

MARTS 2021
AARHUS HAVN

ADRESSE COWI A/S
Vestre Stationsvej 7
5000 Odense C

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

BILAG 13

Udvidelse af Aarhus Havn – Yderhavnen

STØJNOTAT TIL MILJØKONSEKVENSRAPPORT. UNDERVANDSSTØJ FRA
ANLÆGSARBEJDER I AARHUS HAVN – MASTERPLAN ØST.

PROJEKTNR.

A104076

DOKUMENTNR.

A104076-PD-077

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

12-03-2021

BESKRIVELSE

Notat om undervandsstøj

UDARBEJDET

FMSZ/MNLR

KONTROLLERET

JMJN

GODKENDT

LIBJ

INDHOLD

1	Indledning	3
2	Undervandsstøj	5
3	Metode	6
3.1	Scenarier	6
3.2	Model	6
3.3	Forudsætninger	6
4	Beregningsresultater	13
4.1	Scenarie A – Pæleramning	14
4.2	Scenarie B – Nedvibrering	16
5	Diskussion	17
6	Konklusion	17
	Referencer	18

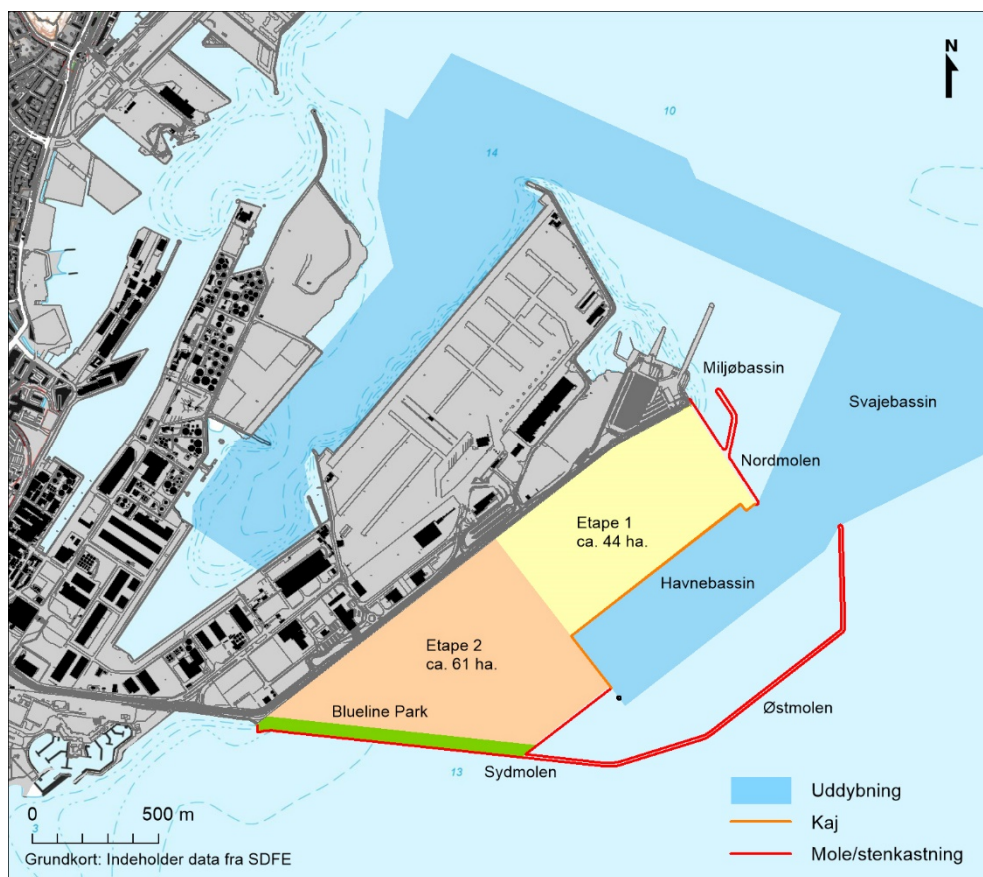
BILAG

Bilag A	Støjkort Scenarie A	19
Bilag B	Støjkort Scenarie B	23

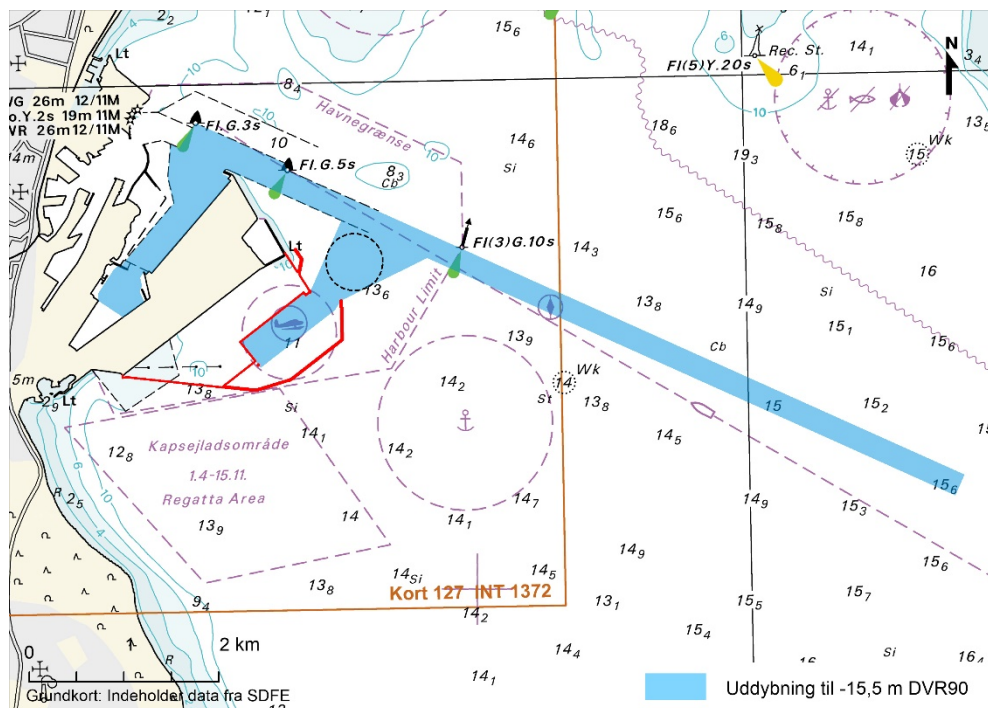
1 Indledning

Dette dokument er udarbejdet som baggrundsnotat i forbindelse med VVM-redegørelsen for udvidelsesprojektet af Aarhus Havn. Formålet med notatet er overordnet at beskrive retningslinjerne for undervandsstøj, samt metodikken af modelleringsarbejdet, der er udført for at beregne niveauerne af undervandsstøj, der kan genereres i konstruktionsperioden.

Aarhus Havns udvidelsesprojekt tilføjer en færgeterminal og en containerterminal, hvilket øger havnearealet med ca. 100 ha, og der etableres også nye moler omkring det udvidede område, ligesom havnen og sejlrender uddybes, som vist i Figur 1-1 og Figur 1-2.



Figur 1-1 Yderhavnsprojektet



Figur 1-2 Uddybning af bassiner og sejlrender.

For at vurdere risikoen for påvirkning af havmiljøet er der foretaget beregning af undervandsstøjen fra etablering af nye kajanlæg ved ramning og nedvibrering af spuns. Der vil desuden være en række andre aktiviteter, der ikke er inkluderet i undersøgelsen, da deres støjbidrag ikke vurderes som væsentlige i forhold til de udvalgte aktiviteter ovenfor:

- anlæg af ny ydermole
- nedbrydning af eksisterende Østmole
- opfyldning med sømaterialer og tilkørt jord
- uddybning af bassiner og sejlrender
- skibstrafik for normal drift

Metoden i denne undersøgelse inkluderer kun desktop-arbejde uden dataindsamling af baseline for støjniveauer under vandet. Derfor er de nuværende og fremtidige støjniveauer blevet estimeret ved modellering.

2 Undervandsstøj

Forplantningen af lyd i vand er mere effektiv end i luft på grund af en lavere absorption af den akustiske energi og potentialet for cylindrisk spredning af energi (Kinsler et al., 1982). Med længere udbredelsesafstande kan et område potentielt blive påvirket flere kilometer væk fra en kraftig støjkilde.

Lydhastigheden er også forskellig i vand med typiske værdier mellem 1450 og 1550 m/s, hvilket er over fire gange højere end i luft.

Lydtrykniveauet kan udtrykkes med forskellige parametre afhængigt af typen af lyd:

- > For konstante støjklender, såsom støj fra nedvibrering af pæle, bruges typisk SPL_{RMS} :

$$SPL_{RMS} = 20 \log_{10} \left(\frac{p_{RMS}}{p_{ref}} \right)$$

Ligning 1

SPL betegner lydtrykniveau, RMS betegner Root-Mean-Square; en statistisk indikator for signalet. p_{RMS} er RMS-lydtrykket og p_{ref} er referencelydtrykket (1 μPa i vand).

- > For støjklender med impulsagtig karakter, såsom pæleramning, benyttes normalt lydeksponeringsniveauet (SEL):

$$SEL = 10 \log_{10} \left(\frac{\int_{t_5}^{t_{95}} p^2(t) dt}{E_0} \right)$$

Ligning 2

$p^2(t)$ er det kvadrerede lydtryk, t_5 - t_{95} er det tidsinterval, der indeholder de centrale 90% af energien i det integrerede signal, og E_0 er referenceværdien på 1 $\mu Pa^2 s$. Til pæleramning anvendes SEL_{SS} (single strike). Det svarer til en observationsperiode for et enkelt slag med hammeren.

- > Det maksimale lydtrykniveau angives som SPL_{PEAK} . Det er defineret, svarende til SPL_{RMS} , men i stedet for RMS-værdien bruges spidsværdien (det maksimale lydtryk), der nås i løbet af observationsperioden.
- > For at redegøre for de kumulative effekter under pæleramning anvendes SEL_{CUM} :

$$SEL_{CUM} = SEL_{SS} + 10 \log_{10}(N)$$

Ligning 3

hvor N angiver antallet af hammerslag i observationsperioden.

3 Metode

3.1 Scenarier

Der er foretaget beregninger for følgende scenarier:

- > Undervandsstøj i anlægsfasen:
 - > Etablering af nye kaj anlæg ved ramning af spuns
 - > A: Nedramning af spunsvægge
 - > B: Nedvibrering af spunsvægge

3.2 Model

Beregningerne af undervandsstøj er udført ved hjælp af programmet dbSea fra Marshall Day Acoustics¹. dbSea er et beregningsprogram til undervandsstøj, der implementerer forskellige afstandsafhængige beregningsmetoder: Parabolisk ligning, normal mode og ray tracing metoder. De forskellige beregningsmetoder er gyldige for forskellige beregningstilfælde og frekvensområder og beregningssoftwaren gør det muligt at kombinere to beregningsmetoder for henholdsvis lave og høje frekvenser.

Modellen bruger to typer inputdata: akustiske data for kilderne og miljødata, der inkluderer batymetri, vandtemperatur, saltholdighed og geotekniske data opnået fra undersøgelser i området. Ved hjælp af vandkolonnedataene estimeres lydens hastighed og dæmpning i vand.

Beregningerne er foretaget for realistiske worst-case scenarier for at sikre konservative resultater gældende for hele året. Beregningsforudsætningerne er nærmere beskrevet i afsnit 3.3.

3.3 Forudsætninger

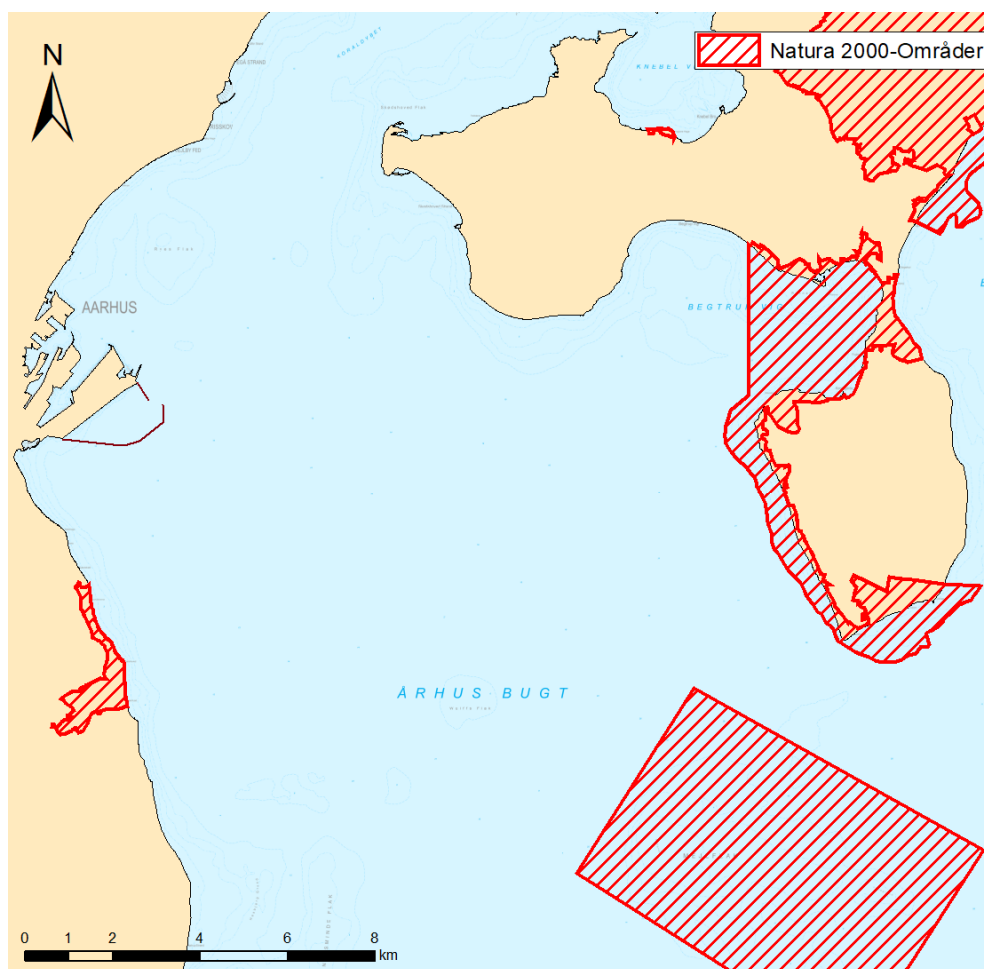
Nedenfor beskrives input data anvendt til beregningerne.

3.3.1 Akustiske data

Modtagerpositioner

Kortet i Figur 3-1 viser de beskyttede habitater tættest beliggende på Aarhus Havn.

¹ COWIs beregninger er udført i overensstemmelse med retningslinjer offentliggjort af ENS, ASA og CMS og anvender bedste praksis og avancerede metoder til beregning af undervandsstøj. COWI har anvendt dBSea version 2.3 til modelleringen og påtager sig ikke ansvar for senere identificerede funktionsfejl i softwaressystemer, der kan påvirke de beregnede resultater og vurderinger.

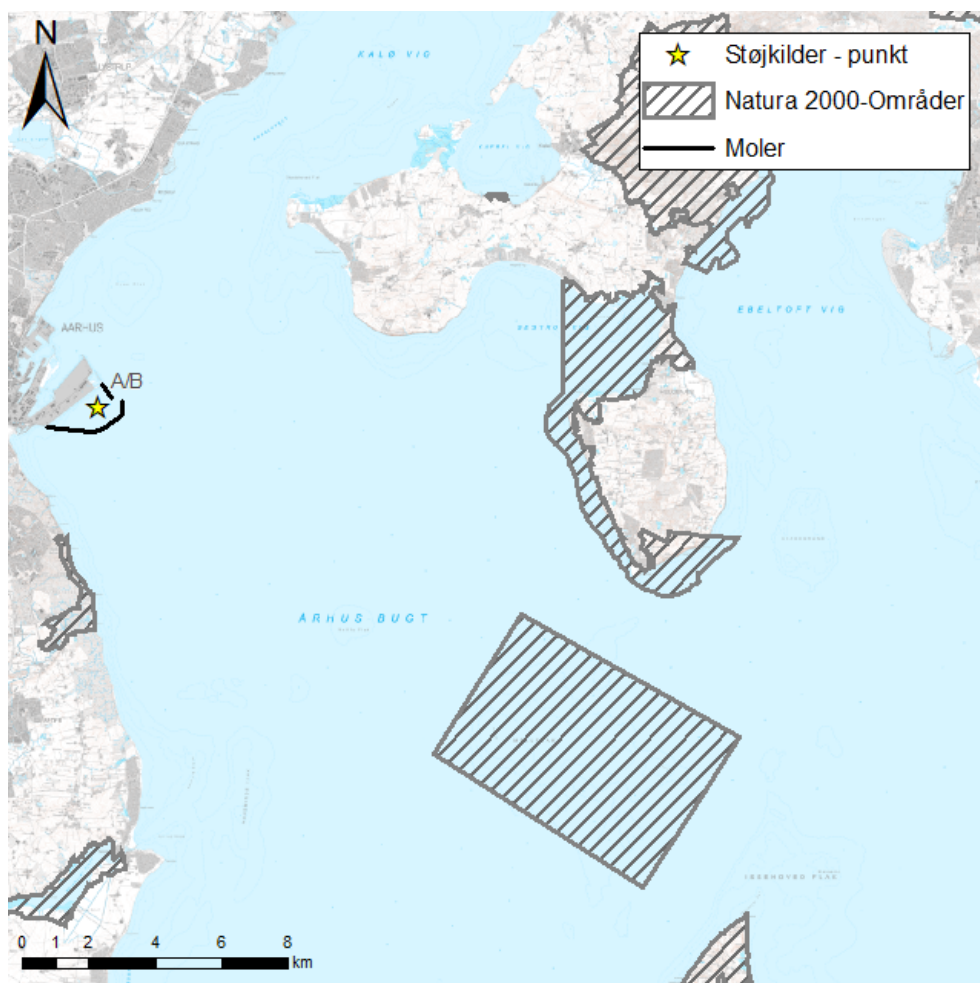


Figur 3-1 Kort over modtagerpositioner

Det nærmeste område er Giber Å, som ligger ca. 5 km syd for havnen. Cirka 14 km mod sydøst ligger Mejl Flak og mod øst ligger Begtrup Vig og kystområder ved Helgenæs.

Støjkildepositioner

Placeringen af de undersøgte støjkilder vises på Figur 3-2 og koordinaterne præsenteres i Tabel 3-1.



Figur 3-2 Kort over støjkilder

Placering A/B repræsenterer støj fra pæleramning ved molen.

Tabel 3-1 Koordinater for støjkilder (ETRS89 UTM Zone 32N).

Kilde	X [m]	Y [m]
A/B	577853	6222868

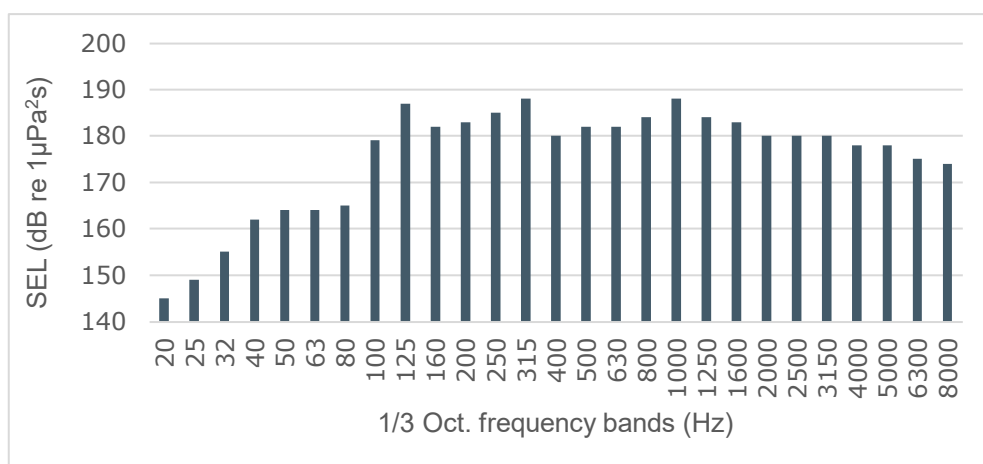
Nedramning af spunsvægge

De lodrette vægge i de nye kajanlæg vil kræve nedramning af spunsvægge. Når disse vægge nedrammes med en hydraulisk hammer, genereres en meget kraftig impulsagtig støj.

På dette stadium af projektet er der ikke foretaget valg af specifik hammer, og den nødvendige kraft er heller ikke tilgængelig. Af denne grund er modelleringen baseret på et konservativt sæt parametre, der følger disse antagelser:

- > Kildestyrke, $SEL_{SS}@1m$: 196 dB re $1\mu Pa^2s$.
- > Slagfrekvens: 45 slag/60 sek.

Figur 3-3 viser frekvensspektret for den anvendte kildestyrke.



Figur 3-3 Støjspektrum for pæleramning, 1 m afstand. Bredbåndsniveau er 196 dB re $1\mu Pa^2s$.

I projektbeskrivelsen (COWI, 2020) er det specificeret, at molerne vil blive etableret inden pæleramningen. Molerne vil dermed virke som støjskærme, der begrænser den udstrålede akustiske energi uden for havnebassinet. Som en konservativ tilgang er beregningerne også foretaget uden tilstedeværelsen af molerne.

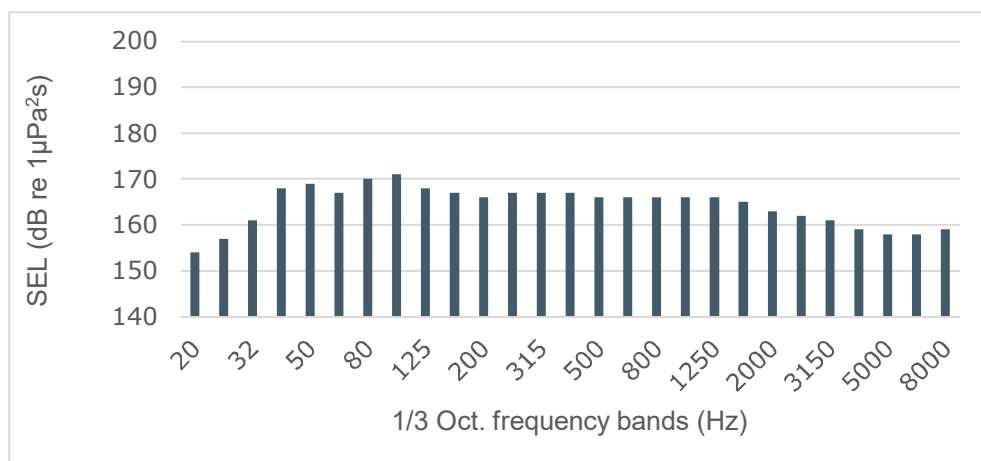
Nedvibrering af spunsvægge

Som alternativ til at bruge en hammer kan spunsvæggen vibreres ned i havbunden. Denne aktivitet producerer en kontinuerlig støj, der er betydeligt lavere end støjen genereret med hammer.

Modelleringen er baseret på følgende parametre:

- > Kildestyrke, $SEL@1m$: 180 dB re $1\mu Pa^2s$.

Figur 3-4 viser frekvensspektret for den anvendte kildestyrke.



Figur 3-4 Støjspektrum for nedvibrering, 1 m afstand. Bredbåndsniveau er 180 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$.

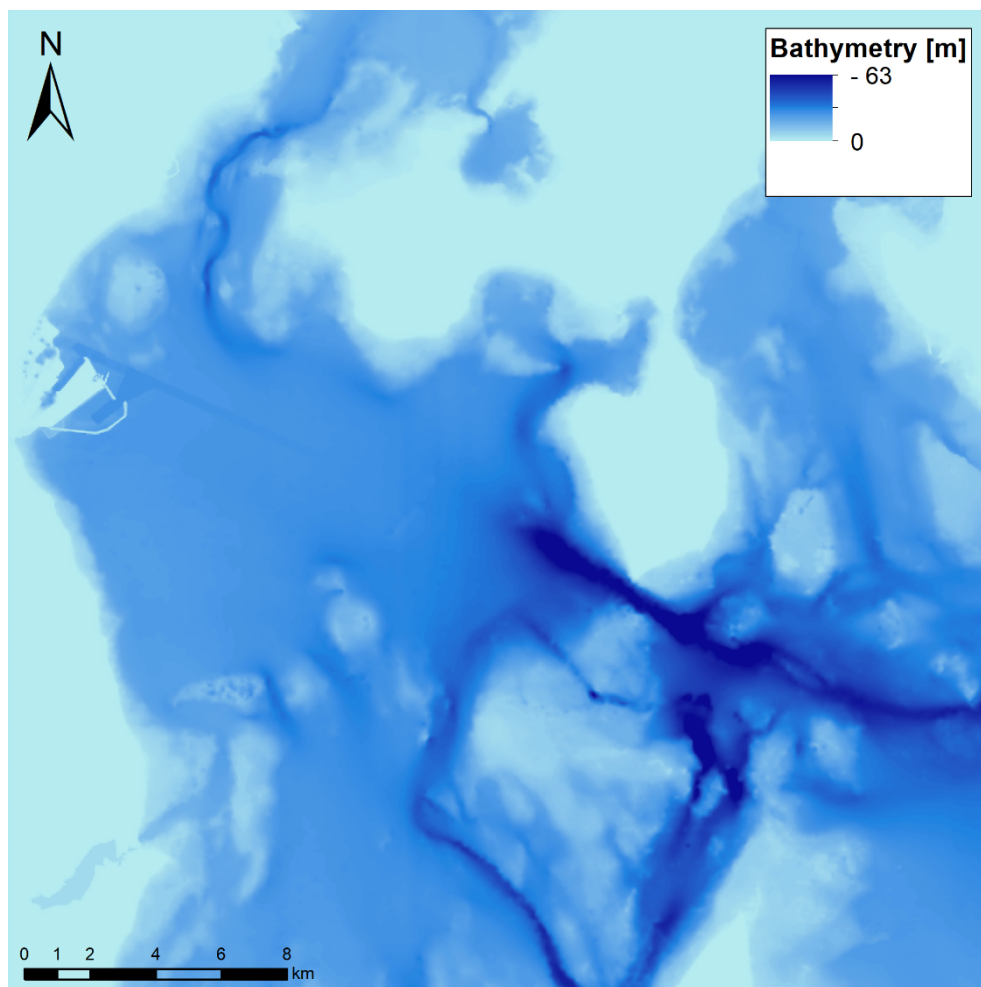
3.3.2 Miljødata

Batymetri

Modellen og kystlinjens batymetri er vist i Figur 3-5. Den dækker et område på 30x30 km omkring Aarhus Havn, der inkluderer hovedmodtagerområderne og navigationskanalerne. Dataopløsningen er ikke ensartet og indeholder flere detaljer i havneområdet. Den maksimale gitterstørrelse (afstand mellem punkter) er 50 m, hvilket betragtes som tilstrækkeligt præcist.

Batymetridata er baseret på følgende datasæt:

- > Havnens opmåling fra 2017 af bassiner og indsejling.
- > Data fra Farvandsvæsnets model for den sydlige del af Kattegat.
- > Havneplan for Aarhus Havn.
- > Masterplan for Yderhavnen (hovedforslag).
- > GeoDanmark (Kortforsyningen).



Figur 3-5 Batymetri model (hovedforslag)

Den detaljerede beskrivelse af batymetrien findes i COWIs rapport om hydraulik og sedimentforhold.

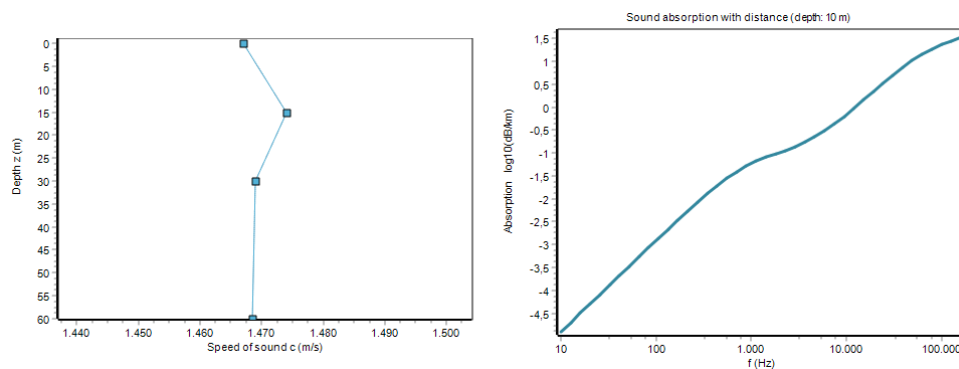
Beregningerne tager ikke højde for tidevand, da det ikke forventes at medføre væsentlige ændringer i støjresultaterne.

Der blev anvendt to 3D-modeller af batymetrien: en med dagens situation og en med den fremtidige situation, efter at hovedprojekt er afsluttet. I den fremtidige situation er nye moler og uddybning til 15,5 m inkluderet.

Havvandsdata

Lydhastighedsprofilen er estimeret ud fra historiske målinger af temperatur og saltholdighed i det lave vand nær Aarhus Havn:

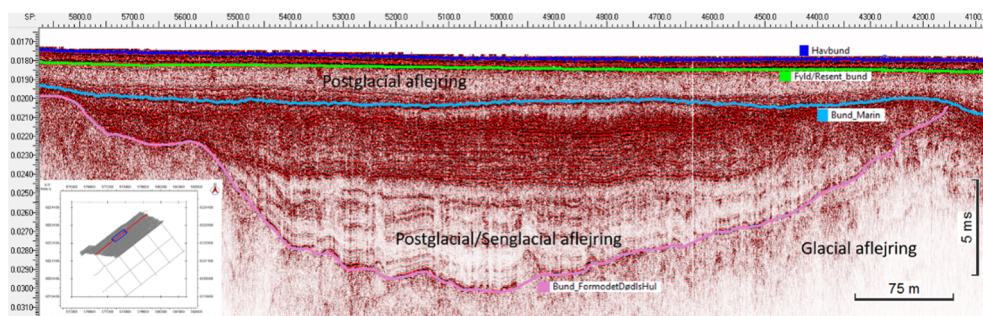
- > Den årlige gennemsnitstemperatur ligger mellem 8,8 - 9,3 °C ved overfladen og 8,4- 9,6 °C ved bunden.
- > Den årlige gennemsnitssalinitet varierer mellem 18 - 23 ‰ ved overfladen og 23 - 28 ‰ ved bunden.



Figur 3-6 Profil for lydhastighed og frekvensafhængig lydabsorption på 10 m dybde

Geotekniske data

Havbunden blev modelleret ved hjælp af data fra geofysiske undersøgelser i området. Disse undersøgelser viser en overvejende blød havbund af silt/finkornet sand efterfulgt af et lag med finkornede sedimenter, silt, ler og mudder. Et tværsnit taget fra havnebassinet er vist i Figur 3-7.



Figur 3-7 Seismisk profil.

Baseret på disse oplysninger blev havbunden modelleret med en konservativ tilgang med følgende parametre i dBSea:

Tabel 3-2 Geotekniske data anvendt i beregningerne

Dybde af havbunds- lag [m]	Materiale	Geofysiske parametre:
0 - 3	Tyndt/fint-til grovkornet sandlag med indslag af ler og/eller fyld	$C_p= 1650 \text{ m/s}$ $\rho= 1900 \text{ kg/m}^3$ $\alpha= 0,8 \text{ dB}/\lambda$
3 - 10	Marine finkornet sedimenter, silt, ler og sand	$C_p= 1600 \text{ m/s}$ $\rho= 1500 \text{ kg/m}^3$ $\alpha= 0,4 \text{ dB}/\lambda$
10 -	Opfyldningssedimenter med varierende kornstørrelser	$C_p= 1950\text{m/s}$ $\rho= 2100\text{kg/m}^3$ $\alpha= 0,4 \text{ dB}/\lambda$

4 Beregningsresultater

Resultaterne af beregningerne præsenteres nedenfor, og støjkort er vist i Bilag A og Bilag B.

For hvert scenarie præsenteres en tabel med resultater, der viser tærskelværdier og afstanden fra støjkilden til de forskellige støjniveauer svarende til tærskler, der repræsenterer de forskellige påvirkninger af støj på forskellige arter og grupper af arter af havdyr. I dette notat er de anvendte tærskler:

- > Alvorlig skade på indre organer eller død
- > PTS: Permanent høretab (*Permanent Threshold Shift*)
- > TTS: Midlertidigt høretab (*Temporary Threshold Shift*)
- > Adfærdssændringer: støjniveauet medfører, at dyret ændrer sin opførsel

Udover de menneskeskabte støjkilder, der er modelleret i beregningerne, vil der være baggrundsstøj fra havet og andre naturlige fænomener i området $SPL_{RMS} = 60\text{-}100 \text{ dB re } 1 \text{ }\mu\text{Pa}$ (Robinson et al., 2011).

4.1 Scenarie A – Pæleramning

De beregnede afstande til tærskelniveauer er vist i tabel 4-1, og støjkortene er vist i Bilag A.

Tabel 4-1 Pæleramning resultater (estimat uden tilstedeværelse af moler): Tærskelværdier [dB] og afstand i meter til de forskellige arters tærskler

Arter/ gruppe af arter	<i>SEL_{SS}</i> (dB re 1μPa ² s)	<i>SEL_{cum}</i> (dB re 1μPa ² s)	<i>SPL_{PEAK}</i> (dB re 1μPa)	Afstand til tærskel i alle retnin- ger (m)	Afstand til tærskel i nordøstlig retning (m)	Afstand til tærskel i sydøstlig retning (m)
PTS - Sæler	-	≥200	-	160	160	160
TTS - Sæler	-	≥176	-	2300	2100	1800
Adfærds- ændringer - Sæler	≥140	-	-	4000	3700	3700
PTS - Marsvin	-	≥183	-	1200	1100	1100
TTS - Marsvin	-	≥176	-	2300	2100	1800
Adfærds- ændringer - Marsvin	≥139	-	-	4100	3800	3800
Død - Voksne fisk	≥174	≥204	≥207	<100	<100	<100
Skade - Fiskeæg og -larver	≥174	≥204	≥217	<100	<100	<100

Tabel 4-2 Pæleramning resultater (estimat inkl. tilstedeværelse af moler): Tærskelværdier [dB] og afstand i meter til de forskellige arters tærskler

Arter/ gruppe af arter	<i>SEL_{SS}</i> (dB re 1µPa²s)	<i>SEL_{cum}</i> (dB re 1µPa²s)	<i>SPL_{PEAK}</i> (dB re 1µPa)	Afstand til tærskel i alle retnin- ger (m)	Afstand til tærskel i nordøstlig retning (m)	Afstand til tærskel i sydøstlig retning (m)
PTS - Sæler	-	≥200	-	160	160	160
TTS - Sæler	-	≥176	-	2400	2400	1000
Adfærds- ændringer - Sæler	≥140	-	-	3700	3700	1500
PTS - Marsvin	-	≥183	-	1300	1300	700
TTS - Marsvin	-	≥176	-	2400	2400	1000
Adfærds- ændringer - Marsvin	≥139	-	-	3800	3800	1650
Død – Voksne fisk	≥174	≥204	≥207	<100	<80	<80
Skade – Fiskeæg og -larver	≥174	≥204	≥217	<100	<80	<80

4.2 Scenarie B – Nedvibrering

De beregnede afstande til tærskelniveauer er vist i Tabel 4-3, og støjkortene er vist i Bilag A.

Tabel 4-3 Nedvibrering resultater (estimat uden tilstedeværelse af moler): Tærskelværdier [dB] og afstand i meter til de forskellige arters tærskler

Arter/ gruppe af arter	<i>SEL_{SS}</i> (dB re 1μPa ² s)	<i>SEL_{cum}</i> (dB re 1μPa ² s)	<i>SPL_{PEAK}</i> (dB re 1μPa)	Afstand til tærskel i alle retnin- ger (m)	Afstand til tærskel i nordøstlig retning (m)	Afstand til tærskel i sydøstlig retning (m)
PTS - Sæler	-	≥200	-	<20	<20	<20
TTS - Sæler	-	≥176	-	700	620	600
Adfærds- ændringer - Sæler	≥140	-	-	680	580	670
PTS - Marsvin	-	≥183	-	280	160	160
TTS - Marsvin	-	≥176	-	700	620	600
Adfærds- ændringer - Marsvin	≥139	-	-	720	650	720
Død - Voksne fisk	≥174	≥204	≥207	<20	<20	<20
Skade - Fiskeæg og -larver	≥174	≥204	≥217	<20	<20	<20

4.2.1 Alternative scenarier

Varianten med placering af Aarhus ReWater Alternativ 2 på Yderhavnen medfører ikke nogen væsentlige ændringer af støjpåvirkningen i anlægsfasen i forhold til hovedforslaget.

Den alternative udformning af Yderhavnen, hvor ydermolens placering er rykket ind i forhold til hovedforslaget, medfører ingen ændringer af støjpåvirkningen i forhold til hovedforslaget.

5 Diskussion

Der er flere kilder til usikkerhed for denne type beregninger. Disse præsenteres nedenfor for de to kategorier; inputdata og model.

Usikkerhed relateret til inputdata:

- > Kildemodelleringen er en af de vigtigste faktorer i støjudbredelse. Der er foretaget en række antagelser baseret på litteratur og tidligere erfaring til at estimere kilderne. De faktiske kildestyrker kan afvige fra disse antagelser på grund af uforudsete omstændigheder. For at minimere denne usikkerhed er de anvendte kildedata blevet sammenlignet omfattende med den eksisterende litteratur, og der er valgt konservative værdier.
- > Afvigelser i andre inputdata (batymetri, vandsøjle og geotekniske forhold) kan også have en vigtig indflydelse på resultaterne.

Usikkerheder relateret til modellen:

- > Diffraction medtages kun i modellen inden for det beregnede todimensionale domæne, dvs. langs transekterne. Da diffraction udelades i det horisontale plan, kan udbredelse langs moleerne undervurderes. For at undgå denne situation er der foretaget en beregning uden at inkludere skærmningen fra moleerne.
- > Havbundens variation langs transekterne er ikke modelleret, og de geotekniske parametre er konstante med afstanden. Der er foretaget konservative beregninger ved at vælge det sæt geotekniske parametre, der giver den største udbredelse af støj.
- > Andre usikkerheder ved beregningsmetoden hidrører fra modellens antagelser: flad havoverflade, udeladelse af forskydningsbølger og vibrationer i havbunden. Disse usikkerheder er beskrevet i den videnskabelige dokumentation af dBSea Ltd., UK.

6 Konklusion

Der er udført beregninger af undervandsstøjen i forbindelse med udvidelsesprojektet i Aarhus Havn. I notatet gennemgås den anvendte beregningsmetode og inputdata.

De beregnede resultater for de forskellige scenarier er vist som tabeller, der angiver afstanden fra støjilden til forskellige støjniveauer svarende til tærskelværdier, der repræsenterer forskellige påvirkninger af støjen for forskellige arter og grupper af arter af havdyr. Desuden er resultaterne vist som farvelagte støjkon-turkort i Bilag A.

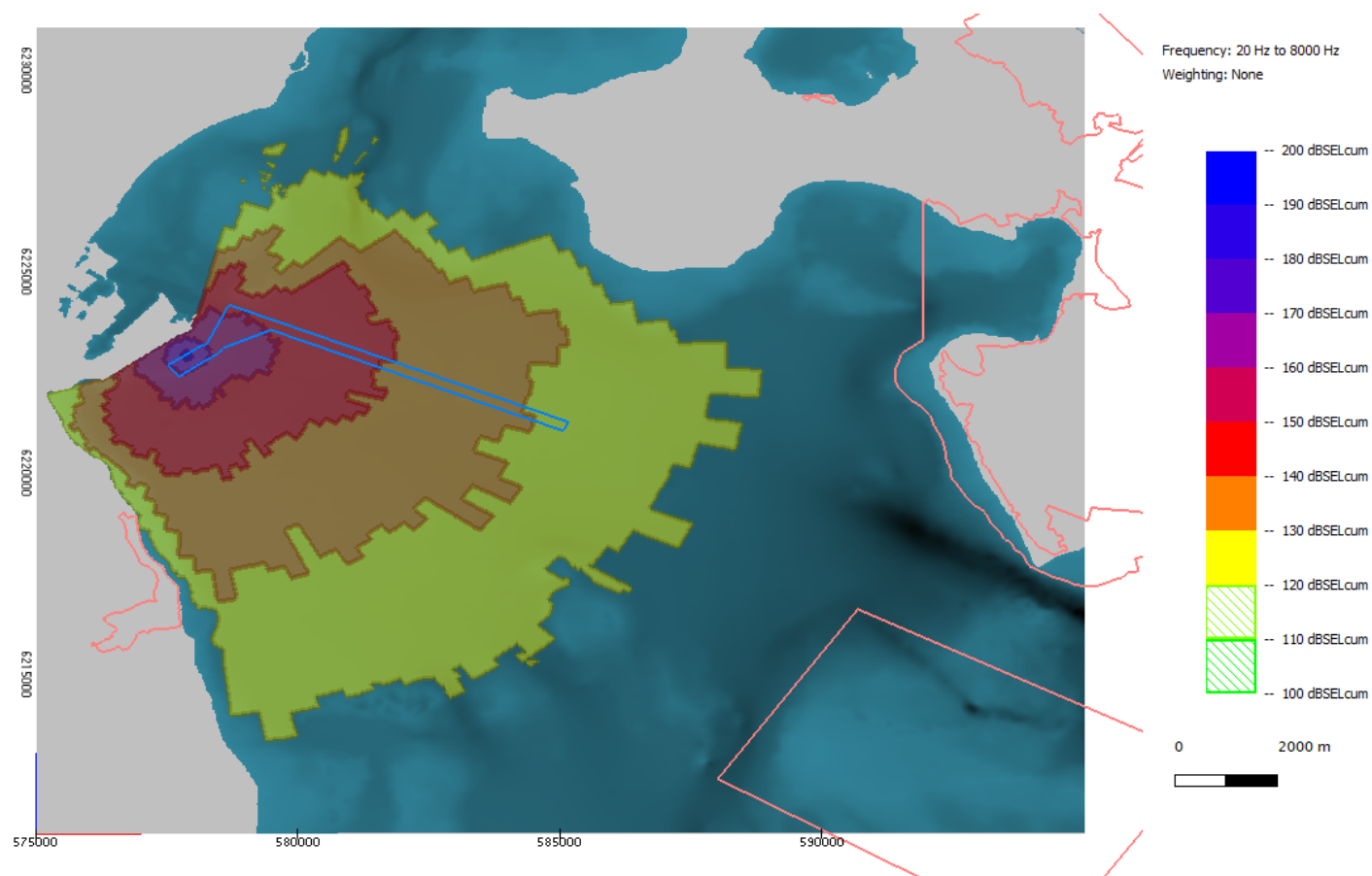
Da konsekvensanalysen kræver en biologisk fortolkning af støjresultaterne, skal de beregnede niveauer af undervandsstøjen anvendes som input til Marin Natur, og den sammenfattende vurdering af støjens indvirkning på havlivet foretages i sit eget afsnit i VVM-rapporten.

Referencer

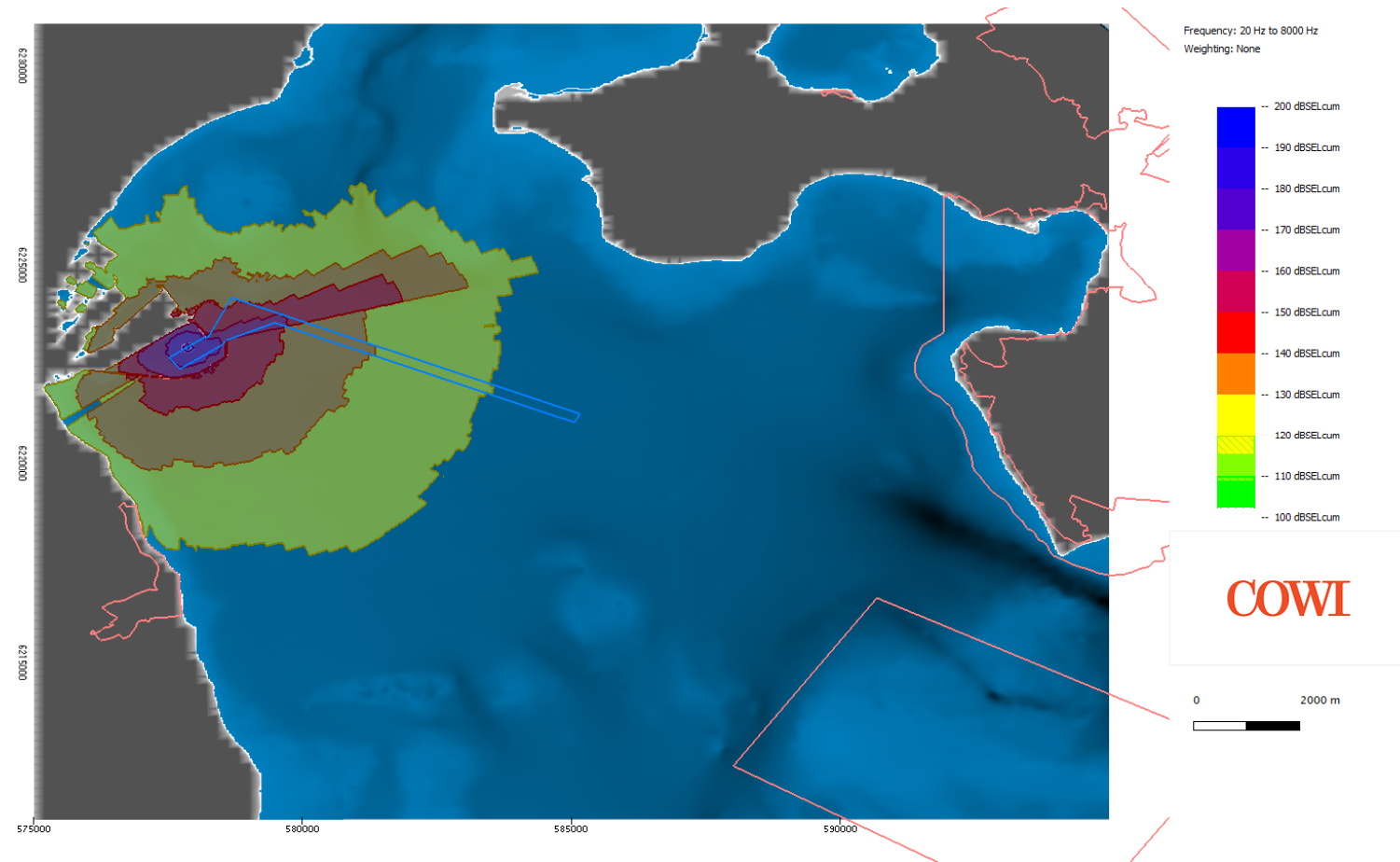
- 1 COWI (2018). Aarhus Havn. Miljøkonsekvensvurdering. Del Rapport Geologisk Model.
- 2 COWI (2020). Yderhavnen: Udvidelse af Aarhus Havn. Projektbeskrivelse.
- 3 Hildebrand, 2004. Sources of Anthropogenic Sound in the Marine Environment
- 4 Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B and Sanders. J V., 1982. Fundamentals of acoustics, (3rd edition), Wiley.

Bilag A Støjkort Scenarie A

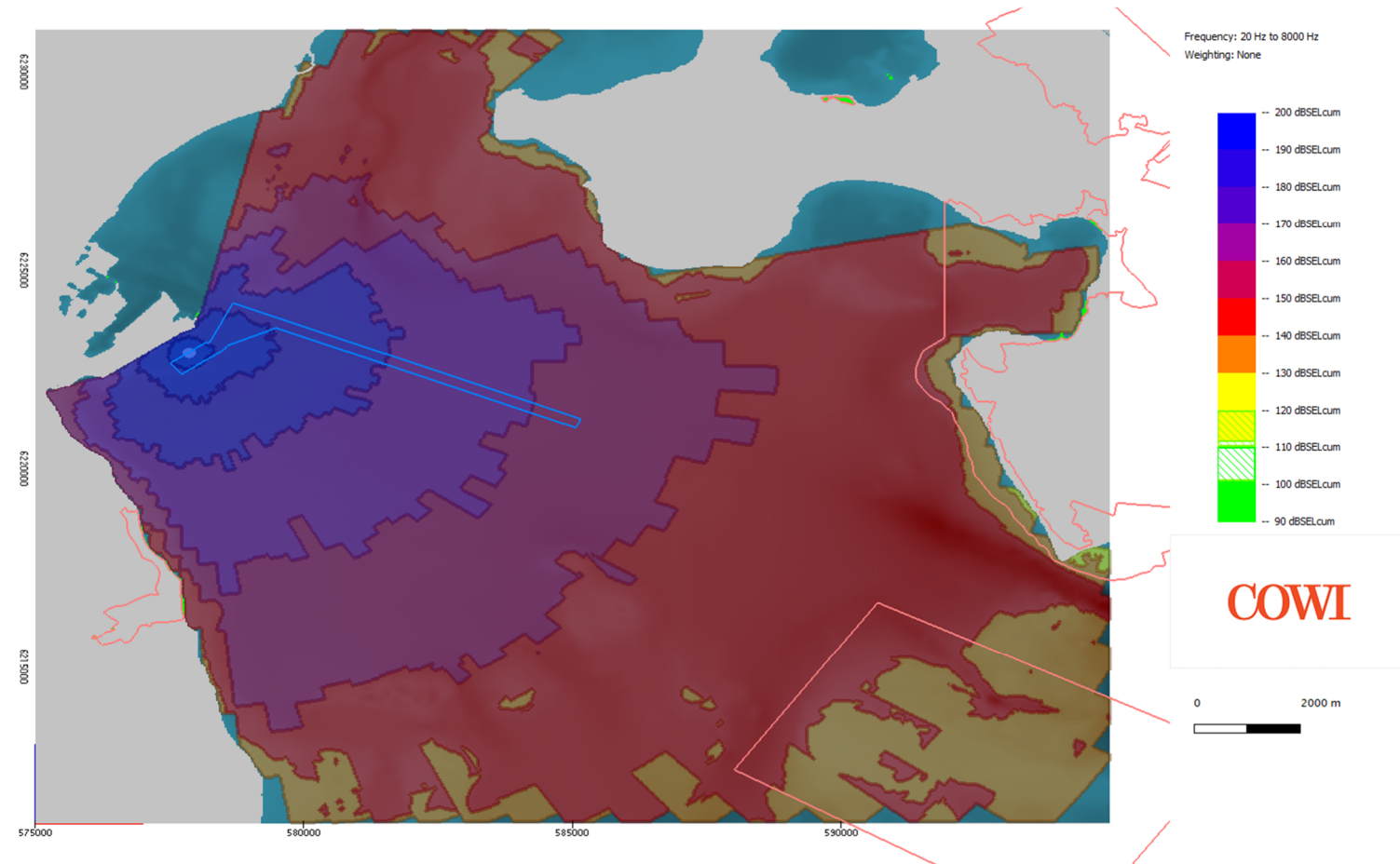
Bemærk: De præsenterede støjniveauer er uvægtede, totale støjniveauer. De repræsenterer det maksimale niveau over alle dybder og viser konturlinjer for hver 10 dB.



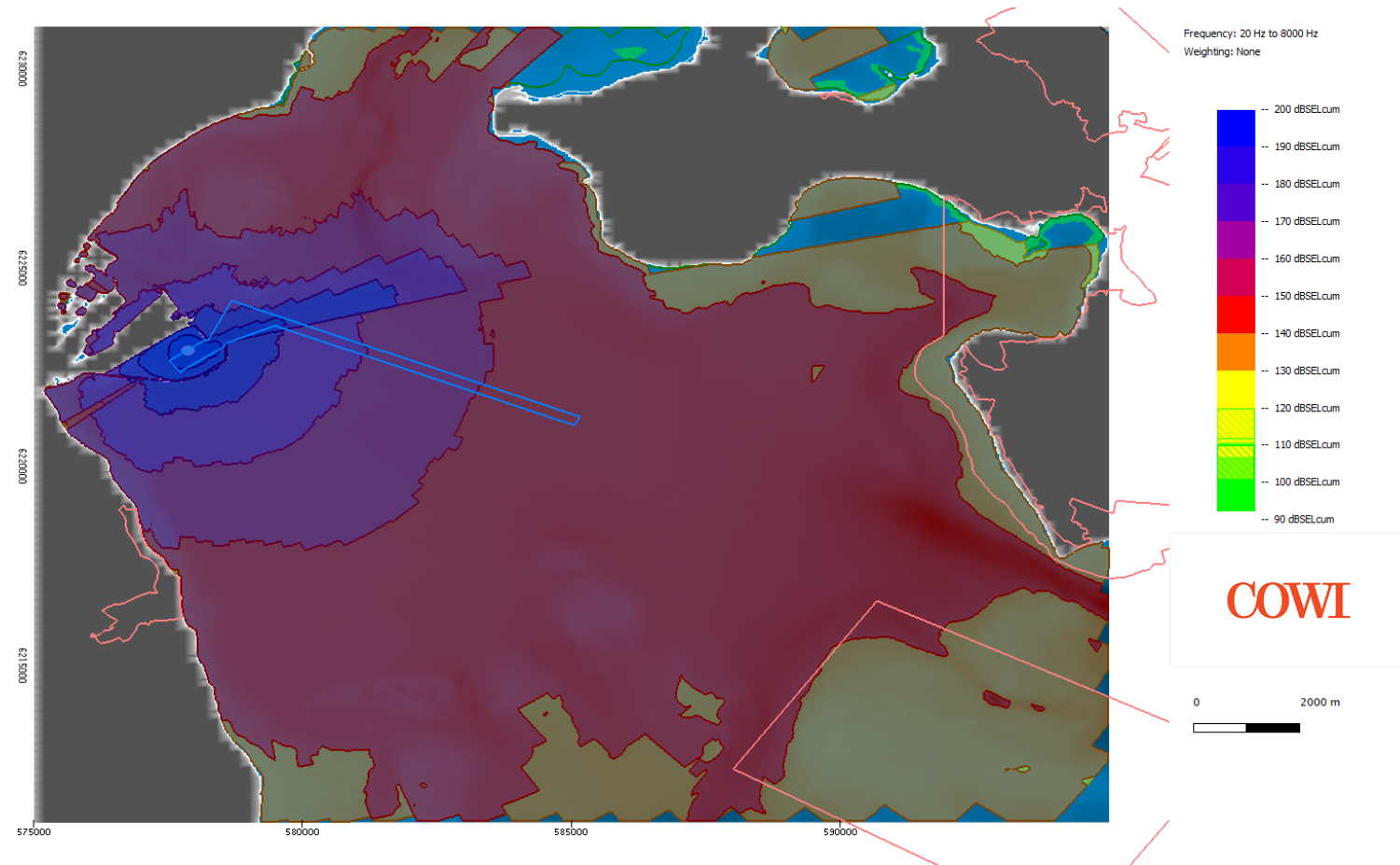
Figur 8 Scenarie A: Nedramning af spunsvægge. SEL_{ss} , vurderingsperiode = 1 s.



Figur 9 Scenarie A: Nedramning af spunsvægge (estimat inkl. tilstedeværelse af moler). SEL_{ss} , vurderingsperiode = 1 s.



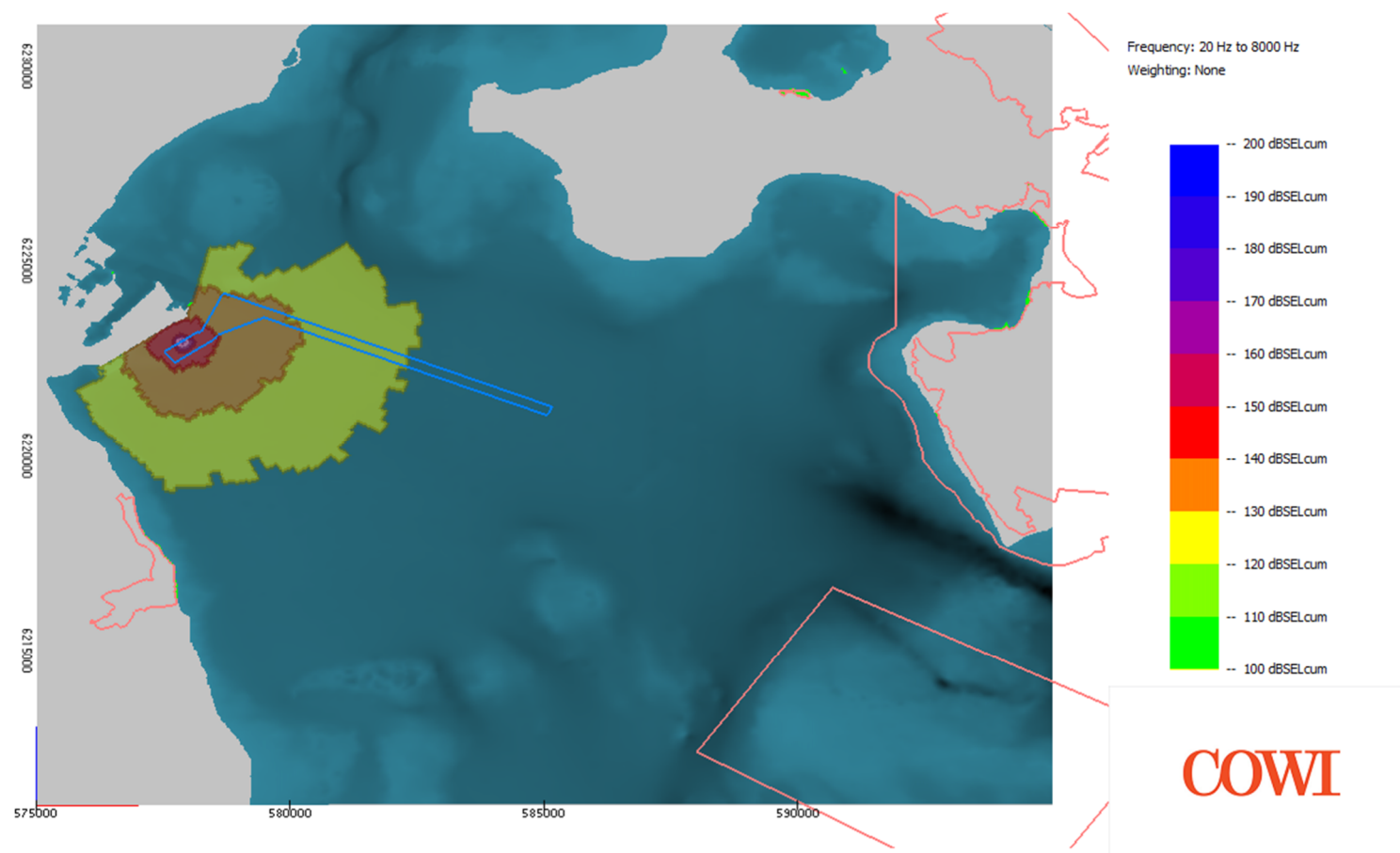
Figur 10 Scenarie A: Nedramning af spunsvægge. SEL_{cum} , vurderingsperiode = 20 min.



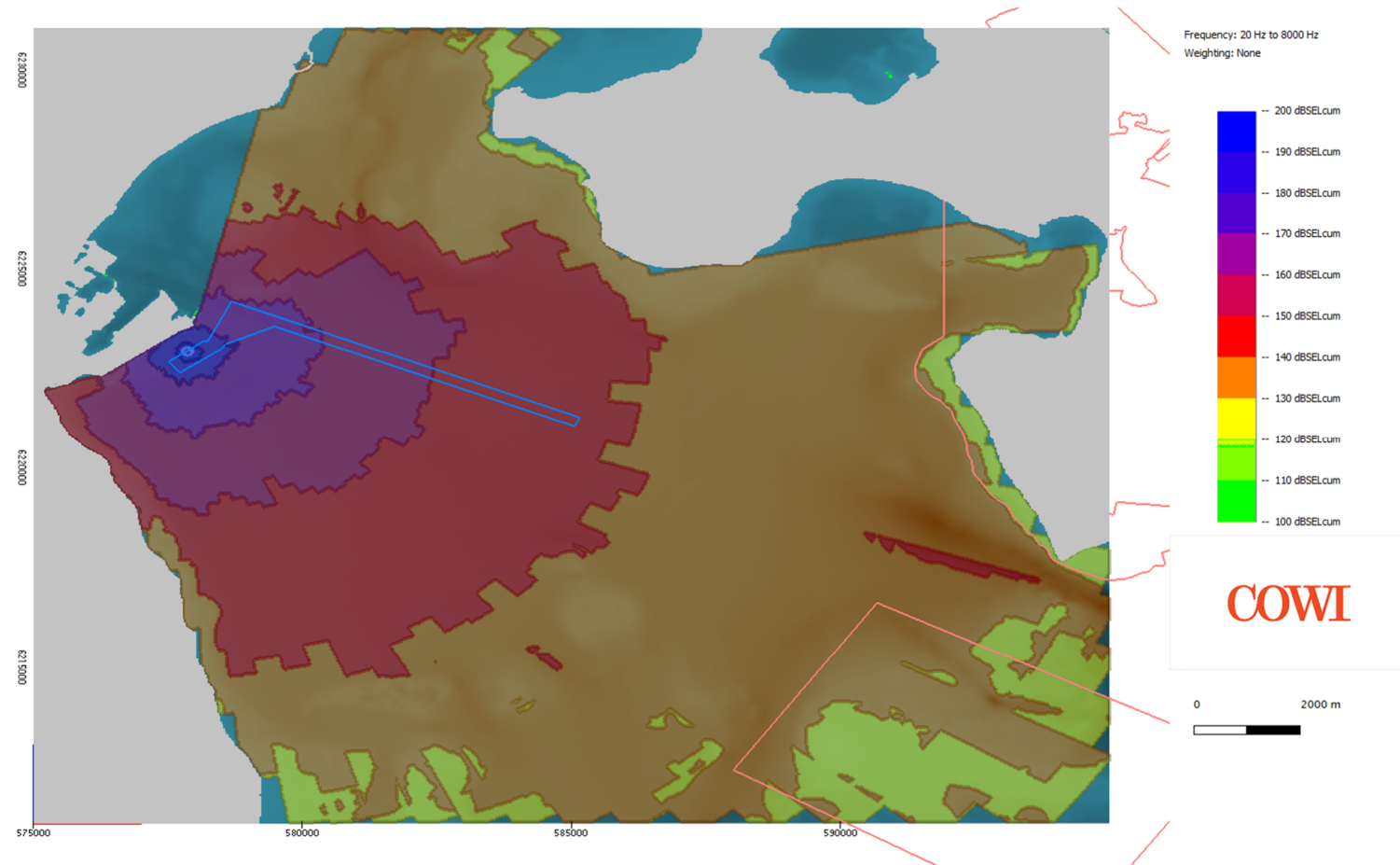
Figur 11 Scenarie A: Nedramning af spunsvægge (estimat inkl. tilstedeværelse af moler). SEL_{cum} , vurderingsperiode = 20 min.

Bilag B Støjkort Scenarie B

Bemærk: De præsenterede støjniveauer er uvægtede, totale støjniveauer. De repræsenterer det maksimale niveau over alle dybder og viser konturlinjer for hver 10 dB.



Figur 12 Scenarie B: Nedvibrering af spunsvægge. SEL, vurderingsperiode = 1 s.



Figur 13 Scenarie B: Nedvibrering af spunsvægge. SELcum, vurderingsperiode = 20 min.

