

GEOTECHNISCH GRONDONDERZOEK
EN FUNDERINGSADVIES
betreffende


**17 WINDTURBINES AAN DE
NOORDERMEERDIJK
NABIJ CREIL IN DE NOORDOOSTPOLDER**

Opdrachtnummer: Q-1528-B

Opdrachtgever : Essent Energie

Projectleider :
Hoofd Regio Noord

Opgesteld door :
Projectleider Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	16 november 2000	Eerste versie; geen wijzigingen	
2	26 februari 2001	resterende 6 sonderingen uitgevoerd en verwerkt, commentaar opdrachtgever en waterschap verwerkt	

INHOUDSOPGAVE

	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	1
2. PROJECTOMSCHRIJVING	2
3. GRONDONDERZOEK	3
4. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID	4
5. FUNDERINGSADVIES	5
5.1 Algemeen	5
5.2 Fundering palen	6
6. DRAINAGE FUNDERING	14
7. OPSTELPUNTEN KRAAN	16
8. UITVOERING	17
BIJLAGEN	<u>Nr.</u>
- Situatiekening	Q-1528-8
- "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten"	
- "Continu Elektrisch Sonderen"	
- Sondeergrafieken.....	Q-1528-DKM1A t/m DKM17B
- Standaard windturbine fundering	Q-1528-9
- Funderings belastingen windturbine (standaard)	Q-1528-10
- Funderings belastingen windturbine (aangepast)	Q-1528-11
- Maaiveldhoogte's, slootpeilen en onderkant funderingsblok ter plaatse van de windturbines	Q-1528-12
- "Uitvoering Heiwerk"	

1. INLEIDING

Op 17 oktober 2000 ontving Fugro Ingenieursbureau te Groningen van Essent Energie te Zwolle, de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch grondonderzoek alsmede het opstellen van een funderingsadvies. Het funderingsadvies heeft betrekking op de fundering van de windturbines (standaard fundering) alsmede de opstelpunten van de kraan (tijdens de uitvoering).

Door Fugro Ingenieursbureau is tevens een rapportage opgesteld en een grondonderzoek uitgevoerd ten behoeve van het bepalen van de invloed van de heiwerkzaamheden op de Noordermeerdijk en het ontwerp van de ontsluitingswegen. Voor de resultaten hiervan wordt verwezen naar rapport Q-1528-A, d.d. 23 februari 2001.

Dit rapport bevat een korte projectomschrijving (hoofdstuk 2), de resultaten van het grondonderzoek (hoofdstuk 3 en 4), het funderingsadvies (hoofdstuk 5) en uitvoeringsaspecten (hoofdstuk 6).

2. PROJECTOMSCHRIJVING

De bouwlocatie is gelegen aan de Noordermeerdijk tussen dijkpaal 7 en 12 nabij Creil in de Noordoostpolder.

Het plan betreft de plaatsing van 17 windturbines. De hoogte van de masten van de turbines bedraagt ca. 80 m en het vermogen bedraagt ca. 1,5 MW. De diameter van de rotorbladen bedraagt ca. 66 m. De turbines worden hart-op-hart ca. 300 m geplaatst.

Bovenstaande gegevens zijn door de opdrachtgever verstrekt.

De maatgevende (extreme) belastingen zijn beschikbaar gesteld door twee turbine leveranciers, nl. Vestas Nederland Windtechnologie b.v. en Neg-Micon Holland b.v. In tabel 1 zijn de representatieve waarden van de extreme belastingen gegeven. Deze belastingen zijn exclusief het gewicht van het funderingsblok.

Tabel 1: Representatieve waarden belastingen windturbine

	Vestas	Neg-Micon
Horizontale kracht F_x [kN]	399	765
Verticale kracht F_z [kN]	2165	2989
Moment (rotatie om horizontale as) M_y [kNm]	23300	50330

Omdat de belastingen van Vestas eerder beschikbaar waren is het funderingsadvies op die belastingen gebaseerd. Opvallend is het grote verschil in moment tussen beide leveranciers. Dit verschil is van grote invloed op de fundering van de windturbine.

3. GRONDONDERZOEK

Het grondonderzoek heeft bestaan uit 34 diepsonderingen met meting van de plaatselijke mantelwrijving (code DKM).

De sonderingen zijn vanaf een standaard sondeertruck uitgevoerd met de elektrische Fugro-(kleefmantel)conus onder Fugro's ISO 9001 certificaatnummer 651697 conform norm NEN 5140, waarbij het verticaal sonderen is gecontroleerd door middel van een in de conus ingebouwde hellingmeter.

Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen".

De onderzoekslocaties zijn door Fugro Ingenieursbureau b.v. uitgezet en gewaterpast en zijn aangegeven op de situatietekening in bijlage Q-1528-1A. Voor het uitzetten heeft de Grootschalige Basiskaart Nederland als basis gediend en voor het waterpassen de inmetingen van de dwarsprofielen over de dijk.

De resultaten van de sonderingen zijn getekend op de grafieken Q-1528-DKM1A t/m DKM17B, waarop de diepte is uitgezet in meters ten opzichte van NAP.

Op de grafieken is tevens het wrijvingsgetal weergegeven. Dit is de verhouding tussen de plaatselijke mantelwrijving en de conusweerstand. Empirisch is vastgesteld dat het wrijvingsgetal een nauwe relatie heeft met de grondsoort, zodat een goede indicatie van de laagopbouw is verkregen.

Voor een verklaring van de op de situatietekening en handboorstaten gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar de bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten".

4. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP - 3,36 m tot -4,10 m.

Op basis van het grondonderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2 is weergegeven.

Tabel 2: Globale bodemgesteldheid.

Bovenzijde laag in m t.o.v. NAP	Bodembeschrijving
Maaiveld	Zand-, klei- en veenlagen
ca. -5,2	Zand, los tot matig vast gepakt
-20,5 à -24,5	Leem, lokaal doorsneden door zandlaag
-23,0 à -27,5	Zand, matig vast tot zeer vast gepakt, lokaal met klei/leem lenzen
-34,1	Maximaal verkende diepte

Door peilen in de sondeergaten na het trekken van de sondeerstangen is tijdens de uitvoering van het onderzoek d.d. 4, 5 en 6 oktober 2000 tot de op deze wijze verkende diepte van MV - 0,2 m à -0,4 m geen grondwater aangetroffen. Op deze diepte waren de sondeergaten ingestort, hetgeen dieper peilen onmogelijk maakte. Deze opname is éénmalig en bedoeld als een oriënterend gegeven.

De stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket is d.d. 4-09-2000 gemeten tussen NAP - 3,1 m à -3,8 m (zie rapport Q-1528-A, d.d. 23 februari 2001).

5. FUNDERINGSADVIES

5.1 Algemeen

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid en de aard van de belasting komt voor dit project met name een fundering op palen in aanmerking.

In overleg met de opdrachtgever is besloten uit te gaan van de toepassing van prefab betonpalen.

Deze funderingsoplossing is in paragraaf 5.2 nader uitgewerkt.

Het funderingsadvies voor dit project is opgesteld conform de normen geotechniek NEN 6740 en NEN 6743. Het mede op basis van dit advies gemaakte funderings-ontwerp dient achteraf te worden getoetst aan de geldende geotechnische normen.

In het ontwerpstadium zijn in het algemeen geen gedetailleerde gegevens beschikbaar met betrekking tot het palenplan, de exacte paalbelastingen, de gebouwstijfheid en de vervormingseisen. Derhalve wordt in dit stadium van het project volstaan met de toetsing van grenstoestand 1B op sterkte, dus met inbegrip van negatieve kleef. Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen en avegaarpalen met relatief kleine diameter, is deze grenstoestand veelal maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstoestanden worden ondervangen.

Voor de paalfundering is uitgegaan van op druk en trek en horizontaal belaste palen.

5.2 Fundering palen

Ten tijde van het opstellen van dit rapport waren nog geen definitieve gegevens over de krachtsafdracht van de constructie naar de fundering bekend.

De onderkant van het funderingsblok bevindt zich volgens opgave van de opdrachtgever op 1,2 m minus maaiveld.

Verticale draagkracht

Voor de uitwerking van het funderingsadvies voor dit project zijn twee varianten beschouwd. De eerste variant betreft een standaard windturbine fundering op 12 prefab betonpalen, beschikbaar gesteld door Vestas - Nederland Windtechnologie b.v.. Het funderingsblok is een zeshoekige plaat waarvan elke zijde 6,0 m lang is. De dikte van het blok bedraagt 1,5 m. Het representatieve gewicht van het blok bedraagt 3367 kN. Het representatieve gewicht van de turbine bedraagt 2165 kN. In bijlage Q-1528-9 is deze standaard fundering weergegeven en in bijlage Q-1528-10 zijn de bijbehorende belastingen volgens Vestas gegeven. De tweede variant betreft een aanpassing van de eerste variant, waarbij het oppervlak van de funderingsplaat met een factor $1,25^2$ is vergroot. Dit heeft tot gevolg het gewicht van het blok groter wordt en dat de trekbelasting op de palen minder wordt.

Volgens opgave van Vestas - Nederland Windtechnologie b.v. dienen ten behoeve van het ontwerp van de fundering de belastingen te worden gebruikt behorend bij een windstoot die éénmaal in de 50-jaar voorkomt (Engels: 50-year windgust). Het betreft geen cyclische belastingen. Voor de hiervoor genoemde varianten zijn belastingen in bijlage Q-1528-10 en 11 gegeven. In tabel 3 zijn de door Fugro afgeleide rekenwaarden van de funderingsbelastingen per paal voor beide varianten samengevat. Voor de getoonde funderingsbelastingen geldt dat het funderingsblok boven het grondwater ligt.

Tabel 3: Maatgevende rekenwaarden verticale funderingsbelastingen per paal

		$F_{s, \text{vdruk}}$	$F_{s, \text{vdtrek}}$
Variant 1	standaard fundering windturbine	1702	734
Variant 2	oppervlak funderingsplaat vergroot	1661	362

Voor de gegeven belastingen kunnen prefab beton palen met een schachtafmeting van 450 mm en 500 mm worden toegepast, waarbij het paalpuntniveau in tabel 4 en 5 vermeld is.

Voor het funderingsadvies is voor twee schachtafmetingen een paalpuntniveau bepaald waarbij de rekenwaarde van de draagkracht van de palen groter dan of gelijk is aan de rekenwaarden van de funderingsbelastingen. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 4 en tabel 5 voor respectievelijk variant 1 en 2.

De trekbelasting op de palen is maatgevend voor het te kiezen paalpuntniveau, voor beide beschouwde varianten. In combinatie met de leemlaag (tussen NAP -20,5 m à -24,5 m en NAP -23,0 m à NAP -27,5 m) is een hoger paalpuntniveau voor variant 1 niet mogelijk. Toepassing van een grotere schachtafmeting (500 mm i.p.v. 450 mm), leidt daarom niet tot een hoger paalpuntniveau bij variant 1. Voor variant 2, waarbij de trekbelasting kleiner is, is ernaar gestreefd het paalpuntniveau zo hoog mogelijk boven de leemlaag te kiezen. Bij toepassing van een grotere schachtafmeting (500 mm i.p.v. 450 mm) kan het paalpuntniveau een halve meter hoger worden gekozen. Dit verdient de voorkeur in verband met de teruggang in conusweerstand ter hoogte van de eerder genoemde leemlaag.

Tabel 4: Paalpuntniveau's per sondering voor gegeven schachtafmetingen; variant 1

Sondering nr.	Maaiveeldhoogte [m - NAP]	Paalpuntniveau prefab betonpalen [m - NAP]
		$F_{s,v,d,ruk} = 1702 \text{ kN}$, $F_{s,v,d,trek} = 734 \text{ kN}$ $\varnothing 450 \text{ mm}$
DKM1A	-4,07	-26,0
DKM1B	-4,10	-26,0
DKM2A	-3,90	-26,5
DKM2B	-3,94	-26,5
DKM3A	-3,97	-26,0
DKM3B	-4,03	-26,0
DKM4A	-3,92	-27,0
DKM4B	-4,00	-27,0
DKM5A	-3,90	-26,0
DKM5B	-3,97	-26,0
DKM6A	-3,88	-27,5
DKM6B	-3,96	-27,5
DKM7A	-3,64	-26,5
DKM7B	-3,70	-26,5
DKM8A	-3,73	-27,0
DKM8B	-3,74	-27,0
DKM9A	-3,40	-26,5
DKM9B	-3,60	-26,5
DKM10A	-3,37	-30,5
DKM10B	-3,41	-30,5
DKM11A	-3,52	-27,0
DKM11B	-3,55	-27,0
DKM12A	-3,48	-26,5
DKM12B	-3,53	-26,5
DKM13A	-3,41	-32,0

Sondering nr.	Maaiveldhoogte [m - NAP]	Paalpuntniveau prefab betonpalen [m - NAP]
		$F_{s,v,d,druk} = 1702 \text{ kN}$, $F_{s,v,d,trek} = 734 \text{ kN}$ $\varnothing 450 \text{ mm}$
DKM13B	-3,47	-32,0
DKM14A	-3,51	-26,5
DKM14B	-3,49	-26,5
DKM15A	-3,36	-29,5
DKM15B	-3,40	-29,5
DKM16A	-3,59	-29,5
DKM16B	-3,62	-29,5
DKM17A	-3,54	-32,0
DKM17B	-3,50	-32,0

Tabel 5: Paalpuntniveau's per sondering voor gegeven schachtafmetingen; variant 2

Sondering nr.	Maaiveldhoogte [m - NAP]	Paalpuntniveau prefab betonpalen [m - NAP]
		$F_{s,v,d,druk} = 1661 \text{ kN}$, $F_{s,v,d,trek} = 362 \text{ kN}$ $\varnothing 500 \text{ mm}$
DKM1A	-4,07	-17,0
DKM1B	-4,10	-17,0
DKM2A	-3,90	-19,0
DKM2B	-3,94	-19,0
DKM3A	-3,97	-18,0
DKM3B	-4,03	-18,0
DKM4A	-3,92	-17,0
DKM4B	-4,00	-17,0
DKM5A	-3,90	-17,0
DKM5B	-3,97	-17,0

Sondering nr.	Maaiveldhoogte [m - NAP]	Paalpuntniveau prefab betonpalen [m - NAP]
		$F_{s,v,d,druk} = 1661 \text{ kN}$, $F_{s,v,d,trek} = 362 \text{ kN}$ $\varnothing 500 \text{ mm}$
DKM6A	-3,88	-17,0
DKM6B	-3,96	-17,0
DKM7A	-3,64	-17,0
DKM7B	-3,70	-17,0
DKM8A	-3,73	-17,0
DKM8B	-3,74	-17,0
DKM9A	-3,40	-17,0
DKM9B	-3,60	-17,0
DKM10A	-3,37	-17,0
DKM10B	-3,41	-17,0
DKM11A	-3,52	-17,0
DKM11B	-3,55	-17,0
DKM12A	-3,48	-19,0
DKM12B	-3,53	-19,0
DKM13A	-3,41	-17,0
DKM13B	-3,47	-17,0
DKM14A	-3,51	-20,0
DKM14B	-3,49	-20,0
DKM15A	-3,36	-20,0
DKM15B	-3,40	-20,0
DKM16A	-3,59	-18,5
DKM16B	-3,62	-18,5
DKM17A	-3,54	-17,5
DKM17B	-3,50	-17,5

$F_{r,net;d} = F_{r,max;d} - F_{s,nk;d}$
 = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleef.

Voor de tussen de sonderingen te heien palen moet worden uitgegaan van de meest ongunstige sondering.

Voor de berekening van de rekenwaarde van de maximale draagkracht en de toetsing van grenstoestand 1B volgens NEN 6740 en NEN 6743 zijn hierin de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Het project is geplaatst in geotechnische categorie 3.
- Omdat de constructie als stijf kan worden beschouwd is volgens tabel 1 van NEN 6743 voor de factor $\xi_{1,N}$ een waarde van 0,81 gehanteerd.
- Aangezien ter plaatse van de windturbines geen terreinzakkingen groter dan 20 mm verwacht worden is conform art. 11.5.1 van NEN 6740 in de berekeningen geen negatieve kleeftbelasting verdisconteerd.
- De belastingfactor op het moment bedraagt 1,5 (zie bijlage Q-1528-10 en 11). Deze waarde dient door een constructeur te worden gecontroleerd.
- Toetsing volgens grenstoestand 1B houdt in dat voldaan moet worden aan:
 $F_{s;d} + F_{s;nk;d} \leq F_{r,max;d}$. Hiermee is tevens voldaan aan grenstoestand 1A. De vervormingsgrenstoestanden zijn, zoals hierna zal worden aangetoond, gezien de zeer geringe zakking van de palen onder invloed van de belasting, niet maatgevend.

Horizontale draagkracht

De representatieve totale horizontale belasting op de fundering bedraagt maximaal 399 kN (zie bijlage Q-1528-10).

Het horizontale draagvermogen van de palen wordt bepaald door het toelaatbare moment in de paal. Uitgaande van een voorgespannen prefab betonpaal met een schachtafmeting van 450 mm en een maximale verticale representatieve trekbelasting van 425 kN bedraagt het scheurmoment ca. 60 kNm en het bezwijkmoment bedraagt ca. 145 kNm. Genoemde waarden gelden voor een minimale wapening in de paal. Bij toepassing van meer wapening nemen de genoemde momenten toe.

Uitgaande van een volledig ingeklemde paal bedraagt het maximaal optredend moment ca. 34 kNm. Hieruit blijkt dat het optredende moment beneden de waarde van het scheurmoment en het bezwijkmoment blijft.

Zakkingen bovenkant fundering

In tabel 6 zijn de berekende zakkingen van de bovenkant van de fundering van de windturbines (w_d) gegeven voor de maatgevende sonderingen. Deze zakkingen bestaan uit sommatie van de paalkopzakking ($w_{1,d}$) en de zakking van de leemlaag ($w_{2,d}$). De paalkopzakking is opgebouwd uit de zakking van de paalpunt en de elastische verkorting van de paal. De zakkingen zijn bepaald voor grenstoestand 1B en 2. Hierbij is voor variant 1 uitgegaan van een rekenwaarde van de funderingsbelasting van 1702 kN en een representatieve waarde van 1309 kN. Voor variant 2 is uitgegaan van funderingsbelastingen van respectievelijk 1661 kN en 1278 kN.

Tabel 6: Zakkingen van de bovenkant van de fundering van de windturbines

	maatgevende sondering	paalpunt-niveau [m t.o.v. NAP]	grenstoestand 1B [mm]			grenstoestand 2 [mm]		
			$w_{1,d}$	$w_{2,d}$	w_{tot}	$w_{1,d}$	$w_{2,d}$	w_{tot}
Variante 1	DKM13A	-32,0 (450 mm)	7,7	-	7,7	3,7	-	3,7
Variante 2	DKM5A	-17,0 (500 mm)	6,6	4,0	10,6	2,3	3,0	5,3

In de berekening van de zakking van de leemlaag ($w_{2,d}$) is rekening gehouden met spanningsspreading onder de paalpunt en met het kortdurende karakter van de belasting.

Verticale en horizontale stijfheid palen

De verticale en horizontale stijfheid van een funderingspaal is de verticale/horizontale belasting gedeeld door de berekende verticale/horizontale verplaatsing. Voor de verticale stijfheden zijn deze gegevens bekend. Voor de horizontale stijfheid is de horizontale verplaatsing niet bekend. Hiervan is een globale inschatting is gemaakt. Aangenomen is dat de horizontale verplaatsing voor grenstoestand 1B 2 mm bedraagt, voor grenstoestand 2 is uitgegaan van 0,5 mm. Voor variant 1 en 2 zijn de geschatte horizontale stijfheden gelijk omdat de horizontale belasting niet verandert. In tabel 7 zijn de stijfheden vermeld. In de berekeningen is geen rekening gehouden met de stijfheid van de grond.

Tabel 7: Verticale en horizontale stijfheid palen

	schachtafmeting [mm]	verticale stijfheid palen [kN/mm]		geschatte horizontale stijfheid palen [kN/mm]	
		GT 1	GT 2	GT 1	GT 2
Variant 1	450	221	354	25	67
Variant 2	500	252	556	25	67

De stijfheid van de totale fundering dient door de turbineleverancier te worden bepaald.

6. DRAINAGE FUNDERING

Teneinde de trekbelasting op de funderingspalen te beperken dienen de grondwaterstand en de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket beneden de onderkant van het funderingsblok te worden gehandhaafd. Uitgaande van het standaard funderingsontwerp (variant 1, zie bijlage Q-1528-10) bedraagt het oppervlak van de plaat 94 m². Wanneer het grondwater 0,5 m boven de onderkant van het funderingsblok staat betekent dit namelijk een extra trekbelasting per paal van ca. 40 kN. Tevens dient de drainage te voorkomen dat vanuit het eerste watervoerende pakket zandmeevoerende wellen ontstaan.

Ter plaatse van de funderingsplaat van de windturbine dient aan de onderzijde een drainage te worden aangelegd. De drainage dient zodanig te worden aangelegd dat het gehele oppervlak van de onderkant van het funderingsblok voldoende wordt ontwaterd. De onderkant van het funderingsblok dient boven het hoogste slootpeil te zijn gelegen zodat de drainage kan afwateren op de kavelstoot.

Ten tijde van het inmeten van de dwarsprofielen over de dijk (juli 2000) zijn tevens de slootpeilen gemeten. Ter plaatse van turbine 1 bedroeg het slootpeil in de kavelstoten ca. NAP -5,1 m oplopend tot ca. NAP -4,3 m ter plaatse van turbine 17. Het slootpeil in de kwelsloot bedroeg destijds ca. NAP -4,3 m tot NAP -4,75 m. De fluctuaties van het waterpeil in de tijd is volgens lokaal verkregen informatie gering. De sloten wateren af op de Noordermeertocht, langs de Noordermeerweg. De kwelsloot is door middel van duikers verbonden met de kavelstoten.

Aanbevolen wordt de onderkant van het funderingsblok minder diep in de grond te plaatsen. In plaats van 1,2 m minus maaiveld wordt 0,7 m minus maaiveld geadviseerd. Dit heeft als groot voordeel dat de uitvoering sterk wordt vereenvoudigd. Bij een ontgraving tot 1,2 m diepte is namelijk ook tijdens de uitvoeringsfase een bemaling noodzakelijk terwijl bovendien de benodigde ruimte kleiner is. Bij een ontgraving tot 0,7 m minus maaiveld bevindt de onderzijde van het funderingsblok zich overal boven het sloot

peil. Het waterpeil in de kwelsloot is weliswaar hoger maar gezien de grotere afstand van de turbine tot kwelsloot is uitgegaan van het waterpeil in de kavelsloot. In bijlage Q-1528-12 is per turbine het aangetroffen slootpeil en de diepte ligging van het funderingsblok gegeven.

7. OPSTELPUNTEN KRAAN

Tijdens de bouw van de windturbines zullen met behulp van kranen de verschillende onderdelen van de windturbines worden gemonteerd. Deze kranen zullen met hun opstelpunten naast de ontsluitingsweg staan. Derhalve dient te worden gecontroleerd of de grond ter plaatse van deze opstelpunten voldoende draagkracht heeft.

Uitgaande van een 650-tons kraan worden op het maaiveld schotten gelegd met een totale oppervlakte van 18 m^2 (6,0 m x 3,0 m), per stempel. De belasting op de grond bedraagt 80 kPa. Deze gegevens zijn verstrekt door NEG-Micon Holland bv. De rekenwaarde van de belasting bedraagt 96 kPa.

De toetsing van de draagkracht is uitgevoerd voor grenstoestand 1B. Dat wil zeggen dat de zettingen, t.g.v. de stempel-belasting, niet als maatgevend worden beschouwd. Er is namelijk vanuit gegaan dat de stempels van de kraan de zettingen kunnen opvangen/compenseren. Uitgaande van de slechtste sondering, DKM5A, bedraagt het reken-grensdraagvermogen van de grond 150 kPa. Dit draagvermogen is hoger dan de opgegeven belasting. In de overige sonderingen worden zandiger toplagen aangetroffen waardoor het draagvermogen hoger zal zijn. Ter plaatse van de stempels/opstelpunten is geen grondverbetering noodzakelijk.

8. UITVOERING

Het heiwerk van de prefab betonpalen kan worden uitgevoerd onderstaande heiblokken, of met gelijkwaardige heiblokkken:

Variant 1 (standaard fundering):

- paalschacht afmeting 450 mm: D62-12 (energieniveau 111,6 - 223 kNm).

Variant 2 (aangepaste standaard fundering):

- paalschacht afmeting 500 mm: D46-13 (energieniveau 73-146 kNm).

Tijdens het heiwerk dient, afhankelijk van de ondervonden bodemweerstand en de werking van het blok, bij voorkeur ter plaatse van een sondering de juiste instelling te worden bepaald.

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid is tijdens de uitvoering deskundige heibegleiding noodzakelijk. Indien gewenst kan deze begeleiding van het heiwerk door Fugro-Ingenieursbureau b.v. verzorgd worden.

Door het heien zullen trillingen worden opgewekt. De invloed van deze trillingen op het dijklichaam zijn besproken in ons rapport Q-1528, d.d. 3 november 2000.

Desgewenst kunnen door Fugro-Ingenieursbureau B.V. tijdens het heien de trillingen worden gemeten en geïnterpreteerd.

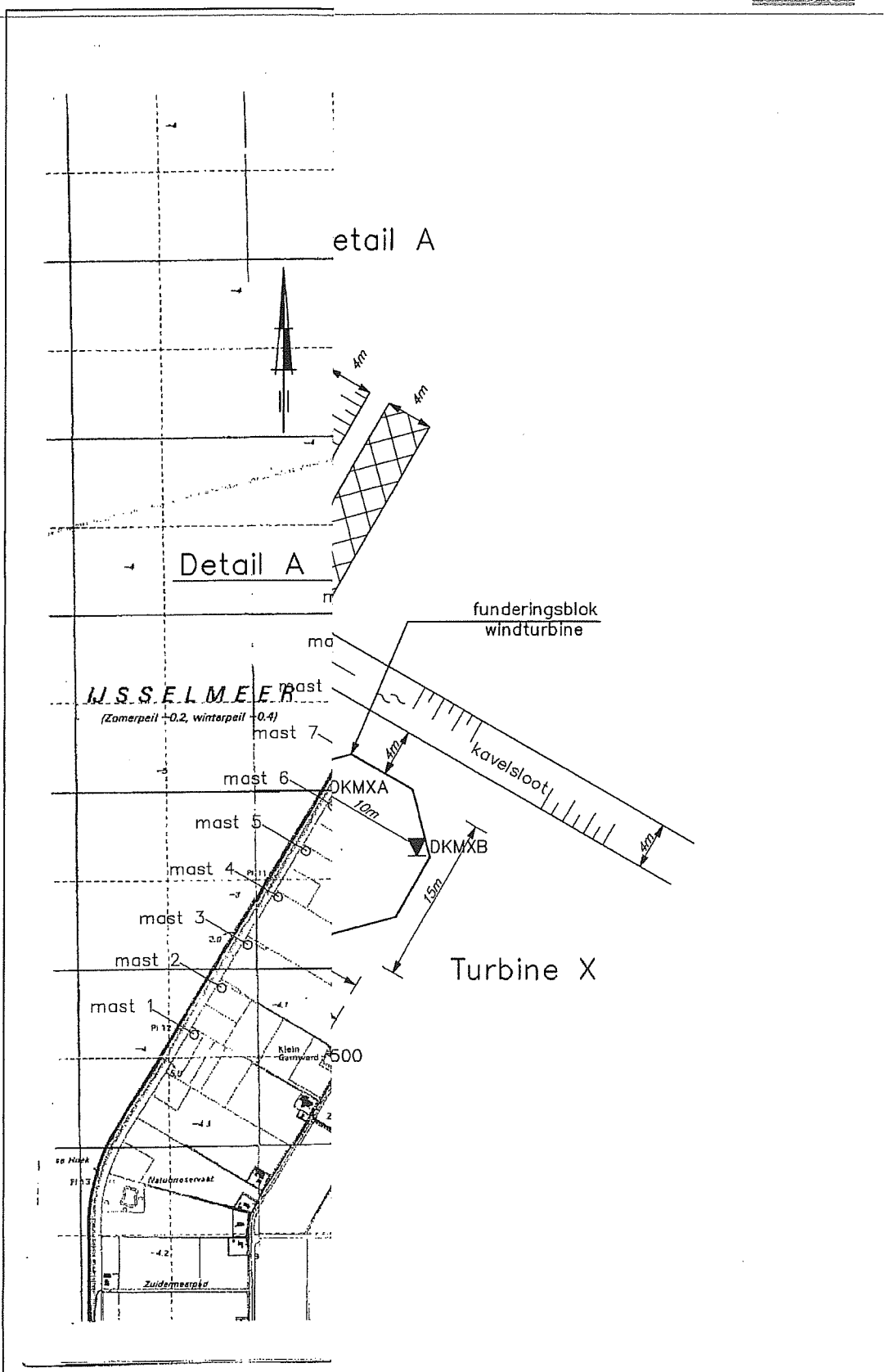
Voor verdere informatie en aanbevelingen met betrekking tot de wijze van uitvoering van de heiwerkzaamheden wordt verwezen naar de bijlage "Uitvoering Heiwerk".

Gezien de tijdens het grondonderzoek waargenomen grondwaterstanden zal het, afhankelijk van de op dat moment heersende grondwaterstanden, noodzakelijk zijn dat tijdens de uitvoering een bemaling wordt geïnstalleerd.

Omtrent de inrichting van deze bemaling kunnen wij u desgewenst nader adviseren.

Opdr. : Q-1528

Blz. : 17



Opg. : eld ddt: 10-11-2000 Geo.:

K










Opdr. : Q-1528
 Bijl. : 8



LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

BORINGEN/PEILBUIZEN

Aanduidingen









-  mechanische boring
-  handboring
-  niet uitgevoerde boring
-  boring met peilbuis
-  boring met peilbuis ondiep filter en diep filter
-  boring met peilbuis ondiep filter, middeldiep filter en diep filter
-  handboring met peilbuis
-  hellingmeterbuis
-  gedrukte peilbuis/minifilter

Type boringen

- B mechanische boring
- HB handboring

SONDERINGEN

Aanduidingen

-  diep-/diepzware sondering
-  middelzware-/lichte sondering
-  diep-/diepzware sondering met plaatselijke kleefmeting
-  middelzware-/lichte sondering met plaatselijke kleefmeting
-  slagsondering
-  niet uitgevoerde sondering
-  waterspanningsmeter
-  bodemluchtmonstername

Type sonderingen

- L lichte sondering
- M middelzware sondering
- D diepsondering
- DZ diepzware sondering
- S slagsondering

Toegevoegde metingen

- KM meting van de plaatselijke kleef
- P meting van de waterspanning
- G meting van de geleidbaarheid
- S seismische meting



Meettechniek

Bij het uitvoeren van een sondering conform norm NEN 3680 wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1000 mm² met een snelheid van ca. 20 mm/sec. in de bodem te drukken. De druk op de punt (conusweerstand in MPa) wordt door rekstrookjes in de conus continu gemeten. De meetsignalen worden via een kabel naar een elektrische meeteenheid gestuurd, waarbij de gemeten waarden analoog door een schrijver tegen de diepte worden uitgetekend en digitaal met een interval van 20 mm worden vastgelegd op cassette of diskette. De digitale gegevens worden op het kantoor uitgetekend met behulp van een aan de computer gekoppelde plotter, en gecontroleerd aan de hand van de schrijversgrafieken. Door de continue registratie van de conusweerstand wordt een nauwkeurig beeld van de gelaagdheid en de vastheid van de bodem verkregen.

In de elektrische conus is standaard een hellingmeter ingebouwd, waarmee tijdens het sonderen de afwijking van de conus met de verticaal wordt geregistreerd. Onjuiste diepteregistratie als gevolg van "krom sonderen" kan hiermee worden vastgesteld en eventueel worden gecorrigeerd.

Naast de conusweerstand kunnen, bij gebruik van andere conustypen, ook andere gegevens worden gemeten. De meest toegepaste conus is de "elektrische kleefmantelconus", waarmee zowel de conusweerstand als de plaatselijke wrijving gelijktijdig wordt geregistreerd. Hiertoe is een mantel met een oppervlak van 15.000 mm² boven de punt aangebracht. De plaatselijke wrijving wordt op dezelfde wijze als de conusweerstand gemeten en geregistreerd.

Meting van zowel conusweerstand als plaatselijke wrijving maakt het mogelijk het wrijvingsgetal te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotient van plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand, vermenigvuldigd met een factor 100. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

Interpretatie sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Het wrijvingsgetal geeft samen met de conusweerstand over het algemeen een goed beeld van de bodemopbouw onder de grondwaterstand. In onderstaande tabel zijn enige kenmerkende waarden van het wrijvingsgetal aangegeven. *Met nadruk dient te worden gesteld dat deze waarden slechts indicatief zijn en getoetst dienen te worden aan boringen, dan wel aan lokale ervaring en uitsluitend gelden voor de cilindrische elektrische kleefmantelconus.*

grondsoort	wrijvingsgetal	grondsoort	wrijvingsgetal
grind, grof zand	0,2 – 0,6	klei	3,0 – 5,0
zand	0,6 – 1,2	potklei	5,0 – 7,0
silt, leem, löss	1,2 – 4,0	veen	5,0 – 10,0

Boven de grondwaterstand kunnen grote afwijkingen ten opzichte van genoemde waarden voorkomen.

Andere conustypen

Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

type meting	meetresultaten	toepassingsmogelijkheden
– waterspanning	waterspanning ter plaatse van de punt tijdens het sonderen	– registreren waterremmende lagen – bepaling stijghoogte grondwater – classificatie/gelaagdheid bodem
– geleidbaarheid	elektrische geleiding grond en grondwater tijdens het sonderen	– indicatie zoet/zout water grens – onderzoek verspreiding verontreiniging
– temperatuur	temperatuurmeting op verschillende diepten	– warmteoverdracht in de bodem – bepaling temperatuurgradiënt
– seismisch	dynamische bodemparameters op verschillende diepten	– machinefunderingen – windturbinefundering
– versnellingen	versnellingen op verschillende diepten	– heittrillingen – verkeerstrillingen