35	34
PFHxA**	ng/m ²	11	17	5,6	8,3	6,5	7,0	6,8
PFHpA**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFOA*,**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	17	3,4
PFNA*,**	ng/m ²	8,7	14	4,5	6,7	6,5	7,0	6,8
PFDA**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFUnDA**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFDoDA**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFTTrDA**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFTeDA	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFHxDA	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFOcDA	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFBS**	ng/m ²	22	34	11	17	16	17	17
PFHxS*,**	ng/m ²	11	17	5,6	8,3	8,1	8,7	8,5
PFHpS**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
PFOS*,**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
4:2 FTS	ng/m ²	22	34	11	17	16	17	17
6:2 FTS**	ng/m ²	11	17	5,6	8,3	19	66	34
8:2 FTS	ng/m ²	11	17	5,6	8,3	8,1	8,7	8,5
10:2 FTS	ng/m ²	11	17	5,6	8,3	8,1	8,7	8,5
FOSA**	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
MeFOSA	ng/m ²	11	17	5,6	8,3	8,1	8,7	8,5
EtFOSA	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
FOSAA	ng/m ²	22	34	11	17	16	21	17
MeFOSAA	ng/m ²	22	34	11	17	16	24	17
EtFOSAA	ng/m ²	22	34	11	17	16	17	17
11CI-PF3OUdS	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
9CI-PF3ONS	ng/m ²	4,3	6,8	2,3	3,3	3,2	3,5	3,4
nMet PFBSA	ng/m ²	22	34	11	17	16	17	17
3:3 FTA	ng/m ²	43	68	23	33	32	35	34
5:3 FTA	ng/m ²	22	34	11	17	16	17	17
7:3 FTA	ng/m ²	11	17	5,6	8,3	8,1	8,7	8,5
NaDONA	ng/m ²	1400	3500	1300	3,3	3,2	3,5	3,4
FRD903 GenX	ng/m ²	200	400	97	3,3	3,2	3,5	3,4

*: Inkluderet i Σ_4 PFAS; **: Inkluderet i Σ_{22} PFAS

5. Konklusioner

Der er foretaget en gennemgang af tilgængelig litteratur om stofudvaskning af især per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) og bisphenol A (BPA) fra vindmøllevinger og andre glasfiberprodukter i relation til deponering. Det blev konstateret, at:

- Der findes ingen specifikke danske (og heller ikke udenlandske) data vedr. udvaskning fra deponerede vindmøllevinger.
- Der findes ingen specifikke danske (og heller ikke udenlandske) data vedr. udvaskning fra deponerede glasfiberkomposit(er).
- Selv om perkolat fra deponier, baseret på forfatternes erfaringer, er en af de største ikke-direkte (hvor direkte omfatter produktion og anvendelse) kilder af PFAS, findes der ingen data (udenlandske eller danske) om udvaskning af PFAS (eller BPA) i perkolat fra deponier som vil være direkte knyttet til deponerede glasfiberkomposit, epoxy, eller PUR.

Der blev indsamlet prøvemateriale fra udtjente vindmøllevinger, produktionsaffald fra fremstilling af vindmøllevinger, og møllevinger, der allerede var anbragt på et deponeringsanlæg. Med hensyn til den potentielle usikkerhed relateret til krydskontaminering af prøverne anses disse ikke for at være ens, da nogle af dem var indsamlet direkte af projektteamet fra et deponeringsanlæg, mens andre blev leveret af tredjepartsvirksomheder eller direkte af producenter.

Prøverne blev underkastet to slags tests, nemlig såkaldte batchudvaskningstests, hvor materialet nedknes til en partikelstørrelse på mindre end ca. 4-10 mm og anbringes i kontakt med vand under agitation, og tankudvaskningstests til undersøgelse af, om der ved kontakt med vand frigives stoffer fra overfladen af hele stykker af materialerne. Eluaterne fra testningen blev analyseret for indhold af 22 enkelte PFAS'er og BPA hos ALS-laboratoriet og for indhold af 35 enkelte PFAS'er hos KU-laboratoriet. Da testningen af udvaskningsegenskaber ikke blev udført som replikater, og da de fundne indhold af PFAS er meget lave (og derfor behæftet med en betydelig måleusikkerhed), bør nedenstående resultater af screeningen blot ses som foreløbige indikationer:

- De samme PFAS-forbindelser (PFHpA, PFOA, PFNA, PFOS) blev identificeret af to forskellige laboratorier i kvantificerbare mængder (mellem 0,2 og 9,7 ng/l for de enkelte forbindelser) i eluaterne fra batchudvaskningstests udført på tre materialer, indsamlet og leveret af en affaldsbehandlingsvirksomhed i knust form. 6:2 FTS blev identificeret i eluat fra de samme materialer på et niveau af 0,4-1,5 ng/l (svarende til 4-15 ng/kg); dette blev dog ikke bekræftet på begge laboratorier. Desuden blev PFHxA identificeret af begge laboratorier i koncentrationer på 0,7-3,7 ng/l i eluat fra prøvemateriale leveret af en anden affaldsbehandlingsvirksomhed.
- PFHxA og PFHpA blev identificeret i kvantificerbare koncentrationer (mellem 0,4 og 3,7 ng/l, svarende til mellem 4 og 37 ng/kg testet materiale) i eluaterne fra batchudvaskningstests udført på to prøver, der blev indsamlet på plade-form på et deponeringsanlæg og knust som en del af prøveforbehandlingen.
- De mest "forurenede" prøver blev alle indsamlet på et fuldskala-shredderanlæg, der håndterer forskellige typer affald herunder metalskrot og kabelskrot. Det kan derfor ikke udelukkes at alle eller nogle af de identificerede PFAS'er i eluaterne fra disse prøver stammer fra krydskontaminering af prøverne under knusningen.

- Resultaterne fra tankudvaskningstestene viste både lavere koncentrationer og lavere antal af de kvantificerbare PFAS'er i eluaterne i forhold til batchudvaskningstestene. I modsætning til resultaterne for de knuste prøver blev der i eluaterne fra de tre tanktests på prøverne fra deponeringsanlægget kvantificeret NaDONA (33-60 ng/l) og FRD903 "GenX" (4,3-5,8 ng/l), der begge tilhører til såkaldte "next-generation" PFAS'er. Eluat fra fire andre tankudvaskningstests viste ingen kvantificerbare mængder af disse forbindelser. Hverken NaDONA eller FRD903 "GenX" indgår i de danske summeringsgrænseværdier Σ_4 PFAS og Σ_{22} PFAS.
- Mindre mængder af 6:2 FTS blev identificeret hos KU-laboratoriet i eluater fra flere tankudvaskningstests. Dette blev dog ikke bekræftet af resultaterne fra ALS-laboratoriet, og det kan nævnes, at 6:2 FTS også blev identificeret i vandet fra blindprøven med ståltråden på KU-laboratoriet.
- BPA blev identificeret i de fleste af eluaterne fra batchudvaskningstestene (mellem 3 og 59 µg/l svarende til 30-590 µg/kg testmateriale) og i alle eluaterne fra tankudvaskningstestene (mellem 0,06 og 0,24 µg/l).

På det foreliggende grundlag, som må betegnes som en screeningsundersøgelse, kan det konstateres, at der sandsynligvis kan udvaskes BPA fra vindmøllevinger. Derudover kan det ikke udelukkes, at der efter deponering kan udvaskes kvantificerbare mængder PFAS fra vindmøllevingeaffald, især efter knusning. De målte niveauer er meget lave, og forfatterne vurderer ikke, at de i givet fald vil kunne bidrage synligt til den samlede PFAS-udvaskning observeret i perkolat fra deponeringsanlæg, som generelt er flere størrelsesordener højere. I betragtning af den miljømæssige persistens og mobilitet af nogle PFAS'er, kombineret med årtiers udbredt anvendelse, som har resulteret i PFAS-tilstedeværelse i overfladevand, grundvand, drikkevand, regnvand, jord, sediment, luft, planter, og humant blodserum over hele kloden, og en dermed forbundet risiko for krydskontaminering af prøver med PFAS, især ved forbehandling udenfor laboratoriemiljøet, og det begrænsede antal prøver samt meget lave koncentrationsniveauer, må det anbefales, at der gennemføres yderligere undersøgelser under fuldt kontrollerede forhold på et større antal prøver og med replikatbestemmelser, hvis man ønsker at kunne drage endelige konklusioner om mængde og betydning af udvaskning af PFAS fra glasfiberprodukter, herunder særligt vindmøllevinger.

Det skal understreges, at de koncentrationer, som i dette projekt er målt i eluaterne fra udvaskningstestene, afhænger af testbetingelserne (herunder L/S¹³ og L/A¹⁴), og at de derfor IKKE kan sammenlignes direkte med diverse grænseværdier for stoffer i grundvand og overfladevand. En eventuel vurdering i forhold til grænseværdier forudsætter, at der på et relevant datagrundlag gennemføres en egentlig risikovurdering baseret på modellering af konkrete scenarier.

¹³ L/S betegner forholdet mellem vandmængde (L) og masse (S) af prøven ved batchudvaskningstests.

¹⁴ L/A betegner forholdet mellem vandmængde (L) og overfladeareal (A) af prøven ved tankudvaskningstests.

6. Referencer

Bell, A.M.; Keltsch, N.; Schweyen, P.; Reifferscheid, G.; Ternes, T.; Buchinger, S. (2021): UV aged epoxy coatings. Ecotoxicological effects and released compounds, *Water Research* X 12, 100105.

Cantoni, B.; Riguzzi, A.C.; Turolla, A.; Antonelli, M. (2021): Bisphenol A leaching from epoxy resins in the drinking water distribution networks as human health risk determinant, *Science of the Total Environment* 783, 146908.

Castiglioni, S.; Valsecchi, S.; Polesello, S.; Rusconi, M.; Melis, M.; Palmiotto, M.; Manenti, A.; Davoli, E.; Zuccato, E. (2015): Sources and fate of perfluorinated compounds in the aqueous environment and in drinking water of a highly urbanized and industrialized area in Italy, *Journal of Hazardous Materials* 282, 51-60.

Cousins, I.T., Johansson, J.H., Salter, M.E., Sha, B., M. Sheringer (2022): Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Fluoroalkyl Substances (PFAS). *Environ. Sci. Technol.* 2022, 56, 11172-11179.

Denly, E.; Occhialini, J.; Bassignani, P.; Eberle, M.; Rabah, N. (2019): Per- and polyfluoroalkyl substances in environmental sampling products: Fact or fiction?, *Remediation-the Journal of Environmental Cleanup Costs Technologies & Techniques* 29, 65-76.

Evich, M.G.; Davis, M.J.B.; Mccord, J.P.; Acrey, B.; Awkerman, J.A.; Knappe, D.R.U.; Lindstrom, A.B.; Speth, T.F.; Tebes-Stevens, C.; Strynar, M.J.; Wang, Z.Y.; Weber, E.J.; Henderson, W.M.; Washington, J.W. (2022): Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment, *Science* 375, 512.

Field, J.; Schwichtenberg, T.; Deeb, R.A.; Hawley, E.L.; Saylor, P.E.C.; Bogdan, D.; Shaefer, Jr., Ch.E.; DiGuiseppi, B.; Struse, A. (2021): Assessing the potential for bias in PFAS concentrations during groundwater and surface water sampling. SERDP Projekt ER19-1205, (May 2021).

García Sánchez, R.; Pehlken, A.; Lewandowski, M. (2014): On the sustainability of wind energy regarding material usage, *Acta Tehnica Corviniensis - Bulletin of Engineering* Tome VII, Fascicule 1 [Jan – Mar].

Glüge, J.; Scheringer, M.; Cousins, I.T.; DeWitt, J.C.; Goldenman, G.; Herzke, D.; Lohmann, R.; Ng, C.A.; Trier, X.; Wang, Z. (2020): An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), *Environ. Sci.: Processes Impacts* 22, 2345.

Lassen, C.; Jensen, A.A.; Potrykus, A.; Christensen, F.; Kjølholt, J.; Jeppesen, C.N.; Mikkelsen, S.H.; Innanen, S. (2013): Survey of PFOS, PFOA and other perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances: Part of the LOUS-review, Environmental Project No. 1475, The Danish Environmental Protection Agency, Strandgade 29, 1401 Copenhagen K, Denmark.

Lassen, C.; Jensen, A.A.; Crookes, M.; Christensen, F.; Nyanger Jeppesen, Ch.; Clausen, A.J.; Mikkelsen, S.H. (2014): Survey of brominated flame retardants: Part of the LOUS-review, Environmental Project No. 1536, The Danish Environmental Protection Agency, Strandgade 29, 1401 Copenhagen K, Denmark.

Liu, Y.L., Mendoza-Perilla, P., Clavier, K.A., Tolaymat, T.M., Bowden, J.A., Solo-Gabriele, H.M., and Townsend, T.G. (2022) Municipal solid waste incineration (MSWI) ash co-disposal: Influence on per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) concentration in landfill leachate. *Waste Management* 144 49-56.

Medici, P.; van den Dobbelsteen, A.; Peck, D. (2020): Safety and Health Concerns for the Users of a Play-ground, Built with Reused Rotor Blades from a Dismantled Wind Turbine, *Sustainability* 12, 3626.

Mishnaevsky, L.; Branner, K.; Petersen, H.N.; Beauson, J.; McGugan, M.; Sorensen, B.F. (2017): Materials for Wind Turbine Blades: An Overview, *Materials* 10, 1285.

OECD (2021): Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance. Series on Risk Management No.61.

Ricard, L.M. (2023a): Personlig information fra Lykke Margot Ricard, Syddansk Universitet, email til Danish Waste Solutions ApS, 19. marts 2023.

Ricard, L.M. (2003b): Kortlægning af mængder og behandlingsmuligheder for vindmøllevinger. Miljøprojekt nr. 2241, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Rodowa, A.E.; Christie, E.; Sedlak, J.; Peaslee, G.F.; Bogdan, D.; DiGuseppi, B.; Field, J.A. (2020): Field Sampling Materials Unlikely Source of Contamination for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in Field Samples, *Environmental Science & Technology Letters* 7 (3), 156-163.

WindEurope (2020): Accelerating Wind Turbine Blade Circularity, May 2020. Source: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-Accelerating-wind-turbine-blade-circularity.pdf>

Bilag: Originale analysedata fra ALS CZ



CERTIFICATE OF ANALYSIS

Work Order	: PR22C5484	Issue Date	: 28-Dec-2022
Customer	: Danish Waste Solutions	Laboratory	: ALS Czech Republic, s.r.o.
Contact	: Jiří Hyks	Contact	: Client Service
Address	: Agern Alle 3 2970 Hørsholm Danmark	Address	: Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany 190 00 Czech Republic
E-mail	: jhy@danws.dk	E-mail	: customer.support@alsglobal.com
Telephone	: +45 26687051	Telephone	: +420 226 226 228
Project	: 2022-156	Page	: 1 of 5
Order number	: ---	Date Samples	: 05-Dec-2022
		Received	
		Quote number	: PR2018DANWA-DK0001 (CZ-250-18-0344)
Site	: DK	Date of test	: 06-Dec-2022 - 28-Dec-2022
Sampled by	: client DanWS	QC Level	: ALS CR Standard Quality Control Schedule

General Comments

This report shall not be reproduced except in full, without prior written approval from the laboratory.

The laboratory declares that the test results relate only to the listed samples. If the section "Sampled by" of the Certificate of analysis states: "Sampled by Customer" then the results relate to the sample as received.

Sample(s) PR22C5484/005, method W-AEOGMS01 - LOR for particular sample(s) raised due to matrix interference.

Sample(s) PR22C5484/001-010, method W-PFCLMS03 - LOR for particular sample(s) raised due to matrix interference.

Responsible for accuracy

Testing Laboratory No. 1163
Accredited by CAI according to
CSN EN ISO/IEC 17025:2018

Signatories

Lubomír Pokorný

Position

Country Manager



The company is certified according to ČSN EN ISO 14001 (Environmental management systems) and ČSN ISO 45001 (Occupational health and safety management systems)



Analytical Results

Sub-Matrix: WATER

Client sample ID
Laboratory sample ID
Client sampling date / time

				2022-156-1		2022-156-2		2022-156-3	
				PR22C5484001		PR22C5484002		PR22C5484003	
				22-Nov-2022		22-Nov-2022		22-Nov-2022	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds									
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/L	<2.0	---	6.6	± 40.0%	<2.0	---
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.60	---	<1.80	---	<0.30	---
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.90	---	<0.30	---
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorononanoic acid (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorotridecanoic acid (PFTriDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Sum of 4 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	0.60	ng/L	0.31	± 40.0%	0.48	± 40.0%	<0.60	---
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.39	± 40.0%	<0.60	---	<0.90	---
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.31	± 40.0%	0.48	± 40.0%	<0.30	---
Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorooctane sulfonamide (FOSA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Sum of 22 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	4.85	ng/L	0.70	± 40.0%	7.08	± 40.0%	<5.15	---
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	---	<1.0	---	<1.0	---
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTriDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	---	<1.0	---	<1.0	---
Alkylphenols									
Bisphenol A	W-AEOGMS01	0.050	µg/L	0.238	± 40.0%	0.144	± 40.0%	0.062	± 40.0%

Sub-Matrix: WATER

Client sample ID
Laboratory sample ID
Client sampling date / time

				2022-156-9B		2022-156-4		2022-156-5	
				PR22C5484004		PR22C5484005		PR22C5484006	
				28-Nov-2022		02-Dec-2022		02-Dec-2022	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds									
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/L	<2.0	---	<2.0	---	<30.0	---
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<1.20	---	<15.6	---	<5.10	---
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.60	---	<6.00	---	<7.50	---
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	0.36	± 40.0%
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	0.48	± 40.0%
Perfluorononanoic acid (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---

Issue Date : 28-Dec-2022
Page : 3 of 5
Work Order : PR22C5484
Customer : Danish Waste Solutions



Sub-Matrix: WATER				Client sample ID		2022-156-9B	2022-156-4	2022-156-5	
				Laboratory sample ID		PR22C5484004	PR22C5484005	PR22C5484006	
				Client sampling date / time		28-Nov-2022	02-Dec-2022	02-Dec-2022	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds - Continued									
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Sum of 4 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	0.60	ng/L	<0.60	----	<0.60	----	0.97	± 40.0%
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	0.68	± 40.0%	<0.60	----
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	0.49	± 40.0%
Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	0.63	± 40.0%	<0.30	----
Perfluorooctane sulfonamide (FOSA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Sum of 22 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	4.85	ng/L	<5.45	----	1.31	± 40.0%	1.33	± 40.0%
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	<1.0	----
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	<1.0	----
Alkylphenols									
Bisphenol A	W-AEOGMS01	0.050	µg/L	0.094	± 40.0%	<0.250	----	3.03	± 40.0%

Sub-Matrix: WATER				Client sample ID		2022-156-6	2022-156-7	2022-156-8	
				Laboratory sample ID		PR22C5484007	PR22C5484008	PR22C5484009	
				Client sampling date / time		02-Dec-2022	02-Dec-2022	02-Dec-2022	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds									
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/L	<2.0	----	<12.0	----	<4.0	----
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.90	----	<25.5	----	<18.0	----
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<3.00	----	<9.00	----	<3.00	----
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.54	± 40.0%	1.27	± 40.0%	0.32	± 40.0%
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	2.45	± 40.0%	5.92	± 40.0%	1.54	± 40.0%
Perfluorononanoic acid (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.44	± 40.0%	0.77	± 40.0%	0.36	± 40.0%
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.46	± 40.0%	0.59	± 40.0%	0.53	± 40.0%
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Sum of 4 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	0.60	ng/L	5.55	± 40.0%	11.0	± 40.0%	2.88	± 40.0%
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<4.80	----	<2.40	----	<3.00	----

right solutions. right partner.

The company is certified according to ČSN EN ISO 14001 and ČSN ISO 45001

www.alsglobal.eu

Issue Date : 28-Dec-2022
Page : 4 of 5
Work Order : PR22C5484
Customer : Danish Waste Solutions



Sub-Matrix: WATER			Client sample ID	2022-156-6		2022-156-7		2022-156-8	
			Laboratory sample ID	PR22C5484007		PR22C5484008		PR22C5484009	
			Client sampling date / time	02-Dec-2022		02-Dec-2022		02-Dec-2022	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds - Continued									
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.95	± 40.0%	0.88	± 40.0%	<0.30	----
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	1.71	± 40.0%	3.43	± 40.0%	0.98	± 40.0%
Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	1.49	± 40.0%	0.64	± 40.0%	0.44	± 40.0%
Perfluorooctane sulfonamide (FOSA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----
Sum of 22 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	4.85	ng/L	8.04	± 40.0%	13.5	± 40.0%	4.17	± 40.0%
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	<1.0	----
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	<1.0	----
Alkylphenols									
Bisphenol A	W-AEOGMS01	0.050	µg/L	6.52	± 40.0%	41.4	± 40.0%	6.59	± 40.0%

Sub-Matrix: WATER			Client sample ID	2022-156-9D	----	----			
			Laboratory sample ID	PR22C5484010	----	----			
			Client sampling date / time	02-Dec-2022	----	----			
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds									
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/L	<2.0	----	----	----	----	----
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<12.0	----	----	----	----	----
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	3.65	± 40.0%	----	----	----	----
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.38	± 40.0%	----	----	----	----
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	0.39	± 40.0%	----	----	----	----
Perfluorononanoic acid (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Sum of 4 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	0.60	ng/L	0.39	± 40.0%	----	----	----	----
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.90	----	----	----	----	----
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----
Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----	----	----

right solutions. right partner.

The company is certified according to ČSN EN ISO 14001 and ČSN ISO 45001

www.alsglobal.eu

Issue Date : 28-Dec-2022
Page : 5 of 5
Work Order : PR22C5484
Customer : Danish Waste Solutions



Sub-Matrix: WATER				Client sample ID	2022-156-9D	----	----
				Laboratory sample ID	PR22C5484010	----	----
				Client sampling date / time	02-Dec-2022	----	----
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds - Continued							
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----
Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----
Perfluorooctane sulfonamide (FOSA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	----	----
Sum of 22 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	4.85	ng/L	4.42	± 40.0%	----	----
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	----	----
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	----	----
Alkylphenols							
Bisphenol A	W-AEOGMS01	0.050	µg/L	58.5	± 40.0%	----	----

When sampling time information is not provided by the client, sampling dates are shown without a time component. In these instances, the time component has been assumed by the laboratory for processing purposes. Measurement uncertainty is expressed as expanded measurement uncertainty with coverage factor $k = 2$, representing 95% confidence level.

Key: LOR = Limit of reporting; MU = Measurement Uncertainty. The MU does not include sampling uncertainty.

The end of result part of the certificate of analysis

Brief Method Summaries

Analytical Methods	Method Descriptions
Location of test performance: Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany Czech Republic 190 00	
W-AEOGMS01	CZ_SOP_D06_03_178 (CSN EN ISO 18857-2) Determination of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates by gas chromatography method with MS or MS/MS detection and calculation of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates sums from measured values
W-PFCLMS02	CZ_SOP_D06_03_197.A (US EPA 537, CSN P CEN/TS 15968) Determination of perfluorinated and brominated compounds by liquid chromatography with MS/MS detection.
W-PFCLMS03	CZ_SOP_D06_03_197.A (US EPA 537, CSN P CEN/TS 15968) Determination of perfluorinated and brominated compounds by liquid chromatography with MS/MS detection.
Preparation Methods	Method Descriptions
Location of test performance: Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany Czech Republic 190 00	
*W-LTS3	Storage sample three months since receiving date.

The symbol "" for the method indicates a test outside the scope of accreditation of the laboratory or subcontractor. If the UNICO-SUB code is stated in the method table, this only informs that the tests have been performed by a subcontractor and the results are given in an annex to the test report, including information on test accreditation. If the lab used for matrix outside the scope of accreditation or non-standard sample matrix procedure specified in the accredited method and issues non-accredited results, this fact is stated on the title page of this protocol in the section "Notes". If the test report shows the results of subcontracting, the place of performance of the test is outside the laboratories of ALS Czech Republic, s.r.o.

The method for calculating of the summation parameters is available on request in the customer service.



CERTIFICATE OF ANALYSIS

Work Order	: PR2310511	Issue Date	: 13-Feb-2023
Customer	: Danish Waste Solutions	Laboratory	: ALS Czech Republic, s.r.o.
Contact	: Jiří Hyks	Contact	: Client Service
Address	: Agern Alle 3 2970 Hørsholm Danmark	Address	: Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany 190 00 Czech Republic
E-mail	: jhy@danws.dk	E-mail	: customer.support@alsglobal.com
Telephone	: +45 26687051	Telephone	: +420 226 226 228
Project	: 2022-156	Page	: 1 of 4
Order number	: ---	Date Samples	: 03-Feb-2023
		Received	
		Quote number	: PR2018DANWA-DK0001 (CZ-250-18-0344)
Site	: DK	Date of test	: 03-Feb-2023 - 13-Feb-2023
Sampled by	: customer DanWS	QC Level	: ALS CR Standard Quality Control Schedule

General Comments

This report shall not be reproduced except in full, without prior written approval from the laboratory.

The laboratory declares that the test results relate only to the listed samples. If the section "Sampled by" of the Certificate of analysis states: "Sampled by Customer" then the results relate to the sample as received.

Sample(s) PR2310511/002,003, method W-PFCLMS03 - LOR for particular sample(s) raised due to matrix interference.

Responsible for accuracy

Testing Laboratory No. 1163
Accredited by CAI according to
CSN EN ISO/IEC 17025:2018

Signatories

Lubomír Pokorný

Position

Country Manager



The company is certified according to ČSN EN ISO 14001 (Environmental management systems) and ČSN ISO 45001 (Occupational health and safety management systems)

Issue Date : 13-Feb-2023
 Page : 2 of 4
 Work Order : PR2310511
 Customer : Danish Waste Solutions



Analytical Results

Sub-Matrix: WATER				Client sample ID		2022-156-11		2022-156-12		2022-156-13A	
				Laboratory sample ID		PR2310511001		PR2310511002		PR2310511003	
				Client sampling date / time		03-Feb-2023		03-Feb-2023		03-Feb-2023	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU		
Perfluorinated Compounds											
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/L	<2.0	----	<4.0	----	<6.0	----		
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<1.20	----	<1.20	----		
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.90	----	<0.30	----		
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorononanoic acid (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Sum of 4 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	0.60	ng/L	<0.60	----	<0.60	----	<0.60	----		
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.60	----	<0.60	----	<0.30	----		
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Perfluorooctane sulfonamide (FOSA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	<0.30	----		
Sum of 22 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	4.85	ng/L	<5.00	----	<6.75	----	<7.30	----		
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	<1.0	----		
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	<1.0	----		
Alkylphenols											
Bisphenol A	W-AEOGMS01	0.050	µg/L	14.1	± 40.0%	14.6	± 40.0%	1.28	± 40.0%		

Sub-Matrix: WATER				Client sample ID		2022-156-WW		2022-156-BL		----	
				Laboratory sample ID		PR2310511004		PR2310511005		----	
				Client sampling date / time		03-Feb-2023		03-Feb-2023		----	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU		
Perfluorinated Compounds											
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/L	<2.0	----	<2.0	----	----	----		
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----		
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----		
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----		
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----		
Perfluorononanoic acid (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----		
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----		

Issue Date : 13-Feb-2023
Page : 3 of 4
Work Order : PR2310511
Customer : Danish Waste Solutions



Sub-Matrix: WATER				Client sample ID		2022-156-WW	2022-156-BL	----	
				Laboratory sample ID		PR2310511004	PR2310511005	----	
				Client sampling date / time		03-Feb-2023	03-Feb-2023	----	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Perfluorinated Compounds - Continued									
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Sum of 4 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	0.60	ng/L	<0.60	----	<0.60	----	----	----
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Perfluorooctane sulfonamide (FOSA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/L	<0.30	----	<0.30	----	----	----
Sum of 22 PFAS (M1)	W-PFCLMS03	4.85	ng/L	<4.85	----	<4.85	----	----	----
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	----	----
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/L	<1.0	----	<1.0	----	----	----

When sampling time information is not provided by the client, sampling dates are shown without a time component. In these instances, the time component has been assumed by the laboratory for processing purposes. Measurement uncertainty is expressed as expanded measurement uncertainty with coverage factor $k = 2$, representing 95% confidence level.

Key: LOR = Limit of reporting; MU = Measurement Uncertainty. The MU does not include sampling uncertainty.

The end of result part of the certificate of analysis

Brief Method Summaries

Analytical Methods	Method Descriptions
Location of test performance: Na Harle 336/9 Prague 9 - Vysocany Czech Republic 190 00	
W-AEOGMS01	CZ_SOP_D06_03_178 (CSN EN ISO 18857-2) Determination of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates by gas chromatography method with MS or MS/MS detection and calculation of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates sums from measured values
W-PFCLMS02	CZ_SOP_D06_03_197.A (US EPA 537, CSN P CEN/TS 15968) Determination of perfluorinated and brominated compounds by liquid chromatography with MS/MS detection.
W-PFCLMS03	CZ_SOP_D06_03_197.A (US EPA 537, CSN P CEN/TS 15968) Determination of perfluorinated and brominated compounds by liquid chromatography with MS/MS detection.
Preparation Methods	Method Descriptions
Location of test performance: Na Harle 336/9 Prague 9 - Vysocany Czech Republic 190 00	
*W-LTS3	Storage sample three months since receiving date.

Issue Date : 13-Feb-2023
Page : 4 of 4
Work Order : PR2310511
Customer : Danish Waste Solutions



The symbol "*" for the method indicates a test outside the scope of accreditation of the laboratory or subcontractor. If the UNICO-SUB code is stated in the method table, this only informs that the tests have been performed by a subcontractor and the results are given in an annex to the test report, including information on test accreditation. If the lab used for matrix outside the scope of accreditation or non-standard sample matrix procedure specified in the accredited method and issues non-accredited results, this fact is stated on the title page of this protocol in the section "Notes". If the test report shows the results of subcontracting, the place of performance of the test is outside the laboratories of ALS Czech Republic, s.r.o.

The method for calculating of the summation parameters is available on request in the customer service.

Screeningsundersøgelse af udvaskning fra vindmøllevinger

Udtjente vindmøllevinger, som ikke kan genanvendes eller materialenytiggøres, bliver – eventuelt sammen med affald fra produktionen af vindmøllevinger – i et vist omfang placeret på danske affaldsdeponeringsanlæg. Der findes ikke umiddelbart nogen dokumentation af, hvorledes vindmøllevinger og vindmøllevingeaffald kan forventes at opføre sig, når det er placeret på en deponeringsenhed, herunder om der, når der trænger nedbør gennem affaldet, kan udvaskes potentielt skadelige stoffer fra vindmøllevinger-ne/vindmøllevingeaffaldet. I givet fald vil sådanne stoffer kunne bidrage til forureningen af perkolatet fra deponeringsenheden og eventuelt øge behovet for rensning af dette. Miljøstyrelsen har derfor anmodet Danish Waste Solutions ApS (DanWS) om at gennemføre en screeningsundersøgelse til belysning af, om man på deponeringsanlæg generelt må forvente en stofudvaskning fra glasfiberprodukter/vindmøllevinger og i givet fald, hvilke stoffer det drejer sig om.

Formålet med screeningsundersøgelsen har været følgende:

- At undersøge, om der i litteraturen findes informationer om stofudvaskning fra vindmølle-vinger og andre glasfiberprodukter;
- At gennemføre udvaskningstests på forskellige typer af vindmøllevinger fra forskellige producenter og fra andre glasfiberprodukter. Der analyseres som minimum for de 22 PFAS'er, som pt. er reguleret i Danmark, men hvis det er muligt, ønskes analysemetoden QTOF anvendt til at udføre non-target-analyser med fokus på PFAS og andre problematiske stoffer.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk