

Bilag 8 Fluxberegninger

Projekt navn **Himmark Strand**
Projektnr. **1100048603**
Kunde **Region Syddanmark**
Notatnr.
Version **2.0**
Til **Region Syddanmark**
Sønderborg Kommune
Fra **Rambøll**

Dato 2026-03-04

Udarbejdet af **GILS/METC**
Kontrolleret af **AGST**
Godkendt af **AGST**

Indhold

1	Indledning.....	1
2	Fremgangsmåde for fluxberegninger	2
2.1	Metode 1: Samlet flux baseret på havvandskoncentrationer	3
3	Metode 2: Flux fra land baseret på gennemsnitlige koncentrationer i grundvand	5
4	Estimering af flux i udledningspunktet	10
5	Referencer	15

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

T+45 5161 1000

1 Indledning

Region Syddanmark har igangsat et omfattende planlægningsarbejde i forbindelse med oprensningen af generationsforureningen på Himmark Strand.

Formålet med oprensningsprojektet er at forbedre jord- og vandkvaliteten, så området ikke udgør en fare for menneskers sundhed og miljøet. Generationsforureningen ved Himmark Strand er en af de største forureninger i Danmark.

I dette notat er der lavet estimater af den nuværende påvirkning af havet som følge af den tilstedeværende forurening i de to indsatsområder. Påvirkningen er beregnet som et estimat af den forureningsflux (g/år), som hvert af forureningsstofferne påvirker overfladevandet med.

Der er tidligere udført fluxberegninger for det sydlige område af tetrachlorethylen (PCE), trichlorethylen (TCE), cis-1,2-dichlorethen (c-DCE), og vinylchlorid (VC) /1/. I dette notat er der lavet estimater af fluxen af chlorerede ethener og nedbrydningsprodukter, kulbrinter, BTEX'er, metaller, PAH'er og PFAS, og beregningerne er udført både for det nordlige og det sydlige indsatsområde. Der er også udført fluxberegninger for øvrige analyserede forureningsstoffer. Disse er alle meget små og er ikke medtaget i dette notat.

Dette notat indeholder desuden en estimation af fluxen af de forurenende stoffer i udledningspunktet – altså efter rensning. Den samlede mængden af de enkelte stoffer, der vil blive udledt under oprensning, er ligeledes estimeret.

2 Fremgangsmåde for fluxberegninger

Nedenfor beskrives kort fremgangsmåden til at estimere størrelsesordenen af den nuværende flux af forskellige forureningsstoffer til havvandet ved Himmark strand. Fluxen skal således repræsentere forureningspåvirkningen af havet inden en oprensning iværksættes.

Der er fokuseret på følgende stofgrupper:

- Chlorerede stoffer og nedbrydningsprodukter
- Kulbrinter
- BTEX
- Metaller
- PAH'er
- PFAS

Såfremt der er tilgængelige data, foretages to forskellige beregninger af fluxen:

- Metode 1: Samlet flux baseret på havvandskoncentrationer og fortynding
- Metode 2: Flux fra land baseret på gennemsnitlige grundvandskoncentrationer

For hvert stof estimeres både en flux relateret til det nordlige og det sydlige indsatsområde.

Tabel 2-1 opsummerer hvilke af de to metoder til fluxberegning, der er anvendt for hver stofgruppe.

Tabel 2-1 Oversigt over metoder til fluxberegning, der er anvendt for de enkelte stofgrupper

Stofgruppe	Metode 1: Samlet flux baseret på havvandskoncentrationer og fortynding	Metode 2: Flux fra land baseret på gennemsnitlige koncentration i grundvand	Kommentar
Chlorerede stoffer og nedbrydningsprodukter	x	X	
BTEX	X	X	
Kulbrinter	X Kulbrinter er kun detekteret i to målepunkter ud af 14 ud for det nordlige indsatsområde. Er ikke detekteret ud for det sydlige indsatsområde.	X	Samlet flux fra nordligt område er beregnet, men usikkerheden er stor pga. få målepunkter. Middelværdikoncentration i havvand er beregnet baseret på Miljøstyrelsens FAQ 53.
Metaller	Ingen kystnære havvandskoncentrationer	X Der er desuden beregnet en flux hvor baggrundskoncentrationer fra opstrøms boringer er fratrukket Der er relativt få analyser og dermed stor usikkerhed på flux	Samlet flux kan ikke beregnes. Der regnes derfor kun på fluxen fra land.
PAH	Ingen havvandskoncentrationer	X Der er kun få analyser. Stor usikkerhed på den estimerede flux.	Samlet flux kan ikke beregnes. Der regnes derfor kun på fluxen fra land.

PFAS	Ingen kystnære havvandskoncentrationer	X	Samlet flux kan ikke beregnes. Der regnes derfor kun på fluxen fra land.
------	--	---	--

2.1 Metode 1: Samlet flux baseret på havvandskoncentrationer

For hvert af stofferne er der beregnet en flux (J_{samlet}) i enheden (g/år), der beskriver den forureningsmasse pr. tid, som tilføres havvandet. Fluxen beregnes baseret på de målte havvandskoncentrationer $C_{havvand}$ ud fra kysten samt vandflowet Q , som fluxen fortyndes op i. Størrelsen af Q er fastsat baseret på den udførte MIKE 3 simulering for spredning af opsvivende vinylchlorid efter afværge /3/. Vandflowet, Q , er vurderet baseret på de simulerede koncentrationer i et kystnært punkt svarende til at havvandskoncentrationerne også repræsenterer et gennemsnit af koncentrationer målt kystnært. Fluxen beregnes som den gennemsnitligt havvandskoncentration $C_{havvand}$ af det enkelte stof ganget med vandflowet Q

$$J_{samlet} = C_{havvand} \cdot Q$$

Denne metode er kun anvendelig for forureningskomponenter, for hvilke der er målt havvandskoncentrationer, hvilket ikke er tilfældet for alle stofgrupper.

Simuleringen med MIKE 3 i /3/ er udført som en lokalitetsspecifik simulering af spredning og fortynding af vinylchlorid for situationen efter afværge, hvor der kan ske tilbagediffusion af vinylchlorid fra forurening efterladt i et lerlag, som ikke oprenses. Udsivning foregår i modellen i en række udsivningspunkter langs kysten, ligesom der også sker udsivning i en række punkter fordelt over indsatsområderne på havet. Således afspejler denne simulering i højere grad den faktiske situation før afværge end anvendelse af f.eks. fortyndingsfaktorer fra DHI's Dashboardmodel, som antager at udledningen sker fra et enkelt punkt langs kysten.

Der er fra MIKE 3 simuleringen fastsat fortyndingsfaktorer, som beskriver middelfortyndingen i et kystnært punkt. Disse er fastsat både for en situation med høj strøm og en situation med rolig strøm. De målte havvandskoncentrationer, som fluxberegningen tager udgangspunkt i, er ligeledes målt kystnært.

De anvendte vandflow, Q (m³/år), beskriver middelfortyndingen bestemt ved MIKE 3 modellen ved henholdsvis rolig strøm og høj strøm, og er henholdsvis 1,07E+08 m³/år og 1,71E+08 m³/år baseret på /3/, se Tabel 2-2.

Tabel 2-2: Vandflow (Q) estimeret for rolige forhold og høj strøm baseret på MIKE 3 simulering af havvandskoncentrationer for Himmarn Strand i /3/.

	Rolige forhold	Høj strøm
Samlet flux af vinylchlorid i simulering (g/år)	171	171
Gennemsnitlig dybdemidlet koncentration (kystnært punkt) (µg/l)	0,016	0,001
Vandflow Q (m ³ /år)	107.000.000	171.000.000

Som følge af usikkerheden på den faktiske fortyndingsfaktor ud fra kysten, skal beregningen ses som et estimat for størrelsesordenen af den samlede udledning fra forurening på land og på havet. Den estimerede samlede flux J_{samlet} afhænger af hvilken fortyndingsfaktor, der regnes med til fastsættelse af vandflowet Q . Der er foretaget estimater med anvendelse af både middelfortyndingen ved rolig strøm og middelfortyndingen ved høj strøm.

Der er foretaget beregninger af den samlede flux for stofgrupperne chlorerede stoffer og nedbrydningsprodukter, kulbrinter og BTEX jf. Tabel 2-1. Resultaterne af fluxberegningerne fremgår af Tabel 2-3 til Tabel 2-5 nedenfor. Det ses af beregningerne, at den samlede flux af vinylchlorid fra det nordlige område estimeres i intervallet 96-153 kg/år, mens den for det sydlige område estimeres til 184-294 kg/år. Cis-1,2-DCE er det stof, der har den største samlede flux på 825-1.320 kg/år (nordlige område) og 1.162-1.859 kg/år (sydlige område).

For sum af kulbrinter estimeres en samlet flux på 164-263 kg fra det nordlige område (se Tabel 2-4), mens der ikke beregnes en flux fra det sydlige område, da der ikke er påvist havvandsprøver med koncentrationer over detektionsgrænsen ud for det sydlige område. De beregnede fluxe af kulbrinter vurderes usikre, da der kun er detekteret kulbrinter i få havvandsprøver. For det nordlige område er de detekteret i 2 ud af 14 havvandsprøver svarende til 14% af de udtagne prøver, mens alle analyser fra det sydlige område er under detektionsgrænsen. Det bemærkes at detektionsgrænsen for kulbrinter er relativt høj.

Fluxen af BTEX (sum) estimeres i intervallet 9-14 kg (nordlige område) og 4-6,6 kg (sydlige område).

Tabel 2-3 Gennemsnitkoncentrationer i havvand, samt estimeret samlet flux til havet af chlorerede etere (metode 1). Beregningen er foretaget henholdsvis for det nordlige og det sydlige indsatsområde.

	Stofnavn	Nordlige område			Sydlige område		
		Middel havvands-konc. (µg/l)	Beregnet flux (g/år)		Middel havvands-konc. (µg/l)	Beregnet flux (g/år)	
			Middel-fortynding, rolig strøm	Middel-fortynding, høj strøm		Middel-fortynding, rolig strøm	Middel-fortynding, høj strøm
Chlorerede etere	Trichlorethen	1,35	144.663	231.461	1,16	124.418	199.068
	Tetrachlorethen	0,19	19.909	31.855	0,47	50.224	80.358
	1,1-dichlorethen	<LOQ	0	0	0,02	2.458	3.933
	trans-1,2-dichlorethen	0,04	3.939	6.303	0,03	2.771	4.434
	cis-1,2-dichlorethen	7,72	825.151	1.320.242	10,9	1.161.884	1.859.014
	Vinylchlorid	0,90	95.714	153.143	1,72	183.825	294.120

Tabel 2-4 Gennemsnitkoncentrationer i havvand, samt estimeret samlet flux til havet af kulbrinter (metode 1). Beregningen er foretaget henholdsvis for det nordlige og det sydlige indsatsområde.

	Stofnavn	Nordlige område			Sydlige område		
		Middel havvands-konc. (µg/l)	Beregnet flux (g/år)		Middel havvands-konc. (µg/l)	Beregnet flux (g/år)	
			Middel-fortynding, rolig strøm	Middel-fortynding, høj strøm		Middel-fortynding, rolig strøm	Middel-fortynding, høj strøm
Kulbrinter	C6H6-C10	<LOQ	0	0	<LOQ	0	0
	C10-C25	<LOQ	0	0	<LOQ	0	0
	C25-C35	1,54	164.129	262.607	<LOQ	0	0
	Sum (C6H6-C35)	1,54	164.129	262.607	<LOQ	0	0

Tabel 2-5 Gennemsnitkoncentrationer i havvand, samt estimeret samlet flux til havet af BTEX'er (metode 1). Beregningen er foretaget henholdsvis for det nordlige og det sydlige indsatsområde.

	Stofnavn	Nordlige område			Sydlige område		
		Middel havvands-konc. (µg/l)	Beregnet flux (g/år)		Middel havvands-konc. (µg/l)	Beregnet flux (g/år)	
			Middel-fortynding, rolig strøm	Middel-fortynding, høj strøm		Middel-fortynding, rolig strøm	Middel-fortynding, høj strøm
BTEX'er	Benzen	<LOQ	0	0	<LOQ	0	0
	Toluen	0,011	1.130	1.808	0,006	588	941
	Ethylbenzen	0,025	2.702	4.324	<LOQ	0	0
	m+p-Xylen	0,012	1.237	1.979	<LOQ	0	0
	o-Xylen	0,013	1.389	2.223	<LOQ	0	0
	Sum af xylener	0,077	8.241	13.186	<LOQ	0	0
	BTEX (sum)	0,084	8.999	14.398	0,039	4.115	6.584

3 Metode 2: Flux fra land baseret på gennemsnitlige koncentrationer i grundvand

Flux til havet fra forureningen på land ($J_{\text{fra land}}$), er estimeret ud fra de gennemsnitlige koncentrationer af forureningsstofferne i grundvandet fra filtersatte borer i indsatsområdet på land i hhv. det nordlige og sydlige indsatsområde, samt det vertikale tværnsnitsareal af magasinet beregnet som dybden (d), gange bredden (B), den hydrauliske konduktivitet (K) og gradienten (i) af magasinerne på land $/1/$. Parameterværdier for beregning af fluxen ses af Tabel 3-1.

$$J_{\text{fra land}} = C_{\text{sandmagasin}} \cdot d \cdot B \cdot K \cdot i$$

Koncentrationen i sandmagasinet $C_{\text{sandmagasin}}$ er for hvert delområde (nord og syd) bestemt som gennemsnittet af alle grundvandsanalyser fra filtersatte borer indenfor indsatsområdet på land. Analyser fra indsatsområdet på havet er ikke medtaget i gennemsnitsberegningen. Der er desuden set bort fra analyser udtaget i gravefronten.

Tabel 3-1. Parameterværdier til brug for fluxberegning. Dybden af grundvandsmagasinerne er beregnet som gennemsnit baseret på boreprofiler for de to områder. Hydraulisk konduktiviteter (K) er baseret på slugtets fra $/2/$, og gradienten er baseret på potentialekort fra $/2/$.

	Nordlige indsatsområde	Sydlige indsatsområde
Dybden af grundvandsmagasinet (d)	3,3 m	2,6 m
Bredden af indsatsområdet (B)	148 m	129 m
Hydrauliske konduktivitet (K)	7,9E-05 m/s	5E-05 m/s
Hydrauliske gradient (i)	0,005 m/m	0,005 m/m

Det bemærkes, at der er tale om et meget groft estimat af fluxen, da der for alle inputværdier anvendes gennemsnitsværdier for hele strækningen, der repræsenterer tværnsnittet af fanen ud mod havet, og det antages, at forureningsfanen dækker hele tværnsnittet af sandmagasinet og strækker sig horisontalt over hele bredden af hvert indsatsområde. Denne flux fra land vil bidrage til den samlede flux J_{samlet} estimeret ud fra havvandskoncentrationerne, og kan dermed opfattes som en delmængde af J_{samlet} .

Fluxberegningen antager, at der ikke sker en videre omdannelse af stofferne PCE, TCE og DCE til VC. De målte koncentrationer i grundvandet ses i stedet som et udtryk for en stationær situation, hvor de målte høje VC-koncentrationer i grundvandet vil blive opretholdt som følge af løbende omdannelse af moderstofferne.

Der gøres desuden opmærksom på, at beregningen repræsenterer en transport af opløst forurening via grundvandet og derfor ikke inddrager transport af fri fase forurening til havvandet.

De beregnede estimater for forureningsflux til havet fremgår af Tabel 3-2 til Tabel 3-8 og er beregnet for henholdsvis det nordlige og det sydlige indsatsområde. Det er desuden anført hvilken gennemsnitskoncentration beregningen tager udgangspunkt i, og hvor mange analyser den beregnede gennemsnitskoncentration i grundvandet er baseret på. Der gøres opmærksom på, at der er tale om relativt få analyser af PAH'erne samt metallerne, hvilket giver større usikkerheder på fluxene af disse stoffer.

For hovedparten af metallerne er der foretaget en yderligere beregning af fluxen, hvor den gennemsnitlige grundvandskoncentration er fratrukket baggrundskoncentrationen, der er målt i boringer opstrøms de to indsatsområder, se **Tabel 3-5** (nordlige område) og **Tabel 3-6** (sydlige område). Fluxen af vinylchlorid beregnes til 8,5 kg/år (nordlige område) og 1,7 kg/år (sydlige område), mens fluxen af cis-DCE estimeres til 104 kg/år (nordlige område) og 54 kg/år (sydlige område). Den samlede flux af kulbrinter estimeres til 75 kg/år (nordlige område) og 125 kg/år (sydlige område).

Tabel 3-2 Gennemsnitkoncentrationer samt estimeret flux fra land for chlorerede ethener og nedbrydningsprodukter i grundvandsprøver indenfor indsatsområdet på land. Beregnet for henholdsvis det nordlige og det sydlige indsatsområde.

	Stofnavn	Nordlige område			Sydlige område		
		Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)	Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)
Chlorerede ethener	Trichlorethen	41	25.630	155.634	51	17.501	46.277
	Tetrachlorethen	41	4.080	24.774	51	10.080	26.654
	1,1-dichlorethen	29	23,6	143	37	44,2	117
	trans-1,2-dichlorethen	41	32,9	200	51	31,2	82,6
	cis-1,2-dichlorethen	41	17.079	103.709	51	20.940	55.371
	Vinylchlorid	41	1.393	8.458	51	632	1.672

Tabel 3-3 Gennemsnitkoncentrationer samt estimeret flux fra land for kulbrinter i grundvandsprøver indenfor indsatsområdet på land. Beregnet for henholdsvis det nordlige og det sydlige indsatsområde.

	Stofnavn	Nordlige område			Sydlige område		
		Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)	Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)
Kulbrinter	C6H6-C10	29	9.788	59.435	38	12.517	33.098
	C10-C25	29	1.466	8.900	38	22.063	58.342
	C25-C35	29	1.194	7.248	38	12.163	32.162
	Sum (C6H6-C35)	29	12.431	75.484	38	47.095	124.533

Tabel 3-4 Gennemsnitkoncentrationer samt estimeret flux fra land for BTEX'er i grundvandsprøver indenfor indsatsområdet på land. Beregnet for henholdsvis det nordlige og det sydlige indsatsområde.

		Nordlige område	Sydlige område
--	--	-----------------	----------------

	Stofnavn	Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)	Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)
BTEX'er	Benzen	29	8,8	54	38	5,8	15
	Toluen	29	239	1.451	38	436	1.154
	Ethylbenzen	29	114	691	38	98	260
	m+p-Xylen	29	87	531	38	88	232
	o-Xylen	29	68	414	38	51	135
	Sum af xylener	29	270	1.638	38	255	674
	BTEX (sum)	29	32	3.136	38	684	1.807

Tabel 3-5 Gennemsnitkoncentrationer samt estimeret flux fra land for metaller i grundvandsprøver indenfor indsatsområdet på land for det nordlige indsatsområde. Der er beregnet en flux dels på baggrund af gennemsnitlige metalkoncentrationer i grundvandet i indsatsområdet og dels en flux hvor baggrundskoncentrationer er fratrukket. Baggrundskoncentrationer er målt opstrøms indsatsområdet. Bemærk at for jern, mangan og nikkel er baggrundskoncentrationen højere end koncentrationen i indsatsområdet (rød skrift). For disse stoffer er fluxen beregnet til nul.

	Stofnavn	Enhed (koncentration)	Antal prøver	Nordlige område		Nordlige område – baggrundskoncentration fratrukket	
				Gennemsnitskoncentration	Flux (g/år)	Gennemsnitskoncentration fratrukket baggrundskonc.	Flux (g/år)
Metaller	Arsen (As)	µg/l	4	4,4	26	Ingen data	
	Arsen (As) feltfiltreret	µg/l	2	4	24	3,0	18
	Barium (Ba)	µg/l	7	181	1.100	Ingen data	
	Barium (Ba) feltfiltreret	µg/l	2	335	2.034	249	1.512
	Bly (Pb) feltfiltreret	µg/l	3	0,08	0,5	0,04	0,3
	Bor (B)	µg/l	4	730	4.433	666	4.044
	Cadmium feltfiltreret (Cd)	µg/l	2	0,013	0,08	0,013	0,08
	Calcium (Ca)	mg/l	4	218	1.320.737	8	45.543
	Chrom feltfiltreret (Cr)	µg/l	3	0,55	3	0,36	2,2
	Kobolt (Co)	µg/l	4	0,36	2	0,13	0,8
	Jern (Fe)	mg/l	4	0,75	4.554	-1,25	0
	Kalium (K)	mg/l	4	50	300.581	46	278.721
	Kobber (Cu) feltfiltreret	µg/l	3	0,77	5	0,55	3,3
	Kviksølv feltfiltreret (Hg)	µg/l	2	<LOQ*	0	Ingen data	
	Magnesium (Mg)	mg/l	4	192	1.162.855	168	1.017.119
	Mangan (Mn)	mg/l	4	0,40	2.429	-0,70	0,0
	Molybdæn (Mo)	µg/l	2	1,4	8	Ingen data	
	Molybdæn (Mo) feltfiltreret	µg/l	2	1,5	9	1,0	6,3

Natrium (Na)	mg/l	4	1.593	9.670.221	1.463	8.880.815
Nikkel (Ni)	µg/l	4	2,1	13	Ingen data	0,0
Nikkel (Ni) feltfiltreret	µg/l	3	0,84	5	-1,7	0,0
Selen (Se) feltfiltreret	µg/l	3	1,5	9	0,81	4,9
Strontium (Sr) feltfiltreret	µg/l	3	2.200	13.359	1.520	9.230
Sølv (Ag)	µg/l	3	<LOQ*	0	Ingen data	
Zink (Zn) feltfiltreret	µg/l	3	3,4	21	2,1	13

*Detektionsgrænsen

Tabel 3-6 Gennemsnitkoncentrationer samt estimeret flux fra land for metaller i grundvandsprøver indenfor indsatsområdet på land for det sydlige indsatsområde. Der er beregnet en flux dels på baggrund af gennemsnitlige metalkoncentrationer i grundvandet i indsatsområdet og dels en flux hvor baggrundskoncentrationer er fratrukket. Baggrundskoncentrationer er målt opstrøms indsatsområdet. Bemærk at for kobolt er baggrundskoncentrationen højere end koncentrationen i indsatsområdet (rød skrift). Fluxen er i dette tilfælde beregnet til nul.

	Stofnavn	Enhed (koncentration)	Antal prøver	Sydlige område		Sydlige område – baggrundskoncentration fratrukket	
				Gennemsnitskoncentration	Flux (g/år)	Gennemsnitskoncentration fratrukket baggrundskonc.	Flux (g/år)
Metaller	Arsen (As)	µg/l	10	3,2	8	Ingen data	
	Arsen (As) feltfiltreret	µg/l	2	2,6	7	1,970	5
	Barium (Ba)	µg/l	16	496	1.311	Ingen data	
	Barium (Ba) feltfiltreret	µg/l	2	76	200	44	115
	Bly (Pb) feltfiltreret	µg/l	4	0,26	0,68	0,06	0,2
	Bor (B)	µg/l	10	160	423	108	285
	Cadmium feltfiltreret (Cd)	µg/l	4	0,070	0,19	0,06	0,15
	Calcium (Ca)	mg/l	15	142	375.490	42	111.060
	Chrom feltfiltreret (Cr)	µg/l	4	1,5	4	1,2	3,2
	Kobolt (Co)	µg/l	15	4,5	12	-5,20	0,0
	Jern (Fe)	mg/l	15	13	34.869	5,3	13.979
	Kalium (K)	mg/l	10	13	33.609	11	29.907
	Kobber (Cu) feltfiltreret	µg/l	4	1,6	4	0,51	1,3
	Kviksølv feltfiltreret (Hg)	µg/l	2	<LOQ	0	Ingen data	
	Magnesium (Mg)	mg/l	15	30	78.624	23	61.436
	Mangan (Mn)	mg/l	15	0,73	1.923	0,15	390
Molybdæn (Mo)	µg/l	2	2,2	6	Ingen data		

Molybdæn (Mo) feltfiltreret	µg/l	2	1,2	3	0,44	1,2
Natrium (Na)	mg/l	15	217	573.283	203	536.263
Nikkel (Ni)	µg/l	15	2,8	7	Ingen data	
Nikkel (Ni) feltfiltreret	µg/l	4	2,4	6	0,38	1,0
Selen (Se) feltfiltreret	µg/l	2	0,4	1	0,24	0,6
Strontium (Sr) feltfiltreret	µg/l	2	960	2.539	310	820
Sølv (Ag)	µg/l	6	0,045	0	Ingen data	
Zink (Zn) feltfiltreret	µg/l	4	4,8	13	1,4	3,6

Tabel 3-7 Gennemsnitkoncentrationer samt estimeret flux fra land for PAH'er i grundvandsprøver indenfor indsatsområdet på land. Beregnet for henholdsvis det nordlige og det sydlige indsatsområde.

	Stofnavn	Nordlige område			Sydlige område		
		Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)	Antal prøver	Gennemsnit (µg/l)	Flux (g/år)
PAH'er	Acenaphthylen	4	0,45	2,7	8	1,1	3,0
	Acenaphthen	4	0,03	0,2	8	15	38
	Fluoren	4	0,18	1,1	8	14	38
	Phenanthren	4	0,36	2,2	8	53	140
	Anthracen	4	<LOQ	-	8	<LOQ	-
	Fluoranthren	4	5,00	30	8	6,5	17
	Pyren	4	6,25	38	8	0,16	0,4
	Benz(a)anthracen	4	2,15	13	8	0,03	0,1
	Chrysen/ Triphenylen	4	3,25	20	8	0,12	0,3
	Benzo(b+j+k)fluoranthren	4	4,25	26	8	1,0	2,7
	Benzo(a)pyren	4	2,75	17	8	0,39	1,0
	Indeno(1,2,3-cd)pyren	4	2,38	14	8	0,26	0,7
	Dibenz(a,h)anthracen	4	1,05	6,4	8	<LOQ	-
	Benzo(g,h,i)perylen	4	2,75	17	8	0,069	0,2
	Sum af 16 PAH'er (EPA)	4	36,3	220	8	164	434

Tabel 3-8 Gennemsnitkoncentrationer samt estimeret flux fra land for PFAS i grundvandsprøver indenfor indsatsområdet på land. Beregnet for henholdsvis det nordlige og det sydlige indsatsområde.

	Stofnavn	Nordlige område			Sydlige område		
		Antal prøver	Gennemsnit (ng/l)	Flux (g/år)	Antal prøver	Gennemsnit (ng/l)	Flux (g/år)
	PFOS	10	5,1	0,031	15	6,6	0,017
	PFAS4	8	18	0,11	11	30	0,079

	PFAS22	8	35	0,21	11	38	0,10
	PFAS24	8	50	0,30	13	109	0,29

I nedenstående tabeller er den samlede flux for udvalgte stoffer og stofgrupper opsummeret med de to beregningsmetoder. Som forventet er resultaterne ikke helt sammenlignelige, da stofferne transporteres og nedbrydes forskelligt, men de viser en størrelsesorden på fluxen, som samlet er fra nogle hundrede kilo til over et tons stoffer om året, der løber ud i havet.

Tabel 3-9 Samlet flux af udvalgte stoffer/stofgrupper fra både det nordlige og sydlige indsatsområde i kg/år. Fluxen er beregnet på baggrund af gennemsnitlige målte havvandskoncentrationer samt to forskellige fortyndingsfaktorer fra MIKE 3 simulering (metode 1).

Stof/stofgruppe	Samlet flux fra nord og syd (kg/år)	
	Middelfortynding, rolig strøm	Middelfortynding, høj strøm
Chlorede ethener og nedbrydningsprodukter (PCE, TCE, DCE, cis-DCE, trans-DCE, 1.1-DCE)	2.338	3.741
Vinylchlorid	280	448
Kulbrinter, sum(C6H6-C35)	165	263

Tabel 3-10 Flux fra land af udvalgte stoffer/stofgrupper fra både det nordlige og sydlige indsatsområde i kg/år. Fluxen er beregnet på baggrund af gennemsnitlige grundvandskoncentrationer på land (metode 2).

Stof/stofgruppe	Flux (nord) kg/år	Flux (syd) kg/år	Samlet flux kg/år
Chlorede ethener og nedbrydningsprodukter (PCE, TCE, DCE, cis-DCE, trans-DCE, 1.1-DCE)	293	130	423
Vinylchlorid	8,5	1,7	10,1
Kulbrinter, sum(C6H6-C35)	75	125	200

4 Estimering af flux i udledningpunktet

På baggrund af de beregnede gennemsnitlige koncentrationer i den forurenede grundvand og havvand /5/ og de estimerede minimum og maximum rensningsgrader samt det estimerede vandflowet /6/ for hhv. det kraftigt forurenede grundvand og det let forurenede havvand er der beregnet en flux i udledningpunktet. Denne er på basis af den periode som rensningsanlægget skal være i drift /6/ omregnet til en samlet stofmængde i udledningpunktet. Disse beregninger er udført for hvert stof, og resultaterne ses i Tabel 4-1 til Tabel 4-4.

Tabel 4-1 Flux af chlorerede kulbrinter og nedbrydningsprodukter i udledningpunktet ved minimum og maximum rensningsgrader, i hhv. g og g/år.

Stof	Total flux		Årlig flux	
	min rensegrad (g)	max rensegrad (g)	min rensegrad (g/år)	max rensegrad (g/år)
1,1,1,2-Tetrachloroethan	0,00	0,00	0,00	0,00
1,1,1-trichlorethan	2,4	0,00	2,0	0,00
1,1,2,2-Tetrachlorethan	0,00	0,00	0,00	0,00

1,1,2-Trichloroethan	0,00	0,00	0,00	0,00
1,1-dichlorethan	60,9	0,08	52,9	0,07
1,1-dichlorethen (1,1-DCE)	7,8	0,01	6,8	0,01
1,2,3-Trichlorobenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
1,2,4-Trichlorobenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
1,2-Dichlorethan	60,9	0,08	52,9	0,07
1,2-Dichlorethan-d4	25,3	0,03	22,0	0,03
1,2-Dichlorobenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3-Dichloroobenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
1,4-Dichlorobenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
1-chlornaphthalen	0,02	0,00	0,01	0,00
2-chlornaphthalen	0,02	0,00	0,01	0,00
Carbon Tetrachlorid	0,63	0,00	0,55	0,00
Chlorethan	0,01	0,00	0,01	0,00
Chlorobenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
Chloromethan	0,03	0,00	0,02	0,00
cis-1,2-dichlorethen (cis-1,2-DCE)	5190	6,5	4510	5,6
Methylen Chlorid	0,00	0,00	0,00	0,00
Tetrachlorethen (PCE)	2389	3,0	2076	2,6
Tetrachlormethan	60,9	0,08	52,9	0,07
trans-1,2-dichlorethen (trans-1,2-DCE)	6,5	0,01	5,7	0,01
Trichlorethen (TCE)	4166	5,2	3620	4,5
Trichlormethan (Chloroform)	1,2	0,00	1,0	0,00
Vinylchlorid (VC)	453	0,57	394	0,49

Tabel 4-2 Flux af kulbrinter og BTEX i udledningspunktet ved minimum og maximum rensegrader, i hhv. g og g/år.

Stof	Total flux		Årlig flux	
	min rensegrad (g)	max rensegrad (g)	min rensegrad (g/år)	max rensegrad (g/år)
1,2,4-Trimethylbenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3,5-Trimethylbenzen	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum (C6H6-C35)	449	5,7	390	5,0
Benzen	3,4	0,00	3,0	0,00
BTEX (sum)	122	0,15	106	0,13
C10-aromater	0,00	0,00	0,00	0,00
C9-aromater	0,00	0,00	0,00	0,00
d8-Toluen	31,9	0,04	27,7	0,03
Ethylbenzen	19,6	0,02	17,1	0,02
m+p-Xylen	18,7	0,02	16,2	0,02
o-Xylen	12,9	0,02	11,2	0,01
Sum af xylener	56,6	0,07	49,2	0,06

Toluen	66,3	0,08	57,6	0,07
--------	------	------	------	------

Tabel 4-3 Flux af PFAS i udledningspunktet ved minimum og maximum rensegrader, i hhv. g og g/år.

Stof	Total flux		Årlig flux	
	min rense-grad (g)	max rense-grad (g)	min rense-grad (g/år)	max rense-grad (g/år)
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	0,76	0,22	0,66	0,19
PFBA (Perfluorbutansyre)	0,39	0,11	0,34	0,10
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	0,76	0,22	0,66	0,19
PFDA (Perfluordekansyre)	0,76	0,22	0,66	0,19
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	0,53	0,15	0,46	0,13
PFDoDS (Perfluordodecansulfonsyre)	0,53	0,15	0,46	0,13
PFDS (Perfluordecansulfonsyre)	0,53	0,15	0,46	0,13
PFHpA (Perfluorheptansyre)	0,11	0,03	0,09	0,03
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	0,05	0,02	0,05	0,01
PFHxA (Perfluorhexansyre)	0,05	0,01	0,04	0,01
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	0,13	0,04	0,11	0,03
PFNA (Perfluornonansyre)	0,21	0,06	0,18	0,05
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	0,53	0,15	0,46	0,13
PFOA (Perfluoroktansyre)	0,61	0,17	0,53	0,15
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	0,99	0,28	0,86	0,25
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	0,76	0,22	0,66	0,19
PFPeA (Perfluorpentansyre)	0,05	0,01	0,04	0,01
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	0,53	0,15	0,46	0,13
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	0,02	0,00	0,01	0,00
PFTTrDS (Perfluortridecansulfonsyre)	0,53	0,15	0,46	0,13
PFUnDA (Perfluorundecansyre)	0,05	0,02	0,05	0,01
PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)	0,53	0,15	0,46	0,13
Sum af 4 PFAS (PFHxS, PFNA, PFOA, PFOS)	1,3	0,38	1,2	0,33
Sum af påviste PFAS, 22 stoffer	1,9	0,56	1,7	0,48
Sum PFAS-12	4,3	1,2	3,8	1,1

Tabel 4-4 Flux af metaller i udledningspunktet ved minimum og maximum rensegrader, i hhv. g og g/år.

Stof	Total flux		Årlig flux	
	min rensegrad (g)	max rensegrad (g)	min rensegrad (g/år)	max rensegrad (g/år)
Arsen (As)	617	370	537	322
Arsen (As) feltfiltreret	99,9	60,0	86,9	52,1
Barium (Ba)	73.446	73.446	63.828	63.828
Barium (Ba) feltfiltreret	13.675	13.675	11.884	11.884
Bly (Pb)	0,00	0,00	0,00	0,00
Bly (Pb) feltfiltreret	2,3	1,2	2,0	1,0
Cadmium (Cd)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmium (Cd) feltfiltreret	1,0	0,52	0,90	0,45
Chrom (Cr)	0,00	0,00	0,00	0,00
Chrom (Cr) feltfiltreret	32,7	16,4	28,4	14,2
Kobber (Cu)	0,00	0,00	0,00	0,00
Kobber (Cu) feltfiltreret	29,9	14,9	26,0	13,0
Kobolt (Co)	653	653	567	567
Kviksølv (Hg) feltfiltreret	3,8	3,8	3,3	3,3
Molybdæn (Mo)	137	137	119	119
Molybdæn (Mo) feltfiltreret	101	101	87,5	87,5
Nikkel (Ni)	949	475	825	412
Nikkel (Ni) feltfiltreret	88,1	44,0	76,5	38,3
Selen (Se) feltfiltreret	71,1	71,1	61,8	61,8
Sølv (Ag)	10,3	5,2	9,0	4,5
Zink (Zn)	0,00	0,00	0,00	0,00
Zink (Zn) feltfiltreret	174	87,0	151	75,6

Som det fremgår af tabellerne, er fluxen fra de chlorerede stoffer og kulbrinterne meget små, f.eks. kommer der maksimalt under et halvt kilo vinylchlorid og under et halvt kilo kulbrinter ud gennem udledningspunkt i hele anlægsperioden. Det kan sammenlignes med de 10-450 kg/år vinylchlorid, og de ca. 263 kg/år sum af kulbrinter (C6-C36), som den nuværende flux til havet resulterer i. For de øvrige chlorerede ethener (PCE, TCE, cis-1,2-DCE, trans-1,2-DCE og 1,1-DCE) udledes under hele anlægsperioden maksimalt i alt 12 kg, mens den nuværende flux giver anledning til udledning af 423-3741 kg/år så længe, der ikke renses op på lokaliteten.

For PFAS er vi nede på nogle få gram.

Generelt er bidraget til fluxen i udledningspunktet meget lille fra havvandet undtagen for metallerne arsen, barium, kobolt, nikkel og sølv, hvor størstedelen af fluxen i udledningspunktet kommer fra havvand.

5 Referencer

- /1/ Rambøll (2022) Himmark Strand – Vurdering af betydning af tilbage diffusion efter afværge. Version 5.0. 09-08-2023, Rambøll.
- /2/ DMR (2019) 523-05725 – Himmark Strand, Nordborg. Indsats overfor jordforurening, Videregående undersøgelse - Oktober 2019. Dansk Miljørådgivning A/S.
- /3/ Himmark Strand – Spredning af opsivende forurening. Notat. Rambøll. Version 1.0. 28-08-2023
- /4/ Bjerg, P.L og Kjeldsen (2004) Sorption note til 12102 Miljøtekniske processer. Miljø & Ressourcer, DTU.
- /5/ Bilag 3: Stofliste og beregning af gennemsnit. Oprensning ved Himmark Strand. Ansøgning om midlertidig udledningstilladelse til oppumpet grund- og havvand. Marts 2025
- /6/ Bilag 5: Beskrivelse af vandrensning. Oprensning ved Himmark Strand. Ansøgning om midlertidig udledningstilladelse til oppumpet grund- og havvand. Marts 2025
- /7/ Manual for program til risikovurdering – JAGG 2.0 Miljøprojekt nr. 1508, 2013

