

By- og Landskabsstyrelsen

Miljøeffekter ved anvendelse af store fartøjer til råstofindvinding på havbunden

December 2010




By- og Landskabsstyrelsen

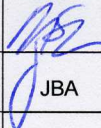
Miljøeffekter ved anvendelse af store fartøjer til råstofindvinding på havbunden

December 2010

Klient By- og Landskabsstyrelsen	Klientens repræsentant Poul Erik Nielsen
-------------------------------------	---

Projekt Miljøeffekter ved anvendelse af store fartøjer til råstofindvinding på havbunden	Projekt nr. 11809083
---	-------------------------

Forfattere Jørgen Birklund Henrik Skov Ulrik Lumborg	Dato 3. december 2010
	Godkendt af Ian Sehested Hansen 

			ULU		
1	Endelig	JBA	HSK/ULU	ISH	3.12.10
0	Udkast	JBA	HSK/ULU		15.11.10
Revision	Beskrivelse	Udført	Kontrolleret	Godkendt	Dato

Nøgleord Råstofproduktion Store fartøjer Energiforbrug og emission Sedimentspild og sedimentation Støj Forstyrrelse og oliespild	Klassifikation <input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten
--	---

Distribution By- og Landskabsstyrelsen DHI	Poul Erik Nielsen JBA, HSK, bibliotek	Antal Kopier Pdf + 2 eks. 3 eks.
--	--	--



INDHOLD

1	INDLEDNING	3
1.1	Baggrund	3
1.2	Indhold og grundlag for det foreliggende notat	3
2	RÅSTOFPRODUKTION PÅ HAVOMRÅDET	5
2.1	Nuværende og fremtidigt indvindingsbehov	5
2.2	Sugedybde og transporthastighed	6
2.3	Dybgang	7
2.4	Losning af materialer	8
3	ENERGIFORBRUG OG EMISSION	9
3.1	Fartøjer med et lastevolumen mindre end 4.000 m ³	9
3.2	Fartøjer med et lastevolumen større end 4.000 m ³	11
4	SEDIMENTSPILD OG SEDIMENTATION	15
4.1	Fjernelse af sediment	15
4.2	Sedimentspild	16
4.3	Påvirkninger afhængigt af spildrate	17
4.4	Påvirkninger afhængigt af sedimentation	20
5	STØJ VED RÅSTOFINDVINDING	22
5.1	Generelt om lyd og støj	22
5.2	Støj ved råstofindvinding	23
5.3	Påvirkning af støj ved råstofindvinding	25
5.4	Anbefaling	27
6	FORSTYRRELSE OG OLIESPILD	28
6.1	Forstyrrelse	28
6.2	Oliespild	28
7	SAMMENFATNING	29
7.1	Råstofindvinding og fartøjsudvikling	29
7.2	Energiforbrug og emission	29
7.3	Fjernelse af sediment, sedimentspild og sedimentation	30
7.4	Støj ved råstofindvinding	31
7.5	Forstyrrelse og oliespild	31
8	HENVISNINGER	32



Bilag

- Bilag 1 Organismers følsomhed overfor habitattab, tildækning og suspenderet stof. Baseret på /28/.
- Bilag 2 Oversigt over menneskeskabte støjkilder. Efter /5/.
- Bilag 3 Detektionsafstande ved støjkilde på 190 dB re 1 μ Pa rms (1/3 oktav-bånd).
- Bilag 4 Audiogrammer hos hvaler, spættet sæl og fisk, som findes i engelske farvande. Båndbredde og relativt energiindhold i støj fra råstofindvinding. Rød: højt, orange: lavt, gult: meget lavt. Efter /5/.



1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

By – og Landskabsstyrelsen har i et brev af 24. september 2010 (J.nr. BLS-7 Ref. PEN) udtrykt ønske om at få opdateret et notat, som blev udarbejdet af DHI for Kystdirektoratet (KDI) i november 2007 /1/.

Notatet i 2007 omhandlede en vurdering af miljøpåvirkninger ved anvendelse af indvindingsfartøjer med et lastevolumen op til ca. 6.000 m³ svarende til worst case i en ”VVM redegørelse for planlagte indvindingsområder på Vestkysten” udarbejdet af DHI for KDI i november 2000 /2/.

I henvendelsen af 24. september 2010 ønskes en opdatering, som er dækkende for fartøjer med et lastevolumen op til 6.000 m³ til indvinding af kvalitetsmaterialer og fartøjer med et lastevolumen op til 30.000-40.000 m³ til indvinding af fyldsand.

Opdateringen skal behandle de elementer, der indgår i notatet fra 2007, men der ønskes en mere detaljeret vurdering af støj samt brændstofforbrug og emission pr. m³ indvundet materiale i forbindelse med henholdsvis råstofindvinding og transport af materialer. Desuden ønskes en oversigt over forskellige fartøjers dybgang.

1.2 Indhold og grundlag for det foreliggende notat

VVM redegørelsen i 2000 og opdateringen i 2007 omhandlede sandindvinding ved slæbesugning til kystsikringsformål i nye indvindingsområder langs Vestkysten. Det foreliggende notat vil have en mere generel karakter og fokusere på konsekvenser ved anvendelse af indvindingsfartøjer af forskellig størrelse i relation til:

- Råstofproduktion på havområdet
- Energiforbrug og emission
- Fjernelse af sediment, sedimentspild og sedimentation
- Støj ved råstofindvinding

Vurderingerne vil primært omhandle slæbesugere (Trailer Suction Hopper Dredgers), som primært anvendes til indvinding af fyldsand. Indenfor de sidste årtier er der foregået en kraftig forøgelse af slæbesugernes størrelse, sugedybde og lastevolumen, således at slæbesugere nu omfatter fartøjer med et lastevolumen fra omkring 1000 m³ til 46.000 m³. Indvinding af kvalitetsmaterialer foregår ved anvendelse af fartøjer med et lastevolumen under 6.000 m³. Effekter ved indvinding af kvalitetsmaterialer opfattes derfor generelt at være omfattet af de tidligere vurderinger i /1/ og /2/. Indvindingen af kvalitetsmaterialer, som ofte foregår ved stiksugning, indebærer, at der foretages en sortering (screening) af materialet, hvilket forøger indvindingstiden med op til 100%, i forhold til



den tid, det varer, at indvinde samme mængde materiale ved slæbesugning uden sortering. Energiforbrug, sedimentspild og støjeksposeringens varighed ved stiksugning vil afhænge af den stedspecifikke sammensætning af råstofressourcen i forhold til den ønskede kvalitet af materialernes sammensætning.

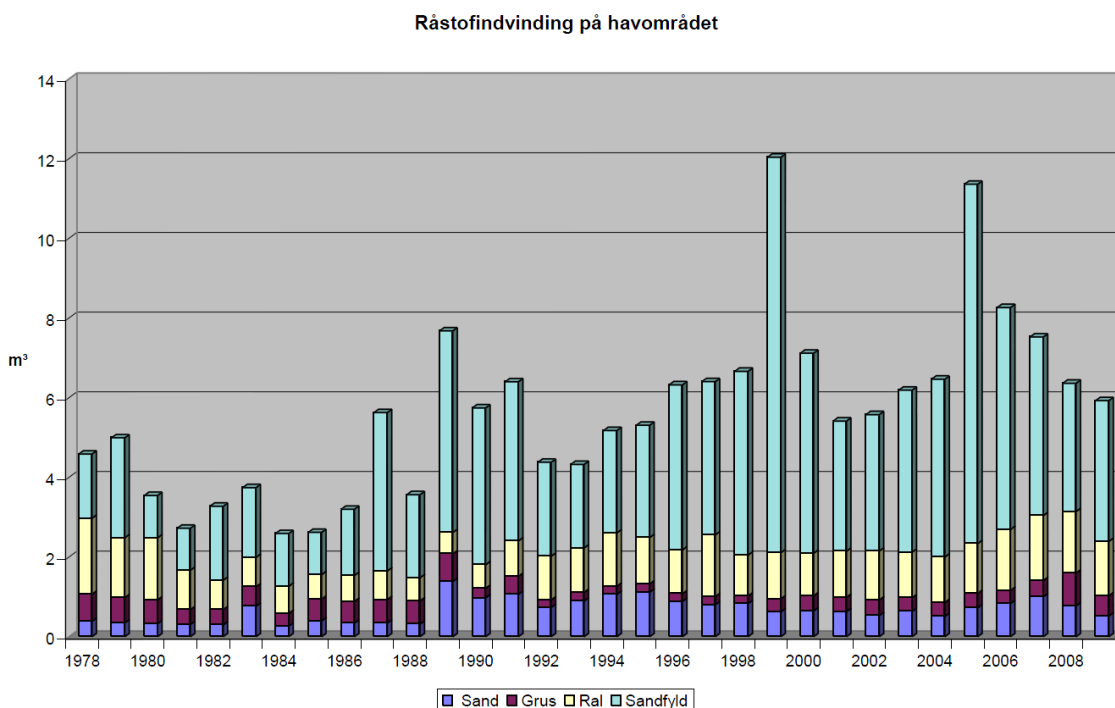
Vurderingerne er primært baseret på tilgængelige nyere oversigtsrapporter om bl.a. støj udarbejdet af OSPAR /3/, /4/, MALSF /5/ og audiogrammer over dyrs høreevne /6/, samt energiforbrug ved slæbesugning /7/. Desuden er der søgt oplysninger om slæbesugere på udenlandske firmaers hjemmesider (www.jandenul.com og www.boskalis.nl). Der blev rettet henvendelse til de samme firmaer med ønske om supplerende oplysninger på basis af en kort beskrivelse af projektet og tabeller med de ønskede oplysninger for slæbesugere med en lastekapacitet op til 30.000-40.000 m³. Kun Jan de Nul har svaret, og DHI vil rette en tak til dette firma.



2 RÅSTOFPRODUKTION PÅ HAVOMRÅDET

2.1 Nuværende og fremtidigt indvindingsbehov

I 2008 var den samlede produktion af sand, grus, ral, sten og fyldsand ca. 35 mio. m³, hvoraf ca. 6 mio. m³ (17%) var materialer indvundet på havbunden. Råstofindvinding på havområdet har været svingende, men generelt stigende siden slutningen af 70'erne (figur 2.1).



Figur 2.1 Råstofindvinding på havområdet i 1978-2009 /10/.

I de sidste 15 år har den årlige råstofindvinding på havbunden varieret omkring 6 mio. m³ med udsving, som primært skyldes forøget indvinding af fyldsand i forbindelse med store anlægsopgaver. Indvindingen af fyldsand, som udover anlægsopgaver primært anvendes til kystbeskyttelse, var 3,5 mio. m³, eller 60% af den samlede råstofproduktion på havområdet i 2009 /10/. Indvindingen af kvalitetsmaterialer (sand, grus og ral) har i en årrække ligget omkring 2 mio. m³, men varierer med aktiviteten i bygge- og anlægssektoren.

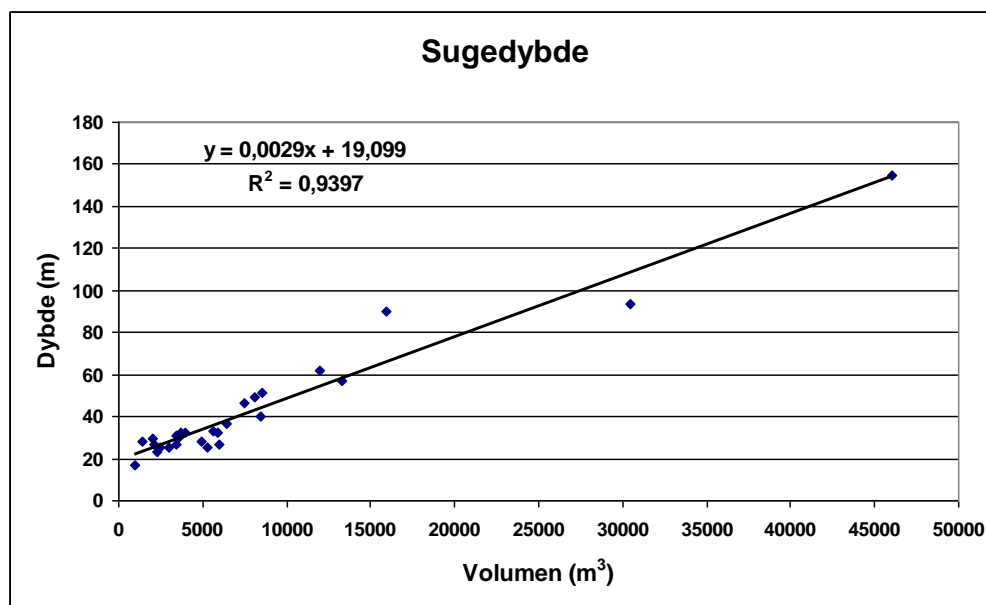
Den årlige indvinding af sand til kystsikring langs Vestkysten har i en årrække varieret mellem ca. 2,5 og 3 mio. m³. Som følge af bl.a. klimaændringer er det under forskellige forudsætninger (scenarier) vurderet, at det nuværende (2008) behov for sand til kystfodring på omkring 2,7 mio. m³ per år kan øges med 34-74%; dvs. med 1-2 mio. m³ per år frem til år 2100 /11/. Som det fremhæves, er en fremskrivning med så lang en tidshorisont forbundet med en stor usikkerhed ligesom de anvendte scenarier for de forventede klimaændringer, som udgør 16-57% af de beregnede ændringer, kan ændres på langt sigt.



2.2 Sugedybde og transporthastighed

Indenfor de sidste to årtier er størrelsen af slæbesugere, især til indvinding af fyldsand, tredoblet, og der er planer om fartøjer med et lastevolumen større end 50.000 m³/8/.

Anvendelsen af større fartøjer indebærer, at der kan indvindes råstoffer på større vanddybde, idet der er en lineær sammenhæng mellem lastevolumen og sugedybde (Figur 2.2).

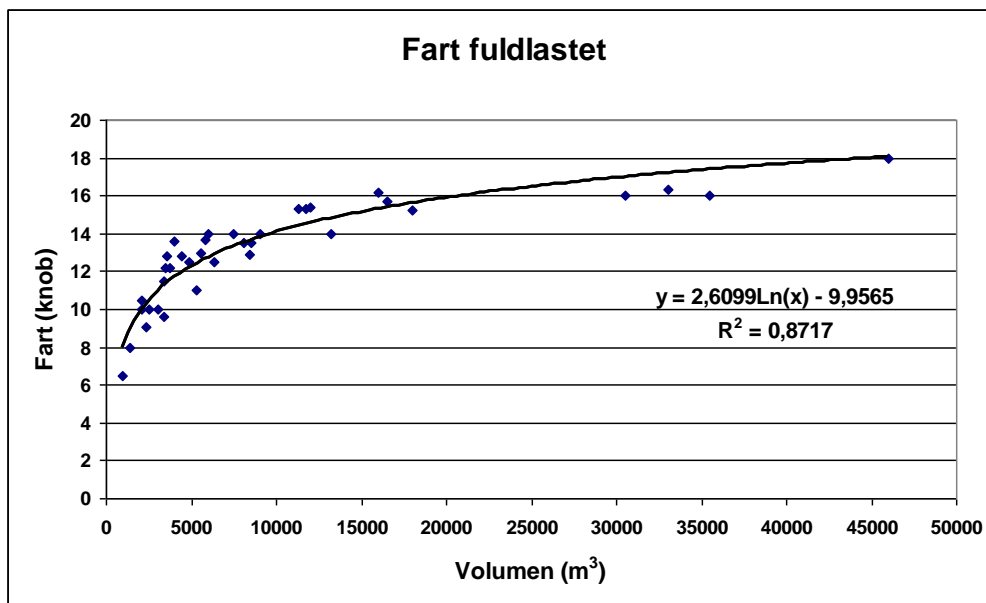


Figur 2.2 Relation mellem fartøjers lastevolumen og sugedybde ved slæbesugning. Baseret på www.Boskalis.nl og www.jandenuul.com.

En række både mindre og større slæbesugere har dog fleksibel sugedybde. En sugedybde på 155 m for et fartøj med lastevolumen på 46.000 m³ angives at være den hidtidige rekord.

Samtidig med, at større fartøjer kan indvinde råstoffer på større dybde, er de også i stand til at transportere materialet med større hastighed i fuldlastet tilstand (Figur 2.3).

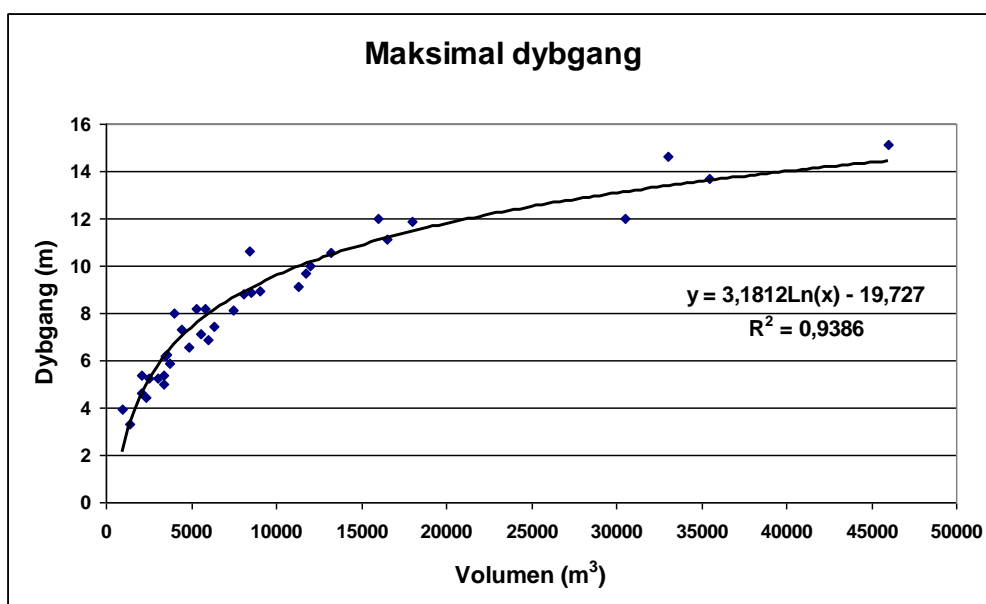
Det indebærer, at større mængder råstoffer hurtigere kan transporteres over længere afstande idet der er en direkte sammenhæng mellem lastevolumen og det volumen sand, som kan transporteres i løbet af en time.



Figur 2.3 Relation mellem fartøjers lastevolumen og transporthastighed i fuldlastet tilstand. Baseret på: www.Boskalis.nl og www.jandenul.com.

2.3 Dybgang

Store fartøjer er således i stand til at indvinde råstoffer på stor dybde og at transportere materialer hurtigere over længere afstande. Samtidig øges fartøjernes dybgang både i tom og fuldlastet tilstand med stigende lastevolumen (Figur 2.4).



Figur 2.4 Relation mellem fartøjers lastevolumen og dybgang i fuldlastet tilstand. Baseret på: www.Boskalis.nl og www.jandenul.com.



Selvom fartøjernes dybgang ikke øges proportional med lastevolumen øges fartøjernes dybgang betydeligt fra omkring 4-5 m for de mindste fartøjer med et lastevolumen på ca. 1.000 – 2.000 m³ til 12-15 m for fartøjer med et lastevolumen fra 30.000 til 46.000 m³.

2.4 Losning af materialer

Losning af selv store fartøjer kan enten foregå via porte i bunden ("klapning") eller ved udpumpning enten direkte over stævnen ved den såkaldte regnbuemetode eller gennem en rørledning.

Alle tre metoder praktiseres af Kystdirektoratets som led i den nuværende kystbeskyttelse langs Vestkysten. Langs Vestkysten foretages en revlefodring ved klapning, en fodring mellem høfder med regnbuemetoden og strandfodring ved indpumpning og fordeling af sand på stranden /9/.

Især større fartøjer, der indvinder kvalitetsmaterialer til videreforarbejdning på land, er oftest udstyret med eget losseudstyr, så materialerne leveres direkte på f.eks. et transportbånd på land.



3 ENERGIFORBRUG OG EMISSION

3.1 Fartøjer med et lastevolumen mindre end 4.000 m³

I /7/ er der foretaget en detaljeret opgørelse af 4 engelske slæbesugeres energiforbrug i løbet af en måneds kontinuerlig drift omfattede indvinding, transport og losning. Undersøgelsen omfattede såvel mindre fartøjer med en lastekapacitet på henholdsvis 1.380 t og 2.300 t og større fartøjer med en lastekapacitet på 5.000 t og 5.200 t. Resultatet af undersøgelsen er sammenfattet i tabel 3.1 og i figur 3.1.

Tabel 3.1 *Olieforbrug under indvinding, transport og losning af råstoffer baseret på undersøgelse af 4 slæbesugere over en måned. Baseret på /7/. Ved omregning til lastevolumen er det antaget, at 1 m³ = 1,5 tons råstof.*

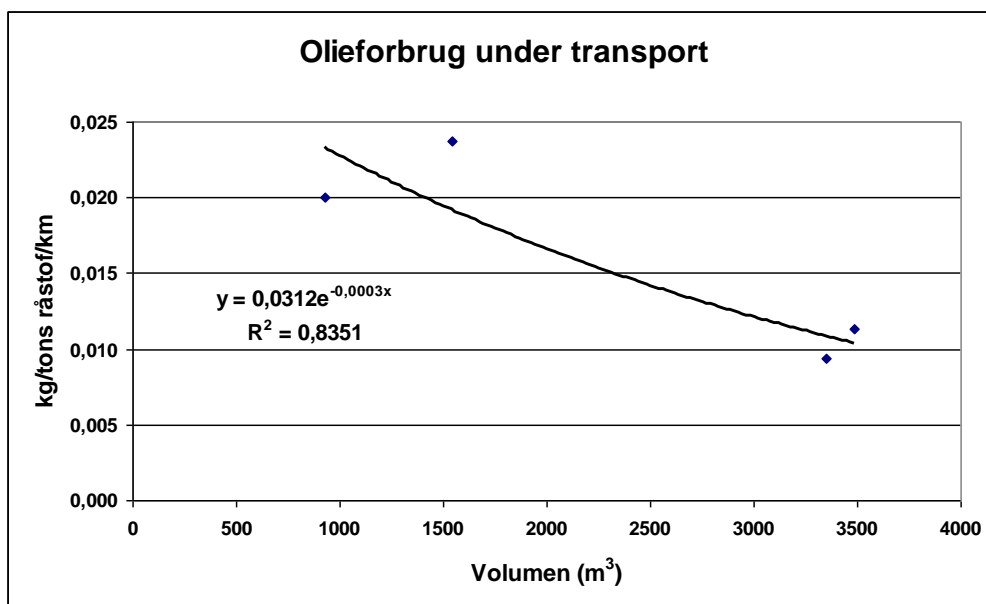
Variable	Enhed	D	B	C	A
Lastekapacitet	Tons	1.380	2.300	5.000	5.200
Lastevolumen (1 t = ca. 0,67 m ³)	m ³	925	1.540	3.350	3.485
Maksimal dybgang	M	4,1	5,2	6,9	6,7
Motoreffekt	kW	530	1.360	2.940	1.950
Service-fart	Knob	10,5	11	12,5	12
Sugedybde	M	46	44	55,9	48
Olieforbrug under indvinding	kg/tons	0,2-0,6			
Olieforbrug under transport	kg/tons/km	0,020	0,024	0,009	0,011
Olieforbrug under losning	kg/tons	0,16	0,18	0,14	0,15

Undersøgelsen omfatter fartøjer med et lastevolumen op til ca. 3.500 m³ og resultaterne kan ikke umiddelbart overføres til større fartøjer.

Energiforbrug ved indvindingen varierer med en faktor 3 fra 0,2-0,6 kg/tons råstof (ca. 0,3-0,9 kg/m³) og er ikke angivet for de enkelte fartøjer. Som årsag til den store variation anføres, at fartøjerne opererer på forskellig dybde, at indvindingen foregår ved såvel stiksugning som slæbesugning, at der indvindes både sand og grovere materialer, der kan indebære sortering, hvilket kan forøge produktionstiden med 100% i forhold til indvinding uden sortering.

Energiforbruget til transporten af materialer, som i undersøgelsen var langt den største post på energibudgettet, er næsten det halve for de større fartøjer i forhold til de mindre fartøjer (Figur 3.1). På figuren er der indlagt en eksponentiel funktion, men med de få og relativt små fartøjer, som undersøgelsen omfatter, kan denne funktion ikke ekstrapoleres til store fartøjer.

Losning af materialer, som i denne undersøgelse foregår med grab, er væsentlig mindre energiforbrugende end indvinding. Der er ikke stor forskel på energiforbruget i forhold til fartøjernes lastevolumen. De store fartøjer er omkring 15% mere effektive end de mindre.

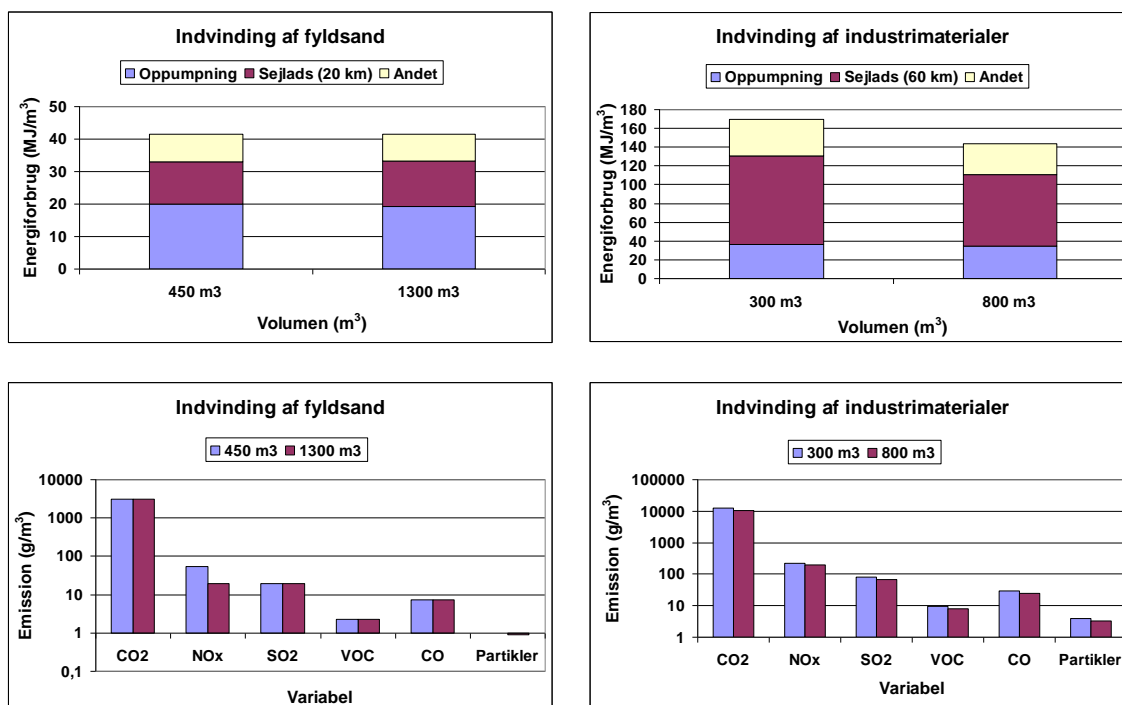


Figur 3.1 Relation mellem fartøjers lastevolumen og olieforbrug under transport angivet i kg per tons råstof per km transport fra indvindingsområde til losningsposition (havn). Baseret på /7/.

I en undersøgelse af det danske erhverv /12/ er der beregningseksempler på indvinding og transport af henholdsvis fyldsand og industrimaterialer samt den emission, som er forbundet med energiforbruget (tabel 3.2 og figur 3.2).

Tabel 3.2 Energiforbrug i MJ/m³ ved indvinding og transport af fyldsand (transport 20 km) og industrimaterialer (transport 60 km) ved anvendelse af fartøjer med et lastevolumen på henholdsvis 450 m³ og 1.300 m³ (fyldsand) og henholdsvis 300 m³ og 800 m³ (industrimaterialer). Efter /12/.

Variabel	Fyldsand		Industrimaterialer	
	450 m ³	1.300 m ³	300 m ³	800 m ³
Oppumpning (indvinding)	20,0	19,2	36	35
Sejlads	13,1	14	95	76
Andet	8,3	8,3	39	33
I alt (afrundet)	42	42	170	144



Figur 3.2 Energiforbrug og emission ved oppumpning (indvinding) og transport af henholdsvis fyldsand (venstre kolonne) og industrimaterialer (højre kolonne) i danske farvande. Baseret på /12/.

Ifølge beregningerne i tabel 3.2 er energiforbruget ved oppumpning (indvinding) af fyldsand og industrimaterialer henholdsvis ca. 20 MJ/m³ og 36 MJ/m³ og i begge tilfælde uafhængig af fartøjernes lastevolumen. Energiforbruget ved indvinding af industrimaterialer er næsten dobbelt så stort som ved indvinding af fyldsand. Det skyldes, at der i forbindelse med indvinding af industrimaterialer foregår en sortering, som medfører, at indvindingstiden næsten fordobles.

Ifølge tabel 3.1 varierede brændstofforbruget ved indvinding mellem 0,2-0,6 kg/tons svarende til 0,3-0,9 kg/m³ råstof. Fartøjerne kan anvende forskellige typer af brændstof, men der er ikke væsentlig forskel på brændværdien, som i gennemsnit er ca. 42 MJ/kg beregnet på grundlag af /12/. Det svarer til et energiforbrug på 12-36 MJ/m³, hvilket er af samme størrelsesorden, som det energiforbrug, der er beregnet for indvinding af fyldsand og industrimaterialer i danske farvande.

3.2 **Fartøjer med et lastevolumen større end 4.000 m³**

Nøgletal for indvinding (produktion), brændstofforbrug, fart og dybgang for slæbesugere med en lastekapacitet mellem 4.400 m³ og 46.000 m³, som kun anvendes til indvinding af fyldsand, er vist i tabel 3.3.



Tabel 3.3 Produktion, brændstofforbrug, fart og dybgang for slæbesugere med et lastevolumen mellem 4.400 m³ og 46.000 m³. Kilde: Jan de Nul.

Variabel	Enhed	4.400 m ³	9.000 m ³	16.500 m ³	33.000 m ³	46.000 m ³
Sugehoved: bredde	m	4,3	6,5	5,5	8	8,5
Indvindingshastighed	m ³ /time	2015	3697	6442	11415	12749
Indvindings- tid:	timer	1,57	1,73	1,83	2,43	2,92
Fuldlastet						
Brændstofforbrug: Indvinding	l/time	890	2000	3100	5000	7500
Brændstofforbrug ved transport: Fuldlastet	l/time	860	1900	2900	4700	7000
Brændstofforbrug ved transport: Tom	l/time	820	1800	2750	4475	6650
Fart fuldlastet	knob	12,55	14	15,75	16,3	18
Dybgang fuldlastet	m	6,65	9,1	11,2	14,9	15,5

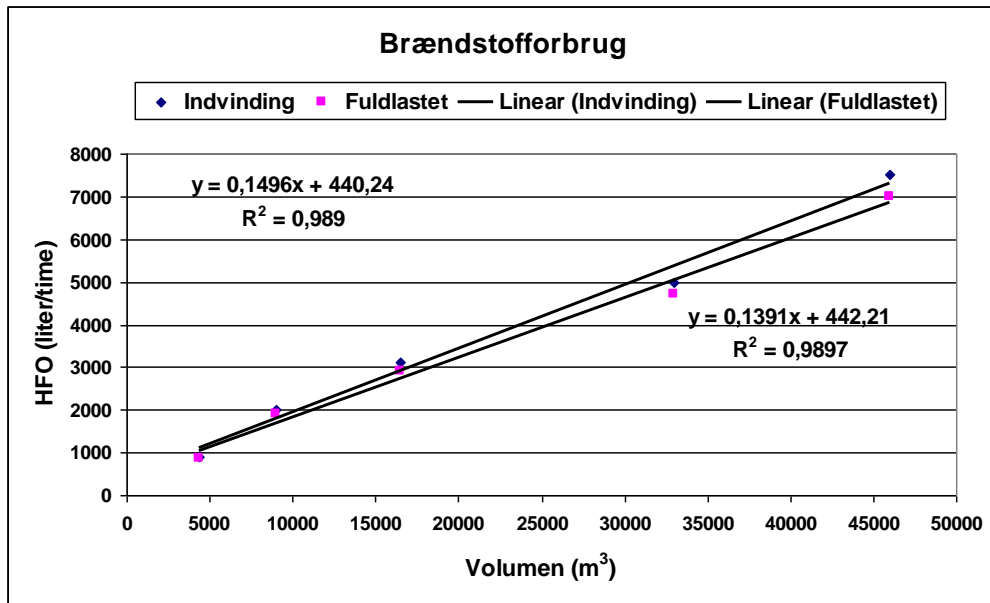
På grundlag af tabel 3.3 er der foretaget en beregning af brændstofforbrug ved indvinding og transport i tabel 3.4.

Tabel 3.4 Volumen af råstoffer fuldlastet samt brændstofforbrug ved indvinding og transport for slæbesugere med et lastevolumen mellem 4.400 m³ og 46.000 m³ beregnet på basis af tabel 3.3.

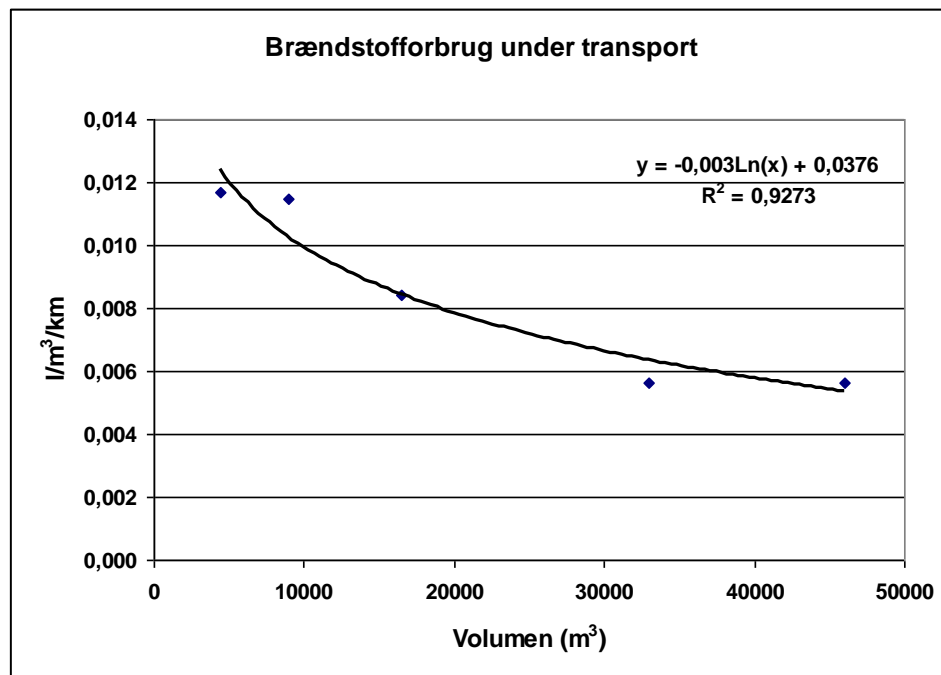
Variable	Enhed	4.400 m ³	9.000 m ³	16.500 m ³	33.000 m ³	46.000 m ³
Volumen af råstoffer: Fuldlastet	m ³	3.164	6.396	11.789	27.738	37.227
Brændstofforbrug: Indvinding	l/m ³	0,44	0,54	0,48	0,44	0,59
Brændstofforbrug ved transport: Fuldlastet	l/m ³ /km	0,0117	0,0115	0,0084	0,0056	0,0056
Brændstofforbrug ved transport: Tom	l/km	35	69	94	148	199

Der er en lineær relation mellem fartøjernes lastevolumen og brændstofforbrug under indvinding og transport såvel fuldlastet som tom (Figur 3.3). Brændstofforbrug ved sejladstom er 5% lavere end i fuldlastet tilstand og relationen er ikke vist i figur 3.3.

Brændstofforbruget ved indvinding af råstof varierer mellem 0,44-0,59 l/m³ og varierer ikke systematisk i forhold til fartøjernes lastevolumen. Derimod reduceres brændstofforbruget ved transport fra 0,0117 l/m³/km for den mindste slæbesuger til 0,0056 m³/km for de største fartøjer (Figur 3.4).



Figur 3.3 Relation mellem lastevolumen og brændstofforbrug for slæbesugere under indvinding og fuldladet transport.



Figur 3.4 Brændstofforbrug under transport af råstof for slæbesugere.

Tabel 3.5 viser resultatet af en teoretisk beregning, som omfatter indvinding af 1 mio. m³ sand, som transporteres 25 km til destination.



Table 3.5 Tidsforbrug og brændstofforbrug ved indvinding af 1 mio. m³ sand og 25 km transport i fuldlastet tilstand til destination samt 25 km retursegls i tom tilstand. Der er regnet med samme fart i fuldlastet og i tom tilstand.

Volumen per last m ³	Indvinding af 1 mio. m ³ sand			Transport i alt 50 km per last		Total	
	Laster	Timer	Mio. liter	Timer	Mio. liter	Timer	Mio. liter
3164	316	496	0,44	680	0,57	1176	1,01
6396	156	270	0,54	301	0,56	571	1,10
11789	85	155	0,48	145	0,41	300	0,89
27738	36	88	0,44	60	0,28	148	0,72
37227	27	78	0,59	40	0,27	118	0,86

Det samlede brændstofforbrug, og dermed emissionen af luftarter til atmosfæren, er af samme størrelsesorden ved indvinding af 1 mio. sand uafhængigt af fartøjernes størrelse. Derimod er brændstofforbrug og emission ved transporten af materialer væsentligt lavere ved anvendelse af større fartøjer. Det samlede energiforbrug ved indvinding og transport er lavest ved anvendelse af store fartøjer og forskellen i energiforbrug og emission mellem mindre og større fartøjer vil øges ved stigende transportafstand.

Den afgørende forskel mellem mindre og større fartøjer ligger i tidsforbruget, som er væsentligt lavere ved anvendelse af store fartøjer i forhold til mindre fartøjer. Det indebærer, at den periode, hvor et område eksponeres for sedimentpild, støj og forstyrrelse, som generelt er forbundet med råstofindvinding, er væsentlig kortere ved anvendelse af store fartøjer, som omtalt i afsnit 4.



4 **SEDIMENTSPILD OG SEDIMENTATION**

Råstofindvinding medfører en fysisk påvirkning af bunden og kan direkte og indirekte påvirke dyr og planter på bunden og i vandsøjlen som følge af /14/, /15/:

- Fjernelse af sediment
- Sedimentspild og sedimentation

4.1 **Fjernelse af sediment**

Råstofindvinding medfører uundgåeligt en påvirkning af sedimentet. Ved slæbesugning, som foretages ved langsom sejlads, typisk 1-2 knob, fjernes de øverste 0,2-0,5 m af sedimentet via en sugefod (drag head) af varierende bredde og udformning /13/. Større slæbesugere anvender oftest 2 sugefødder, en på hver side af skibet, som via rør med dimensioner op til 140 cm suger materialet op i lasten. Det indebærer, at lastetiden ikke forøges proportionalt med fartøjernes lastevolumen.

Langt størstedelen af bunddyrene lever i den øverste del af sedimentet. Slæbesugning medfører derfor, at bunddyrene fjernes i slæbesporene og destrueres. Bunddyr som eksponeres langs slæbesporene er udsat for øget predation.

I praksis vil der være et betydeligt overlap af slæbespor i et indvindingsområde, således at det bundareal, og dermed den mængde bunddyr, som destrueres, ved indvinding af en given mængde råstof, vil være mindre end det teoretisk beregnede.

Påvirkningen af bunddyr ved indvinding af en given mængde råstof ved slæbesugning er uafhængig af fartøjernes størrelse.

Intensiv slæbesugning med overlappende slæbebaner indenfor et begrænset område kan medføre en dybdeforøgelse /16/, men generelt er ændringen af bundmorfologien beskednen. Det indebærer, at bundforholdene kan regenerere og rekoloniseres af bunddyr indenfor en kortere periode. Forudsat, at slæbesugningen ikke medfører eksponering af en væsentlig anden bundtype, f.eks. ler i stedet for sand, vil et påvirket område rekoloniseres af børsteorme og krebsdyr, som oftest udgør en dominerende andel af bundfaunaens arts- og individrigdom, indenfor 1-2 år, hvorimod genetablering af muslinger og pighuder, som udgør en dominerende andel af faunaens biomasse, kan vare adskillige år.

Følsomheden hos udvalgte arter af planter og dyr, som følge af akut fjernelse af sediment (habitat) er vist i bilag 1. Følsomheden afhænger primært af arternes reproduktionspotentiale og det forventede tidsforløb i rekoloniseringsprocessen.

Råstofindvinding ved stiksugning påvirker et langt mindre bundareal end slæbesugning, men der opstår huller i bunden, som kan være adskillige meter dybe og medføre en varig ændring af bundmorfologien i det berørte område. Afhængigt af sugehullernes dybde og lokale forhold, kan livsbetingelserne for bunddyr ændres i ugunstig retning ved forøget sedimentation af organisk materiale. I mange tilfælde medfører en iltforbrugende nedbrydning af organisk materiale, eventuelt forstærket af periodisk lagdeling af



vandmassen, at der opstår iltfattige forhold, som reducerer eller forhindrer en rekolonisation i bunden af dybe sugehuller.

4.2 Sedimentspild

Dette afsnit er baseret på /8/ som har sammenlignet resultatet af to modeller til at beregne produktionsforløb og sedimentspild ved slæbesugning i tre cases, som omfattede et lille fartøj med et lastevolumen på 2.316 m³, en såkaldt Jumbo med et lastevolumen på 21.579 m³ og en Mega slæbesuger med et lastevolumen på 36.842 m³. Det er antaget, at sedimentets mediankornstørrelse (d₅₀) var 0,4 mm svarende til middelkornet sand, og at fraktionen af silt/ler (<0,063 mm) og finsand (0,063-0,125 mm) var ca. 20%.

Resultatet af de to modeller var næsten identisk indenfor den optimale produktionsperiode, som omfatter den periode, hvor produktion (akkumulering af sediment i lasten) og sedimentspild øges lineært med indvindingstiden. Hvis indvindingen fortsættes udover dette tidspunkt, reduceres produktionen hurtigt, som følge af en begrænset opholdstid og dermed sedimentationstid i lasten, ligesom det indstrømmende vand kan medføre en oprivning (scour) af allerede sedimenteret materialet. Sammen med den begrænsede sedimentation af materiale i lasten medfører det en væsentlig stigning i spildraten i en eventuel afsluttende suboptimal del af indvindingsperioden.

På basis af de beregnede kurveforløb i figur 12, 13 og 14 i /8/ er der i tabel 4.1 foretaget en beregning af spildrater. Resultatet af beregningerne er vist i figur 4.1.

Tabel 4.1 Lastetid, produktion og spildrate ved slæbesugning baseret på modelberegninger af tre cases omfattende fartøjer med et lastevolumen mellem 2.316 m³ og 36.842 m³. Efter /8/.

Volumen m ³	Optimal lastetid Min	Produktion per last		Spildrate tons/s
		tons	M ³	
2.316	42,5	3.400	2.267	0,45
21.579	112,5	31.500	21.000	1,56
36.842	137,5	54.000	36.000	2,05

En vurdering af de potentielle biologiske konsekvenser af en øget spildrate, må også ses i sammenhæng med eksponeringstiden både for de sedimentfaner, som opstår som resultat af den enkelte produktionscyklus, og i produktionsperioden som helhed ved indvinding af en given mængde råstof.

På basis af /8/ er der i tabel 4.2 foretaget en beregning af det antal laster og den samlede indvindingstid og samlede sedimentspild ved indvinding af 1 mio. m³ sand.

Det samlede sedimentspild er af samme størrelsesorden og ikke påvirket af skibsstørrelsen. Derimod er frekvensen af spild og varigheden af den periode, hvor der foregår spild væsentlig kortere ved anvendelse af et større fartøj. Spildraten er højere, men foregår i kortere perioder og i en kortere samlet tid i forhold til indvinding af den samme mængde med et mindre skib.



Tabel 4.2 Lastetid, produktion og samlet spild ved slæbesugning og indvinding af 1 mio. m³ sand. Baseret på modelberegninger af tre cases omfattende fartøjer med et lastevolumen mellem 2.316 m³ og 36.842 m³. Efter /8/.

Produktion	Lastetid	Produktion (indvinding)		Samlet spild
		antal laster	timer i alt	
m ³	min			Tons
2.267	42,5	440	312	504900
21.000	112,5	48	90	505440
36.000	137,5	28	64	473550

Imidlertid foregår indvinding og sedimentspild ikke kontinuerligt idet en produktionscyklus omfatter den tid, det tager at fylde lasten, transport til destination, tømning af lasten samt retursejlad. Produktionsperioden omfatter den tid, som indvinding og levering af en given råstofmængde, strækker sig over. I praksis er produktionsperioden afhængig af vejrforholdene især langs Vestkysten. I det følgende regneeksempel, som er baseret på indvinding af 1 mio. m³ sand og en produktionscyklus på 3 timer eksklusivt indvinding, er der set bort fra vejrmæssige forhold (Tabel 4.3).

Tabel 4.3 Lastetid, produktion, transport og varighed af indvinding af 1 mio. m³ sand ved slæbesugning. Baseret på modelberegninger af tre cases omfattende fartøjer med et lastevolumen mellem 2.316 m³ og 36.842 m³. Efter /8/.

Produktion	Lastetid	Produktion (indvinding)		Transport	Varighed
		antal laster	timer i alt		
M ³	Min			timer i alt	timer i alt
2.267	42,5	440	312	1320	1632
21.000	112,5	48	90	144	234
36.000	137,5	28	64	84	148

Regneeksemplet i tabel 4.3 er baseret på en produktionscyklus på ca. 4 timer for et mindre fartøj, hvilket er typisk i forbindelse med kystnær fodring langs Vestkysten.

Fordelen ved at anvende større fartøjer vil øges i de situationer, hvor materialet skal transporteres over væsentligt længere afstande end antaget i tabel 4.3, og fordelen øges også ved, at større skibe sejler hurtigere både fuldlastede og tomme.

4.3 Påvirkninger afhængigt af spildrate

Sedimentspild i forbindelse med råstofindvinding giver anledning til sedimentfaner, som udbreder sig i strømmens retning og gradvist fortyndes horisontalt og vertikalt. Hvis vandet er klart, dvs. at det naturlige indhold af suspenderet stof er lavt, vil koncentrationer af suspenderet stof på ca. 2 mg/l kunne erkendes som synlige sedimentfaner.

I forhold til mindre fartøjer vil sedimentspild fra store fartøjer medføre sedimentfaner med væsentlig højere koncentrationer af suspenderet stof og synlige faner vil dække større arealer og udbrede sig i større afstande fra indvindingsfartøjet. Til gengæld vil sedimentfaner ved indvinding fra et stort fartøj optræde indenfor en kortere periode i forhold til indvinding med et lille fartøj.

Høje koncentrationer af suspenderet stof i en sedimentfane kan påvirke:



- Planteplankton og bundvegetation, som følge af skygning
- Filtration og fødeoptagelse hos bunddyr
- Vandring og fødesøgning hos fisk
- Opdrift af pelagiske æg og udvikling af æg og larver
- Fødesøgning hos fugle

Planteplankton og bundvegetation

Som følge af lysdæmpning (skygning) vil planteplankton i sedimentfanen have en nedsat fotosyntese, men uanset om store og tætte sedimentfaner berører en større planktonpopulation, vil det berørte vandvolumen være begrænset i forhold til de tilstødende uberørte vandområder. Selvom påvirkningen er større ved anvendelse af store fartøjer, vil påvirkningen foregå i en kortere periode i forhold til anvendelsen af mindre fartøjer. Som helhed forventes anvendelsen af store fartøjer ikke i afgørende omfang at ændre påvirkningen af planteplankton.

Blomsterplanter, bl.a. ålegræs er moderat følsomme overfor skygning forårsaget af langvarige og forhøjede koncentrationer af suspenderet stof, og det samme er tilfældet med rødalgen gaffeltare (*Furcellaria lumbricalis*), men ikke arter af grøn- og brunalger på lavt vand (Bilag 1).

Som følge af store indvindingsfartøjers dybgang, se figur 2.4, og et generelt forbud mod indvinding på lavere vanddybder end 6 m i danske farvande, anses det ikke for sandsynligt, at indvinding med store fartøjer vil foregå i nærheden af ålegræsområder, som har en begrænset dybdeudbredelse. Derimod, har rødalger en betydelig dybdeudbredelse i danske farvande. Afhængigt af lokale forhold, er det sandsynligt, at sedimentfaner, som følge af sedimentspild ved indvinding fra store fartøjer, kan medføre nedsat fotosyntese hos makroalger, som følge af skygning. Rødalger lever visse steder på kanten af deres lysgrænse og kan derfor være sårbare overfor selv små stigninger i skygningen.

En eventuel påvirkning vil sandsynligvis være tidsbegrænset, som følge af de relativt korte og diskontinuerlige indvindingsperioder, som begrænser eksponeringen af algerne, og der forventes ikke påvirkninger udover indvindingsperioden.

Filtration og fødeoptagelse hos bunddyr

Høje koncentrationer af suspenderet stof vil generelt belaste og forringe fødeoptagelsen hos filtrende dyr. De høje koncentrationer af suspenderet stof i sedimentfanerne vil formentlig have en midlertidig negativ effekt på dyreplankton. I lighed med planteplankton, vil de berørte vandvolumener være små i forhold til upåvirkede områder. Eksponeringstiden vil være kortvarig og anvendelsen af store fartøjer vil ikke afgørende ændre påvirkningen af dyreplankton.

Filtrerende organismer på havbunden, kan udover de forhøjede koncentrationer af suspenderet stof i sedimentfanerne, også blive belastet af sedimentationen af finkornet materiale. De fleste arter af bunddyr er robuste og tilpasset store naturlige svingninger i



vandets indhold af suspenderet stof, som følge af strøm- og bølgebetaget resuspension af bundmateriale (Bilag 1).

Blåmuslinger, som er en vigtig filtrator på lavt vand og på stenrev, kan foretage en partikelselektion. Forsøg har vist uændret fødeoptagelse hos blåmuslinger ved koncentrationer af suspenderet stof op til 56 mg/l /21/. I et delta med en naturlig variation af suspenderet stof mellem 5-35 mg/l, medførte koncentrationer på 250 mg/l, at blåmuslinger med en længde på 3 cm ophørte med at filtrere og lukkede skallerne, hvorimod et tilsvarende respons hos muslinger med en skallængde på 7 cm først opstod ved en koncentration på 350 mg/l /22/. Det er dog sandsynligt, at muslingerne har været adapterede til den naturligt høje variation af suspenderet stof i dette område.

Forsøg med filtrerende organismer uden selektionsmekanismer viste, at filtrering, vækst og overlevelsessevne ikke blev påvirket hos arter af svampe, bryozøer og søpunge ved eksponering i koncentrationer af suspenderet stof op til 26-30 mg/l /25/.

Meget høje koncentrationer af suspenderet stof ved indvinding med store fartøjer kan muligvis hæmme filtrering og vækst hos filtrerende organismer. En eventuel påvirkning forventes at være begrænset til områder tæt ved indvindingsfartøjet og effekten kortvarig, som følge af den begrænsende eksponeringsperiode.

Vandring og fødesøgning hos fisk

Sedimentfaner kan påvirke vandringer og bevægelser hos fisk. Koncentrationer af suspenderet stof på 10 mg/l kan udløse undvigereaktioner hos sild /23/. Undersøgelser af sild og torsk har vist, at sedimentfaner af ler og kridt udløste undvigelsesreaktioner ved koncentrationer på 3 mg/l /24/.

Koncentrationer af suspenderet stof på 3 mg/l er lavere end baggrundskoncentrationen i mange områder og kan også forekomme i klarvandede områder i perioder med resuspension af bundsediment.

Anvendelse af større fartøjer, som genererer sedimentfaner med højere koncentrationer, vil potentielt kunne medføre adfærdændringer hos følsomme arter som sild og torsk og påvirke vandringer og fødesøgning i større områder, i forhold til sedimentspild fra mindre fartøjer. I forhold til mindre fartøjer, vil fiskene blive forstyrret i en kortere periode. Forudsat at indvindingen ikke foregår i et vigtigt område og i en kritisk periode for fiskevandring, forventes ingen væsentlige negative påvirkninger af fisk ved anvendelse af store fartøjer.

Opdrift af pelagiske æg og udvikling af æg og larver

Kommercielt vigtige arter som torsk og fladfisk har pelagisk udvikling af æg og larver. I statiske forsøg, øgedes nedsynkningen af torskeæg lineært med stigende koncentrationer af silt /24/. Det kan medføre, at æggene sedimenterer og går til grunde inden larveudviklingen er gennemført.

Koncentrationer af silt og kalk på 20 mg/l påvirkede ikke overlevelsen af torskeæg. Derimod steg dødeligheden af torskeæg signifikant i koncentrationer på 200 mg/l og samme koncentration medførte 50 % dødelighed blandt torskelarver efter 1 dags eksponering /24/. Efter 6 dages eksponering var der øget dødelighed hos torskelarver ved koncentrationer på 10 mg/l /24/.



Store sedimentfaner med høje koncentrationer af suspenderet stof fra store fartøjer vil i højere grad end sedimentfaner fra små fartøjer, have en potentiel negativ påvirkning på overlevelse og udvikling af pelagiske æg og larver i de berørte områder. I forhold til mindre fartøjer vil den samlede eksponeringsperiode være kortere. Under hensyntagen til, at påvirkningen er kortvarig og at udstrækningen af de påvirkede områder er lille i forhold til upåvirkede områder, samt naturlige faktorer, som bidrager til den meget store dødelighed af æg og larver, vurderes påvirkningen, som følge af sedimentspild, at være meget begrænset, også ved anvendelse af store fartøjer.

Fødesøgning hos fugle

Fødesøgningen hos fugle, som anvender synet, kan blive forringet både på lavt vand (svaner) og på dybere vand (dykænder) i områder med tætte sedimentfaner. Ved anvendelse af større fartøjer vil sedimentfanerne være tættere og større, men eksponeringstiden vil være kortere end ved anvendelse af mindre fartøjer.

4.4 Påvirkninger afhængigt af sedimentation

Sedimentation af spildmateriale kan påvirke planter og dyr, og kan afhængigt af omfang og varighed, medføre en tildækning af overflader og medføre en skygning (planter) eller hæmme respiration og fødeoptagelse og i værste fald medføre en tildækning, som øger organismernes dødelighed.

Som det fremgår af bilag 1, er følsomheden overfor tildækning artsspecifik, men generelt er tildækning med silt mere kritisk end tildækning med sand og en akut tildækning er mere kritisk end en gradvis tildækning med den samme mængde. Desuden er epi-faunasamfund mere følsomme end in-faunasamfund.

Som det fremgår af tabel 4.1, giver indvinding af den samme mængde råstof anledning til det samme sedimentspild og dermed sedimentation af den samme mængde materiale uafhængigt af skibsstørrelse. Derimod er spildraten væsentligt forøget ved anvendelse af store fartøjer. Det indebærer, at der i løbet af et kortere tidsrum, foregår en større sedimentation, som en samlet effekt af en større spildrate og en mindre resuspension og transport af sedimenteret materiale i forhold til et mindre fartøj med en mindre spildrate og en længere indvindingsperiode.

Sedimentation af spild fra et større fartøj vil derfor i højere grad svare til en akut tildækning. Sedimentation af sandfraktionen vil foregå tæt ved indvindingsfartøjet og vil i vidt omfang berøre indvindingsområdet. I indvindingsområdet vil bundfaunaen være udryddet i slæbesporene, men en kraftig sedimentation og tildækning langs slæbesporene må forventes at medføre en forøget dødelighed af arter, som er følsomme overfor akut tildækning. Det er således tilfældet med hjertemuslinger (*Cerastoderma lamarcki*) og i mindre grad molboøsters (*Arctica islandica*), se tabel 1.

Tildækning af et epi-faunasamfund på 15 m dybde med 3-5 cm sand medførte, at antallet af hestemuslinger (*Modiolus modiolus*) blev reduceret med 45% indenfor de første 2 måneder, hvor sandet var blevet liggende og samfundet var påvirket mere end et år efter at sandet var forsvundet /25/. Mobile arter, som søstjerner og søpindsvin, har en lav følsomhed overfor tildækning, idet de kan forlade påvirkede områder og returnere når til-



standen normaliseres ligesom de fleste in-faunaarter, har en evne til at overleve selv en meget betydelig tildækning.

Silt/lerfraktionen vil, helt afhængigt af de lokale strømforhold, spredes og sedimentere i et større område udenfor indvindingsområdet. I modsætning til forøgede koncentrationer af suspenderet stof, er ålegræs meget følsom overfor sedimentation og tildækning og det samme er tilfældet med arter af makroalger (bilag 1).

Æg af sild, som klæber til bunden, er generelt robuste overfor selv højere koncentrationer af suspenderet stof, men sedimentation og tildækning af æggene med fint sediment i af længere varighed kan være kritisk /26/. Desuden kan sedimentation af silt forringe livsbetingelser for tobis (*Ammodytes marinus*), som synes at foretrække rent sand med mindre end 2% silt/ler og er fraværende i områder med 10% silt/ler /27/.

Sammenfattende kan anvendelse af store fartøjer og en forøget spildrate medføre en forøget sedimentation, især i indvindingsområdet, som kan resultere i en forøget dødelighed af bunddyr, som er følsomme overfor akut tildækning. På kort sigt kan en større spildrate forøge sedimentationen af fint materiale udenfor indvindingsområdet og, afhængigt af de lokale forhold og tidspunktet for indvindingen, potentiel påvirke følsomme habitater for eksempelvis sild og tobis.



5 STØJ VED RÅSTOFINDVINDING

5.1 Generelt om lyd og støj

Dette afsnit er baseret på OSPAR Kommissionens kompilering af den tilgængelige viden om lyd og påvirkning af marine dyr, især hvaler, sæler og fisk, som følge af menneskeskabt støj /3/, /4/.

Lyd opstår ved en påvirkning, der medfører en svingning af partiklerne i det omgivende medium (luft, vand eller fast stof) og som generer et tryk og en partikelbevægelse. Udover lydstyrken (trykket), som er afhængig af amplituden, er lyd karakteriseret ved en bølgelængde og en frekvens. Frekvensen angiver antallet af svingninger per sekund og udtrykkes i Hz. Lyde med lav frekvens opleves som dybe i modsætninger til lyde med høj frekvens, som opfattes som høje. Det menneskelige øre kan opfatte lyde med en frekvens mellem 20 Hz og 20.000 Hz (20 kHz).

Trykbølgen (lyden) udbreder sig i alle retninger fra lydkilden med en hastighed, som er produktet af bølgelængde og frekvens. Lydens hastighed i luft er ca. 330 m/s, hvorimod hastigheden i vand er ca. 1500 m/s eller ca. 4,5 gange hurtigere end i luft. Desuden dæmpes lyden langsommere med stigende afstand fra kilden i vand end i luft.

Lydstyrken (trykket) måles i decibel (dB) efter udtrykket: $20 \log_{10} (P/P_0)$, hvor P er det målte tryk og P_0 er referencetrykket. Trykket måles i $\mu\text{Pa}(\text{scal})$ og referencetrykket i luft er 20 μPa , som ca. svarer til en hørbar lyd for det menneskelige øre ved 1000 Hz. I vand er referencetrykket 1 μPa . Lydstyrken i luft og i vand kan derfor ikke sammenlignes uden at der foretages en korrektion, som dels skyldes forskellen i referenceniveau og dels mediernes forskellige egenskaber (impedans). En lydstyrke i vand skal i alt fratrækkes 62 dB for at være sammenlignelig med lydstyrken i luft.

Lyd bevæger sig hurtigt og langt i vand. Det er derfor ikke overraskende, at en række marine organismer kan producere og høre lyd og/erkende partikelbevægelse. Produktion og erkendelse af lyd tillader potentielt kommunikation og sansning med en meget længere rækkevidde end sanser som syn og smag/lugt, som begrænses af de ydre forhold. Således vil synet være stærkt påvirket af lyset, som udover dybden også afhænger af vandets klarhed (turbiditet).

I forhold til det menneskelige øre er der arter af hvaler og sæler, som kan producere og høre lyd indenfor et langt bredere frekvensområde, som både omfatter infralyd (lavere end 20Hz) og ultralyd (højere end 20kHz). Fisk kan reagere på både trykket og partikelbevægelsen af en lyd. Generelt har fisk med svømmeblære den bedste høreevne og omfatter specialister som sild, der i kraft af en morfologisk specialisering mellem svømmeblære og høreorgan har den bedste hørelse. Torsk, som også har svømmeblære, betegnes som en generalist med en relativt god hørelse i modsætning til fladfisk (uden svømmeblære), som har en dårlig hørelse. Desuden angives nogle arter af decapode krebsdyr i tempererede farvande, som taskekrabbe og hummer, at reagere på lyd og vibrationer. Arter af blæksprutter og havskildpadder reagerer også på lyd.



Høreevnen er artsspecifik og karakteriseres af en hørekurve (audiogram), som i princippet er U-formet for dyr, som detekterer lydtryk, idet hørelsen er bedst indenfor et afgrænset frekvensområde. I /6/ er der en detaljeret beskrivelse af høreevnen hos fisk og marine pattedyr samt en kompilering af audiogrammer, registreret på basis af reaktioner i adfærd og/eller fysiologiske ændringer.

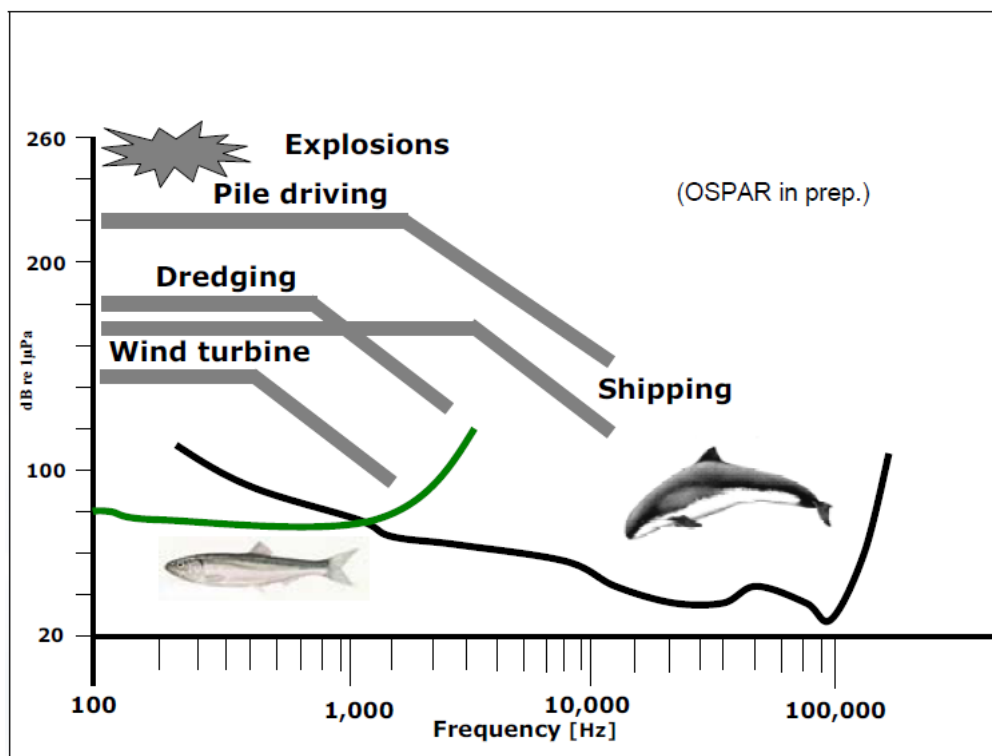
Høreevnen er registreret under optimale forhold, dvs. uden baggrundsstøj. Selvom havet ikke normalt kan karakteriseres som et støjende miljø, vil der i praksis være en baggrundsstøj. Baggrundsstøj stammer både fra naturlige kilder, dvs. organismernes lyd-frembringelse og fysiske påvirkninger (vind, bølger og strøm) og menneskeskabt støj, som følge af sejlads, anlægsaktiviteter, sonar, havvindmøller etc, se Bilag 2.

Begrebet støj benyttes generelt om enhver uønsket lyd /3/. Støj er desuden karakteriseret af et bredt frekvensspektrum. Afhængigt af arternes lydfrembringelse og høreevne, kan menneskeskabt støj potentielt påvirke dyrenes kommunikation, orienteringsevne, fødesøgning og erkendelse af et ”lydbillede” af omgivelserne (akustisk miljø). Som kuriosum kan nævnes, at få cm lange ”pistol-rejer” med asymmetriske klosakse, som lever i tropiske og subtropiske farvande, med den store klosaks kan producere lyd, med en kildestyrke på niveau med visse hvaler, og som rejerne kan bruge til at lamme småfisk. En art er fundet i engelske farvande og forventes at blive mere almindelig i takt med en temperaturstigning.

5.2 Støj ved råstofindvinding

Der er kun foretaget meget få støjmålinger i forbindelse med råstofindvinding. Støjen er karakteriseret ved at være kontinuerlig og lavfrekvent (under 1000Hz) og angives at ligge mellem 168-186 dB re 1 μ Pa (Bilag 2). I forhold til andre menneskeskabte støjkilder er undervandsstøjen ved råstofindvinding (dredging) på et mellemniveau og lavere end meget støjende aktiviteter som f.eks. nedramning af fundamenter til havvindmøller (pile driving), seismiske undersøgelser og sonar, men højere end støjen fra normal skibsfart og drift af havvindmøller (figur 5.1).

Tabel 5.1 er en oversigt over undervandsstøj ved slæbesugning baseret på /5/ og /17/.



Figur 5.1 Oversigt over menneskeskabte støjkloder og høreevnen hos sild (grøn) og marsvin (sort). Hørekurverne markerer den nedre høregrænse for en given frekvens. Fra /5/.

Tabel 5.1 Undervandsstøj ved slæbesugning. Baseret på /5/ og /17/. Kildestyrken er beregnet på basis af støjmålingerne samt den afstand fra støjkloden, hvor målingerne er foretaget ved anvendelse af formelen: $15 \log_{10}(A)$, hvor A er afstanden.

Slæbesuger	Byggeår	Lastevolumen	Power	Kildestyrke	Kilde
				dB re 1 µPa 1m	
Thor-R	1984	2.507	4.000	186	/17/
City of Westminster	1990	2.700	3.900	186	/5/
W.D Gateway	?	6.000	?	179	(/5/)
Cornelis Zanen	1982	8.000	12.064	187	/17/
Geopotes X	1984/85	9.000	15.384	178	/17/
Queen of the Netherlands	1998	35.500	27.600	190	/17/

Den beregnede kildestyrke for slæbesugere med et lastevolumen mellem 2.500 m³ og 35.500 m³ ligger mellem 178 og 190 dB re 1 µPa 1m. Der er ikke umiddelbart en direkte sammenhæng mellem kildestyrken og fartøjerne størrelse (lastevolumen og/ power).

Kildestyrken fra de to mindste fartøjer, med et lastevolumen på henholdsvis 2.500 m³ og 2.700 m³, ligger på samme niveau (186 dB re 1 µPa 1m), som må forventes at være repræsentativt for mindre fartøjer, idet målingerne er foretaget indenfor de seneste år. Derimod er støjkloden lavere (178 til 179 dB re 1 µPa 1m) på to væsentligt større fartøjer med et lastevolumen på 6.000 m³ og 9.000 m³. Det kan umiddelbart virke overraskende, idet støjkloden på det største fartøj med et lastevolumen på 35.500 m³ var 190 dB re 1 µPa 1m. Så vidt vides, er Queen of the Netherlands den største slæbesuger, der har været i drift i en årrække.



Der er endnu kun foretaget meget få målinger af undervandsstøj i forbindelse med råstofindvinding, men indtil der foreligger flere støjmålinger, opfattes en støjkilde mellem 186 og 190 dB re 1 μ Pa 1m, at være et realistisk estimat for slæbesugere uanset skibsstørrelse.

5.3 **Påvirkning af støj ved råstofindvinding**

Det er ikke hensigten i denne sammenhæng at foretage en konkret vurdering af mulige påvirkninger af støj ved råstofindvinding. En sådan vurdering afhænger af støjemissionen fra det specifikke materiel og afstanden til følsomme områder og habitater både på land og i vandet.

I Danmark er der foretaget målinger og beregninger af støjudbredelse i luft i forbindelse med strandfodring /9/ og råstofindvinding /19/, /20/. Resultaterne af målinger og modelberegninger er vurderet i forhold til støjgrænser dag og nat i beboelsesområder (sommerhuse).

Derimod er der ikke foretaget målinger af undervandsstøj ved råstofindvinding i danske farvande. Thor-R tilhører et dansk firma og støjmålinger ved slæbesugning og indpumpning af sand ved Sylt /17/ vil også være repræsentative for tilsvarende fartøjer, som opererer på lavt vand i Danmark.

I bilag 3 er illustreret en teoretisk lydudbredelse fra en punktkilde på 190 dB re 1 μ Pa rms (1/3 oktav-bånd) ved en lav baggrundsstøj på 80 dB 1 μ Pa rms (1/3 oktav-bånd) i relation til høreevnen hos marsvin, spættet sæl, sild og torsk.

Beregningerne af detektionsafstandene, samt afstande for permanent høreskade (PTS), midlertidig høreskade (TTS) og adfærdsændringer er foretaget under antagelse af sfærisk spredning, hvor lydtabet antages at være givet ved: $20 \log(r) + \alpha r$, hvor r angiver afstanden til lydkilden og α er vandsøjlets akustiske absorption. Absorptionen er frekvensafhængig og stiger ved højere frekvenser. Dette ses i figurerne i bilag 3. Desuden antages det, at lydkilden befinder sig i et akustisk frit felt, langt fra reflekterende overflader og i en konstant lydastighedsprofil.

Det skal dog understreges, at vanddybde og lagdeling har stor indflydelse på spredningen, idet lyden både kan absorberes og reflekteres af bunden således at den resulterede lydudbredelse kan være vanskelig at forudsige.

Resultaterne af beregningerne er sammenfattet i tabel 5.2 og tabel 5.3.



Tabel 5.2 Maksimal afstand for permanent høreskade, midlertidig høreskade, adfærdsændringer og detektion for marsvin og spættet sæl fra en imaginær støjkilde på 190 dB re 1 μ Pa rms (1/3 oktav-bånd) under antagelse af sfærisk spredning og et baggrundsstøjniveau på 80 dB re 1 μ Pa rms (1/3 oktavbånd). Tærskler for høreskader og adfærdsændringer er fra /29/ og /30/*. Detektionstærskler er fra /31/.

Type af tærskel	Marsvin		Spættet sæl	
	Tærskel dB re 1 μ Pa rms	Maksimal afstand	Tærskel dB re 1 μ Pa rms	Maksimal Afstand
Permanent høreskade	195	-	215	-
Midlertidig høreskade	185*/160	<1 m	152	100 m
Flugtdadfærd	120	1 km	-	-
Dykke- og svømmeadfærd	100	11 km	130	1 km
Minimal effekt	80	118 km	120	3 km
Detektionsafstand (høj/ lav kildestyrke)	80 (1 kHz)	110/ 70 km	84 (300 Hz)	200/ 118 km

I tabel 5.2 er der ved detektionsafstandene angivet en frekvens ved hvilken detektionsafstanden er størst. Forskellen i denne frekvens for spættet sæl og for marsvin skyldes, at spættet sæl har en bedre høreelse ved lavere frekvenser end marsvin. Alligevel ses det, at selvom spættet sæl kan detektere støjen på længere afstande end marsvin, vil man formentligt begynde at se adfærdsændringer hos marsvin tidligere end hos sæler. Under antagelse af, at tærskelværdierne i /29/ er korrekte, ser det generelt ud til, at man vil se en påvirkning af marsvin før, man vil se samme påvirkning hos sæler.

Støjeffekter, der potentielt kan medfører habitatfortrængning hos marsvin, kan imidlertid kun forventes indenfor en afstand af 1 km fra fartøjet, hvis antagelserne om støjen er korrekte.

Tabel 5.3 Adfærdsændringer for fisk for forskellige typer af lyde. Detektionstærskel er fra /31/ og adfærdstærskler fra /32/.

Type af tærskel	Frekvens	Kildestyrke	Tærskel for reaktion	Maksimal afstand
		dB re 1 μ Pa rms	dB re 1 μ Pa rms	
Flugtreaktion	<10 Hz	Ca. 172	>160	1-10 km
Tiltrækning	<100 - >100 Hz	Ca. 188	>120	2 km
Detektionsafstand	300 Hz	Ca. 190		>200 km

Af tabel 5.3 fremgår, at fisk generelt vil kunne detektere støjen på meget store afstande. Derimod er det meget svært at vurdere, indenfor hvilke afstande fiskene vil udvise ændret adfærd, samt at forudsige, hvad denne adfærdsændring vil være. Typen af adfærdsændring afhænger dels af frekvensen af støjen og dels af, hvilket trophisk niveau fisken befinder sig på. Byttedyrsfisk som sild og juvenile torsk afskrækkes oftest af lyd, mens rovfisk såsom hajer og voksne torsk kan tiltrækkes af lyd /32/, /33/. Ved 300 Hz kan fiskene detektere selve lydtrykket på længere afstand, end de kan detektere accelerationen i lydtrykket, se figur 5 i bilag 3. Dette billede kan dog se lidt anderledes ud ved lavere frekvenser.

Som supplement er i bilag 4 er vist audiogrammer for spættet sæl samt hvaler og fisk, som er almindelige i engelske farvande, i forhold til energiindhold i båndbredder, som er typiske for råstofindvinding.



5.4 **Anbefaling**

Der er kun foretaget meget få målinger af undervandsstøj i forbindelse med slæbesugning. På grundlag af de foreliggende målinger, synes støjemissionen fra et stort fartøj ikke at være væsentlig større end fra et lille fartøj. Grundlaget for at generalisere er dog spinkelt, idet lokale forhold, hvor målingerne er foretaget, kan være forskellige ligesom fartøjernes alder og indretning kan have betydning for resultaterne.

I modsætning til meget høj og pulserende støj fra eksempelvis nedramning af fundamenter (monopæle) til havvindmøller, kan det ikke forventes, at væsentlig lavere og lavfrekvent, kontinuerlig støj ved råstofindvinding vil give anledning akutte og fatale påvirkninger af marsvin, sæler og fisk.

Derimod kan det ikke udelukkes, at råstofindvinding i nærheden af sælreservater og områder med stor tæthed af marsvin og i følsomme perioder om sommeren med parrings- og fødselsaktivitet, kan påvirke arternes adfærd og udnyttelse af områderne i indvindingsperioden. Den potentielle påvirkningsperiode vil være kortere ved anvendelse af større fartøjer, men det kan ikke udelukkes, at større fartøjer udsender mere støj.

For at få et erfaringsmateriale for støjemission og påvirkning af støj i danske farvande anbefales, at foretage samtidige målinger af undervandstøj og målinger eller observationer af pattedyr under råstofindvinding og transport af råstoffer i nærheden af potentielt følsomme områder og i følsomme perioder.



6 FORSTYRRELSE OG OLIESPILD

6.1 Forstyrrelse

Slæbesugning foregår ved langsom fart og kan berøre større områder. Det indebærer, at der f.eks. ikke kan foregå fiskeri på de tidspunkter, hvor indvindingsfartøjet arbejder i området. Ved anvendelse af større fartøjer vil indvindingsperioden og dermed varigheden af den periode, hvor der ikke kan fiskes, være kortere end ved anvendelse af mindre fartøjer til indvinding af den samme mængde råstof.

Udover at større fartøjer måske udsender mere støj under indvinding og transport, vil større fartøjer muligvis også udløse flugttadfærd hos fugle i større afstande end mindre fartøjer. Ved indvinding af den samme mængde råstof, vil en forstyrrelseseffekt være af kortere varighed ved anvendelse af større fartøjer. Selvom fugle bliver fortrængt fra et større fourageringsområde ved anvendelse af større fartøjer forventes en eventuel effekt at blive udlignet af en kortere eksponeringsperiode, forudsat at indvindingen ikke foregår nær vigtige fourageringsområder.

6.2 Oliespild

Et oliespild som følge af et havari under sandindvinding er meget lidt sandsynligt. Anvendelse af større fartøjer til indvinding af den samme mængde råstof, vil afkorte indvindingsperioden, hvilket må formodes at nedsætte sandsynligheden for et havari.

I VVM- redegørelsen i 2000 er der foretaget en simulering af et oliespild /2/. En beregning baseret på det valgte scenario viser, at et oliespild under kritiske forhold kan nå kysten i løbet af få timer. Den hurtige transport til kysten begrænser skadevirkningen på fugle og reducerer kontamineringen af fisk og dermed påvirkningen af havpattedyr, som lever af fisk. Effekterne under oliespildets transport og især omfanget af olieforureningen på kysten afhænger af oliespildets størrelse og afstanden til kysten. Effekten af et eventuelt større spild i forhold til det spild, der er simuleret, forventes primært at medføre en større forurening af stranden.



7 SAMMENFATNING

7.1 Råstofindvinding og fartøjsudvikling

Indvinding af råstoffer på havbunden har været stigende siden slutningen af 70'erne og har i de sidste 15 år varieret omkring 6 mio. m³ om året. Indvindingen af kvalitetsmaterialer af sand, sten og grus, som udgjorde 40 % af den samlede indvinding i 2009, har været relativt konstant, hvorimod der i perioden har været store udsving i mængden af fyldsand, som følge af anlægsarbejder.

På vestkysten anvendes årligt mellem 2,5 og 3 mio. m³ sand til kystsikring ved kystnær fodring og strandfodring. Det er vurderet, at der frem til år 2100 kan blive behov for indvinding af yderligere 1 til 2 mio. m³ sand per år bl.a. som følge af de forventede klimaændringer, men det understreges, at dette skøn er usikkert, som følge af den lange tidshorisont.

Indenfor de sidste 20 år er størrelsen af slæbesugere, som primært anvendes til indvinding af fyldsand, mere end tredoblet og i Europa forudses fartøjer med et lastevolumen større end 50.000 m³.

Store fartøjer gør det muligt at indvinde sand på større dybde og transportere materialet hurtigere over lange afstande. Samtidig øges fartøjernes dybgang og de største fartøjer med et lastevolumen på 46.000 m³ har en fuldlastet dybgang på mere end 15 m.

7.2 Energiforbrug og emission

Indvinding af kvalitetsmaterialer indebærer normalt en sortering. Det medfører, at indvindingstiden, og dermed energiforbrug og emission af forurenende stoffer, kan være forøget med omkring 100% i forhold til indvinding af den samme mængde fyldsand.

Energiforbrug og emission ved indvinding af en given mængde fyldsand ved slæbesugning er stort set uafhængig af fartøjernes lastevolumen, men indvindingstiden er væsentlig kortere ved anvendelse af større fartøjer.

Energiforbrug og emission ved transport af materialerne reduceres ved anvendelse af større fartøjer og forskellen øges med stigende transportafstande. Samtidig reduceres den samlede transporttid væsentligt, idet større fartøjer også sejler hurtigere i fuldlastet tilstand.



7.3 Fjernelse af sediment, sedimentspild og sedimentation

Ved slæbesugning fjernes de øverste 0,25-0,50 m af sedimentet over store områder, men forudsat, at der ikke blottes havbund af en anden karakter, eller at en eventuel sortering ikke medfører ændret sammensætning, kan bundforholdene retableres og rekoloniseres indenfor en kortere årrække.

Råstofindvinding ved stiksugning kan, indenfor begrænsede områder, efterlade huller i havbunden, som er flere meter dybe. Afhængigt af de lokale forhold, kan sugehuller være permanente og akkumulere organisk materiale. Nedbrydning af organisk materiale kan, eventuelt forstærket af perioder med lagdeling, medføre lave iltindhold, og forringe livsbetingelserne for bunddyr i bunden af sugehuller.

Indvinding af en given mængde sand ved slæbesugning vil påvirke det samme bundareal og destruere den samme mængde bunddyr, uafhængigt af fartøjernes størrelse.

Ved indvinding af den samme mængde sand ved slæbesugning, vil det samlede sedimentspild, være uafhængigt af fartøjernes størrelse. Derimod vil indvindingsperioden være kortere for større fartøjer, ligesom spildraten, dvs. mængden af sediment, som spildes per tidsenhed, vil være væsentlig højere.

Anvendelse af større fartøjer indebærer således, at der i løbet af en samlet kortere tid, vil opstå sedimentfaner med højere koncentrationer af suspenderet stof, som vil udbrede sig i større områder i forhold til et mindre fartøj, hvor sedimentfanerne vil være mindre, men forekomme over en længere periode.

Planteplankton og dyreplankton i de frie vandmasser vil i højere grad blive påvirket af tætte og store sedimentfaner fra større fartøjer, men i forhold til anvendelse af mindre fartøjer, vil eksponeringstiden være kortere. Samlet set, forventes påvirkningerne ikke i væsentlig grad at være afhængig af fartøjernes størrelse når det samtidig betænkes, at det berørte vandvolumen vil være begrænset i forhold til udstrækningen af uberørte områder.

Bortset fra ålegræs og alger på lavt vand er de fleste arter af bunddyr og rødalger på dybere vand ret robuste overfor høje koncentrationer af suspenderet stof. Anvendelse af større fartøjer medfører kortvarigt en eksponering for tættere og større sedimentfaner, men der forudses ikke en påvirkning udenfor indvindingsperioden.

Større og tættere sedimentfaner ved anvendelse af større fartøjer kan i højere grad end mindre sedimentfaner påvirke fødeoptagelse hos bunddyr samt vandringer og fødesøgning hos følsomme arter af fisk som sild og torsk, ligesom opdrift og udvikling af pelagiske æg og larver og fødesøgning hos visse fugle, kan blive påvirket negativt i de berørte områder, men eksponeringen er kortvarig og den samlede effekt forventes at være begrænset.

En større spildrate ved anvendelse af større fartøjer forventes, indenfor et kortere tidsrum, at medføre en hurtigere sedimentation af spildmateriale, hvilket i højere grad vil påvirke arter af dyr og planter, som er følsomme overfor en akut tildækning. I indvindingsområdet, hvor sedimentationen vil være størst, kan der forventes en øget dødelighed af bunddyr. Påvirkninger udenfor indvindingsområdet vil afhænge af de fremherskende strømforhold, men forventes i de fleste tilfælde at være begrænsede.



7.4 Støj ved råstofindvinding

De få målinger af undervandsstøj, foretaget i forbindelse med slæbesugning, viser, at støjen er kontinuerlig og lavfrekvent med størst styrke under 1000Hz. I forhold til andre menneskeskabte støjkilder, er støjen ved råstofindvinding på et mellemniveau, dvs. lavere end støjen fra seismiske undersøgelser og nedramning af fundamenter til havvindmøller, men højere end støjen fra almindelig skibsfart og havvindmøller i drift.

På basis af få udenlandske undersøgelser, er den højeste kildestyrke på 186 og 190 re 1 μPa 1 m, målt/beregnet for henholdsvis små fartøjer med et lastevolumen på henholdsvis 2.500 m^3 og 2.700 m^3 og det største fartøj med et lastevolumen på 35.500 m^3 , som i en årrække har været i drift.

I Danmark er der foretaget målinger/modelberegninger af støjudbredelse i luft i forbindelse med strandfodring og råstofindvinding og resultaterne er vurderet i forhold til støjgrænser dag og nat i beboede områder.

Derimod er der ikke foretaget målinger af undervandsstøj i forbindelse med råstofindvinding i Danmark. Beregninger viser, at marsvin, sæler og følsomme arter af fisk som sild og torsk, kan forventes at registrere støjen fra råstofindvinding på meget lang afstand, men adfærdsændringer vil sandsynligvis kun optræde indenfor mindre afstande.

For at få et erfaringsmateriale for støjmission og påvirkning af støj i danske farvande anbefales, at foretage samtidige målinger af undervandsstøj og målinger eller observationer af pattedyr under råstofindvinding og transport af råstoffer i nærheden af potentielt følsomme områder og i følsomme perioder.

7.5 Forstyrrelse og oliespild

Ved anvendelse af større fartøjer vil indvindingsperioden og dermed varigheden af den periode, hvor fiskeri ikke er tilladt i indvindingsområdet, være kortere end ved anvendelse af mindre fartøjer til indvinding af den samme mængde råstof.

Udover at større fartøjer måske udsender mere støj under indvinding og transport, vil større fartøjer muligvis også udløse flugtadfærd hos fugle i større afstande end mindre fartøjer. Selvom fugle bliver fortrængt fra et større fourageringsområde ved anvendelse af større fartøjer forventes en eventuel effekt at blive udlignet ved en kortere eksponeringsperiode, forudsat at indvindingen ikke foregår nær vigtige fourageringsområder.

Anvendelse af større og færre fartøjer til indvinding af den samme mængde råstof vil afkorte indvindingsperioden, hvilket må formodes at nedsætte sandsynligheden for et havari. En simulering i VVM- redegørelsen viser, at et oliespild under kritiske forhold kan nå kysten i løbet af få timer. Effekterne under oliespildets transport og især omfanget af olieforureningen på kysten afhænger af oliespildets størrelse og afstanden til kysten.



8 HENVISNINGER

- /1/ DHI Vand.Miljø.Sundhed (2007). Råstofindvinding i Nordsøen i område 562-AB, Agger, 562-AC, Thyborøn, 562-AD, Ferring og 578-AA, Husby Klit. Notat til Kystdirektoratet, november 2007.
- /2/ DHI Vand.Miljø.Sundhed (2000). VVM redegørelse for planlagte sandindvindingsområder på Vestkysten. Rapport til Kystinspektoratet, november 2000.
- /3/ OSPAR Commission (2009). Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment. Biodiversity Series.
- /4/ OSPAR Commission (2009). Assessment of the environmental impact of underwater noise. Biodiversity Series.
- /5/ MALSF (2009). A generic investigation into noise profiles of marine dredging in relation to the acoustic sensitivity of the marine fauna in UK waters with particular emphasis on aggregate dredging: PHASE I Scoping and review of key issues. MEPF 08/P21, February 2009.
- /6/ Nedwell, J.R., B. Edwards, A.W.H. Turnpenny & J. Gordon (2004). Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information. Subacoustech Report ref: 534R0214.
- /7/ The Crown Estate (2008). Energy Consumption of Marine Aggregate Extraction. Marine Estate Research Report.
- /8/ Miedema, S.A. & C. van Rhee (2007). A sensitivity analysis on the effects of dimensions and geometry of trailing suction hopper dredges. Wodcon Orlando, USA.
- /9/ DHI Vand og Miljø (2001). Redegørelse for planlagte kystfodringsprojekter udfor Fjaltring i 2002 og ved Årgab i 2003. Rapport til Kystdirektoratet, juli 2001.
- /10/ By- og Landskabsstyrelsen (2010). Råstofproduktion i Danmark. Havområdet 2009.
- /11/ Kystdirektoratet (2008). Fremskrivning af fodringsindsatsen på Vestkysten.
- /12/ Miljøgruppen Aps (2000). Råstofindvinding. Energiforbrug og emissioner. Udarbejdet for Skov- og Naturstyrelsen.
- /13/ Vlasblom, W.J. (2007). Trailing suction hopper dredger. Chapter 2. wb3408B.
- /14/ DHI & Delft Hydraulics (2005). Aggregate extraction: A review on the effect on ecological functions. Report Z3297.10; SANDPIT Fifth Framework Project No. EVK3-CT-2001-00056. February 2005.



- /15/ Birklund, J. & J.W.M. Wijsman (2005). Ecological effects of aggregate extraction. In SANDPIT Fifth Framework Programme 1998-2002. Edit. L.C. van Rijn, R.L. Soulsby, P. Hoekstra & A.G. Davies.
- /16/ DHI (2003). VVM- redegørelse for et nyt sandindvindingsområde på Vestkysten udfor Husby Klit – Søndervig. Rapport til Kystdirektoratet, oktober 2003.
- /17/ ITAP (2007). Messung des Unterwassergeräusches des Hopperbaggers Thor-R bei Sandaufspülungen an der Westküste der Insel Sylt. 16. November 2007.
- /18/ Bert Visser Directory. www.dredging.nl
- /19/ Orbicon (2007). Storebælt Sten & Grus A/S. Miljømåling – ekstern støj. Lokalitet: Tørresø. Skib: Kronos OZ2015. Rapport nr. 07012, marts 2007.
- /20/ Orbicon (2007). Rederiet Argonaut. Miljømåling – ekstern støj. Lokalitet: Tørresø. Skib: Argonaut. Rapport nr. 07007, marts 2007.
- /21/ Kiørboe, T., F. Møhlenberg & O. Nøhr (1980). Feeding, particle selection and carbon absorption in *Mytilus edulis* in different mixtures of algae and resuspended bottom material. *Ophelia* 19: 193-2005.
- /22/ Widdows, J., P. Fieth & C.M. Worrall (1979). Relationship between Seston, Available Food and Feeding Activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 50: 195-207.
- /23/ Johnston, D.W. & Wildish, D.J. (1981). Avoidance of dredge spoil by herring (*Clupea harengus*). *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 26, pp. 307-314.
- /24/ Westerberg, H., P. Ronnback & H. Frimansson (1996). Effects of suspended sediments on cod eggs and larvae and on the behaviour of adult herring and cod. *ICES CM* 1996/E:26.
- /25/ Lisbjerg, D., J.K. Petersen & K. Dahl (2002). Biologiske effekter af råstofindvinding på epifauna. Faglig rapport fra DMU, nr. 391.
- /26/ Kiørboe, T., E. Frantsen, C. Jensen & G. Sørensen (1981b). Effects of suspended sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 13: 107-111.
- /27/ Wright, P.J., H. Jensen & I. Tuck (2000). The influence of sediment type on the distribution of the lesser sandeel, *Ammodytes marinus*. *Journal of Sea Research* 44: 243-256.
- /28/ www.marlin.ac.uk
- /29/ Southall, B. L., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Finneran, J. J., Gentry, R. L., Greene, C. R., Jr., Kastak, D., Ketten, D. R., Miller, J. H., Nachtigall, P. E., Richardson, W. J., Thomas, J. A., and Tyack, P. L. (2007). "Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations," *Aquatic Mammals* 33, 411-498.



- /30/ Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P. A., and Blanchet, M. A. (2009). "Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli," *Journal of the Acoustical Society of America* 125, 4060-4070.
- /31/ Nedwell, J. R., Edwards, B., Turnpenny, A. W. H., and Gordon, J. (2004). *Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information*. Sub-acoustech. Rapport nr. 534R0214.
- /32/ Wahlberg, M (1999). *A review of the literature on acoustic herding and attraction of fish*. Fiskeriverket. Rapport nr. 1999:2.
- /34/ Sand, O., Karlsen, H. E. and Knudsen, F. R. (2008). Comment on "Silent research vessels are not quiet" [*J. Acoust. Soc. Am.* 121, EL145-EL1501 (L)]. *Journal of the Acoustical Society of America* 123, 1831-1833.



B I L A G



B I L A G 1

Organismers følsomhed overfor habitattab, tildækning og suspenderet stof. Baseret på /28/



Arter	Fysisk påvirkning i forhold til referenceværdi		
	Tab af substrat (habitat)*	Tildækning	Koncentration af suspenderet stof
	Akut	5 cm i 1 måned	100 mg/l i 1 måned
Polychæter			
<i>Arenicola marina</i>	Moderat	IF	IF
<i>Capitella capitata</i>	Lav	Lav	Meget lav
<i>Cirratulus cirratulus</i>	Høj	Høj	IF
<i>Hediste diversicolor</i>	Moderat	IF	IF
<i>Nephtys hombergi</i>	Lav	IF	IF
<i>Owenia fusiformis</i>	Moderat	Lav	NS
<i>Polydora ciliata</i>	Moderat	IF	IF
<i>Pomatoceros triqueter</i>	Moderat	Moderat	Low
<i>Spio filicornis</i>	Moderat	Meget lav	IF
<i>Spiophanes bombyx</i>	Moderat	Lav	NS
Muslinger			
<i>Abra alba</i>	Moderat	IF	IF
<i>Arctica islandica</i>	Høj	Moderat	IF
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	Høj	Høj	IF
<i>Corbula gibba</i>	Moderat	IF	IF
<i>Macoma balthica</i>	Moderat	IF	IF
<i>Mya arenaria</i>	Moderat	Lav	Lav
<i>Mytilus edulis</i>	Moderat	Lav	IF
<i>Nucula nitidosa</i>	Moderat	Meget lav	IF
Snegle			
<i>Hydrobia ulvae</i>	Moderat	Lav	IF
Krebsdyr			
<i>Bathyporeia pelagica</i>	Lav	Lav	Meget lav
<i>Carcinus maenas</i>	Lav	IF	IF
<i>Corophium volutator</i>	Moderat	Moderat	Lav
<i>Crangon crangon</i>	Lav	Lav	IF
<i>Gammarus salinus</i>	Lav	Lav	IF
<i>Liocarcinus depurator</i>	Lav	IF	IF
Pighuder			
<i>Amphiura filiformis</i>	Moderat	Meget lav	Meget lav
<i>Asterias rubens</i>	Moderat	Meget lav	Lav
<i>Echinocardium cordatum</i>	Moderat	IF	Lav
<i>Ophiothrix fragilis</i>	Moderat	Moderat	Meget lav
<i>Psammechinus miliaris</i>	Moderat	Moderat	Meget lav
Blomsterplanter			
<i>Zostera marina</i>	Meget høj	Meget høj	Moderat
Makroalger			
<i>Cladophora rupestris</i>	Lav	Lav	IF
<i>Fucus vesiculosus</i>	Lav	Moderat	IF
<i>Furcellaria lumbricalis</i>	Moderat	Moderat	Moderat

IF: Ikke følsom

*: Vurderet i forhold til arternes evne til at rekolonisere og gendanne tabte populationer



B I L A G 2

Oversigt over menneskeskabte støjkilder. Efter /5/

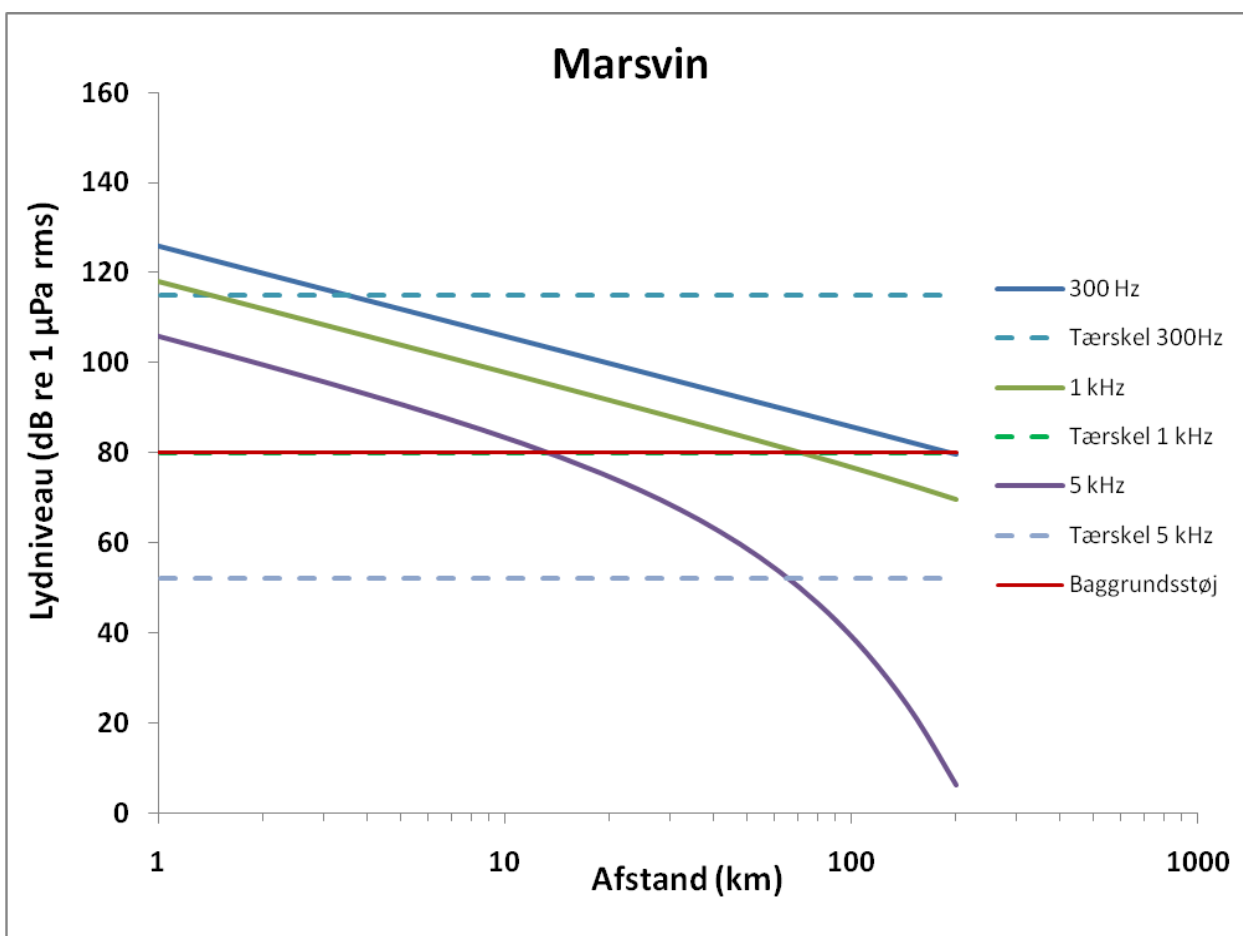


Sound	Source level (dB re 1µPa-m)*	Bandwidth (Hz)	Major amplitude (Hz)	Duration (ms)	Directionality	Source
Offshore construction activities						
TNT (1-100 lbs)	272-287 Peak	2-1,000	6-21	~ 1-10	Omnidirectional	1), 2)
Pile driving	228 Peak / 243-257 P-to-P	20->20,000	100-500	50	Omnidirectional	OSPAR in press
Offshore industrial activities						
Dredging	168-186 rms	30 - > 20,000	100-500	Continuous	Omnidirectional	See chapter 3
Drilling	145-190 rms**	10-10,000	< 100	Continuous	Omnidirectional	OSPAR in press
Wind turbine	142 rms	16-20,000	30-200	Continuous	Omnidirectional	4)
Seismic surveys						
Airgun array	260-262 P-to-P	10 - 100,000	10-120	30-60	Vertically focussed*	OSPAR in press; OGP 2008
Sonar						
Military sonar low- frequency	215 Peak	100-500	-	600-1000	Horizontally focussed	OSPAR in press / ICES 2007
Military sonar mid-frequency	223-235 Peak	2,800-8,200	3,500	500-2,000	Horizontally focussed	OSPAR in press/ICES 2007, 3)
Echosounders	235 Peak	Variable	Variable 1,500-36,000	5-10 ms	Vertically focussed	OGP 2008
Shipping						
Small boats and ships	160-180 rms	20 - >10,000	> 1,000	Continuous	Omnidirectional	OSPAR in press
Large vessels	180-190 rms	6 - > 30,000	> 200	Continuous	Omnidirectional	OSPAR in press
Other activities						
Acoustic deterrent / harassment devices	132-200 Peak	5,000-30,000	5,000-30,000	Variable 15-500ms	Omnidirectional	OSPAR in press
Tidal and wave energy devices***	165-175 rms***	10-50,000	-	Continuous	Omnidirectional	OSPAR in press

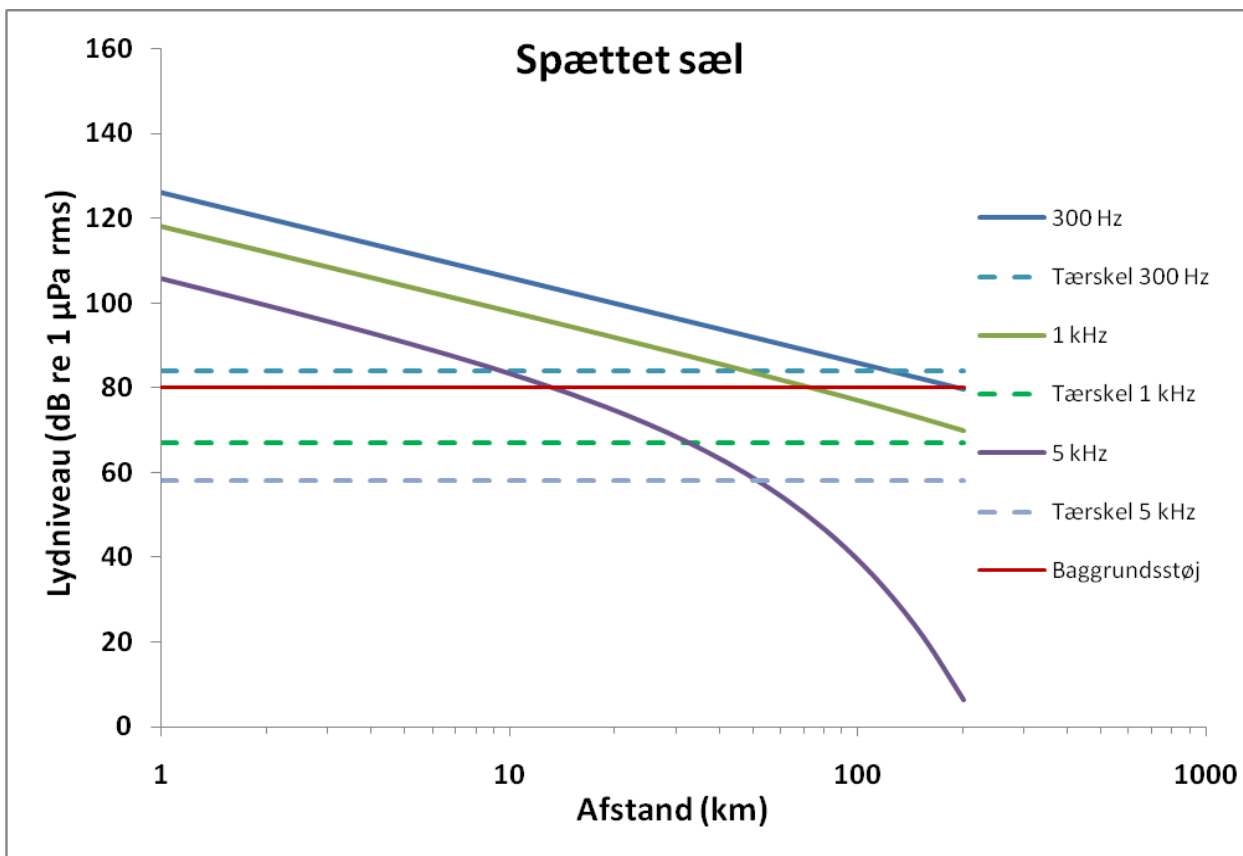


B I L A G 3

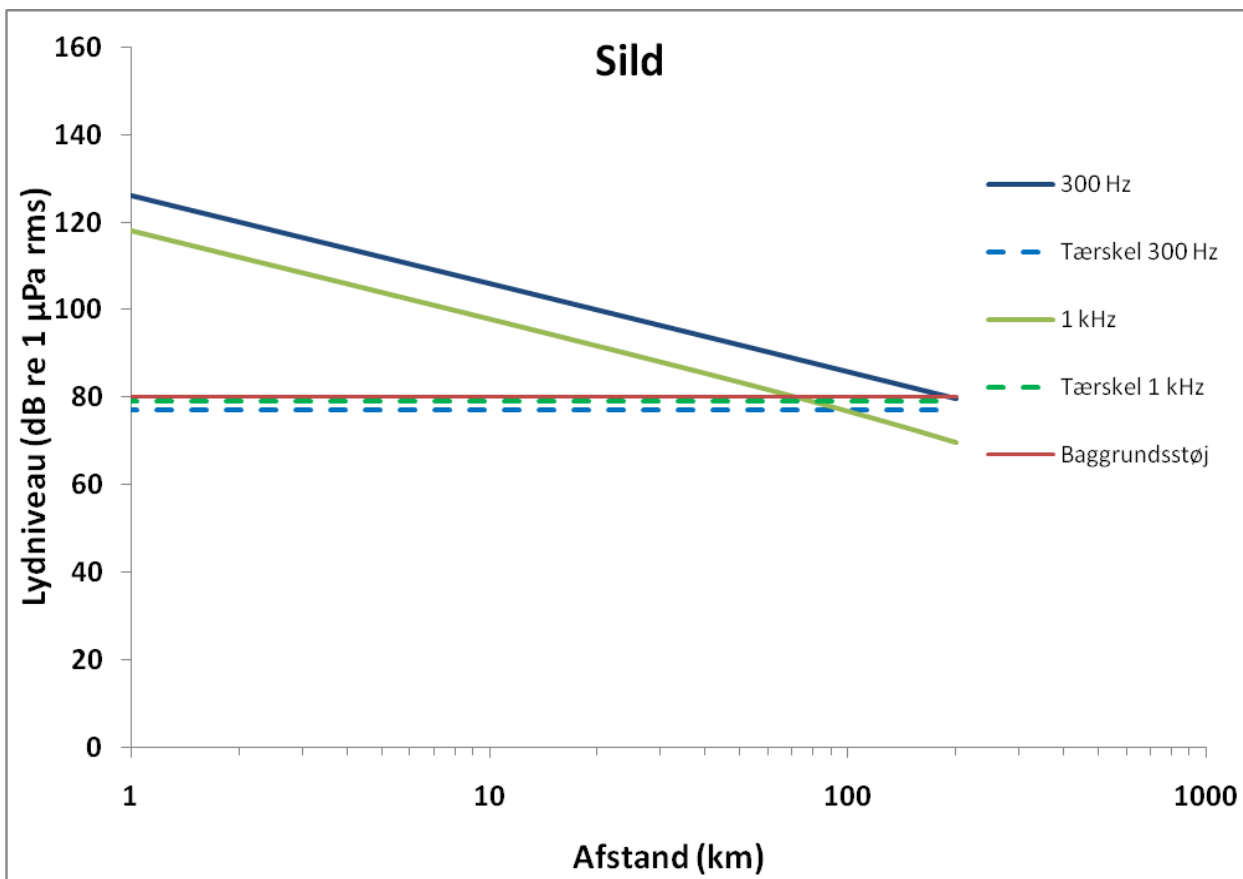
***Detektionsafstande ved støjkilde på 190 dB re 1 μ Pa rms (1/3
oktav-bånd)***



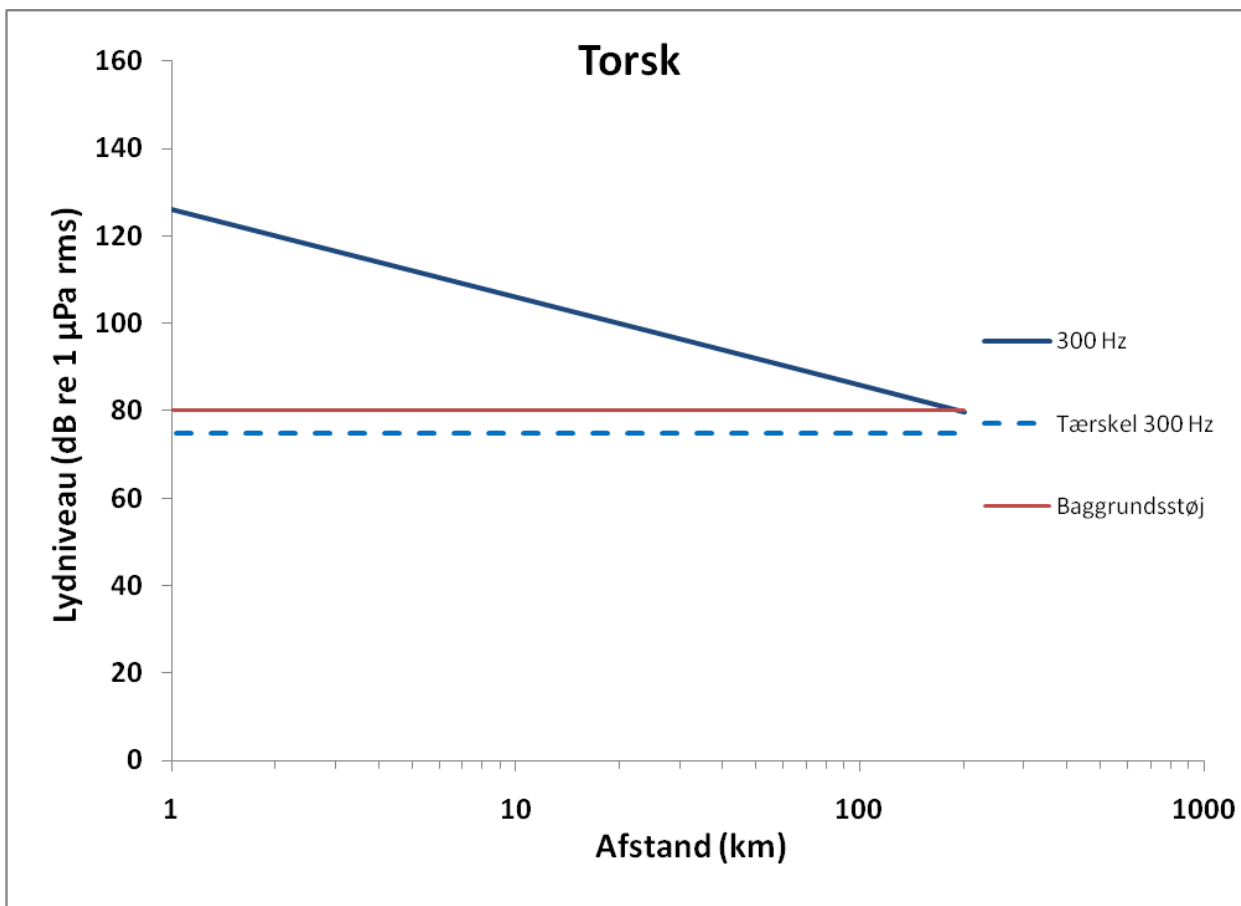
Figur 1: Marsvins detektionsafstand af en imaginær støjkilde med tre frekvenser (300 Hz, 1 kHz, 5 kHz) og en kildestyrke på 190 dB re 1 μ Pa rms (1/3 oktav-bånd) 1m. Lydtrykkets aftagen som funktion af afstanden er afbilledet for de tre frekvenser. Marsvinets høretærskel for frekvenserne (Nedwell et al, 2004) er indtegnet som vandrette streger. Desuden er baggrundsstøjen indtegnet som en rød streg.



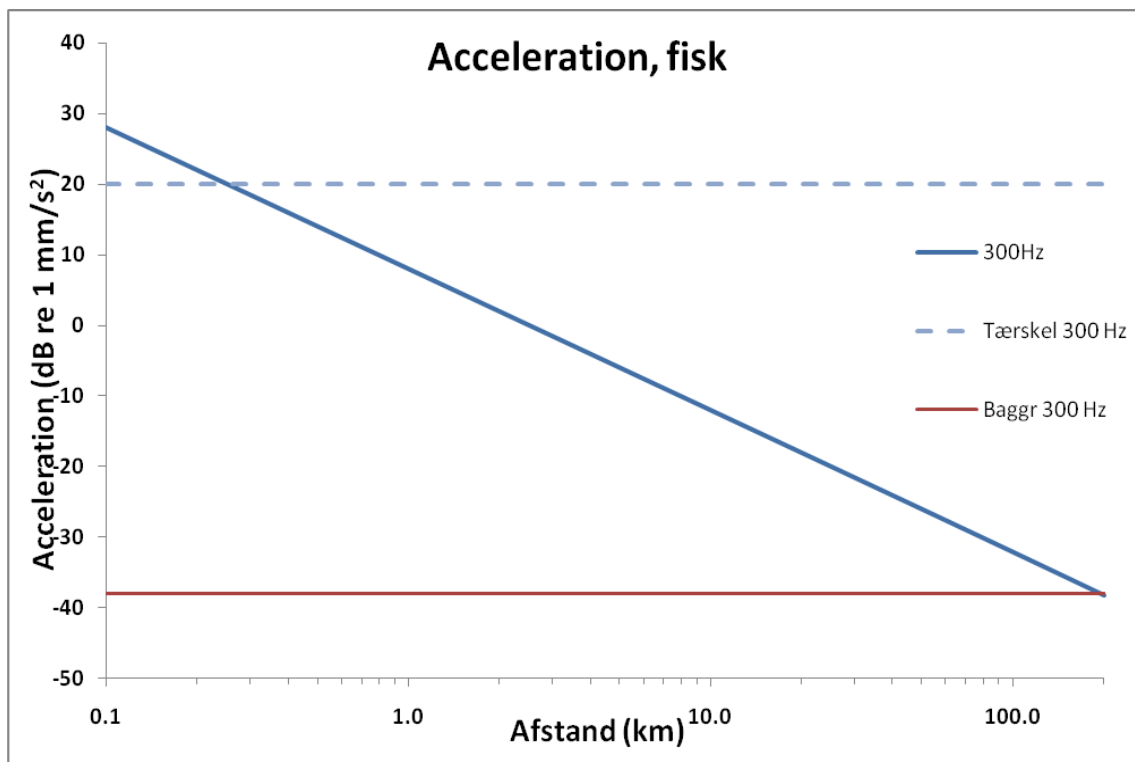
Figur 2: Spættet sæls detektionsafstand af en imaginær støjkilde med tre frekvenser (300 Hz, 1 kHz, 5 kHz) og en kildestyrke på 190 dB re 1 μ Pa rms (1/3 oktav-bånd) 1m. Lydtrykkets aftagen som funktion af afstanden er afbilledet for de tre frekvenser. Høretærsklerne for frekvenserne for spættet sæl (Nedwell et al, 2004) er indtegnet som vandrette streger. Desuden er baggrundsstøjen indtegnet som en rød streg.



Figur 3: Silde detektionsafstand af en imaginær støjkilde (300 Hz og 1 kHz) og en kildestyrke på 190 dB re 1 μPa rms (1/3 oktav-bånd) 1m. Lydtrykkets aftagen som funktion af afstanden er afbilledet for frekvenser detekterbare for sild. Høretærsklerne for sild (Nedwell et al, 2004) er indtegnet som vandrette streger. Desuden er baggrundsstøjen indtegnet som en rød streg.



Figur 4: Torsks detektionsafstand af en imaginær støjkilde (300 Hz) og en kildestyrke på 190 dB re 1 µPa rms (1/3 oktav-bånd) 1m. Lydtrykkets aftagen som funktion af afstanden er afbildet for frekvensen detekterbar for torsk. Høretærsklen for torsk (Nedwell et al, 2004) er indtegnet som en vandret streg. Desuden er baggrundsstøjen indtegnet som en rød streg.

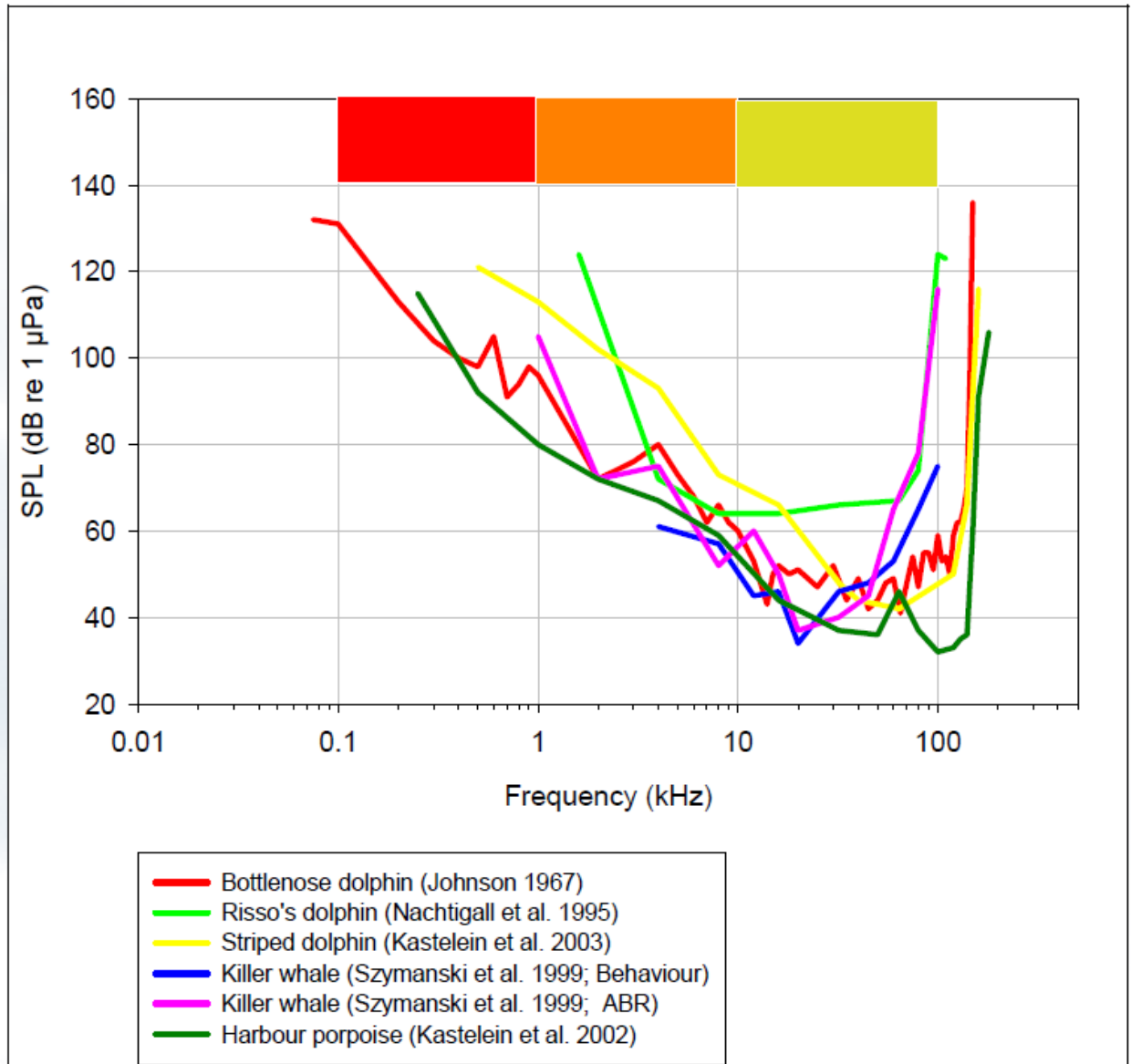


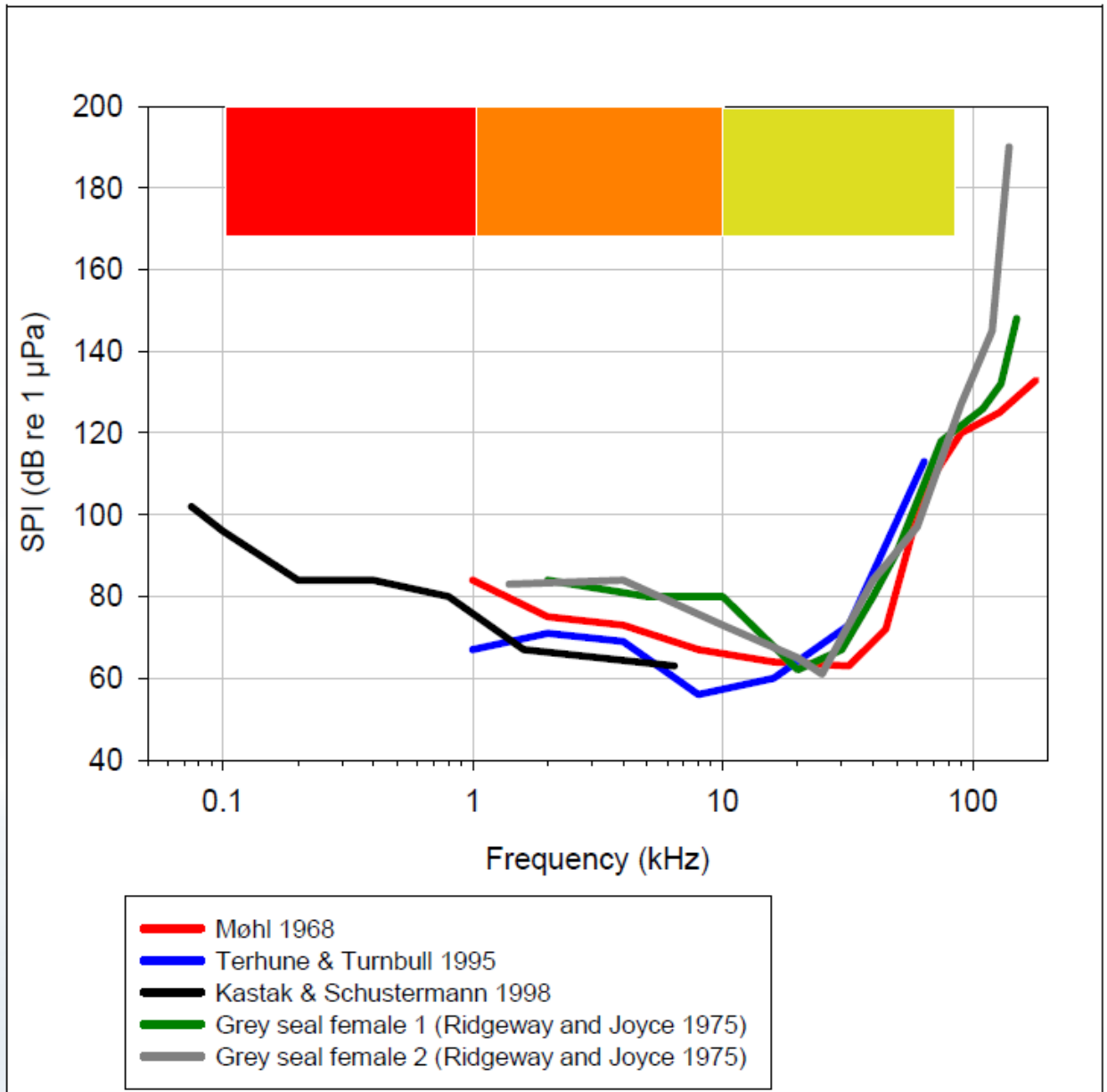
Figur 5: Fisks detektionsafstand af en imaginær støjkilde (300 Hz) med en kildestyrke på 190 dB re 1 μ Pa (rms). Partikelaccelerationens aftagen er vist som funktion af afstanden. Accelerationstærsklen for fisk (Popper og Fay, 2010) er indtegnet som en vandret streg. Desuden er baggrundsstøjen indtegnet som en rød streg. Ved 300 Hz kan fiskene detektere lydtrykket på længere afstand, end de kan detektere accelerationen. Dette billede kan dog se lidt anderledes ud ved lavere frekvenser.

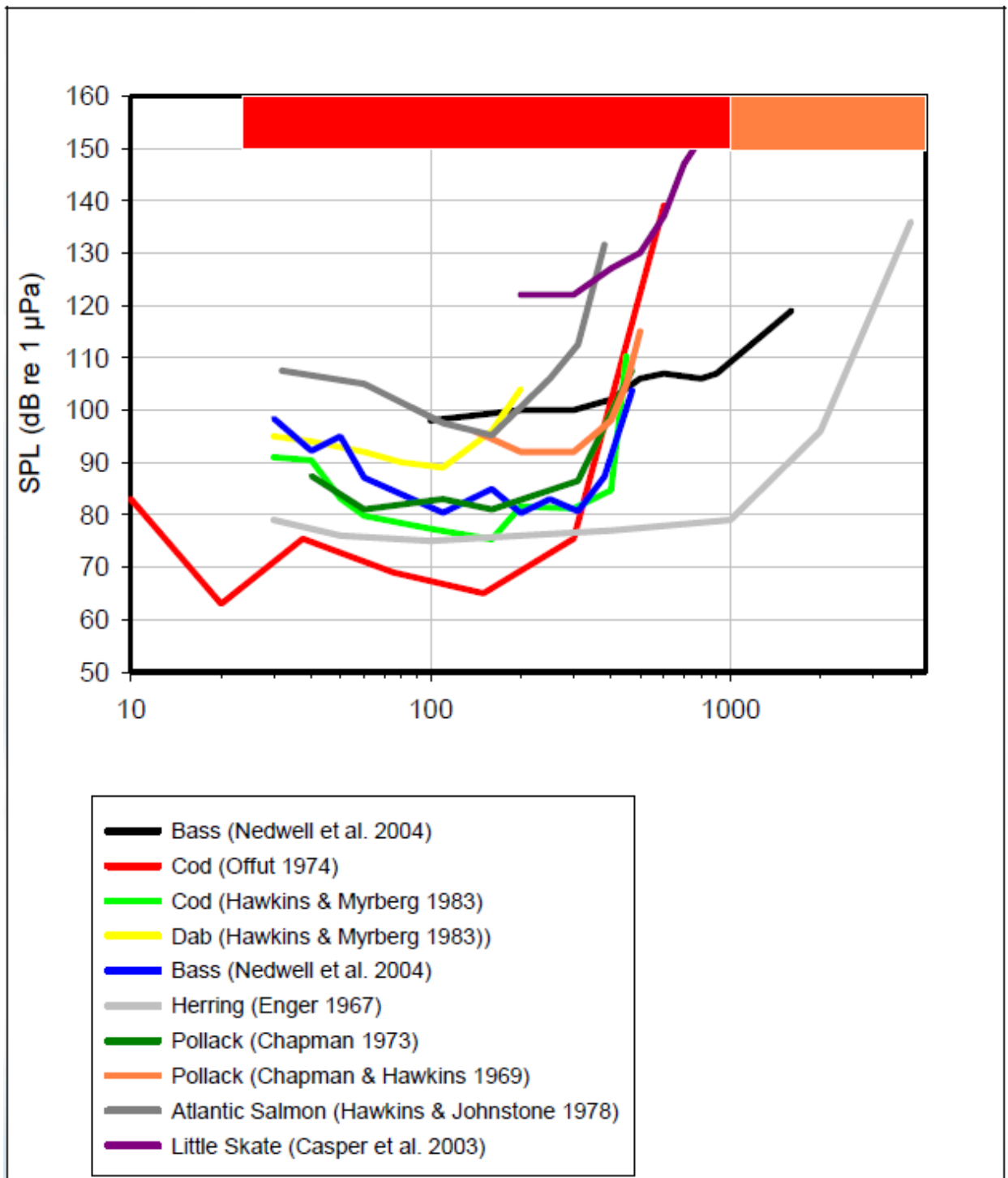


B I L A G 4

***Audiogrammer hos hvaler, spættet sæl og fisk, som findes i engelske farvande. Båndbredde og relativt energiindhold i støj fra råstofindvinding. Rød: højt, orange: lavt, gult: meget lavt.
Efter /5/.***







NB: x-aksen angiver Frekvensen i Hz