
Project : **Nieuwbouw Montea Tiel I te Tiel**
Projectnummer : 24SP0756

Notitie betreffende : Grondverbetering d.m.v. Jacbo betonzuilen

Documentnummer : 24SP0756-not-01
Versie : 1.0
Datum notitie : 30 mei 2024

Opgesteld door : 5.1.2e

Opdrachtgever : Unibouw B.V.
Verzonden aan : 5.1.2e @unibouw.eu

1. INLEIDING

In voorliggende notitie wordt nader ingegaan op de funderingswijze van een bedrijfspand aan de Panovenweg te Tiel (Montea). In eerder door ons opgestelde rapportages is, in overleg met opdrachtgever en constructeur, uitgegaan van een fundering op prefab betonpalen voor de constructie en HSP-palen voor de vloer. Een fundering op staal bleek vanwege te verwachten zettingen en zettingsverschillen geen reële optie.

In de onderhavige situatie is, gezien de specifieke randvoorwaarden, een fundering op betonzuilen met daarboven een spanningsspreidende laag waarop traditioneel kan worden gefundeerd, een reële maar zeker ook aantrekkelijke optie. Dit funderingssysteem wordt ondermeer veel in Duitsland, Denemarken en Zweden toegepast, maar is ook al meerdere keren in Nederland uitgevoerd voor met name logistieke centra. Het systeem vertoont veel gelijkenis met een paalmatras, dat regelmatig in Nederland voor infrastructurele projecten wordt toegepast.

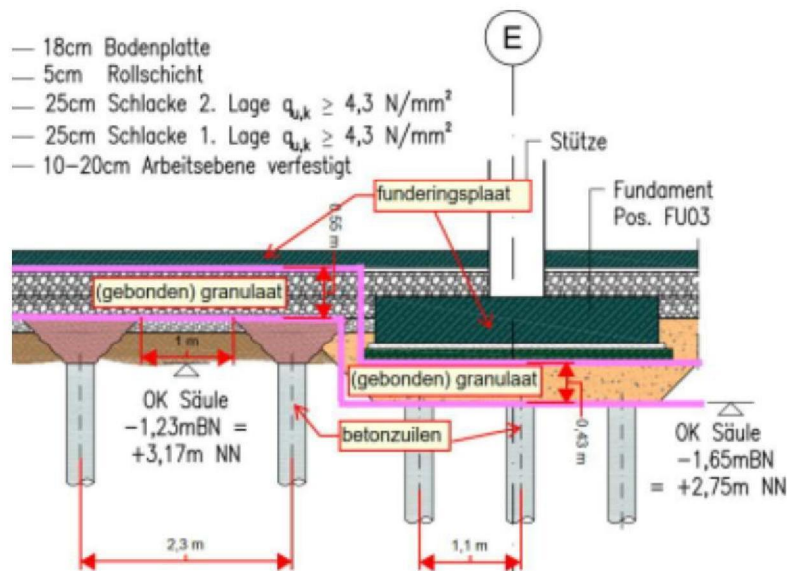
In voorliggende paragraaf wordt het systeem nader beschreven voor de huidige projectlocatie.

2. DIEPE GRONDVERBETERING D.M.V. BETONZUILEN

Het funderingssysteem bestaat feitelijk uit het aanbrengen van betonzuilen (palen) in een grid met een beperkte h.o.h.-afstand tussen zuilen van bijvoorbeeld 2 m. Daarboven wordt een spanningsspreidende laag aangebracht van (gebonden) granulaat of gelijkwaardig materiaal waar de bedrijfsvloer op wordt gefundeerd. Ter plaatse van de kolommen van de constructie wordt het palengrid verdicht. Vervolgens kan gewoon traditioneel op staal worden gefundeerd.

Het systeem vertoont grote gelijkenis met een paalmatras, met dien verstande dat door het aanbrengen van een voldoende dikke (gebonden) spanningsspreidende laag, het geogrid achterwege kan worden gelaten. Aan de randen van de constructie wordt hier ook niet gewerkt met een talud, waardoor de palen niet horizontaal worden belast en derhalve ongewapend kunnen worden uitgevoerd.

Onderstaand is een principe doorsnede weergegeven van de constructieopbouw en een impressie van een veld met betonzuilen. Voor dit project zullen, als betonzuilen, grondverdringende palen worden toegepast vergelijkbaar met DPA-palen met een h.o.h.-afstand van ca. 2 m, waarbij een drukverdelende laag van ca. 1,8 m noodzakelijk is.



Figuur 1 Principe doorsnede funderingsconstructie



Figuur 2 Impressie van veld met betonzuilen

In de onderhavige situatie is het voordeel van deze funderingswijze dat de reeds aanwezige laag Ecofiller als spanningsspreidende laag kan worden gebruikt en dus constructief en functioneel (als bouwstof) kan worden ingezet als onderdeel van de fundering. In het kader van duurzaamheid ligt deze funderingsoplossing derhalve het meest voor de hand.

Het palengrid in combinatie met de spanningsspreidende Ecofillerlaag kan vervolgens zo optimaal mogelijk worden ontworpen, ondermeer door zeer gericht aanvullend te sonderen, eindige elementen berekeningen uit te voeren maar ook door bijvoorbeeld klasse C proefbelastingen uit te voeren. De benodigde paallengte kan zodoende worden geminimaliseerd, en daarmee ook de CO₂ en stikstof belasting op de omgeving.

In Nederland zijn inmiddels een vijftal projecten uitgevoerd waarbij een diepe grondverbetering d.m.v. betonzuilen is toegepast. Naar aanleiding hiervan is door Crux in opdracht van Jacobo Phalgründungen GmbH een rapport (zie bijlage A) opgesteld waarin aanwijzingen worden gegeven voor het ontwerp, maar ook voor kwaliteitscontrole tijdens de uitvoering voor zowel de palen als de spanningsspreidende laag. Het ontwerp en de uitvoeringscontroles zullen conform dit rapport worden uitgevoerd, uiteraard in combinatie met NEN 9997-1+C2 2017, CUR 226 en het SBRCURnet rapport Handboek Soilmix-wanden.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de Ecofillerlaag constructief en daardoor functioneel kan worden ingezet als funderingsconstructie voor de nieuwbouw. In het kader van duurzaamheid is dit, voor de onderhavige locatie, de meest optimale toepassing. De bouwstof Ecofiller behoeft immers niet te worden afgevoerd en te worden vervangen door een primaire bouwstof (zand), wordt constructief en geïsoleerd toegepast én kan einde levensduur gebouw worden teruggewonnen.

BIJLAGE A

Diepe Grondverbetering
d.m.v. Jacobo betonzuilen



Jacbo Pfahlgründungen GmbH
Dhr. Dipl.-Ing. 5.1.2e
Nording 62
48465 Schüttorf
Duitsland

© 2024 CRUX Engineering BV
Niets uit dit drukwerk mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, microfilm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CRUX Engineering BV, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Documentlocatie
P:\231xx\23143 Jacbo paalfundering analyse\01 RAP\RA23143a1 jan2024
Jacbo diepe grondverbetering dmv Jacbo betonzuilen.docm

CRUX Engineering BV
Pedro de Medinalaan 3c
NL-1086 XK Amsterdam

Amsterdam
Delft
Eindhoven

+31(0)20 494 30 70
info@cruxbv.nl

cruxbv.nl

Rapport

Onderwerp
Diepe Grondverbetering
d.m.v. Jacbo betonzuilen

Projectnummer
23143

Documentnummer
RA23143a1

Versie
1

Datum
26 januari 2024

Status
definitief

Opgesteld door

5.1.2e

5.1.2e

Gecontroleerd door

5.1.2e

5.1.2e

5.1.2e

Versies

1. definitief

2.

Formulier

RA-01-v19.1204

Inhoudsopgave

—

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten	6
3	Componenten van het funderingsysteem	7
4	Ontwerp van de componenten	8
4.1	Funderingsplaat	8
4.2	Betonzuilen	8
4.2.1	algemeen	8
4.2.2	Draagvermogen betonzuilen	8
4.2.3	Ongewapende betonzuilen	8
4.2.4	Hart op hart afstand	9
4.3	(gebonden) Granulaat	9
4.3.1	Ontwerpmethodiek	9
4.3.2	Randoplossing	10
4.3.3	Plaxis analyses, project Groningen	11
4.3.4	Rekenvoorbeeld Plaxis 3D, detail analyse	11
5	Voorbeeldprojecten	13
5.1	Inleiding	13
5.2	's-Heerenberg	13
5.3	Bremerhaven	14
6	Kwaliteitscontrole	16
6.1	Algemeen	16
6.2	Aanbevelingen voor de uitvoering	16
6.2.1	Bescherming van de betonzuil / zuilkop	16
6.2.2	Productievolgorde/zuilafstand	16
6.3	Geotechnische kwaliteitsbewaking	16
6.3.1	Algemeen	16
6.3.2	Omvang van het geotechnische toezicht	17

6.3.3	Geotechnische Eindrapportage	17
6.4	Checklist uitvoering betonzuilen	18
7	Samenvatting en Conclusies	19
	Lijst van Figuren	
—		
Figuur 1	Impressie van een veld met betonzuilen.	5
Figuur 2	Overzicht van de systeem componenten	7
Figuur 3	Boogwerking volgens Klobe (2007) [2]	9
Figuur 4	vergelijking Handboek Soilmix - Klobe	10
Figuur 5	Plaxis 3D model van het complete funderingssysteem[8]	11
Figuur 6:	Vervormingspatroon van het complete funderingssysteem [8]	11
Figuur 7	Plaxis 3D model focus op de constructie	12
Figuur 8	Hoofspanningrichtingen van de korrelspanning ($\sigma'1$ en $\sigma'3$)	12
Figuur 9	Kenmerkende sondering 's-Heerenberg	13
Figuur 10	Funderingsoplossingen 's-Heerenberg	14
Figuur 11	Kenmerkende sondering Bremerhaven	14
Figuur 12	Kenmerkende doorsnede funderingsconstructie Bremerhaven	15
Figuur 13	Wapening toegepast in granulaatlaag (rood gemarkeerd) bij rand zuilen	15
Figuur 14	oplossing van het opvullen boven de betonzuilen bij hoogteverschillen tussen de zuilkoppen	16
Figuur 15	Plaxis 3D model	20
Figuur 16	Plaxis 3D model, focus op de constructie	20
Figuur 17	Zuilconfiguratie en afmetingen	20
Figuur 18	Doorsnede A-A' diagonaal over de betonzuilen	21
Figuur 19	Hoofspanningrichtingen van de korrelspanning ($\sigma'1$ en $\sigma'3$)	21
Figuur 20	Effectieve korrelspanning, hoofspanning ($\sigma'1$)	21
Figuur 21	Effectieve korrelspanning in de x-richting (horizontaal)	22
Figuur 22	Effectieve korrelspanning in de y-richting (horizontaal)	22

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
RA23143a1

Pagi na
3/19

Figuur 23 Maximaal schuifspanning voor de doorsnede A-A'	22
Figuur 24 Maximale schuifspanning in de drukboogdoorsnede	22
Figuur 25 druk spanningen σ_N op de middelste betonzuil	22
Figuur 26 Maximale Effectieve spanning in de drukboog, diagonaal tussen de betonzuilen.	23
Figuur 27 Unity check invoer	23

Lijst van Tabellen

–	
Tabel 1 Grondlagen	21
Tabel 2 Gebonden Granulaat laag	21
Tabel 3 Materiaal eigenschappen	21

Lijst van Bijlagen

–	
Bijlage 1 Rekenvoorbeeld Plaxis 3D, detail analyse	

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
RA23143a1

Pagi na
4/19

1 Inleiding

In opdracht van Jacobo Pfahlgründungen GmbH heeft CRUX Engineering BV een analyse uitgevoerd naar het funderingssysteem van betonzuilen om de bovenbelasting naar een diepere grondlaag te brengen dat Jacobo, met name in Duitsland, veelvuldig succesvol heeft toegepast. Ook in Nederland zijn al meerdere projecten met dit principe uitgevoerd.

Het doel van deze rapportage is om eenduidig en overzichtelijk de ontwerpmethode voor "diepe grondverbetering door middel van betonzuilen" te onderbouwen, alsmede kwaliteitscontrole aspecten die tijdens de uitvoering van belang zijn. Hierdoor wordt, gecombineerd met een aantal aansprekende projectreferenties, duidelijkheid gecreëerd over de ontwerpmethodiek voor de Nederlandse markt. De beschrijvingen en berekeningen in deze rapportage moeten als richtinggevend worden beschouwd die, afhankelijk van de lokale situatie, kunnen worden aangepast.

De rapportage bevat, na beschrijving van de uitgangspunten, de volgende onderdelen:

1. een beschrijving van de componenten van het funderingssysteem;
2. wijze van ontwerp van de verschillende componenten, waarbij met name het ontwerp van de granulaatlaag nadrukkelijk wordt beschouwd;
3. de kenmerken van een tweetal voorbeeldprojecten, inclusief een voorbeeld van de ontwerpmethodiek;
4. hoe om te gaan met de controle van de kwaliteit gedurende de uitvoering.

Het rapport sluit af met een samenvatting en conclusies.



Figuur 1 Impressie van een veld met betonzuilen.

2 Uitgangspunten

Bij het opstellen van het document is gebruik gemaakt van diverse bronnen waaronder gesprekken met Jacbo Pfahlgründungen GmbH en Peree Bouwadvies B.V.

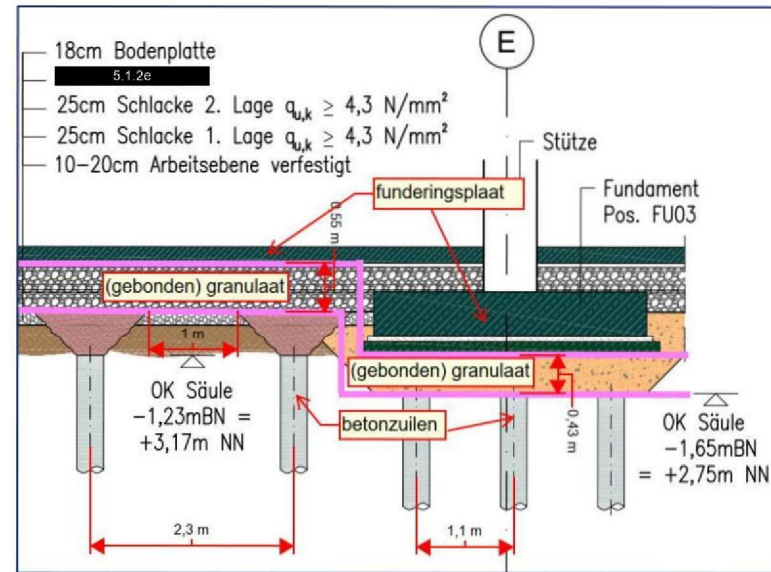
Daarbij is gebruik gemaakt van de volgende normen, ontwerprichtlijnen en literatuur:

- [1] SBRCURnet Handboek Soilmix-wanden - Ontwerp en uitvoering, juni 2016;
- [2] B. Klobe, Die erd-statische Berechnung geotechnischer Flächentragwerke, Bautechnik 84, 2007;
- [3] NEN9997-1+C2, Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels, 2017;
- [4] NEN-EN 12699, Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen, 2015;
- [5] CUR rapport 226, Ontwerprichtlijn paalmatrassystemen, herziening 2016
- [6] Foreword ISO standards:
<https://www.iso.org/foreword-supplementary-information.html>
- [7] Wiertsema en Partners, VN-80355-1, Plaxis 3D berekening Beschouwing funderingssysteem voor een distributiecentrum aan de Cardiffweg te Groningen, 6 december 2021;
- [8] Wiertsema en Partners, VN-80924-1, Geotechnische rapportage Beschouwing funderingsprincipe distributiecentrum Panattoni te Groningen, 7 maart 2022.

3 Componenten van het funderingsysteem

In Figuur 2 zijn een tweetal kenmerkende oplossingen gegeven van het funderingsysteem door middel van betonzuilen. In dit figuur zijn tevens de drietal componenten aangegeven voor een tweetal varianten van het funderingsysteem:

1. Funderingsplaat, die bestaat uit een betonnen plaat met daarop eventueel een kolom of een gelijkmatig verdeelde funderingslast
2. (gebonden) Granulaat, deze laag zorgt voor een spreiding van de gelijkmatige belasting uit de fundering naar de betonzuilen. Belangrijke ontwerp punten ten aanzien van de toetsing van de spanningen in het granulaat zijn:
 - Toetsing van de drukspanningen bovenin de spanningsboog;
 - Toetsing van de schuifspanningen bovenin de spanningsboog;
 - Toetsing van de spanning ter plaatse van de aansluiting op de betonzuil.
3. Betonzuilen, dit zijn ongewapende Jacobo palen met een diameter van 30 cm.



Figuur 2 Overzicht van de systeem componenten

4 Ontwerp van de componenten

4.1 Funderingsplaat

De funderingsplaat bestaat uit een prefab gewapende betonnen plaat met daarop eventueel een kolom of een gelijkmatige belasting. Dit zijn doorgaans standaard elementen die hun draagkracht verkrijgen uit de onderliggende gelijkmatig bedding. Deze elementen worden in deze rapportage niet nader behandeld.

4.2 Betonzuilen

4.2.1 algemeen

De betonzuilen brengen de bovenbelasting naar de dieper gelegen draagkrachtige laag waarmee de stabiliteit en met name de bedding van de funderingsconstructie gewaarborgd is. De betonzuilen overbruggen het slappe lagenpakket zodat de zakking van de funderingsconstructie wordt geminimaliseerd tot waarden die vergelijkbaar zijn met een fundering op staal.

De benadering van de werking van het systeem en de bepaling van de krachten werkend op de betonzuilen, aangebracht in een relatief dicht grid, is vergelijkbaar met dat van een paalmatrassysteem. Dit is vastgelegd in ontwerprichtlijn [5], waarin de palen als grondverbetering worden beschouwd, maar wel conform de Eurocode worden gedimensioneerd. Belangrijk verschil ten opzichte van een paalmatras is dat er, bij een paalmatras onder wegen, altijd sprake is van een ophoging met grond met aan de randen een talud. Hierdoor wordt een groot deel van het palenveld horizontaal belast. Het matras bestaat hierbij uit niet-gebonden materiaal in combinatie met een relatief rekbare geokunststof, waardoor de horizontale belasting

op de paalschacht wordt versterkt en de funderingspalen constructief ontworpen moeten worden om de optredende momenten te kunnen opnemen. Ontwerprichtlijn [5] voor paalmatrassystemen geeft eenduidige ontwerpstappen met behulp van een eindige elementen model zoals Plaxis. Het systeem van betonzuilen wordt hoofdzakelijk verticaal belast en maakt gebruik van een gebonden, en dus stijve, granulaatlaag.

4.2.2 Draagvermogen betonzuilen

Het draagvermogen van de betonzuilen wordt bepaald conform de Nederlandse Eurocode 9997-1+C2 [3]. Hiermee wordt gewaarborgd dat de belasting die op de zuilen werkt, kan worden afgedragen aan de ondergrond. De punt van de betonzuilen wordt in de draagkrachtige zandlaag geplaatst zodat in verticale richting een stijf systeem wordt gerealiseerd.

4.2.3 Ongewapende betonzuilen

De Jacbo betonzuilen worden met een diameter van 300 mm geïnstalleerd. Voor meer informatie omtrent het funderingssysteem wordt verwezen naar www.jacbo.de.

In het funderingssysteem worden de palen ongewapend uitgevoerd. De Europese uitvoeringsnorm voor Verdringingspalen [4] geeft hier ruimte voor: In paragraaf 7.7.2 Reinforcement of cast in situ piles wordt aangegeven :

7.7.2.3 Unless otherwise agreed in the design, cast in situ concrete piles shall be reinforced over their full length.

Deze bepaling laat dus de ruimte om palen ongewapend uit te voeren als dit in het ontwerp is overeengekomen.

Vervolgens staat er:

7.7.2.4 A cast in situ displacement pile may be designed as an unreinforced concrete element if:

- pile head reinforcement is provided in accordance with 7.7.2.5 and
- the design actions and/or actions caused by the construction and/or actions resulting from the

ground produce only compressive stresses in the pile.

7.7.2.5 Pile heads for unreinforced piles shall be reinforced to cater for accidental loads (e.g. resulting from all construction works on the site).

Uit beide bepalingen kan worden geconcludeerd dat de paal alleen een verticale belasting mag ondervinden én de paalkop geen stoot of andere belastingen tijdens de uitvoering mag ondervinden. Beide aspecten moeten in het ontwerp en de uitvoering nadrukkelijk worden geborgd.

Tot slot wordt in 7.7.2.6 aangegeven: Piles should also be reinforced over any length through soft or loose soil

Bij deze bepaling is het van belang om de betekenis van de term "should" in het kader van normering te kennen. Op de website van ISO [6] staat het volgende:

"should" indicates a recommendation

Waaruit kan worden geconcludeerd dat hetgeen dat in 7.7.2.6 wordt aangegeven als een aanbeveling mag worden gezien. Dit is in lijn met 7.7.2.3 die ook ruimte laat voor ongewapende palen, indien het ontwerp het toelaat. Overigens wordt bij een paalmatrassysteem [5] doorgaans gerekend met enige buigend moment capaciteit van de paalfundering als gevolg van een minimaal blijvende normaalkracht op de paal. Het is in Nederland dus gangbaar dat een betonnen element waar een blijvende minimale normaalkracht op werkt, over een bepaalde moment capaciteit beschikt, zoals bijvoorbeeld ook een onderwater beton vloer.

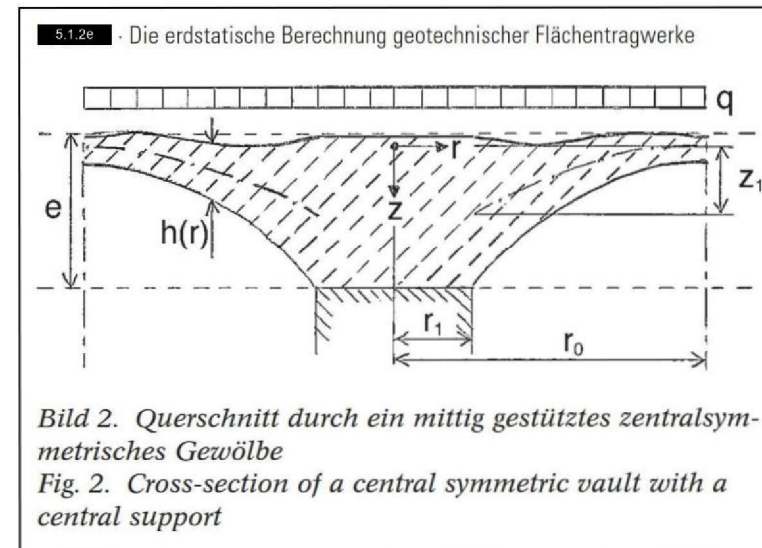
4.2.4 Hart op hart afstand

Ten aanzien van de hart op hart afstand tussen de palen geeft de Europese uitvoeringsnorm voor Verdringingspalen [4] aanbevelingen in paragraaf 8.7. In deze paragraaf wordt aangegeven dat het bereiken van voldoende sterkte van de paal een vereiste is in de relatie van uitvoeringsvolgorde en hart op hart afstand. Deze eisen moeten in de uitvoering worden gevolgd.

4.3 (gebonden) Granulaat

4.3.1 Ontwerpmethodiek

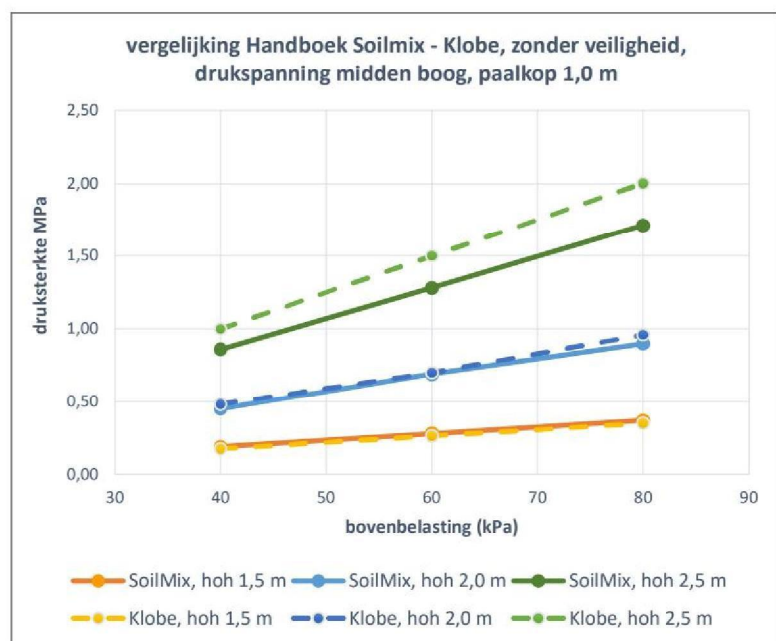
De laag met gebonden Granulaat zorgt voor een spreiding van de gelijkmatige belasting uit de fundering naar de betonzuilen. Het vormt daarmee de schakel tussen de verdeelde belasting die uit de funderingsplaat volgt en de lokale ondersteuning van de betonzuilen. De krachtswerking wordt door middel van boogwerking in de ongewapende gebonden granulaatlaag verzorgd. Deze functie vertoont een grote overeenkomst met een paalmatrassysteem [5], met als belangrijk verschil dat bij een paalmatras het granulaat niet gebonden is en er een geokunststof laag wordt toegepast om de overdracht van de belasting uit de bovenbouw naar de palen te verzorgen. Vanwege deze verschillen is de ontwerprichtlijn van paalmatrassystemen [5] niet geschikt om de gebonden granulaatlaag te dimensioneren.



Figuur 3 Boogwerking volgens Klobe (2007) [2]

In de Duitse praktijk wordt de gebonden granulaat gedimensioneerd op basis van de rekenregels van Klobe,

beschreven in het artikel Die erd-statische Berechnung geotechnischer Flächentragwerke uit 2007 [2]. Het principe is geschetst in Figuur 3. De methode beschrijft het verband tussen de hart op hart afstand van de betonzuilen, de dikte van de gebonden granulaatlaag en de gelijkmatig verdeelde belasting op deze laag. Op basis van deze parameters wordt de minimaal benodigde druksterkte van de gebonden granulaatlaag bepaald. Het mechanisme dat Klobe [2] beschrijft is zeer vergelijkbaar met de boogwerking in een Soilmixwand dat in de CurNet publicatie Handboek Soilmix-wanden voor Nederland en België is vastgelegd [1]. Deze ontwerpmethodiek is gebaseerd op alle relevante (Europese) normen en is in deze landen algemeen geaccepteerd als ontwerprichtlijn.



Figuur 4 vergelijking Handboek Soilmix - Klobe

Om de overeenkomst tussen beide methoden te laten zien, is een vergelijking gemaakt tussen de benodigde druksterkte in de granulaatlaag voor een variatie in bovenbelasting en hart op hart afstand bij een vierkant zuilengrid. De resultaten van deze

vergelijking is grafisch weergegeven in Figuur 4. De vergelijking is gemaakt bij een dikte van het granulaat van 0,5 m, een paalkopdiameter van 1,0 m en zonder veiligheidsfactoren op de benodigde druksterkte. De Soilmixwand ontwerpmethode gaat uit van lineaire ondersteuning in plaats van individuele zuilen, zodat voor deze methode met de diagonaal van het vierkante grid als afstand is gerekend. Uit Figuur 4 volgt dat beide rekenmethoden tot eenzelfde benodigde druksterkte leidt.

Voor het funderingssysteem met betonzuilen kan voor de gebonden granulaat laag de veiligheidsfilosofie worden gehanteerd zoals gerapporteerd in SBRCURnet Handboek Soilmix-wanden [1]. Hierbij wordt opgemerkt dat in het Handboek Soilmixwanden in aansluiting op EN1992-1-1 als uitgangspunt geldt, dat wordt uitgegaan van een gedrongen ligger: overspanning drukboog < 3*maximaal beschikbare hoogte voor de drukboog. In Figuur 4 is de diagonaal van het zuilengrid als hart op hart afstand tussen de steunpunten (betonzuilen) gehanteerd en wordt alleen voor de case met een h.o.h. van 2,5 m niet aan voornoemd uitgangspunt voldaan.

In Figuur 2 is in het rechterdeel een (ongebonden) granulaatlaag aangegeven onder een kolom of wandbelasting. Deze situatie is nader beschouwd met een Plaxis 3D model, waarbij de veiligheidsfilosofie van Handboek Soilmix-wanden is gehanteerd om de benodigde druksterkte van het materiaal te toetsen. De beschouwing is tevens uitgevoerd om de toetsing van de optredende spanning uit te voeren op basis van een 3D berekening en dus zonder de aanname om met de diagonaal te rekenen. Deze beschouwing is nader toegelicht in Bijlage 1 en wordt besproken in paragraaf 4.3.4.

4.3.2 Randoplossing

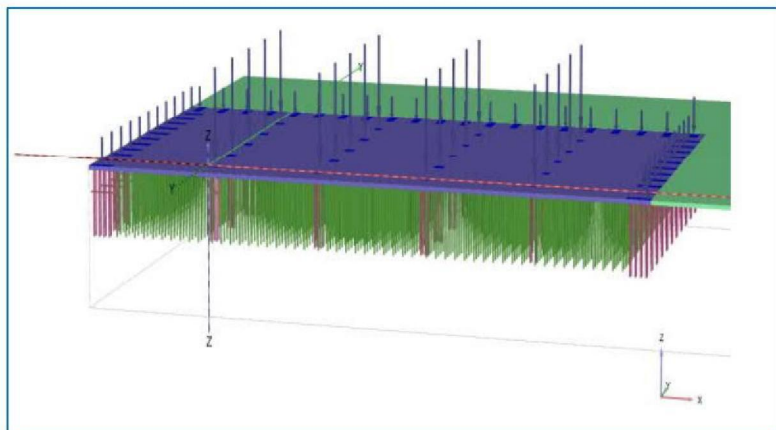
Aan de rand van een funderingsveld kan de boogwerking in het gebonden granulaat niet optreden omdat bij de buitenste rij zuilen de steundruk van een volgende boog ontbreekt. In het Handboek Soilmix-wanden treedt deze situatie alleen bij inwendige hoeken in de bouwkuip op en wordt doorgaans opgelost door hier verankering toe te voegen. Klobe [2] heeft

deze situatie in een rekenregel beschreven zodat de benodigde horizontale steunkracht bepaald kan worden. De horizontale steun kan door inbedding in de grond (passieve gronddruk) of door wapening in de granulaatlaag worden geleverd. In Hoofdstuk 5 is hier een voorbeeld van gegeven.

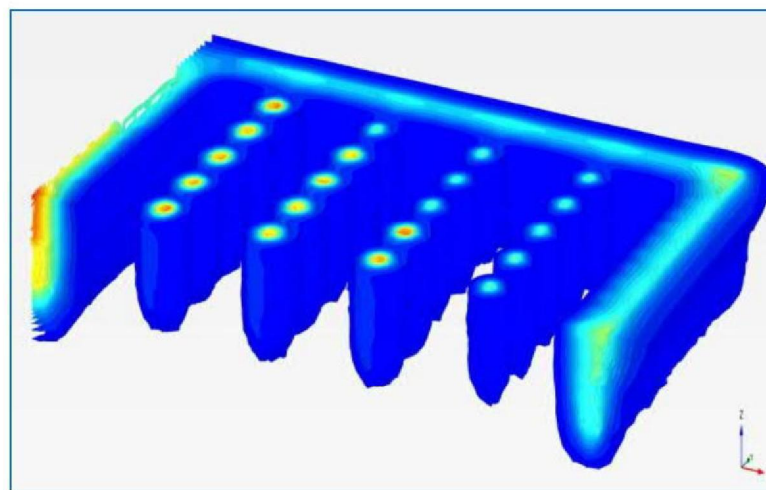
4.3.3 Plaxis analyses, project Groningen

In rapportages [7] en [8] zijn van project distributiecentrum Panattoni te Groningen uitgebreide Plaxis 3D modellen gerapporteerd van het funderingssysteem. In rapportage [7] is een poerconstructie in Plaxis 3D gedetailleerd gemodelleerd. Wiertsema concludeert in deze rapportage dat „de principewerking voor dit funderingssysteem is aangetoond voor het midden van een vloer”.

In rapportage [8] is het volledige funderingssysteem gemodelleerd. Resultaten van het 3D model zijn gegeven in Figuur 5 en Figuur 6. Wiertsema concludeert in de rapportage dat: „Te zien is in de rekenresultaten dat de spanningen correct overgebracht worden via de poeren en betongranulaat naar de DPA zuilen en uiteindelijk de hardere grondlagen.”



Figuur 5 Plaxis 3D model van het complete funderingssysteem[8]

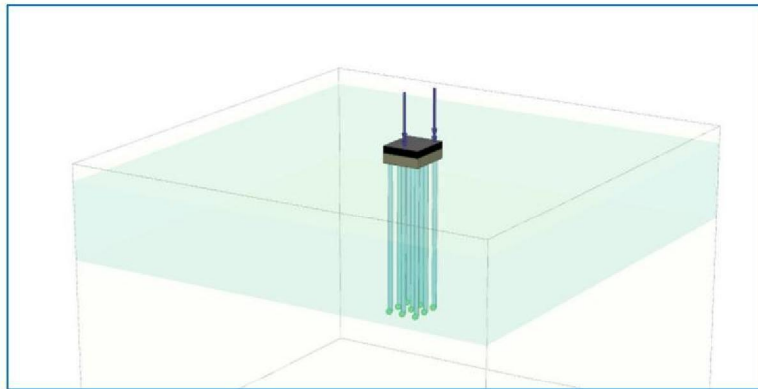


Figuur 6: Vervormingspatroon van het complete funderingssysteem [8]

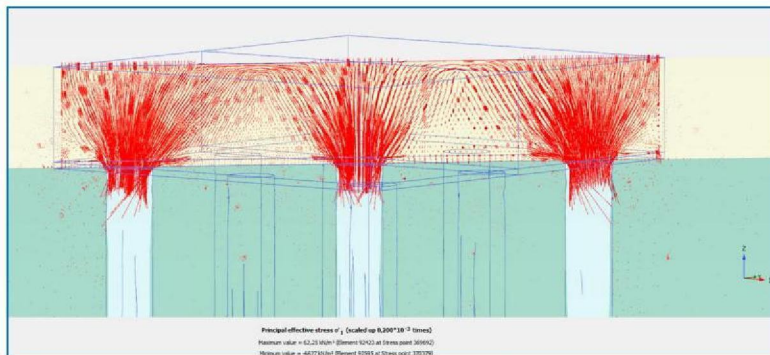
4.3.4 Rekenvoorbeeld Plaxis 3D, detail analyse

Om de boogwerking in de granulaatlaag nader te beschouwen is een Plaxis 3D analyse uitgevoerd, waarvan de resultaten zijn getoetst conform de methodiek gegeven in het Handboek Soilmix-wanden [1]. Gedetailleerde informatie over deze berekening en toetsing is gegeven in Bijlage 1.

Figuur 7 geeft een impressie van het model met funderingsplaat, de granulaatlaag en de betonzuilen. De belasting is in het model uiteindelijk direct op de granulaatlaag aangebracht, zodat een eventueel gunstig effect van de funderingsplaat is verwaarloosd. Figuur 8 laat duidelijk de boogwerking in de granulaat laag zien.



Figuur 7 Plaxis 3D model focus op de constructie

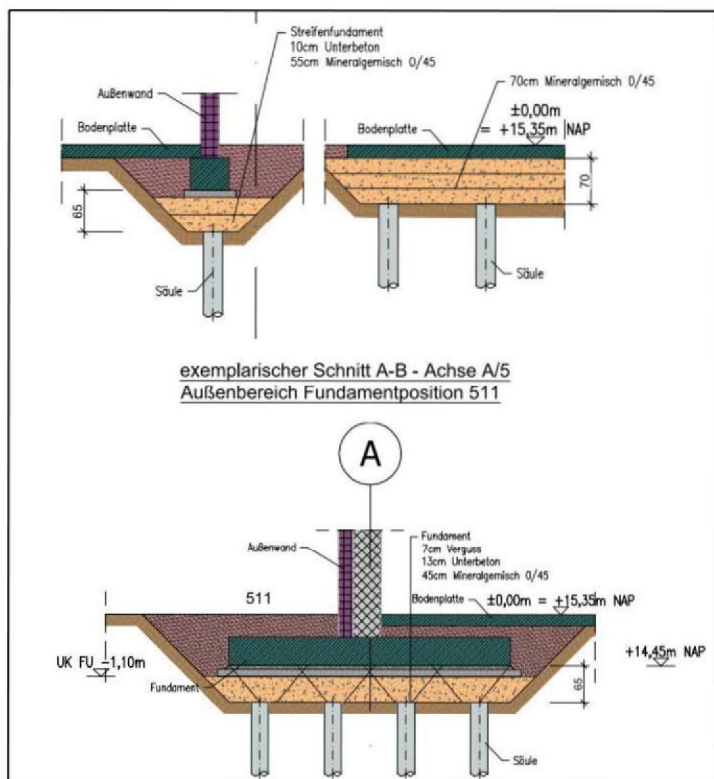


Figuur 8 Hoofspanningrichtingen van de korrelspanning (σ'_1 en σ'_3)

Op basis van de resultaten van het Plaxis 3D model is een unity check gedaan, conform de toetsingsmethodiek die voor soilmix wanden wordt gehanteerd [1]. Hierbij wordt op een drietal aspecten getoetst:

- drukspanning aanzet van de boog, dus ter plaatse van de zuilkop;
- Drukspanning midden van de drukboog;
- Schuifspanning in het midden van de drukboog.

Uit de unity check blijkt dat de toetsing ter plaatse van het aansluitvlak van de zuilkop maatgevend is, hetgeen voor een betonzuil met een diameter van 0,3 m tot een benodigde karakteristieke druksterkte van 7,2 MPa leidt.

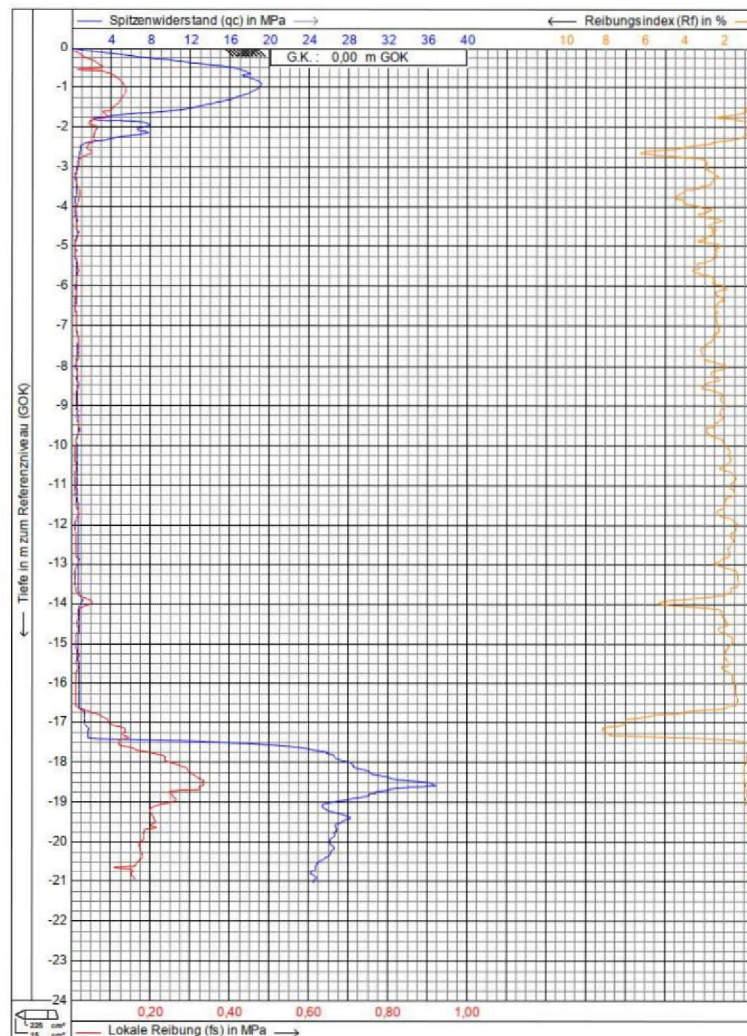


Figuur 10 Funderingsoplossingen 's-Heerenberg

5.3 Bremerhaven

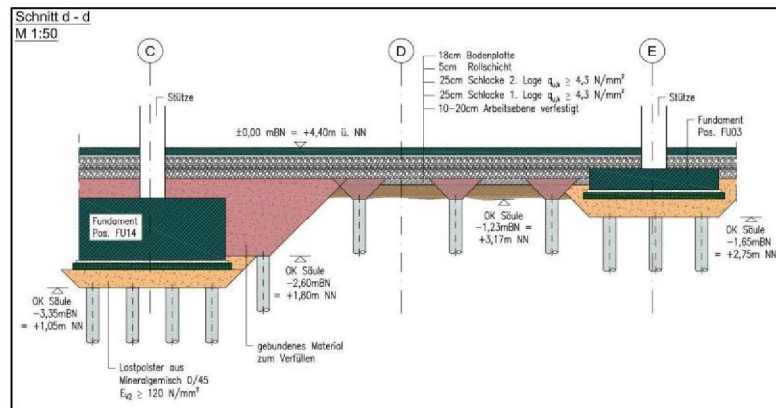
Op een perceel grond gelegen in de stad Bremerhaven zijn twee logistieke hallen gerealiseerd, bestaande uit in totaal zeven units met een oppervlakte van ca. 70.000 m² met de bijbehorende buitenfaciliteiten van ongeveer 30.000 m².

In Figuur 11 is een kenmerkende sondering van het project te zien. Hieruit volgt dat, na een zandlaag van ca. 2 m dikte, een pakket van slappe lagen aanwezig is met een dikte van ca. 15 m, waaronder zich het vaste zand bevindt. Deze bodemopbouw is vergelijkbaar met die we in de slappe gebieden van West Nederland vinden. De punt van de betonzuilen zijn in deze zandlaag geplaatst.



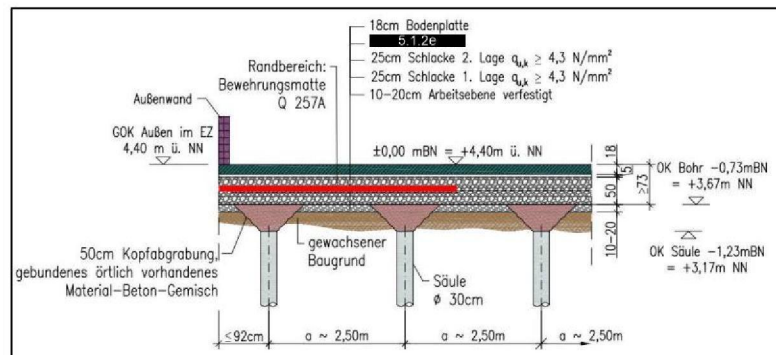
Figuur 11 Kenmerkende sondering Bremerhaven

In Figuur 12 zijn een aantal van de toegepaste funderingsoplossing voor Bremerhaven gegeven. Hieruit volgt tevens dat de vereiste druksterkte van de granulaat laag 4,3 MPa is. De dikte van de granulaatlaag is ca. 0,5 m en de kopopstorting 1,0 m bij de betonzuilen met een diameter van 30 cm.



Figuur 12 Kenmerkende doorsnede funderingsconstructie Bremerhaven

Figuur 13 is een voorbeeld van een randoplossing, waarbij wapening is toegepast midden in de granulaatlaag om, bij gebrek aan boogwerking in de randzone, de horizontale krachtswerking op te nemen.



Figuur 13 Wapening toegepast in granulaatlaag (rood gemarkeerd) bij rand zuilen

6 Kwaliteitscontrole

6.1 Algemeen

De opsomming in dit hoofdstuk van kwaliteitscontrole maatregelen voor de uitvoering is naar de huidige stand der techniek opgesteld en is echter niet uitputtend. In ieder project is het van groot belang om dat alle van toepassing zijnde (uitvoerings)normen en richtlijnen gewaarborgd worden.

6.2 Aanbevelingen voor de uitvoering

6.2.1 Bescherming van de betonzuil / zuilkop

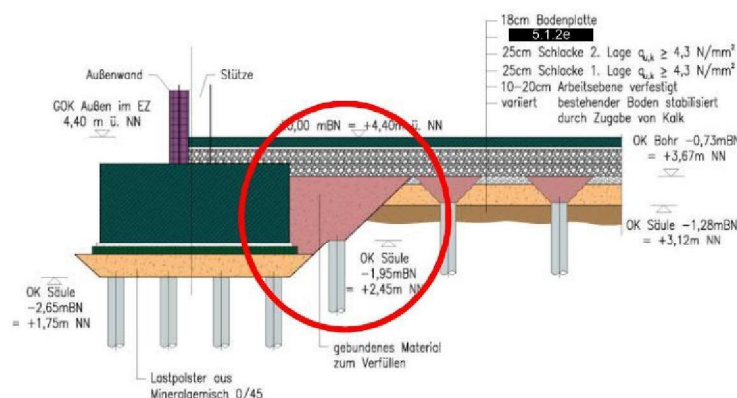
Ten aanzien van de bescherming van de betonzuil nadat deze is gerealiseerd gelden de volgende eisen:

- De gerealiseerde betonzuilen mogen niet met zwaar materieel (zonder bijbehorende beschermplaat) worden overreden. Indien de betonzuilen onder het werkniveau moeten worden geëgaliseerd, moeten deze werkzaamheden worden uitgevoerd wanneer de kolom vers is.
- Over afgewerkte betonzuilen mag niet onbeschermd worden gereden (met grondverzetmachines en/of vrachtwagens).
- Het rijden over de betonzuilen met zwaar materieel is alleen toegestaan nadat de kolommen zijn voorzien van een lastverdelende grondlaag van tenminste 30 cm dikte. In gebieden met zeer slappe toplagen moet dit nader worden beschouwd en worden aangepast aan de lokale omstandigheden.
- De productievолgorde en de daaropvolgende grondwerken moeten op bovenstaande eisen worden afgestemd.

6.2.2 Productievolgorde/zuilafstand

Het moet worden nagegaan of de betonzuilen elkaar niet beïnvloeden bij kleine kolomafstanden. De integriteit van de betonzuilen kan worden geverifieerd door integriteitschecks zoals akoestische doormeten en ook door de uitvoering van proefzuilen.

Indien de hoogteverschillen tussen de funderingselementen te groot zijn, moet de afkaphoogte van de betonzuil worden aangepast, zie voorbeeld in Figuur 14. De opvulling van de omcirkelde ruimte moet worden uitgevoerd met geschikt gebonden granulaat.



Figuur 14 oplossing van het opvullen boven de betonzuilen bij hoogteverschillen tussen de zuilkoppen

6.3 Geotechnische kwaliteitsbewaking

6.3.1 Algemeen

Grondverbetering door middel van betonzuilen met een gebonden granulaatlaag is state of the art, maar valt niet onder een normering. De werkzaamheden moeten derhalve worden begeleid en gedocumenteerd door een geotechnisch expertisebureau.

6.3.2 Omvang van het geotechnische toezicht

Het geotechnisch bureau kiest het type en de omvang van het bouwtoezicht zodanig dat na voltooiing van de werkzaamheden een geotechnisch eindrapport kan worden opgesteld over de geotechnisch verantwoorde en succesvol afgeronde grondverbetering.

Het geotechnisch toezicht omvat onder meer

Ontwerp aspecten

- Controle van het geotechnisch concept (grondmodel, kwaliteitseisen aan de kolommen en gebonden granulaat, etc.) van de verbetering;
- Controle van de uitvoeringsdocumenten van de gespecialiseerde funderingsaannemer.

Uitvoeringsaspecten

- Inspectie van de productie van de betonzuilen (waaronder meten diameter zuilkop);
- Akoestisch doormeten van de zuilen;
- Steekproefsgewijs controle van de verankeringslengtes, waar relevant;
- Betonzuilproductie (betonverbruik, betonsamenstelling etc. door aselechte steekproeven);
- Volgorde van de uitvoering;
- Bescherming van de zuilkoppen / uitlijning van de betonzuilen (steekproefsgewijs);
- Inspectie / controle van de productiegegevens.

6.3.3 Geotechnische Eindrapportage

De geotechnische eindrapportage moet de volgende onderdelen bevatten

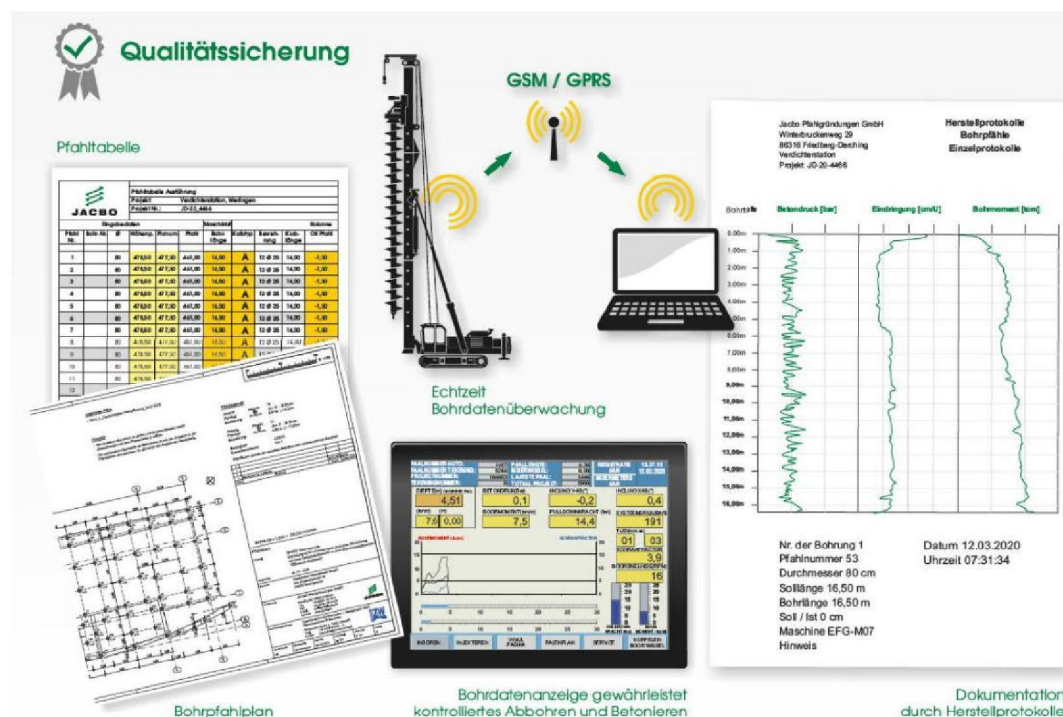
- Bevestiging van de professionele en succesvolle uitvoering van de grondverbetering.
- Informatie over eventuele afwijkingen tijdens de bouw of andere bijzondere tijdens de uitvoering van de werkzaamheden.
- Overzicht van de:
 - Productiegegevens van de betonzuilen;

- Druksterkteproeven van het gebonden granulaat;
- Resultaten van de integriteitstest.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
RA23143a1

Pagi na
17/19



6.4 Checklist uitvoering betonzuilen

Voor het begin van de speciale civieltechnische werkzaamheden moeten de volgende diensten worden uitgevoerd, gepland of gecontroleerd worden.

- Volledige afwezigheid van explosieven in het bouwgebied.
- Vrijmaken van kabels/leidingen tijdens de uitvoering van de grondverbeteringswerkzaamheden.
- Een voldoende stabiel werkniveau, waar nodig bereikbaar met zwaar materieel.
- Bepaling van het werkniveau, werkvolgorde, aangezien er niet meer over de betonnen zuilen gereden mag worden nadat deze zijn uitgevoerd.
- Productie, afdekken van zuilen in toekomstig werkgebied.
- Afwerken / afdekken van de zuilkoppen in het gebied van de funderingen
- JACBO graaft de kolommen af tot 50 cm. Het afgraven en afdekken van de kolommen van funderingen alsmede andere ontgravingen, dienen, onder supervisie van **5.1.2e** door de plaatselijke aannemer te worden uitgevoerd.

De bijzondere funderingswerken moeten worden begeleid door het betrokken geotechnisch bureau. Een groot deel van de kwaliteitsborging komt valt onder de verantwoordelijkheid van het toetsingsbureau.

Onder andere de volgende taken moeten worden uitgevoerd:

- Controle van de uitvoeringsplanning voor grondverbetering;
- Onderzoek van de ondergrond in het ondiepe funderingsgebied met bepaling van de toelaatbare gronddruk en zetting;
- Toezicht op de werkzaamheden;
- Steekproefsgewijze controle op de bouwplaats;
- Controle van de productiegegevens;
- Controle, evaluatie van integriteitstesten;

- Verwerking en beantwoording van geotechnische vragen van de keuringsinstanties en andere stakeholders.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
RA23143a1

Pagina
18/19

7 Samenvatting en Conclusies

In deze rapportage is een analyse uitgevoerd naar het funderingssysteem van **5.1.2e** betonzuilen om de bovenbelasting naar een diepere grondlaag te brengen dat, met name in Duitsland, veelvuldig succesvol is toegepast. Ook in Nederland zijn op dit moment een tweetal projecten met dit funderingssysteem uitgevoerd.

De rapportage richt zich op de ontwerpmethodiek voor de drie componenten waaruit dit systeem is opgebouwd. In onderstaande opsomming worden de conclusies ten aanzien van het ontwerp samengevat:

1. Funderingsplaat, die bestaat uit een betonnen plaat met daarop eventueel een kolom of een gelijkmatig verdeelde funderingslast. Deze funderingsplaat kan op een standaardwijze worden gedimensioneerd.
2. (gebonden) Granulaat, deze laag zorgt voor een spreiding van de gelijkmatige belasting uit de funderingsplaat naar de betonzuilen. Een vergelijking van analytische berekeningen en uitgebreide Plaxis 3D numerieke beschouwingen hebben aangetoond dat de dimensionering van deze laag gebaseerd kan worden op methode beschreven in SBRCURnet Handboek Soilmix-wanden, waarbij voor het rekenmodel bij voorkeur gebruik wordt gemaakt van een Plaxis 3D model. Voordeel van dit mode is dat hiermee ook de krachtswerking in de betonzuilen kan worden beschouwd. Hiermee voldoet een ontwerp aan de veiligheid systematiek van de vigerende Eurocode.

Afhankelijk van de hart op hart afstand van de zuilen, de dikte van de granulaatlaag en de bovenbelasting kan de benodigde druksterkte van de granulaatlaag worden gedimensioneerd.

3. Betonzuilen, dit zijn ongewapende **5.1.2e** palen met een diameter van 30 cm. Analyse van de ontwerpnorm NEN9997 en de uitvoeringsnorm NEN-EN 12699 geeft aan dat ongewapende betonzuilen in een constructie zijn toegestaan, mits dit rekenkundig wordt onderbouwd. Deze onderbouwing kan door middel van een Plaxis berekening worden verzorgd.

De kwaliteitscontrole in de uitvoering is belangrijk voor het waarborgen van de randvoorwaarden die in het ontwerp zijn gehanteerd. Het voorkomen van ongewenste horizontale belastingen op de betonzuilen is hierbij het belangrijkste aandachtspunt. Dit betekent enerzijds dat de routing van de uitvoering zodanig wordt gekozen dat de betonzuilen voldoende zijn uitgehard voordat nabijgelegen betonzuilen worden uitgevoerd en dat zware zijdelingse maaiveld lasten op de betonzuilen door bijvoorbeeld werkverkeer worden voorkomen.

De besproken referentie projecten laten zien dat het Jacobo funderingssysteem op grote projecten wordt toegepast, zowel in Duitsland als in Nederland. Het project in Bremerhaven toont aan dat het funderingssysteem uitstekend ook kan worden toegepast in grondomstandigheden die kenmerkend zijn voor West-Nederland.

De combinatie van succesvolle referentieprojecten en een ontwerpmethodiek die voldoet aan de geldende normen en richtlijnen, leidt voor CRUX Engineering tot de conclusie dat dit funderingssysteem in Nederland toepasbaar is.

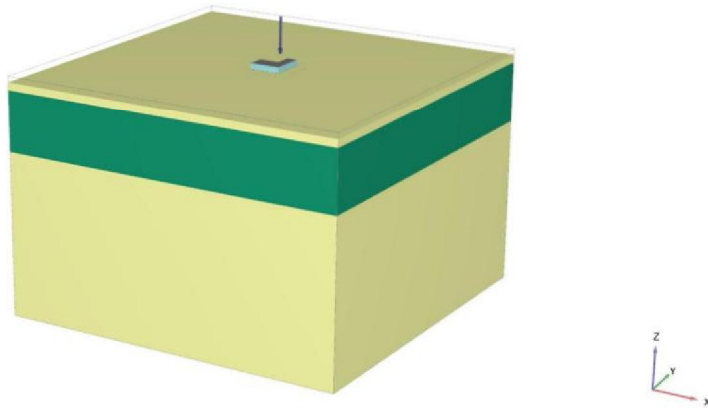
CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
RA23143a1

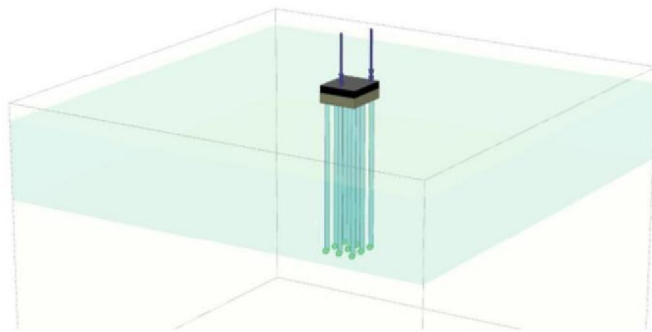
Pagi na
19/19

Inleiding

Met een Plaxis 3D model is een gedetailleerde controle berekening uitgevoerd van de krachtswerking in de granulaatlaag. In Figuur 15 en Figuur 16 is een impressie van het gehanteerde model gegeven.



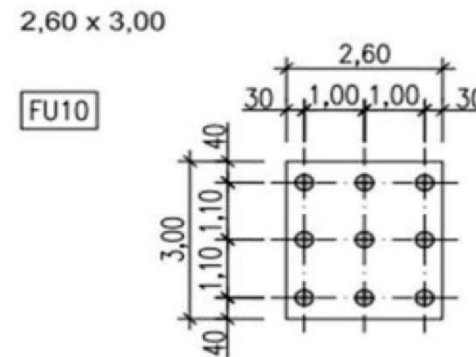
Figuur 15 Plaxis 3D model



Figuur 16 Plaxis 3D model, focus op de constructie

De omvang van het model is 30 x 30 m. Dit is 10 keer de lengte (grootste afmeting) van de constructie zodat numerieke invloeden van de rand van het model worden voorkomen.

Voor het modelleren van de betonzuilen zijn cilindrische grondvolumes met een diameter van 0,30 m en een lengte van 10 m gebruikt. De materiaal eigenschappen van de betonzuilen zijn zodanig gekozen dat deze zich voldoende stijf gedragen. Voor de analyse is een groep van 9 zuilen geselecteerd van het project [8].



Figuur 17 Zuilconfiguratie en afmetingen

Een exemplarisch gelijkmatig verdeelde belasting van 250kN/m² is toegepast die direct aangrijpt op de gebonden granulaatlaag. Twee scenario's zijn beschouwd:

- Druksterkte (f_{smk}) 2,0 MPa (in het model wordt dan een cohesie van 1,0 Mpa gehanteerd);
- Druksterkte (f_{smk}) 5,0 MPa (in het model wordt dan een cohesie van 2,5 MPa gehanteerd).

In Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3 zijn de gehanteerde niveaus en materiaaleigenschappen opgesomd.

Tabel 1 Grondlagen

Nr.	Grondlaag	Bovenkant [m]	Onderkant [m]
1	Zand schoon los	-0,20	-0,80
2	Klei Schoon slap	-0,80	-6,00
3	Zand schoon los	-6,00	-20,00

Tabel 2 Gebonden Granulaat laag

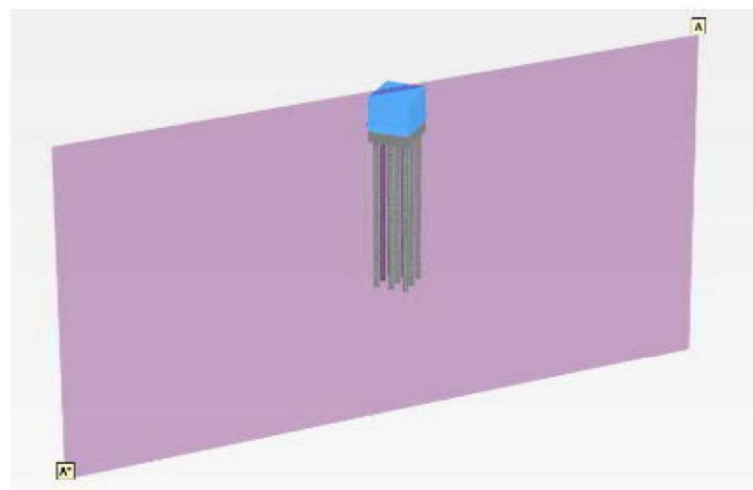
Nr.	Laag	Bovenkant [m NAP]	Onderkant [m NAP]
1	granulaat	-0,20	-0,85

Tabel 3 Materiaal eigenschappen

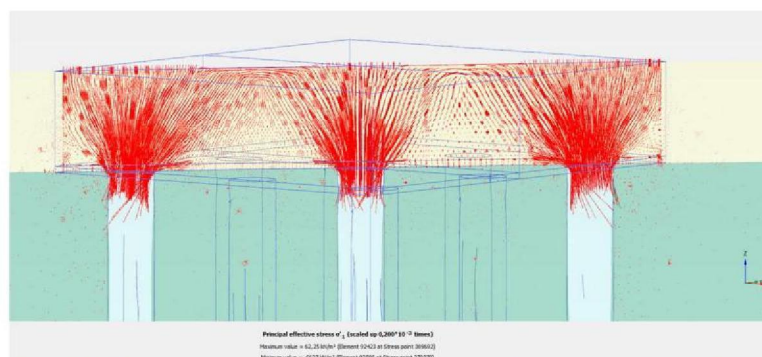
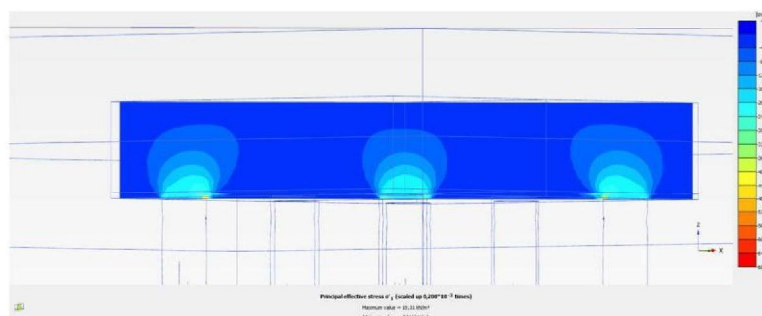
Materiaal	γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	Φ' [°]	$E'_{50\text{ref}}$ [kN/m ²]
Zand schoon los	19	-	30	20E3
Klei schoon slap	14	-	17,5	20E3
Granulaat	24	1000, 2500	40	2E06
BetonLE (zuil)	24			26E6

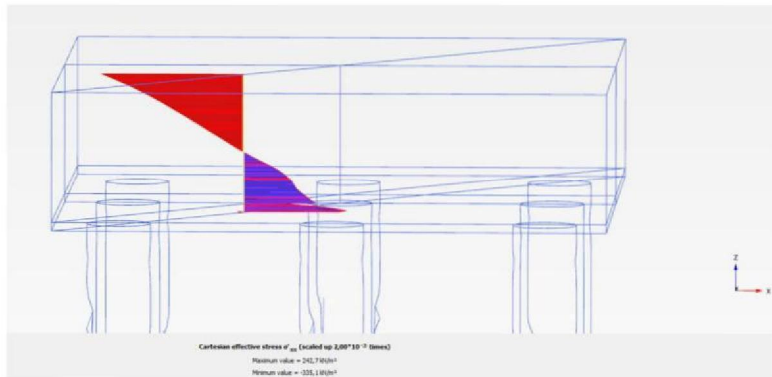
Resultaten Plaxis berekening

In de navolgende figuren, Figuur 18 tot en met Figuur 25, zijn de resultaten van de Plaxis 3D berekening weergegeven voor het granulaat materiaal met een $f_{\text{sm,k}}$ van 5,0 MPa (de gehanteerde cohesie is 50% van de druksterkte, derhalve 2500 kN/m²) en bij een exemplarische bovenbelasting van 250 kN/m². Hierbij ligt de focus op de optredende boogwerking in de granulaat laag en het uitlezen van de spanningen in de boog op de diagonaal van de betonzuilen.

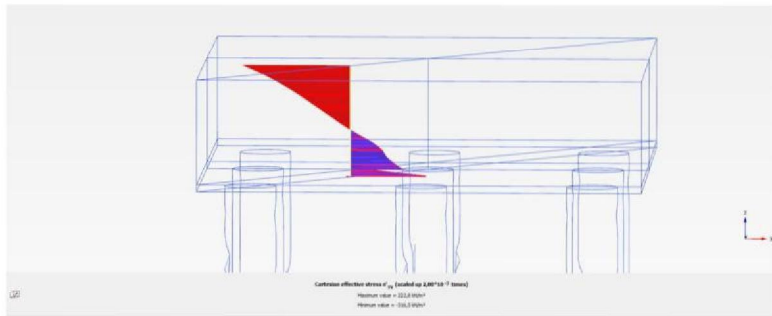


Figuur 18 Doorsnede A-A' diagonaal over de betonzuilen

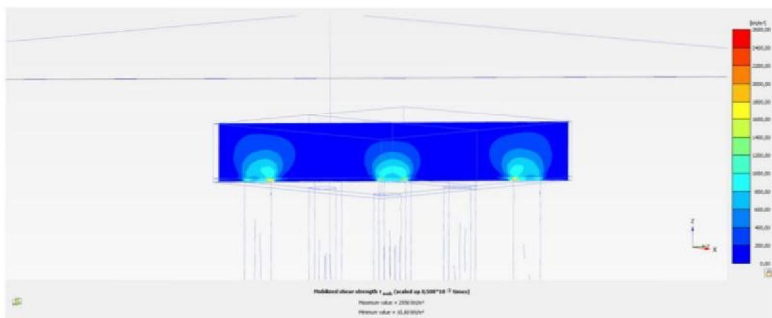
Figuur 19 Hoofspanningrichtingen van de korrelspanning ($\sigma'1$ en $\sigma'3$)Figuur 20 Effectieve korrelspanning, hoofdspansing ($\sigma'1$)



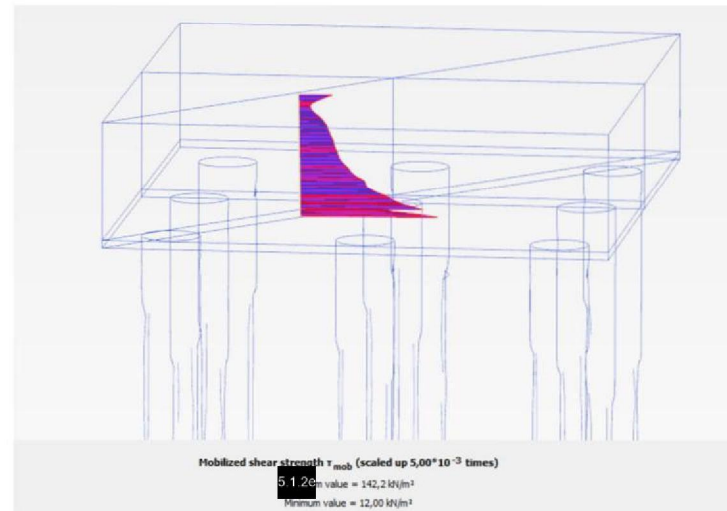
Figuur 21 Effectieve korrelspanning in de x-richting (horizontaal)



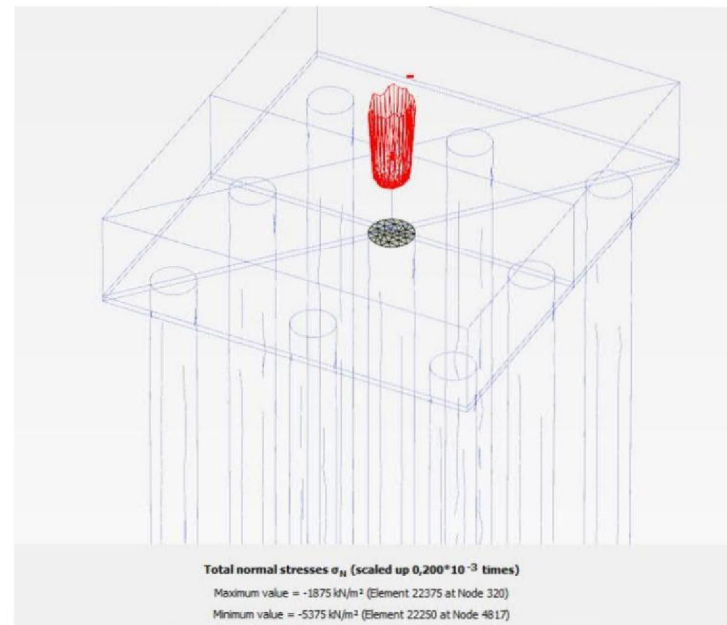
Figuur 22 Effectieve korrelspanning in de y-richting (horizontaal)



Figuur 23 Maximaal schuifspanning voor de doorsnede A-A'



Figuur 24 Maximale schuifspanning in de drukboogdoorsnede

Figuur 25 druk spanningen σ_N op de middelste betonzuil

De drukspanningsverdeling die in Figuur 25 ter plaatse van de middelste betonzuil wordt gevonden, is omgerekend naar een gemiddelde spanning op de betonzuil. Deze spanning bevindt zich dus ook in het granulaat. Uit deze beschouwing volgt dat de belasting per betonzuil tussen 187 en 205 kN is, gemiddeld 197 kN. Uitgaande van de bovenbelasting en het gewicht van de granulaatlaag is de maximale last per zuil 230 kN. Gemiddeld gaat dus 86% van de belasting naar de betonzuil en draagt de bedding van de ondergrond beperkt bij. Deze belasting verdeling wordt als een representatieve situatie beschouwd.

Figuur 19 laat de hoofdspanningsrichtingen in de diagonale doorsnede zien. Uit dit figuur wordt duidelijk dat er sprake is van boogwerking in het granulaat materiaal. In Figuur 21 en Figuur 22 wordt de druk- en trekspanning getoond in een snede die midden op beide diagonalen van het zuilengrid is gelegen. Dit is de maatgevende situatie voor toetsing van de spanning in de drukboog. Uit deze figuren is de maximale spanning in de drukboog afgeleid die in Figuur 26 voor de twee scenario's is samengevat. Hieruit volgt dat de maximale spanning in de drukboog voor beide berekende cases nagenoeg gelijk is.

Maximale spanning in drukboog, diagonaal tussen de betonzuilen	5.1.2e (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)	σ_R (kN/m ²)
fsm;k = 2,0 MPa (Cohesie 1,0 MPa)	330	297	444
fsm;k = 5,0 MPa (Cohesie 2,5 MPa)	335	317	461

Figuur 26 Maximale Effectieve spanning in de drukboog, diagonaal tussen de betonzuilen.

		N/mm ²
Bepaling gemiddelde drukspanning op de betonzuil (diam = 0,3 m)	$\sigma'_{\text{boog,aanzet}}$	2,815
Bepaling gemiddelde drukspanning in midden van de drukboog	$\sigma'_{\text{boog,mid,gem}}$	0,212
Bepaling maximale drukspanning in midden van de drukboog	$\sigma'_{\text{boog,mid,max}}$	0,461
Bepaling maximale schuifspanning in de drukboogdoorsnede	τ_E	0,142

Figuur 27 Unity check invoer

In Figuur 27 zijn de uit het Plaxis 3D model afgeleide gegevens samengevat, die als invoer dienen voor de unity check.

Unity check

Met de invoer gegevens uit Figuur 27 is een unity check gedaan van de Plaxis 3D resultaten, conform de toetsingsmethodiek die voor soilmix wanden wordt gehanteerd [1]. Hierbij wordt op een drietal aspecten getoetst:

- Gemiddelde drukspanning aanzet van de boog, dus ter plaatse van de zuilkop;
- Drukspanning midden van de drukboog;
- Schuifspanning in het midden van de drukboog.

In het onderstaande berekening is de unity check gegeven. De toetsing ter plaatse van de zuilkop is maatgevend, hetgeen voor een betonzuil met een diameter van 0,3 m tot een benodigde karakteristieke druksterkte van het granulaatmateriaal van 7,2 MPa leidt.

**Unity Check Granulaat laag
uit Plaxis 3D berekening**

Bepaling maximale drukspanning bij aanzet van de boog met de betonzuil

$\sigma'_{\text{boog,aanzet}} =$	2,815	N/mm ²	Uit Plaxis: spanning in de boog bij de zuilkop, dus op het contactvlak met de betonzuil
$\gamma =$	1,40	-	partiele factor
$\sigma'_{\text{boog,aanzet,d}} =$	3,94	N/mm ²	spanning in de boog bij aanzet

Bepaling gemiddelde drukspanning in midden van de drukboog (UIT PLAXIS)

$\sigma'_{\text{boog,mid,gem}} =$	0,212	N/mm ²	Uit Plaxis: gemiddelde spanning in de middendoorsnede van de drukboog
-----------------------------------	-------	-------------------	---

Bepaling maximale drukspanning in midden van de drukboog

$\sigma'_{\text{boog,mid,max}} =$	0,461	N/mm ²	uit Plaxis: maximale spanning in de middendoorsnede van de drukboog
$\gamma =$	1,40	-	partiele factor
$\sigma'_{\text{boog,mid,max,d}} =$	0,65	N/mm ²	maximale spanning in de middendoorsnede van de drukboog

Bepaling maximale schuifspanning in de drukboogdoorsnede

$\tau_E =$	0,142	N/mm ²	Uit Plaxis: maximale schuifspanning in de drukboog uit Plaxismodel
$\gamma =$	1,40	-	partiele factor
$\tau_{E,d} =$	0,20	N/mm ²	rekenwaarde van de maximale schuifspanning

Gegevens Soilmix-materiaal

Algemene factoren

$k_f =$	1,00	-	onzekerheidsfactor voor in situ fabricatie
$\gamma_{sm} =$	1,50	-	partiele veiligheidsfactor drukspanningen (1,2 voor calamiteit; 1,5 voor blijvend-tijdelijk bel
$\alpha_{sm} =$	0,85	-	kruipfactor op de druksterkte (1,0 voor levensduur ≤ 2 jaar en 0,85 voor lange duur)
$\psi =$	1,00	-	kruipfactor op elasticiteitsmodulus; 1,0 bij levensduur > 2 jaar

Druksterkte

$f_{sm,k} =$	7,20	MPa	karacteristieke cilinder druksterkte (28 dagen)
$f_{sm,k,T} =$	6,12	MPa	karacteristieke cilinder druksterkte incl. lange termijn factor α_{sm} , k_f en tijdsreductie factor
$f_{sm,d} =$	4,08	MPa	rekenwaarde druksterkte lange termijn

Treksterkte

$f_{sm,tk} =$	0,78	MPa	gemiddelde karakteristieke axiale treksterkte
$f_{sm,td} =$	0,44	MPa	gemiddelde rekenwaarde axiale treksterkte inclusief tijdseffect

Schuifspanning

$\tau_{sm,d} =$	0,44	MPa	rekenwaarde van de schuifsterkte voor soilmix materiaal onderling (= $f_{sm,td}$)
-----------------	------	-----	--

Bepaling toelaatbare spanningen in de drukboog

Toelaatbare drukspanning bij de aanzet

$k_2 =$	1,00	-	Afwijking Handboek aangezien hier niet wordt afgestemd op flens welke als wapening dien
$\sigma_{RD,max,aanzet} =$	3,96	N/mm ²	

Toelaatbare drukspanning middendoorsnede

$\nu' =$	0,97	-	
$\sigma_{RD,max,boog} =$	2,38	N/mm ²	

Toelaatbare schuifspanning

$\tau_{sm,d2} =$	0,48	N/mm ²	= $\tau_{sm,d} + 0,15 \cdot \sigma'_{\text{boog,mid,gem}}$ (Uit Plaxis: gemiddelde spanning in de middendoorsnede van
------------------	------	-------------------	---

Toetsing spanningen in de drukboog

- 1) Drukspanning aanzet: u.c. = $\sigma_{\text{boog,aanzet}} / \sigma_{RD,max,aanzet} = 3,94 / 3,96 = 0,99$ Conclusie = VOLDOET
- 2) Drukspanning midden: u.c. = $\sigma'_{\text{boog,mid,max}} / \sigma_{RD,max,boog} = 0,65 / 2,38 = 0,27$ Conclusie = VOLDOET
- 3) Schuifspanning: u.c. = $\tau_{E,d} / \tau_{sm,d2} = 0,2 / 0,48 = 0,42$ Conclusie = VOLDOET

DE KERN VAN DE ZAAK



Voor meer informatie zie: www.socotec.nl

SOCOTEC NEDERLAND SPECIALIST IN:

Geotechniek en milieu-expertise

Grondonderzoek

Geotechnisch laboratoriumonderzoek

Geotechnisch- en geohydrologisch advies

Bouwplaats- en grondwater monitoring

Waterveiligheid

Uitvoeringsbegeleiding

Milieutechniek

Risicobeheer, verzekering en inspecties

Claims

Controle van de omgeving

Risicoanalyses

Waardebepalingen

Gebouw veiligheid & duurzaamheid

Binnenklimaat

Drinkwaterveiligheid

Gebouw- en techniekinspecties

Gebouwprestatie

Gebouwinformatie