

FUGRO GEOSERVICES B.V.

Afdeling Waterbouw

Archimedesbaan 13 (3439 ME Nieuwegein)
Postbus 1471
3430 BL Nieuwegein
tel.: 030 60 28175

Provincie Fryslân
Infra, Gebiedsinrichting en Natuur
T.a.v. de heer E. Bruins Slot
Postbus 20120
8900 HM Leeuwarden

Onze ref. : 1315-0324-002.B01/WRH Nieuwegein, 8 april 2016

Betreft : Project Vismigratierivier - Indicatieve zettingsanalyse

Geachte heer Bruins Slot,

Begin april 2016 ontving Fugro GeoServices B.V. te Nieuwegein de opdracht voor het uitvoeren van indicatieve zettingsberekeningen voor twee locaties voor het project Vismigratierivier bij de Afsluitdijk te Kornwerderzand. Voor dit project is recent door Fugro GeoServices B.V. onder opdracht nummer 1315-0324-001 een geotechnisch onderzoek uitgevoerd bestaande uit 40 sonderingen en 2 boringen, grotendeels vanaf het water.

Uitgangspunten

De waterbodemniveaus ter plaatse van de sondeer- en boorlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van ca. NAP -1,1 m tot ca. NAP -6,5 m. Twee sonderingen zijn vanaf het land uitgevoerd bij een maaiveldniveau van NAP +7,7 m. Op basis van het geotechnisch onderzoek kan de bodemgesteldheid op de waterlocaties globaal worden geschematiseerd als weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 - Globale bodemgesteldheid

Boven- en onderkant laag [m t.o.v. NAP]	Bodembeschrijving
-1,2 à -6,5 - -16 à -18,5	Zandige kleilagen en kleiige zandlagen
-16 à -18,5 - -21 à -23,5	Pleistoceen zand
-21 à -23,5 - -23 à -25	Veen
-23 à -25 - -29,75	Zandige kleilagen en kleiige zandlagen
-29,75	Maximaal verkende diepte

Door de opdrachtgever is informatie aangeleverd over de ophoogniveaus en de ligging van de waterbodembodem:

- DO Vismigratierivier, Doorsneden, 5-11-2015.
- DO Vismigratierivier, Ontwerp Vismigratierivier, 12-1-2016.

Voor het bepalen van de zettingen is door Fugro een tweetal locaties geselecteerd:

- Locatie 1: bij boring B1 en sonderingen DKMP 125 t/m 131 (representatieve sondering DKMP 126 in de buurt van dwarsprofiel IJ07 Zuidelijk strand buiten).

- Locatie 2: bij sonderingen DKMP 132 t/m 137 (representatieve sondering DKMP 134 in de buurt van dwarsprofiel IJ01 Oostelijke Dam).

Deze locaties zijn gekozen, omdat er relatief veel informatie beschikbaar is over de lokale bodemopbouw op basis van clusters van sonderingen. Het is niet beschouwd in hoeverre deze locaties representatief zijn voor het gehele projectgebied. De lokale bodemopbouw voor de twee locaties is weergegeven in bijlage 2.

Het volumiek gewicht en de stijfheidseigenschappen van de grondlagen in de bodem zijn bepaald op basis van default waarden uit de Eurocode, het Fugro archief en ervaring en zijn tevens gepresenteerd in bijlage 2.

De gemiddelde waterstand bij de vismigratierivier is aangenomen op NAP. Uit de aangeleverde tekeningen [ontvangen dd. 31-3-2016] blijkt dat voor de hoogste en laagste waterstand in de vismigratierivier respectievelijk NAP +0,8 m en NAP -0,8 m wordt aangehouden. Omdat het bereiken van de eindzetting plaatsvindt na een groot aantal waterstandsvariaties, is gerekend met de gemiddelde waterstand, in dit geval NAP. Dit ligt dus iets hoger dan het IJsselmeerpeil, dat op NAP -0,2 m of -0,4 ligt.

Voor de ophoging wordt volgens de opdrachtgever grond gebruikt, die vrijkomt bij werkzaamheden aan de N31 bij Harlingen. Er is uitgegaan van grond met een volume gewicht van 18 kN/m³. Dit dient nog te worden geverifieerd. De ophogingen zijn gemodelleerd als een uniforme belasting over de beschouwde breedte. Het effect van maaiveldvariaties is dus niet meegenomen. Het specifieke effect van de lokaal aanwezige en vermoedelijk zwaardere steenbestorting op de zettingen is, vanwege het indicatieve karakter van de berekeningen, niet bepaald.

Analyse

Door het aanbrengen van ophogingen t.b.v. de aanleg van de vismigratierivier zal een zettingsproces op gang worden gebracht. De zettingen worden veroorzaakt door verhogingen van de korrelspanningen. Deze korrelspanningen worden beïnvloed door het aanbrengen van de ophogingen. De zettingen treden tijdsafhankelijk op. Enerzijds is sprake van het uitdrijven van water (consolidatie gedurende de hydrodynamische periode), anderzijds treedt kruip op (ook wel secundaire zakking genoemd). De berekende zettingen betreffen theoretische eindzettingen en zullen pas na geruime tijd worden bereikt. Hiervoor is een periode van 10.000 dagen (circa 30 jaar) in acht genomen.

De zettingen zijn berekend met de formule van Koppejan (gecombineerde formule Terzaghi-Buisman), die in grote lijnen als volgt kan worden geschreven:

$$s = d \cdot \left(\frac{1}{C_p} + \frac{\log t}{C_s} \right) \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_{v;z} + \Delta \sigma'_{v;z}}{\sigma'_{v;z}} \right) \quad \text{vgl. 1}$$

waarin:	s	= zetting, samendrukking in m
	d	= laagdikte in m
	C _p	= primaire samendrukkingscoëfficiënt
	C _s	= secundaire samendrukkingscoëfficiënt
	t	= tijd in dagen; voor 30 jaar, log t = circa 4
	σ' _{v;z}	= oorspronkelijke verticale korrelspanning in kN/m ²

$$\Delta\sigma'_{v,z} = \text{verticale korrelspanningsverhoging in kN/m}^2$$

De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma D-Settlement. Dit programma voor de berekening van zettingen in een semi-driedimensionale ruimte houdt rekening met spreiding van de belasting(en) in de ondergrond, van zowel bestaande als nieuwe ophogingen.

Bij de analyses is rekening gehouden met het onder water zakken van de grondlagen, waardoor het effectief gewicht van de ophoging vermindert. Daarnaast is rekening gehouden met overhoogte. Dit is de grondlaagdikte (hoeveelheid grond) die wordt aangebracht met het doel na zetting van de ondergrond de gewenste hoogte van de constructie te bereiken.

De berekende zettingen representeren eindzettingen, dat wil zeggen de zettingen die over een periode van ca. 30 jaar optreden. De onnauwkeurigheid van de berekende zettingen bedraagt circa +/-30%.

Resultaten

De zetting is berekend voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) zodat alle partiële factoren de waarde 1,0 hebben. De berekeningsresultaten voor de twee geselecteerde profielen zijn gepresenteerd in de vorm van een grafiek waarin de bruto ophoging is uitgezet tegen de berekende zetting, zie hiervoor bijlage 3.

Bij locatie 1 ligt de waterbodem op circa NAP -5,35 m en wordt er opgehoogd tot circa NAP +1,2 m. De netto ophoging bedraagt dus circa 6,55 m. Hierbij wordt een eindzetting verwacht van circa 0,7 m. De bruto ophoging bedraagt dus circa 7,25 m.

Bij locatie 2 ligt de waterbodem op circa NAP -4,0 m en wordt er opgehoogd tot circa NAP +1 m. De netto ophoging bedraagt dus circa 5 m. Hierbij wordt een eindzetting verwacht van circa 0,7 m. De bruto ophoging bedraagt dus circa 5,7m.

Conclusies en aanbevelingen

Voor de huidige ontwerphoogtes is een indicatieve waarde voor de zetting van circa 0,7 m afgeleid bij twee locaties, locatie 1 (bij DKMP 126) en locatie 2 (bij DKMP 134), voor de daar geplande maximale ophogingen. Er moet rekening worden gehouden van een significante onnauwkeurigheid van +/- 30% in de berekende zettingen. Het is niet beschouwd in hoeverre de beschouwde locaties representatief zijn voor het gehele projectgebied.

De volgende vervolgstappen worden aanbevolen om voldoende inzicht te krijgen in de zettingen bij dit project:

- Er wordt aanbevolen om de terrein- en bodemgesteldheid van het gehele projectgebied te analyseren en visualiseren door een geotechnisch adviseur aan de hand van het recent door Fugro uitgevoerde grondonderzoek. Daarbij kunnen eveneens het in dit gebied beschikbare archief grondonderzoek, geotechnische lengteprofielen en historische informatie worden betrokken. Geadviseerd wordt om verspreid over het projectgebied diverse nieuwe geotechnische lengteprofielen op te stellen.
- Een steekproef van twee locaties is beperkt voor dit grote gebied. Aanbevolen wordt om de variaties in bodemopbouw, netto ophogingen en waterbodemniveaus te beschouwen om zodoende voor alle relevante deelgebieden bij de vismigratierivier een indicatie van de zettingen te kunnen geven.
- De aanname dat het ophoogmateriaal gemiddeld 18 kN/m³ weegt moet worden geverifieerd.

Fugro GeoServices B.V.

Afdeling Waterbouw

Onze ref.:1315-0324-002.B01/WRH

Nieuwegein, 8 april 2016

Blz. 4

- Bij de vismigratierivier is sprake van een zeer grillig ophoogpatroon. Dit zal leiden tot zettingsverschillen. Aanbevolen wordt om de ruimtelijke variaties in zettingen te berekenen en visueel in kaart te brengen.
- Door middel van bepaling van volumieke gewichten en samendrukkingsproeven op grondmonster kunnen de parameters van de zettingsanalyse worden aangescherpt en kunnen de zettingen nauwkeuriger worden berekend. Deze proeven zouden kunnen worden uitgevoerd op de recent door Fugro verzamelde ongeroerde grondmonsters.
- Voor de uitvoering en de afwerking van de vismigratierivier zijn niet alleen de eindzettingen van belang, maar ook het verloop van de zettingen in de tijd. Aanbevolen wordt om deze ook te bepalen.

Wij vertrouwen erop u hiermee naar tevredenheid te hebben geïnformeerd,

Met vriendelijke groet,
Fugro GeoServices B.V.

ir. W.R. Halter
Senior Adviseur Waterbouw

BIJLAGE 1: LIJST VAN BEGRIPPEN EN DEFINITIES

Begrip	Omschrijving
ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat boven het oorspronkelijk maaiveld/waterbodembodem uitsteekt.
netto ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt.
bruto ophoging	Totale hoogte van de aangebrachte grondconstructie. bruto ophoging = netto ophoging + overhoogte
overhoogte	Grondlaagdikte (hoeveelheid grond) die wordt aangebracht met het doel na zetting van de ondergrond de gewenste hoogte van de constructie te bereiken.
extra overhoogte	Extra grondlaagdikte (hoeveelheid grond) die tijdelijk wordt aangebracht om zetting van het grondlichaam te bespoedigen.
zetting	Geleidelijk en min of meer gelijkmatig afnemen van de hoogteligging van het maaiveld of de waterbodembodem waarop de constructie is aangelegd.
eindzetting	Zetting na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen (= circa 27 jaar) vanaf start ophoging. Soms wordt aangehouden: 10, 50 of 100 jaar.
restzetting	Zetting die zich voordoet in een bepaalde periode vanaf de oplevering van de bovenbouw (bijvoorbeeld steenbekleding).
zettingsverschil	Verschil in zetting van twee locaties.
achtergrondzetting of autonome zetting	Zetting ten gevolge van inklinking in polders door polderpeilverlaging, voortgaande zetting door vroegere ophogingen, gas- en zoutwinning en dergelijke.
ophoogtijd	Tijdsduur vanaf begin ophoging tot tijdstip waarop bruto ophoging geheel aanwezig is.

BIJLAGE 2: GRONDOPBOUW EN STIJFHEIDSPARAMETERS BESCHOUWDE PROFIELEN

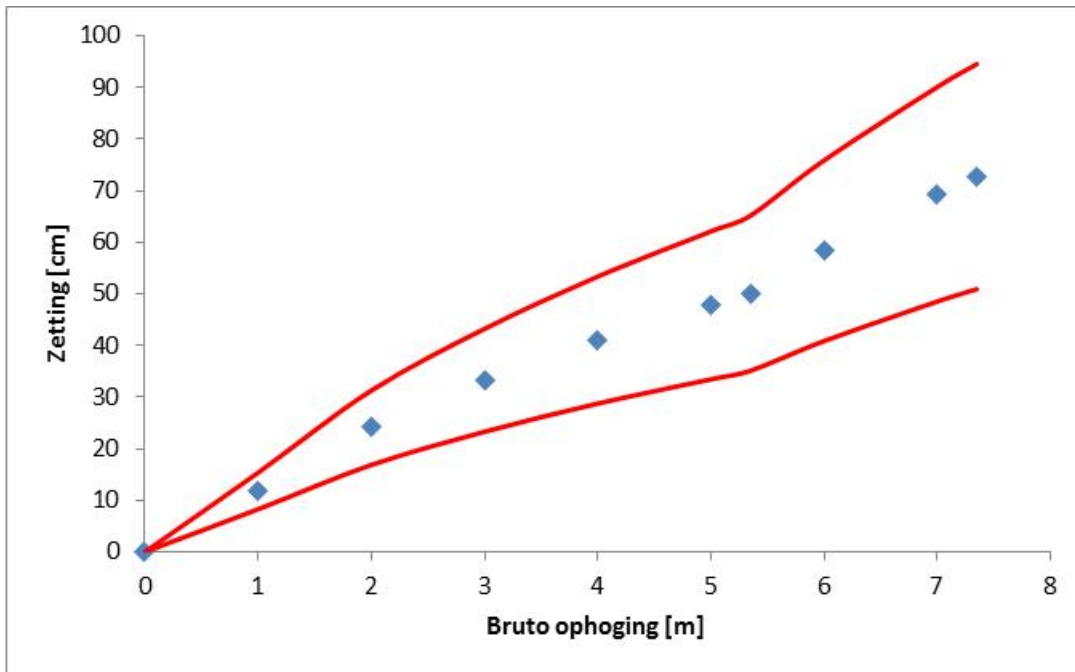
Tabel B2.1– Bodemopbouw en parameters bij sondering DKMP 126 (locatie 1)

Diepte in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving		Stijfheidsparameters			
					$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	POP [kPa]	C_p ¹⁾ [-]	C_s ¹⁾ [-]
-5,4	tot	-6,0	KLEI	slap, laagjes slib	15/15	5	10	110
-6,0	tot	-9,0	ZAND	laagjes slib en schelpen	17/19	5	10 ³	10 ⁶
-9,0	tot	-11,0	KLEI	Zwak zandig, matig vast	18/18	5	20	240
-11,0	tot	-13,0	ZAND	Zwak kleiig, zwak siltig	18/20	5	10 ³	10 ⁶
-13,0,	tot	-14,5	KLEI	Zwak zandig, zwak grindig	18/18	5	20	240
-14,5	tot	-16,0	ZAND	Zwak kleiig, zwak siltig	18/20	5	10 ³	10 ⁶
-16,0	tot	-21,0	ZAND	Pleistocene zandlaag	19/21	5	10 ³	10 ⁶
-21,0	tot	-22,5	VEEN		11/11	5	10	40
-22,5	tot	-24,3	KLEI	Zwak zandig, vast	20/20	5	30	400
-24,3	tot	-25,8	ZAND	Zwak kleiig, zwak siltig	18/20	5	10 ³	10 ⁶
-25,8	tot	-29,8	KLEI	Zwak zandig, vast	20/20	5	30	400
-29,8			Maximaal verkende diepte					
¹⁾ voor spanningen beneden de grensspanning p_g zijn 4-5x zo hoge waarden genomen voor klei en veen, voor zand is voor spanningen beneden de grensspanning aangenomen dat $C_p = 10^6$.								

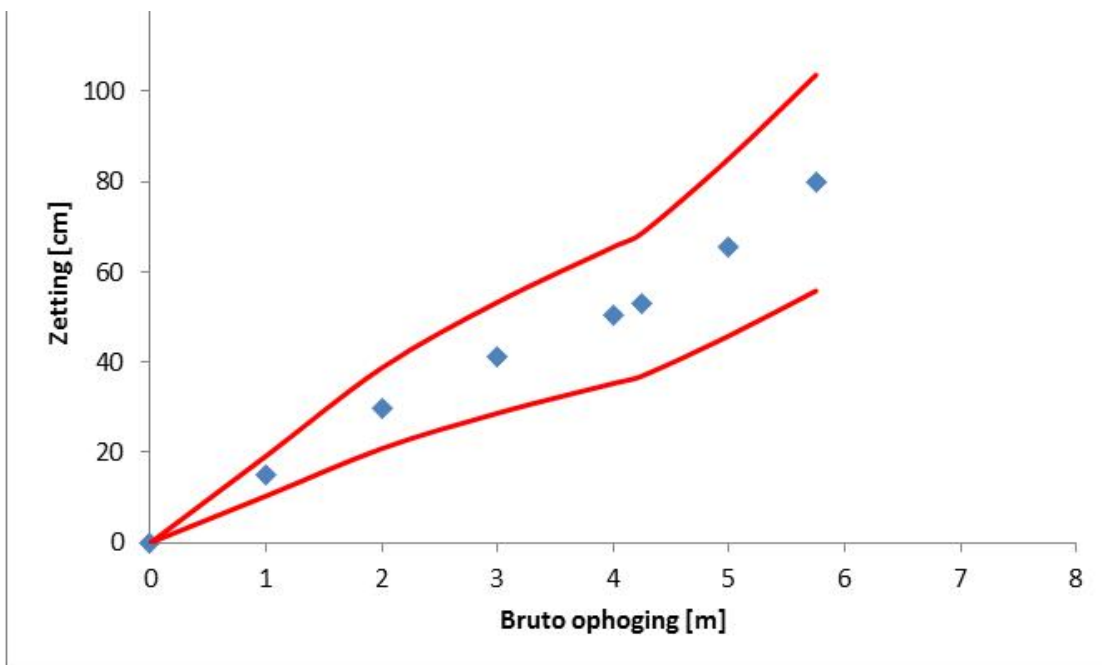
Tabel B2.2 – Bodemopbouw en parameters bij sondering DKMP 134 (locatie 2)

Diepte in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving		Stijfheidsparameters			
					$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	POP [kPa]	C_p ¹⁾ [-]	C_s ¹⁾ [-]
-4,3	tot	-5,0	KLEI	slap, laagjes slib	15/15	5	10	110
-5,0	tot	-6,8	ZAND	laagjes slib en schelpen	17/19	5	10 ³	10 ⁶
-6,8	tot	-8,3	KLEI	Zwak zandig, matig vast	18/18	5	20	240
-8,3	tot	-12,0	ZAND	Zwak kleiig, zwak siltig	18/20	5	10 ³	10 ⁶
-12,0	tot	-13,0	KLEI	Zwak zandig, zwak grindig	18/18	5	20	240
-13,0	tot	-14,5	ZAND	Zwak kleiig, zwak siltig	18/20	5	10 ³	10 ⁶
-14,5	tot	-16,3	KLEI	Zwak zandig, matig vast	18/18	5	20	240
-16,3	tot	-18,5	ZAND	Zwak kleiig, zwak siltig	18/20	5	10 ³	10 ⁶
-18,5	tot	-23,5	ZAND	Pleistocene zandlaag	19/21	5	10 ³	10 ⁶
-23,5	tot	-25,5	VEEN		11/11	5	10	40
-25,5	tot	-29,8	KLEI	Zwak zandig, vast	20/20	5	30	400
-29,75			Maximaal verkende diepte					
¹⁾ voor spanningen beneden de grensspanning p_g zijn 4-5x zo hoge waarden genomen voor klei en veen, voor zand is voor spanningen beneden de grensspanning aangenomen dat $C_p = 10^6$.								

BIJLAGE 3: RESULTATEN ZETTINGSBEREKENINGEN



Figuur B3.1 - Indicatie zettingen bodem t.p.v. DKMP 126 met onzekerheidsmarge (rood)



Figuur B.3.2 - Indicatie zettingen bodem t.p.v. DKMP 134 met onzekerheidsbanden (rood)