

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Industry & Buildings

Aan: Raedthuys Windenergie B.V. t.a.v. [REDACTED]
Van: [REDACTED]
Datum: 12 mei 2016
Kopie: [REDACTED]

Project: 4 Windturbines te Angerlo
Windpark Bijkavonk
Oas kenmerk: I&B BE4533N.001F.02
Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: Voorontwerp windturbinefunderingen t.b.v. bouw aanvraag

Inleiding

Voor de aanvraag van de omgevingsvergunning voor vier windturbines te Angerlo, heeft Royal HaskoningDHV in opdracht van Raedthuys Windenergie B.V. een voorontwerp opgesteld voor de fundering. Voor de bouw aanvraag gaat de opdrachtgever uit van een windturbine van het type Senvion 3.0M122.NH.hh 116,0 – 119,0 m met een vermogen van 3,0 MW, een rotordiameter van 122 meter en een hub height (a shoogte) van 119 meter.

Abbeelding 1 Overzicht locaties windmolens



Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden

- Turbinetype: Servion 3.0M 122.NH/hh 116,0 – 119,0 m
- Locatie windturbines: zie tekening Regionaal overzicht windpark 81152215_000; MUG Ingenieursbureau; d.d. 07-09-2015 (zie Afdeling 1)
- Maasveldhoogte (nieuw): 9,1 tot 9,5 m + NAP
- Maximale Grondwaterstand: 0,7m onder maasveld (conform I1)
- De aangehouden belastingfactoren voor de combinaties zijn ontleend aan de IEC 61400 ed.3, klasse IEC-S.

Belastingen en stijfheidsen voor de windturbine

Belastingen en eisen ten aanzien van de translatie- en rotatiestijfheid van de fundering zijn gegeven in bijlage 2.

Paalbelastingen

Aan de hand van de belasting op het funderingsblok zijn de paalbelastingen bepaald voor de gebruikssituatie en de extreme situatie. Uitgegaan is van een funderingsblok met 40 palen. De berekening van deze paalbelasting staat in bijlage 3. In een volgende fase zullen detailberekeningen gemaakt worden met eindige-elementensoftware om de definitieve paalbelastingen, de snedekrachten en de benodigde wapening te bepalen.

Beschikbare informatie

Referenties

- /1/ Windpark Bijdrank te Angerlo; doc. nr. R1600009-RH_1; MOS Grondmechanica; d.d. 26-4-2016;
- /2/ 3.0M 122. NH / hh 119.0m / IEC-S based on IEC3A ed.3 Specification for Foundation Desig; Servion; doc.nr.: T-3.5-RT-00 03-A-A, d.d.: 2015-05-28;
- /3/ 3.2M 122 NE S WZ3, Inland IEC3A, Anchor cage hh 119.0m; Servion; doc.nr.: Z-3.10-RT.03.40-A; d.d.: 2016-01-12;
- /4/ Eurocodes (NEN-EN1090, NEN-EN1991 en NEN-EN1992) met Nederlandse bijlage;
- /5/ IEC61400 ed.3 voor de belastingen vanuit de turbine; GL Guideline;
- /6/ NEN 9997-1:2011 (Eurocode 7, Geotechnisch Ontwerp – Combinatie van NEN-EN 1997-1 Deel 1 Algemene regels, NEN-EN 1997-1/NB Nationale bijlage en NEN 9097-1/NEN-EN 1997-1 Aanvullende bepaling voor geotechnisch ontwerp).

Geotechnisch grondonderzoek

MOS Grondmechanica heeft geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd op de turbine locaties. De daarbij uitgevoerde werkzaamheden zijn:

- 4 x 3 sonderingen ter plaatse van de locaties van de windturbines tot een diepte van maasveld +30 m inclusief meting van de plaatselijke vrijwijing;
- 31 sondering en tot een diepte van maasveld +15 m inclusief meting van de plaatselijke vrijwijing t.b.v. in sandsoelboringen en transporewegers
- 12 boringen tot een diepte van maasveld -5 m.

Het geotechnisch grondonderzoek van MOS is bijgevoegd in bijlage 1.

Geotechniek

Uitgangspunten en randvoorwaarden geotechniek

Grondopbouw en grondeigenschappen

Op basis van het beschikbaar grondonderzoek kan de bodemopbouw globaal beschreven worden:

- maaiveldniveau op circa NAP +9,2 m;
- de ondergrond is overwegend zandig;
- verschillen tussen de sonderingen betreffen vooral aanwezigheid van een cohesieve grondlaag tussen NAP -1m en NAP -5 m. Deze laag is duidelijk aanwezig bij windmolen 1 en wordt dunner richting windmolen 2 en 3 en is niet meer aanwezig onder windmolen 4.

Grondwaterstand

De grondwaterstand is door MOS Grondmechanica gemeten. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het slechts een momentopname is en dat onder invloed van spanningsvrijer, laagopbouw, lokale omstandigheden en seizoen afhankelijkke factoren, de waarde hiervan sterk kan afwijken.

De gemiddelde grondwaterstand door MOS Grondmechanica gemeten is 0,95 m onder maaiveld. De maximale grondwaterstand is 0,70 m onder maaiveld.

De grondwaterstand in het gebied is ook met het Dino loket nagekeken. De hoogte uit het grondonderzoek van MOS Grondmechanica is in orde grootte gelijk aan de monitoring op het Dino loket.

Maaiveldhoogte

Het huidige maaiveld door MOS Grondmechanica gemeten op gemiddeld circa NAP +9,2 m. In de berekeningen is uitgegaan van een ontgraving van 0,5 meter. Hierdoor kan aangenomen worden dat geen bemaling hoeft plaats te vinden tijdens de bouwen geen opwaartse belasting voor de eindfase in rekening hoeft te worden gebracht.

Geotechnisch funderingsontwerp

Afweging funderingswijze

In verband met de aanwezigheid van samendrukbare grondlagen onder het aanlegniveau van de fundering van de windturbine dienen de belastingen van de turbine te worden overgebracht naar de dieper gelegen draagkrachtige zandlagen beneden circa NAP -8 m. Daarmee valt een fundering op staal af.

Bij een fundering op palen worden de druk- en trekbelastingen overgedragen aan de draagkrachtige zandlagen. In verband met aanwezigheid van de cohesieve laag tussen circa NAP -1 m en NAP -5 m en de daaronder gelegen minder draagkrachtige (kleiiger/siltige) zandlaag, wordt geadviseerd een inheinniveau aan te houden onder deze laag.

Keuze paaltipe

Voor de paalfundering wordt uitgegaan van toepassing van een geheel in de grond gevormde paal met een stalen voetplaat en tijdelijke stalen hulpbuis (type Vibro-paal of gelijkwaardig). De keuze voor dit paalsysteem is gebaseerd op het volgende:

- In verband met de aanwezigheid van zandgrindlagen met een conusweerstand van meer dan 40 MPa wordt zwaar heuwerk verwacht. Een paalsysteem met een stalen hulpbuis is hiervoor beter geschikt dan een prefab betonpaal.
- Er zijn geen bebouwing of andere trillingsgevoelige objecten aanwezig binnen een straal van 150 m van de turbines. Naar verwachting kunnen de palen worden geheel zonder kans op hinder of schade aan bebouwing.

Palen

De funderingspaal wordt ondersteund door Vibro-palen. De onderlinge hart-op-hart afstand van de palen bedraagt ca. 1,60 m. Dit is voldoende om extra zwaar heuwerk te voorkomen.

Het paalpuntniveau zal op basis van de boven gegeven eisen/vergingen ongeveer op NAP -10,0 m uitkomen voor de vier funderingen.

Constructie

Ontwerputgangspunten

Het globaal ontwerp is gebaseerd op de hieronder beschreven uitgangspunten:

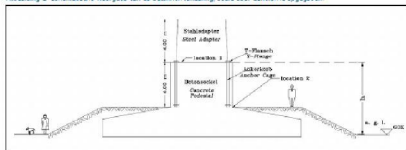
- Boenkrans van de tundering ligt 2,5 m boven het nieuwe maaiveld;
- Aanheggen van de lundings ligt op 0,4 m onder maaiveld; ca. 0,3 m boven hoogst gemeten grondwaterstand;
- Tijdens normaal bedrijf van de windturbinen mogen er geen trekkrachten in de palen/lundering optreden, om vermoeiingsverschijnselen te voorkomen;
- Omdat de ondert van de lundering bijna op het huidige maaiveld wordt aangebracht en de gemeten grondwaterstanden (-0,7 m t/m -1,3 m maaiveld) geen aanleiding geven tot een andere beschouwing, speelt opdring van de lundering geen rol;
- Benodigde paalgigenschappen
 - Maximale druk: 1350 kN
 - Maximale trek: 150 kN
 - Cyclische veerkracht 225 MN/m

Belastingen en combinaties

De belastingen zijn ontleend aan het document in bijlage 2, waarin de belastingen uit de turbinemast voor de Servlon 3.0M122, NH gegeven worden.

In de tabel hieronder worden de aangehouden belastingen samengevat. In deze fase is alleen sterkte en stabiliteit in de ULS (uiterste grenstoestand) getoetst, en het niet optreden van trekkrachten op de palen tijdens normaal bedrijf. Voor de stijfheid van de fundering wordt een eerste inschatting gemaakt. In de DO-fase worden aspecten als stijfheid (vervormingen) en vermoede, die maatgevend kunnen zijn voor de afmeting van de fundering nauwkeurig beschouwd.

Afbeelding 2. Schematische weergave van de beproefde fundering, zoals door Sawion is opgegeven



Tabel 1: Turbinebelastingen (excl. partiële factoren)

Servicon 3.0M122, NH/ hh 119 m IE C3A	ULS (extreem)	SLS (bedrijf)
F_x [kN]	1.120	600
F_z [kN]	7.572	7.690
M_y [kNm]	118.838	60.502

Deze belastingen grijpen aan de onderkant van de betonnen sokkel (locatie 2; figuur 3). De waarden voor de ULS zijn bepaald aan de hand van de belastingopgave Servicon [1] § 7.2. Omdat in de opgave al rekening is gehouden met de veiligheidsfactoren is de opgegeven waarde gedeeld door de veiligheidsfactor van 1.10 voor windbelasting (zie ook volgende blz.) en 1.10 voor het eigengewicht. Voor de SLS situatie is de waarde genomen waarbij geen trek in de paal mag komen volgens de belastingopgave Servicon r1/ § 7.5.

De totale verticale belasting wordt berekend door het eigengewicht van de fundering en de windturbine en de gronddekking op het funderingsblok (geen opwaartse grondwaterdruk aanwezig) bij elkaar op te tellen. Vooralopgave wordt ervan uitgegaan dat er geen gronddekking op de fundering aanwezig is. Aangezien de trek op de palen in de meeste gevallen maatgevend is, is dit een conservatieve aanname. De horizontale belasting F_x ontstaat door de winddruk. Doordat deze kracht aangrijpt ter hoogte van de onderkant van de sokkel, resulteert dit in een extra rotatiemoment M_y .

In onderstaande tabel zijn de verschillende belastinggevallen weergegeven.

Tabel 2: Belastinggevallen

Belastinggeval	Omschrijving
BG 01	Blijvende belasting; eigengewicht funderingspaal
BG 02	Blijvende belasting; grondwater (opwaartse belasting – niet aanwezig)
BG 03	Blijvende belasting; eigengewicht windturbine (mast, turbine en sokkel)
BG 04	Variable belasting; extreme windbelasting
BG 05	Variable belasting; maximale bedrijfsbelasting

Bij het ontwerp zijn de volgende belastingcombinaties gedefinieerd:

- ULS voor controle sterkte en stabiliteit van de constructie;
- SLS voor controle vervorming en stijfheid tijdens bedrijf

Zie onderstaande tabellen voor de samenstelling van de combinaties uit de belastinggevallen, inclusief de te hanteren partiële belastingfactoren.

Tabel 3 Overzicht ULS-combinaties

Belasting combinatie	BG 01	BG 02	BG 03	BG 04	BG 05
BC 01	1,10	-	1,10	1,10	-
BC 02	0,9	1,0	0,9	1,10	-

Tabel 4 Overzicht SLS-combinaties

Belasting combinatie	BG 01	BG 02	BG 03	BG 04	BG 05
BC 03	1,0	-	1,0	-	1,0
BC 04	1,0	1,0	1,0	-	1,0

NE: In de ULS wordt een partiële belastingfactor van 1,10 gehanteerd. Het m aangevunde belastinggeval vanuit de windturbine, DUCS 2, is een zgn. *abnorm afload case* waarop de factor 1,10 van toepassing is conform de BC. Zie ook bijlage 2.

Ontwerpberekening

Met behulp van een rekensheet (zie bijlage 3) zijn de afmetingen, het aanlegniveau en aantal palen bepaald van de fundering. De vorm van de fundering is gekozen op basis van de benodigde hoogte, minimaal 2,5 m boven maaiveld, en de benodigde stijfheid van de plaat. Ook zijn de optredende paalbelastingen bij deze afmetingen en de in deze memo genoemde uitgangspunten bepaald. Bij de keuze voor het aantal palen en de aangehouden hoogte van 2,9 m is de rotatiestijfheid van het blek m aangevend.

De geotechnische uitgangspunten zijn gebaseerd op geotechnisch advies, de turbinebelastingen (Fx, Fz en My) en ervaringsgegevens die aanwezig zijn binnen Royal HaskoningDHV.

Het definitieve ontwerp wordt gemaakt op basis van een DIANA modelering waarbij ook rekening wordt gehouden met de vermoedingsbelastingen en dieper wordt ingegaan op afwijkingen uit het belastingendocument. Ook kan de turbineleverancier bepaalde ontwerpverplichtingen voorschrijven. In dit voorontwerp zijn deze zaken nog niet meegenomen.

Funderingsontwerp

De gegevens van het funderingsontwerp zijn samengevat in Tabel 5.

Voor de windturbines zal een ronde tapse funderingsplaat worden toegepast met een diameter van 21,2 m en een constructieve dikte van 2,9 m in het midden en 1,50 m aan de rand. De plaat wordt voorzien van een betonsokkel van 4,00 m hoog. De bovenkant van deze opstort ligt op +2,50 m maaiveld. Het aanlegniveau (onderkant fundering) bedraagt -0,4 m maaiveld. Hierdoor krijgen de windturbines een hub hoogte van 119,0 m.

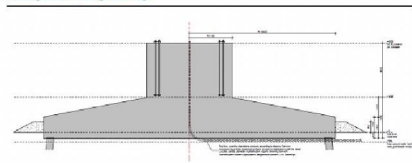
Maatgevend criterium is 'de voorgeschreven veerkrachtigheid wanneer de toren in gebruik is'.

Tabel 5 Voornutverplaatste afmetingen voor de 4 funderingen

Funderingsvorm	Rond taps met opstort.
Diameter plaat	21,2 m
Hoogte plaat	Centrum: 2,90 m Rand: 1,50 m (bovenkant 1,1 m boven M.V.)
Diameter sokkel	6,20 m
Hoogte sokkel	4,00 m
Hoogte fundering totaal M.V.	6,90 m WEA1 NAP +9,5 m WEA2 NAP +9,1 m WEA3 NAP +9,2 m WEA4 NAP +9,1 m
Volume totaal	703 m ³ (blok) + 121 m ³ (opstort) = 824 m ³ (4x)
Wapening	N.t.b.
Paaltipe	Vibropalen
Aantal palen	40
Paallengte	Ca. 19 m
Paalbelasting, UGT	F _{s,max,UGT} = 1350 kN (druk) F _{s,min,UGT} = -150 kN (trek)
Paalbelasting, Normaal bedrijf	F _{s,max,oper} = 950 kN (druk) F _{s,min,oper} = 315 kN (druk)

In onderstaande figuur is de fundering schetsmatig weergegeven met de hoofdmaatvoering.

Abbildung 3 Schets fundering met afmetingen



Vervolgtraject

In de volgende fase zal op basis van het voorontwerp een definitief ontwerp worden gemaakt.

Stappenplan:

1. Verifiëren uitgangspunten uit VO fase;
2. Bepalen paalafmetingen en paalpuntniveaus per fundering;
3. Modelleren fundatie met FEM software DIANA (ontwikkeld door TNO);
4. Definitieve afmetingen bepalen a.d.h. v. krachten/spanningen/vervorming uit FEM model;
5. Controle rotaties/field fundering;
6. Detaillering wapening fundering en kopwapening palen;
7. Detaillering krachtoverleiding toren – fundatie;
8. Vormtekening en wapeningstekening

Einde memo.

BIJLAGEN

1. Grondonderzoek
2. Foundation Specifications Servion 3.0W122,NH/wh 116,0 – 119,0 m, IEC3b
3. Berekening afmetingen fundering
4. Tekening torenverankering
5. Regionaal overzicht windpark
6. Tekening Royal HaskoningDHV windpark Bijland

BIJLAGE 1 GRONDONDERZOEK

Opdracht : 1600009
Plaats : Angerlo
Project : Windpark Bijvanck

Betreft : Windpark Bijvanck
te
ANGERLO

Opdrachtgever : Raedthuys Windenergie b.v.
T.a.v. [REDACTED]
Postbus 3141
7500 DC ENSCHEDE
NL

Behandeld door : [REDACTED]

Kenmerk : R1600009-RH_1

Datum : 26 April 2016

MOS GRONDMEECHANICA B.V.

Correspondentieadres :	Postbus 801, 3160 AA Rhoon	Centraal telefoonnummer :	+31(0)88-5130200
Hooftelefoonhoon	Kloofijk 35	3160 EK	Rhoon
Vestiging Helmond	Vossenbeemd 808	5705 CL	Helmond
Vestiging Almelo	Het Wendeigdoor 13	7604 PJ	Almelo
Vestiging Halftweg	Houtenmerstraatweg 1498	1165 MK	Halftweg
Vestigings a/nl	ds Martin Luther Kingweg 120	6105 CT	Wanica

suriname : +307-488228



0000000092

1. ONDERZOEKOPDRACHT

Ten behoeve van bovengenoemd project hebben wij in uw opdracht een grondonderzoek uitgevoerd. De opdracht omvatte de volgende werkzaamheden:

- Bureaueenruimten waaronder kilometer en interpretatie
- 55 localisaties uitzetten en waterpasen o.v. RD en NAP
- 12 sonderingen tot een diepte van maaiveld-30 m inclusief meting van de plaatselijke wrijving t.b.v. windturbines
- 31 sonderingen tot een diepte van maaiveld-15 m inclusief meting van de plaatselijke wrijving t.b.v. kraanopstellingen en transportwegen
- 12 boringen tot een diepte van maaiveld-5 m

2. UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN

Landmeten

Voor de uitvoering van dit onderzoek heeft de opdrachtgever ons een tekening ter beschikking gesteld.

Aan de hand van de verstrekte tekening heeft Mos Grondmechanica een kilometer gedaan. De onderzoekslocaties zijn vooraf door de opdrachtgever bepaald en met behulp van GPS-RTK apparatuur in het veld uitgezet en gewaterpast. De onderzoekslocaties zijn op tekening weergegeven en in dit rapport opgenomen.

Sonderen

In de periode van 20 t/m 25 april 2016 zijn de sonderingen met de nummers 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, 4.2 en 4.3 uitgevoerd tot een diepte van circa maaiveld-30 m. De sonderingen met de nummers 1.4 t/m 1.7, 2.5, 2.6, 3.4 t/m 3.7, 4.4 t/m 4.7, 5.1 t/m 5.5 en 5.7 t/m 5.15 zijn uitgevoerd tot een diepte van circa maaiveld-15 m. Sondering 2.4 is in verband met de maximale persdruk uitgevoerd tot een diepte van maaiveld-5,5 m. Sondering 2.7 en 5.6 zijn in verband met de maximale persdruk uitgevoerd tot een diepte van maaiveld-8,3 m.

De sonderingen zijn met een sondeerunit met een drukcapaciteit van 200 kN uitgevoerd. Bij elke sondering is per 20 mm de tijd, de diepte, de cone weerstand (q_c), de plaatselijke wrijving (t_1) en de helling (i) gemeten en als data opgeslagen. Tevens is het berekende wrijvingsgetal gepresenteerd.

Het wrijvingsgetal geeft nadere inzicht in de aanwezigheidssoorten. Voor de in Nederland meest voorkomende, normaal geconsolideerde, grondsoorten kunnen indicatief de volgende wrijvingsgetallen worden aangehouden:

Zand: 0,5 % - 1,5 % Klei / Leem: 2% - 4% Veer: 8% - 10%

De sonderingen zijn conform toepassingsklasse 3, type TE1 van de NEN-EN-ISO-22476-1 uitgevoerd.

Handboren

Op 20 en 22 april 2016 zijn de boringen B1 t/m B12 uitgevoerd tot een diepte van maaiveld -5 m. De boringen zijn conform NEN-EN-ISO 22475-1 uitgevoerd.

De grondopbouw ter plaatse is beschreven in de vorm van een boorstat met schaal 1:2002 ten opzichte van NAP geplot in dit rapport opgenomen.

Grondwaterstanden

Tijdens het uitvoeren van het grondonderzoek is het grondwater aangetroffen op circa maaiveld -0,7 à -1,3 m. Hierbij wordt opgemerkt dat deze grondwaterstand tijdens het boren is gemeten en slechts een momentopname is en het onder invloed van spanningsweter, tegenopbouw, lokale omstandigheden en seizoensafhankelijke factoren, de waarde hiervan sterk kan afwijken.

Opgesteld door:

M. Blaak (revisor)



Rhoon, 2

Mos Grondmechanica B.V.

Gecontroleerd door:

A. t



MOS GRONDMECHANICA

Inhoud:

- Sonderingen
- Boringen
- Coördinatenlijst
- Situatiekening

