


NOTITIE

Onderwerp	Trillingsanalyse
Project	Windplan Blauw
Opdrachtgever	SwifterwinT B.V. en Nuon Wind Development
Projectcode	UT615-46
Status	Definitief
Datum	4 mei 2018
Referentie	UT615-46/18-006.946
Auteur(s)	R. Sawhney MSc

Gecontroleerd door	ir.drs. R.E.P. de Nijs
Goedgekeurd door	K.A. Haans, MSc
Paraaf	

Bijlage(n)	I Sondering II SBR-Richtlijn A
------------	-----------------------------------

Aan	SwifterwinT B.V. en Nuon Wind Development
Kopie	-

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Voor de plaatsing van windturbines worden fundaties aangebracht. Bij de aanleg van fundaties treden trillingen op. Bij de aanleg is mogelijk sprake van een trillingsbelasting op de nabijgelegen IJsselmeerdijk. De dichtstbijzijnde turbine staat op 500 meter van de IJsselmeerdijk. Als worst-case fundatie wordt voor de installatie van een zogenoemde monopile fundering uitgegaan. Om tot een uitspraak te komen wat voor invloed van trillingen als gevolg van plaatsing van monopiles op de IJsselmeerdijk heeft, is in deze notitie een overzicht gemaakt van werkzaamheden waarbij maatgevende trillingen te verwachten zijn. De inschatting van de bronsterkte is gebaseerd op referentieprojecten en in analogie met de verwekingstheorie bij aardbevingen ontleend.

Tevens is een verloop van de bijbehorende trillingsniveaus in functie van de afstand tot de bouwlocatie opgesteld op basis van grondonderzoek, dimensies en de zogenaamde Barkan formule vermeld in CUR166. Vervolgens worden risicocriteria onderzocht en de consequenties voor de bouwactiviteiten bekeken, waarbij de SBR 2017, A als leidraad heeft gefungeerd.

1.2 Referenties

Voor onderhavig ontwerpdocument is gebruik gemaakt van de volgende documentatie.

Literatuur, normen en standaarden

- 1 SBR richtlijn A - Schade aan bouwwerken.
- 2 CURR 166 - Damwandconstructies.
- 3 Inbrengen van damwanden in granulaire bodem, Geotechniek oktober 2003, R.E.P. de Nijs.
- 4 Hei- en Trilbaarheid palen en damwanden, SBRCURnet commissie 1694, september 2016.
- 5 Seed H.B. & Idriss I.M. (1970), A simplified procedure of evaluating soil liquefaction potential Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California, Report no. EERC 70-9.

Rapport

- 1 MER Windplan Blauw - Technische uitgangspunten onderzoeken MER fase 2: Windvereniging SwifterwinT en Nuon Wind Development, 4 oktober 2017.
- 2 Windplan Blauw - Deelrapport Veiligheid: SwifterwinT BV en Nuon Wind Development, 22 februari 2018.
- 3 Effect paalinstallatie op taludstabiliteit Calandkanaal-Oost, RT780-17/16-005.449, opgesteld Witteveen+Bos, maart 2016.

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Grondprofiel

Op basis van de sonderingen [uit dinoloket.nl] die zijn uitgevoerd nabij de bouwactiviteit, wordt verondersteld dat de ondergrond bestaat uit een dicht gepakt zandlaag op de installatiediepte. Dicht zand resulteert in de meest ongunstige zodanig dat het resulteert in een hoge trillingssterkte. Een sondering uit Dinoloket nabij de bouwactiviteit is weergegeven in bijlage I.

3 BEREKENING

3.1 Berekeningsprocedure

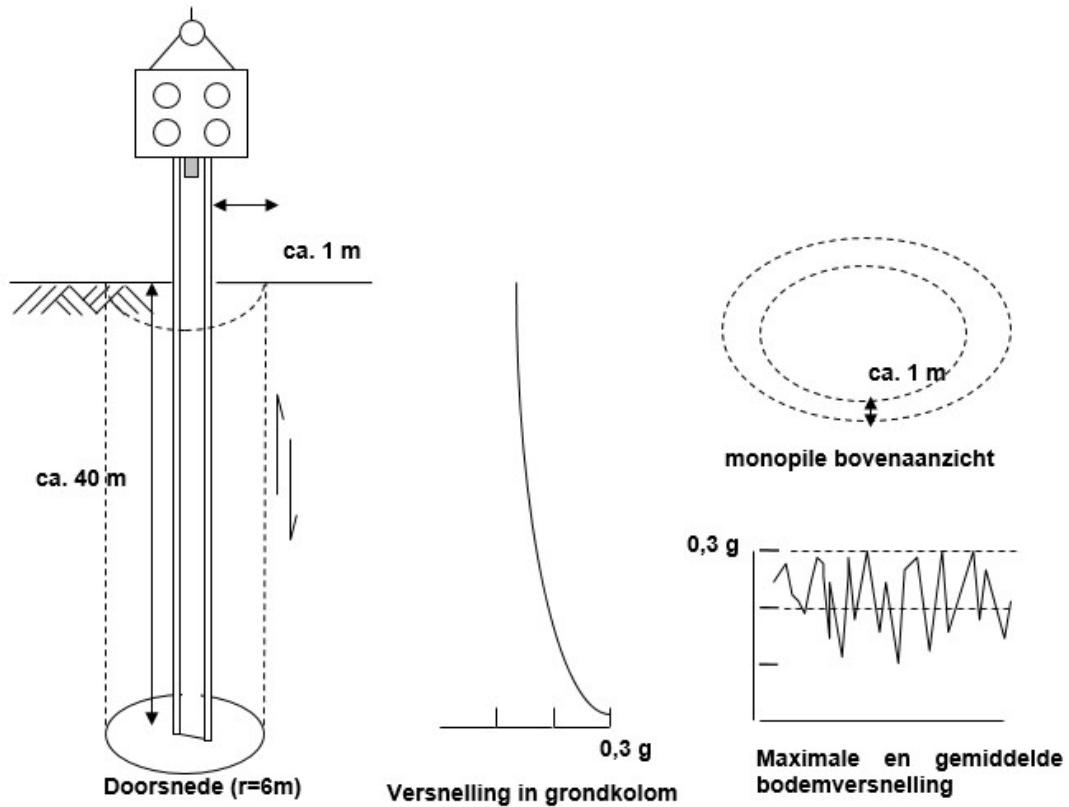
De trillingsprognose als gevolg van bouwwerkzaamheden in dit document is gebaseerd op de CUR 166 - Damwandconstructies [Ref. 2]. De CUR 166 geeft een formule, de zogenaamde Barkan formule, om op basis van grondprofielen, gerelateerde dempingsparameters en eigenschappen van de werkzaamheden (heien/trillen, etc.) een trillingsniveau te bepalen afhankelijk van afstand tot de activiteit. De Barkan formule betreft een algemeen geldende beschrijving van oppervlakte golven. In paragraaf 3.2. worden de gehanteerde parameters voor de verschillende activiteiten gegeven. De inschatting van de bronsterkte is gebaseerd op referentieprojecten en in analogie met de verwekingstheorie bij aardbevingen ontleend van Seed.

3.2 Bronsterkte

De afschatting van de bron is gebaseerd op een grondkolom welke in versnelling moet worden gebracht teneinde verdichting te veroorzaken benodigd voor de installatie. De maximale energieoverdracht in granulaire bodem bedraagt 0,3 g, tevens de bovengrens in de over te brengen slagkracht. Deze bovengrens betreft golfvoortplanting opgewekt door intrillen alsook door een eventueel trekken. Hiermee ontstaat een te versnellen grondkolom van 40 m lengte en een straal van $5+1 = 6$ m. Uitgaande van $F=m*a$ met massa gelijk aan nat volumiek gewicht grond van 20 kN/m^3 en een reductiefactor over de hoogte van circa 0,6 en over de cycli van 0,65 ontstaat een slagkracht van circa 35.000 kN. Dit is het equivalent van circa 17 reguliere zware onshore trilblokken op vol vermogen. Uitgegaan is van een frequentie van 30 Hz.

Voor de afschatting van de hei bron is uitgegaan van dezelfde bron, maar nu bij 20 Hz.

Afbeelding 3.1 Schematische weergave monopile, versnelling in grondkolom en bodemversnelling



3.3 Berekening parameters

De parameters gebruikt voor de trillingsprognose zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Algemene parameters

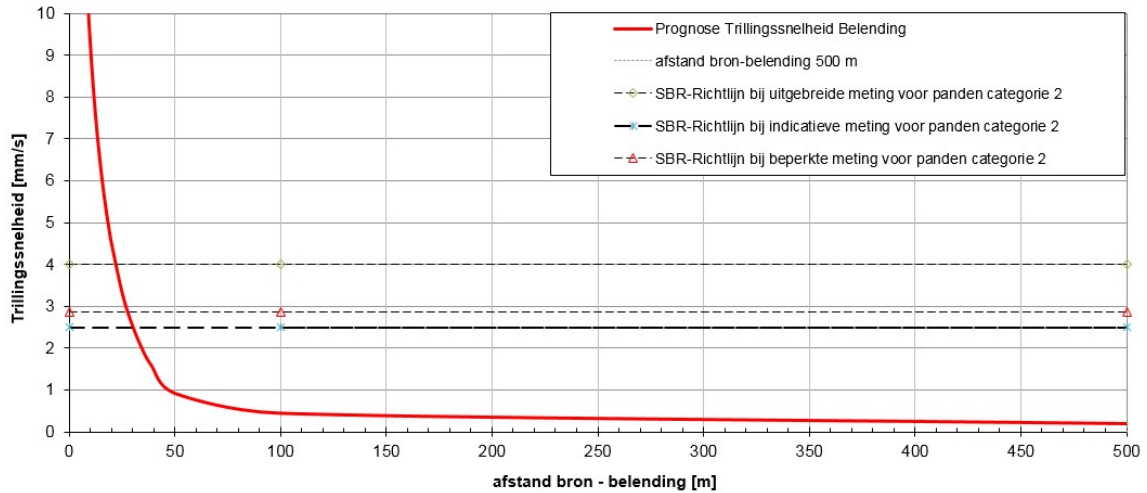
Parameters	Monopile	Monopile
minimale afstand monopiles tot bron [m]	500	500
type bron [-]	trillen	heien
frequentie [Hz]	30	20

3.4 Berekeningsresultaten

De resultaten van de trillingsprognose worden in deze paragraaf samengevat. Een weergave van de predictieresultaten respectievelijk voor trillen en heien zijn gepresenteerd in Afbeelding 3.2 en Afbeelding 3.3.

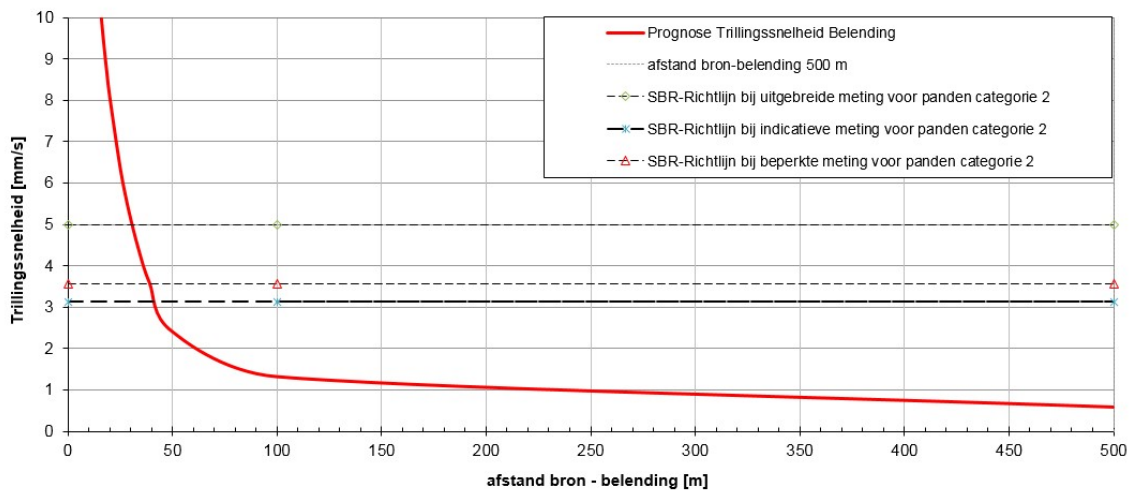
Afbeelding 3.2 Prognose trillingen intrillen monopile

Prognose trillingen intrillen stalen buispalen (monopiles)



Afbeelding 3.3 Prognose trillingen heien monopile

Prognose trillingen heien stalen buispalen (monopiles)



Het maximale trillingsniveau geschat op IJsselmeerdijk (500 m afstand) als gevolg van bouwactiviteit (plaatsing van monopile) wordt als volgt vermeld, zie tabel 3.2:

Tabel 3.2 Trillingsniveau

Bouwactiviteit	Type bron	Trillingsniveau [mm/s]
monopile	trillen	0,20
monopile	heien	0,59

4 TOETSING SBR A 2017

Binnen de systematiek van de SBR kan getoetst worden op een kans op verdichting in de ondergrond, teneinde zetting onder de fundering te voorkomen. In dezelfde analogie kan worden gesteld dat verdichting schadelijk voor een dijklichaam kan zijn en evenzo vermeden moet worden.

Voor de beoordeling van de kans op zettingen door verdichting van de bodem, geldt een grens voor zowel de trillingsnelheid als de trillingsversnelling.

Het criterium voor de trillingsnelheid is afhankelijk van de aard van de bron en het ontvangende object. Uitgaande van heien (herhaald kortdurende trilling) van een stalen element wordt uitgegaan van 20 Hz, in geval van trillen (continue trilling) wordt uitgegaan van 30 Hz. In de beoordeling dient de grenswaarde nog vermenigvuldigd te worden met een veiligheidsfactor van de aard van de trillingsbron en een veiligheidsfactor ten aanzien van de kwetsbaarheid van de constructie (feitelijk een pand).

In het geval van een herhaald kortdurende trilling dient een factor 1,6 gehanteerd te worden voor de fundering. In geval van een continue trilling dient een waarde van 2,0 gehanteerd te worden.

In geval van een normale status van het object bedraagt de veiligheidsfactor 1,0, in geval een gevoelig object bedraagt de waarde 1,7. De karakteristieke waarde van de trillingsnelheid V_{kar} wordt berekend volgens de formule:

$V_{kar} = 10 * C_D$, met C_D tussen 1 en 2. In functie van laagdikte. Een grote laagdikte geeft de strengste toetsing, waarmee $10 * 1 = 10 \text{ mm/s}$ wordt afgeleid.

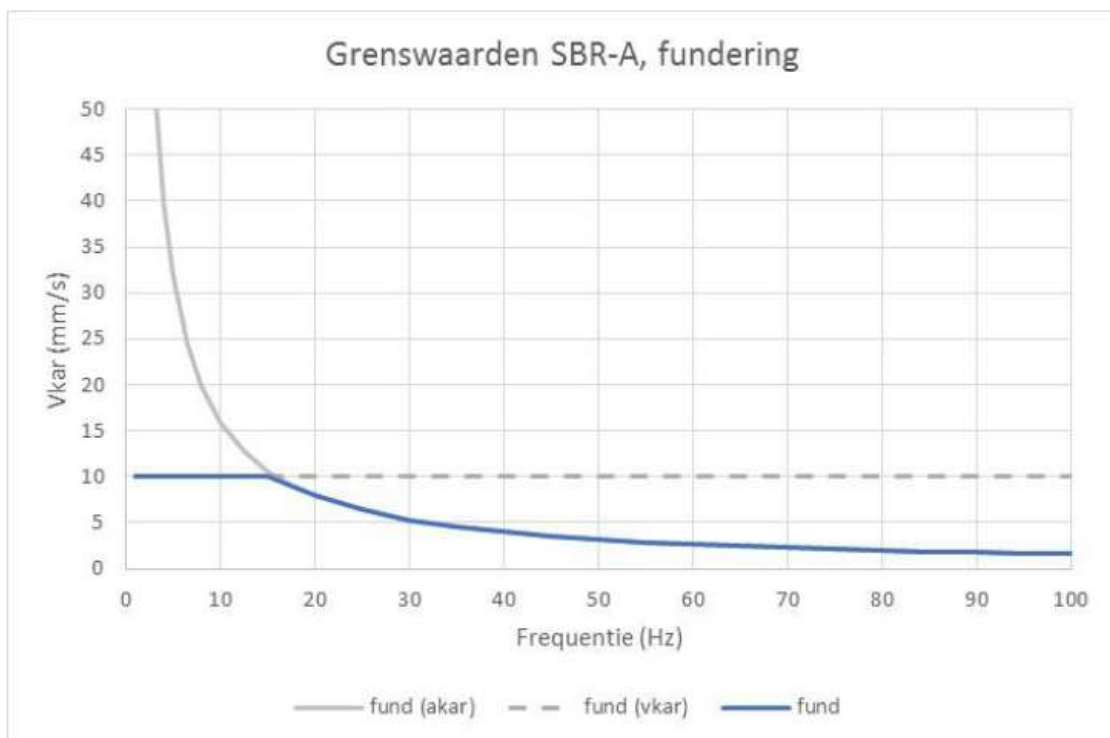
Daarmee ontstaan ten aanzien van trillingsnelheid de volgende toetswaarden:

trillen 30 Hz: $10 / 2,0 / 1,7 = 2,9 \text{ mm/s}$

heien 20 Hz: $10 / 1,6 / 1,7 = 3,6 \text{ mm/s}$

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het verloop van de grenswaarde van de trillingsnelheid ter voorkoming van verdichting weergegeven in functie van de opgelegde frequentie, welke ontleend is aan de kritische trillingsversnelling van 1 m/s^2 .

Afbeelding 4.1 Grenswaarden fundering SBR A 2017 ontleend aan $1,0 \text{ m/s}^2$



Daarmee ontstaan ten aanzien van bodemversnelling omgerekend naar trillingssnelheid de volgende toetswaarden:

trillen 30 Hz: 5 mm/s

heien 20 Hz: 8 mm/s

De strengste toetsing bedraagt daarmee voor trillen 2,9 mm/s en voor heien 3,6 mm/s. Ter illustratie wordt het trillingsniveau tevens vergeleken met een aangenomen achtergrond trilingsbron veroorzaakt door vrachtverkeer, aangehouden op 0,7 mm/s nabij de 20 Hz.

5 CONCLUSIE

Afgaande op een robuuste afschatting van de bronsterkte wordt voor zowel voor het heidend alsook het trillend installeren van de monopile met straal 5 m en heitraject 40 m vanaf een afstand van ca. 40 m voldaan aan SBR richtlijn A, toetsing funderingen. Vanaf een afstand van 60 m genereert het trilproces een waarde van ca. 0,7 mm/s, hetgeen overeenkomstig de achtergrondtrilling van verkeer wordt geacht. In geval van heien genereert het heiproces op een afstand van 360 m een waarde van 0,7 mm/s, hetgeen overeenkomstig de achtergrondtrilling van verkeer wordt geacht. Voor beide installatie methoden geldt een marge in afstand groter dan 30 m, gegeven de beschikbare afstand van 500 m.

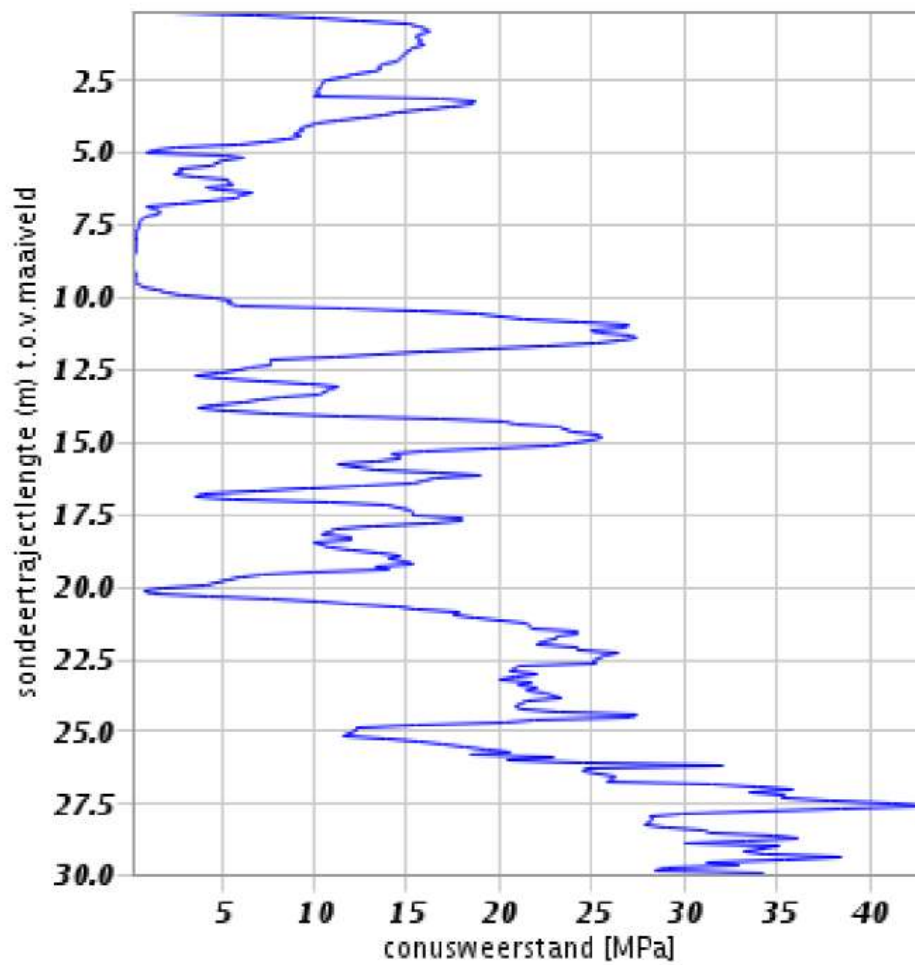
BIJLAGE: SONDERING

Afbeelding I.1 Sondering [uit dinoloket.nl]

Geotechnisch sondeonderzoek BRO

Identificatie: CPT000000021510

Coördinaten: 161853.000, 506490.000 (RD)



BIJLAGE: SBR-RICHTLIJN A

Afbeelding II.1 Schema bepaling grenswaarde V_r en a_r [ref. 1]

