

BIJLAGE 1

Retouradres: Postbus 155, 2600 AD Delft

Royal Haskoning
Businessgroep Industrial Sustainability
Divisie Milieu
T.a.v. dr. I. Thonon
Postbus 8520
3009 AM ROTTERDAM

Onderwerp

Onderwatergeluid bij de aanleg en het in bedrijf zijn van de CO₂ opslag in het kader van het ROAD project.

Auteurs:

G. Blacquière, D. Kaptein, C.A.F.de Jong, L.J. van Lier

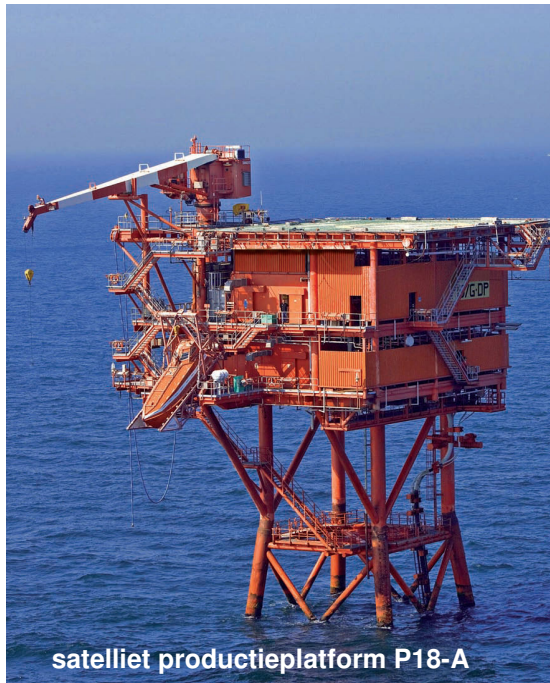
1 Achtergrondinformatie – Introductie

Bij de aanvraag van diverse vergunningen in het kader van het ROAD project voor CO₂ opslag speelt geluid een rol. Het gaat hier om de injectie van CO₂ in de diepe ondergrond (leeggeprocudeerde gasreservoirs) van de Noordzee, TNO is betrokken bij het gedeelte onderwatergeluid.

Onderwatergeluid speelt zowel bij de aanleg van de CCS (carbon capture and storage) installaties als bij het in bedrijf zijn daarvan. We onderscheiden de volgende vijf activiteiten die onderwatergeluid produceren:

Aanleg:

1. Het aanpassen van het satelliet-productieplatform P18-A om dit geschikt te maken voor CO₂ injectie.
2. Het boren ten behoeve van de CO₂ leiding in het havengebiedtraject
3. Het ingraven van de CO₂ leiding in de waterbodem in het zeetraject; het ingraven van de elektriciteitskabel.



TNO

Stieltjesweg 1
2628 CK Delft

Postbus 155
2600 AD Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 20 00

F +31 88 866 06 30

Infodesk@tno.nl

Datum

5 april 2011

Onze referentie

TNO-MEM-2011-00473

E-mail

dick.kaptein@tno.nl

Doorkiesnummer

+31 88 86 68003

Doorkiesfax

+31 88 866 06 30

Projectnummer

052.01027

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl. Op verzoeken zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655 .

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
2

In bedrijf:

4. Het onderwatergeluid ten gevolge van regelkleppen en het stromen van het CO₂ in de leiding en de risers bij het platform.
5. Het onderwatergeluid bij een calamiteit waarbij de leiding kapot gaat.

Deze activiteiten worden nu achtereenvolgens kort besproken, waarbij informatie is opgenomen die verkregen is in diverse gesprekken met de opdrachtgever en via diverse door de opdrachtgever aan TNO ter beschikking gestelde documenten. Deze informatie is gedurende de looptijd van het project diverse malen besproken met de opdrachtgever.

1.1 Het aanpassen van het satellietplatform om dit geschikt te maken voor CO₂ injectie

Bij dit satellietplatform komen nu meerdere gasproductieputten samen, wordt het gasvolume gemeten en wordt het gas doorgezonden naar een groter platform. Het satellietplatform is onbemand en wordt eenmaal per maand bezocht door een helikopter die onderhoudsmensen afzet en ophaalt.

De aanpassingen behelzen: ruimte creëren voor meetapparatuur, het installeren van een heater (ten behoeve van de opwarming van CO₂) met hulpsystemen, het aanpassen van enkele putten voor CO₂ toevoer/opslag.

De werkwijze is als volgt: één of meer sleepboten slepen een drijvend rig naar het platform dat zichzelf vervolgens positioneert op de zeebodem. In eerste instantie zullen twee putten worden aangepast. Later nog eens drie. De aanpassing duurt zo'n 4 à 6 weken per put. Dit betekent in totaal (2+3) * (4 à 6) is zo'n 20 à 30 weken activiteiten, verspreid over meerdere jaren.

De eerste putten P18-14A2 en P18-6A7 (respectievelijk in reservoirs P18-4 en P18-6) worden bij voorkeur gezamenlijk aangepakt om (de)mobiliseerkosten te besparen. Deze werkzaamheden zullen waarschijnlijk in 2014 plaatsvinden.

Behalve de putten die aankomen bij het satellietplatform is er nog een extra put (exploratieput P18-2) die niet rechtstreeks op dit platform uitkomt, maar deze is via een pijpleiding verbonden met het platform. Om deze put aan te passen zijn dus werkzaamheden op afstand van het platform nodig. Deze put zal pas in 2016 aangepast worden, maar de plannen hiervoor zijn echter minder concreet.

De werkzaamheden om een put aan te passen zijn als volgt:

- De bestaande tubing wordt er uit getrokken.
- Alleen bij 18-02: er worden drie pluggen (cementlaag van ongeveer 50 m lengte) weggeboord. Deze pluggen bevinden zich op ongeveer 50 m diepte, 1500 m diepte en 3000 m diepte (dus over de gehele lengte van de put). Elke boring duurt ongeveer 5 werkdagen. De overige putten (18-04 en 18-06) hebben alleen een diepe plug, dus op 3000 m diepte (orde van grootte).
- Een nieuwe tubing die geschikt is voor CO₂ injectie wordt aangebracht.

Als de putten zijn aangepast, duren de overige werkzaamheden nog zo'n zes maanden. De bemanning zal verblijven op een schip. In deze periode zal er gemiddeld één bevoorradingsschip per dag van en naar het platform gaan (vanuit IJmuiden, Rotterdam, Den Helder, etc.). Het personeel zal per helikopter reizen. De normale vlieghoogte van de helikopter is 500 m; de heli landt op het platform op ongeveer 12 m hoogte.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
3

1.2. Het boren ten behoeve van de CO2 leiding in het havengebiedtraject

Onder de vaargeulen van de Rotterdamse haven wordt de buisleiding verdiept aangelegd: 7 m onder de waterbodem in het zand. De boring begint op land aan de kant van de MVII en komt uit in het water aan de zee kant. De boring is van het type HDD (Horizontal Directional Drilling).

1.3. Het ingraven van de CO2 leiding in de waterbodem in het zeetraject; het ingraven van de elektriciteitsleiding

Het ingraven vindt plaats over een traject van ongeveer 20 km lengte. Er wordt een sleuf gefreesd in de zeebodem door schip A, terwijl schip B (de pijpenlegger, zie figuur van de 'Solitaire') de pijp in de sleuf plaatst. De pijp wordt op het schip segment voor segment aan elkaar gelast, waarna de leiding via het achterschip de zee in gaat. Tijdens het pijpenleggen wordt het schip



nauwkeurig op de gewenste, stabiele positie gehouden met een dynamic positioning system, waartoe een aantal thrusters in bedrijf is (zie inzet). Tenslotte wordt de pijp afgedekt met zand.

Een elektriciteitskabel zal op dezelfde manier worden gelegd.

De verwachting is dat bij deze activiteiten het scheepsgeluid de dominante geluidsbron is. Naar verwachting dient, naast het frezen van de sleuf voor de buisleiding en elektriciteitskabel, van een aantal onderwaterduinen het 'topje' (ca. 0,5 m) weggebaggerd te worden. Het totale volume is waarschijnlijk verwaarloosbaar klein.

De werkzaamheden duren in de orde van 3 à 4 weken per leiding, dus in totaal 6 à 8 weken. Hierbij wordt 24 uur per etmaal gewerkt.

Ten behoeve van het dynamic positioning system beschikt de Solitaire over 10 thrusters met een totaal vermogen van 50.000 kW. De thrusters zijn computergestuurd waarbij gebruik gemaakt wordt van nauwkeurige plaatsbepaling.

De pijpenlegger is 300 m lang, 41 m breed en biedt plaats aan 420 bemanningsleden.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
4

1.4. Het onderwatergeluid ten gevolge van het stromen van het CO₂ in de leiding



Bij een in bedrijf zijnde CO₂ injectie kan stromingsgeluid optreden in de buisleiding. Deze bevindt zich 1 m onder de waterbodem. Gegevens bij het maken van eventuele berekeningen zijn: CO₂ transport: 47 kg/s; druk in de leiding 80 bar; dichtheid van CO₂ 200 kg/m³; pijpdiameter 16 inch; 20 mm wanddikte staal; isolatielaag van 15 mm polyethyleen en 5 mm HD cover.

Voor de riser pijpen wordt aangenomen: 16 inch diameter, 20 mm wanddikte staal; geen isolatie.

Merk op dat de regelkleppen bij een in bedrijf zijnde CO₂ injectie-installatie open staan. Dit is echter niet het geval tijdens de opstart.

Verwacht wordt dat de installatie gemiddeld 12 maal per jaar wordt opgestart.

Het opstarten duurt 57 uur als het nodig is om het gas te verwarmen (alleen bij een start nadat de installatie langere tijd niet gebruikt is).

Merk op dat de aardgaswinning nog enige tijd doorgaat, tegelijkertijd met de CO₂ injectie. De aardgasdruk is nu lager dan in het begin van de productie omdat het veld al voor een groot gedeelte is 'leeg geproduceerd'. Daarom is ook de geluidsproductie door de regelkleppen lager.

1.5. Het onderwatergeluid bij een calamiteit waarbij de leiding kapot gaat

De kans op een calamiteit wordt zodanig klein geacht (0,5 % per 40 jaar) dat een inventarisatie van het onderwatergeluid dat tengevolge van zo'n calamiteit zou kunnen ontstaan voorsnog niet onderzocht is. We verwijzen hier naar de Risicoanalyse van Tebodin (Bijlage T4) voor een nadere analyse van een dergelijke calamiteit.

2. Onderwatergeluid - inzicht van TNO

Bij het samenstellen van deze notitie is de volgende aanpak gevolgd:

- TNO gaat in op de genoemde bronnen van onderwatergeluid, waarbij de nadruk in eerste instantie ligt op kwalitatieve resultaten (of ruw-geschat kwantitatief). Hierbij speelt de aard van het geluid (frequentiebereik, tijdsduur, continu of niet, etc.) een rol. Doel is om in te schatten of de geplande activiteiten zullen leiden tot een significante toename van het onderwatergeluid. De resultaten worden besproken met de opdrachtgever en de betrokken ecooloog.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
5

- Op basis van dit gesprek (heeft inmiddels plaatsgevonden) is het volgende afgesproken: Voor enkele bronnen, te weten het scheepvaartgeluid van de pijpenlegger, het wegboren van de pluggen, het stromingsgeluid van de CO₂ aanvoerleiding en overige geluiden in de directe omgeving van het platform, is vastgesteld dat een nadere analyse gewenst is.

De resultaten van deze werkwijze worden nu beschreven, maar we beginnen met een korte inleiding op het onderwerp onderwatergeluid en de expertise van TNO.

2.1 Introductie onderwatergeluid - expertise - kader

Het onderwerp onderwatergeluid staat sinds enkele jaren op de agenda als mogelijke factor die van invloed is op het onderwatermilieu. Zeezoogdieren en vis zouden negatieve effecten kunnen ondervinden van een blootstelling aan onderwatergeluid. De eerste signalen die duidelijk maakten dat onderwatergeluid van invloed zou kunnen zijn, waren de strandingen van walvissen kort na sonaruitzendingen van marineschepen in de nabije omgeving.

Inmiddels wordt onderwatergeluid gezien als een relevante factor bij allerlei activiteiten op zee, bijvoorbeeld bij baggerwerkzaamheden of bij de bouw van windmolenparken op zee, waarbij de 'klappen' van de heiwerkzaamheden de belangrijkste bron van onderwatergeluid vormen. Ook de scheepvaart staat wat betreft onderwatergeluid in de belangstelling.

In zijn algemeenheid geldt dat de kennisopbouw over de *invloed* van het onderwatergeluid op het milieu (zeezoogdieren en vis) nog volop in ontwikkeling is. Op de Noordzee is de bruinvis, een kleine dolfijnachtige met een lengte van rond de 1,80 m en een gewicht van 60 kg, in dit verband een belangrijke soort. Dit dier heeft een hoog metabolisme waardoor het zeer geregeld moet eten en het vindt zijn voedsel via echolocatie. De bruinvis is dus voor zijn voortbestaan afhankelijk van geluid. Uit figuur 1 met het audiogram van de bruinvis blijkt dat hij het meest gevoelig is voor frequenties in de band van ongeveer 90 kHz tot 120 kHz, en bijvoorbeeld beduidend minder gevoelig voor frequenties onder de 500 Hz. In de praktijk betekent dit dat geluid met een frequentie van 500 Hz, luider moet zijn wil het invloed hebben op een bruinvis dan een geluid van 100 kHz. Over hoe deze frequentie-afhankelijkheid precies in rekening gebracht moet worden, zijn de deskundigen het nog niet eens. TNO hanteert in haar berekeningen de uitgangspunten zoals te vinden zijn in [3] en waarin de zogenaamde M-weging een rol speelt.

Een tweede zoogdier dat in dit kader in de belangstelling staat is de zeehond. Vissen zijn vooral gevoelig voor de lagere frequenties, in de frequentieband van 10 Hz tot 2000 Hz, terwijl de hoogste gevoeligheid voor veel vissen ligt tussen de 500 Hz en 1000 Hz [7]. Merk op dat de vissen, als voedsel voor de bruinvis en de zeehond, indirect dus ook relevant zijn voor deze (zee)zoogdieren. Het feit dat onderwatergeluid en de invloed daarvan op het milieu een relatief jong vakgebied is, brengt met zich mee dat niet over alle relevante bronnen van onderwatergeluid informatie beschikbaar is. Zo is er relatief veel informatie over schepen en het onderwatergeluid dat geproduceerd wordt bij de aanleg van windmolenparken op zee.

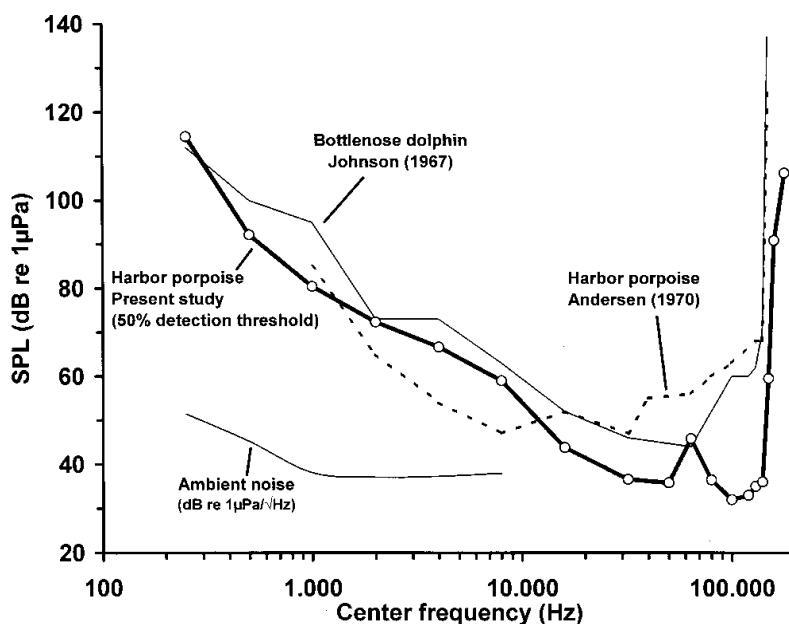
Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
6

Er is minder of geen informatie over het onderwatergeluid dat geproduceerd wordt door bijvoorbeeld boren, het stromen van gas door een leiding onderwater of in de bodem, of van de thrusters van een pijpenlegger. Alleen door ter plekke (of aan soortgelijke installaties in soortgelijke omstandigheden) te meten kan deze informatie worden verkregen.

Omdat dit vooralsnog niet aan de orde is, baseert TNO zich in dergelijke gevallen op data uit de literatuur, geïnterpreteerd door de eigen deskundigen ('expert judgement'), met de aantekening dat voortschrijdende kennis in de toekomst mogelijk kan leiden tot andere inzichten¹.



Figuur 1. Audiogram van de bruinvis (Kastelein et al.: Audiogram of a harbor porpoise; J. Acoust. Soc. Am., Vol. 112, No. 1, July 2002).

Tenslotte geven we aan dat de tijdsdruk op dit project, met een doorlooptijd van 14 dagen, hoog was. Dit betekent dat slechts beperkt literatuuronderzoek heeft kunnen plaatsvinden.

¹ Ter illustratie van het voortschrijdend inzicht merken we op dat het bruinvis audiogram in een recente publicatie is bijgesteld (Kastelein et al.: The effect of signal duration on the underwater detection thresholds of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) for single frequency-modulated tonal signals between 0.25 and 160 kHz; J. Acoust. Soc. Am., Vol. 128, No. 5, November 2010). Die bijstelling heeft geen effect voor het frequentiegebied waarin het gehoor gevoelig is, maar wel op de niveaus.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
7

2.2 Methode

Om de verwachte hoeveelheden onderwatergeluid in verband te brengen met de invloed ervan op de dieren, wordt uitgegaan van het begrip TTS (temporary threshold shift) ofwel tijdelijke gehoorschade. Dit is een veelgemaakte keus. Andere mogelijkheden zouden bijvoorbeeld kunnen zijn permanente gehoorschade of gedragsbeïnvloeding.

De verwachte hoeveelheid onderwatergeluid is bepaald op basis van een beperkt literatuuronderzoek of gebaseerd op bij TNO aanwezige informatie. Vervolgens is vastgesteld of er sprake is van TTS bij de bewuste activiteit (boren, baggeren, etc.) en zo ja, tot op welke afstand van de activiteit. We noemen dit de 'veilige' afstand.

De maat die voor TTS gehanteerd wordt is het 'Sound Exposure Level' [7]. Dit is een maat voor de hoeveelheid geluid waaraan een dier wordt blootgesteld gedurende een periode van 24 uur. Het is dus een *cumulatieve* maat. De formule voor SEL is de volgende:

$$SEL = 10 \log_{10} \left(\int_{0h}^{24h} \frac{p_w^2(t)}{p_{ref}^2 t_{ref}} dt \right) \quad [\text{dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}].$$

Hierin is p_w de geluiddruk, p_{ref} de referentiedruk van 1 μPa en t_{ref} de referentietijd van 1 s. Voor de bruinvis en de zeehond geldt dat de geluiddruk gewogen wordt. De weging is de M-weging zoals gegeven door Southall et al. [3]. Deze weging brengt het effect in rekening dat elk dier een specifiek gehoor heeft en dus niet voor alle frequenties even gevoelig is. Voor vis wordt echter een ongewogen Sound Exposure Level als maat gehanteerd.

Als het TTS niveau wordt bereikt wil dit niet zeggen dat een dier dan altijd tijdelijke gehoorschade zal ondervinden. Tijdelijke gehoorschade treedt immers pas op als het dier gedurende 24 uur wordt blootgesteld aan dat niveau. In de praktijk kan het dier dus gedurende een kortere periode worden blootgesteld aan een bepaald geluidniveau zonder dat het tijdelijke gehoorschade zal oplopen. Een dier kan bijvoorbeeld van noord naar zuid voorbijtrekken in een korte periode zonder dat tijdelijke gehoorschade optreedt, terwijl een dier dat gedurende 24 uur in de omgeving verblijft bij hetzelfde geluidniveau wel tijdelijke gehoorschade kan oplopen.

Anderzijds zou een dier ook in een kortere periode al tijdelijke gehoorschade kunnen oplopen: namelijk als het TTS niveau al na minder dan 24 uur bereikt wordt.

De drempelwaarden voor TTS uitgedrukt als M-gewogen Sound Exposure Level zijn ([3], [7]):

195 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de bruinvis.

183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de zeehond.

Voor vis zijn de TTS drempelwaarden uitgedrukt als ongewogen Sound Exposure Level:

187 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor vis.

183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor kleine vis (< 2 g).

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
8

Nu is het zo dat in de literatuur meestal niet gesproken wordt over het (gewogen) Sound Exposure Level, maar over het Sound Pressure Level. Het verschil tussen de beide maten is dat de eerste betrekking heeft op een periode van 24 uur, terwijl de tweede betrekking heeft op een periode van 1 seconde.

Om een zinvolle vergelijking te kunnen maken, rekenen we het Sound Pressure Level in zo'n geval om naar een Sound Exposure Level door te integreren over een periode van 24 uur. Deze omrekening komt neer op +49 dB re 1s, overeenkomend met tien maal het logaritme van het aantal seconden in een etmaal: $10\log(86400)$. Concreet betekent het dat 49 dB re 1s moet worden opgeteld bij de in de literatuur genoemde waarden voor onderwatergeluid bij de diverse activiteiten om deze te kunnen vergelijken met de drempelwaarde.

We merken op dat de in de literatuur gevonden waarden voor het onderwatergeluid dat vrijkomt bij de diverse activiteiten, *niet* voorzien zijn van de M-weging, terwijl de grenswaarden hier wel van uitgaan. In de praktijk zullen daardoor de werkelijke, gewogen 'Sound Exposure Levels' wat lager uitkomen dan de berekende, hetgeen de 'gevaarzone' verkleint.

Tenslotte hanteren we het begrip 'veilige' afstand. Dit is de afstand tot de activiteit waarvoor geldt dat een dier bij een verblijf van 24 uur geen tijdelijke gehoorschade zal oplopen omdat het cumulatieve geluid op die afstand niet meer het TTS niveau overschrijdt. We geven een voorbeeld van een berekening. Stel dat we uit de literatuur vinden dat het TTS-niveau met 4 dB wordt overschreden op een afstand van 100 m van de activiteit (boren, baggeren, etc.), dan rekenen we de veilige afstand uit via de formule: $10\log(R)=10\log(100)+4$. Hierbij is R de veilige afstand. Deze formule veronderstelt een zogenaamde cilindrische uitbreiding van het geluid. Deze uitbreiding zorgt ervoor dat het geluid steeds zwakker wordt naarmate de afstand groter wordt. In de praktijk is deze formule voor cilindrische uitbreiding een 'worst case', want vaak zal de verzwakking wat sterker zijn. Het is daarmee een veilige keuze. De werkelijke verzwakking hangt echter af van veel factoren: de waterdiepte, het bodemtype, de weersgesteldheid (golven, wind), etc. We vinden in dit voorbeeld een veilige afstand van ongeveer 250 m. Een dier (bijvoorbeeld bruinvis, zeehond, vis) dat zich dus gedurende 24 uur *binnen* deze afstand ophoudt krijgt te maken met tijdelijke gehoorschade, *daarbuiten* niet. Op een soortgelijke wijze kan het begrip 'veilige' verblijfsduur worden vastgesteld. Deze tijd geeft aan hoe lang een dier zich op 100 m afstand van de bron mag bevinden zonder het TTS niveau te bereiken. Stel dat we in de literatuur vinden dat het TTS-niveau met 4 dB wordt overschreden op een afstand van 100 m, dan berekenen we de veilige verblijftijd via: $10\log(T) = 10\log(86400) - 4$. Hierbij is 86400 het aantal seconden in een periode van 24 uur en T de veilige verblijftijd in seconden. In dit voorbeeld wordt deze 34396 s, ofwel ruim 9,5 uur. Het betekent dat een dier dat zich gedurende 24 uur op 100 m afstand ophoudt tijdelijke gehoorschade zal ondervinden, maar dat een dier dat zich maximaal 9,5 uur op 100 m afstand ophoudt geen tijdelijke gehoorschade zal ondervinden.

2.3 Resultaten

In deze sectie komen de vijf eerder geïdentificeerde activiteiten die onderwatergeluid produceren aan de orde.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
9

Inzicht van TNO over het onderwatergeluid bij het aanpassen van het satellietplatform om dit geschikt te maken voor CO2 injectie

2.3.1. Geluid van het boren

Het geluid onderwater wordt bij het boren veroorzaakt bij het contact van de draaiende boor met het gesteente (beton). Het geluid (de trillingen) plant zich onder meer voort via de boor die in rechtstreeks contact staat met het water. Uit de literatuur [1] blijkt dat boren vooral laagfrequent tonaal geluid veroorzaakt in de 31 Hz en 62 Hz 1/3 octaafbanden, grootteorde: 115 en 117 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ op achtereenvolgens 405 m en 125 m afstand. De boordiepte is hier in de orde van 3 km.

In [6] worden de volgende waarden aangegeven voor boorplatforms: 'received broadband levels' tot ongeveer 150 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ op een afstand van 100 m. Dit betreft behalve het boorgeluid ook alle machinegeluiden die op het boorplatform geproduceerd worden. Merk op dat de omstandigheden van deze literatuurresultaten niet volledig overeenkomen met de verwachte omstandigheden bij de werkzaamheden ten behoeve van ROAD. De navolgende interpretatie moet dan ook gelezen worden met dit voorbehoud. Alleen daadwerkelijke metingen tijdens de werkzaamheden kunnen de huidige kennisleemte vullen.

Het omrekenen van de literatuurgegevens van Sound Pressure Level naar Sound Exposure Level betekent dat er 49 dB moet worden bijgeteld. Hiermee komen de literatuurwaarden achtereenvolgens uit op $(115+49=)$ 164, $(117+49=)$ 166 en $(150+49=)$ 199 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. De laatste waarde is dus 4 dB boven de drempel. Dit betekent dat een bruinvis die zich gedurende 24 uur ophoudt op een afstand van 100 m van de werkzaamheden te maken krijgt met TTS.

De 'veilige' afstand R berekenen we met de correctie: $10\log(R)=10\log(100)+4$. We vinden een waarde van ongeveer 250 m. Een bruinvis die zich dus gedurende 24 uur binnen deze afstand ophoudt krijgt te maken met tijdelijke gehoorschade, daarbuiten niet.

De veilige verblijftijd berekenen we met $10\log(T) = 10\log(86400) - 4$. Hiermee vinden we $T = 34396$ s, ofwel ruim 9,5 uur. Een bruinvis kan zich dus maximaal 9,5 uur op 100 m afstand van de boring bevinden zonder tijdelijke gehoorschade te ondervinden.

Er is aangetekend dat de in de literatuur genoemde getallen *niet* voorzien zijn van de M-weging. Deze weging zorgt er onder meer voor dat frequenties onder de 1000 Hz relatief weinig zullen bijdragen, waardoor de gewogen 'Sound Exposure Levels' vermoedelijk wat lager zullen uitkomen, hetgeen de 'gevaarzone' verkleint en de verblijftijd vergroot.

Voor vis wordt een drempelwaarde voor TTS gehanteerd van 187 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. Deze waarde is bedoeld voor heigeluid. Het is niet duidelijk of deze waarde ook mag worden toegepast bij continu geluid. Vaak gelden voor continu geluid minder strenge eisen (ofwel een wat hogere drempelwaarde), hetgeen betekent dat onze analyses voor vis aan de pessimistische kant zijn. Voorbeeld: elke 3 dB verhoging van de drempel betekent dat de 'veilige afstand' tot de bron halveert!

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
10

Hastings et al. [8] geven bijvoorbeeld aan dat zij in experimenten ook bij 190 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ nog geen TTS hebben kunnen constateren. Zij melden echter geen alternatieve drempel. Ons zijn hierover verder geen literatuurgegevens bekend. Dit voorbehoud moet gemaakt worden bij alle bronnen van geluid die hierna worden besproken in relatie tot het effect ervan op vis.

Een periode van 24 uur betekent weer dat 49 dB re 1s moet worden opgeteld bij de gevonden literatuurwaarden. Deze komen dan weer neer op achtereenvolgens 164, 166 en 199 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. Merk op dat dit laatste getal de drempel van 187 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ overschrijdt met 12 dB. Het betekent dat een vis die zich gedurende 24 uur op 100 m afstand van een booractiviteit ophoudt wordt blootgesteld aan een niveau dat de drempelwaarde voor TTS overschrijdt. De 'veilige' afstand kan als volgt berekend worden, uitgaand van cilindrische spreiding: $10\log(R)=10\log(100)+12$, ofwel $R = 1585$ m. De 'veilige' verblijftijd wordt berekend via $10\log(T) = 10\log(86400) - 12$, ofwel $T = 5451$ s, ofwel ruim 1,5 uur.

Voor kleine vis (< 2 gram) wordt een lagere drempelwaarde gehanteerd, namelijk 183 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ (SEL, ongewogen, periode van 24 uur). Dit betekent dat de drempel voor kleine vis met 16 dB wordt overschreden. Dit komt overeen met een veilige afstand van 3981 m, dus bijna 4 km. De veilige verblijftijd is 2170 s, ofwel 36 minuten.

Voor de zeehond geldt voor TTS een M-gewogen SEL van 183 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. De in dit document gegeven analyse voor kleine vis geldt daarom ook voor de zeehond: veilige afstand bijna 4 km, veilige verblijftijd 36 minuten. In de praktijk zal de afstand wat kleiner zijn en de verblijftijd wat groter omdat de literatuurwaarden niet M-gewogen zijn.

Samenvattend. Uitgaande van de literatuurgegevens blijkt dus dat bij het boren de drempelwaarde voor TTS voor de bruinvis niet wordt overschreden op afstanden van 250 m en verder, terwijl dit voor vis het geval is voor afstanden van 1585 m en verder, of 4 km en verder voor kleine vis, en ook 4 km en verder voor de zeehond, gezien vanaf de booractiviteiten. Omdat de literatuurgegevens zoals gemeld geen betrekking hebben op identieke omstandigheden, moeten deze afstanden niet gezien worden als absoluut, maar als een orde van grootte. Merk verder op dat de dieren zich kunnen verplaatsen naar een voor hen veilige afstand binnen de periode van 24 uur. Veilige verblijftijden op een afstand van 100 m zijn voor de bruinvis 9,5 uur, de zeehond 36 minuten, net als kleine vis, en grote vis 1,5 uur.

Zie Tabel 1 voor een samenvatting voor de 'veilige' afstand bij kortere verblijftijden. Hieruit blijkt dat een dier best dichterbij de bron kan komen. Bijvoorbeeld: een dier kan 8x dichterbij komen, maar ontvangt zijn 'dagdosis' dan ook 8x zo snel (uitgaande van een cilindrische uitbreiding van het geluid). Dus niet in 24 uur, maar in 3 uur. Men kan zich echter goed voorstellen dat een bruinvis in minder dan 3 uur voorbij zwemt en dus op redelijk korte afstand kan passeren zonder TTS.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

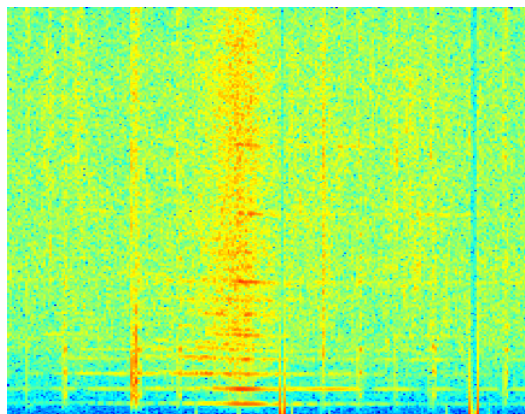
Blad
11

2.3.2. Helikoptergeluid

Het gedeelte helikoptergeluid dat vanuit de lucht doordringt tot in het water is zeer gering. Bij loodrechte inval op het water reflecteert meer dan 99,9% van het geluid aan het wateroppervlak – en blijft dus in de lucht – en minder dan 0,06% van het geluid dringt door tot in het water. Bij een hoek van 13 graden en groter dringt het geluid helemaal niet meer door in het water en reflecteert het volledig.

Dit betekent echter niet dat het helikoptergeluid onderwater onhoorbaar is. In [2] is bijvoorbeeld het spectrum te vinden van het geluid van een heli zoals dat met een hydrofoon onderwater opgenomen is. Het karakter is tonaal, met de nadruk op frequentiecomponenten onder de 50 Hz.

De lokale toename van het laagfrequente onderwatergeluid ten gevolge van helikoptervluchten zal niet leiden tot een directe beschadiging van het mariene leven. Vanwege het incidentele karakter en de beweging van helikoptervluchten zullen deze naar verwachting ook niet leiden tot een langdurige blootstelling van dieren aan geluid. De totale blootstelling zal dan ook gering zijn en niet de drempelwaarden voor TTS bereiken.



Figuur 2 Spectrogram van helikoptergeluid onderwater, opgenomen met een hydrofoon. (totale tijd op de horizontale as is 1 minuut; de verticale frequentieschaal: 0 Hz - 500 Hz) [2]

2.3.3. Scheepsgeluid

Het betreft een bezoek van een bevoorradingschip eenmaal per dag, komend vanuit Den Helder, Scheveningen, Rotterdam, etc. Als deze scheepsbeweging wordt afgezet op de totale hoeveelheid scheepvaart in dit gebied, is duidelijk dat de extra bijdrage ervan aan de totale blootstelling van dieren aan onderwatergeluid niet te kwantificeren is (te verwaarlozen).

Inzicht van TNO over het onderwatergeluid bij het boren ten behoeve van de CO₂ leiding in het havengebiedtraject

2.3.4. Geluid door boren in de ondergrond

De CO₂ leiding wordt langs dit traject geboord op 7 m diepte onder de waterbodem. De boorwerkzaamheden zullen voornamelijk lagere frequenties produceren, zie 1.1. De boring vindt plaats onder de monding van de Maas en de vaarroute, waar druk scheepvaartverkeer is.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
12

De boorinstallatie bevindt zich in zijn geheel ondergronds. Er is geen direct contact van de boor met het water, zoals dat wel het geval is bij een verticale boring. Daardoor is er dus geen directe overdracht van de trillingen van de boor naar het water. Tenslotte wordt hier geboord door het bodemmateriaal en niet door het harde beton.

De verwachting is dat het boorgeluid lokaal wellicht waarneembaar zal zijn, maar ten opzichte van het scheepvaartgeluid een ondergeschikte rol zal spelen.

Inzicht van TNO over het onderwatergeluid bij het ingraven van de CO2 leiding in de waterbodem in het zeetraject; het ingraven van de elektriciteitsleiding

2.3.5. Geluid bij het leggen van de CO2 transportpijpleiding

Bij de aanleg van de buisleiding wordt een zogenaamde pijpenlegger gebruikt. Het dynamische positioneringssysteem van een dergelijk schip maakt gebruik van sterke thrusters. Zo horen de thrusters van de Solitaire met hun vermogen van rond de 5000 kW tot de grote. De verwachting is dat zij veel onderwatergeluid produceren, waarbij cavitatie ('bellen') rond de thrusters een belangrijke bron is. TNO beschikt niet over het bronniveau van dit type thrusters en alleen metingen kunnen deze kennisleemte vullen. TNO kan echter bij deze analyse een 'best guess' maken voor het bronniveau, gebaseerd op beschikbare kennis omtrent baggerschepen.



Figuur 3 Enkele thrusters van de pijpenlegger 'Solitaire' (let op de man onder de kraan om een idee te krijgen van de grootte).

Een baggerschip produceert het meeste onderwatergeluid bij frequenties onder de 4 kHz, met een maximum in de band van 125 Hz tot 1 kHz. Hierbij moet men denken aan een bronniveau van rond de 185 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$.

Om het bronniveau – dat gerefereerd is aan een afstand van 1 m tot de bron – te kunnen vergelijken met eerdere gegevens (bij het boren) rekenen we het om naar een afstand van 100 m volgens de formule:

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
13

$185 - 10\log(R) - 10\log(h)$, waarbij R de afstand is (100 m), en h de waterdiepte waarvan we veronderstellen dat deze 25 m is. We vinden dan een Sound Pressure Level (SPL) van 151 dB re $1\mu\text{Pa}^2$.

We passen nu een correctie toe voor het feit dat het hier niet om een baggerschip gaat, maar om een pijpenlegger. We veronderstellen dat het niveau van de pijpenlegger dubbel zo groot is (meer en/of sterkere thrusters). Hiermee komen we +3 dB hoger uit op 154 dB re $1\mu\text{Pa}^2$. Ook hier passen we weer een correctiefactor van +49 dB re 1s voor 24 uur toe om het Sound Exposure Level te kunnen vergelijken met de drempelwaarden voor TTS uit de literatuur. Het Sound Exposure Level wordt hiermee 203 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$.

Als drempelwaarde voor de bruinvis hanteren we weer het M-gewogen 'sound exposure level' van 195 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. Deze waarde wordt dus met 8 dB overschreden. De 'veilige afstand' tot de pijpenlegger kan berekend worden via $10\log(R)=10\log(100)+8$, ofwel $R = 631$ m. Een bruinvis die zich gedurende 24 uur ophoudt binnen deze afstand krijgt te maken met TTS.

De veilige verblijfstijd voor een afstand van 100 m is bijna 4 uur.

Merk op dat de M-weging (niet uitgevoerd) deze afstand in de praktijk wat zal verkleinen en de verblijfstijd wat zal verlengen.

Voor grote vis geldt weer een drempelwaarde van 187 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$, met de aantekening dat deze waarde betrekking heeft op heigeluid. Bij continu geluid mag vermoedelijk een hogere drempel worden gehanteerd, maar hierover is ons geen literatuur bekend. De overschrijding is dus 16 dB. De veilige afstand is $10\log(R)=10\log(100)+16$, ofwel 3981 m, dus bijna 4 km. Veilige verblijfstijd: 36 minuten.

Voor kleine vis (< 2 gram) geldt een drempelwaarde van 183 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$.

De overschrijding is dus 20 dB. De veilige afstand is $10\log(R)=10\log(100)+20$, ofwel 10 km. Veilige verblijfstijd 14 minuten.

De afstand van 10 km (bij 24 uur verblijf) en de verblijfstijd van 14 minuten (op 100 m afstand) gelden ook voor de zeehond.

Zie de 'veilige' afstand bij kortere verblijftijden in tabel 1.

2.3.6. Geluid bij het baggeren van zandduintjes

Ten opzichte van de pijpenlegger die hiervoor besproken is, gaan we voor een baggerschip uit van een SPL van 151 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ op een afstand van 100 m. De correctie van 49 dB re 1s voor een periode van 24 leidt tot 200 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. De TTS drempelwaarde voor de bruinvis is 195 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$, wat een overschrijding van 5 dB betekent. De veilige afstand is 316 m en vermoedelijk wat minder als de M-weging wordt toegepast. Veilige verblijfstijd: 7,5 uur.

De TTS drempelwaarde voor vis is 187 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$, wat een overschrijding van 13 dB betekent. De veilige afstand is 1995 m, dus ongeveer 2 km. Veilige verblijfstijd: 72 minuten.

Voor kleine vis is de drempel 183 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$, wat een overschrijding van 17 dB betekent. De veilige afstand is hiermee iets meer dan 5 km. Veilige verblijfstijd: 28 minuten.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
14

Ook voor de zeehond geldt een veilige afstand van iets meer dan 5 km en een veilige verblijfstijd van 28 minuten.

Zie de 'veilige' afstand bij kortere verblijftijden in tabel 1.

Inzicht van TNO over onderwatergeluid ten gevolge van het stromen van het CO₂ in de leiding

Het bijgevoegde memo 2 van Leonard van Lier, TNO Delft, "CO₂ injectie P-18A: onderwater geluid afstraling" bevat informatie over dit onderwerp.

Samengevat zijn de resultaten als volgt:

- Het maximale stromingsgeluid bij de productie van aardgas (in de beginperiode van de winning) is hoger dan het maximale stromingsgeluid bij de injectie van CO₂.
- Het maximale stromingsgeluid bij de injectie van CO₂ is vergelijkbaar met het stromingsgeluid van de aardgasproductie van enkele jaren geleden.
- In de meeste doorgerkende scenario's is het stromingsgeluid van de CO₂ injectie veel lager dan het stromingsgeluid bij de aardgasproductie in de afgelopen jaren.

Als orde van grootte van het maximale stromingsgeluid bij de CO₂ productie moet men denken aan een bronniveau van 90 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$. Dit niveau heeft betrekking op een afstand van 1 m tot de bron. Omgerekend naar een afstand van 100 m komt dit neer op Sound Pressure Level van 56 dB re 1 μPa^2 (berekend via $90 - 10\log(R) - 10\log(h)$, met $R = 100$ m en $h = 25$ m). Dit is een (zeer) lage waarde die niet leidt tot TTS bij de bruinvis, de zeehond of vis.

3. Samenvatting

Tijdens de constructiewerkzaamheden van de CO₂ injectie-installaties overschrijden diverse werkzaamheden de door Southall et al. [3] gepubliceerde (en door Ainslie [7]samengevatte) waarden voor TTS (temporary threshold shift, tijdelijke gehoorschade). Het gaat hierbij om boren, pijpenleggen en baggeren.

De resultaten zijn te vinden in Tabel 1. De getallen hebben betrekking op een periode van 24 uur, maar een 'veilige' afstand is ook uitgerekend voor een kortere verblijfstijd van 6 resp. 3 uur. In dat geval kan het dier dichterbij de bron komen omdat het zijn 'dagdosis' dan in een kortere tijd ontvangt. Daarnaast is ook de 'veilige verblijfstijd' opgenomen die geldt voor een dier dat zich op 100 m afstand van de werkzaamheden bevindt.

De veilige afstand voor de bruinvis en de zeehond zal in de praktijk overigens wat dichterbij de bron liggen omdat de drempel is gebaseerd op een M-gewogen Sound Exposure Level; deze weging is echter niet toegepast bij de geluidniveaus zoals die uit de literatuur zijn verkregen. De veilige verblijfstijd is om diezelfde reden wat hoger.

Datum
5 april 2011

Onze referentie
TNO-MEM-2011-00473

Blad
15

Voor vis geldt dat de drempel gebaseerd is op een ongewogen Sound Exposure Level. Voor vis geldt ook dat ons geen drempelwaarde bekend is die specifiek betrekking heeft op continu geluid zoals dat optreedt bij boren, pijpenleggen en baggeren. De gepubliceerde drempel is gerelateerd aan heigeluid (pulsen). Vaak geldt voor continu geluid een hogere drempel dan voor pulserend geluid (zoals heigeluid), hetgeen leidt tot een kleinere 'gevaarzone' (elke 3 dB hogere waarde betekent een halvering van de 'veilige afstand') en een langere veilige verblijftijd, maar voor vis zijn ons hierover geen literatuurgegevens bekend.

Het TTS niveau wordt overschreden bij boren, pijpenleggen en baggeren. Overige activiteiten tijdens de aanlegfase produceren weliswaar onderwatergeluid, maar niet van dien aard dat dit aanleiding geeft tot een nadere kwantitatieve analyse.

Het stromingsgeluid in de riser pipes als gevolg van de CO₂ injectie of de aardgasproductie tijdens het in bedrijf zijn van de installaties leidt niet tot het TTS niveau. In zijn algemeenheid geldt bovendien dat het stromingsgeluid van de CO₂ injectie zich op een lager niveau bevindt dan dat van de aardgasproductie.

Tabel 1 Bron van onderwatergeluid en relatie met TTS voor bruinvis en vis

Bron van onderwater geluid	Diersoort	Drempel (dB re 1µPa ² s) cumulatief 24 uur	Sound Exposure Level (dB re 1µPa ² s) op 100 m afstand cumulatief 24 uur	Veilige afstand (m) (afgerond) bij verblijf 24 uur	Idem bij 6 uur verblijf	Idem bij 3 uur verblijf	Veilige verblijftijd op 100 m afstand
boren	bruinvis	195	199	250	63	32	9,5 uur
	grote vis	187	199	1 585	400	200	1,5 uur
	kleine vis	183	199	4 000	1 000	500	36 min.
	zeehond	183	199	4000	1.000	500	36 min.
pijpen leggen	bruinvis	195	203	630	160	80	4 uur
	grote vis	187	203	4 000	1.000	500	36 min.
	kleine vis	183	203	10 000	2 500	1 250	14 min.
	zeehond	183	203	10.000	2.500	1.250	14 min.
baggeren	bruinvis	195	200	315	80	40	7,5 uur
	grote vis	187	200	2 000	500	250	72 min.
	kleine vis	183	200	5 000	1 250	625	28 min.
	zeehond	183	200	5.000	1,250	625	28 min.

Datum

5 april 2011

Onze referentie

TNO-MEM-2011-00473

Blad

16

4. Literatuur

- [1] R. McCauley, 1998, Radiated underwater noise measured from the drilling rig Ocean General, rig tenders Pacific Ariki and Pacific Frontier, fishing vessel Reef Venture and natural sources in the Timor Sea, Northern Australia
Prepared for: Shell Australia; Shell House Melbourne;
PROJECT CMST; PORT C98-20; NTRE FOR MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY; RTIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
WESTERN AUSTRALIA 6102
- [2] Ferguson, B.G.; Lo, K.W.; Rodgers, J.D.; 2010; Sensing the underwater acoustic environment with a single hydrophone onboard an undersea glider; OCEANS 2010 IEEE - Sydney; Issue Date: 24-27 May 2010 ; On page(s): 1 - 5 Location: Sydney, NSW ; Print ISBN: 978-1-4244-5221-7
- [3] Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene Jr., C.R., Darlene, D.K., Ketten, 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(4), pp. 411-522
- [4] Jean-Pierre Henriët, Wim Versteeg, Peter Staelens, Jeroen Vercruyse & David Van Rooij; 2005; Monitoring van het onderwatergeluid op de Thorntonbank Referentietoestand van het jaar nul; Eindrapport JPH/2005/sec15;
Studie uitgevoerd in opdracht van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model Noordzee
- [5] Nathalie J. Patenaude¹, W. John Richardson¹, Mari A. Smultea¹, William R. Koski, Gary W. Miller, Bernd Würsig, Charles R., Greene JR., 2002, AIRCRAFT SOUND AND DISTURBANCE TO BOWHEAD AND BELUGA WHALES DURING SPRING MIGRATION IN THE ALASKAN BEAUFORT SEA, Marine Mammal Science, v18, p309-335.
- [6] W. John Richardson, Charles R. Greene, Jr., Charles I. Malme - 1998 - Marine Mammals and Noise - Nature - 576 pages
- [7] Michael A. Ainslie, 2010, Principles of Sonar Performance Modeling, Springer.
- [8] Hastings MC, Reid CA, Grebe CC, Hearn RL, Colman JG, 2008, The effects of seismic airgun noise on the hearing sensitivity of tropical reef fishes at Scott Reef, Western Australia, Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 30. Pt.5