

Memorandum

Aan
Seaway Heavy Lifting

Van
Christ de Jong en Bas Binnerts

Onderwerp
Borssele substation onderwatergeluid heien (projectnummer 060.29906)

Technical Sciences
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61

Datum
28 februari 2018

Onze referentie
DHW-TS-2017-0100310355A

Contactpersoon
Dr. ir. C.A.F. de Jong

Doorkiesnummer
+31 88 866 80 34

1 Inleiding

Seaway Heavy Lifting bereidt zich voor op de installatie van het substation voor de Borssele offshore windparken. In de vergunning zijn maatregelen voorgeschreven ter voorkoming van fysieke effecten en verstoring van bruinvissen, zeehonden en vissen als gevolg van de installatie. Naast maatregelen zoals het gebruik van 'acoustic deterrent devices' en het toepassen van een 'soft start' van de heiwerkzaamheden, is een geluidsnorm voorgeschreven. Deze geluidsnorm mag tijdens het heien niet worden overschreden. Seaway Heavy Lifting heeft TNO gevraagd om berekeningen uit te voeren van de te verwachten geluidniveaus tijdens het heien, om te bepalen welke maatregelen genomen moeten worden om aan deze norm te voldoen.

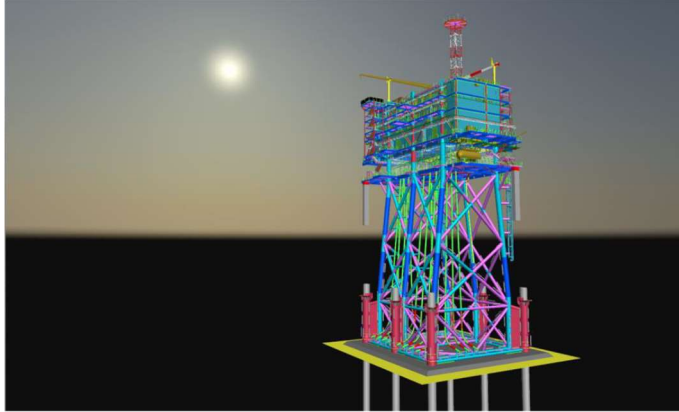
Volgens opgave van Seaway Heavy Lifting wordt geëist dat het ongewogen 'single strike sound exposure level' (SELs) van de heiklappen, gemeten op een afstand van 750 m van de paal niet hoger mag zijn dan:

- 162 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ in de maanden januari tot en met mei,
- 167 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ in de maanden juni tot en met augustus,
- 169 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ de maanden september tot en met december.

In deze studie is met behulp van het Aquarius 1.0 voorspelingsmodel uitgerekend wat het te verwachten SELs op 750 m van de paal is wanneer wordt geheid zonder mitigerende maatregelen. Daarna is, op basis van in [1] gepubliceerde informatie, berekend welke reductie van de SELs behaald kan worden met verschillende beschikbare mitigerende maatregelen.

2 Borssele substation

Deze studie betreft het onderwatergeluid bij het heien van de funderingspalen voor de installatie van het Alpha Substation Platform voor de Borssele offshore windparken, zie Figuur 1. De voor het onderwatergeluid relevante informatie over deze installatie is overgenomen uit [2], zie Tabel 1.



Figuur 1 Het Borsssele Alpha Substation Platform (figuur uit [2])

Datum

28 februari 2018

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100310355A

Blad

2/7

Tabel 1 Projectgegevens, uit [2].

Platformlocatie (UTM 31N)	5727665 E, 503919 N
Lokale waterdiepte	30.7 m
Aantal palen	6
Paallengte	71 m
Paaldiameter	2.1 m
Wanddikte	50-80 mm
Uiteindelijke penetratie	50 m
Maximale hamerenergie	1440 kJ (indien nodig 2000 kJ)

3 Aquarius 1.0 heigeluidberekening

Het TNO rekenmodel Aquarius berekent de ruimtelijke verspreiding van het onderwatergeluid, op basis van de energie van de heiklappen, de bathymetrie, het sediment en de windsterkte. Aquarius 1.0 is gebaseerd op een benaderingsmethode voor het propagatieverlies die is beschreven in [3] en [4]. De heipaals als geluidbron wordt in deze aanpak niet direct gemodelleerd. Het model gaat uit van het onderwatergeluid dat is gemeten tijdens het heien voor het Prinses Amalia windpark [5]. Het uit deze metingen (bij een hamerenergie van 800 kJ) afgeleide bronniveau is geschaald naar de actuele hamerenergie, uitgaande van een lineair verband tussen de hamerenergie en de energiebronsterkte van het heigeluid. Het Aquarius-model is gebruikt om het geluidveld vanuit deze geschaalde meetgegevens te extrapoleren naar grotere afstanden.

Tabel 2 geeft een overzicht van de in de berekeningen toegepaste waarden van de omgevingsparameters. De waterdiepte is overgenomen uit [2], zie ook Tabel 1. De overige gegevens zijn standaard waarden uit [6] (tabel 4.17) die van toepassing zijn voor de Noordzee omgeving.

Tabel 2 Omgevingsparameters voor de geluidpropagatieberekeningen

Waterdiepte	30.7 m
Bodemtype	'medium sand'
Bodem geluidsnelheid	1785 m/s
Bodem dichtheid	2086 kg/m ³
Bodem absorptie	0,88 dB/golflengte
Zeewater geluidsnelheid	1490 m/s
Zeewater dichtheid	1000 kg/m ³
Windsnelheid (10 m hoogte)	0 m/s

Datum
28 februari 2018

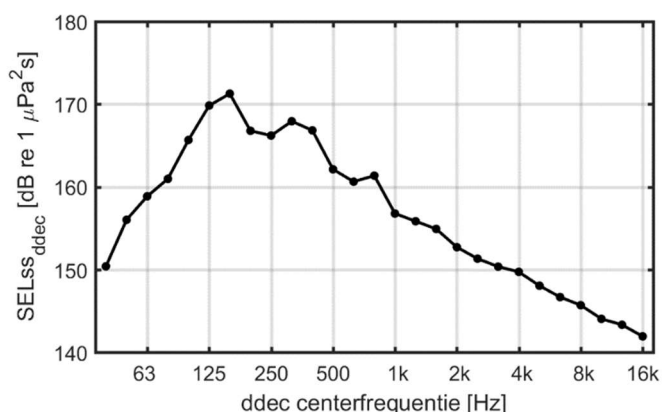
Onze referentie
DHW-TS-2017-0100310355A

Blad
3/7

Wind boven zee verstoort het wateroppervlak, waardoor geluid verstrooid en geabsorbeerd wordt. Daardoor neemt het propagatieverlies toe bij toenemende windsnelheid. Omdat het doel van deze berekeningen is te bepalen wat het maximaal optredende geluidniveau is, is alleen gerekend voor de situatie zonder wind.

De berekening is uitgevoerd voor een ontvanger-positie op een afstand van 750 m van de heipaal en op een diepte van 1 m boven de zeebodem (het model voorspelt de hoogste geluidsniveaus dicht bij de bodem). Daarbij is aangenomen dat de bodem vlak is tussen de heipaal en de ontvangerpositie. Eventuele variaties in de bodemdiepte leiden tot een lager berekend geluidniveau, omdat de kleinste waterdiepte op het traject tussen de heipaal en de ontvangerpositie of 750 m afstand bepalend is voor het maximale geluidniveau.

Figuur 2 toont het berekende tertsbandspectrum van de SELss uit de Aquarius 1.0 berekening. Het bijbehorende ongewogen breedbandige SELss (het totaal van de in Figuur 2 weergegeven frequentieverdeling) is 177 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$.



Figuur 2 Berekende tertsbandspectrum van de SELss op 750 m van de heipaal, voor heien bij een hamerenergie van 1440 kJ, zonder mitigatiemaatregelen. (ddec = decidecade = 1/3-octaaftand, 'base-10', zie [7])

De hierbij gehanteerde Aquarius 1.0 aanpak gaat uit van een 'realistische worst case', waarbij gerekend is op basis van een bovengrens van het uit de metingen bij het heien voor het Prinses Amalia windpark (Q7) geschatte bronniveau [5].

Datum

28 februari 2018

Onze referentie

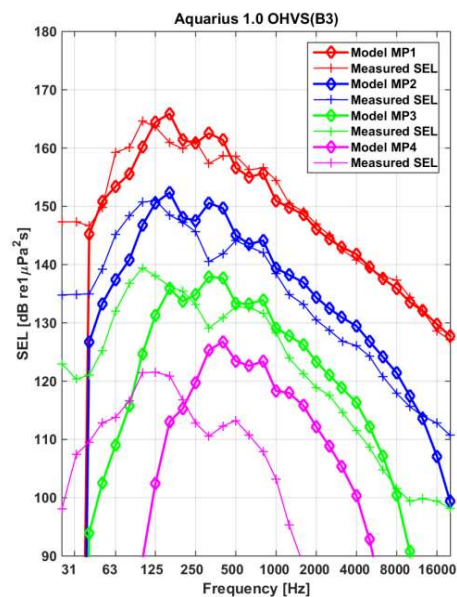
DHW-TS-2017-0100310355A

Blad

4/7

Een incidentele verhoging van de hamerenergie naar 2000 kJ leidt, uitgaande van een lineair verband tussen de hamerenergie en de energiebronsterkte van het heigeluid, tot een toename van het SELss met $10 \log_{10}(2000 \text{ kJ}/1440 \text{ kJ}) \text{ dB} \approx 1.4 \text{ dB}$.

In 2016 heeft TNO de berekeningsresultaten van het Aquarius 1.0 model vergeleken met meetgegevens van offshore heiwerkzaamheden, zie [8]. Figuur 3 toont de vergelijking voor het heien van een fundatiepaal voor een substation in het Gemini offshore windpark. Op de kortste meetafstand (MP1: 921 m) komt de voorspelling goed overeen met de meetresultaten. De niveaus zijn lager dan de in deze studie berekende niveaus voor het Borssele substation (Figuur 2), door de lagere heiklapenergie (600 kJ), de grotere meetafstand (921 m) en het in rekening brengen van het effect van wind (4 m/s op 10 m boven het zeeoppervlak).



Figuur 3 Gemeten en berekende SELss spectra van het heien voor paal B3 van een offshore high voltage station (OHVS) voor het Gemini offshore windpark, voor vier meetafstanden (MP1: 921 m, MP2: 5.1 km, MP3: 20.1 km en MP4: 54.1 km), uit [8].

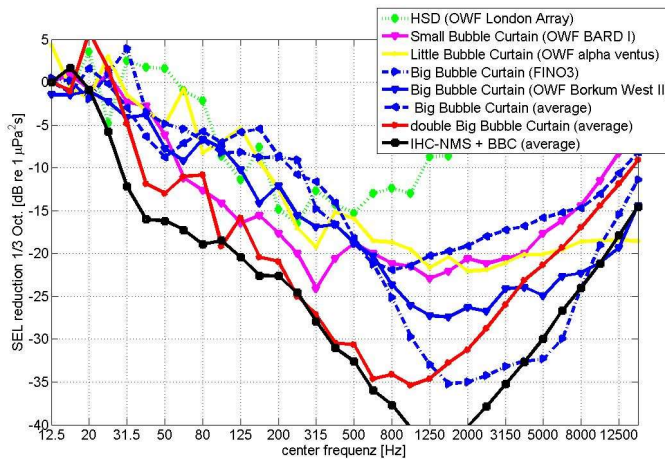
4 Effectiviteit van mitigatiemaatregelen

Er zijn nog geen gevalideerde modellen beschikbaar voor het numeriek berekenen van de effectiviteit van mitigatiemaatregelen voor het onderwatergeluid van offshore heiwerkzaamheden. Maar in Duitsland is al een aantal jaren ervaring met het toepassen van mitigatiemaatregelen. In 2014 heeft ITAP [1] een overzicht gepubliceerd van de op dat moment beschikbare informatie over de effectiviteit van diverse maatregelen, zie Figuur 4. Deze figuur laat zien dat deze mitigatiemaatregelen vooral bij hogere frequenties effectief zijn.

Datum
28 februari 2018

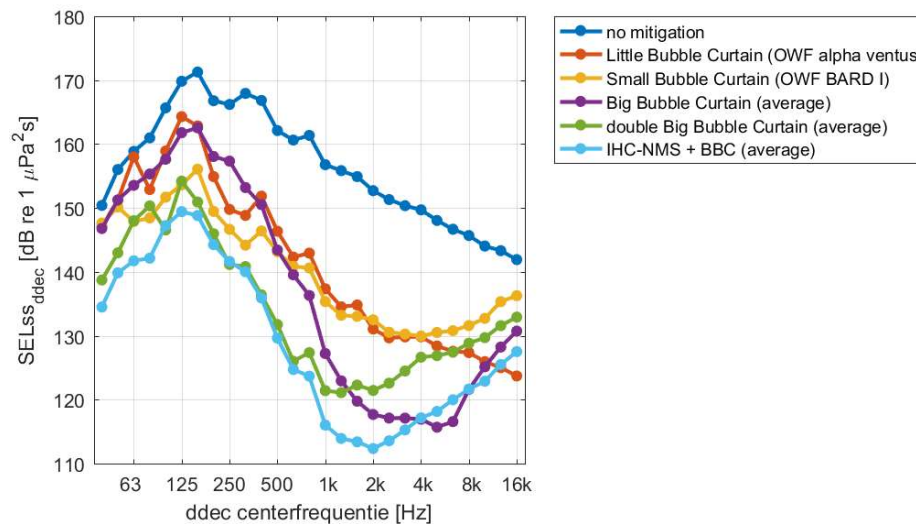
Onze referentie
DHW-TS-2017-0100310355A

Blad
5/7



Figuur 4 Overzicht van de bij verschillende projecten gemeten reducties van de SELs op 750 m van monopiles voor offshore windturbines voor verschillende mitigatiemaatregelen (diverse bellenschermen en het 'Noise Mitigation Screen' van IHC), uit [1].

Het effect dat deze maatregelen zouden kunnen hebben bij het heien voor het Borsele substation is hier geschat door de reducties uit Figuur 4 af te trekken van het berekende SELs uit Figuur 2. Het resultaat is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Berekende tertsbandspectrum van de SELs op 750 m van de heipaal, voor heien bij een hamerenergie van 1440 kJ (Figuur 2), met diverse mitigatiemaatregelen (Figuur 4).

Tabel 3 geeft de berekende ongewogen breedband SELs voor de verschillende configuraties, verkregen door sommatie over in Figuur 5 weergegeven frequentiebanden.

Tabel 3: Overzicht van het effect van verschillende mitigatie maatregelen op het met Aquarius 1.0 voorspelde ongewogen breedband SELs, bij een hamerenergie van 1440 kJ. Bij een incidentele verhoging van de hamerenergie naar 2000 kJ is de SELs 1.4 dB hoger.

mitigatiemaatregel	Ongewogen breedband SELs
geen	177 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
Little Bubble Curtain (OWF Alpha Ventus)	169 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
Small Bubble Curtain (OWF BARD I)	161 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
Big Bubble Curtain (average)	168 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
'double Big Bubble Curtain (average)	159 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
'IHC-NMS + BBC (average)	155 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$

Datum
28 februari 2018

Onze referentie
DHW-TS-2017-0100310355A

Blad
6/7

Toepassing van dubbele maatregelen (zoals het 'double big bubble curtain' en de combinatie van het 'Noise Mitigation Screen' van IHC met een 'big bubble curtain') leidt tot de laagste geluidniveaus. Daarbij dient opgemerkt te worden dat het IHC-NMS ontworpen is voor monopile fundaties voor offshore windturbines en niet direct toepasbaar is voor de funderingspalen voor het Alpha Substation Platform (zie Figuur 1).

Merk op dat de effectiviteit van mitigatiemaatregelen zal afhangen van lokale omstandigheden, zoals waterdiepte, bodemeigenschappen en stroming. Zo is bijvoorbeeld onduidelijk waarom het 'small bubble curtain' dat is toegepast bij het heien voor het Bard I windpark aanzienlijk effectiever lijkt te zijn dan het 'little bubble curtain' dat is toegepast bij het Alpha Ventus windpark. Daarom verdient het aanbeveling bij de beoordeling een onzekerheidsmarge in rekening te brengen van enkele decibellen. Omdat er niet meer informatie beschikbaar is dan wat door ITAP is gepubliceerd, is het niet mogelijk om deze onzekerheid preciezer te kwantificeren.

5 Conclusie

Uit vergelijking van de berekende niveaus uit Tabel 3 met de geluidsnormen:

- 162 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ in de maanden januari tot en met mei,
- 167 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ in de maanden juni tot en met augustus,
- 169 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ de maanden september tot en met december.

en rekening houdend met de onzekerheid kan worden geconcludeerd dat de geluideisen goed haalbaar zijn mits een dubbele maatregel (zoals een 'double bubble curtain') wordt toegepast. In de maanden september t/m december zou een enkele maatregel wellicht ook kunnen voldoen, maar dat kan vanwege de onzekerheid in de berekeningen niet gegarandeerd worden.

6 Verwijzingen

- [1] M. Bellmann, „Overview of existing noise mitigation systems for reducing pile-driving noise,” in *Internoise*, Melbourne, 2014.
- [2] „Pile Drivability Study (27.2040-PED-010),” Seaway Heavy Lifting, Zoetermeer, 2017.
- [3] D. Weston, „intensity-range relations in oceanographic acoustics,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 18, nr. 2, pp. 271-287, 1971.
- [4] D. Weston, „Propagation in water with uniform sound velocity but variable depth lossy bottom,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 47, nr. 4, pp. 473-483, 1976.
- [5] M. Ainslie, C. de Jong, S. Robinson en P. Lepper, „What is the source level of pile driving noise in water?,” in *The effects of noise on Aquatic Life*, Springer, 2012, pp. 445-448.
- [6] M. Ainslie, *Principles of Sonar Performance Modeling*, Springer-Praxis, 2010.
- [7] ISO 18405, „Underwater acoustics — Terminology,” International Organization for Standardization, Geneva, 2017.
- [8] B. Binnerts, C. de Jong, M. Ainslie, M. Nijhof, R. Müller en E. Jansen, „Validation of the Aquarius models for prediction of marine pile driving sound,” TNO 2016 R11338, 2016.

Datum

28 februari 2018

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100310355A

Blad

7/7