

FORLÆNGELSE AF VESTMOLEN, HIRTSHALS HAVN
BILAG 05 TIL MILJØKONSEKVENSRAPPORT

UNDERVANDSSTØJ

JULI, 2025

Projekt navn	Hirtshals havn. Forlængelse af Vestmolen. Miljøkonsekvensrapport
Kunde	Hirtshals Havn
Projektleder	Lars Brammer Nejrup
Projekt nummer	22005085
Til	Hirtshals Havn
Udarbejdet af	Martin Sylvester Vinter Wolf
Kvalitetssikret af	Penka Dinkova
Godkendt af	Lars Brammer Nejrup
Version	01
Versionsdato	08-07-2025
Første udgivelsesdato	08-07-2025

INDHOLD

1	INDLEDNING.....	4
1.1	Baggrund for projektet	4
2	UNDERVANDSSTØJ	5
3	GRÆNSEVÆRDIER	7
4	UDBREDELSESMODELLEN	9
5	UNDERVANDSSTØJKILDER.....	11
6	RESULTATER	13
7	KONKLUSION.....	17
8	REFERENCER.....	18

1 INDLEDNING

1.1 BAGGRUND FOR PROJEKTET

Hirtshals Havn ønsker at ombygge Hirtshals havn, ved bl.a. at forlænge den eksisterende Vestmole (Figur 1-1) og nedbryde dele af den eksisterende Øst- og Vestmole. WSP har undersøgt undervandsstøjen i forbindelse med de planlagte anlægsaktiviteter såsom nedbrydning af molehoveder, udlægning af sten og uddybning. Undersøgelserne tager udgangspunkt i hørelsen hos marsvin, sæler, hvidnæset delfin og øresvin.



Figur 1-1 Oversigtskort med projektområdet.

2 UNDERVANDSSTØJ

Undervandslyd spiller en afgørende rolle for mange marine organismer, især havpattedyr, som er afhængige af lyd til navigation, kommunikation, fødesøgning og social interaktion. Menneskeskabt undervandsstøj – særligt fra anlægsaktiviteter – kan forstyrre disse funktioner og i værste fald føre til høreskader eller fortrængning fra vigtige habitater.

Lyd udbreder sig hurtigere i vand end i luft – typisk omkring **1.500 m/s** i havvand sammenlignet med ca. **340 m/s** i luft. Dette skyldes vandets højere densitet og lavere kompressibilitet. Lydens styrke i vand måles som **lydtryk** og udtrykkes i **decibel (dB)** relativt til et referencetryk på **1 µPa** (mikropascal), hvilket adskiller sig fra luft, hvor referencen er **20 µPa**.

Lydtryksniveauet (Sound Pressure Level, SPL) beregnes som:

$$SPL = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Hvor:

- P er det målte lydtryk (i µPa)
- $P_0 = 1 \mu Pa$ er referencetrykket under vand.

For at kunne vurdere effekten af undervandsstøj på havpattedyr anvendes en række akustiske måleenheder, som beskriver både lydens intensitet og varighed:

- SPL_{rms} (Root Mean Square Sound Pressure Level) angiver det gennemsnitlige lydtryk over et givent tidsinterval, typisk 125 millisekunder. Det er en måde at udtrykke den gennemsnitlige styrke af en varierende lyd og måles i dB re 1 µPa (decibel relativt til 1 mikropascal).
- SEL (Sound Exposure Level) beskriver den samlede lydenergi, som et individ udsættes for over en bestemt periode. Det tager højde for både lydens styrke og varighed og måles i dB re 1 µPa²s.
- SEL_{cum} (Cumulative Sound Exposure Level) er den kumulative lydeksposering over længere tid, typisk anvendt ved gentagne eller langvarige støjklender. Den udtrykker den samlede energi, et individ modtager, normaliseret til ét sekund, og måles ligeledes i dB re 1 µPa²s.

Disse måleenheder er centrale i vurderingen af, om støjpåvirkningen overstiger tærsklerne for midlertidig (TTS, Temporary Threshold Shift) eller permanent (PTS, Permanent Threshold Shift) høreskade hos forskellige arter, og de danner grundlag for de gældende grænseværdier i nationale og internationale retningslinjer.

Ligeledes differentieres der i hvilken type støj havpattedyrene udsættes for (Tougaard J. , 2021a; Popper & Hawkins, 2019)..

- **Impulsstøj:** Kortvarige, intense lyde med høj stigningstid og bred frekvensbåndbredde. Eksempler: pæleramning, seismiske luftkanoner, undervandsekspllosioner.
- **Kontinuerlig støj:** Længerevarende, ofte lavfrekvente lyde, som f.eks. fra skibsfart, gravemaskiner og vibrering.

Tougaard (2021a) har defineret fire karakteristika, der definerer en impulslyd:

1. Skarp begyndelse med meget kort stigningstid fra start til toptryk, på millisekundskaalen,
2. Kort varighed, ofte ikke mere end et sekund,
3. Stor båndbredde,
4. Lavt tids-båndbredde produkt.

Kun lyde, der opfylder alle fire kriterier, betragtes som impulslyde (Tougaard J. , 2021a). Eksempler er lyde frembragt af undervandsekspllosioner, seismiske luftkanoner og pæleramning (Tougaard J. , 2021a). Disse impulslyde adskiller sig fra andre lyde, der opfylder nogle, men ikke alle de nævnte kriterier. Eksempler på sådanne lyde er frembragt af sælskræmmere og sonarer (Tougaard J. , 2021a). De overtræder ofte kriteriet om stor båndbredde og er i stedet smalbandede, selvom de ofte har stærke harmoniske (Tougaard J. , 2021a).

3 GRÆNSEVÆRDIER

Marsvin, *Phocoena phocoena*, er sky dyr, der undgår høje lyde; dette er blevet vist i flere undersøgelser af reaktioner på undervandsstøj fra for eksempel pæleramning og sonarer (Tougaard J. , 2014; Andersson & Johansson, 2013). Marsvin har god hørelse og kan høre lyde fra omkring 1 kHz til over 150 kHz og kan opfange lyde så lave som 40-50 dB re. 1 μ Pa (Andersson & Johansson, 2013). Marsvins reaktion på støj afhænger, ud over lydkilden og lydudbredelsen, af flere faktorer såsom alder, køn og aktivitet i det øjeblik, de opfanger støjen (Andersson & Johansson, 2013). En reaktion kan betyde alt fra noget, der er knap mærkbart, til flugtdadfærd i form af en kursændring eller svømmehastighed til hunner, der forlader deres kalve (Andersson & Johansson, 2013; Tougaard J. , 2014; Tougaard J. , 2021a; Tougaard J. , 2021b).

Hvidnæser, *Lagenorhynchus albirostris*, og øresvin, *Tursiops truncatus*, har begge god hørelse under vand. Hvidnæser og øresvin har begge et kompliceret repertoire af lyde de kan producere under vand som bruges til både fødesøgning og kommunikation. Øresvin (og formentlig hvidnæse) er langt mindre følsomme for TTS end marsvin

Sæler er mindre følsomme over for undervandsstøj, men anses for at være følsomme i parrings- og ynglesæsonen (Andersson & Johansson, 2013). Der er flere sælarter i Nordsøen. Der er en bestand af spættede sæler, *Phoca vitulina*, og gråsæler, *Halichoerus grypus*. Spættede sæler og gråsæler har god hørelse og kan høre lyde fra omkring 100 Hz til omkring 80 kHz og kan opfange lyde så lave som 55-65 dB re. 1 μ Pa (Andersson & Johansson, 2013; Tougaard J. , 2021a).

For at vurdere risikodistancer er der behov for retningslinjer for, hvornår forskellige former for reaktioner opstår. Nærverende vurderinger er baseret på Energistyrrelsens retningslinjer for undervandsstøj (Danish Energy Agency, 2023). Retningslinjerne kræver anvendelse af et filter, en auditiv frekvensvægt, der kompenserer for dyrenes hørelse. Til dette formål klassificeres havpattedyr i høregrupper. Marsvin tilhører høregruppen VHF (Very High Frequency) i Southall et al. (2019). Spættede sæler og gråsæler tilhører høregruppen PCW (Phocid Carnivores in Water = sæler) i Southall et al. (2019).

Tabel 3-1 Grænseværdier for marsvin, hvidnæser og øresvin samt sæler ifølge retningslinjerne fra Energistyrelsen. Her vises PTS, TTS og adfærdsmæssige grænseværdier for impuls og kontinuerlig støj.

Påvirkningstype	Marsvin		
	PTS (VHF vægtet)	TTS (VHF vægtet)	Adfærd (VHF vægtet)
Impulsstøj (ramning)	155 dB SEL _{cum}	140 dB SEL _{cum}	103 dB SPL _{rms,125ms}
Kontinuerlig støj "andre kilder"	173 dB SEL _{cum}	153 dB SEL _{cum}	103 dB SPL _{rms,125ms}
SEL-grænseværdier i dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ under vand VHF: Very high frequency (marsvin)			

Påvirkningstype	Hvidnæser og øresvin		
	PTS (HF vægtet)	TTS (HF vægtet)	Adfærd (uvægtet)
Impulsstøj (ramning)	185 dB SEL _{cum}	170 dB SEL _{cum}	-
Kontinuerlig støj "andre kilder"	198 dB SEL _{cum}	178 dB SEL _{cum}	-
SEL-grænseværdier i dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ under vand HF: High frequency (øresvin)			

Påvirkningstype	Sæler		
	PTS (PCW vægtet)	TTS (PCW vægtet)	Adfærd (uvægtet)
Impulsstøj (ramning)	185 dB SEL _{cum}	170 dB SEL _{cum}	-
Kontinuerlig støj "andre kilder"	201 dB SEL _{cum}	181 dB SEL _{cum}	-
SEL-grænseværdier i dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ under vand PCW: Phocid carnivores in water (sæler)			

4 UDBREDELSESMODELLEN

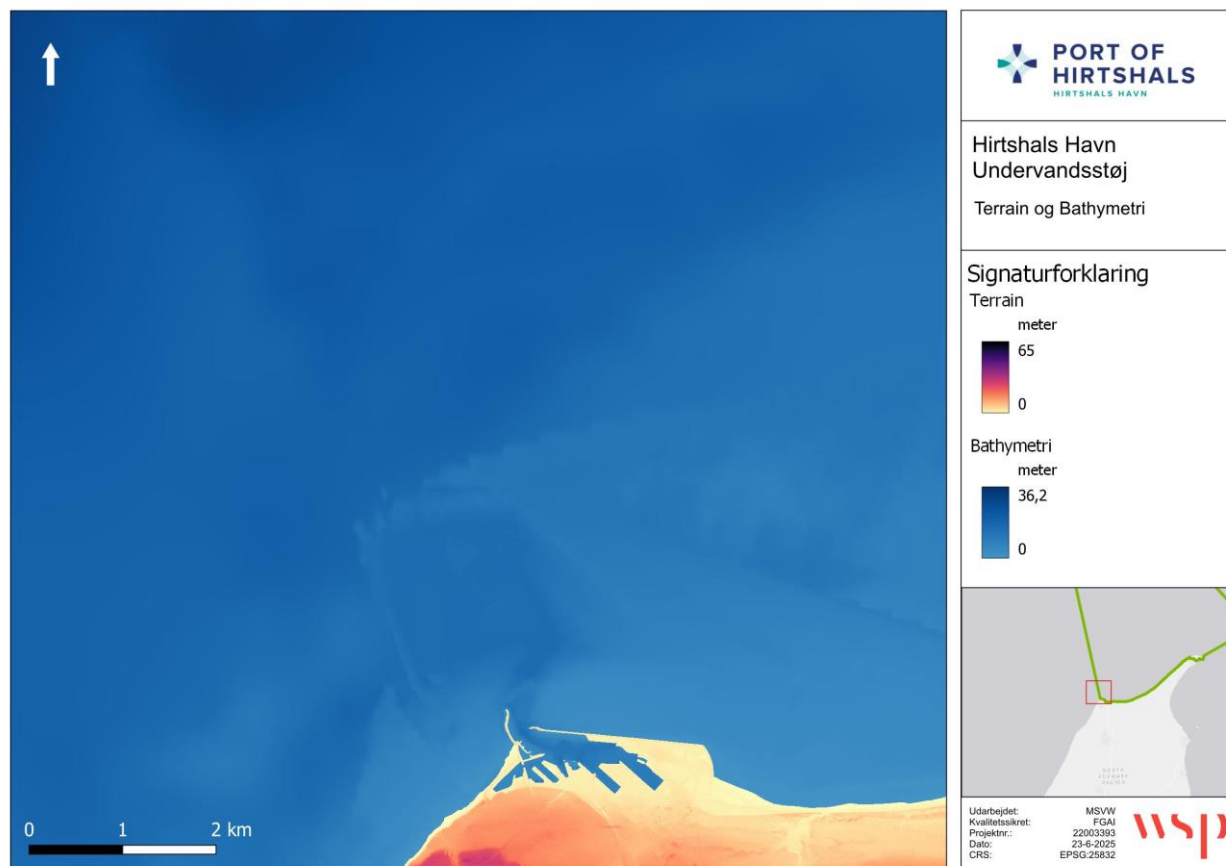
Der er anvendt en 3D undervandsakustisk model af området. Modellen er udført med programmet dBSea og opbygget af bathymetrien (vanddybden, se figur 4-1), havbundsforhold og vandsøjledata.

Bathymetrien er for havnen indhentet fra bygherres søopmåling, mens den generelle bathymetri i Jammer- og Tannis Bugt er indhentet fra EMODnet.

Havbundsforhold er baseret på geotekniske undersøgelser foretaget af SWECO (2023). Der er brugt 29 sedimentborekerner og taget udgangspunkt i de 11 øverste meter.

Vandsøjledata er indhentet fra ICES som CTDO-data fra omkringliggende stationer. Der er indhentet data fra de sidste 5 år og der er lavet gennemsnitlige salinitet og temperaturprofiler for marts måned (koldeste måned indenfor perioden med støjende aktiviteter) (se Figur 6-1).

Til beregning af støjen er der anvendt dBSeaPE : Parabolic equation til lavfrekvent støj og dBSeaRay: raytracing til højfrekvent støj med cross-over frequency på 400-500 Hz. Beregningerne er blevet udført i 72 retninger (5° opløsning).



Figur 4-1 Bathymetrisk model brugt til støjdbredelsesmodellen. Dybder er angivet i positive meter.

5 UNDERVANDSSTØJKILDER

For projektet forventes der fire støjende aktiviteter som kan påvirke havpattedyr. Disse er:

1. Anlæggelse af ny mole
2. Nedbrydning af molehoveder
3. Uddybning af sejlrende
4. Etablering af arbejdsplatform (Installation af pæle)

For hver aktivitet er de støjende elementer opgjort og taget med i støjmodellen. Kildestyrker kan læses af nedenstående samt i Tabel 5-1. Placeringen af støjklenderne i støjmodellen fremgår af figur 5-1.

Nedbrydning af molehoved

Under denne fase af anlægsarbejdet forventes den mest støjende aktivitet at stamme fra hammeren der bruges til brydning af betonen. Selvom det meste af aktiviteten foregår over vand viser støjmålinger, at der er en væsentlig del af energien fra hammeren bevæger sig ud i vandet (Washington State Department of Transportation, 2012). Kildestøjen er estimeret til 187 dB re 1 μ Pa og antages at være af typen Impulsstøj.

Uddybning af sejlrende

Under denne fase af anlægsarbejdet forventes den mest støjende aktivitet at stamme fra uddybningsfartøjet. Kildestøjen er estimeret til 184 dB re 1 μ Pa. Støjen antages at være kontinuerlig ("Andre kilder").

Anlæggelse af ny mole

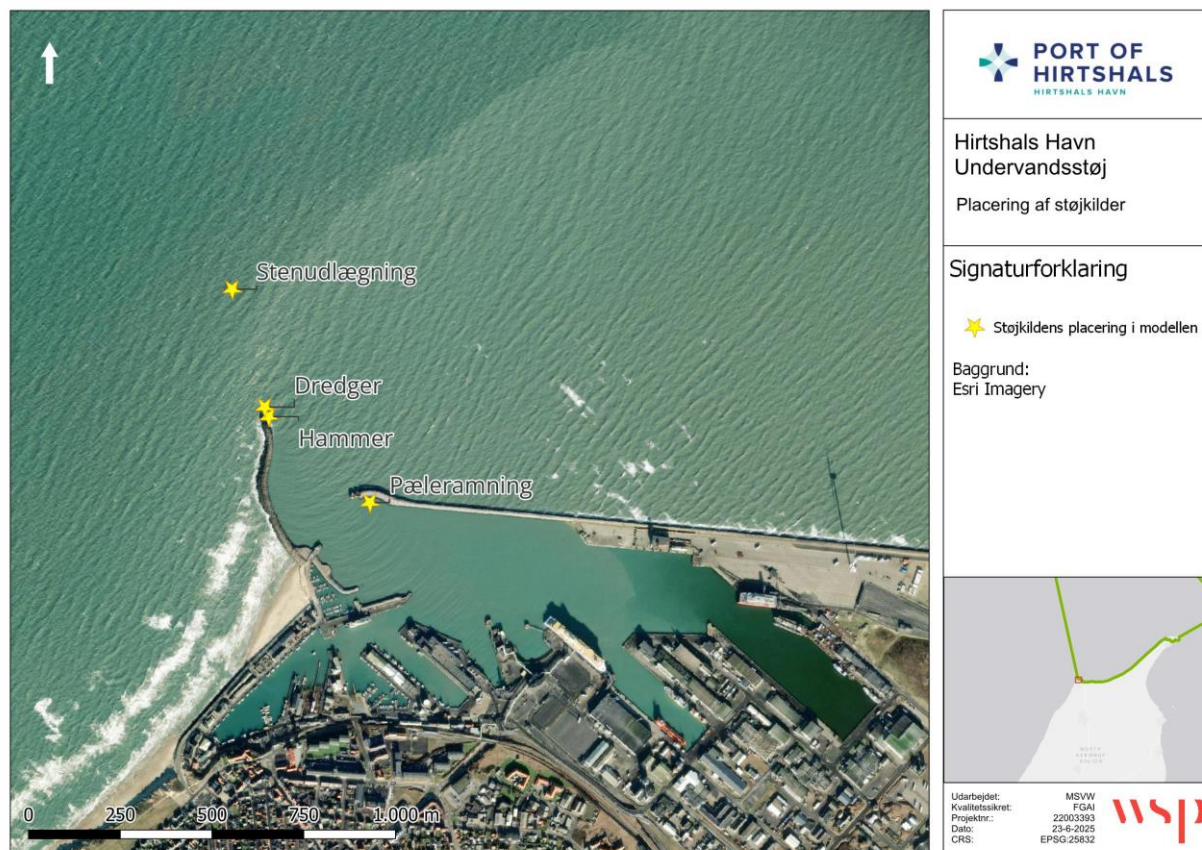
Under denne fase af anlægsarbejdet forventes den mest støjende aktivitet at være udlægning af sten. Støjmålinger viser, at den dominerende undervandsstøj fra stenudlægningsaktiviteter stammer fra overfladeaktiviteterne (skibsmotorer, thrustere, aktiviteter på dækket og udhældning af sten) snarere end fra selve udlægningen af stenene på havbunden (Sveegaard, Teilmann, & Tougaard, 2024). Støjen er estimeret til 188 dB re 1 μ Pa,

Etablering af arbejdsplatform (Installation af pæle)

Ved installation af pæle vil der primært skulle vibreres. Kildestøjen ved vibrering er estimeret til 190 dB re 1 μ Pa. Støjen antages at være kontinuerlig ("Andre kilder"). Hvis det ikke er muligt at vibrere pælene til den krævede dybde, vil der tages brug af en hammer til at ramme pælene det sidste stykke. Kildestøjen ved ramning er estimeret til 205 dB re 1 μ Pa. Støjen antages at være af typen impulsstøj.

Tabel 5-1 Angivelse af kildestyrker og støjtype anvendt ved de forskellige aktiviteter.

Støjkilde	Lydniveau	Støjtype	Kommentar
Nedbrydning af molehoved	187 dB re 1 μ Pa @1 m (RMS)	Impulsstøj	(Washington State Department of Transportation, 2012)
Uddybning	184 dB re 1 μ Pa @1 m (RMS)	Kontinuerlig støj "andre kilder"	(Jiménez-Arranz, Banda, Cook, & Wyatt, 2020a)
Udlægning af sten	188 dB re 1 μ Pa @1 m (RMS)	Kontinuerlig støj "andre kilder"	(Barham & Mason, 2018) og (Sveegaard, Teilmann, & Tougaard, 2024)
Vibrering af pæle	190 dB re 1 μ Pa @1 m (RMS)	Kontinuerlig støj "andre kilder"	(Jiménez-Arranz, Banda, Cook, & Wyatt, 2020b)
Nedramning af pæle	205 dB re 1 μ Pa @1 m (RMS)	Impulsstøj	(Jiménez-Arranz, Banda, Cook, & Wyatt, 2020b)



Figur 5-1 Placering af støjkilder til beregning af støjdbredelsen.

6 RESULTATER

Tabel 6-1 nedenfor angiver påvirkningsafstande ved de forskellige aktiviteter for hhv. marsvin, hvidnæse og øresvin samt sæler. Resultaterne for PTS – og TTS- angiver maksafstanden ved 95% CI. Kort over adfærdsafstande kan ses i Figur 6-1 og Figur 6-2.

Tabel 6-1 Påvirkningsafstande for havpattedyr (PCW-, HF- og VHF-vægtet), ved aktiviteterne nedbrydning af molehoved, udlægning af sten, uddybning af sejlrende og installation af pæle. Der antages en flugt-hastighed på 1,5 m/s for alle arter. PTS- og TTS-afstande er angivet ved 95% CI mens adfærd er angivet som maks.

Aktivitet	Påvirknings-type	Sæler		Hvidnæser og øresvin		Marsvin		
		PTS (PCW-vægtet)	TTS (PCW-vægtet)	PTS (HF-vægtet)	TTS (HF-vægtet)	PTS (VHF-vægtet)	TTS (VHF-vægtet)	Adfærd (VHF-vægtet)
Udlægning af sten	"Andre kilder"	Ikke påvist	<100 m	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist	<100 m	3.088 m
Nedbrydning af molehoved	Impulsstøj	<100 m	1346 m	Ikke påvist	<100 m	614 m	5522 m	9.155 m
Uddybning af sejlrende	"Andre kilder"	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist	509 m
Pæle - Vibrering	"Andre kilder"	Ikke påvist	<100 m	Ikke påvist	Ikke påvist	<100 m	288 m	865 m
Pæle - Ramning	Impulsstøj	384 m	829 m	102 m	511 m	787 m	1028 m	904 m

Nedbrydning af molehoved – Ramp-up scenarie

Ved nedbrydningen af molehoveder kan støjpåvirkningen af havpattedyr nedsættes gennem forskellige tiltag såsom afskærmning, reduktion i kildestyrken eller reduktion i frekvensen hvorved hammeren slår. For dette projekt er der udregnet teoretiske påvirkningsafstande ved at tage brug af en såkaldt ramp-up periode hvor nedbrydningen igangsættes med færre slag i minuttet i en tidsperiode. Beregningen tager udgangspunkt i et slag per 2 minutter i 60 minutter under opstart og derefter kører hammeren ved fuld kapacitet med 8 slag per sekund resten af tiden. Resultaterne af disse beregninger kan ses i Tabel 6-2

Tabel 6-2 Påvirkningsafstande for havpattedyr (PCW-, HF- og VHF-vægtet), ved aktiviteten nedbrydning af molehoved med ramp-up procedure. Der antages en flugt-hastighed på 1,5 m/s for alle arter. PTS- og TTS-afstande er angivet ved 95% CI mens adfærd er angivet som maks.

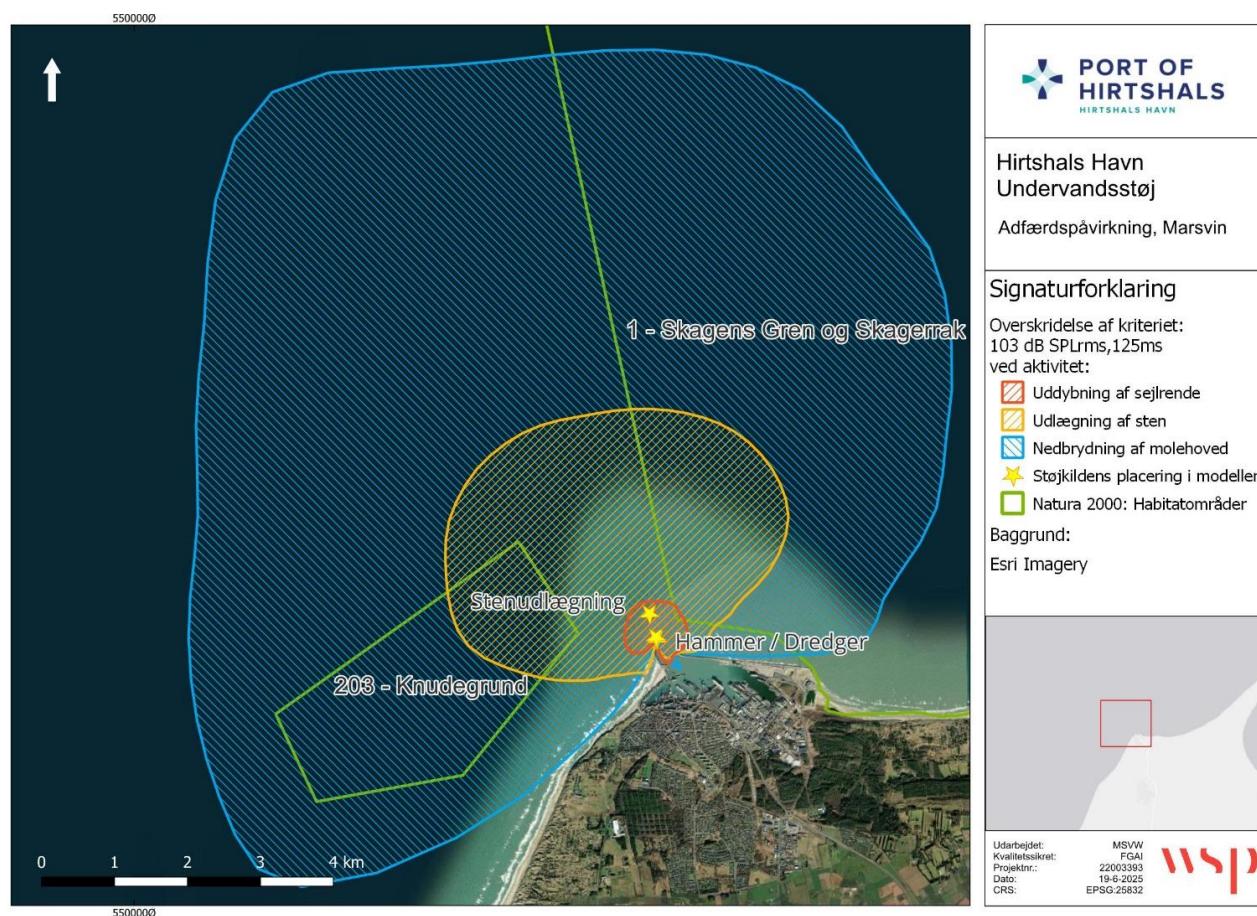
Aktivitet	Påvirknings-type	Sæler		Hvidnæser og øresvin		Marsvin		
		PTS (PCW-vægtet)	TTS (PCW-vægtet)	PTS (HF-vægtet)	TTS (HF-vægtet)	PTS (VHF-vægtet)	TTS (VHF-vægtet)	Adfærd (VHF-vægtet)
Nedbrydning af molehoved med ramp-up	Impulsstøj	Ikke påvist	<100 m	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist	300 m	9.155 m

Etablering af arbejdsplatform (Installation af pæle) – Ramp-up scenarie

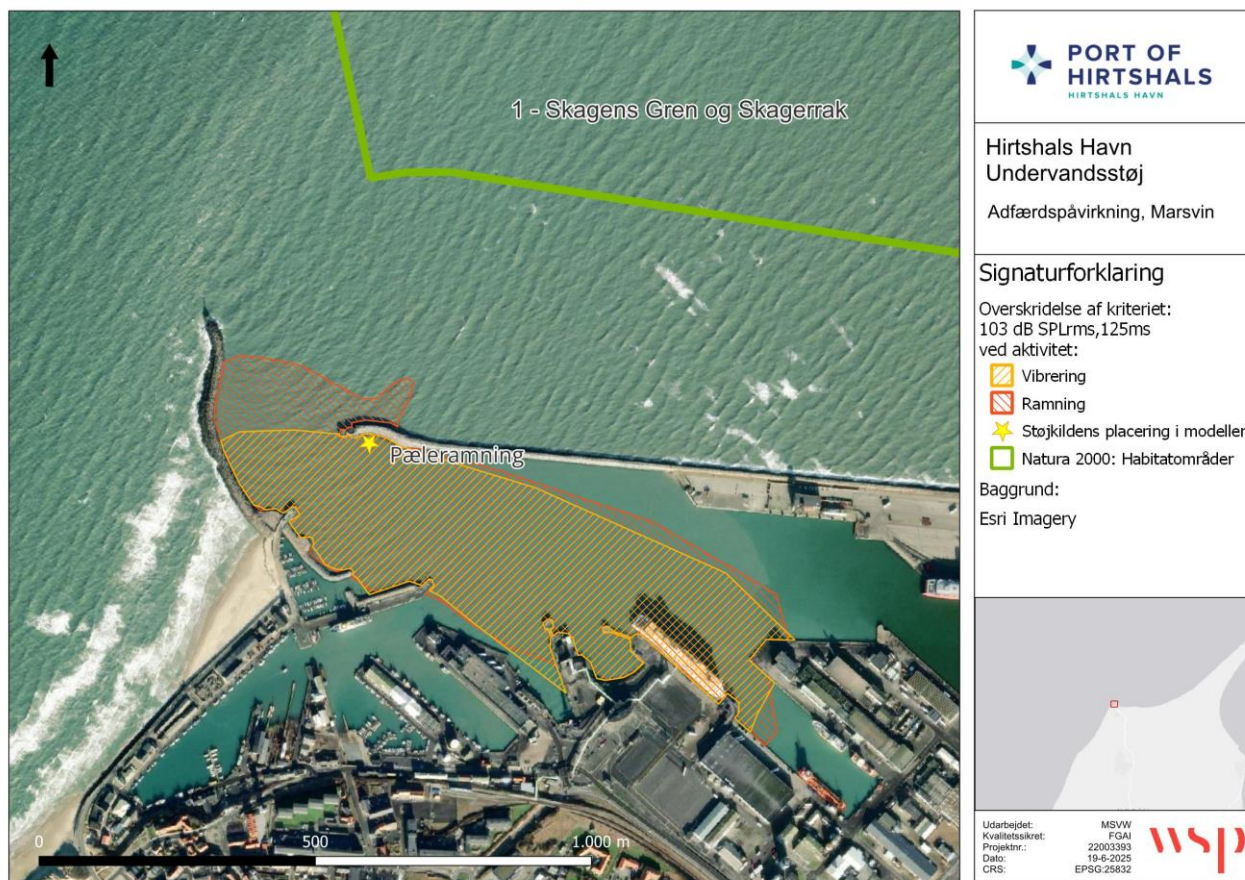
Ved installation af pæle vil der primært skulle vibreres. Hvis det ikke er muligt at vibrere pælene til den krævede dybde, vil der tages brug af en hammer til at ramme pælene det sidste stykke. Det forventes så vidt muligt at der kun vibreres, men i tilfældet af at der taget udgangspunkt i et scenarie hvor der vibreres i 30 minutter for derefter at bruge en hammer til at nedramme pælen efterfølgende. Der er tale om to forskellige typer støj (hhv. kontinuerlig ("Andre kilder") og impulsstøj). Resultaterne er derfor præsenteret for begge typer af grænseværdier. Resultaterne af disse beregninger kan ses i Tabel 6-3.

Tabel 6-3 Påvirkningsafstande for havpattedyr (PCW-, HF- og VHF-vægtet), ved installation af pæle med vibrering i 30 minutter efterfulgt af ramning. Resultater er angivet ved antagelse af græsnæværdier for impulsiv- og kontinuerlig støj. Der antages en flugt-hastighed på 1,5 m/s for alle arter. PTS- og TTS-afstande er angivet ved 95% CI mens adfærd er angivet som maks.

Aktivitet	Påvirknings-type	Sæler		Hvidnæser og øresvin		Marsvin		
		PTS (PCW-vægtet)	TTS (PCW-vægtet)	PTS (HF-vægtet)	TTS (HF-vægtet)	PTS (VHF-vægtet)	TTS (VHF-vægtet)	Adfærd (VHF-vægtet)
Vibrering + Ramning	Impulsstøj / "Andre kilder"	<100 m / Ikke påvist	183 m / <100 m	Ikke påvist / Ikke påvist	<100 m / Ikke påvist	379 m / <100 m	664 m / 235 m	904 m



Figur 6-1 Påvirkningsafstande for adfærdskriteriet 103 dB SPL_{rms}, 125 ms for de tre støjende aktiviteter: Uddybning af sejlrende, udlægning af sten og nedbrydning af molehoved. Arealerne er hhv 0,52 km², 13,63 km² og 91,17 km²



Figur 6-2 Påvirkningsafstande for adfærdskriteriet 103 dB SPL_{rms}, 125 ms for Installation af pæle ved hhv. vibrering og ramning. Arealerne er hhv 0,23 km² og 0,28 km²

7 KONKLUSION

Undersøgelsen af undervandsstøj i forbindelse med forlængelsen af Vestmolen ved Hirtshals havn viser, at de planlagte anlægsaktiviteter kan medføre støjpåvirkninger på havpattedyr i området. De mest støjende aktiviteter er nedbrydning af molehoved og installation af pæle, især ved brug af ramning, som genererer impulsstøj med risiko for både midlertidige og permanente høreskader.

Ved anvendelse af ramp-up scenarier reduceres risikoen for høreskader markant. Påvirkningsafstandene for TTS og PTS blev reduceret til under 300 meter for alle arter (afhængigt af det anvendte kriterie ved pæleramning), men resultaterne viser ligeledes, at vibrering som metode til pæleinstallation medfører væsentligt lavere støjpåvirkning og derfor bør prioriteres frem for ramning.

8 REFERENCER

- Andersson, M., & Johansson, A. (2013). *Akustiska miljöeffekter av svenska marinens aktiva sonarsystem*. Totalförsvarets forskningsinstitut. Technical report with number FOI-R-3504-SE.
- Barham, R., & Mason, T. (2018). *East Anglia TWO and East Anglia ONE North Offshore Wind Farms: Underwater noise assessment*. Subacoustech Emnvironmental Ltd.
- Danish Energy Agency. (2023). *Guideline for underwater noise - Installation of impact or vibratory driven piles*.
- Jiménez-Arranz, G., Banda, N., Cook, S., & Wyatt, R. (2020a). *Review on Existing Data on Underwater Sounds Produced by the Oil and Gas Industry*. Seiche Ltd.
- Jiménez-Arranz, G., Banda, N., Cook, S., & Wyatt, R. (2020b). *Review on Existing Data on Underwater Sounds from Pile Driving Activities*. Seiche Ltd.
- Popper, A., & Hawkins, A. (2019). An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *Journal of Fish Biology*, 94.
- Southall, B., Finneran, J., Reichmut, C., Nachtigall, P., Ketten, D., Bowles, A., . . . Tyack, P. (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals*, 45.
- Sveegaard, S., Teilmann, J., & Tougaard, J. (2024). *Effects of artificial reefs on marine mammals. Construction and placement of the artificial reef*. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 16 s. – Scientific note no. 2024|7.
- SWECO. (2023). *Geoteknisk undersøgelsesrapport nr. 1, version 02, "Hirtshals havn – Geotekniske forundersøgelser og miljøprøver"*.
- Tougaard, J. (2014). *Vurdering af effekter af undervandsstøj på marine organismer. Del 2 – Påvirkninger*. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 51 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 45 <http://dce2.au.dk/pub/TR45.pdf>.
- Tougaard, J. (2021a). *Thresholds for noise induced hearing loss in marine mammals. Background note to revision of guidelines from the Danish Energy Agency*. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 34 s. – Scientific note no. 2021|28.
- Tougaard, J. (2021b). *Thresholds for behavioural responses to noise in marine mammals. Background note to revision of guidelines from the Danish Energy Agency*. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 32 pp. Technical Report No. 225 <http://dce2.au.dk/pub/TR225.pdf>.
- Washington State Department of Transportation. (2012). *Concrete Pier Demolition Underwater Sound Levels: SR 303 Manette Bridge Project*.