

Notat

Projekt navn **Deponet - Konsekvensvurdering PFAS-rensning**
 Projektnr. **1100060129**
 Kunde **Deponet**
 Notatnr. **1**
 Version **3**
 Til **Deponet**
 Fra **Rambøll**
 Kopi til **Lars Grue**

Udarbejdet af **CNFR**
 Kontrolleret af **SYBT og JABF**
 Godkendt af **ARO**

1 Indledning

Dato 28.05.2025

Formålet er at undersøge de økonomiske konsekvenser ved modtagelse af affald til aktive deponeringsenheder, i tilfælde af fremtidige krav til rensning af perkolat for PFAS.

Projektet, der skal skabe denne indsigt, er opdelt i to faser. Fase 1 vil kortlægge de relevante teknologier til rensning af PFAS i perkolat, herunder behandlingsomkostninger og rensningseffektivitet for de enkelte teknologier, baseret på erfaringer fra branchen. Da kortlægningen begrænses til PFAS, ser projektet bort fra andre miljøfarlige stoffer som Bisphenol A, der dog også kan påvirke renseomkostningerne.

Rambøll
 Sverigesgade 3 TV
 5000 Odense C

T+45 5161 1000
<https://dk.ramboll.com>

Ud fra konkrete perkolatdata beregnes forventede koncentrationsniveauer efter behandling med de forskellige rensningsmetoder. Disse niveauer sammenlignes med kommende krav til PFAS-udledning ved tilslutning til kloaknettet. Projektet vil også undersøge rense-setup, som kan opfylde de fremtidige tilslutningskrav, med særlig vægt på behandlingsomkostninger og forventet rensningseffektivitet.

Fase 2 omfatter de økonomiske konsekvenser ved krav om PFAS-rensning på baggrund af data fra fase 1. DepoNets regneark til beregning af sikkerhedsstillelse anvendes til beregning af, hvad de skærpede krav til forrensning af perkolatet vil betyde for prisen på modtagelse af affald til deponering – både hvad angår den årlige drift, og hvad angår hensættelse til sikkerhedsstillelse for efterbehandlingsperioden. Beregningerne skal dække efterbehandlingstider på 30, 60 og 90 år.

Fase 1 er udført af Rambøll. Fase 2 er udført af Lars Grue Jensen fra Ry Consult og er afrapporteret særskilt.

2 Forudsætninger

Der er til opstartsmøde mellem Deponet, Rambøll og Lars Grue besluttet, at der fokuseres på 3 forskellige deponier:

- Odense Nord Miljøcenter (ONM)
- RenoDjurs
- Klintholm

Der er derudover besluttet, at der arbejdes med rensegrader fra det nyligt afsluttede VUDP-projekt "Test af teknologier til rensning af PFAS fra hotspots – Odense Nord Miljøcenter":

- Scenarie 0: Ingen rensning
- Scenarie 1: Skumfraktionering
- Scenarie 2: Flokkulering med FluorFlok
- Scenarie 3: Skumfraktionering + resinbehandling (1.000 bedvolum)
- Scenarie 4: Flokkulering med FluorFlok + resinbehandling (1.000 bedvolum)

Der er derudover suppleret rensegraderne med erfaringstal (se afsnit 4).

Der er beregnet økonomi for Scenarie 1-4 samt et ekstra Scenarie 5. Økonomien for Scenarie 1-4 er med udgangspunkt i resultater fra VUDP-projektet og supplerende oplysninger fra leverandørerne. Scenarie 5 (som der ikke regnes rensegrader på), tager udelukkende udgangspunkt i tal som Krüger præsenterede på Deponetmøde den 2. september 2024. Da Krügers økonomi bygger på et anlæg til 14.000 m³/år, er der lavet en lineær ekstrapolation op til 229.250 m³/år for ONM. DER VIL VÆRE STOR USIKKERHED PÅ DISSE TAL OG DE SKAL DERFOR BRUGES MED FORBEHOLD OG FORSIGTIGHED.

- Scenarie 5: Membranfiltrering og rejektvandsfordampning

3 Perkolatmængder og data

Til fastsættelse af den gennemsnitlige årsflow er der for ONM anvendt gennemsnitlig årsflow for 2021-2023. For RenoDjurs er der anvendt gennemsnit årsflow fra oktober 2022 til oktober 2024. Da der for Klintholm kun var månedsdata for 2022 og 2023, er der estimeret en gennemsnitlig årsflow ved at sammenholde månedsdataene med den gennemsnitlige årsflow fra RenoDjurs.

Til fastsættelse af designkapacitet er der for ONM brugt 80%-fraktil af døgnflow, mens der for RenoDjurs og Klintholm er anvendt 95% fraktil af døgnflow, da de to anlæg er mindre end ONM.

Tabel 1 – Gennemsnitlig årsflow og design kapacitet

	ONM	RenoDjurs	Klintholm
Gennemsnitlig årsflow (m ³ /år)	229.250	36.706	15.998
Design kapacitet (m ³ /h)	40	11	5

Der er modtaget PFAS-analyser fra RenoDjurs og Klintholm. For ONM anvendes PFAS-resultater fra VUDP-projektet.

4 Forventet renseeffektivitet

Til beregning af rensegrader er der taget udgangspunkt i de opnåede rensegrader i VUDP-projekter (tal markeret med sort og orange i Tabel 2). Envytech har oplyst, at der er en 10-20% forbedring i rensegraderne ved fuldskalaanlæg; dette er ikke medtaget i rensegraderne.

Da der er nogle PFAS-forbindelser, hvor det ikke har været muligt at detektere rensegrader i VUDP-projektet (tal med rødt i Tabel 2), grundet at resultaterne har været under detektionsgrænserne, er det vurderet, at PFHxS, PFNA og PFDA er relevante/vigtige i forhold til beregning af PFOA-ækvivalenterne i perkolat fra de 3 deponier. Der er på baggrund af dette indhentet erfaringstal for rensegraden af PFHxS (kun fra Envytech), PFNA og PFDA fra Envytech og ECT2. Erfaringstal for Envytech er fra 4 fuldskalaanlæg med skumfraktionering af perkolat fra Sverige (tal med grønt i Tabel 2). Erfaringstal fra ECT2 er fra pilot- og fuldskalaanlæg med flokkulering med FluorFlok på perkolat i Danmark (tal med lilla i Tabel 2).

Derudover er det i skumfraktioneringsforsøg (scenarie 1 og 3) taget udgangspunkt i, at der doseres additiver (blev der ikke gjort i VUDP-projektet). Additiver kan forøge rensegrader for PFBA, PFBS og PFPeA. Der er taget udgangspunkt i Envytechs erfaring med tilsætning af additiver under skumfraktionering af to forskellige perkolater (tal med blå i Tabel 2).

Tabel 2 – Oversigt over anvendte rensegrader

	Rensegrader		
	Flokkulering	Skumfraktionering	Efterpolering
PFBA perfluorbutansyre	2,9%	5,0%	17,6%
PFBS perfluorbutansulfonsyre	84,7%	75,0%	99,97%
PFPeA perfluorpentansyre	17,1%	70,0%	62,1%
PFPeS Perfluoropentansulfonsyre	97,0%	99,0%	Ikke detekterbar
PFHxA perfluorhexansyre	56,3%	63,8%	86,2%
PFHxS perfluorhexansulfonsyre	99,5%	99,9%	Ikke detekterbar
PFHpA perfluorheptansyre	83,7%	96,7%	99,5%
PFHpS Perfluorheptansulfonsyre	97,0%	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFOA Perfluoroktansyre	95,0%	98,4%	99,4%
PFOS Perfluoroktansulfonsyre	99,2%	92,2%	Ikke detekterbar
6:2 FTS (Fluortelomersulfonsyre)	69,7%	93,2%	97,8%
PFOSA perfluoroktansulfonamid	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFNA perfluornonansyre	95,0%	99,9%	Ikke detekterbar
PFNS Perfluornonansulfonsyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFDA perfluordekansyre	96,9%	99,9%	Ikke detekterbar
PFDS Perfluordekansulfonsyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFUnDA Perfluorundekansyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFUnDS Perfluorundekansulfonsyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFDoDA Perfluordodekansyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFDoDS Perfluordodekansulfonsyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFTTrDA Perfluortridekansyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
PFTTrDS Perfluortridekansulfonsyre	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar	Ikke detekterbar
Rensegrader fra VUDP-projektet			
Minimums rensegrader fra VUDP-projekt (rensegrad >X%)			
Under detektionsgrænsen både før og efter rensning, ikke muligt at beregne rensegrad			

Erfaringstal fra 4 Envytech fuldskala anlæg på perkolat i Sverige
 Erfaringstal fra 2 Envytech forsøg på perkolat
 Erfaringstal fra 2 ECT2 fuldskala- eller pilotanlæg på perkolat i Danmark

Der er for alle deponier beregnet PFOA-ækvivalenter før og efter rensning. For beregning af PFOA-ækvivalenter er der både beregnet worst- og best case:

- I "worst case" antages værdier under detektionsgrænsen som 50% af detektionsgrænsen (DL) og anvendelse af maksimum Relative Potency Factors (RPF).
- I "best case" antages værdier under detektionsgrænsen som 0% af DL, og minimum RPF.

Samlet oversigt over forventede rensegrader for PFOS, PFAS4, PFAS22 og PFOA-ækv. ses i Tabel 3.

Tabel 3 - Samlet oversigt over forventet PFAS-rensning for perkolatet

		ONM				
		Scenarie				
		0	1	2	3	4
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin
Perkolatmængde	m ³ /år	229.250				
PFOS	ng/l	62,0	4,8	0,5	4,8	0,5
PFAS4	ng/l	580,0	12,4	24,7	4,9	0,8
PFAS22	ng/l	5.400,0	1.484,3	1.435,7	342,9	420,6
PFOA-ækv. (best + worst)	ng/l	654,9	37,5	47,9	24,1	16,6
	ng/l	1.025,0	113,1	154,5	90,8	85,5
		RenoDjurs				
		Scenarie				
		0	1	2	3	4
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin
Perkolatmængde	m ³ /år	36.706				
PFOS	ng/l	74,3	5,8	0,6	5,8	0,6
PFAS4	ng/l	1.554,8	27,8	72,9	6,0	3,1
PFAS22	ng/l	49.157,2	14.066,1	12.373,0	2.674,8	3.304,8
PFOA-ækv. (best + worst)	ng/l	2.262,9	198,5	273,1	130,2	148,7
	ng/l	3.048,8	276,6	478,7	170,4	212,5
		Klintholm				
		Scenarie				
		0	1	2	3	4
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin
Perkolatmængde	m ³ /år	15.998				
PFOS	ng/l	479,8	37,5	3,9	37,5	3,9
PFAS4	ng/l	1.558,0	48,6	40,7	37,9	6,4
PFAS22	ng/l	3.580,0	791,4	1.095,4	352,2	408,8
PFOA-ækv. (best + worst)	ng/l	2.082,0	132,5	135,3	103,9	40,2
	ng/l	2.496,7	154,6	157,6	126,0	62,4

Som en del af vurderingen er der også beregnet, hvor mange gram PFAS, der årligt fjernes i de fire forskellige scenarier for de tre deponier. Resultaterne fremgår af Tabel 4.

Tabel 4 - Fjernet mængde PFAS (g/år) i de 5 scenarier fra de 3 deponier

		ONM				
		Scenarie				
		0	1	2	3	4
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin
PFOS	g/år	-	13,11	14,10	13,11	14,10
PFAS4	g/år	-	130,12	127,30	131,84	132,78
PFAS22	g/år	-	897,67	908,82	1.159,34	1.141,53
		RenoDjurs				
		Scenarie				
		0	1	2	3	4
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin
PFOS	g/år	-	2,51	2,71	2,51	2,71
PFAS4	g/år	-	56,05	54,39	56,85	56,96
PFAS22	g/år	-	1.288,05	1.350,20	1.706,18	1.683,06
		Klintholm				
		Scenarie				
		0	1	2	3	4
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin
PFOS	g/år	-	7,08	7,61	7,08	7,61
PFAS4	g/år	-	24,15	24,27	24,32	24,82
PFAS22	g/år	-	44,61	39,75	51,64	50,73

5 Økonomi - rensning

For Scenarie 0 samt Scenarie 1-4 er der, til beregning af anlægs- og driftsøkonomi for ONM, anvendt data fra VUDP-projektet. Der er for RenoDjurs og Klintholm indhentet anlægspriser for flokkulerings- og skumfraktioneringsanlæg ved leverandørerne. Da der ikke foreligger anlægs- og driftsøkonomi på efterpolering i VUDP-rapporten, er økonomien baseret på ekstrapolering fra et andet projekt, hvorfor tallene er behæftet med en vis usikkerhed.

For Scenarie 5 er der taget udgangspunkt i anlægs- og driftsomkostninger (anlæg til 14.000 m³/år) fra en præsentation, som Krüger præsenterede til Deponet netværksmøde den 2. september 2024. Anlægs- og driftsudgifterne er ekstrapoleret til spildevandsmængderne ved de 3 deponier.

Der er i økonomien ikke medtaget udgifter til buffertank før anlæggene. Der er derudover heller ikke medtaget tørringsanlæg til slam i Scenarie 2 og 4, da dette formentligt ikke kan svare sig på RenoDjurs og Klintholm, grundet de små slammængder.

Derudover er der gjort følgende antagelser for RenoDjurs og Klintholm:

- I Scenarie 2 og 4 er det antaget, at der er samme slamproduktion som ved ONM
- Strøm- og kemikalieforbrug pr. m³ som ved ONM
- Vedligeholdelsesomkostninger er i Scenarie 1-4 lineært ekstrapoleret ud fra ONM, mens de i Scenarie 5 er lineært ekstrapoleret fra Krügers præsentation
- Service er i alle scenarier antaget at være af samme størrelsesorden som ved ONM
- Bygning er lineært ekstrapoleret ud fra ONM i Scenarie 1-4. I Scenarie 5 er der antaget samme størrelse som i Scenarie 4
- Slambuffertank er i Scenarie 2 og 4 lineært ekstrapoleret ud fra ONM

- Rådgivning, design, ledningsanlæg mm. er antaget at være det samme som ved ONM
- Der er i alle scenarier pålagt usikkerhed på 10% af anlægsudgifterne
- Udgifter forbundet med efterpolering (anlæg og drift) er ekstrapoleret
- Det ser i beregningen i regnearket ud som om der i Scenarie 5 ikke er noget materialeforbrug (fx membranudskift), men dette er blot fordi det er medregnet i vedligeholdelsesudgifter.

En samlet oversigt over økonomien for de fem scenarier for PFAS-renseanlæg for deponierne er opsummeret i Tabel 5. Til beregning af totaløkonomien (TOTEX) er der antaget en levetid for anlæggene på 20 år, 4% discount rate og 3% inflation på driftsudgifter. TOTEX-resultatet fremgår af regnearket, men den beregnede samlet driftsudgift i kr./m³ fremgår af Tabel 5. Af tabellen fremgår f.eks., at driftsudgiften for ONM ved skumfraktionering er 6,3 kr./m³ i nutidskroner. Bemærk, at der i fase 2 af projektet ikke er regnet med nutidskroner, hvorved driftsudgiften bliver lidt højere end beregnet i tabel 5.

Tabel 5 - Sammenligning af scenarier for anlægsinvesteringer og driftsudgifter

		ONM					
		Scenarie					
		0	1	2	3	4	5
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin	RO + ind
Levetid	år	-	20				
Anlægsinvestering	Mio. kr.	0	28.391.000	10.945.000	31.104.857	13.658.857	212.423.750
Driftsudgifter i 2025	kr./år	0	1.436.248	11.474.988	8.188.238	18.321.964	38.318.750
Samlet driftsudgift	kr./m ³	0	6,3	50,1	35,7	79,9	167,1
		RenoDjurs					
		Scenarie					
		0	1	2	3	4	5
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin	RO + ind
Levetid	år	-	20				
Anlægsinvestering	Mio. kr.	0	13.156.000	5.483.500	14.015.257	6.378.114	36.002.921
Driftsudgifter i 2025	kr./år	0	413.389	2.061.534	1.494.473	3.083.930	6.183.927
Samlet driftsudgift	kr./m ³	0	11,3	56,2	40,7	84,0	168,5
		Klintholm					
		Scenarie					
		0	1	2	3	4	5
		Ingen	Skum	Flok	Skum + resin	Flok + resin	RO + ind
Levetid	år	-	20				
Anlægsinvestering	Mio. kr.	0	7.221.500	4.559.500	7.714.929	5.053.714	17.103.193
Driftsudgifter i 2025	kr./år	0	267.368	947.340	738.549	1.435.819	2.737.524
Samlet driftsudgift	kr./m ³	0	16,7	59,2	46,2	89,7	171,1

En væsentlig årsag til, at Scenarie 3 fremstår billigere end Scenarie 2 formodes at skyldes, at de anvendte data for resinforbrug stammer fra forsøg, hvor perkolatet er blevet flokkuleret. Hvis skumfraktioneret perkolat i stedet var blevet anvendt, ville det rensede vand forventeligt være mere forurennet, hvilket ville medføre et højere resinbehov, da resinmætning vil ske hurtigere. Dette vil kræve flere bedvolumener og dermed øge omkostningerne.