

# Bilag 9 BEREDSKABSPLAN - fo-reløbig

Projekt navn **Himmark Strand**  
Projekt nr. **1100048603**  
Kunde **Region Syddanmark**

Version **2.0**  
Til **Sønderborg Kommune**  
Fra **Rambøll**  
Kopi til **Region Syddanmark**

Udarbejdet af **MDT/AGST**  
Kontrolleret af **JBM**  
Godkendt af **AGST**

Dato 2026-03-04

## Beredskabsplan for tørholdelse og udledning af vand

I forbindelse med oprensning af forurening ved Himmark Strand skal der etableres tørholdelse af indsatsområder. Der skal udføres oprensning i et sydligt og et nordligt indsatsområde. Der udføres først oprensning i det sydlige indsatsområde.

Omkring indsatsområderne etableres der et dæmningsanlæg med spunsvægge så det er muligt at tørholde arealet mellem dæmningsanlægget og den eksisterende kyst.

Når dæmningsanlægget er færdigt pumpes havvandet via et opstillet renseanlæg ud i havet.

Herefter etableres sugespidsanlæg i indsatsområdet, der skal tørholde sedimenterne, så det er muligt at udføre udgravninger tørt. Der graves ned til intakt leroverflade er nået.

Der vil i hele perioden sive vand ind gennem spunsvæggene. Indsivende vand vil bestå af både grundvand fra det bagved liggende landområde og af havvand.

Alt oppumpet vand fra tørholdelse vil blive ledt igennem et vandrenseanlæg, der etableres mellem de to indsatsområder. Renset vand vil blive afledt til Lillebælt.

Der skal desuden udføres en række aflastningsboringer, der skal føres gennem lerlaget ned til og filtersættes i det sandmagasin, der stedvis findes under lerlaget. Formålet med aflastningsboringerne er, at lette det vandtryk der er i sandmagasinet for at sikre, at der ikke sker et bundbrud som følge af at overliggende sediment er afgravet og fjernet. Der vil fra aflastningsboringerne blive etableret pumper. Vand fra aflastningsboringerne vil blive ledt til renseanlægget.

Rambøll  
Lysholt Allé 6  
DK-7100 Vejle

T+45 5161 1000

Denne beredskabsplan vil beskrive det beredskab der etableres i tilfælde af en række hændelser, der vurderes at være en sandsynlighed for at kunne ske i projektet.

Hændelse	Beredskab og handling
<p>Dæmningsanlægget er konstrueret til at kunne modstå en <b>10 års-hændelse i forhold til usædvanligt højt havniveau</b>. Ved højere havniveau er det nødvendigt at oversvømme indsatsområdet for at dæmningsanlægget kan modstå vandtrykket fra et forhøjet havniveau</p>	<p>Der skal dagligt følges vejrudsigter fra DMI for at kunne iværksætte beredskab i forhold til usædvanligt farligt vejr med fokus på forhøjet vandstand i Lillebælt.</p> <p>Hvis en prognose fra DMI forudsiger en vandstand i Lillebælt, der overstiger 1,50 m over normale vande, skal der 48 timer forinden iværksættes beredskab på at oversvømme indsatsområdet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle maskiner, værktøj og lignende skal fjernes fra indsatsområdet.</li> <li>• Det vil være forbudt at færdes i indsatsområdet</li> <li>• Når det er sikret at indsatsområdet er rømmet for personer, maskiner mv. oversvømmes indsatsområdet.</li> </ul> <p>Der opsættes tilstrækkeligt med pumper med en kapacitet på hver min. 70 m<sup>3</sup>/timen, der vil kunne pumpe havvand ind i indsatsområdet og oversvømme dette på 32 timer (pumper vil være opmagasineret på stedet i hele projektperioden). Entreprenøren skal kunne opstarte indpumpningen inden for 2 timer.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Så snart havniveauet igen er faldet til et niveau, der ligger inden for 10 års hændelses-niveau pumper vandet via renseanlægget og ud i havet</li> </ul>
<p><b>Strømsvigt</b> Pumper i indsatsområdets aflastningsboringer standser</p>	<p>Der opsættes et diesel- eller batteridrevet nødstrømsanlæg, der igangsættes i tilfælde af strømsvigt. Det sikres, at nødstrømsanlægget kapacitet har en tilstrækkelig kapacitet til at drive de mest nødvendige sikkerhedsmæssige funktioner (grundvandssænkning/aflastningsboringer oppumpning af fri fase) i indsatsområdet.</p> <p>Der vil være alarm på nødstrømsanlægget hvis der i dette opstår fejl, sådan at en tekniker hurtigt vil kunne tilkaldes og tilse anlægget, reparere eventuelle fejl og mangler og igangsætte nødstrømsanlægget på ny.</p> <p>Der skal på byggepladsen foreligge en aftale med strømforsynings-selskabet om at dette kan tilkaldes på døgnvagtsbasis for at genetablere strøm til byggepladsen.</p>
<p><b>Renseanlægget stopper</b> eller der er defekt i dette</p>	<p>Der etableres alarm på renseanlægget, der alarmerer entreprenøren, som straks vil tilkalde tekniker til at igangsætte anlægget. Hvis renseanlægget stopper, vil det oppumpede vand blive tilbageført til indsatsområdet til områder, hvor der ikke er foretaget oprensning.</p>

<p><b>Pumpe i til grundvands-sænkning</b>          Dette kan medføre risiko for grundbrud</p> <p><b>Pumper fra sugespidsanlæg stopper.</b>          Dette medfører risiko for at der kommer vand i arbejdsområderne i indsatsområdet</p>	<p>Der vil på arbejdspladsen altid skulle være 1 reservepumpe pr. pumpetype som hurtigt vil kunne erstatte en defekt Pumpe.</p> <p>Hvis der er 4 pumper af samme type, vil der altid skulle være 2 pumper i reserve, hvis der er 6 pumper af samme type, vil der skulle være 3 i reserve og så fremdeles.</p>
<p><b>Hjulvasker stopper.</b>          Der vil være risiko for at køretøjer spreder forurenede jord/materiale uden for indsatsområdet.</p>	<p>Der vil være alarm på hjulvaskeren. Entreprenøren vil modtage alarmen, der vil gå i gang hvis hjulvaskeren ikke virker.</p> <p>Al kørsel ud af indsatsområdet vil blive standset indtil hjulvaskeren igen er funktionsdygtig.</p>
<p><b>Generelt</b></p>	<p>Alle tekniske ting som pumper, renseanlæg, hjulvasker mv. vil af entreprenøren blive serviceret efter producentens/leverandørens forskrifter.</p>

## Beregning af vand- og jordkoncentrationer ved oversvømmelse af udgravning ifm. stormhændelse

Dæmningsanlægget er konstrueret til at kunne modstå en 10 års-hændelse i forhold til usædvanligt højt havniveau. Ved højere havniveau er det nødvendigt at oversvømme indsatsområdet for at dæmningsanlægget kan modstå vandtrykket fra et forhøjet havniveau. Denne oversvømmelse kan ske på ethvert tidspunkt under afgravningen. I det følgende er der udført beregninger for at estimere de forventede worst-case koncentrationer i det indespærrede vand, og der er udført beregninger for at kunne vurdere graden af genforurening af områder, der allerede er reetableret med rene materialer, ved afsmitning fra forureningen i det indespærrede havvand.

### Beregningsmetode

Analyser af sedimentprøver fra havbunden viser, at forureningen i havbunden og det underliggende lerlag hovedsageligt består af PCE og TCE. Det er kun sandlaget, der afgraves. Forureningen i det underliggende lerlag efterlades. PCE og TCE-koncentrationer for overløbsvand (havvandet som pumpes ind for at beskytte dæmningen) i udgravning er beregnet vha. fugacitet på baggrund af målte jordkoncentrationer i sedimentprøver fra havbunden, se beregninger i bilag 1. Selve afgravningen vil foregå lagvis, hvor 1 m jord afgraves ad gangen. Lagvis midling af jordkoncentrationer er foretaget for hhv. 0,5-1, 1,5-2 og 2,5-3 mut. i havbunden for at give et realistisk billede af forureningsniveauet i forskellige situationer. Midlingen er udført for hhv. området opdelt i 3 delområder og det samlede område. For det samlede område er benyttet et vægtet middel på baggrund af hvert delområdes areal. Formålet med at regne på både 3 delområder og hele området samlet er at vurdere, om det kan blive nødvendigt at sætte krav til entreprenøren om at udgravningen skal foregå i 3 etaper, hvis risikoen for genforurening bliver for stor ved at der graves i hele området på samme tid.

Der er vurderet på to scenarier for koncentration af PCE og TCE i det indespærrede havvand. I scenarium (i) antages al masse af PCE og TCE fra de øverste 10 cm af sand/ler (af den graveflade, som bliver

oversvømmet) at være opløst i det indespærrede havvand. I scenarium (ii) inddrages fordelingskoefficienten for PCE og TCE mellem sediment og vand,  $K_d$ , og massen i hele lagets vandfase antages fortyndet i det samlede volumen af indespærret havvand. Under antagelse af en lineær sorptions-sammenhæng, er massefraktionen af opløst stof i vand givet ved /4/:

$$f_w = \frac{V_w}{(V_w + K_d * M_s)} [-]$$

$V_w$  [l] er volumenet af vand indeholdt i totalvolumenet, og  $M_s$  [kg] er massen af jord i samme volumen, antaget til 1 kg.  $K_d$  er beregnet fra:

$$K_d = f_{oc} * K_{oc} [l/kg]$$

Hvor  $f_{oc}$  [-] er fraktionen af organisk kulstof i jorden (partiklerne som binder stoffet) og  $K_{oc}$  [-] er fordelingskoefficienten mellem jordens organiske kulstof og vand. Den beregnede  $f_w$  benyttes til at beregne forureningskoncentrationen i vandet ud fra den midlede jordkoncentration i det pågældende lag. Benyttede parametre fremgår af **Tabel 0-1**.

**Tabel 0-1: Benyttede parametre ved beregning af vandkoncentrationer i det indespærrede havvand**

Parameter	Værdi	Kilde
$f_{oc}$	0,1 %	JAGG
$K_{oc}$ PCE	496,59 l/kg	JAGG
$K_{oc}$ TCE	47,51 l/kg	JAGG
Porøsitet	0,3	
Bulkdensitet ler	1,62 kg/l	JAGG
Totalvolumen overløbsvand, $V_{tot}$	129 mill. l	
Areal område 1	5.800 m <sup>2</sup>	
Areal område 2	5.200 m <sup>2</sup>	
Areal område 3	7.900 m <sup>2</sup>	
Areal samlet område	18.900	

Beregninger er udført i hvert område og er videre opdelt i tre vertikale delområder; 0,5-1 m u.t., 1,5-2 m u.t., og 2,5-3 m u.t. Formålet med opdeling er at opnå et realistisk bud på hvilke koncentrationer, der i værste tilfælde kan blive eksponeret samtidig ved en oversvømmelse.

Risikoen for at de indbyggede rene materialer bliver genforurennet med PCE og TCE-koncentrationerne fra det indespærrede havvand, er beregnet vha. JAGG fugacitetsberegner /7/. Parameterværdier fremgår af JAGG.

## 1.1 Resultater

### Vandkoncentrationer

I de følgende afsnit er der vist resultater af de estimerede PCE- og TCE-koncentrationer i vandfasen som følge af, at rent havvand vil komme i kontakt med forurennet jord i udgravningen ved en evt. oversvømmelse ifm. en stormhændelse større end en 10 års hændelse.

#### *Al masse i øverste 10 cm opløst i $V_{tot}$ - Scenarie (i)*

I de øverste 10 cm af sedimentet i de tre delområder 0,5-1 m u.t., 1,5-2 m u.t., 1,5-2 m u.t., er der beregnet indhold af PCE og TCE i vand ud fra den totale PCE- og TCE-masse i sedimentet. Oversvømmelse

af udgravningen vil medføre vandkoncentrationer af PCE og TCE på op til hhv. ca. 1 mg/l og 0,5 mg/l, hvis det samlede område deles op i tre delområder og op til hhv. ca. 1,9 mg/l (PCE) og ca. 0,5 mg/l (TCE), hvis det samlede område graves ud på en gang (se Tabel 0-2).

*Masse fra vandfase fortyndet i  $V_{tot}$  – Scenarie (ii)*

I de øverste 10 cm af sedimentet i de tre delområder er der vha.  $K_d$  medtaget fortynding af indhold af PCE og TCE i vand ud fra den beregnede masse af PCE og TCE i vandfasen. Oversvømmelse af udgravningen vil medføre vandkoncentrationer af PCE og TCE op til hhv. ca. 0,25 mg/l og 0,28 mg/l, hvis det samlede område deles op i tre delområder og op til hhv. ca. 0,5 mg/l (PCE) og ca. 0,3 mg/l (TCE), hvis det samlede område graves ud på en gang (se Tabel 0-2).

**Tabel 0-2: Beregnede vandkoncentrationer ved overløb. Med "samlet" menes at hele området graves ud på en gang.**

		Al masse øverste 10 cm opløst i $V_{tot}$		Masse fra vandfase fortyndet i $V_{tot}$	
		Vandkoncentration (mg/l)			
Område	Dybde (m)	PCE	TCE	PCE	TCE
1	0,5-1	0,955	0,053	0,237	0,033
	1,5-2	0,762	0,076	0,189	0,047
	2,5-3	1,009	0,456	0,250	0,284
2	0,5-1	0,327	0,061	0,081	0,038
	1,5-2	0,812	0,051	0,201	0,032
	2,5-3	0,029	0,006	0,007	0,004
3	0,5-1	0,276	0,043	0,068	0,027
	1,5-2	0,652	0,171	0,161	0,106
	2,5-3	0,605	0,169	0,150	0,105
Samlet	0,5-1	1,422	0,144	0,353	0,089
	1,5-2	1,887	0,255	0,468	0,159
	2,5-3	1,315	0,503	0,326	0,313

Genforurening af allerede indbygget rent sand

Ud fra de beregnede indhold af PCE og TCE i vand (Tabel 0-2), er der brugt JAGG 2.1 fugacitetsmodul /7/, til at beregne mængde af forurening, der vil diffundere ned i sedimentet fra det forurenede vand til den rene nyindbyggede jord.

*Al masse i øverste 10 cm opløst i  $V_{tot}$  - Scenarie (i)*

I Tabel 0-3 er der vist den beregnede potentielle genforurening fra forurenede vand til den rene nyindbyggede jord, når al masse i de øverste 10 cm af sedimentet antages opløst i vand volumenet. Udgravning sker i tre delområder 0,5-1 m u.t., 1,5-2 m u.t., 1,5-2 m u.t. Der er beregnet koncentrationer i jord op til ca. 0,7 mg/kg TS (PCE) og 0,1 mg/kg TS (TCE) ved inddeling i tre underområder. Ved afgravning af det samlede område ses koncentrationer op til 1,4 mg/kg TS (PCE) og 0,1 mg/kg TS (TCE).

*Masse fra vandfase fortyndet i  $V_{tot}$  - Scenarie (ii)*

I de øverste 10 cm af sedimentet de tre delområder er der vha.  $K_d$  medtaget fortynding af indhold af PCE og TCE i vand ud fra den beregnede masse af PCE og TCE i vandfasen, og derefter er den

potentielle genforurening af den rene nyindbyggede jord estimeret. Koncentrationer i jord er beregnet på op til ca. 0,19 mg/kg TS (PCE) og 0,02 mg/kg TS (TCE) ved inddeling i tre underområder, mens der ved afgravning af hele området er beregnet koncentrationer på 0,36 mg/kg TS (PCE) og 0,07 mg/kg TS (TCE) (se Tabel 0-3).

**Tabel 0-3: Beregnede koncentrationer for rent sand ved kontakt med vand fra overløb. Med "samlet" menes at hele området graves ud på en gang.**

		Al masse øverste 10 cm opløst i $V_{tot}$		Masse fra vandfase fortyndet i $V_{tot}$	
		Sediment koncentration (mg/kg TS)			
Område	Dybde (mut)	PCE	TCE	PCE	TCE
1	0,5-1	0,726	0,011	0,183	0,008
	1,5-2	0,581	0,018	0,145	0,011
	2,5-3	0,722	0,105	0,191	0,006
2	0,5-1	0,252	0,014	0,061	0,009
	1,5-2	0,619	0,011	0,153	0,007
	2,5-3	0,023	0,002	0,008	0,001
3	0,5-1	0,214	0,009	0,054	0,006
	1,5-2	0,497	0,039	0,122	0,024
	2,5-3	0,459	0,039	0,115	0,024
Samlet	0,5-1	1,090	0,033	0,270	0,020
	1,5-2	1,440	0,058	0,360	0,036
	2,5-3	1,000	0,115	0,250	0,072

Som det fremgår af ovenstående tabel, vil der være risiko for en større grad af genforurening, når der gaves samtidig i hele området sammenlignet med opdeling af graveområdet i tre delområder, men de beregnede koncentrationer i den genindbyggede rene sand er max. 1,4 mg/kg, hvilket er væsentligt under afgravningskriteriet på 5 mg/kg.

## Beregninger

**Bemærk – udsnit fra regneark, som er ordnet vandret. Dvs. at følgende 4 udsnit hænger sammen vandret.**

(1 af 4)

		Beregnet konc i vandfsen					Volumen (øverste 10 cm)		Volumen (l)
Mervolumen fra bortgravet jord (L)		PCE+TCE	TCE	PCE	TCE	PCE	Areal		
mut		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/L	mg/L	m2	m3	l
Scenario 1		1545	515	1030			5800	580	580000
0,5-1 mut	5800000		7,606639	136,9716	25,54536	183,4002677	5800	580	580000
1,5-2 mut	11600000		11,44183	113,9954	38,31804	152,6104418	5800	580	580000
2,5-3 mut	17400000		71,01381	157,187	238,6474	210,4417671	5800	580	580000
Scenario 2		730	243,3333	486,6667			5200	520	520000
0,5-1 mut	5200000		9,719962	52,10238	32,60395	69,74564926	5200	520	520000
1,5-2 mut	10400000		8,387594	134,3652	28,23435	179,9196787	5200	520	520000
2,5-3 mut	15600000		1,07775	4,895094	3,697355	6,55957162	5200	520	520000
Scenario 3		894	298	596			7900	790	790000
0,5-1 mut	7900000		4,61	29,50	15,46167	39,49129853	7900	790	790000
1,5-2 mut	15800000		19,31	73,74	64,87177	98,66131191	7900	790	790000
2,5-3 mut	23700000		20,11	72,14	67,56075	96,51941098	7900	790	790000
Samlet område									
0,5-1 mut	18900000		6,93419	68,69896	23,30742	91,96647871	18900	1890	1890000
1,5-2 mut	37800000		13,88998	102,7738	46,68745	137,5820708	18900	1890	1890000
2,5-3 mut	56700000		30,49405	79,7361	102,4976	106,7417695	18900	1890	1890000

## 2 af 4

Masse af jord	Total Masse	TCE	Beregnet masse TCE vandfase	TCE: Al masse fra jordprøve øverste 10 cm i Vtot
kg	mg	mg		mg/l
939600	483894000,00			3,75
939600	7147197,90		4444892,61	0,05
939600	10750746,60		6667338,91	0,08
939600	66724571,70		41524654,63	0,46
842400	204984000,00			1,59
842400	8188095,60		5086215,59	0,06
842400	7065708,98		4404557,83	0,05
842400	907896,60		576787,33	0,01
1279800	381380400,00			2,96
1279800	5895810,06		3664414,64	0,04
1279800	24711898,16		15374609,26	0,171
1279800	25734218,40		16011898,76	0,169
3061800	21231103,56		13215306,53	0,144
3061800	42528353,74		26471786,03	0,255
3061800	93366686,70		58116121,03	0,503

## 3 af 4

TCE: Masse fra vandfase fortyndet i Vtot	TCE fugacitet total m jord(JAGG)	TCE fugacitet vandfase (JAGG)	Total masse PCE	Masse PCE vandfase
mg/L	mg/kg	mg/kg	mg	
	0,86		967788000	
0,033	0,011	0,008	128698468,4	31911646,59
0,047	0,018	0,011	107110036,1	26554216,87
0,284	0,105	0,006	147692949,6	36616867,47
	0,36		409968000	
0,038	0,014	0,009	43891048,8	10880321,29
0,032	0,011	0,007	113189234	28067469,88
0,004	0,002	0,001	4123626,975	1023293,173
	0,68		762760800	
0,027	0,009	0,006	37752957,32	9359437,751
0,106	0,039	0,024	94373571,83	23382730,92
0,105	0,039	0,024	92319420,11	22875100,4
0,089	0,033	0,020	210342474,5	52144993,43
0,159	0,058	0,036	314672841,9	78009034,13
0,313	0,115	0,072	244135996,7	60522583,33

#### 4 af 4

PCE: Al masse fra jordprøve øverste 10 cm i vandfase	PCE: Masse fra vandfase fortyndet i Vtot	PCE fugacitet total m jord (JAGG)	PCE fugacitet vandfase (JAGG)
mg/l	mg/L	mg/kg TS	mg/kg
7,50		5,70	
0,95	0,24	0,73	0,183
0,76	0,19	0,58	0,145
1,01	0,25	0,72	0,191
3,18		2,40	
0,33	0,08	0,25	0,061
0,81	0,20	0,62	0,153
0,03	0,01	0,02	0,008
5,91		4,50	
0,28	0,07	0,21	0,054
0,65	0,16	0,50	0,122
0,60	0,15	0,46	0,115
1,42	0,35	1,09	0,270
1,89	0,47	1,44	0,360
1,31	0,33	1,00	0,250