

Rensning af PFAS i perkolat

Med fokus på lab- og felttests

Dorte Harrekilde, Sylvie Brækevelt

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.



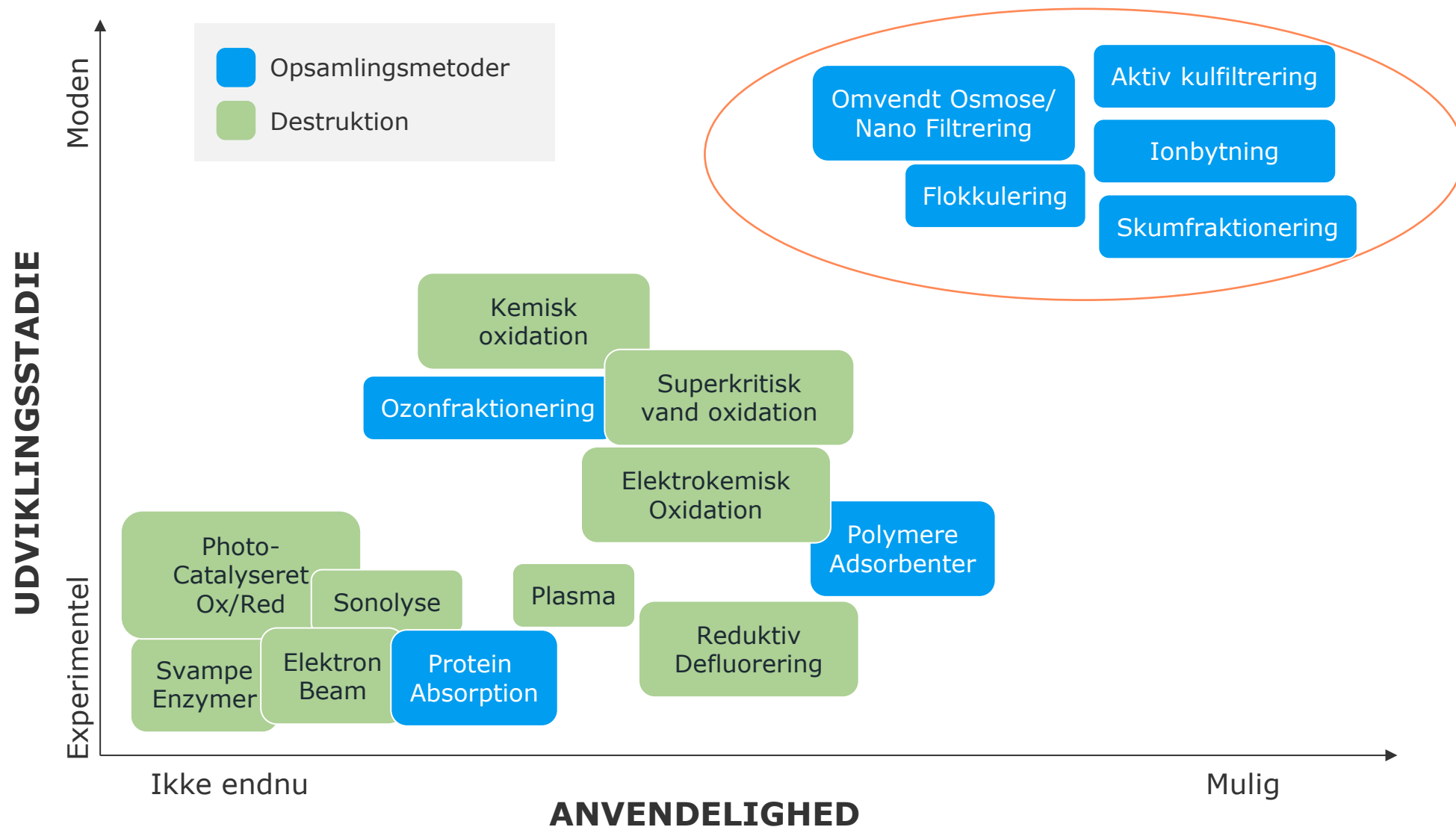
Disposition

- 3 deponier
- 3 labtests
- 1 felttest (pilotskala)
- Ingen detailleret gennemgang af forsøgsbetingelser!
- Udførelse og resultater
- Opmærksomhedspunkter



Figur fra Wehrle

Metoder til rensning af vand med PFAS*



Forventede rensegrader i perkolat

- Afhænger i høj grad af perkolatsammensætning og øvrige stoffer i perkolatet samt af forbehandling
- Ingen af metoderne når ned til 0,65 ng PFOS/l eller 4,4 ng PFOA ækv/l

PFAS-opsamling	Renseeffekt (%)			
	PFAS22 langkædet	PFAS22 kortkædet	PFAS4	PFOS
Aktivt kul	~50	~20	~55	~60
Ionbytning	~75	30-40	~45	~75
Skumfraktionering	~90	20-50	~90	~95
Flokkulering/Koagulering	30-98	30-98	30-98	99
NF-/RO-membranfiltrering	99	99	99	99

Baseret på leverandørplysninger og litteratur, 2024

Kåstrup

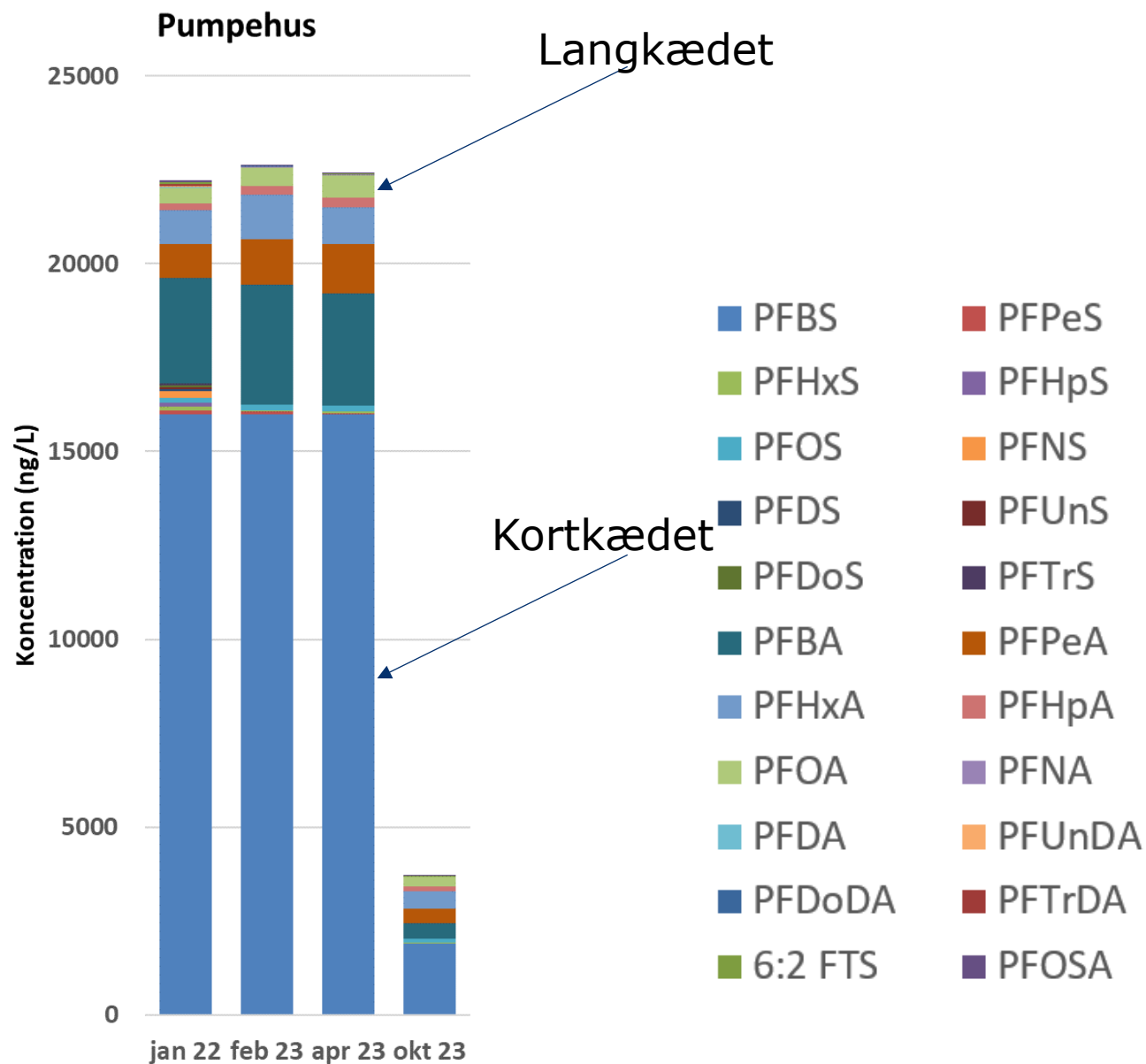
73.000 m³ perkolat/år (0-660 m³/d)

Op til 30.000 ng/l PFAS22

Dominans af kortkædede PFAS, især PFBS

SS op til 1.000 mg/l
BI5 op til 100 mg/l

1. Et-trins omvendt osmose og inddampningstest
2. Flokkulering

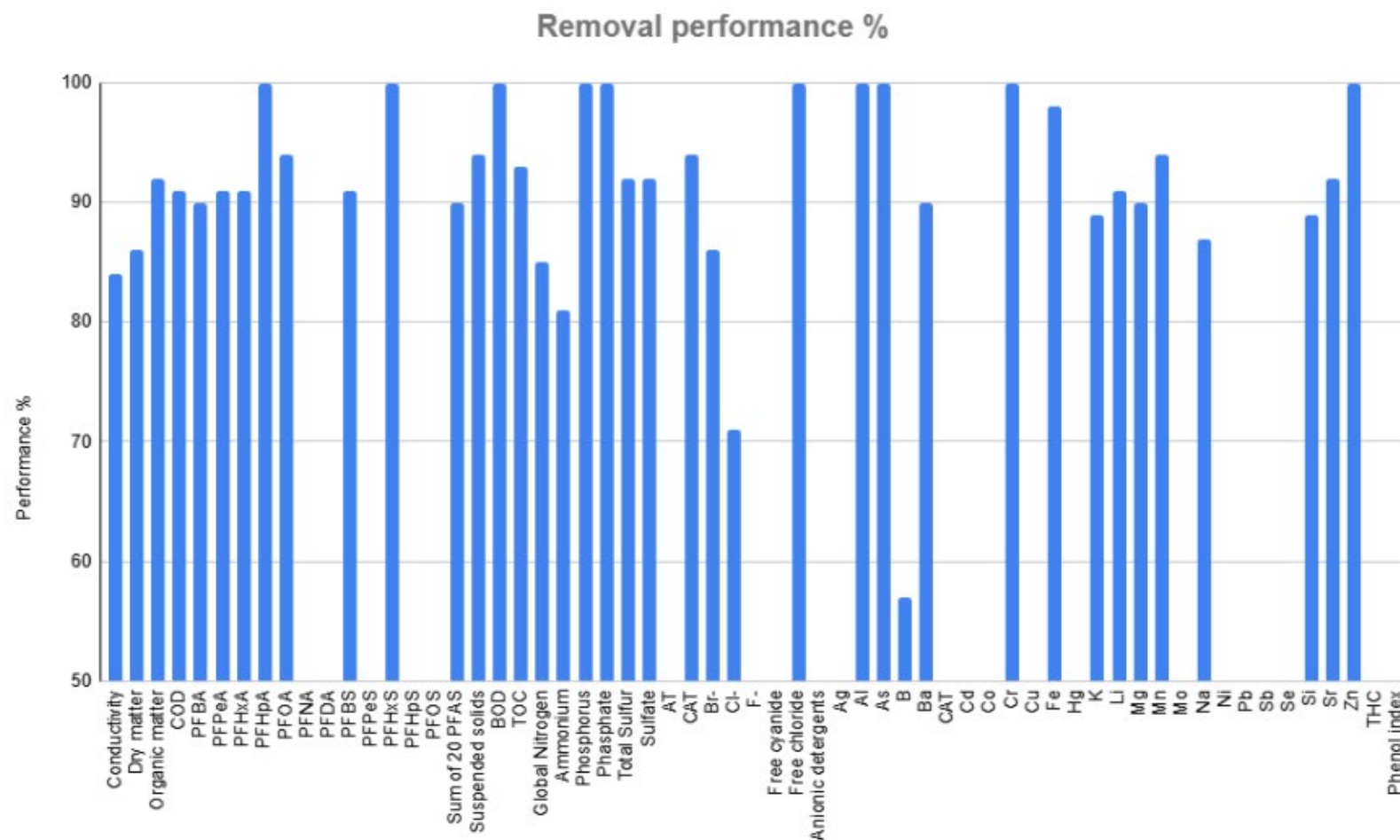
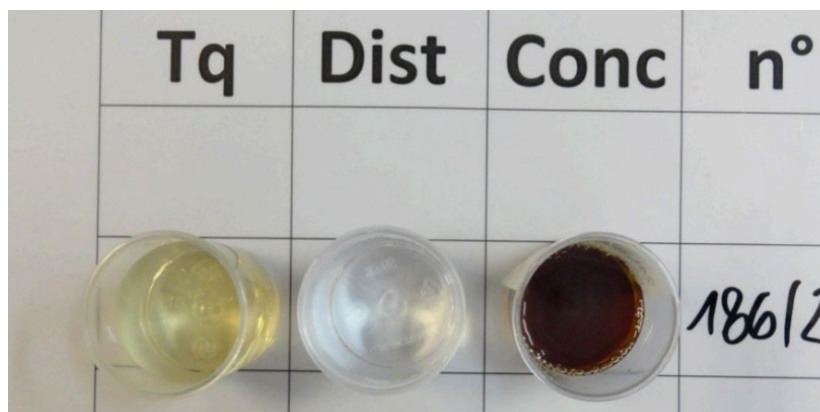


Kåstrup – et-trins omvendt osmose

10% konzentrat

>90% reduktion i PFAS22
(PFBS 91%)

Inddampningstest; 97%
volumen reduktion af
konzentrat



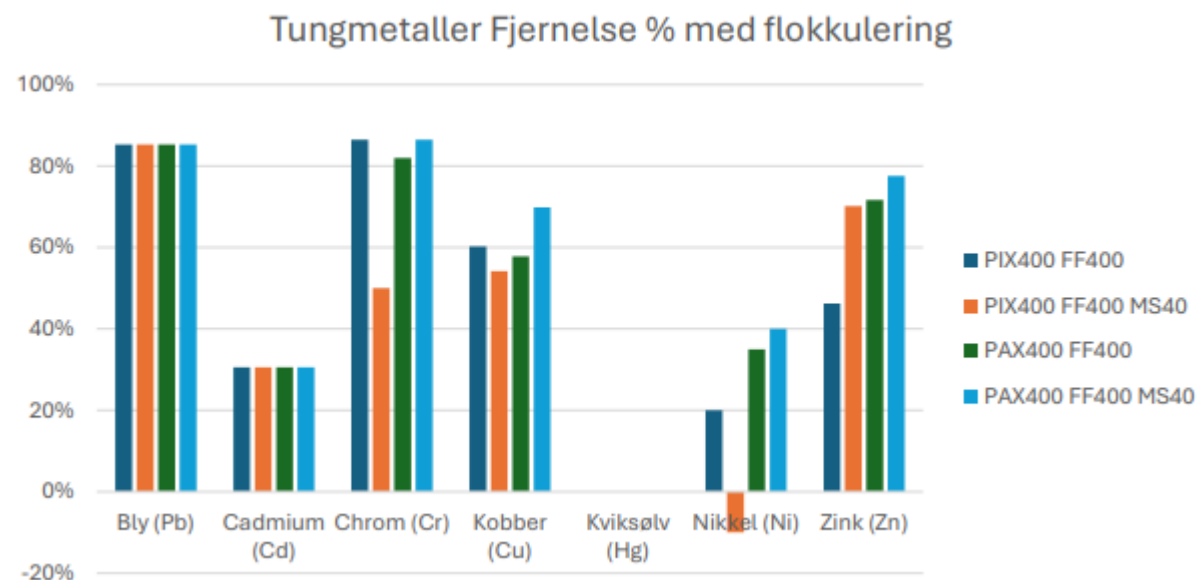
Kåstrup - flokkulering

Koagulerer:

- PAX (polyaluminiumchlorid)
- PIX (jernchlorid)
- FF (Fluorfloc)
- MS (metalsorb)

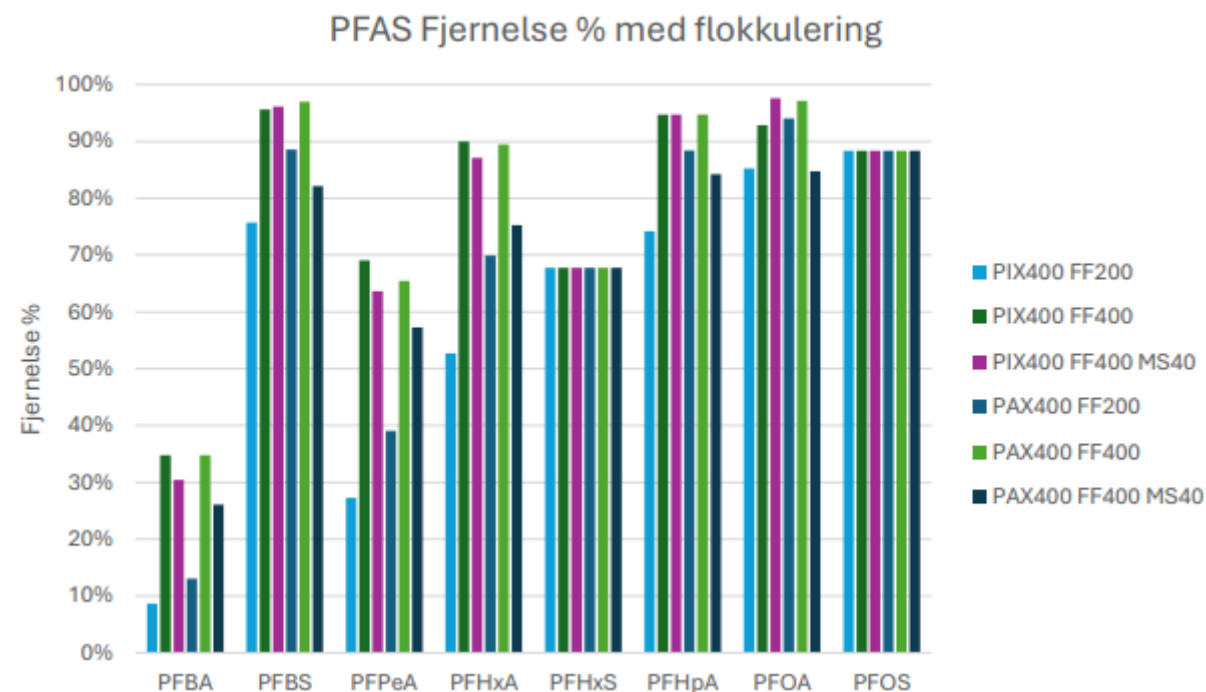
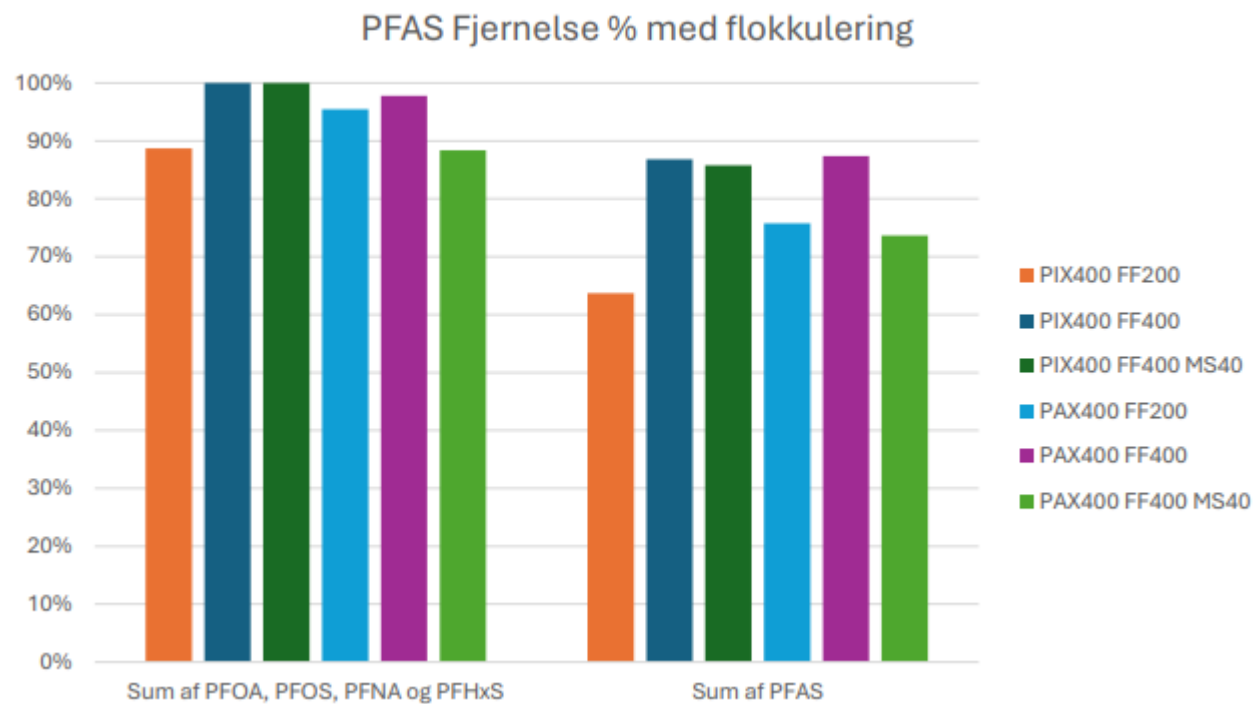
Flokkulant:

- Polymer 1587 – 30 ml/m³
- Forskellige doser afprøvet
- Kan fjerne tungmetaller
- Op til ca. 90 % reduktion af PFAS22
- Lav reduktion af PFBA (< 35%)



Figurer fra ECT2

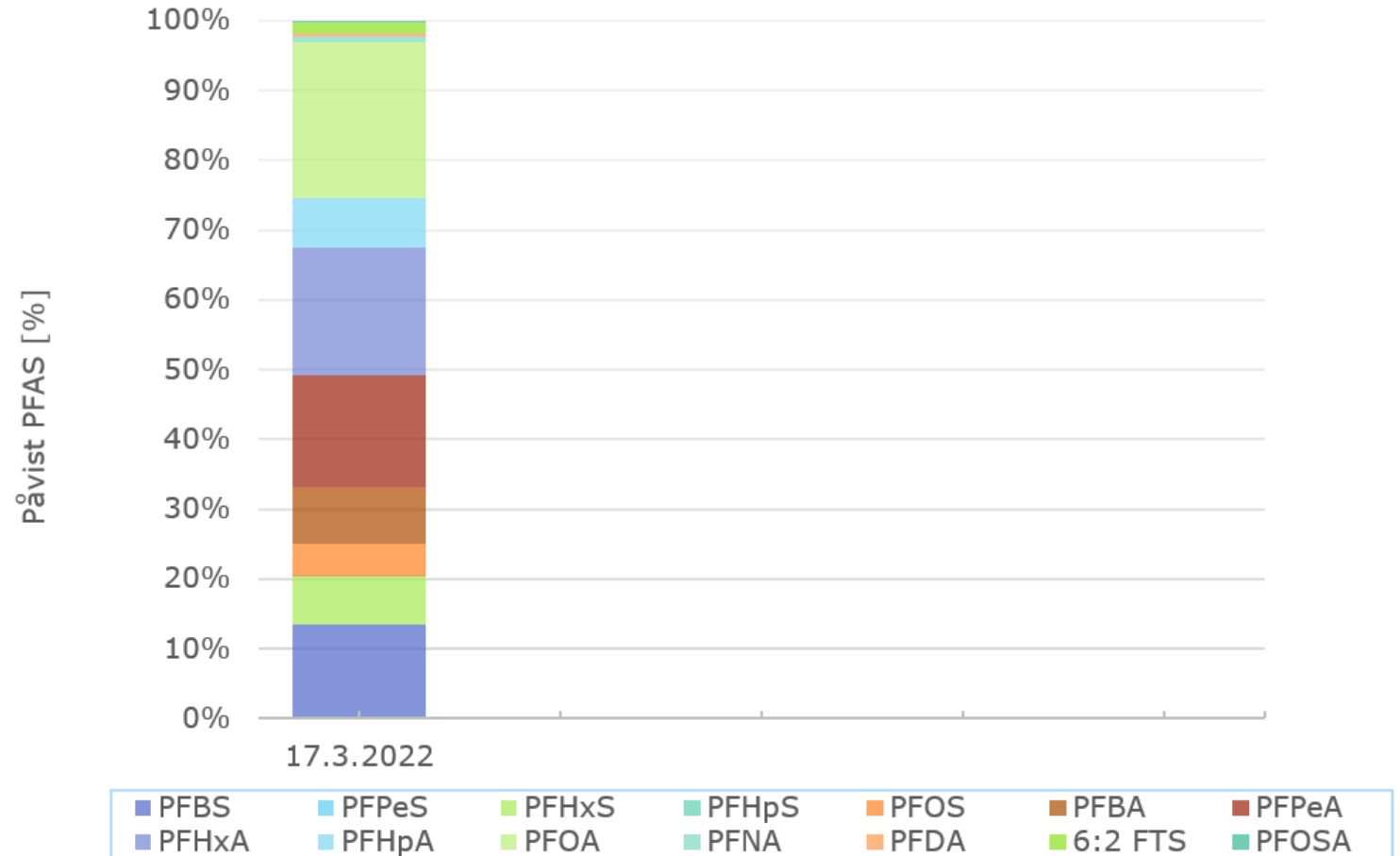
Kåstrup – flokkulering resultater PFAS



AV Miljø

- 77.000 m³ perkolat
- Op til 3.600 ng/l PFAS22
- Kortkædede udgør ca. 56%
- Ca. 280 g PFAS/år
- TS 3.300 mg/l, BI⁵ 37 mg/l
- Flokkulering og ionbytning
- Skumfraktionering
- Et-trins omvendt osmose

PFAS-FINGERAFTRYK - AV MILJØ



AV Miljø – Flokkulering og ionbytning

PAX500 og Fluorfloc dosering – 500 ml/m³ og 750 ml/m³

Flokkulering reduktion: 84% PFAS22 og 99% PFAS4

Lav reduktion i PFCA'er, især PFBA ~25%

IEX; reduktion på >99% PFAS22
Gennembrudstid 2-3 uger

Gennembrud kan skyldes fouling pga. organisk stof



AV Miljø - skumfraktionering

- 60 min. i mini-SAFF
- Langkædede PFAS under detektionsgrænsen
- Koncentrationsstigning i PFHxA, PFPeA, PFBA og PFBS formentlig pga. precursor iltning



AV Miljø – skumfraktionering resultater

				Removal % Bench scale test	Expected Removal % using Full scale SAFF	Possible increase in removal efficiency by using a new patented (Allonnia US) additive %	Possible increase in removal efficiency by using CTAB (removed in the process) %
Sample ID		177-2023-11010869	177-2023-11010871				
Project		Mini-SAFF AV miljø	Mini-SAFF AV miljø				
Sample namn		Untreated	1 H treated				
Date		2023-10-30	2023-10-30				
Compund	Unit						
PFDA (Perfluordekansyra)	ng/l	17	<10	ND	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
8:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)	ng/l	12	<20	Up to 100%	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
4:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)	ng/l	<2,0	<10	ND	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
PFNA (Perfluornonansyra)	ng/l	34	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)	ng/l	100	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
PFOA (Perfluoroktansyra)	ng/l	950	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
PFOS (Perfluoroktansulfonsyra)	ng/l	380	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	ng/l	17	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyra)	ng/l	12	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 99,9%	Up to 99,9%
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)	ng/l	340	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 93%	>99,9%
PFHpA (Perfluorheptansyra)	ng/l	400	<10	Up to 100%	>99,9%	Up to 95%	Up to 99,9%
PFHxA (Perfluorhexansyra)	ng/l	740	790	-7%	30-60%	Up to 90%	Up to 99%
PFPeA (Perfluorpentansyra)	ng/l	470	1100	-134%	0-25%	No effect	Up to 89%
PFBA (Perfluorbutansyra)	ng/l	290	700	-141%	0-20%	No effect	Up to 40%
PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)	ng/l	550	1200	-118%	0-20%	Up to 80%	Up to 96%
Summa PFAS 4	ng/l	1700	ND	Up to 100%			
Summa PFAS 28	ng/l	4500	3800	16%			

*ND Non-Detect – levels are recorded below detection levels

AV Miljø – et-trins omvendt osmose

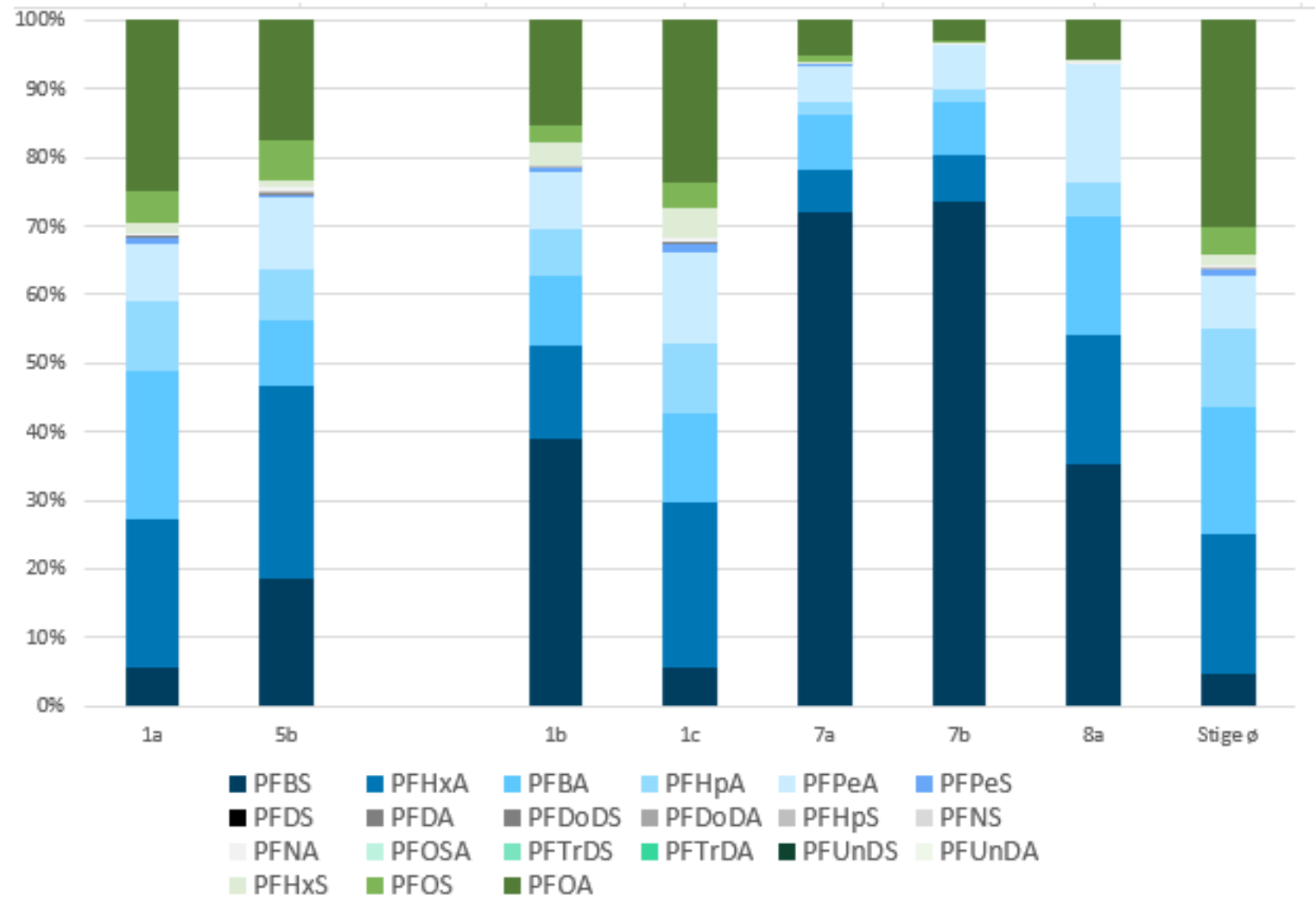
- 10-15 % koncentrat
- >99% reduktion i PFAS22 og PFAS4
- Ved 85% koncentrat stabilt flow igennem membran
- Ved 90% koncentrat falder flowet pga. tilstopning → øget kemikalieforbrug til anti-skaling og rensning af membran



Figur fra Wehrle

ONM

- 170.000 m³ perkolat/år
- Op til 52.000 ng/l PFAS22
- ~800 g/år PFAS22
- Dominans af kortkædede PFAS



ONM - Lab- og pilotforsøg

Se ATV-indlæg 15.9.2025

- Skumfraktionering (Envytech)
- Destruktion af PFAS i skum (Enspired Solution)
- Flokkulering med FluorFlok (ECT2)
- Resinrensning efter flokkulering med FluorFlok (ECT2)

Prøve 1 - 4

Prøve 4

Prøve 1 - 5

Prøve 4 og 5



Prøve

1

2

3

4

5

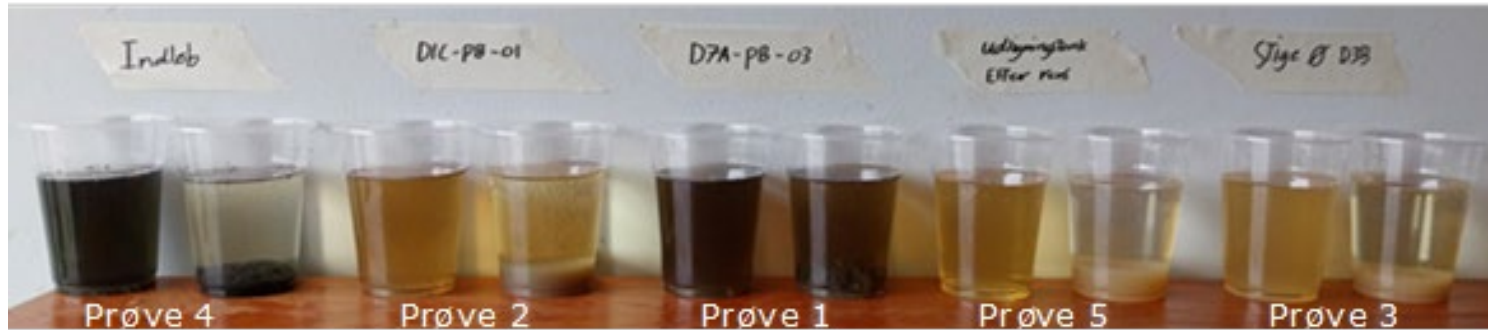
ONM - skumfraktionering med SAFF®



Prøve 1 – Etape for shredderaffald, D7A-PB-03				
	Enhed	Ubehandlet	Behandlet	Rensegrad (%)
PFBS	ng/l	51.000	32.000	37,3
PFOA	ng/l	1.400	<10	>99,3
PFHpA	ng/l	650	<10	>98,5
PFOS	ng/l	62	<10	>83,9
PFNA	ng/l	14	<10	>28,6
PFDA	ng/l	<10	<10	-
PFAS4	ng/l	1.600	<40	>97,5
PFAS28	ng/l	61.000	37.000	39,3
PFOA-ækv.	ng/l	2.903	449	84,5

Prøve 4 – Indløb til forrenseanlæg, Indløbstank				
	Enhed	Ubehandlet	Behandlet	Rensegrad (%)
PFBS	ng/l	2.800	1.900	32,1
PFOA	ng/l	320	<10	>96,9
PFHpA	ng/l	150	<10	>93,3
PFOS	ng/l	64	<10	>84,4
PFNA	ng/l	<10	<10	-
PFDA	ng/l	<10	<10	-
PFAS4	ng/l	430	<40	>90,7
PFAS28	ng/l	4.590	2.790	39,2
PFOA-ækv.	ng/l	835	232	72,2

ONM – Flokkulering i lab og felt



PAX: 500 ml/m³
FluorFlok: 500 ml/m³
Polymer 1330A: 30 ml/m³



Figurer fra ECT2

ONM – Flokkulering resultater

Prøve 1 – Etape for shredderaffald, D7A-PB-03						
	August 2023 (polymer 1330A)			Marts-maj 2024 (polymer 1587)		
	Ubehandlet (ng/l)	Behandlet (ng/l)	Rensegrad (%)	Ubehandlet (ng/l)	Behandlet (ng/l)	Rensegrad (%)
PFBS	52.000	35.000	32,7	56.000	14.000	75,0
PFOA	2.300	1.100	52,2	2.700	270	90,0
PFHpA	860	550	36,0	750	200	73,3
PFOS	230	41	82,2	280	<10	>96,4
PFNA	36	12	66,7	32	<10	>68,8
PFDA	24	<10	58,3	25	<10	>60
PFAS4	2.700	1.200	55,6	3.200	270	91,6
PFAS22	64.000	45.000	29,7	69.000	20.000	71,0
PFOA-ækv.	4.790	2.300	51,4	5.150	880	82,9

Prøve 4 – Indløb til forrenseanlæg, Indløbstank						
	August 2023			Marts-maj 2024		
	Ubehandlet (ng/l)	Behandlet (ng/l)	Rensegrad (%)	Ubehandlet (ng/l)	Behandlet (ng/l)	Rensegrad (%)
PFBS	3.100	730	76,5	3.400	520	84,7
PFOA	380	52	86,3	480	24	95,0
PFHpA	170	41	75,9	190	31	83,7
PFOS	43	10	76,7	62	<1	>98,4
PFNA	<10	0,62	-	<10	<0,3	-
PFDA	<10	<0,3	-	<10	<0,3	-
PFAS4	460	65	85,9	580	24	95,9
PFAS22	5.000	1.700	66	5.400	1.400	74,1
PFOA-ækv.	880	160	81,8	1.030	96	90,7

Prøve 5 – Udløb fra forrenseanlæg, Udligningstank efter rens						
	August 2023			Marts-maj 2024		
	Ubehandlet (ng/l)	Behandlet (ng/l)	Rensegrad (%)	Ubehandlet (ng/l)	Behandlet (ng/l)	Rensegrad (%)
PFBS	2.700	530	80,4	5.400	640	88,2
PFOA	260	39	85,0	700	27	96,1
PFHpA	110	31	71,8	220	34	84,5
PFOS	34	10	70,6	110	2	98,2
PFNA	<10	1,1	-	19	<0,3	98,4
PFDA	<10	1	-	<10	<0,3	-
PFAS4	330	53	83,9	890	29	96,7
PFAS22	4.000	1.200	70,0	8.000	1.900	76,3
PFOA-ækv.	660	140	78,8	1.540	116	92,5

ONM - Flokkulering - tungmetaller og andre miljøfremmede stoffer

	Prøve 4			Prøve 5		
	Ubehandlet (µg/l)	Behandlet (µg/l)	Rensegrad (%)	Ubehandlet (µg/l)	Behandlet (µg/l)	Rensegrad (%)
Bly	2,7	<0,5	>81,5	1,5	<0,5	>66,7
Cadmium	0,065	<0,05	>23,1	0,075	<0,05	>33,3
Chrom	9,3	4,2	54,8	14	3,5	75,0
Kobber	9,7	5	48,5	9,0	4,8	46,7
Kviksølv	0,11	0,16	-45,5	0,13	0,16	-23,1
Nikkel	59	42	28,8	63	41	34,9
Zink	24	10	58,3	36	12	66,7

	Prøve 4			Prøve 5		
	Ubehandlet (µg/l)	Behandlet (µg/l)	Rensegrad (%)	Ubehandlet (µg/l)	Behandlet (µg/l)	Rensegrad (%)
PAH (16 stk.)	1,3	0,07	95	0,019	0,021	-11
LAS	<100	<100	-	<100	<100	-
DEHP	<0,2	<0,1	-	0,26	<0,1	>61,5
NPE	1,1	0,56	49	0,10	0,07	30
Phenol	4,2	<4	>4,8	<0,61	0,62	-
Cresoler	1	0,66	34	0,31	<0,11	>64,5
Xylenoler	1,8	2	-11	<0,05	<0,06	-
Chlorphenoler (7 stk.)	<0,93	<0,95	-	<0,35	<0,41	-

Der er også målt kulbrinter (BTEXN og C6H6-C40) men grundet polymer er det øget efter rensning.

PFAS-renseteknologier

Pt. ingen simple løsninger, forbehandling kræves oftest, perkolat er forskelligt fra deponi til deponi

Rensning reducerer PFOA-ækv, men miljøkvalitetskravet nås ikke

Nogle rensemetoder reducerer også metaller og andre miljøfremmede stoffer, der typisk findes i perkolat

Rensning producerer en rest, der skal destrueres / bortskaffes



Opmærksomhedspunkter uanset vandtype – tests kan ikke undværes

Tests skal undersøge;

- Flow
- Opholdstid
- Dosering af kemi
- Bedvolumes dvs. hyppighed af udskiftning af kul/resiner
- Produktion af restprodukter/affald
- Forbrug af energi, vand mm
- → renseeffekt
- → økonomi for drift

Analyseprogrammer;

- Hvilke og hvor mange PFAS, og skal Σ PFOAækv-bruges?
- Detektionsgrænser
- TOP el.a. metode til belysning af precursors før og efter rensning



Figur fra ECT2

Tak for opmærksomheden

Spørgsmål?

Dorte Harrekilde
doh@ramboll.dk
5161 5838

