

Dienst Landelijk Gebied
t.a.v. [REDACTED] 10.2e
Postbus 6
4460 AA GOES

Van Oord Nederland bv
Schaardijk 211
3063 NH Rotterdam

Postbus 44137
3006 HC Rotterdam

T 088 826 5300
E nederland@vanoord.com
I www.vanoord.com

Datum 26-03-2014

Onze ref 154425-TN07-ONT-00025
Project Natuurcompensatie Perkpolder

Direct
T [REDACTED]
E [REDACTED] 10.2e

Pagina 1 van 4

Onderwerp **Eigenschappen Thermisch gereinigd zand**

1. INLEIDING

Het originele ontwerp van de waterkeringen (revisie 00) voorziet in toepassing van zand en/of klei als kernmateriaal. De geactualiseerde Grondbalans van het gehele project Natuurcompensatie Perkpolder (NCP) laat zien dat er onvoldoende materiaal uit het werk zelf vrijkomt om alle ophogingen (inclusief Ophoging Veerplein) te kunnen realiseren, en dat er dus ophoogmateriaal van buiten het werk aangevoerd moet worden. [REDACTED]

10.1c

Als gevolg van de wijziging van kernmateriaal dient een hertoetsing van het ontwerp plaats te vinden en in dat kader is het van belang dat de fysieke eigenschappen (of beter: geotechnische parameters) van TGZ bekend zijn. Deze memo beschrijft de grondmechanische parameters van TGZ en effect van toepassing van TGZ op het geotechnisch ontwerp van de waterkeringen. De toepassing van TGZ als kernmateriaal in de waterkeringen en de bijbehorende grondmechanische eigenschappen zijn ook meegenomen bij het opstellen van revisie 01 van het UO Waterkeringen.

2. REFERENTIES

Voor het vaststellen van de grondmechanische eigenschappen van TGZ is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- FUGRO 1711-0026-000.M01, Laboratoriumonderzoek ATM zand (19 oktober 2011): Bijlage 1
- FUGRO 1711-[REDACTED]
- FUGRO 1711-[REDACTED]
- FUGRO 1711-[REDACTED] 10.1c
- FUGRO 1711-[REDACTED] 10.2g
- FUGRO 1711-[REDACTED]
- FUGRO 1711-[REDACTED]
- FUGRO 1711-[REDACTED]
- FUGRO 1711-[REDACTED]
- KOAC lv12.0649/kv/dwi, Beproevingcertificaat fundering en grond, TGZ (2 mei 2012).

Bovengenoemde laboratoriumtesten zijn uitgevoerd voor het project [REDACTED] 10.1c
[REDACTED]. De analyse van FUGRO van de [REDACTED] 10.2g
laboratoriumtesten is bij deze memo bijgevoegd in Bijlage 1. De overige referenties kunnen
desgewenst worden nagezonden.

3. ANALYSE

De materiaaleigenschappen zijn afhankelijk van het oorspronkelijke bodemtype. Na reiniging voldoet de korrelverdeling meestal aan die van zand voor ophoging en aanvulling volgens RAW. Op basis van de korrelverdelingen [redacted], kan 10.1c worden geconcludeerd dat TGZ gemiddeld rond de 20% fijne fractie heeft ($< 63 \mu\text{m}$). Hiermee wordt 10.2g ruimschoots aan de eis voldaan, want de RAW stelt voor zand voor ophoging maximaal 50% fijne fractie. De korrelverdeling impliceert dat TGZ zich eerder als zand dan als klei zal gedragen. Opgemerkt wordt nog dat voor toepassing van TGZ als zand in aanvulling of ophoging moet het gehalte minerale delen worden onderzocht middels proeven 1 en 2 van RAW 2010. Dit onderzoek zal door de leverancier uitgevoerd worden (levering onder certificaat).

Zettingen van de ondergrond

De zettingen in de ondergrond zijn in de geotechnische berekeningen bepaald voor de situatie met zand als kernmateriaal en een bijbehorend volumegewicht van 18/20 kN/m³. Uit eerder uitgevoerde laboratoriumtesten volgt dat het gewicht van TGZ vergelijkbaar is met dat van zand. De daadwerkelijk optredende zettingen worden in het veld gemonitord en de benodigde overhoogte wordt bepaald op basis van de daadwerkelijk gemeten zetting.

Klink van het ophoogmateriaal

In het algemeen geldt dat de hoeveelheid klink zich vooraf lastig laat voorspellen. De adviespraktijk gaat daarom uit van percentages van de aangebrachte laagdikte op basis van ervaringen met vergelijkbare situaties. Voor het percentage klink na verdichten gaan we uit van 1% voor zand en 5% voor klei van de aangebrachte laagdikte. De klink in de aangebrachte laag thermisch gereinigde grond zal na verdichten beperkt zijn. Waarschijnlijk zal het iets meer zijn dan de klink in zand, maar behoorlijk minder dan de klink in klei. Van belang is te zorgen voor een goede verdichting van het materiaal, en vervolgens de zettingen van de ondergrond en de klink van het ophoogmateriaal te monitoren.

Macro-stabiliteit van de waterkeringen

Het gewicht en de sterkte van het ophoogmateriaal heeft invloed op de macro-stabiliteit (binnen- en buitenwaarts) van de waterkeringen. Van het gewicht hebben we reeds geconcludeerd dat dat vergelijkbaar is met dat van zand en het heeft dus nagenoeg geen effect op het ontwerp.

De sterkte-eigenschappen van TGZ zijn voor het [redacted] 10.1c onderzocht middels triaxiaalproeven op meerdere monsters bij verschillende dichtheden. Hieruit blijkt 10.2g dat voor de effectieve hoek van inwendige wrijving van TGZ 38,7 graden (rep-waarde) kan worden aangehouden, hetgeen behoorlijk hoger is dan de waarde die we nu voor zand (32,5 graden) hebben aangehouden. Bovendien blijkt dat er een aanzienlijke effectieve cohesie in de triaxiaaltesten wordt gemeten, hetgeen nog een extra sterkte impliceert. In de aanvullende geotechnische berekeningen (revisie 01) gaan we uit van $c' = 0 \text{ kPa}$ en $\phi' = 30 \text{ graden}$. We gaan in het ontwerp dus uit van een materiaal dat minder sterk is dan zand, terwijl de testen laten zien dat TGZ behoorlijk sterker is dan zand.

Daarnaast is ook de grondwaterstand in de waterkering van belang bij de toetsing van de macro-stabiliteit. In de huidige berekeningen is de grondwaterstand geschematiseerd als Geval 1A uit Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken. Dit impliceert een kern van klei en is de meest ongunstige situatie. In dat kader maakt het dus niet uit of de thermisch gereinigde grond zich als zand of klei gedraagt.

Waterdoorlatendheid

TGZ heeft in verhouding tot zand een hoog percentage fijne delen (orde 20% $< 63 \mu\text{m}$). Doorlatendheidsproeven laten dan ook een lagere doorlatendheid zien in vergelijking met schoon zand. Echter, TGZ is nog altijd meer waterdoorlatend dan klei. Het kernmateriaal van waterkering D moet voldoende waterdoorlatend zijn met het oog op de drainagefunctie die het heeft. De afwatering van het Veerplein zal in de toekomst namelijk via waterkering D plaatsvinden. Voor waterkeringen B en C heeft de waterdoorlatendheid geen invloed op het ontwerp. Bij de stabiliteitsberekeningen is de meest ongunstige schematisering van de freatische lijn in de waterkeringen aangehouden, ongeacht het type kernmateriaal.

Verwerkbaarheid en verdichtbaarheid

De literatuur geeft aan dat thermisch gereinigde grond een hydrofoob karakter heeft en dat het daardoor lastig te verwerken en te verdichten kan zijn. In de uitvoering moet hier speciale aandacht aan gegeven worden, bijvoorbeeld door de laagdikte per ophoogslag te beperken en TGZ niet aan te brengen als het regent.

4. CONCLUSIE

Op basis van de laboratoriumtesten [REDACTED] 10.1c
[REDACTED] worden voor TGZ bij het geotechnische ontwerp van de waterkeringen (revisie 01) de 10.2g
volgende geotechnische parameters aangehouden:

- volumegewicht: $\gamma_d/\gamma_n = 18/20$ kN/m³
- effectieve cohesie: $c' = 0$ kPa
- hoek van inwendige wrijving: $\phi' = 30^\circ$

De invloed van toepassing van TGZ op het geotechnisch ontwerp van de waterkeringen is meegenomen bij de volgende rapportages:

- 154425-ONO-DO-00064-rev01 Definitief Ontwerp Waterkeringen
- 154425-TN03-DO-00064-rev01 Geotechnisch ontwerp Waterkeringen
- 154425-TN01-UO-00065-rev01 Zettingen en klink waterkeringen
- 154425-TN02-UO-00065-rev01 Uitvoeringsstabiliteit waterkeringen
- 154425-TN03-UO-00065-rev01 VTV Toetsing Waterkeringen

Rekening houdend met de eisen van het project NCP en de grondmechanische eigenschappen van TGZ kan worden geconcludeerd dat:

- TGZ kan worden toegepast als kernmateriaal in waterkeringen B, C en E.
- TGZ niet kan worden toegepast als kernmateriaal in waterkering D.

Opgemerkt wordt dat TGZ niet kan worden toegepast als aanvulmateriaal bij waterkeringen A en F, omdat daar de voorgeschreven afdekkende leeflaag van 0,5m dik niet kan worden gerealiseerd.

BIJLAGE 1

FUGRO 1711-0026-000.M01 Laboratoriumonderzoek ATM zand

 10.2e
19 oktober 2011

Aan : ██████████ Laboratorium voor Infra- en Geotechniek, Arnhem 10.2e
Van : ██████████ - Principal Consultant Fugro Geoservices BV Leidschendam 10.2e
Ref. : 1711-0026-000.M01
Datum : 19 oktober 2011
Betreft : **Laboratoriumonderzoek ATM zand**

Op verzoek het laboratorium is door ondergetekende een evaluatie gemaakt van het uitgevoerde 10.1 laboratoriumonderzoek op ATM zand. ATM zand is door de ██████████^c 10.2
██████████ toegepast als alternatief voor zand in ophoging volgens de RAW. Voor laatstgenoemde materiaal zijn eisen in de RAW aangegeven m.b.t. de samenstelling in korrelgroottes, waarbij het materiaal maximaal 50% materiaal < 63 μm en maximaal 8 % lutum (< 2 μm) mag bevatten. Volgens de huidige classificatie norm NEN 5104 "Classificatie van Onverharde Grondmonsters" valt de classificatie van grond met deze eigenschappen tussen: ZAND en ZAND uiterst siltig / ZAND Kleiig .

Op dit materiaal zijn naast Proctor proeven, triaxiaalproeven, korrelverdelingen en doorlatendheidsproeven uitgevoerd. In deze memo is een beschouwing gemaakt van de sterkte eigenschappen van het toegepaste materiaal. Voor zover ons bekend zijn hieraan in het bestek geen eisen gesteld, buiten het behalen van de vereiste verdichtingsgraad in-situ.

De triaxiaalproeven zijn derhalve zoveel mogelijk op de dichtheid uit de Proctorproeven geprepareerd om op deze wijze inzicht te krijgen in de te verwachten sterkte eigenschappen in-situ.

In totaal zijn hiertoe een 8-tal monsters beproefd door middel van isotroop geconsolideerde gedraineerde triaxiaalproeven. In deze proeven wordt bij 3 spanningsniveaus de schuifspanningeigenschappen bepaald, die volgens de standaard uitwerkingsmethode zijn uitgewerkt met een bepaling van de effectieve hoek van inwendige wrijving ϕ' en de effectieve cohesie c' als gemiddelde over de 3 deelresultaten / spanningsniveaus. Uit de proeven blijkt dat naast de afgeleide hoek van inwendige wrijving tevens een aanzienlijke effectieve cohesie intercept aanwezig te zijn, terwijl voor een cohesieloos verondersteld materiaal als zand een waarde van 0 wordt verwacht.

Dit effect wordt wel meer waargenomen door een 3-tal effecten:

- In het Mohr-Coulomb diagram wordt de raaklijn aan de effectieve spanningscirkels als een rechte lijn verondersteld, terwijl deze in werkelijkheid niet recht is en afbuigt naarmate het spanningsniveau hoger wordt. Dit effect is een bekend fenomeen uit de literatuur.

Ref. : 1711-0026-000.M01

19 oktober 2011

- Het materiaal is eveneens een variabele, aangezien naarmate het korrelmateriaal hoekiger van vorm is een haakweerstand aanwezig is die dit effect nog kan versterken.
- Het materiaal bevat gemiddeld rond de 20 % fijne fractie (< 63 μm).

Om in een stabiliteitsanalyse effectieve cohesie mee te nemen in de sterkte parameters is in onze optiek niet verstandig. Voor dit soort materialen stellen wij voor om de secant ϕ' waarden uit de triaxiaalproef te gebruiken, waarbij per belastingtrap de ϕ'_{sec} waarde is afgeleid uitgaande van een effectieve cohesie c' van 0 kPa. Op deze wijze wordt ook in het lage spanningsgebied beter rekening gehouden met de werkelijke sterkte.

Door ons is hiertoe een analyse uitgevoerd van de proefresultaten van de triaxiaalproeven, waarin op basis van de ϕ'_{sec} waarden een representatieve ϕ'_{sec} waarde te bepalen m.b.v. de in NEN 6740 gegeven statistische methode.

In de onderstaande tabel zijn naast de reeds gerapporteerde overzicht(en) de laatste proeven (ATM 23-09-2011) en de afgeleide secant ϕ'_{sec} waarden toegevoegd.

Tabel 1. Overzicht laboratoriumresultaten

Parameter	M6929	M6941	MM6929 - 6939	PK2	PK3	Terp3	Terp4	ATM 23-09-2011	eenheid
> 2 mm (grind)	24.8	8.8	16.3	28.6	24.2	29.5	25.6		% (m/m)
< 2mm > 63 μm (zand)	57.7	67.9	66	50.4	55.5	51.5	53.1		% (m/m)
< 63 - > 2 μm (silt)	17.5	23.3	17.7	16	17.2	13.7	18.2		% (m/m)
< 2 μm (lutum)	2.5	2.1	1.3	5.1	3.1	5.3	3.1		% (m/m)
M63 (zandmediaan)	196	229	269	204	179	212	184		μm
Cu zand	2.9	3.1	3.1	3.3	2.8	3.2	2.9		–
Cu totaal	13.2	7.1	11.2	45.2	14.5	39.6	16.4		–
gloeiverlies	3	2	2.2	-	-	-	-		% (m/m)
Max. droge proctor dichtheid	1729	1650	1692	1821	1862	1827	1817	1720	kg/m ³
Optimum watergehalte	13.1	16.3	14.2	13.3	11.8	11.9	11.9	15.9	% (m/m)
Triaxiaal inbouwdichtheid t.o.v. proctor dichtheid	102	102	102	91	95	91	90	95	%
Phi waarde (1)	34	34	38	35	36	36	35	31	°
Effectieve cohesie (1)	35	18	11	16	66	41	41	40	kPa
Secant phi trap 1	45	41	42	41	53	48	48	45	°
Secant phi trap 2	41	38	41	39	47	44	43	40	°
Secant phi trap 3	38	36	39	37	43	40	39	37	°
Secant phi gem	41.3	38.3	40.7	39.0	47.7	44.0	43.3	40.7	°
Volumegewicht nat (2)	20.8	20.4	20.7	20.4	20.5	20.2	20.1		kN/m ³
Volumegewicht droog (2)	17.4	16.8	17.2	16.4	17.3	16.4	16.1	16.0	kN/m ³
Watergehalte (2)	19.5	21	20.8	24.3	18.5	23.7	24.7	23.9	% (m/m)

De triaxiaalproeven zijn uitgevoerd over een range van dichtheden variërend tussen 90 en 102 %. In de praktijk komen de lagere dichtheden niet voor – de resultaten van de verdichtingsproeven, die dagelijks op het werk worden uitgevoerd geven een verdichtingsgraad tussen 98 en 102 %. Vergelijking van de behaalde dichtheid blijkt dat gemiddeld over de proeven het materiaal op 96% van de maximale Proctor dichtheid is beproefd. Verwacht wordt dat een iets hogere dichtheid geen significant ander resultaat zal opleveren.

De resultaten uit tabel 1 zijn statistisch verwerkt om de gemiddelde van de verschillende proeven te bepalen en de variatie op basis van de standaard deviatie en de gemiddelde waarde. Vervolgens zijn met de in de norm NEN 6740 geven waarden voor $R_{n,v}$ de representatieve waarde berekend.

Dit is uitgevoerd voor:

- Voor de gemiddelde waarde van ϕ' en c'
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} over belastingtrap 1
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} over belastingtrap 2
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} over belastingtrap 3
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} per triaxiaalproef

De resultaten hiervan staan in de onderstaande tabel. Tevens zijn de afgeleide representatieve waarden, waarbij de variatiecoëfficiënt v is gecontroleerd met de waarde uit tabel 1 van NEN 6740. De waarde voor ϕ' waarde voldeed ruimschoots (maximaal 0,1) echter voor de cohesie was deze te hoog is en is de maximale waarde van 0,2 uit tabel 1 NEN 6740 aangehouden.

Tabel 2. Representatieve waarden afgeleid van NEN 6740

	Gemiddelde waarde	Stand dev		variatie coëff v	$R_{n,v}$	gem repr waarde
Phi waarde (1)	34.9	2.0	°	0.06	0.92	32.1
Effectieve cohesie (1)	33.5	18.0	kPa	0.54	0.85	28.5
Secant phi trap 1	45.4	4.2	°	0.09	0.92	41.7
Secant phi trap 2	41.6	2.9	°	0.07	0.92	38.3
Secant phi trap 3	38.6	2.2	°	0.06	0.92	35.5
Secant phi gem	42.0	3.0	°	0.07	0.92	38.7

Op basis van deze analyse kan voor de sterkte van het ATM zand een representatieve ϕ' waarde van $38,7^{\circ}$ worden aangehouden. Voor hoge spanningsniveaus zou een iets lagere waarde kunnen worden aanbevolen.

Ref. : 1711-0026-000.M01

19 oktober 2011

- Gezien de zeer grote spreiding in eisen voor “zand in aanvulling” is het niet direct mogelijk om de afgeleide parameters van het ATM zand met “zand in aanvulling” te vergelijken. De eigenschappen van zand voor ophoging en aanvulling zullen sterk afhankelijk zijn het gehalte < 63 μm . Naarmate het gehalte hoger is zullen de wrijvingseigenschappen ook lager zijn. Bij percentage van 50% < 63 μm zou het materiaal niet meer als zand kunnen worden geclassificeerd volgens de NEN 5104 en eerder in de buurt van Leem sterk zandig (Lz3). Voor dit materiaal wordt in tabel 1 in NEN 6740 de volgende waarden gegeven bij een nat volumiek gewicht 19 kN/m³:
- Effectieve hoek van inwendige wrijving ϕ' van 27,5^o
- Effectieve cohesie van 0 kPa

Bij een nat volumiek gewicht 20 kN/m³ bedragen deze waarden:

- Effectieve hoek van inwendige wrijving ϕ' van 35^o
- Effectieve cohesie van 2 kPa

Concluderend kan worden gesteld dat het ATM zand met betrekking tot de geotechnische eigenschappen ruimschoots voldoet en meer dan vergelijkbaar is met de verwachte eigenschappen van “zand in aanvulling”. De doorlatendheidsproeven laten een lage doorlatendheid zien in vergelijking met zand met weinig materiaal < 63 μm , hetgeen gezien het gehalte aan gehalte < 63 μm te verwachten is. De doorlatendheid van het ATM zand zal zich niet veel anders ontwikkelen dan “zand in aanvulling” met een waarde die op basis van een korrelverdeling zou worden verwacht. Derhalve mag ook worden verwacht dat het ATM zand zich qua doorlatendheid niet anders zal gedragen dan “zand in aanvulling” met dezelfde korrelverdeling.