Adviesnota

Movares
adviseurs & ingenieurs

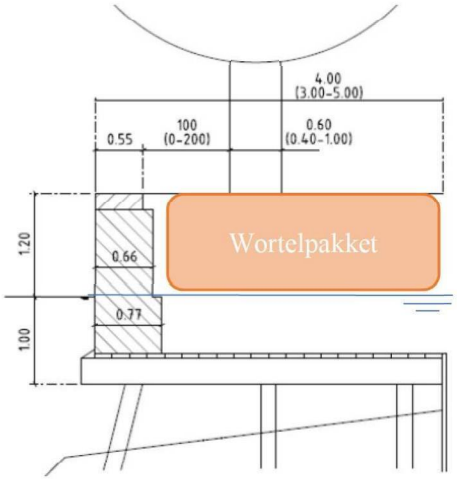
Aan	[redacted]
Van	[redacted]
Telefoon	[redacted]
Opsteller	[redacted]
Controleur	[redacted]
Kenmerk	D80-TOL-KA-2000024 Voorlopig Ontwerp jetgroutkolommen
Projectnummer	MN001276
Onderwerp	Voorlopig ontwerp jetgroutkolommen onder bomen achter kademuren
Datum	21 juli 2020

Inleiding

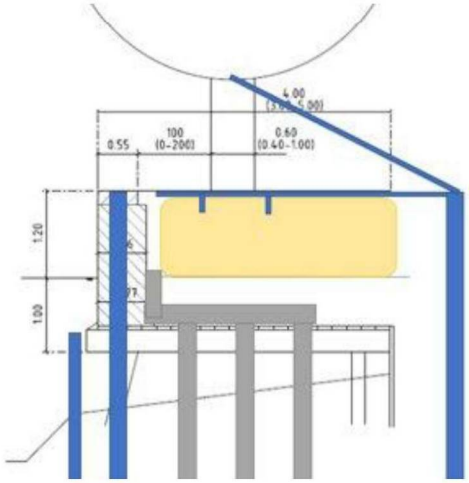
Een groot gedeelte van de kademuren in Amsterdam verkeert in slechte staat en staat geprogrammeerd voor vernieuwing. Veel van deze kademuren hebben raakvlakken met bestaande (monumentale) bomen. Kademuurvernieuwing met behoud van bomen vormt een uitdaging waarin creatieve technische oplossingen nodig zijn om binnen de randvoorwaarden een kademuurvernieuwing uit te voeren. Gemeente Amsterdam heeft binnen het kader boombehoud een uitvoeringmethode met behoud van bomen (SO) geselecteerd, namelijk een palenwand met gefundeerde boom-ontlastvloer. Deze bijlage is een onderdeel van het kader boombehoud en het ontwerp van de (jetgrout) ontlastvloer wordt in deze adviesnota uitgewerkt.

Uitgangspunten ontwerp

Dit ontwerp is gebaseerd op een fictieve casus. De totstandkoming van de uitgangspunten is uitgewerkt in het hoofdrapport van Boombehoud bij kademuurvernieuwingen. De huidige situatie is weergegeven in Figuur 1. De kademuur wordt vervangen door een palenwand met een gefundeerde ontlastvloer (Zie Figuur 2).



Figuur 1: Dwarsprofiel kademuur



Figuur 2: Ontwerprichting

Movares Nederland B.V. / Utrecht
Kamer van Koophandel 30124367

De fasering van de kademuurvervanging is als volgt:

1. Plaatsen hulpdamwand
    a. Stabiliseren kademuur met zandaanvulling
    b. Het opspuiten van zand onder de bestaande houten vloer tot de hulpdamwand
2. Groutvloer *(Ontwerp uitgewerkt in deze adviestnota)*
    a. Maken groutpalen tot boven de houten vloer
    b. Maken van groutvloer met de groutpalen
    c. Maken van een opstort achter de kademuur verbonden met de groutvloer. De hoogte is tot waterlijn / onderzijde wortelkluit.
    d. Controle van dikte en locaties van grout
3. Boomanker
    a. Aanbrengen buispalen achter de boom
    b. Aanbrengen boomverankering (horizontaal met verankeringspennen)
4. Buispalen in bestaande kademuur aanbrengen
    a. Het slopen van de bestaande kademuur tot aan bestaande fundatie.
    b. Doorboren van de bestaande fundatie
    c. Buispalen aanbrengen
    d. Damwandplanken achter buispalen aanbrengen
    e. Aanbrengen van verankering
    f. Voorspannen anker
5. Realisatie definitieve situatie
    a. Verwijderen zandaanvulling
    b. Verwijderen hulpdamwand
    c. Verwijderen boomanker
6. Aanbrengen afbouwconstructie
    a. Aanbrengen schort (incl. natuurstenen deksteen, metselwerk afwerking en grijpsteen)

Grondeigenschappen en bodemopbouw

Voor het opzetten van de palenwand berekening zijn de geotechnisch grondparameters en het bodemprofiel aangeleverd door IB Amsterdam d.d. 13-03-2020. Zie Figuur 3.

Type	BK	γ_d / γ_n	C	φ	δ	K1	K2	K3
Toplaag	MV	15,0/18,4	0	28	18	4500	2250	1125
Hollandveen	-2,0	2,5/10,5	5	22	0	2000	800	500
Wadafzettingen	-5,0	13,3/17,9	2	27	18	4000	2000	800
Hydrobiaklei	-12,0	9,0/15,2	8	27	18	4200	2100	1050
Basisveen	-12,5	4,2/11,7	6	21	0	1000	500	250
Eerste zandlaag	-13,0	16,8/19,8	0	33	22	28000	14000	7000
Allerod	-15,0	14,4/18,5	3	28	18	13000	6500	3250
Tweede zandlaag	-17,0	15,9/19,0	0	33	22	31000	15500	7750
[-]	m t.o.v. NAP	[kN/m^3]	[kN/m^2]	[graden]	[graden]	[kN/m^3]	[kN/m^3]	[kN/m^3]

Figuur 3: Bodem- en grondparameters

Normen, richtlijnen en voorschriften

Voor de toetsing van de kadeconstructies is gebruik gemaakt van:

- NEN-EN 9997-1;
- CUR publicatie 236;
- publicatie "state of the art jetgrouting", datum: van 22 februari 2017;
- en de CUR 186 Binnenstedelijke kademuren.

Veiligheidsfactoren:

De constructie is ingedeeld in risico klasse 2 (RC2). De partiële factoren volgens Eurocode 0, NB5 bedragen in dat geval:

Permanent ongunstig P_g=1,35
Veranderlijk ongunstig P_q=1,5

Belastingen

De belastingen bestaan uit het eigengewicht van de ontlastvoer en belasting op de ontlastvloer.

Belasting op de ontlastvloer

De belasting op de ontlastvloer bestaat uit twee componenten: gelijkmatig verdeelde maaiveldbelasting en boombelasting. Voor de maaiveldbelasting is gerekend met een (permanente) gelijkmatig verdeelde belasting van 20 kN/m^2. Voor de boombelasting wordt onderstaand de maatgevende belasting afgeleid.

De boombelasting bestaat uit het eigengewicht, expansiebelasting door het wortelstelsel en een windbelasting. Voor nu wordt uitgegaan van enkel eigengewicht en windbelasting. De expansie belasting wordt afdragen via de kerende wand. Conform het Handboek Binnenstedelijke kademuren ligt het eigengewicht van een aantal representatieve boomsoorten tussen de 15kN en 20kN. Dit gewicht wordt gespreid over de wortelkluit waardoor de representatieve verdeelde belasting lager uitvalt dan de gelijkmatig verdeelde belasting. De oppervlakte van het wortelpakket omvat voor de uitgangssituatie 21m2 (3,5 meter in het dwarsprofiel en een verwachte 6 meter in het lengteprofiel). In de berekeningen is echter vanuit conservatief oogpunt voor zowel de doorsnede ter plaatse van de boom als de doorsnede zonder een boom gerekend met een gelijkmatig verdeelde bovenbelasting van 20 kN/m^2. Dit is te beschouwen als een combinatie van de gelijkmatig verdeelde maaiveldbelasting en het eigengewicht van de boombelasting.

Het moment dat gevormd wordt door de windbelasting op de boom is op een vergelijkbare wijze geschematiseerd zoals gehanteerd bij het ontwerp van de kadevervanging van de Prinsessegracht (voorbeeld uit Handboek binnenstedelijke kademuren):

- Het koppelmoment vormt een druk- en trekzone aan respectievelijk de water- en straatzijde van de boom. Voor de verticale belasting wordt momenteel alleen gekeken naar de drukzone.
- Het koppelmoment is aangehouden op 35 kNm uit het voorbeeld. Gezien de omstandigheden is dit een goede eerste indicatie. De drukzone bedraagt conform opgave

boomspecialist 2,1m breedte in het dwarsprofiel. Dit komt neer op een resulterende druk en trekkracht van 16,6 kN ter hoogte van het wortelpakket (35/2,1).

Belasting van de ontlastvloer (eigengewicht)
Het eigengewicht van de jetgroutvloer is indicatief 504,5 kN (1,35 x (1 m x 21 m^2 x 24 kN/m^3)). Er wordt rekening gehouden met een laag grond van 1,7 meter klei (toplaag inclusief wortelpakket). Dit resulteert in 656,7 kN (1,7 m x 21 m^2 x 18,4 kN/m^3).

Totale rekenwaarde
Dit geeft de volgende rekenwaarden:

- Eigengewicht bovenliggende grond: 656,7 x 1,35 = 887 kN
- Eigengewicht jetgroutvloer: 504,5 x 1,35 = 682 kN
- Eigengewicht boom met maaivelbelasting 420,0 x 1,35 = 630 kN
- Variabel moment windbelasting: 16,6 x 1,50 = 25 kN

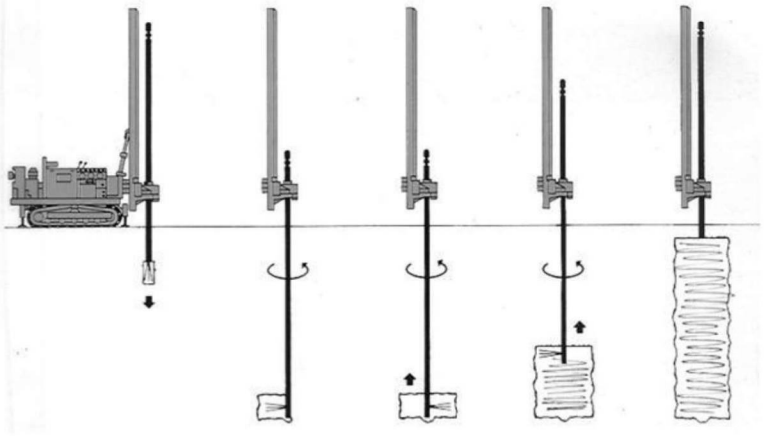
De totale ontwerpbelasting is 2224 kN en werkt op vier palen. Als uitgangspunt wordt aangenomen dat de windbelasting op een paal afgedragen wordt als de wind schuin op de vloer staat. De totale belasting ten gevolge van het eigengewicht van de constructie, grondbelasting en boombelasting resulteert in een maatgevende belasting per paal van 575 kN.

Algemeen
Bij de jet-groutingtechniek wordt de grond in-situ vermengd met een water - cementmengsel. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van een jetstraal die verkregen wordt door het water - cementmengsel met een zeer grote druk (25 à 50 MPa) door zeer kleine openingen (2 à 5 mm) te pompen.

Door de hoge energie van de straal wordt de structuur van de grond tot op een zekere afstand van de uitstroomopening nagenoeg volledig verbroken en wordt de losgemaakte grond vermengd met het ingebrachte water – cementmengsel waardoor een groutkolom ontstaat.
De uitvoering van jet-grouting verloopt dan als volgt (zie figuur 1):

- In eerste instantie worden de groutstangen die onderaan voorzien zijn van één of meerdere openingen, tot op de beoogde diepte in de grond gebracht;
- Wanneer de beoogde diepte bereikt is, wordt door de openingen een water - cementmengsel onder zeer hoge druk gepompt en worden de groutstangen getrokken. In het algemeen worden de groutstangen roterend getrokken. Op deze wijze worden dan cilindrische groutkolommen gerealiseerd;
- Na de uitvoering van de groutkolom kan eventueel een wapeningsstaaf in de nog niet verharde groutspecie worden aangebracht.

Figuur 1: Algemeen principe van jet-grouting.

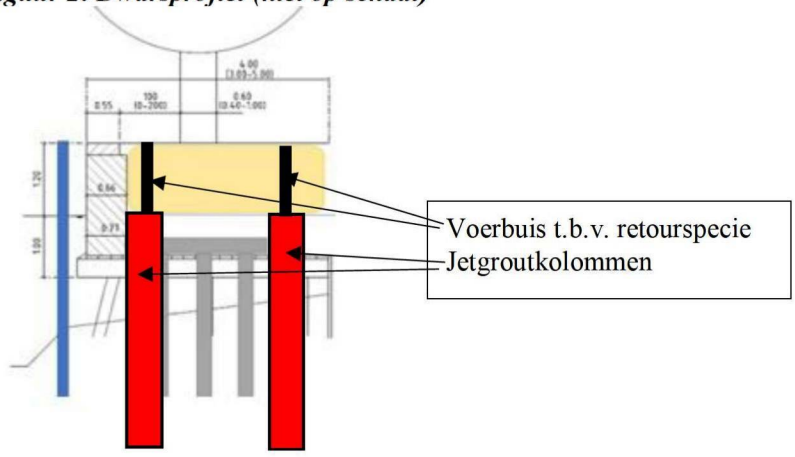


Voor een verder achtergrond van jet-grouting wordt verwezen naar de publicatie “state of the art jetgrouting”, datum: van 22 februari 2017[redacted]

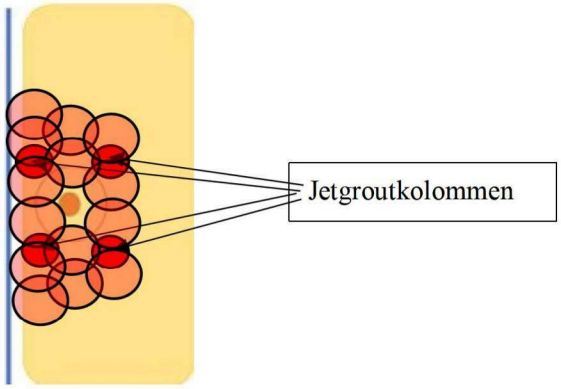
De situatie

In onderstaande figuur is de situatie van de bomen en kademuren schematisch weergegeven.

Figuur 2: Dwarsprofiel (niet op schaal)



Figuur 3: Bovenaanzicht voorstel groutkolommen (niet op schaal)



Werkzaamheden deelfasering "Groutvloer"
a) Opspuiten zand onder vloer, eventueel cementhoudend;
b) Maken groutpalen tot boven de houten vloer;
c) Maken van groutvloer met de groutpalen;
d) Maken van een opstort achter de kademuur verbonden met de groutvloer. De hoogte is tot waterlijn;
e) Controle van dikte en locaties van grout.

De voordelen:

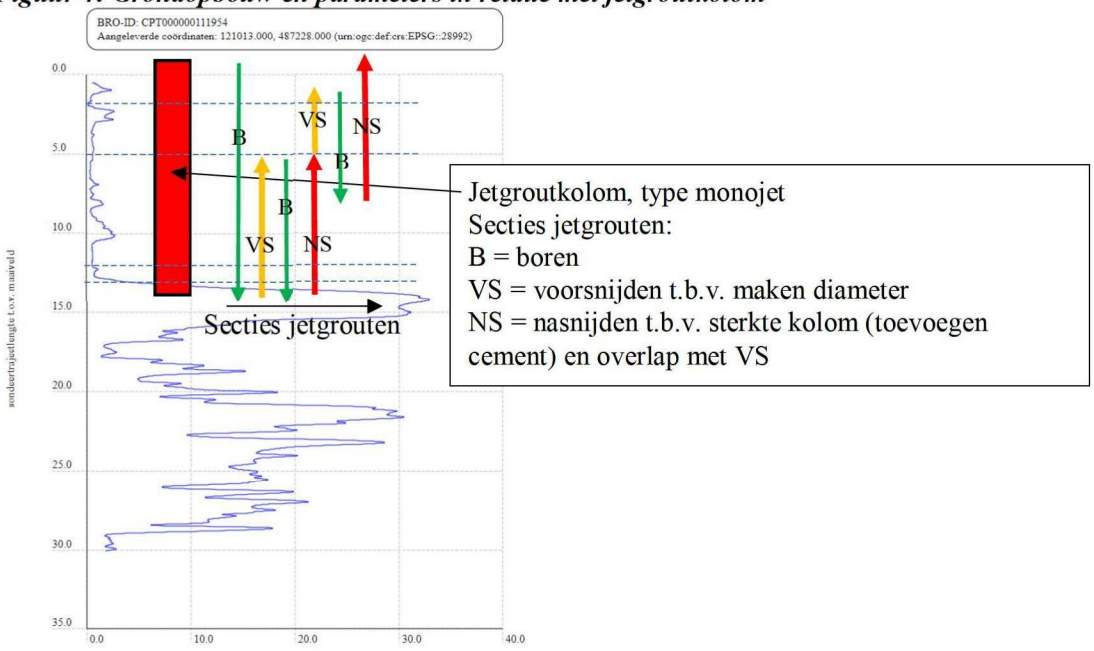
- Volledig trillings- en zettingsarm;
- Onder en naast bestaande funderingen;
- Realiseerbaar in beperkte werkruimten;
- Grote funderingsmassieven te realiseren;
- Toepasbaar in bijna elke grondsoort.

Ontwerpaspecten

De ontwerpaspecten worden bepaald door:

- Functie: dragende elementen (belasting afvoeren naar eerste zandpakket, puntniveau ca NAP -14 m);
- Diameter jetgroutpalen: ca. 0,80 m à max. 1,00 m (i.v.m. langere uitvoeringsduur);
- Diameter jetgroutpalen: ca. 1,50 m à max. 1,7 m (i.v.m. langere uitvoeringsduur);
- Type: monojet (kan beheerst worden uitgevoerd en heeft geen invloed op de omgeving in de vorm van wateroverspanningen indien boorgat onverhoopt verstopt raakt);
- Grondopbouw: slappe ondergrond bestaande de uit hollandveen, wadafzettingen (dunne zand- en kleilaagjes), hydrobiaklei, basisveen en eerste zandlaag;
  ⇒ Deze grondslag heeft invloed op de druksterkte, E modulus en jetgroutparameters;

Figuur 4: Grondopbouw en parameters in relatie met jetgroutkolom



- Sterkte en E modulus: deze wordt bepaald door de aard van grond, cementgehalte, vervangingspercentage (vullingsgraad). Ten aanzien van de jetgroutwanden onder het centraal station te Amsterdam zijn goede sterkte resultaten geboekt in soortelijke grondslag.
    - Sterkte monojet Ø 800 mm, gemiddelde waarde = 6,1 MPa, rekenwaarde Xd = 2,1 MPa (op basis van student T);
    - E modulus monojet Ø 800 mm, gemiddelde waarde = 2083 MPa
- Jetgroutparameters: Voorbeeld van de toegepaste jetgroutparameters tbv jetgroutwanden onder het centraal station te Amsterdam.

Figuur 4: toegepaste jetgroutparameters tbv jetgroutwanden onder het centraal station te Amsterdam

	Diameter beoogd			800
	Gamma boren voorsnijden			1,32
	Gamma nasnijden			1,52
	Düsen	2	maal	3,5
	Lucht			0,0
Diepte in m - NAP	VOORSNIJDEN		NASNIJDEN	
	treksnelheid		treksnelheid	22
-3	toerental		toerental	13
-4	groutdruk		groutdruk	320
-5	debiet		debiet	220
-6	BD kg/m3		BD kg/m3	499
	vol. massa	1,32	vol. massa	1,52
	lucht	0	lucht	0
	treksnelheid	23	treksnelheid	40
-6	toerental	12	toerental	20
-7	groutdruk	350	groutdruk	200
.....	debiet	250	debiet	172
....			BD kg/m3	536
-15	vol. massa	1,32	vol. massa	1,52
-16	lucht	0	lucht	0

Bouwplaatsvoorzieningen

De bouwplaatsvoorzieningen zijn fors en bestaan uit een cemensilo, een groutpomp, mengers, waterbakken, afvoervoorzieningen retourspoil (goot + tijdelijke opslag) en controle unit.
De aanvoer van cement en werkwater en de afvoer retourvloeistof geschiedt per vrachtauto of per boot (drijvend jetgroutstation). De aan en afvoer van de bouwplaats naar de aan te brengen jetgroutkolommen zoals boorvloeistof, grout en retourspoil kan geschieden met slangen met een behoorlijke reikwijdte tot ca. 50 m.
Het moge duidelijk zijn dat de impact op de omgeving niet gering is.

Uitvoering

Tijdens de uitvoering dient het productieproces geregistreerd te worden:

- Debiet van de verpompte hoeveelheid grout;
- Boorparameters;
- Helling groutlans;
- Afwijken groutstangen;
- Groutparameters;
- Diameter (spin);
- Continuïteit retourvloeistof;
- Druksterkte en E modulus.

Aandachtpunten ten aanzien van de uitvoering:

- Voerbuis door de wortels van de bomen (diameter ca. 0,20 m). Voerbuis is nodig voor stabiel boorgat, bescherming van uitspoeling van de wortels en om retourspecie gecontroleerd af te kunnen voeren (anders wordt het een niet te beheersen smeerboel);

- Het boren tussen het houten palen is goed te doen, mede door de ervaringen bij het centraal station van Amsterdam. Er dient wel inzicht te zijn in de locaties en de mogelijke hellingen van de aanwezige houten palen;
- Het doorboren van houten kespenvloeren en dergelijk dienen voorafgaand aan het jetgrouten te geschieden;
- De bouwplaatsvoorzieningen dienen zorgvuldig gekozen te worden in verband met mogelijke overlast en aan – en afvoerroutes.

Funderingsberekening

De voorgestelde ontwerpeigenschappen zijn doorgerekend met D-foundation versie 19.1. Deze funderingsberekening is slechts indicatief. Voor het daadwerkelijke draagvermogen dient bodemonderzoek uitgevoerd te worden. De volgende uitgangspunten zijn aangehouden:

- Voor de funderingsberekening is sondering CPT000000111954 (Dinoloket) uit West Amsterdam gehanteerd.
- De geotechnisch grondparameters uit Figuur 3 zijn gebruikt in combinatie met de lokale bodemopbouw uit de sondering. De lokale bodemopbouw komt grotendeels overeen met de karakteristieke bodemopbouw uit Figuur 3.
- De minimale diameter van de paal is 800 mm. De paalfactoren voor een jetgrout paal zijn afkomstig uit de CUR236, waarbij de minimale paalfactoren van een micro paal zijn aangehouden (alfa-p = 0,5 en alfa-s = 0,006).
- Dit is een ondergrens voor het draagvermogen van de paal. Gezien er met conservatieve paalfactoren en met slechts 1 sondering is gerekend.

De netto drukcapaciteit is 727 kN/paal voor een PPN van NAP -14,0 m en daarmee ruim voldoende voor verticale ontwerpbelasting. Bijgevoegd zijn de berekeningsresultaten uit D-foundation. Het berekende paaldraagvermogen dient met grondonderzoek gevalideerd te worden. Op basis van aanvullend grondonderzoek kan de paallengte enigszins wijzigen, maar het is de verwachting dat de palen in de eerste zandlaag gefundeerd kunnen worden.

Conclusie

Het beoogde ontwerp van een jetgroutvloer met jetgroutpalen onder een boom is volgens deze eerste benadering (uitvoering en ontwerp) haalbaar. Daarbij dient de vloerconstructie in verdere uitwerking van het ontwerp constructief getoetst te worden. Dit is afhankelijk van de mogelijke plaatsing van de jetgrout vloerkolommen na het inkaart brengen van de gestelwortels. Ten aanzien van de uitvoering zijn er enkele aandachtspunten. Er moet rekening gehouden met het benodigde materieel (o.a. cement silo en retourspoil), de diameter van de voerbuis (Ø 0,2 m) en het doorboren vaan de bestaande houten vloer/kespen bij het aanbrengen van de palen. Uit een indicatieve funderingsberekening komt naar voren dat de netto drukcapaciteit (727 kN/paal) voldoende is voor verticale ontwerpbelasting. De palen kunnen gefundeerd worden in de eerste zandlaag op PPN NAP -14,0 m. De berekeningsresultaten uit D-foundation zijn bijgevoegd. In Tabel 1 zijn de ontwerpaspecten samengevat.

Tabel 1 Samenvatting resultaten

		Jetgroutpalen (Rondom boom)	Jetgroutkolom (Vloer onder boom)
Type	[-]	Monojet	Monojet
H.o.h. afstand	[m]	3	1
Diameter	[m]	0,80	1,2
E modulus monojet (gemiddelde waarde)	[MPa]	2000	2000
Gemiddelde druksterkte	[MPa]	6,1	6,1
Rekenwaarde	[MPa]	2,1	2,1
Paalpuntniveau	[NAP m]	-14,0	-1,3
Bovenkant vloerconstructie	[NAP m]	-0,8	
Bodem vloerconstructie	[NAP m]	-2,0	