

Forlængelse af Avernakke Pier, Nyborg Havn.

Frigivelse af miljøfremmede stoffer fra miljøpåvirket sediment til Nyborg Fjord i forbindelse med uddybning

I dette notat vurderes i hvilken grad der er risiko for, at der ved uddybningsarbejder ud for pieren frigives miljøfremmede stoffer til vandfasen i et omfang der kan være skadeligt for miljøet.

Uddybningsmaterialerne indeholder tungmetaller, PAH'er og TBT mellem øvre og nedre aktionsniveau, jf. klapvejledningen, og de øvre dyndede sedimentlag er miljøpåvirkede antageligt som følge af mange års aktiviteter i havneområdet, udledninger og spild mv.

De geologiske aflejringer under de øvre sedimenter består hovedsageligt af moræneler, som miljømæssigt er upåvirket eller kun i ubetydelig grad er miljøpåvirket.

1 Metode

På baggrund af kemisk analyse af prøver fra de øvre sedimenter for indhold af miljøfremmede stoffer beregnes et forventet gennemsnitligt indhold af miljøfremmede stoffer i det øvre sediment. Det øvre sediment består af dynd og sandet dynd. Analyseresultaterne angiver prøvernes indhold af tørstof, glødetab og totalindhold af miljøfremmet stof pr. kg tørstof i prøverne.

Det forudsættes at der ved uddybningsarbejdet sker et spild af sediment svarende til 1%. Spildprocenten er fastlagt ud fra uddybningsmetoden, hvor der anvendes miljøgrab, vanddybden og sedimentets indhold af forskellige partikelstørrelser. Dette spild giver anledning til spredning af sediment i vandfasen.

Sedimentspredningen er beregnet ved hjælp af en hydrodynamisk model (MIKE), som dels angiver de forventede sedimentkoncentrationer under uddybningsarbejdet og udstrækningen heraf omkring arbejdsområdet, dels angiver det antal timer (opholdstid) hvor der vil optræde sedimentkoncentrationer over en given størrelse. De beregnede sedimentkoncentrationer og opholdstid omfatter både det øvre miljøpåvirkede sediment og det upåvirkede moræneler.

Ud fra sedimentkoncentrationen i vandet og koncentrationen af miljøfremmet stof i sedimentet kan totalindholdet af miljøfremmet stof i vandet beregnes. Hvorvidt denne totalkoncentration er miljøskadelig, vil afhænge af det konkrete stofs giftighed og hvorvidt stoffet er biotilgængeligt, dvs. om stoffet kan optages af eller direkte påvirke levende organismer. Derfor beregnes den del af det totale indhold af miljøfremmet stof i sedimentet, som potentielt er biotilgængeligt og potentielt frigives til vandfasen. Den andel af sedimentet, som er miljøpåvirket, udgøres af de fraktioner i de øvre sedimentlag, som har et højt indhold af organisk stof bestemt dels ved korstørrelseskurver, dels ved kemiske analyser. Det er denne fraktion, som potentielt vil kunne give anledning til forhøjede koncentrationer af miljøfremmede stoffer i vandfasen.

For de enkelte miljøfremmede stoffer er der fastlagt miljøkvalitetskrav for udledning til marine områder (overfladevand). Miljøkvalitetskravene angiver den koncentration af det miljøfremmede stof i vandet, som ikke kan antages at indebære en væsentlig miljøskadelig

effekt. Koncentrationer af stoffet over miljøkvalitetskravet, kan som udgangspunkt ikke accepteres, da det ikke kan udelukkes, at der kan opstå miljøskadelige påvirkninger.

Der skelnes mellem et generelt miljøkvalitetskrav, som skal være opfyldt over en længere periode, typisk som et gennemsnit over et år, og et korttidskrav, som angiver at absolut koncentrationsniveau, som ikke må overskrides.

2 Koncentrationer af MFS i sediment

Der er udtaget sedimentprøver til analyse for indhold af miljøfremmede stoffer. Prøverne er udtaget med kajakrør ved dykkerundersøgelse ved nedstik i havbunden.



Figur 2.1 Delområder for udtagning af sedimentprøver. Indenfor hvert delområde er der udtaget 4 – 6 sedimentprøver til ca. 0,5 meter ned i havbunden. Prøver indenfor hvert delområde er puljet og analyseret samlet.

Der er udtaget 4 – 6 prøver fra 7 delområder, se ovenstående figur. Prøver indenfor hvert delområde er puljet og analyseret samlet.

Analyseresultater for totalindhold af miljøfremmede stoffer er vist i nedenstående tabel.

Tabel 2-1 Analyseresultater for blandingsprøver fra delområde samt aktionsniveauer for TBT, metaller og PAH.

		D3	D4	D5	D6	D8	D9	D10	Gennemsnit (totalindhold)
Tørstof	%	72,8	75	62,5	70,7	36,1	34,1	54,3	57,9
Glødetab	%	1	1,5	2	1,5	4,5	4,5	3,4	2,6
TOC	mg/kg TS	0,47	1,1	1,2	0,84	5	4,8	1,8	2,17
Arsen	mg/kg TS	1	1,4	3,4	1,3	4,5	4,5	3,4	2,8
Bly	mg/kg TS	3	5	9	6	54	17	10	15
Cadmium	mg/kg TS	0,28	0,46	0,45	0,34	1	0,79	0,53	0,55
Chrom (total)	mg/kg TS	3,2	4,7	5,4	4,1	14	15	6,9	7,6
Kobber	mg/kg TS	3,5	5	91	5,7	24	17	10	22,3
Kviksølv	mg/kg TS	0,02	0,06	0,05	0,06	0,09	0,11	0,09	0,07
Nikkel	mg/kg TS	4	6	8	5	18	18	8	10
Zink	mg/kg TS	24	28	76	26	200	71	43	67
PAH'er sum	mg/kg TS	0,92	1,4	1,6	0,73	23	3	0,97	4,52
Benz(a) pyren	mg/kg TS	0,11	0,16	0,16	0,095	1,6	0,3	0,11	0,36
Total PCB	mg/kg TS	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	0,035
TBT-Sn	µg/kg TS	4,08	5,08	9,5	17,8	45,8	26,5	47,1	22,3
TBT- kation	µg/kg TS	9,98	12,4	23,2	43,4	112	64,7	115	54,4

For flere af metallerne samt PAH og TBT ses, jf. ovenstående tabel 2-1, særligt i de sydvestlige delområder D8, D9 og D10 forhøjede indhold. I delområde 5 bemærkes at indholdet af kobber og til dels zink er noget højere end i de øvrige prøver. I delområde 8 bemærkes høje indhold af bly, zink og PAH samt TBT og i delområde 10 ses høje indhold af TBT.

I den efterfølgende tabel 2-2 gengives de beregnede gennemsnitlige totalindhold og konstateret maximale totalkoncentration for alle delområderne, jf. tabel 2-1, som sammenholdes med baggrundsværdier i bundsediment fra den nordlige del af Langelandsund og fastsatte miljøkvalitetskrav for sediment og biota.

Tabel 2-2 Max, gennemsnit og baggrund sammenholdt med miljøkvalitetskrav

		Max (totalindhold) mg/kg TS	Gennemsnit (totalindhold) mg/kg TS	Baggrund Langelands- sund 2008	MKK Sediment mg/kg TS	MKK Biota µg/kg VV	Note
Arsen		4,5	2,8	12,8			
Bly		54	15	58,5	163	110	DK
Cadmium		1	0,55	0,43	3,8 ^{5,6}	160	DK
Chrom (total)		15	7,6	73,2			
Kobber		91	22,3	24,2			
Kviksølv		0,11	0,07	0,105		20	EU
Nikkel		18	10	35,4			
Zink		200	67	120			
PAH'er sum		23	4,52				EU
Benz(a) pyren		1,6	0,36			5	EU
Total PCB		< 0,035	< 0,035				
TBT-Sn	µg/kg TS	47,1	22,3				
TBT- kation	µg/kg TS	115	54,4	31,5			

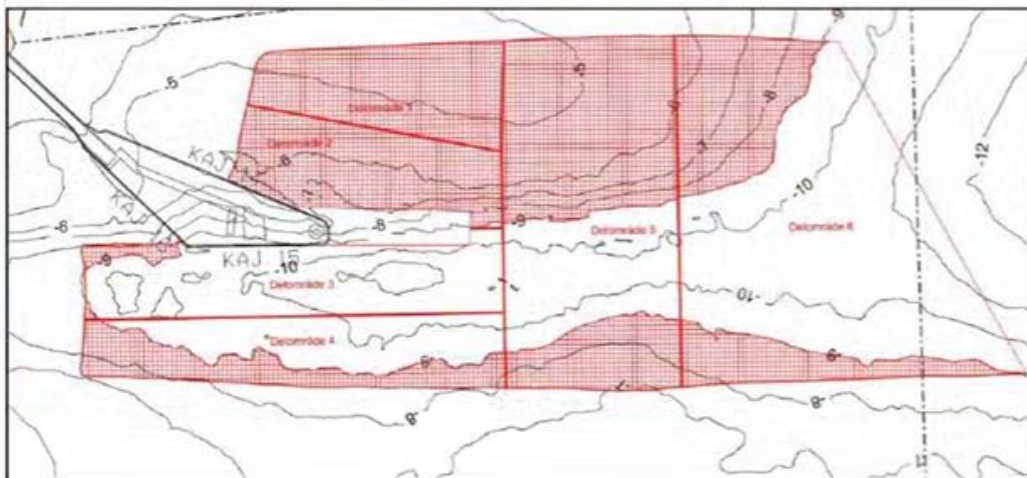
DK: Nationalt fastsatte krav, jf. bekendtgørelse 1625, Bilag 2, del B.2 (tabel 4). Kravene refererer til generelle miljøkvalitetskrav. 5: Dette kvalitetskrav gælder for den biotilgængelige koncentration af stoffet. 6: Kvalitetskravet er denne koncentration af stoffet tilføjet den naturlige baggrundskoncentration. Gælder ikke i kombination med note 5.

EU: De anførte EU miljøkvalitetskrav, jf. bekendtgørelse 1625, Bilag 2, del B.3 (tabel 5) for biota gælder for fisk eller for krebsdyr og bløddyr. For PAH gælder kvalitetskravene for biota og tilsvarende de generelle kvalitetskrav i vand for koncentrationen af benz(a)pyren, hvis toksicitet de er baseret på. Benz(a)pyren kan betragtes som markør for de øvrige PAH'er, og derfor behøver kun benz(a)pyren at blive overvåget med henblik på sammenligning med kvalitetskravet for biota eller de tilsvarende generelle kvalitetskrav i vand.

Det fremgår af tabel 2-2 at de beregnede gennemsnitlige indhold af de miljøfremmede stoffer i det øvre sediment i Nyborg Fjord generelt ligger under de anførte referenceværdier for Langelandssund. Dog er koncentration af cadmium og TBT-kation højere end referencen. For bly og cadmium er miljøkvalitetskravene for sediment overholdt. For kviksølv og Benz(a)pyren foreligger der ikke bestemmelser af koncentrationen i biota i tilknytning til projektet.

3 Beregning af MFS koncentration i vandfasen ved sedimentspredning.

Som følge af anlægsaktiviteterne ved Avernakke Pier skal der bortskaffes i alt ca. 56.200 m³ materiale hovedsageligt bestående af sand, silt og moræneaflejringer. Det samlede areal er ca. 27.000 m² og der skal uddybes til -9,0 meter. Lagtykkelsen af uddybningsmaterialet varierer fra op til 4,5 meter i de nordlige delområder til mindre end 1 meter i de sydlige delområder. Lagtykkelsen af de recente aflejringer (miljøpåvirket) i området varierer fra under en halv meter til ca. 1 meter. Det estimeres, at 75% af de samlede uddybningsmaterialer vil stamme fra de nordlige delområder og at de resterende 25 % vil stamme fra de sydlige delområder, se figur 2.1 for delområdernes udstrækning og nedenstående figur 3.1 for vanddybder i uddybningsområdet. Det estimeres desuden ud fra de geotekniske borer, at de recente miljøpåvirkede aflejringer udgør 15 % af uddybningsvoluminet i den nordlige del og 50 % i den sydlige del.



3.1 Samlet uddybningsområde og nuværende vanddybder. Der uddybes til -9 meter.

For at estimere koncentrationen i vandfasen, antages at de miljøfremmede stoffer kun er associeret til de fine fraktioner af sedimentet, og der tages derfor udgangspunkt i kurver over kornstørrelsesfordelingen i prøverne fra de enkelte delområder D3, D4, D5 og D6 mod nord samt D8, D9 og D10 mod syd, se figur 3.2.

For delområderne D3, D4, D5 (øverst på figur 3.2) og delområde D6 (nederst på figur 3.2) fremgår at langt hovedparten af prøverne af overfladesediment består af sand og grusfraktioner, mens de fine fraktioner af silt og ler udgør i størrelsesordenen 10 – 15 % af materialet. Sammenholdes dette med analyserne af prøver af overfladesediment fra disse delområder ses at der her er relativt høje tørstofindhold og tilsvarende lave indhold af glødetab og TOC (organisk stof). Ud fra de geotekniske borer estimeres at uddybningen i disse områder hovedsageligt vil omfatte uddybningsmaterialer af moræneler og sand under det miljøpåvirkede overfladesediment svarende til min. 85 % i disse områder.

For delområderne D8, D9 og D10 viser kornstørrelsesfordelingen i figur 3.2 nederst, at silt og lerfraktionerne udgør 40 – 70 % eller ca. 55 % i overfladesedimentet. I disse delområder

er indholdet af organisk stof højere og tørstofindholdet tilsvarende lavere, se tabel 2-1. Ud fra de geotekniske borer og estimeres at uddybningen i disse områder vil omfatte uddybningsmaterialer af moræneler og sand under det miljøpåvirkede overfladesediment svarende til ca. 50 % i disse områder.

Ud fra ovenstående antages, jf. nedenstående oversigt:

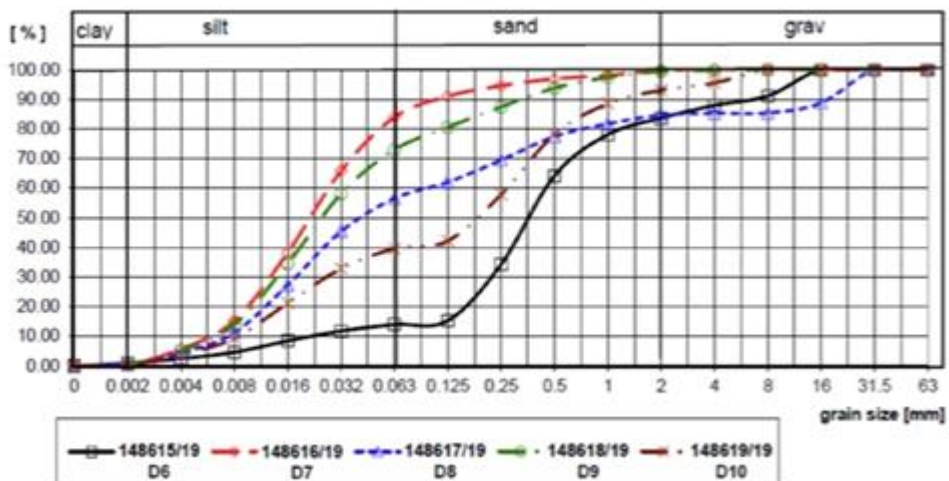
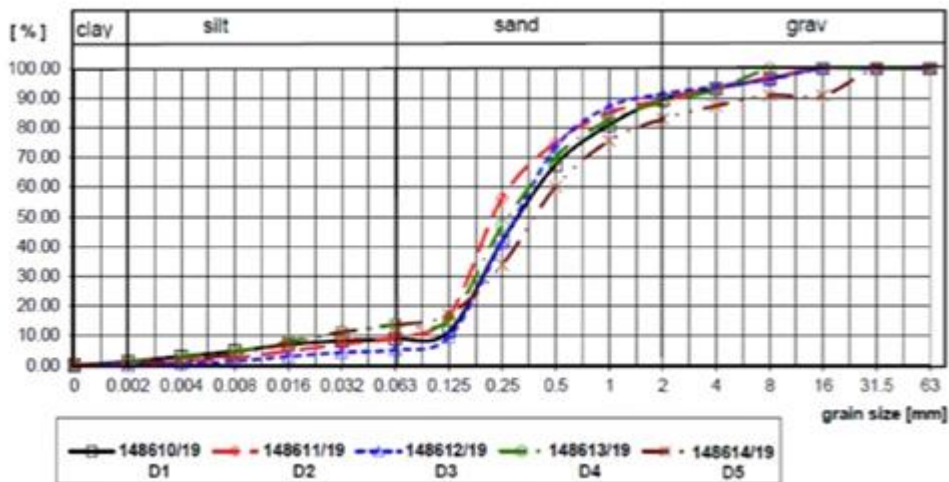
Den samlede mængde af miljøpåvirket overfladesediment udgør 11.381 m³ svarende til ca. 20,25 % af det samlede uddybningsvolumen på 56.200 m³. Denne forudsætning er baseret på lagtykkelsen i uddybningsområderne, lagdelingen mellem upåvirket og miljøpåvirket sediment og arealet der skal uddybes.

Af det miljøpåvirkede overfladesediment udgøres 3.393 m³ af ler-siltfraktioner svarende til 30 % af det miljøpåvirkede overfladesediment på 11.381 m³ eller 6 % af det samlede uddybningsvolumen. Denne antagelse er baseret på korstørrelsesfordelingen i de øvre sedimentlag.

Det antages desuden, at hele indholdet af miljøfremmede stoffer, som konstateret ved de kemiske analyser, kun er associeret til de fine ler og siltpartikler samt organiske stoffer, som spredes med vandstrømmen og derved fungerer som vektor for de miljøfremmede stoffer. Antagelsen er baseret på mineralske partiklers og organiske stoffers evne til at binde eller associere miljøfremmede stoffer til overfladen. De fine partikler har en stor overflade set i forhold til grove partikler, og grove partikler som sand og grus består af mineraler med ringere evne til at associere de miljøfremmede stoffer.

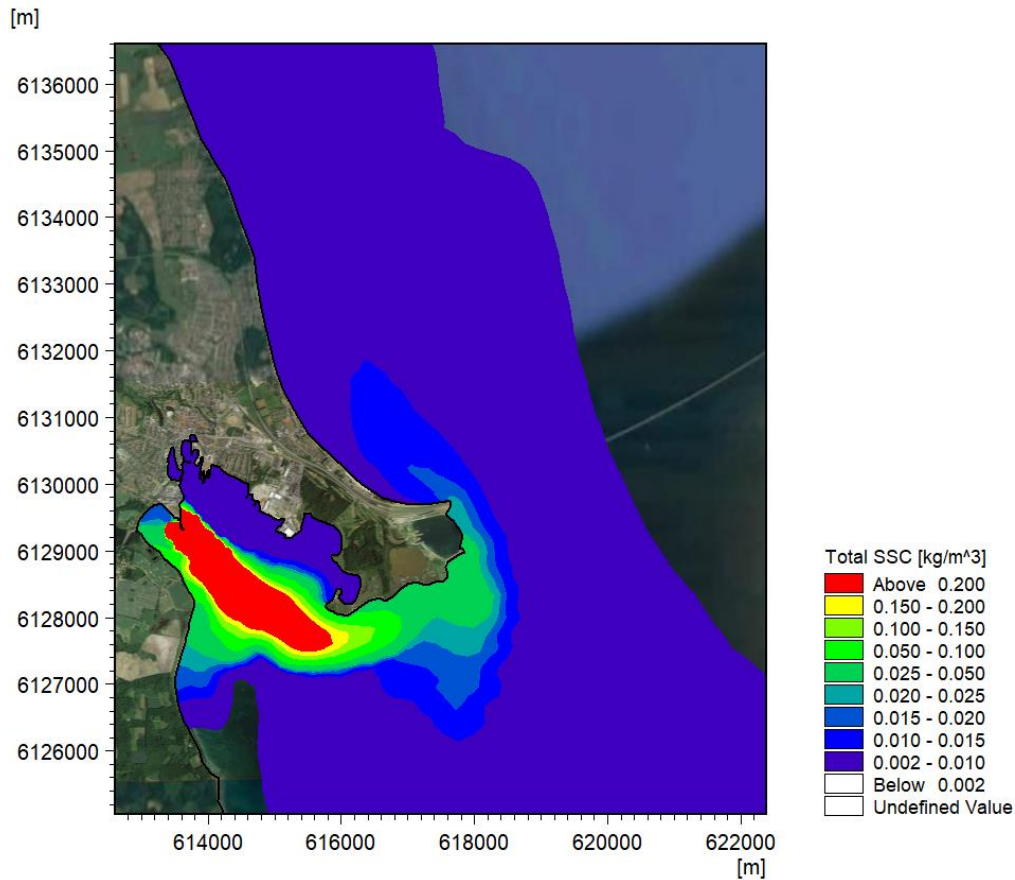
Det antages endvidere, at den samlede masse af de miljøfremmede stoffer knyttet til de fine partikler, som spredes, i et givet punkt potentielt frigives til vandfasen. Dette er ikke teoretisk set korrekt, fordi en væsentlig del af det miljøfremmede stof fortsat vil være bundet til partiklerne, afhængigt af stoffets egenskaber og kemisk/fysisk miljø. Men miljømæssigt er antagelsen robust ved sammenligning med miljøkvalitetskriterierne for miljøfremmede stoffer i vandfasen.

Parameter	Værdi	Enhed	Kilde
Sedimentvolumen	56200	m ³	Oplyst i projektet
Nordlige delområder D3, D4, D5, D6	47770	m ³	Estimat 85% af uddybningsvolumens geometri og vanddybder
Heraf miljøpåvirket	7166	m ³	Estimat 15 % ud fra boreprofiler
Sydlig delområder D8, D9, D10	8430	m ³	Estimat 15 % af uddybningsvolumens geometri og vanddybder,
Heraf miljøpåvirket	4215	m ³	Estimat 50 % ud fra boreprofiler
Miljøpåvirket vol. i alt	11381	m ³	
Heraf finkornet materiale	3393	m ³	Beregnet ud fra kornkurver
Miljøpåvirket vol.	20,25	%	Samlet vægtet estimat ud fra miljøpåvirket volumen
Korrektionsfaktor for tørstofindhold (TS). Analyseresultater er angivet ift. prøvernes gennemsnitlige TS %. De fine partikler, som spredes, forventes at være vektor for det samlede indhold af MFS i prøverne. Analyseresultaterne skal derfor korrigeres for vægten af grove partikler i prøverne, som ikke antages at binde MFS i væsentligt omfang. Analyseverdierne multipliceres derfor med korrektionsfaktoren.			
Nordlige delområder	6,667	#	15% finkornet: 100/15
Sydlig delområder	1,818	#	55 % finkornet: 100/55
Samlet	5,94	#	Vægtet korrektionsfaktor Nord: 85 % + Syd: 15 %

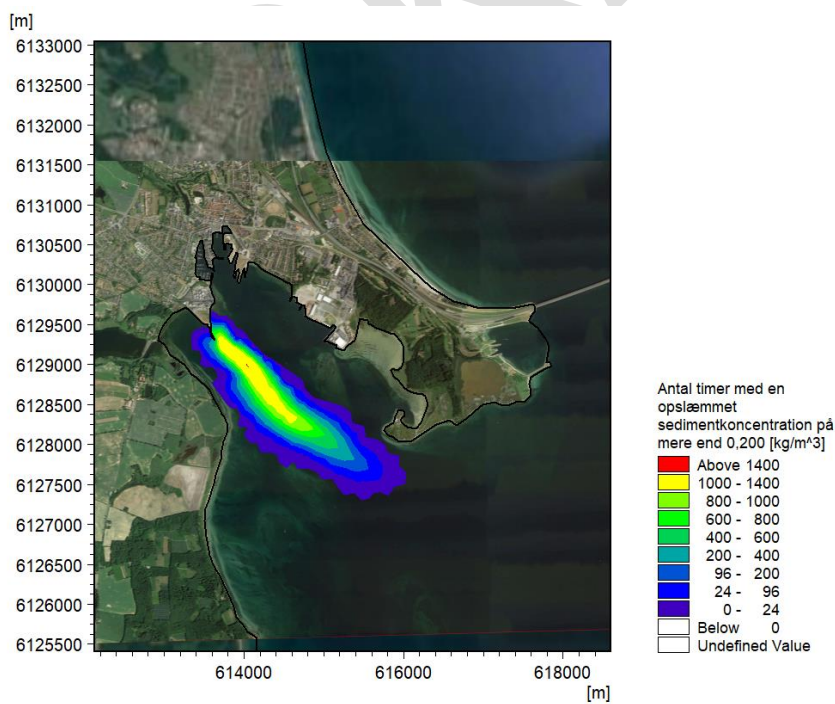


3.2 Kornstørrelsesfordeling. Bemærk af prøverne D1, D2 og D7 indgår ikke i oprensningen.

Ved den hydrauliske modellering er sedimentspredning og opholdstider beregnet, jf. figur



3.3 Modelleret spildkoncentration i Nyborg Fjord



3.4 Varighed i timer med sedimentkoncentrationer over 200 mg/l

Ud fra de målte indhold af miljøfremmede stoffer i sedimentprøverne beregnes den forventede koncentration af stofferne i vandfasen ud fra de modellerede sediment-spredningsberegninger.

I den centrale del af Nyborg Fjord vil der være sedimentkoncentrationer over 50 mg/l, med en varighed svarende til hele uddybningsperioden på 3 måneder, og der vil være sedimentkoncentrationer over 200 mg/l med varighed på op til ca. 1400 timer eller ca. 2 måneder. jf. figur 3.3 og 3.4. Sedimentet som spredes, vil som anført ovenfor hovedsageligt bestå af de fine fraktioner fra både miljøpåvirket recent sediment og fra underliggende moræner. Der er nedenfor vist resultat af beregning for en sedimentkoncentration på 200 mg/l, dels uden korrektion for tørstofindhold og sedimentfordeling, dels med korrektion for tørstof og forudsætning om at 20,24 % af sedimentet består af miljøpåvirkede partikler.

De beregnede koncentrationer i vandfasen sammenholdes med fastlagte miljøkvalitetskrav, hhv. generelle krav og absolutte krav.

For et givet overfladevandområde betyder anvendelse af det generelle kvalitetskrav, at det aritmetiske gennemsnit af koncentrationer, der er målt på forskellige tidspunkter af året, ved hvert repræsentativt målepunkt inden for vandområdet ikke overstiger kravværdien.

For et givet overfladevandområde betyder anvendelse af en maksimumkoncentration, at den koncentration, der er målt ved hvert repræsentativt målepunkt inden for vandområdet, ikke er højere end kravværdien.

Miljøkvalitetskrav for vand er udtrykt som samlet koncentration i hele vandprøven. For metallerne arsen, chrom, kobber, zink, cadmium, bly, kviksølv og nikkel gælder miljøkvalitetskravet for vand dog for koncentrationen i opløsning, dvs. den opløste fase af en vandprøve, der er filtreret gennem et 0,45 µm-filter eller behandlet tilsvarende, eller, hvor det specifikt er angivet, for den biotilgængelige koncentration.

Nedenstående tabel 3-1 viser de beregnede koncentration af miljøfremmede stoffer i vandfasen, dels på baggrund af totalindhold ved sedimentkoncentration 200 mg/l, dels ved antagelse om at de miljøfremmede stoffer kun er knyttet til de fine fraktioner af det øvre miljøpåvirkede sediment, som spredes iht. sedimentspredningsberegningerne. Det antages videre at stofferne potentielt frigives til vandfasen.

Tabel 3-1 Resultater af beregning af koncentration af miljøfremmede stoffer i vandfasen ud fra anførte antagelser. Sedimentanalyserne viser et gennemsnitligt indhold af tørstof (TS) på 57,9 % og et glødetab på 2,6 % af tørstof.

	Totalindhold sediment	Totalindhold ved 200 mg sediment/l	Opslemmet forurennet sediment 20,25 % korrigeret for tørstofindhold	Generelt krav	Absolut krav	Note
	mg/kg TS	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
Arsen	2,8	0,557	0,670	0,6	1,1	DK, 5
Bly	15	2,971	3,574	1,3	14	EU
Cadmium	0,55	0,110	0,132	0,2	0,45	EU
Chrom	7,6	1,523	1,832	3,4	17	DK
Kobber	22,3	4,463	5,368	1 4,9	2 4,9	DK, 5 DK, 6
Kviksølv	0,07	0,014	0,016		0,07	EU
Nikkel	10	1,914	2,302	8,6	34	EU
Zink	67	13,371	16,082	7,8	8,4	DK, 5
PAH	4,52			Anvendes ikke	Anvendes ikke	EU
Benz(a)pyren	0,36	0,072	0,087	0,00017	0,027	EU
TBT-kation	54,4	0,01088	0,01308	0,0002	0,0015	EU

DK: jf. bekendtgørelse 1625, Bilag 2, del B.1 (tabel 3). Totalindhold. Note 5: Kravet tillægges naturlig baggrundskoncentration. Note 6: Kvalitetskravet angiver den øvre koncentration af stoffet uanset den naturlige baggrundskoncentration.

EU: jf. bekendtgørelse 1625, Bilag 2, del B.3 (tabel 5).

Det fremgår af beregningerne på de anførte forudsætninger, jf. tabel 3-1, at der ved sedimentkoncentrationer på 200 mg/l potentielt vil kunne forekomme koncentrationer af metaller i sedimentfanen hvor miljøkvalitetskravene overskrides i op til ca. 2 måneder.

Det fremgår af beregningerne på de anførte forudsætninger at der er en mindre risiko for at de generelle miljøkvalitetskrav for metallerne bly, kobber og zink overskrides i en periode på op til 2 måneder. For zink overskrides kravet med en faktor ca. 2. For arsen tangerer den beregnede koncentration det generelle kvalitetskrav.

For kobber vil der beregningsmæssigt være risiko for at det absolutte krav på 4,9 µg/l overskrides når der korrigeres for tørstofindholdet i sedimentprøverne. Overskridelsen er dog forholdsvis lille. Ved sedimentkoncentrationer på 50 mg/l vil indhold af kobber med en max. konstateret koncentration på 91 mg/kg TS i sedimentprøverne, beregningsmæssigt indebære et totalindhold af kobber på 4,55 µg/l. Det absolutte kvalitetskrav for kobber på 4,9 µg/l kan således overholdes ved denne koncentration, men der vil kun være rum for en mindre baggrundskoncentration. Det absolutte miljøkvalitetskrav for kobber er 2 µg/l gældende for den opløste koncentration i marine overfladevande. Det vurderes, at kobber i høj grad vil være sorberet til organisk materiale og finkornede mineralske partikler og det vurderes, at højst 25 % af kobberet vil kunne være opløst i marint miljø. Det vurderes derfor, at de beregnede koncentrationer ikke vil give anledning til væsentlige overskridelser af miljøkvalitetskravet.

For bly, cadmium og kviksølv vurderes at de beregnede koncentrationer ikke vil give anledning til risiko for overskridelse af de fastlagte sedimentkvalitetskrav og biota miljøkvalitetskrav, jf. Tabel 2-2.

For Benz(a)pyren og for TBT-kation ses beregningsmæssigt betydelige overskridelser af både det generelle og det absolutte miljøkvalitetskrav ved sedimentkoncentrationer på 200 mg/l, uanset om der korrigeres for tørstofindhold. Kvalitetskravene for disse stoffer gælder forekomsten af totalindholdet i vandprøven, og ikke kun for den opløste fraktion som er gældende for metallerne. Beregningerne for disse stoffer viser således at der er væsentlig risiko for at miljøkvalitetskravene for marint overfladevand overskrides i en periode på op til 2 måneder i den centrale del af Nyborg Fjord. Det generelle miljøkvalitetskrav, som skal være opfyldt ved et aritmetisk gennemsnit over et år, overskrides med en faktor ca. 424 for Benz(a)pyren, mens det for TBT-kation overskrides med en faktor ca. 54. Begge stoffer er problematiske på grund af deres persistens og deres langtidspåvirkning af animalsk biota i form af bl.a. fejl ved celledeling og reproduktion. De absolutte miljøkvalitetskrav for de to stoffer overskrides med en faktor ca. 3 og 9.

Beregningerne er baseret på estimater af sammensætningen af miljøpåvirket sediment og ubetydeligt påvirket moræneler ud fra geotekniske borer, kornstørrelseskurver for sedimentet og ud fra konkrete bestemmelser af totalindhold af miljøfremmede stoffer i sedimentet. Desuden indgår sedimentspredningsberegninger, som er baseret på strømforhold, dybdeforhold, temperatur, salinitet mv. i en samlet hydrodynamisk beregningsmodel. Der indgår ikke konkrete bestemmelser af frigivelse af miljøfremmede stoffer fra sedimentfase til vandfasen, og beregninger af et sådant samlet komplekst system vil altid være behæftet med betydelig usikkerhed.

Beregningerne viser, at det ikke kan afvises, at der kan forekomme betydende overskridelser af miljøkvalitetskravene for Benz(a)pyren og TBT-kation i en periode på ca. 2 måneder i centrale dele af Nyborg Fjord.