



Aanleg van windparken in IJmuiden Ver en Nederwiek I

Beperken van onderwatergeluid en haalbaarheid van
geluidsnomen

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Revisie I 2.0

21-11-2023

Auteurs

Christ de Jong

Floor Heinis

Margo Broeren



Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
1.1	Aanleiding en doel	2
1.2	Uitgangspunten	2
2	Bepaling en beoordeling van ecologische effecten van onderwatergeluid	3
2.1	Dierversoringsdagen	3
2.2	Bandbreedte en onzekerheden	3
3	Reductie van onderwatergeluid tijdens heien	4
3.1	Ongemitigeerd heien	4
3.2	Overzicht en beschrijving in de praktijk toegepaste mitigatiesystemen	4
3.3	Behaalde geluidsreductie (effectiviteit)	5
3.4	Recente ontwikkelingen in mitigatietechnieken	7
4	Alternatieve installatietechnieken	7
5	Conclusies	11
5.1	Mitigatie	11
5.2	Alternatieve installatietechnieken	11
6	Referenties	12

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In het Kader Ecologie en Cumulatie (KEC 4.0), zie (Heinis, de Jong, & von Benda-Beckmann, 2022) is beschreven hoe het toepassen van een geluidnorm voor het heien van turbinefunderingspalen bijdraagt aan het reduceren van effecten op de bruinvispopulatie. In het KEC 4.0 en in de bandbreedte als voorgesteld in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) voor IJmuiden Ver is in eerste instantie een geluidsnorm van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ SELss (op 750 meter van de heilocatie) gehanteerd. Daarbij staat 'SELss' voor het ongewogen breedband geluidsblootstellingsniveau (sound exposure level), zoals gemeten op 750 m afstand van de heipaal volgens ISO 18406. Dit niveau mag in principe bij geen enkele klap op de heipaal overschreden worden¹.

De ontwerpkavelbesluiten en de concepttenderregelingen voor IJmuiden Ver zijn in de zomer van 2023 gepubliceerd en de definitieve stukken zijn eind 2023 voorzien. De kavelbesluiten bevatten onder ander de vereisten voor de bescherming van het onderwaterleven. Een van de maatregelen betreft het opleggen van een geluidsnorm tijdens de installatie van de funderingspalen om daarmee de hoeveelheid geproduceerd onderwatergeluid te beperken om daarmee effecten op de populaties van zeezoogdieren te minimaliseren. In de ontwerpkavelbesluiten voor IJmuiden Ver Alpha en Beta is de keuze gemaakt om een geluidsnormering te hanteren van 164 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ SELss (op 750 meter van de heilocatie). Deze keuze is gemaakt omdat na consultatie van ter zake deskundigen was geconcludeerd dat de kans op overschrijdingen van een onderwatergeluidsnorm van 160 dB zeer reëel is, zelfs bij toepassing van een combinatie van mitigerende maatregelen.

Het doel van dit memorandum is om op basis van de beschikbare kennis met betrekking tot de effectiviteit van huidige en in ontwikkeling zijnde mitigatiesystemen inzicht te geven in de haalbaarheid van een geluidsnorm van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ (op een afstand van 750). Daarnaast wordt een beschrijving van alternatieve, minder geluid producerende installatietechnieken opgenomen.

1.2 Uitgangspunten

Ingebruikname van de windparken rond 2029/2030. Het betreft de windenergiegebieden IJmuiden Ver (kavels Alpha, Beta, Gamma) en Nederwiek I. De vermogens van de windturbines die dan zullen worden opgesteld, liggen naar verwachting tussen 15 MW en 20 MW. Voor deze notitie is er verder van uitgegaan dat de turbines voor deze windparken op monopaal, tripod- of jacketfunderingen zullen worden geplaatst. Daarbij is het beperken van de productie van onderwatergeluid door het installeren van monopaalfunderingen maatgevend, omdat daarvoor vanwege de grotere diameter van de palen de meeste hei-energie nodig is.

¹ De geluidsnorm van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ SELss op 750 m is vergelijkbaar met de norm die in Duitsland wordt gehanteerd. Zowel in Nederland als in Duitsland bestaat er bij het handhaven van geluidsnormen echter enige coulance. In Duitsland is een overschrijding van de geluidsnorm bij 5% van de klappen toegestaan en in Nederland mag de opgelegde geluidsnorm tijdens het heien van de eerste 10 funderingspalen met maximaal 2 dB worden overschreden (zie bijvoorbeeld § 7.8.2 van het Ontwerpkavelbesluit IJmuiden Ver Alpha).

2 Bepaling en beoordeling van ecologische effecten van onderwatergeluid

2.1 Dierverstoringsdagen

Voor het bepalen van de effecten onderwatergeluid door de aanleg van windparken op het gedrag en het gehoor van zeezoogdieren en de doorwerking daarvan naar populaties is het Kader Ecologie en Cumulatie (KEC) ontwikkeld (Heinis & de Jong et al., 2015, 2019, 2022). In de KEC-procedure worden voor het inschatten van de effecten van (impulsief) onderwatergeluid op bruinvissen en zeehonden de volgende stappen onderscheiden:

1. Berekenen van de verspreiding van het geluid;
2. Berekenen van de oppervlakte verstoord gebied; de berekende geluidverspreiding en een geluidsdosis-effectrelatie voor het optreden van een effect op het gedrag of permanent effect op het gehoor zijn hiervoor bepalend;
3. Voor effecten op het gedrag (ervan uitgaande dat permanente effecten op het gehoor niet optreden of door het nemen van maatregelen worden voorkomen): berekenen van het aantal per heidag door geluid verstoorde bruinvissen en zeehonden uit de berekende verstoorde oppervlakten vermenigvuldigd met de lokale dichtheid van de dieren;
4. Voor effecten op het gedrag: berekenen van het aantal dierverstoringsdagen uit het aantal verstoorde dieren per dag vermenigvuldigd met het aantal verstoringdagen;
5. Schatten van de gevolgen voor de populatie en beoordelen of deze passen binnen de door de overheid gestelde ecologische doelstelling voor de uitrol van windenergie voor bruinvissen en zeehonden².

De KEC-procedure is in eerste instantie ontwikkeld voor het bepalen van effecten van het tijdens heien met een hydraulische impacthamer geproduceerde geluid. De KEC-procedure kan echter ook als kapstok worden gebruikt om de effecten van het niet-impulsieve geluid van alternatieve installatietechnieken in te schatten, zoals trilhamers. Voor de kwantificering van de eerste twee stappen van de procedure is de beschikbare informatie beperkt, maar voor de daaropvolgende stappen kan de KEC-procedure ongewijzigd worden gevolgd. Het (op basis van de beperkte informatie) berekende aantal dierverstoringsdagen kan vervolgens worden vergeleken met het aantal dierverstoringsdagen dat is berekend bij gebruik van een hydraulische impacthamer.

2.2 Bandbreedte en onzekerheden

Elke stap van de procedure die bij het bepalen van de effecten op populaties wordt doorlopen met de daarbij behorende parameters kent een bepaalde mate van onzekerheid. Het kan daarbij gaan om onzekerheden als gevolg van een min of meer bekende variatie of onzekerheden over de aard of het tempo van technische ontwikkelingen, maar ook als gevolg van het feit dat over een bepaalde parameter weinig of vrijwel niets bekend is (dit is een kennisleemte).

TNO heeft in de afgelopen jaren een suite van Aquarius rekenmodellen ontwikkeld waarmee de onderwatergeluidverspreiding rond een heipaal berekend kan worden. De keuze van een modelversie uit die suite hangt af van de beschikbare informatie en de complexiteit van de berekening. De onzekerheid in de berekende geluidverspreiding zou in theorie af moeten nemen wanneer meer gedetailleerde informatie

² Door de aanleg van windparken op zee moeten de populaties van bruinvissen, gewone zeehonden en grijze zeehonden op het NCP met grote zekerheid (>95%) op minimaal 95% van de huidige omvang blijven (ofwel: de kans dat de populatiereductie meer dan 5% bedraagt mag niet groter zijn dan 5% zijn).

beschikbaar is. De beperkte modelvalidatie aan de hand van meetgegevens voor het heien van funderingspalen voor offshore windturbines op het Nederlands Continentaal Plat (PAWP, Luchterduinen, Gemini; zie Binnerts et al. 2016) laat zien dat het nog niet goed mogelijk is om die onzekerheid te kwantificeren, omdat de bijdragen van de diverse parameters aan de onzekerheid niet goed kunnen worden gescheiden. In een eerdere studie bleek de ongewogen breedband SELs uit de (worst-case) Aquarius berekening, afhankelijk van de afstand tot de paal ongeveer 3 dB naar boven of beneden af te wijken van de maximaal gemeten waarde.

Voor het bepalen van het verstoringsoppervlak is in de KEC 4.0 procedure uitgegaan van geluidsdosis-effect relaties. Metingen van verstoring van bruinvissen bij het Gemini park (Geelhoed et al., 2018) suggereren dat deze berekening mogelijk leidt tot overschatting van aantal verstoorde bruinvissen ten opzichte van de daadwerkelijk gemeten verstoring bij het Gemini park (Geelhoed et al., 2018). Mogelijke verklaringen voor deze discrepanties kunnen zitten in de hypothese dat ook de frequentie-inhoud een rol kan spelen in de versturende werking van het geluid (Tougaard et al., 2015). De logische aanname dat een voor de gehoorgevoeligheid van dieren gewogen maat een betere voorspelling geeft voor de gedragsrespons dan een ongewogen maat, kon echter niet bevestigd worden in een nadere analyse van de meetgegevens van de Borssele en Gemini projecten (de Jong et al., 2022).

Ook de berekening van het mogelijke aantal verstoorde dieren per heidag is onzeker, vanwege diverse leemten in kennis over de aanwezigheid en het gedrag van bruinvissen en zeehonden, zie Heinis et al. (2022).

3 Reductie van onderwatergeluid tijdens heien

3.1 Ongemitigeerd heien

In de Milieueffectrapporten (MER) voor IJmuiden Ver Alpha en Beta worden de resultaten beschreven van door TNO met het Aquarius 4 model uitgevoerde berekeningen van het te verwachten onderwatergeluid bij het heien van monopaalen voor de fundering van windturbines met een vermogen van 15 en 20 MW. Daarbij zijn aannames gedaan voor de afmetingen van de monopaal en de toe te passen heihamer en maximale heiklapenergie. Gemiddeld over 9 locaties in het IJmuiden Ver gebied resulteren deze berekeningen voor ongemitigeerd heien in een SELs (op 750m) van 186 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de 15 MW variant en 187 dB voor de 20 MW variant (beide ± 1 dB). Voor Nederwiek I zijn door TNO voor 4 verschillende locaties berekeningen uitgevoerd. Voor ongemitigeerd heien resulteerde dit in een SELs (op 750 m) van 185 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de 15 MW variant en 187 dB voor de 20 MW variant (beide ± 1 dB).

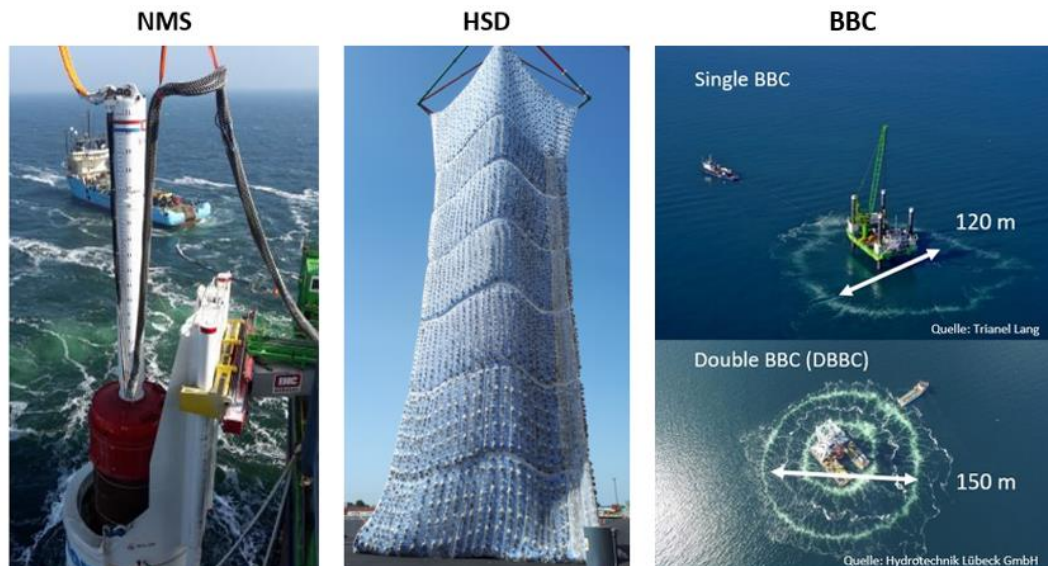
Om aan een geluidsnorm van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ te kunnen voldoen moet het geluid dus volgens deze berekeningen met ongeveer 26 tot 27 dB gereduceerd worden. De berekeningen zullen tot enigszins andere resultaten leiden wanneer de invoergegevens (monopaal- en hamerparameters) gewijzigd worden, maar in orde van grootte kan voor de in het MER toegepaste scenario's van de resultaten van deze berekeningen worden uitgegaan.

3.2 Overzicht en beschrijving in de praktijk toegepaste mitigatiesystemen

Geluidsbestrijdingssystemen (noise abatement systems) die in de praktijk veelvuldig worden toegepast zijn (zie Figuur 3-1):

- IHC Noise Mitigation Screen (IHC-NMS)

- Hydro Sound Damper (HSD)
- Enkele en dubbele bellenschermen: Big Bubble Curtain (BBC) en Double Big Bubble Curtain (DBBC).



Figuur 3-1. Geluidsbestrijdingssystemen: NMS, HSD en (D)BBC. Bron: BSH.

Noise Mitigation Screen (NMS). Dit is een holle pijp waar de paal in wordt gezet. Het NMS is geschikt voor palen met een diameter tot en met 8 meter en een maximale waterdiepte van 40 meter. Een belangrijk voordeel van dit systeem is dat het positioneren van de paal en meet-sensoren in het scherm zitten verwerkt.

Hydro Sound Damper (HSD). Dit is een net dat direct rond de paal wordt aangebracht. Het net bevat geluid mitigerende elementen, die gemaakt zijn van PE-foam of rubber. De hoeveelheid en grootte van de elementen kan worden aangepast, zodat het net situatie specifiek kan worden gemaakt.

Enkel en dubbel bellenscherm (BBC, DBBC). Een bellenscherm is een gordijn van luchtbellens dat op enkele tientallen tot honderden meters van de paal wordt geplaatst. Op de zeebodem ligt een luchtslang die aangesloten is op luchtcompressoren. De hierdoor gegenereerde luchtbellens blokkeren (een deel van) het tijdens het heien van de turbinefunderingen geproduceerde onderwatergeluid. Bellenschermen zijn vooral effectief in het reduceren van de wat hogere geluidsfrequenties (Bellmann et al., 2020). Afhankelijk van de verwachte geluidsniveaus kan een enkel of dubbel bellenscherm worden aangebracht. Het voordeel van het toepassen van bellenschermen is dat het systeem onafhankelijk is van de installatietechniek of het type fundering.

3.3 Behaalde geluidsreductie (effectiviteit)

Omdat geluidnormen voor offshore heiwerkzaamheden sinds 2011 toegepast worden in Duitsland, zijn er diverse mitigatiemaatregelen beschikbaar. Michael Bellmann van het Institut für technische- und angewandte Physik (itap) heeft in 2014 een overzicht gepresenteerd van meetresultaten van de tot op dat moment in de praktijk behaalde geluidreducties bij offshore heiwerkzaamheden (Bellmann, 2014). Alleen met een dubbele maatregel, zoals een scherm (HSD of IHC-NMS) nabij de monopaal plus een

bellengordijn (BBC), waren reducties groter dan ~15 dB behaald en de maximaal behaalde reductie was 23 dB.

In 2020 hebben Bellmann et al. dit overzicht geactualiseerd (Bellmann, et al., 2020). Onderstaande Tabel 3-1, overgenomen uit dat rapport, geeft aan dat de tot die tijd behaalde reductie met maatregelen in het water rond de paal maximaal 23 dB was. Daarbij wordt wel aangegeven dat verdere reductie mogelijk zou moeten zijn met behulp van “noise-optimized” hameren, waarbij de energie in elke hamerklap beperkt wordt tot wat strikt noodzakelijk is voor de voortgang van het heiproces, zodat ook het uitgestraalde geluid beperkt wordt. Dit overzicht is beperkt tot de in 3.2 beschreven systemen.

Table 4: *Achieved noise reduction of single Noise Abatement Systems and combinations of secondary Noise Abatement Systems in their respective optimized system configuration depending on different, technical-constructive and site-specific framework conditions. All basic underwater noise measurement data were collected in the North Sea with currents of up to 0.75 m/s and a sandy soil.*

No.	Noise Abatement System resp. combination of Noise Abatement Systems (applied air volume for the (D)BBC; water depth)	Insertion loss Δ SEL [dB] (minimum / average / maximum)	Number of foundations
1	IHC-NMS (different designs) (water depth up to 40 m)	13 ≤ 15 ≤ 17 dB IHC-NMS8000 15 ≤ 16 ≤ 17 dB	> 450 > 65
2	HSD (water depth up to 40 m)	10 ≤ 11 ≤ 12 dB	> 340
3	optimized double BBC* ¹ (> 0,5 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	15 – 16	1
4	combination IHC-NMS + optimized BBC (> 0,3 m ³ /(min m), water depth < 25 m)	17 ≤ 19 ≤ 23	> 100
5	combination IHC-NMS + optimized BBC (> 0,4 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	17 – 18	> 10
6	combination IHC-NMS + optimized DBBC (> 0,5 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	19 ≤ 21 ≤ 22	> 65
7	combination HSD + optimized BBC (> 0,4 m ³ /(min m), water depth ~ 30 m)	15 ≤ 16 ≤ 20	> 30
8	combination HSD + optimized DBBC (> 0,5 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	18 – 19	> 30
9	GABC skirt-piles* ² (water depth bis ~ 40 m)	~ 2 – 3	< 20
10	GABC main-piles* ³ (water depth bis ~ 30 m)	< 7	< 10
11	„noise-optimized“ pile-driving procedure (additional additive, primary noise mitigation measure; chapter 5.2.2)	~ 2 - 3 dB per halving of the blow energy	

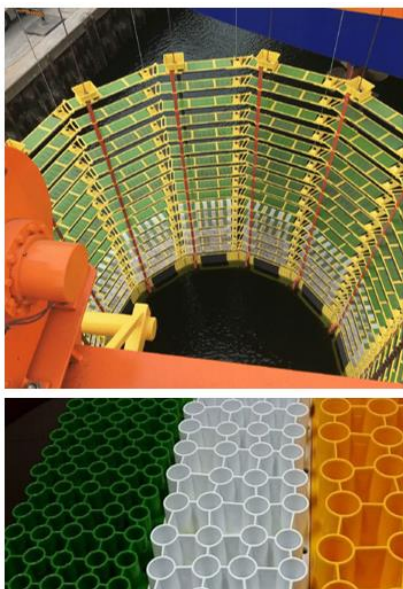
Tabel 3-1 Tabel uit rapport van Bellmann, et al., 2020.

3.4 Recente ontwikkelingen in mitigatietechnieken

Inmiddels zijn ook enkele systemen beschikbaar waarvan de resultaten niet in (Bellmann, et al., 2020) konden worden opgenomen.

3.4.1 AdBm

Het AdBm-systeem wordt, zoals IHC-NMS en HSD, direct rond de paal aangebracht. Het bestaat uit lamellen met lucht-gevulde kamertjes (zogenaamde Helmholtz-resonatoren), zie Figuur 3-2. Volgens in (Bellmann, et al., 2020) was de reductie bij de toepassing van dit systeem op vijf locaties bij de bouw van een Belgisch windpark minder dan 10 dB. Inmiddels is dit systeem ook toegepast bij de aanleg van het windparken Borssele III en IV. Daar is niet direct de reductie gemeten, maar de gemeten waarden van de SELss (op 750m) kunnen inzicht geven in de behaalde niveaus. Deze informatie is beschikbaar bij het bevoegd gezag, maar niet bij TNO/Pondera.



Figuur 3-2. AdBm-systeem. (Bron AdBm technology).

3.4.2 IHC PULSE and Menck MNRU

De twee grootste hamerleveranciers (IQIP en Menck) hebben inmiddels systemen ontwikkeld die tussen hamer en aambeeld³ kunnen worden aangebracht en waarmee de duur van de heiklap verlengd wordt, en daarmee het geluidsspectrum gereduceerd, met behoud van de kracht die nodig is om de paal in de grond te drijven. IQIP claimt met hun PULSE-systeem de SELss met 6 tot 10 dB te kunnen reduceren (<https://iqip.com/pulse/>). Menck claimt een 'noise level' reductie van 6 tot 12 dB, zonder daarbij aan te geven of dit SELss of het piekniveau betreft (<https://acteon.com/products-services/underwater-noise-environmental-impact-assessment/>). Of deze reducties al in de praktijk zijn aangetoond is onbekend.

4 Alternatieve installatietechnieken

Uit resultaten van proefprojecten is gebleken dat met andere technieken dan heien, zoals trilhaemers en blue piling een substantiële geluidsreductie is te bereiken (zie review van Verfuss et al., 2019). Hoewel

³ Zie de in appendix opgenomen figuur uit een brochure van IQIP.

dergelijke technieken veelbelovend zijn, worden ze voor windenergie op zee nog niet in de praktijk toegepast. Dit heeft er o.a. mee te maken dat nog niet zeker is of de monopaal bij toepassing van een van deze technieken net zo stevig is verankerd als wanneer wordt geheid ('axial bearing capacity'). Ook is er onzekerheid over de toepasbaarheid van deze technieken op dieper water. Voor trilhamers geldt bovendien dat gegevens over de aard van het geproduceerde geluid (frequentie-inhoud en niveaus) nog grotendeels ontbreken.

In het SIMOX project (Sustainable Installation of XXL Monopiles) wordt de toepasbaarheid van alternatieve funderingstechnieken onderzocht (www.grow-offshorewind.nl/). Doel van het project is om de bestaande en benodigde kennis op elkaar af te stemmen van nieuwe en innovatieve installatietechnieken en -mogelijkheden. Binnen het project wordt door de verschillende partners de nodige technische- en milieukennis verzameld, waaronder de resultaten van metingen van onderwatergeluid. Het streven is om binnen vijf jaar één of meerdere gekwalificeerde en gevalideerde installatietechnologieën voor de volgende generatie monopalen beschikbaar te hebben, maar het is de vraag of dit gaat lukken. Het project is in juni 2021 gestart en duurt tot juli 2024.

In dit project worden de volgende technieken onderzocht:

- Trillen
- Trillen in combinatie met *jetten* (vibrojetting)
- Gentle Driving of Piles (GDP)
- Blue piling

Trillen. Op de paal wordt een zogenaamde trilhamer aangebracht die er door trillingen, in plaats van door klappen, voor zorgt dat de paal de grond in zakt (zie Figuur 4-1). In deze trilhamer zitten excentrische gewichten die in tegengestelde richting draaien waardoor de horizontale worden geëlimineerd en alleen verticale trillingen op de paal worden overgebracht. Uit 'worst case' berekeningen voor de MERen IJmuiden Ver Gamma en Nederwiek I blijkt dat intrillen van een paal minder geluid genereert dan een traditionele hydraulische heihamer.



Figuur 4-1. Trilhamer. Bron: capeholland.com

Ter vergelijking: bij het op traditionele wijze ongemitigeerd heien van een paal van 15 MW in Nederwiek I is op 750 meter een SELss van 185 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ berekend. Dit resulteert in ruim 4.200 verstoorde bruinvissen per heidag. Het KEC 4.0 geeft nog geen aanwijzing voor het kwantificeren van de het effect van trilgeluid op zeezoogdieren, maar volgens de door SIMOX voorgestelde methodiek, zou bij het voor hetzelfde scenario intrillen van een paal het aantal verstoorde bruinvissen per dag 'worst case' rond 400 individuen liggen.

Vibrojetting is een techniek waarbij tijdens het intrillen van de paal de bodem vloeibaarder wordt gemaakt door deze te injecteren met een sterke waterstraal (Figuur 4-2). De combinatie van deze twee technieken zorgt ervoor dat de weerstand van de grond zodanig verlaagd wordt dat de paal door eigen gewicht in combinatie met op de paal aangebrachte trillingen makkelijker de bodem in gaat (zie www.gbmworks.com/projects voor een filmpje van de installatie van een paal op Maasvlakte 2). Het is de bedoeling om binnen het SIMPLE-III-project deze techniek op zee te testen, waarbij de nodige technische en milieukennis wordt verzameld, waaronder gegevens over onderwatergeluid (zie verder <https://www.grow-offshorewind.nl/project/silent-installation-of-monopiles-iii-simple-iii>).



Figuur 4-2. Jetting. Bron: GBM works.

Gentle Driving of Piles concept (GDP) is een nieuw ontwikkelde technologie waarin de monopaal de bodem in wordt gewerkt door een combinatie van laagfrequente verticale trillingen en hoogfrequent draaiend schudden van de paal (Figuur 4-3, links). Met deze, nog niet op zee toegepaste techniek wordt beoogd minder geluid te produceren.



Figuur 4-3. Links: Gentle Pile Driving. Bron: /grow-offshorewind.nl/project/gentle-driving-of-piles en rechts: Blue Piling Bron: www.iqip.com.

Blue piling is een nieuw ontwikkelde installatietechniek (Figuur 4-3, rechts). Bij de BLUE Piling-technologie wordt gebruik gemaakt van een grote waterkolom om een paal in de grond te heien. De waterkolom wordt omhoog gestoten door de verbranding van een gasmengsel. Deze waterkolom drukt de paal tijdens het omhoog springen omlaag en bij het neervallen van de waterkolom gaat de paal nog verder de zeebodem in. Dit wordt herhaald tot de paal de gewenste diepte bereikt heeft. Dit zorgt voor minder geluidsoverlast, omdat er sprake is van een lang uitgesmeerde klap. Het bedrijf IQIP claimt dat een geluidsreductie van meer dan 20 dB in vergelijking met conventionele heihammers mogelijk moet zijn (<https://iqip.com/wp-content/uploads/2021/12/Leaflet-BLUE-Piling-Technology.pdf>). De technologie is echter nog niet op volle zee getest.

5 Conclusies

5.1 Mitigatie

Volgens de Aquarius-berekeningen voor het MER zou een geluidreductie van ongeveer 27 dB nodig zijn om ervoor te zorgen dat het onderwatergeluid bij het heien voor monopalen voor windturbines in de windenergiegebieden IJmuiden Ver en Nederwiek I beneden een limiet van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ SELss (op 750 meter van de heilocatie) blijft. Tot nu toe is een dergelijke reductie nog niet in de praktijk aangetoond.

Combinatie van een scherm (HSD, NMS, AdBm) rond de paal met een dubbel bellenscherm (DBBC) levert naar verwachting een reductie van 18 tot 22 dB. IQIP en Menck claimen dat een geluidreductie van 6 tot 12 dB bereikt zou kunnen worden door het toepassen van een systeem (PULSE of MNRU) dat de hamerklap verlengt, maar dit is nog niet in de praktijk aangetoond. Het is ook niet duidelijk welke totale reductie kan worden bereikt door de combinatie van een dergelijk systeem met een mantel en bellenschermen.

5.2 Alternatieve installatietechnieken

Door het toepassen van andere installatietechnieken dan de traditionele hydraulische impacthammer, zoals trilhamers (eventueel in combinatie met jetting) of blue piling kan een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid geproduceerd onderwatergeluid worden bereikt. Geen van deze technieken is echter voldoende getest en/of gecertificeerd voor gebruik bij de installatie van turbinefunderingen voor windparken op zee.

6 Referenties

- Bellmann, M. (2014). Overview of existing noise mitigation systems for reducing pile-driving noise. *Proc. Internoise 2014*. Melbourne, Australia.
- Bellmann, M., May, A., Wendt, T., Gerlach, S., Remmers, P., & Brinkmann, J. (2020). Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values. ERA Report. Oldenburg: Itap GmbH.
- Binnerts et al, 2016. Validation of the Aquarius models for prediction of marine pile driving sound, report TNO 2016 R11338.
- Geelhoed et al, 2018. Gemini Tc: aerial surveys and passive acoustic monitoring of harbour porpoises 2015, Wageningen University & Research report C020/17
- Heinis, F., de Jong, C., & von Benda-Beckmann, A. (2022). Kader Ecologie en Cumulatie 2021 (KEC 4.0) - zeezoogdieren. The Hague: TNO 2021 R12503.
- Heinis, F., C.A.F. de Jong, S. von Benda-Beckmann & B. Binnerts, 2019. Framework for Assessing Ecological and Cumulative Effects – 2018; Cumulative effects of offshore wind farm construction on harbour porpoises. HWE rapport: 18.153RWS_KEC2018, January 2019.
- Heinis F., C.J. de Jong & Werkgroep Onderwatergeluid, 2015. Cumulatieve effecten van impulsief onderwatergeluid op zeezoogdieren. TNO rapport: TNO 2015 R10335.
- de Jong et al, 2023, Analysis of the effects on harbour porpoises from the underwater sound during the construction of the Borssele and Gemini offshore wind farms. TNO 2022 R12205.
- Kavelbesluiten IJmuiden Ver Alpha en Beta (jun 2023),
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/woz-ijmuiden-ver-kavels-alpha-en-beta/fase-1>.
- Tougaard et al, 2015. Cetacean noise criteria revisited in the light of proposed exposure limits for harbour porpoises, *Marine Pollution Bulletin* 90, 196–208.
- Verfuss, U.K., R.R. Sinclair & C.E. Sparling, 2019. A review of noise abatement systems for offshore wind farm construction noise, and the potential for their application in Scottish waters. Scottish Natural Heritage Research Report No. 1070.

APPENDIX - Hydraulische impacthamer

Figuur overgenomen uit brochure IQIP: iqip.com/wp-content/uploads/2022/12/Hydrohammer_Offshore-Wind_brochure_EN_0922-hr.pdf

HYDROHAMMER

1. Connection plate
2. Piston
3. Accumulator
4. Upper bearing
5. Valve ring
6. Hammer housing
7. Upper leader attachment
8. Ram
9. Lower bearing
10. Lower leader attachment
11. Shock absorber
12. Pile sleeve
13. Anvil
14. Pile

