



DE MEEST GESCHIKTE BOUWKUIPBEGRENZING UW DOEL? GEBRUIK DE BOUWKUIPSELECTIE TOOL!



**Onderzoek naar een afwegingssystematiek voor het toepassen van de
meest geschikte bouwkuipbegrenzing.**

**Afstudeerscriptie
Maarten Kerckhoffs
Franz Roos**



DE MEEST GESCHIKTE BOUWKUIPBEGRENZING UW DOEL? GEBRUIK DE BOUWKUIPSELECTIE TOOL!

Auteurs: Maarten Kerckhoffs & Franz Roos

Studierichting: Land- en Watermanagement

Major: Grond- Weg- en Waterbouw

Opdracht: Afstudeerscriptie bouwkuipselectie

Onderwijsinstelling: hogeschool Van Hall Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT Velp
Telefoon: 026 369 56 95

Opdrachtgever: GMB Civiel
Dalwagenseweg 51
4043 ZG Opheusden
Telefoon: 0488 449449

Begeleiders: Dhr. P. van der Meer (hogeschool Van Hall Larenstein)
Dhr. D.O.B. Stolte (GMB Civiel)

Plaats: Opheusden

Datum: 31 augustus 2012

SAMENVATTING

Voor een aannemer is het belangrijk dat de kosten gedurende de aanbestedingsfase zo laag mogelijk worden gehouden, waardoor er een scherpe prijs aangeboden kan worden.

In opdracht van GMB is een programma ontwikkeld dat als hulpmiddel gebruikt kan worden om snel en eenvoudig een bouwkuipbegrenzing te selecteren. Door invoering van verschillende variabele gegevens, die betrekking hebben op een specifieke locatie, kan de “meest geschikte” bouwkuipbegrenzing gekozen worden, met de daarbij behorende benodigde productietijd, productiekosten, risico’s en voor- en nadelen.

Per bouwkuipbegrenzing is onderzocht wat de grenzen zijn waartussen de methode kan worden toegepast met betrekking tot onderstaande toets variabelen:

- Bodemopbouw
- Hoogte grondwaterstand
- Uitvoering/dimensionering
- Duur (definitief of tijdelijk)
- Omgeving

Om een duidelijk beeld te krijgen van de verschillende bouwkuipbegrenzings, is er per methode een algemene beschrijving gegeven en wordt de werkwijze kort toegelicht.

Om een programma te ontwikkelen dat assisteert bij het maken van de keuze voor de “meest geschikte” bouwkuipbegrenzing is het van belang dat de grenzen waartussen een bouwkuipbegrenzing kan worden toegepast duidelijk zijn. Dit worden toepasbaarheidsgrenzen genoemd.

Vervolgens is het van belang dat er duidelijkheid verkregen wordt over de benodigde productietijd, productiekosten, risico’s en voor- en nadelen per bouwkuipbegrenzing.

Deze toepasbaarheidsgrenzen, benodigde productietijd, productiekosten, risico’s en voor- en nadelen zijn verkregen door middel van interviews met experts van gespecialiseerde bedrijven en informatie van zowel internet als informatie uit literatuur.

Na afronding van het onderzoek is een programma ontwikkeld dat als hulpmiddel gebruikt kan worden om snel en eenvoudig een bouwkuipbegrenzing te kiezen. Dit programma wordt “Tool Bouwkuipselectie” genoemd en is ontwikkeld in *Microsoft Excel 2007*.

De toepasbaarheid van de bouwkuipbegrenzings is per variabele verwerkt in databases.

De gebruiker dient te beschikken over gegevens van de specifieke locatie. Deze gegevens dienen per toets variabele ingevuld te worden, waarna er per variabele een waarde wordt toegekend aan de toepasbaarheid van de bouwkuipbegrenzing. Deze waarden zijn toegekend op basis van gesprekken met experts van gespecialiseerde bedrijven.

Wanneer de toets variabelen zijn ingevuld, wordt per bouwkuipbegrenzing een waardering van toepasbaarheid gegeven. Deze waardering geeft aan hoe goed de methode kan worden toegepast op de specifieke locatie.

Daarnaast worden per methode de benodigde productietijd, productiekosten, risico’s en de voor- en nadelen duidelijk verwerkt en weergegeven in een overzicht.

Uiteindelijk kan door de gebruiker een afweging worden gemaakt op basis van de waardering, benodigde productietijd, productiekosten, risico’s en voor- en nadelen wat de “meest geschikte” bouwkuipbegrenzing is.

De “Tool Bouwkuipselectie” biedt ook de mogelijkheid om te controleren of er sprake is van opbarstgevaar. Door het invullen van de hoogte van de grondwaterstand en de bodemopbouw van de specifieke locatie kan berekend worden of er gevaar is voor opbarsten. Wanneer hier sprake van is, kan er een keuze worden gemaakt tussen twee horizontale bouwkuipbegrenzings.

De “Tool bouwkuipselectie” geeft weer welke methode kan worden toegepast met de daarbij behorende kosten, risico’s en de voor- en nadelen.

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	3
INHOUDSOPGAVE	4
1 INLEIDING	5
2 ONDERZOEK VERTICALE BOUWKUIPBEGRENZINGEN	8
2.1 STALEN DAMWANDEN	9
2.2 CUTTER SOIL MIX	15
2.3 DIEPWANDEN	18
2.4 JETGROUTEN	21
3 ONDERZOEK HORIZONTALE BOUWKUIPBEGRENZING	24
3.1 ONDERWATERBETON	25
3.2 WATERGLASINJECTIE	29
4 TOOL BOUWKUIPSELECTIE	31
4.1 Toekenning waardes toetsvariabelen	32
4.2 Deel 1: Toetsvariabelen	36
4.2 Deel 2: Tijd	39
4.3 Deel 3: Kosten	39
4.4 Deel 4: Overzicht van de bouwkuipbegrenzings met de risico's en voor- en nadelen	39
4.5 Deel 5: Opbarstgevaar	41
4.6 Deel 6: Horizontale bouwkuipbegrenzing	42
4.7 Deel 7: Overzicht horizontale bouwkuipbegrenzing met de risico's en voor- en nadelen ...	43
4.8 Aandachtspunten gebruik "Tool Bouwkuipselectie"	44
CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	45
Conclusie	45
Aanbevelingen	47
BIJLAGEN	48
Bijlagerapport 1, Introductie en werkwijzer per bouwkuipbegrenzing	48
Bijlagerapport 2, Pilotproject "prototype Nereda" Utrecht	48
Bijlagerapport 3, Plan van aanpak afstudeeropdracht	48
Bijlage 4, "Tool Bouwkuipselectie"	48
BRONVERMELDING	49

1 INLEIDING

Naast een monumentaal pand, in het oude stadsdeel van Utrecht, komt een nieuw rioolstelsel. De bodemopbouw bestaat uit veen met daaronder zand en de grondwaterstand is hoog. Een vereiste is dat er tijdens de aanleg van het nieuwe rioolstelsel droog moet worden gewerkt. Om droog te kunnen werken, moet er een bouwkuip gerealiseerd worden.

Wat is in deze situatie de “meest geschikte” en economisch gezien de “meest interessante” bouwkuipbegrenzing die daar moet worden gerealiseerd? Ga daar maar eens voor staan als aannemer. Dat kost tijd en vooral geld.

Aanleiding/Kader

Voor GMB is het belangrijk de kosten in de inschrijvingsfase zo laag mogelijk te houden, vooral gezien de huidige omstandigheden op de aanbestedingsmarkt. Daarom moet er gekeken worden naar manieren om tijd en kosten tijdens de aanbestedingsfase te drukken. GMB is op het idee gekomen een hulpmiddel te ontwikkelen dat assisteert bij het selecteren van de meest geschikte bouwkuipbegrenzing. Dit hulpmiddel dient, na het invoeren van de project specifieke gegevens, de meest geschikte en economisch meest interessante bouwkuipmethode naar voren te brengen, met de daarbij behorende risico's en voor- en nadelen.

Probleemstelling

Het is voor een aannemer belangrijk dat de kosten gedurende de inschrijvingsfase zo laag mogelijk gehouden worden, zodat een scherpe prijs aangeboden kan worden.

Wanneer een bouwkuip gerealiseerd dient te worden en er een keuze gemaakt moet worden uit verschillende bouwkuipbegrenzings, neemt dat tijd en geld in beslag.

Aannemers zullen veel baat hebben bij een hulpmiddel om snel en eenvoudig een bouwkuipbegrenzing te kiezen met de daarbij behorende productietijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen. Wanneer het mogelijk is een dergelijk hulpmiddel te ontwikkelen, kunnen de voorbereidingstijd en de kosten worden verlaagd en een betere inschrijving worden gedaan.

Om dit probleem op te lossen is de volgende hoofdvraag gevonden:

“Welke afwegingssystematiek kan gebruikt worden voor het selecteren van de meest geschikte bouwkuipbegrenzing, rekening houdend met de variabelen bodemopbouw, grondwater, uitvoering/dimensionering, duur (tijdelijk/definitief) en omgeving en de daarbij behorende productietijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen?”

Deelvragen

Om antwoord te geven op de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- Welke bouwkuipbegrenzingsen worden in het onderzoek meegenomen?
- Wat zijn de toepasbaarheidsgrenzen van de onderzochte bouwkuipbegrenzingsen met betrekking tot onderstaande toetsvariabelen:
 - Bodemopbouw
 - Hoogte grondwaterstand
 - Uitvoering/dimensionering
 - Duur (definitief/tijdelijk)
 - Omgeving
- Wat zijn per onderzochte bouwkuipbegrenzing:
 - De benodigde productietijd
 - De benodigde productiekosten
 - De voor- en nadelen
 - De risico's
- Is er bij de realisatie van de bouwkuip gevaar voor opbarsten?
- Hoe worden de toepasbaarheidsgrenzen geclassificeerd en gewogen?

Doelstelling

Het product van het onderzoek is het ontwikkelen van een afwegingssystematiek voor het selecteren van de meest geschikte bouwkuipbegrenzing, met de daarbij behorende productiekosten, productietijd, risico's en voor- en nadelen. Dit hulpmiddel kan door GMB worden gebruikt om zodoende geld en tijd te besparen.

Methodiek

In dit onderzoek worden de onderstaande bouwkuipbegrenzingsen onderzocht:

- Stalen damwanden (trillen)
- Stalen damwanden (heien)
- Stalen damwanden (drukken)
- Cutter Soil Mix/Mixed In Place wanden
- Diepwanden
- Jetgroutwanden
- Onderwaterbeton
- Waterglasinjectie

Door middel van interviews met experts van gespecialiseerde bedrijven en informatie van zowel internet als informatie uit literatuur wordt er een antwoord gezocht op de gestelde deelvragen.

Voor de deelvragen, die betrekking hebben op de toetsvariabelen, wordt een antwoord gezocht op wat de toepasbaarheidsgrenzen zijn. Dit zijn de grenzen waartussen de bouwkuipbegrenzingsen kunnen worden toegepast. In het rapport zal worden aangegeven wanneer een bouwkuipbegrenzing goed toepasbaar is en wanneer er gekozen dient te worden voor een andere methode.

Vervolgens wordt een antwoord gezocht op de deelvragen met betrekking tot de benodigde productietijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen.

Als bijvoorbeeld een bouwkuipbegrenzing goed toepasbaar is binnen de toetsvariabelen, maar de kosten zijn te hoog of de risico's en de nadelen zijn te groot, kan er gekozen worden voor een andere methode.

Aan de hand van gesprekken met experts van gespecialiseerde bedrijven zullen waarderingen gegeven worden voor de toepasbaarheid van de bouwkuipbegrenzingsen.

De waarderingen zullen worden geclassificeerd en gebruikt worden voor een uiteindelijke waardering van de toepasbaarheid van de bouwkuipbegrenzing.

Uiteindelijk zal de gebruiker een afweging maken op basis van de waardering, benodigde productietijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen wat de "meest geschikte" bouwkuipbegrenzing is.

Validatie

Om de werking van de afwegingssystematiek te valideren zal er gebruik worden gemaakt van een pilotproject. De gegevens van dit project zullen in de afwegingssystematiek worden ingevoerd, waarna de uitkomst zal worden vergeleken met de daadwerkelijk gekozen bouwkuipbegrenzing. Zodoende kan de werking van de afwegingssystematiek steekproefsgewijs worden gecontroleerd.

Daarnaast zal het pilotproject worden gebruikt als handleiding. In deze handleiding wordt stap voor stap aan de gebruiker uitgelegd hoe de afwegingssystematiek kan worden gebruikt aan de hand van het pilotproject.

Leeswijzer

De deelvragen zullen worden uitgewerkt in de hoofdstukken 2 tot en met 4.

In hoofdstuk 2 en 3 zullen de bouwkuipbegrenzingsen worden onderzocht. Per bouwkuipbegrenzing zullen de toepasbaarheidsgrenzen van de toets variabelen worden onderzocht en weergegeven. Tevens zullen de productiekosten, productietijd, risico's en de voor- en nadelen worden beschreven. In hoofdstuk 4 zal de opbouw en de werking van afwegingssystematiek worden toegelicht. Dit zal worden gedaan aan de hand van figuren.

Aan het eind van het rapport zal een conclusie worden gegeven waarin antwoord wordt gegeven op de hoofd- en deelvragen.

2 ONDERZOEK VERTICALE BOUWKUIPBEGRENZINGEN

“Toepasbaarheidsgrenzen per variabele, benodigde productietijd, productiekosten, risico’s en voor- en nadelen per bouwkuipbegrenzing beschreven.”

In dit hoofdstuk zijn verschillende verticale bouwkuipbegrenzingen onderzocht. Het gaat hierbij om de methoden:

- Stalen damwanden (trillen)
- Stalen damwanden (heien)
- Stalen damwanden (drukken)
- CSM/MIP wanden
- Jetgrouten
- Diepwanden

Deze selectie is gemaakt op basis van overleg met dhr. Bas Stolte van GMB Civiel. Deze selectie is gemaakt om de afwegingssystematiek zo goed mogelijk aan te laten sluiten op de wensen van GMB Civiel.

Als eerste worden per bouwkuipbegrenzing de toepasbaarheidsgrenzen per variabele beschreven, waarna er in de meeste gevallen een korte samenvatting gegeven wordt. Het gaat hierbij om de variabelen:

- Bodemopbouw
 - Toepasbaarheid
 - Knelpunten
- Grondwater
- Uitvoering
 - Dimensionering
- Duur (definitief of tijdelijk)
- Omgeving
 - Vrije werkruimte
 - Belendingen
 - Geluidsoverlast
 - Trillingsoverlast

Al deze toepasbaarheidsgrenzen worden verwerkt in de afwegingssystematiek, waarna door invulling van de aanwezige velden een waardering van toepasbaarheid wordt gegeven per bouwkuipbegrenzing. In het vervolg van dit rapport wordt de afwegingssystematiek “Tool Bouwkuipselectie” genoemd.

Vervolgens wordt de benodigde productietijd beschreven. Hiermee wordt de tijd bedoeld die benodigd is voor de aan- en afvoer van materieel/materiaal en de tijd die benodigd is voor het realiseren van de bouwkuipbegrenzing.

Na de beschrijving van de benodigde productietijd zullen de productiekosten per bouwkuipbegrenzing behandeld worden. Het gaat hierbij om de eenmalige kosten en de productiekosten per bouwkuipbegrenzing.

Als laatste zullen de risico’s en de voor- en nadelen opgesomd worden.

De benodigde productietijd, productiekosten, risico’s en de voor- en nadelen worden in de “Tool Bouwkuipselectie” duidelijk verwerkt en weergegeven in een overzicht.

2.1 STALEN DAMWANDEN

Een stalen damwand is een grond- en/of waterkerende constructie, die bestaat uit een verticaal in de grond geplaatste damwandplank. Een damwand kan voor verschillende doeleinden worden gebruikt. De damwanden kunnen worden toegepast voor grond- en/of waterkerende constructies zoals: bouwkuipen.

Stalen damwanden kunnen door middel van trillen, heien en drukken in de grond gebracht worden. Per sub-paragraaf worden de verschillende aanbrengmethoden onderzocht.

2.1.1 Toetsvariabele bodemopbouw

Toepasbaarheid

Stalen damwanden kunnen in vrijwel elke grondsoort toegepast worden. De methode van het aanbrengen van de damwandplanken hangt wel af van de grondsoort die aanwezig is op de desbetreffende locatie.

Knelpunten

De knelpunten die bij het aanbrengen van stalen damwanden spelen, zijn grind- en/of keilagen in de ondergrond. Ook vaste, dikke zandpakketten met een hoge conusweerstand kunnen problemen opleveren voor het aanbrengen van de damwand. Hierdoor lopen de planken uit het slot en kunnen ze dwars komen te zitten. Door de zware grondslag kunnen de planken niet op de juiste diepte worden getrild en moeten ze worden nageheid. Omdat trillen nauwkeuriger en sneller is en heien zware trillingen met zich meebrengt, wordt er pas geheid als het echt nodig is.

Conclusie:

Stalen damwanden kunnen in vrijwel elke grondsoort toegepast worden. Bij vaste, dikke zandpakketten of een grondtype met een grind- en/of keilaag zal het aanbrengen van de damwandplanken problemen met zich meebrengen.

In eerste instantie wordt er gekeken of de damwanden kunnen worden aangebracht door middel van trillen. Dit vanwege het feit dat trillen de meest effectieve manier is.

Indien er door de aanwezigheid van grindlagen niet kan worden getrild, zal er overgegaan worden op het heien van de damwandplanken, indien de omgeving dit toelaat. Als dit niet mogelijk is, dient er gekozen te worden voor een andere bouwkuipbegrenzing.

Indien de dikte van de grindlagen groter is dan 1,0 meter¹ dient er gekozen te worden voor een andere methode, aangezien er teveel risico's optreden.

Indien de grond bestaat uit zand, is het niet mogelijk om damwanden te drukken. Er zal dan moeten worden geheid of getrild. Als dit niet mogelijk is dient er gekozen te worden voor een andere methode.

¹ Tol, A.-J. (2012, maart 19). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

2.1.2 Toetsvariabele hoogte grondwaterstand

De grondwaterstand heeft geen invloed op het aanbrengen van de damwand. Wanneer er een hoge grondwaterstand is zal de wand uiteraard meer water doorlaten dan wanneer de grondwaterstand laag is.

2.1.3 Toetsvariabele uitvoering/dimensionering

Een bouwkuip bestaande uit stalen damwanden kan zo groot als nodig (lengte*breedte) gedimensioneerd worden.

Voor de diepte van de bouwkuip geldt dat niet.

- Als er een bouwkuip wordt gerealiseerd door middel van gedrukte stalen damwandplanken, kan een maximale diepte worden gehaald van 19 meter.
- Voor een bouwkuip met getrilde stalen damwandplanken geldt een maximale diepte van 21 meter.
- Voor een bouwkuip met geheide damwandplanken, of een bouwkuip van eerst getrilde en/of gedrukte en daarna geheide damwandplanken, kan een maximale diepte bereikt worden van 36 meter.

Een vuistregel is, dat als de bouwkuip dieper dan 4 meter gedimensioneerd wordt, een stempel of verankering aangebracht dient te worden. Dit geldt in het algemeen voor alle grondsoorten en bij iedere grondwaterstand. Hoe hoger de grondwaterstand, hoe meer druk er op de wand komt te staan.

Conclusie:

De methode waarmee de damwandplanken worden aangebracht, hangt af van de diepte van de bouwkuip.

- *Als de damwandplanken niet dieper aangebracht hoeven te worden dan maximaal 21 meter, zal er gekozen worden voor de methode van trillen. Dat is de snelste en goedkoopste manier.*
- *Als de damwandplanken dieper moeten worden aangebracht dan 21 meter, zal er eerst tot de maximale diepte worden getrild en daarna worden geheid tot de gewenste diepte. Dit kan tot een maximale diepte van 36 meter.*
- *Als er geen trillings- en/of geluidshinder toegestaan is zullen de planken worden gedrukt. Bij deze methode kunnen de planken tot maximaal 19 meter worden aangebracht. Als de planken dieper dan 19 meter aangebracht dienen te worden en er is geen trillings- en/of geluidshinder toegestaan, zal er gekozen moeten worden voor een andere bouwkuipbegrenzing.^{2 3}*

2.1.4 Toetsvariabele duur (definitief/tijdelijk)

Veel damwanden hebben een tijdelijke functie. Verwijderen na afloop van de bouwperiode is meestal aantrekkelijk, omdat het kosten bespaart en omdat er geen obstakels in de grond achterblijven. De stalen damwanden worden na de bouwactiviteiten weer getrokken om vervolgens hergebruikt te kunnen worden op een andere locatie. Stalen damwanden kunnen via trekken uit de grond worden gehaald. Dit gebeurt vaak in combinatie met trillen.

² Tol, A.-J. (2012, maart 19). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

³ CUR-Publicatie 166, (oktober 2005). *Damwandconstructies*. Gouda: Stichting CUR.

Er dient rekening te worden gehouden met de levensduur van de stalen damwand. Dit geldt zowel voor een definitieve als voor een tijdelijke wand. Door corrosie neemt de sterkte af, wat uiteindelijk zorgt voor het bezwijken van de wand. Corrosie vindt in grotere mate plaats bij zure gronden.

Er zijn onder andere twee methoden om dit te voorkomen, namelijk het coaten van de damwandplanken met een corrosie werende laag of het over dimensioneren van de damwandplanken.

2.1.5 Toetsvariabele omgeving

Vrije werkruimte

Om een stalen damwand aan te brengen moet er genoeg ruimte zijn voor:

- Werkruimte van de kraan ten behoeve van het aanbrengen van de damwandplank;
- Het transport van het materieel;
- De plaatsing van het gereedschap, bouwketen en werkplaatsen;
- Opslag van de damwandprofielen.

De kant waar de stalen damwanden wordt aangebracht is, afhankelijk van de omvang van de kraan, een werkruimte van 10 tot 15 meter vanuit de as van de wand nodig. Deze ruimte is inclusief opslag van het materiaal en draairuimte van het materieel. Aan de andere kant van de stalen damwand is ongeveer 3 meter ruimte benodigd.

Bij locaties met een zeer beperkte werkruimte kan de 'Silent Piler' worden gebruikt. Dit is een machine die zich als het ware over de bovenkant van de reeds aangebrachte damwand voortbeweegt en zo nieuwe planken in de grond aanbrengt. De 'Silent Piler' heeft een opstelruimte nodig voor een kraan die de planken aanvoert, maar heeft maar 1 meter aan weerskanten van de as van de wand nodig om te kunnen opereren. Als nadeel heeft de methode te maken met het feit dat de 'Silent Piler' niet zo krachtig is als de andere methoden. Hierdoor heeft men soms moeite om de planken aan te brengen tot de gewenste diepte. Als deze diepte niet wordt bereikt, kan de 'Silent Piler' niet verder, aangezien deze zich over de reeds aangebrachte wand voortbeweegt. Hierdoor komt het gehele proces tot stilstand. Aangezien de 'Silent Piler' alleen kan drukken, kan deze niet worden toegepast in zandgronden.

Conclusie:

Om een stalen damwand aan te brengen, is er genoeg ruimte nodig voor het materiaal en materieel. Dit betekent dat er aan de zijde van de aan te brengen damwand een vrije ruimte moet zijn van 10 tot 15 meter uit de as van de wand en aan de andere zijde een vrije ruimte van minstens 3 meter. Als dit niet het geval is kan de 'Silent Piler' toegepast worden. Deze machine kan alleen maar drukken. Alleen een relatief lichte kraan is dan nog nodig om de damplanken aan te reiken. Voor deze kraan moet wel ruimte zijn. Aangezien de 'Silent Piler' alleen kan drukken, kan deze niet worden toegepast in zandgronden. Daarnaast brengt het gebruik van de 'Silent Piler' risico's met zich mee in gronden waar zich lagen met grind en keien bevinden, omdat het proces stil komt te liggen als niet elke plank tot de gewenste diepte kan worden aangebracht.

Als er niet genoeg ruimte is om stalen damwandplanken aan te brengen en de 'Silent Piler' niet in staat is om de planken aan te brengen, moet er gekozen worden voor een andere bouwkuipbegrenzing.⁴

⁴ Tol, A.-J. (2012, maart 19). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

Belendingen

In stedelijk gebied met nabij gelegen belendingen kan het trillend installeren van stalen damwanden tot ernstige schade leiden. Vooral funderingen op staal of op relatief los gepakte zandgronden zijn gevoelig voor trillingen.

Door het trillen kunnen bij paalfunderingen zettingen ontstaan, waardoor de draagkracht van de palen afneemt. Om zettingen nabij paalfunderingen te vermijden zijn er de volgende grenswaarden gesteld.

- Binnen 6 meter afstand niet trillen maar heien;
- Tussen 6 meter en 10 meter trillen met voortdurende controle van zettingen;
- Vanaf 10 meter afstand geen beperkingen.

Conclusie:

Als er een bouwkuip gerealiseerd moet worden naast een belending zal er eerst gekeken worden of het mogelijk is om de damwandplanken te drukken. Als dat niet mogelijk is zal er uiterst voorzichtigheid of getrild moeten worden. De minimale afstanden staan hierboven beschreven.

Als er ook niet geheid of getrild mag worden omdat er dan schade aan de gebouwen ontstaat, dient er gekozen te worden voor een andere bouwkuipbegrenzing.

In de nabijheid van belendingen mogen damwandplanken niet getrokken worden. Hierdoor kunnen de planken niet worden hergebruikt, waardoor deze methode duurder wordt.⁵

Geluidsoverlast

Het aanbrengen van stalen damwanden heeft geluidsoverlast tot gevolg. Geprobeerd wordt om tijdens het heien en trillen aan de eis van 87 dB(A) op een afstand van 15 meter te voldoen.

Het drukken van de damwand levert de minste geluidshinder, afgezien van het geluid dat de machines veroorzaken. Over het algemeen levert het heien van de damwandplanken meer geluidshinder dan het trillen van de damwandplanken. Trillen gaat ook sneller, waardoor er minder lang sprake is van hinder.

Conclusie:

Bij het aanbrengen van stalen damwanden wordt altijd geluid geproduceerd. Het drukken van de damwandplanken levert de minste geluidshinder op. Daarna volgt trillen en als laatste heien. Indien geluidsoverlast tot een minimum beperkt dient te worden, wordt er gekozen voor het drukken van damwanden.⁶

Trillingsoverlast

Tijdens het aanbrengen van de damwandplanken door middel van een hei- of trilblok kunnen trillingen in de bodem en in de nabijgelegen gebouwen ontstaan. Dit kan leiden tot deformaties en directe schade in de nabij het werk gelegen bebouwing. Bij het drukken van damwanden zijn de trillingen verwaarloosbaar.

Conclusie:

Bij het aanbrengen van stalen damwanden door een hei- of trilblok ontstaan trillingen. Als deze trillingen niet gewenst zijn door risico op zetting of geluidsoverlast, wordt gekozen voor het drukken van de damwandplanken. Als drukken niet kan, dient er gekozen te worden voor andere bouwkuipbegrenzings.

⁵ CUR-Publicatie 166, (oktober 2005). *Damwandconstructies*. Gouda: Stichting CUR.

⁶ CUR-Publicatie 166, (oktober 2005). *Damwandconstructies*. Gouda: Stichting CUR.

2.1.6 Productietijd

Voor het aanbrengen van een bouwkuipbegrenzing met stalen damwanden moet rekening gehouden worden met verschillende aspecten, namelijk:

- 1 dag aanvoer materiaal/materieel;
- 1 dag afvoer materiaal/ materieel;
- Gemiddeld productie van 250 m² damwandplank per dag.

Als een bouwkuipbegrenzing gerealiseerd moet worden, moet er 1 dag uitgetrokken worden voor de aanvoer van het materieel en 1 dag voor de afvoer van het materieel. Gemiddeld wordt 250 m² damwandplank per dag aangebracht. Dit is echter een vuistregel die niet overal opgaat. Als er een bouwkuipbegrenzing van stalen damwand planken gerealiseerd moet worden in een moeilijke grond zal het uiteraard meer tijd kosten om de stalen damwand planken aan te brengen.

Per methode is de productietijd verschillend.

Bij de methode van trillen wordt uitgegaan van 275 m²/dag.

Bij de methode van heien wordt uitgegaan van 250 m²/dag.

Bij de methode van drukken wordt uitgegaan van 230 m²/dag.

Hieruit blijkt dat de methode van trillen de snelste methode is.⁷

2.1.7 Productiekosten

De bouwkuipbegrenzing met stalen damwanden is relatief goedkoop, indien de planken getrokken kunnen worden. De exacte kosten zijn moeilijk weer te geven, aangezien deze afhankelijk zijn van diverse variabelen, zoals grondsoort, diepte, breedte, bereikbaarheid en staalkwaliteit.

Stalen damwanden kunnen op verschillende manier aangebracht worden. Intrillen is de goedkoopste manier, dan volgt heien en als laatste drukken.

Kosten methode trillen

De eenmalige kosten bedragen € 4.000,-/keer. Dit zijn de aan- en afvoer kosten van het materieel (incl. de keuring) en de inrichting van de bouwplaats.

De kosten voor tijdelijke damwandplanken bedragen grof gezegd: € 60,- /m².

De kosten voor definitieve damwandplanken bedragen grof gezegd: € 125,- /m².

Deze kosten zijn afhankelijk van het damwandprofiel en ongestempeld.

Kosten methode drukken

De eenmalige kosten bedragen € 4.000,-/keer. Dit zijn de aan- en afvoer kosten van het materieel (incl. de keuring) en inrichting bouwplaats.

De kosten voor tijdelijke damwandplanken bedragen grof gezegd: € 120,- /m².

De kosten voor definitieve damwandplanken bedragen grof gezegd: € 250,- /m².

Deze kosten zijn afhankelijk van het damwandprofiel en ongestempeld.

Kosten methode heien

De eenmalige kosten bedragen € 4.000,-/keer. Dit zijn de aan- en afvoer kosten van het materieel (incl. de keuring) en inrichting bouwplaats.

De kosten voor tijdelijke damwandplanken bedragen grof gezegd: € 70,- /m².

De kosten voor definitieve damwandplanken bedragen grof gezegd: € 150,- /m².

Deze kosten zijn afhankelijk van het damwandprofiel en ongestempeld.⁸

⁷ Kok, O. d. (2012, april 2). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden & CSM. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

⁸ Haverkort, H. (2012, maart 20). Kosten bouwkuipbegrenzing. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

2.1.8 Voordelen

De voordelen van een bouwkuipbegrenzing met stalen damwanden zijn als volgt:

- Eenvoudig te construeren, doordat gestandaardiseerde bouwelementen worden gebruikt;
- Relatief snel aan te brengen;
- Hergebruik van de damwandplanken is mogelijk;
- Niet moeilijk om, indien nodig, op verschillende niveaus verankering te voorzien;
- Geen afzonderlijke bouwsleuf nodig voor de bouw van de wand;
- Relatief goedkoop, indien de planken getrokken worden;
- Traditioneel;
- Snel voorradig;
- Veel kennis en documentatieaanwezig.

2.1.9 Nadelen

De nadelen van een bouwkuipbegrenzing met stalen damwanden zijn als volgt:

- Geringe verticale draagkracht;
- Trillingshinder;
- Geluidsoverlast;
- Diepe vaste lagen enkel penetreerbaar in combinatie met spuiten of voorboren;
- Openingen mogelijk door uit het slot lopen van de planken;
- Gordingen gewenst bij verankering;
- Niet volledig waterdicht ter hoogte van de sloten;
- Corrosie;
- Damwanden kunnen niet getrokken worden in de buurt van belendingen, in verband met deformaties.

2.1.10 Risico's

De risico's van een bouwkuipbegrenzing met stalen damwanden zijn als volgt:

- Bereikbaarheid terrein;
- Geluidshinder;
- Trillingshinder;
- Corrosie;
- Deformatie bij slappe gronden;
- Kans op lekkage.

2.2 CUTTER SOIL MIX

Een Cutter Soil Mix (CSM) wand is een grond- en waterkerende constructie op basis van bodeminjectie. Het doel van de bodeminjectie is om de eigenschappen van de grond zodanig te veranderen dat deze een constructieve functie krijgt. De aanwezige grond wordt door middel van een holle stang en een mix-freeskop gemengd met een rijke cementspecie. De injectievloeistof en de aanwezige grond zullen zich mengen en stabiliseren, zodat er een vast geheel verkregen wordt. Naast CSM wanden bestaan ook Mixed in Place wanden. Het principe van beide methoden is hetzelfde, behalve de manier waarop ze worden aangebracht en de diepgang. In dit rapport worden de methoden samengevoegd omdat ze vrijwel identiek zijn.

2.2.1 Toetsvariabele bodemopbouw

Toepasbaarheid

CSM wanden zijn toepasbaar in vrijwel alle grondsoorten. In de meest ideale situatie bestaat de grondslag vooral uit zand met geringe aanwezigheid van grind. Door de aanwezigheid van zand en grind krijgt de wand haar optimale samenstelling waardoor de maximale constructieve sterkte kan worden bereikt met een lage dosering cement. In een gunstige situatie kunnen sterktes worden bereikt van een klasse 'B27' beton. Dit houdt in dat het beton waaruit de wand is opgebouwd een karakteristieke kubusdruksterkte heeft van 27 N/mm^2 .

Indien de grondslag bestaat uit cohesieve en kleiachtige gronden, dient de injectievloeistof anders te worden samengesteld, waardoor deze zich beter leent voor het mixen en injecteren. Zo wordt er bij klei en leemachtige gronden gebruik gemaakt van een mix met hydraulische kalk, waardoor ook de fijnere poriën worden gepenetreerd. Door deze verandering in samenstelling worden de kosten hoger.

Knelpunten

Als de grondslag bestaat uit compleet veen, is de methode niet toepasbaar. Het veen valt niet goed te mengen met de rijke cementspecie waardoor onvolkomenheden voorkomen in de wand. Daarnaast bereikt de wand geen hoge sterkte. De aanwezigheid van een veenlaag in een grond met andere grondsoorten vormt vrijwel geen probleem, omdat ze door de aanwezigheid van de andere soorten beter zal worden vermengd.

Als de grond bestaat uit zware klei en/of leem bestaat de kans dat de mix/freeskop verstopt raakt. Daarnaast laat zware klei zich moeilijk mengen. Dit kan worden opgelost door de mix-freeskop diverse malen in een langzaam tempo op en neer te laten bewegen, waardoor de grondslag beter gemengd wordt. Deze acties brengen echter extra kosten met zich mee.

Als er grote keien in de grond aanwezig zijn, kunnen deze eveneens problemen met zich meebrengen. Als ze groter zijn dan 0,5 meter in doorsnede kan de frees vastlopen. In een dergelijk geval kan er om de keien heen gefreesd worden of ter plekke worden geïnjecteerd.

Conclusie:

CSM wanden zijn toepasbaar in vrijwel alle grondsoorten. CSM kunnen optimaal worden toegepast in gronden die een groot aandeel zand bevatten. Door de aanwezigheid van zand kunnen ze het goedkoopst en sterkst worden gerealiseerd.

Indien de grondslag bestaat uit klei- of leemachtige gronden dient de injectievloeistof te worden aangepast wat extra kosten met zich meebrengt.

Indien de grond compleet bestaat uit veen dient er gekozen te worden voor een andere methode.

2.2.2 Toetsvariabele hoogte grondwaterstand

CSM wanden zijn niet afhankelijk van de grondwaterstand. Wel is er meer tijd benodigd voor het frezen en mixen van de grond en treedt er meer slijtage op in het gedeelte boven het freatisch vlak.

2.2.3 Toetsvariabele uitvoering/dimensionering

De lengte van de wand is onbeperkt. De diepte die maximaal bereikt kan worden is 20 meter. Een vuistregel is dat als de bouwkuip dieper dan 4 meter gedimensioneerd wordt, een stempel of verankering aangebracht dient te worden.⁹

2.2.4 Toetsvariabele duur (definitief/tijdelijk)

CSM wanden kunnen zowel tijdelijk als definitief worden gebruikt. Bij tijdelijk gebruik blijven de resten van de wand achter in de grond.

2.2.5 Toetsvariabele omgeving

Vrije werkruimte

Bij het toepassen van CSM wanden worden relatief compacte kranen gebruikt die tijdens het werk nauwelijks hoeven te manoeuvreren. Hierdoor is er slechts 8 meter vrije werkruimte uit de as van de wand benodigd. Aan de andere kant van de wand is er slechts 0,15 meter uit de as van de wand benodigd. Er dient echter wel rekening te worden gehouden met overhangende delen van/aan de gevel en uitstekende funderingen. De hoogte van de vrije werkruimte bedraagt 22 meter. Voor het uitvoeren van de methode dient er naast de vrije werkruimte voor de kraan ook ruimte te worden gerealiseerd voor het opstellen van het mengstation, cementsilo, hogedrukpomp en een opslagcontainer. Dit materieel zal ongeveer 100 m² in beslag nemen en dient vlak en draagkrachtig te zijn. Deze werkruimte mag zich op maximaal 150 meter van de frees stelling bevinden.

Belendingen

Aangezien de CSM methode trillings- en zakkingsvrij is kan er zeer kort tegen belendingen aan worden gewerkt zonder dat deze schade ondervinden. De afstand tot de belending bedraagt 0,15 meter.

Geluidoverlast

Het geluid wat vrijkomt bij de uitvoering van de CSM wanden zal afkomstig zijn van de rupskraan en de hydrauliek hiervan. De geluidsoverlast zal daarom niet meer bedragen dan 85 dB(a).

Trillingsoverlast

De methode is trillingsvrij, waardoor er geen trillingsoverlast op zal treden.

2.2.6 Productietijd

De voorbereiding van CSM wanden neemt redelijk veel tijd in beslag aangezien de methode nog niet bij iedereen bekend is. Voor de aan- en afvoer en opbouwen van het materieel is er twee keer één dag nodig. Per dag kan er een productie worden gehaald van ongeveer 150m² per ploeg. Deze waarde kan echter afwijken door de dimensionering of de grondslag.

Als de wand is aangebracht dient deze 3 tot 4 weken uit te harden voordat men kan beginnen met het ontgraven.

⁹ Kok, O. d. (2012, april 2). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden & CSM. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

2.2.7 Productiekosten

De bouwkuipbegrenzing met CSM wanden kan zeer kosten interessant zijn. De exacte kosten zijn moeilijk weer te geven, aangezien deze afhankelijk zijn van diverse variabelen zoals grondsoort, diepte, breedte, belasting naast bouwkuip, bereikbaarheid en aan te brengen hoeveelheid.

De eenmalige kosten bedragen tussen € 10.000 en € 12.000. Dit zijn de aan- en afvoer kosten van het materieel en inrichting van de bouwplaats.

De kosten van een CSM wand bedragen gemiddeld genomen tussen de € 50/m² en € 100/m². Deze kosten zijn echter zeer afhankelijk van de aanwezige grondslag en dimensionering (wapening). Als de vergelijking wordt gemaakt tussen de methode van definitieve stalen damwanden en CSM wanden kan worden gesteld, dat de kosten van CSM wanden 80-90% bedragen ten opzichte van definitieve stalen damwanden.¹⁰

2.2.8 Voordelen

De voordelen van een bouwkuip met CSM wanden zijn als volgt:

- Niet grondverwijderend;
- Trillingsvrij;
- Geen grondontspanning;
- Kan zeer kort langs belendingen worden aangebracht;
- Zeer lage overlast voor omgeving;
- Weinig vrije werkruimte benodigd;
- Kan als buitenkist worden gebruikt;
- Kan als fundering worden gebruikt;
- Kan als definitieve grondkering worden gebruikt;
- Kan als definitieve waterkering worden gebruikt;
- Omdat de machine altijd als één geheel wordt aangevoerd is een opstellingskeuring niet noodzakelijk;
- Aanwezige grondslag wordt gebruikt in proces;
- CSM wanden mogen in het zicht staan;
- Prijs/product verhouding bijzonder interessant.

2.2.9 Nadelen

De nadelen van een bouwkuip met CSM wanden zijn als volgt:

- Vrijkomen van spoil (10-30% van de inhoud van de steek);
- Langere voorbereidingstijd in verband met onbekendheid systeem;
- Lage productiesnelheid.

2.2.10 Risico's

De risico's van een bouwkuip met CSM wanden zijn als volgt:

- Lagere betonkwaliteit dan verwacht;
- Te lange voorbereidingstijd;
- Aanwezigheid van keien met een diameter van meer dan 0,5 meter;
- Het optreden van scheuren/lekkages in de wand.

¹⁰ Haverkort, H. (2012, maart 20). Kosten bouwkuipbegrenzingn. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

2.3 DIEPWANDEN

De diepwand is een grond- en/of waterkerende constructie waarbij gewapende, in de grond gevormde betonnen elementen aaneengesloten in de grond worden gestort. Door middel van een draadkraan worden panelen gemaakt die tijdens het uitgraven in stand worden gehouden door middel van een dikspoeling of bentoniet. Vervolgens wordt wapening aangebracht en de sleuven volgestort met beton.

2.3.1 Toetsvariabele bodemopbouw

Toepasbaarheid

Diepwanden zijn toepasbaar in alle grondsoorten, behalve gronden waarin zich grote pakketten grof materiaal zoals grind bevinden. Daarnaast zijn diepwanden ook moeilijk toepasbaar in veengronden en slappe klei.

Knelpunten

Diepwanden brengen mogelijke problemen met zich mee bij gronden waarin zich grote pakketten grof materiaal zoals grind bevinden. Bentoniet kan in deze gronden wegvloeien door indringing in de poriën.

Daarnaast brengt deze methode mogelijke problemen met zich mee bij veen en slappe klei. Dit valt te wijten aan het feit dat de grond dermate instabiel is dat deze de sleuf in valt. Het omgekeerde kan ook plaatsvinden; door de overdruk wordt de bentoniet naar buiten geperst. Als gevolg hiervan kunnen horizontale deformaties in de wand optreden. Daarnaast kan de grijper zich bij het uitgraven van de sleuf vacuüm trekken waardoor het graven wordt bemoeilijkt.

Conclusie:

Diepwanden zijn toepasbaar in vrijwel alle grondsoorten, behalve in gronden waarin zich grote pakketten grof materiaal zoals grind bevinden in gronden waar zich grote pakketten slappe klei en veen bevinden.

Indien deze grondsoorten in grote mate voorkomen dient er gekozen te worden voor een andere bouwkuipbegrenzing.

2.3.2 Toetsvariabele hoogte grondwaterstand

De grondwaterstand dient zich minimaal op 1.5m onder het werkniveau te bevinden. Dit is de minimale overhoogte van de steunvloeistof ten opzichte van het grondwaterpeil. Een laag grondwaterpeil is gunstig voor het vervaardigen van diepwanden omdat de steunvloeistof bij voorkeur ca. 2 m boven het grondwaterpeil moet staan voor een optimale hydrostatische druk. Bentoniet heeft een volumegewicht van circa $10,3 \text{ kN/m}^3$, water heeft een volumegewicht van $9,98 \text{ kN/m}^3$. Door de overhoogte van de bentoniet wordt de optimale hydrostatische druk gecreëerd.

Conclusie:

Als de grondwaterstand zich op een hoger peil bevindt dan 1.5 m onder het werkniveau, dient er voor een andere bouwkuipbegrenzing gekozen te worden, of dient een overhoogte gecreëerd te worden.

2.3.3 Toetsvariabele uitvoering/dimensionering

Diepwanden kunnen reiken tot zeer grote diepte. In de meeste gevallen worden diepwanden aangebracht tot een diepte van 20 meter tot ongeveer 60 meter. Er is echter een project bekend waarbij een diepte werd bereikt van 120 meter. Dit project werd uitgevoerd ten behoeve van de Peribonka dam in Quebec, Canada.

De lengte en de breedte van diepwanden is onbeperkt. De gebruikelijke wanddikten zijn 0,80, 1,00, 1,20 en 1,50 meter.

2.3.4 Toetsvariabele duur (definitief/tijdelijk)

Diepwanden worden toegepast voor zowel tijdelijke als definitieve bouwkuipen. Bij tijdelijke bouwkuipen blijven resten van de wand achter in de grond

2.3.5 Toetsvariabele omgeving

Vrije werkruimte

Voor de toepassing van diepwanden is een vrije werkruimte nodig van 14 meter uit de as van de wand. Deze ruimte is nodig voor de machines zodat deze vrij kunnen bewegen. Ook dient er een bouwweg aanwezig te zijn die de aan- en afvoer van stoffen mogelijk maakt. Daardoor is de benodigde werkruimte 17 meter uit de as van de wand.

Daarnaast is een aparte ruimte nodig voor het opstellen van de bentonietcentrale en moet er ruimte worden gerealiseerd voor onder andere de opslag van wapeningskorven, betonmixers en de ontzandinginstallatie. Deze aparte ruimte dient minimaal 800 m² groot te zijn.

Conclusie:

Voor het toepassen van de diepwand methode is een vrije werkruimte noodzakelijk van 17 meter uit de as van de wand en een aparte ruimte van 800m². Indien deze ruimte niet aanwezig is dient er gekozen te worden voor een andere bouwkuipbegrenzing.¹¹

Belendingen

Diepwanden kunnen dicht tegen belendingen aan worden gerealiseerd. De afstand van de belending tot de wand dient minimaal 0.5m te bedragen. Er dient echter rekening te worden gehouden met de hoogte en eventuele funderingen.

Geluidsoverlast

Het aanbrengen van diepwanden is geluidsarm. De meeste geluidsproductie zal afkomstig zijn van de machines. Geluidsoverlast komt nauwelijks voort uit het werkproces zelf, maar hooguit door gerelateerde werkzaamheden zoals de aan- en afvoer van beton door vrachtwagens. De geluidsproductie die hierbij vrijkomt zal liggen rond de 85 dB(A).

Trillingsoverlast

Het aanbrengen van diepwanden is trillingsarm. Net zoals bij geluidsoverlast zullen de meeste trillingen afkomstig zijn van gerelateerde werkzaamheden. Het aanbrengen van de wanden zelf wordt beschouwd als trillingsvrij.

¹¹ Waalwijk, P. (2012, april 16). Bouwkuipbegrenzing diepwanden. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

2.3.6 Productietijd

De tijd die nodig is voor het realiseren van een diepwand is sterk afhankelijk van de grondsoort, de diepte en de breedte van de wand. Als vuistregel kan worden aangehouden dat er per dag een productie wordt gehaald van 150m²/per dag/per ploeg. Deze waarde kan echter veel variëren.

2.3.7 Productiekosten

Het aanbrengen van diepwanden is relatief duur. De exacte kosten zijn moeilijk weer te geven, aangezien deze afhankelijk zijn van diverse variabelen, zoals grondsoort, diepte, breedte, bereikbaarheid, hoeveelheid wapening en betonkwaliteit.

De eenmalige kosten bedragen tussen de €100.000 en €150.000. Onder deze kosten vallen de aan- en afvoer van materiaal en materieel, in werking stellen bentonietcentrale (incl. keuring) en inrichting van de bouwplaats.

De kosten van een 0.8m brede gewapende wand bedragen, grof aangenomen, €400/m² wand.¹²

2.3.8 Voordelen

De voordelen van diepwanden zijn als volgt:

- Diepwanden zijn zeer stijf. Hierdoor zullen de wanden niet tot nauwelijks doorbuigen, waardoor er geen zettingen in de bodem zullen optreden;
- De methode is trillingsvrij;
- De methode heeft een lage geluidsbelasting;
- Diepwanden hebben naast een grondkerende functie ook een zeer hoge draagkracht;
- Harde grondlagen kunnen gepasseerd worden;
- De methode is niet gevoelig voor kleine obstakels in de grond;
- Diepwanden kunnen effectief worden toegepast tot grote dieptes;
- De methode kan bij vrijwel elke grondsoort worden toegepast;
- De afstand tot belendende delen kan kort zijn.

2.3.9 Nadelen

De nadelen van diepwanden zijn als volgt:

- Relatief lage productiesnelheid;
- Diepwanden zijn erg duur;
- Er dient een grote hoeveelheid grond vermengd met bentoniet te worden afgevoerd;
- Kans op lekkage. Bij zandgronden kan dit leiden tot grote problemen. Absoluut waterdicht is niet te garanderen;
- Door het ontgraven zullen kleine vervormingen in de bodem ontstaan. Indien gebouwen niet zijn gefundeerd op palen kan dit leiden tot verzakkingen.

2.3.10 Risico's

De risico's van diepwanden zijn als volgt:

- Deformatie van de grond bij een slappe grondslag;
- Kans op lekkages.

¹² Haverkort, H. (2012, maart 20). Kosten bouwkuipbegrenzingn. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

2.4 JETGROUTEN

Bij de methode jetgrouten wordt gebruik gemaakt van bodeminjectie. De aanwezige grond wordt door middel van een injectievloeistof onder hoge druk los gespoten waarna deze wordt gemengd met een mengsel van water en cement. Hierdoor ontstaat na verharding een cilindervormig massief. Bij deze methode komt langs de injectiekolom een mengsel van water, grout en grond omhoog. Dit mengsel wordt ook wel spoil genoemd en moet worden weggepompt.

2.4.1 Toetsvariabele bodemopbouw

Toepasbaarheid

De methode van jetgrouten is toepasbaar in nagenoeg elke grondsoort variërend van los gepakte zandlagen tot cohesieve grondlagen. Dit geldt ook voor klei-, veen- en niet homogene zandlagen. Deze methode is het beste toepasbaar in zandige gronden. In klei-, veen- en niet homogene zandgronden is meer cement nodig waardoor de kosten zullen stijgen.

De druk die toegepast wordt zal per grondlaag verschillen. Bij een kleilaag is veel meer druk nodig dan bij een zandlaag. Bij een harde grondlaag kan de methode van 'een snijstraal van water, omgeven door een mantel van lucht' worden toegepast om de grond beter te versnijden (loswoelen). Bij gesteenten kan de methode jetgrouten ook worden toegepast. Er wordt dan aan de onderkant van de boorlans een hamer bevestigd.

Knelpunten

In harde grondlagen zal er gebruik gemaakt moeten worden van de methode 'een snijstraal van water, omgeven door een mantel van lucht' om de grond beter te versnijden. Door gebruik te maken van deze methode kunnen echter deformaties in de grond optreden.

Daarnaast bestaat het risico van zogenaamde schaduwwerking in gronden waarin zich obstakels bevinden zoals keien of oude funderingen. Hierdoor is de groutstraal niet in staat om de grond achter de obstakels te versnijden en te mengen. In de 'schaduw' van dit obstakel wordt dus geen massieve groutkolom gerealiseerd waardoor er een zwakke plek in de groutpalen wand ontstaat.

Conclusie:

De methode jetgrouten is toepasbaar in vrijwel elke grondsoort. De methode kan ook in rotsgesteente worden toegepast door middel van een hamer op de kop van de boorlans. Indien er obstakels in de grond aanwezig zijn kan er schaduwwerking optreden. Hierdoor ontstaan zwakke plekken in de wand waartegen maatregelen dienen te worden getroffen. Hiertoe moet het ontwerp aangepast worden.

2.4.2 Toetsvariabele hoogte grondwaterstand

Voor het aanbrengen van een jetgrout wand is de hoogte van het grondwaterpeil niet van belang. Bij elke grondwaterstand kan de methode worden toegepast.

2.4.3 Toetsvariabele uitvoering/dimensionering

Jetgroutwanden kunnen reiken tot zeer grote diepte. De kolommen kunnen variëren in diameter van 40 centimeter tot 300 centimeter. Ook kan de jetgrout wand zodanig geschakeld, in elkaar gedraaid of gecombineerd worden dat nagenoeg elke vorm en elke dikte gerealiseerd kan worden. De breedte en lengte van de jetgrout wanden zijn onbeperkt.

Als vuistregel geldt dat als de bouwkuip dieper dan 4 meter gedimensioneerd wordt, een stempel of verankering aangebracht dient te worden. Dit geldt in het algemeen voor alle grondsoorten en elke grondwaterstand. Hoe hoger de grondwaterstand, hoe meer druk er op de wand komt te staan.

Conclusie:

Jetgrout wanden kunnen zeer diep worden aangebracht, al komt de afmeting van een bouwkuip met jetgrout wanden overeen met de afmeting van een bouwkuip met stalen damwanden. De dikte van de jetgrout wand kan veel variëren. Doordat de kolommen in elkaar gedraaid zijn met overlappingsen of zodanig met elkaar verbonden zijn kan elke vorm en dikte gerealiseerd worden. Zo ontstaat er een grond- en waterkerende wand.

2.4.4 Toetsvariabele duur (definitief/tijdelijk)

Deze methode kan zowel voor tijdelijke- als definitieve wand toegepast worden. Bij tijdelijke bouwkuipen blijven resten van de wand achter in de grond

2.4.5 Toetsvariabele Omgeving

Vrije werkruimte

De jetgrout-installatie bestaat uit opslagtanks, silo's en een compacte meng- en pompinstallatie. Vanuit de pompeenheid loopt een bundel van slangen en leidingen naar de machine bij het installatiepunt. De mastlengte van de machine varieert van 2 meter tot 35 meter. De breedte van de machines varieert van 80 cm tot 4 meter. Door het verschil in de afmetingen van de machines kan er zowel in open plekken worden gewerkt als in kleine ruimtes zoals kelders.

Voor het aanbrengen van een jetgroutwand dient een vrije werkruimte aanwezig te zijn van 2 meter uit de as van de wand. Er kan vanaf 15 cm uit de as van de wand gewerkt worden. Jetgrout wanden kunnen dwars door funderingen worden aangebracht. De vrije hoogte die minimaal aanwezig dient te zijn voor de uitvoering is 2,25 meter.

De vrije werkruimte die aanwezig dient te zijn voor de opslagtanks, silo's en de meng- en pompinstallatie bedraagt een oppervlakte van ongeveer 100 m².

Conclusie:

Een jetgroutwand kan vrijwel overal worden gerealiseerd. Zelfs in kleine ruimtes met een hoogte van 2,25 meter kan een machine vanaf 15 cm uit wand jetgroutkolommen aanbrengen en zo een grond- en waterkerende wand of fundering realiseren.¹³

Belendingen

Een jetgrout wand kan op 15 centimeter vanaf belendingen worden aangebracht. De machine is zo klein dat er zelfs in kelders of schachten met een hoogte van 2,25 meter en een breedte van 2 meter gewerkt kan worden. Ook kunnen jetgrout kolommen dwars door funderingen aangebracht worden. Zo kan er bij wijze van spreken een jetgrout wand gerealiseerd worden dwars door de fundering van een gebouw.

Geluidoverlast

De jetgrout methode is geluidsarm.

Trillingsoverlast

Het aanbrengen van jetgroutwanden is trillingsvrij. Net zoals bij geluidsoverlast zullen de meeste trillingen afkomstig zijn van gerelateerde werkzaamheden.

¹³ Looij, R. (2012, maart 28). Bouwkuipbegrenzing jetgrouten. (M. Kerckhoffs, & F. roos, Interviewers)

2.4.6 Productietijd

De tijd die nodig is voor het realiseren van een jetgroutwand is sterk afhankelijk van de , de diepte en de breedte van de wand. Als vuistregel kan worden aangehouden dat er 40 cm/min groutkolom kan worden geproduceerd met een doorsnee van 1,20 meter. Deze snelheid kan echter veel variëren. Dit komt overeen met een productie van 150m² wandoppervlak per dag.

2.4.7 Productiekosten

Jetgrouten is een vrij dure bouwkuipbegrenzing. Hoewel de uitvoeringskosten hoger liggen dan die van veel andere uitvoeringsmethoden, kan door de besparing van tijd en een aanzienlijke reductie van de bouw hinder toch uiterst rendabel worden gewerkt.

De exacte kosten zijn moeilijk weer te geven, aangezien deze afhankelijk zijn van diverse variabelen, zoals bodemopbouw, diepte, breedte en bereikbaarheid

De eenmalige kosten bedragen € 20.000,-/keer. Dit zijn de aan- en afvoer kosten van het materieel (incl. de keuring) en inrichting van de bouwplaats.

De kosten voor het aanbrengen van de grout kolommen bedragen grof gezegd € 450,- tot € 650,-/m³

De kosten zijn een genomen gemiddelde afhankelijk van verschillende variabelen.¹⁴

2.4.8 Voordelen

De voordelen van de jetgroutmethode zijn als volgt:

- De methode is toepasbaar in alle grondsoorten;
- Het aanbrengen van de methode is trillingsvrij;
- Het aanbrengen van de methode is geluidsarm;
- Het aanbrengen van de methode is zettingsvrij.

2.4.9 Nadelen

De nadelen van de jetgroutmethode zijn als volgt:

- Gevoelig voor onbekende obstakels in de grond (schaduwwerking);
- Tijdens de uitvoering altijd rekening houden met retourspoeling (spoil);
- Hoge kosten.

2.4.10 Risico's

De risico's van de jetgroutmethode zijn als volgt:

- Gevoelig voor onbekende obstakels in de grond (schaduwwerking);
- Scheurvorming (eventueel te voorkomen door wapening in de wand aan te brengen).

¹⁴ Looij, R. (2012, maart 28). Bouwkuipbegrenzing jetgrouten. (M. Kerckhoffs, & F. roos, Interviewers)

3 ONDERZOEK HORIZONTALE BOUWKUIPBEGRENZING

“Beschrijving toepasbaarheid horizontale bouwkuipbegrenzing aan de hand van bodemopbouw, hoogte grondwaterstand, uitvoering/dimensionering, omgeving, productiekosten, risico’s en voor- en nadelen.”

Wanneer er sprake is van opbarstgevaar moeten er maatregelen worden genomen om dit te voorkomen..

Eén van deze maatregelen is het toepassen van een horizontale bouwkuipbegrenzing.

Er kan een keuze gemaakt worden tussen twee horizontale bouwkuipbegrenzings, namelijk:

- Onderwaterbeton
- Waterglasinjectie

Als eerste wordt per horizontale bouwkuipbegrenzing de toepasbaarheid weergegeven aan de hand van de een aantal variabelen.

Het gaat hierbij om de variabelen:

- Bodemopbouw
- Hoogte grondwaterstand
- Uitvoering/dimensionering
- Omgeving

Wanneer de toepasbaarheid van de horizontale bouwkuipbegrenzing is onderzocht zullen de productiekosten per methode behandeld worden. Vervolgens zullen de risico’s en de voor- en nadelen opgesomd worden.

De variabelen zullen niet allemaal verwerkt worden in de “Tool Bouwkuipselectie”.

De belangrijkste toetsvariabele is bodemopbouw. Deze variabele zal dan ook worden verwerkt in de “Tool Bouwkuipselectie”. De andere variabelen zijn wel onderzocht en beschreven in het rapport maar worden niet meegenomen in de “Tool Bouwkuipselectie”, omdat ze weinig of geen invloed hebben op de keuze van horizontale bouwkuipbegrenzing.

Naast de variabele grondsoort zijn ook de productiekosten, risico’s en voor- en nadelen van belang. Deze worden in de “Tool Bouwkuipselectie” duidelijk verwerkt en weergegeven in een overzicht samen met de toepasbaarheid met betrekking op de grondsoort.

3.1 ONDERWATERBETON

Wanneer er in Nederland ondergronds gebouwd gaat worden heeft men meestal te maken met een hoge grondwaterstand. Om een droge bouwkuip te realiseren bij een hoge grondwaterstand zijn er verschillende opties mogelijk om dit te bewerkstelligen. Eén van deze opties is het toepassen van onderwaterbeton (OWB).

Door middel van een stalen of kunststoffen buis wordt het OWB op de bodem van de bouwkuip aangebracht. Hierdoor bereikt het beton de bodem als een solide massa en kan het niet uitspoelen. Als het beton is uitgehard kan het water weggepompt worden en kan de vloer belast worden. De betonvloer is vaak relatief dik omdat de OWB vloer weerstand moet bieden aan de opwaartse druk van het grondwater.

3.1.1 Toetsvariabele bodemopbouw

Toepasbaarheid

OWB kan bij elke grondsoort worden toegepast. Indien de ondergrond bestaat uit klei of veen zal er een additionele grind- of zandlaag moeten worden aangebracht van ongeveer 30 cm. Dit is noodzakelijk voor de egalisatie van de bodem, omdat deze grondsoorten moeilijker vlak zijn uit te graven dan andere grondsoorten. Daarnaast is bij deze grondsoorten veel slib aanwezig. Door de uitvullaag kan het slib in de poriën van het zand of grind wegzakken, waardoor het niet vermengt met het beton.

Knelpunten

De aanwezigheid van slib is een groot risico met betrekking tot de betrouwbaarheid van OWB. Door de aanwezigheid van de sliblaag kunnen onvolkomenheden optreden. Om dit te voorkomen worden duikers ingezet om een teveel aan slib te verwijderen door middel van een slibzuiger.

Wanneer er sprake is van een veenhoudende grond is het risico voor squeezing zeer groot. Squeezing betekent het onderuitpersen van een deel van de veenlagen onder het gewicht van het zand/grind en het nog plastische OWB. Omdat het mogelijk is dat zettingen van de ondergrond ontstaan door het gewicht van het beton zijn geomechanische adviezen van groot belang. Op basis van deze adviezen wordt gekeken of het noodzakelijk is om een ondergrond aan te brengen voordat er gestort wordt. Dit zou dan een ondergrond in de vorm van een zand- of grindbed zijn.

Conclusie:

OWB kan worden toegepast bij elke grondsoort. Bij veen- en kleilagen zal er eerst een uitvullaag aangebracht worden om de ondergrond te egaliseren.

Slib is een groot risico voor het OWB. Dit moet direct worden weggezogen door middel van duikers.

In zandgronden is het meestal goedkoper en sneller als er glasinjectie wordt toegepast. Dit is niet altijd het geval, bij kleine bouwkuipen kan glasinjectie namelijk duurder zijn dan OWB.

3.1.2 Toetsvariabele hoogte grondwaterstand

OWB kan bij elke grondwaterstand gerealiseerd worden. Overwogen moet worden welke gevaren aanwezig zijn met betrekking tot de grondwaterstandbeheersing in en om een bouwput tijdens de uitvoering. Grondwaterstandverschillen tussen het waterpeil in de bouwput en het grondwater rondom de bouwput, kunnen leiden tot stroming van water door de verse betonspecie of in de aansluiting tussen verse specie en de damwand.

Het gaat hierbij om de stijghoogte in de verschillende onderliggende grondlagen. Het is mogelijk dat het freatisch grondwaterpeil niet het probleem is, maar de stijghoogte in de onderliggende grondlagen. Deze stijghoogte kan veel hoger liggen dan het freatisch grondwaterpeil waardoor er gevaar is voor opbarsten.

Conclusie:

Er moet gestreefd worden naar minimale verschillen tussen de waterstand in de bouwkuip en de grondwaterstand rondom de bouwkuip. Dit om de stroming van het grondwater naar de bouwkuip tegen te gaan.

3.1.3 Toetsvariabele uitvoering/dimensionering

Als OWB wordt toegepast zal als eerste de bouwkuip in den natte worden ontgraven. Vervolgens worden palen geheid om de opwaartse kracht van het water te keren. Er kan echter ook gekozen worden voor een omgekeerde werkwijze. Dit houdt in dat er eerst palen worden geheid en dan pas ontgraven.

Nadat de palen zijn geheid en de bouwkuip is ontgraven zal het OWB worden aangebracht. OWB kan een maximale dikte hebben van 2 meter. Het volumegewicht van OWB bedraagt 2500 kg/m^3 en kan worden aangebracht met een hoeveelheid van $100 \text{ m}^3/\text{uur}$. Het aanbrengen van OWB dient een continue proces te zijn, omdat eventuele aansluitingen zullen leiden tot zwakke plekken.

Nadat het OWB is aangebracht en uitgehard zal het water in de bouwkuip worden onttrokken. Het OWB kan eveneens als stempel dienen.

Een bouwkuip waar OWB kan worden toegepast heeft geen maximale afmetingen. Wel is het zo dat hoe groter de bouwkuip, hoe meer scheurvorming er kan optreden in het beton. Als dit het geval is dient er geïnjecteerd te worden zodat de vloer waterdicht wordt.

Conclusie:

OWB kan een maximale dikte hebben van 2 meter. Het onderwaterbeton kan worden aangebracht met een hoeveelheid van $100 \text{ m}^3/\text{uur}$. Het aanbrengen van het onderwaterbeton dient een continue proces te zijn. Dit houdt in dat er gedurende het storten niet mag worden gestopt. Het stoppen met storten vergroot het gevaar op scheurvorming.¹⁵

¹⁵ westerlaak, E. v. (2012, april 10). Onderwaterbeton. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

3.1.4 Toets-variabele omgeving

Vrije werkruimte

Voor het aanbrengen van OWB zal er genoeg werkruimte moeten zijn voor het materieel. Hierbij dient rekening te worden gehouden met een oppervlak van 500 m².

Er kan zowel vanaf de kant als vanaf een ponton of traverse gewerkt worden. Als er vanaf een ponton of traverse gewerkt wordt dan is er geen ruimte rondom de bouwkuip benodigd. Het bouwkuip ontwerp moet hier wel op zijn aangepast. Bij smallere kuipen kan vaak vanaf één zijde de gehele bouwkuip ontgraven worden.

Belendingen

Wanneer er een bouwkuip in een stad aangebracht moet worden zullen er in plaats van prefab betonnen palen, groutpalen of groutankers gebruikt worden. Dit omdat groutpalen minder geluid- en trillingshinder met zich meebrengen.

Geluidsoverlast

Het aanbrengen van OWB is geluidsarm. Dit houdt in dat de meeste geluidsproductie afkomstig zal zijn van de machines. Geluidsoverlast komt nauwelijks voort uit het werkproces zelf, maar hooguit door gerelateerde werkzaamheden. De geluidsproductie die hierbij vrijkomt zal onder de 85 dB(A) liggen.

Trillingsoverlast

Het aanbrengen van OWB is trillingsarm. Net zoals bij geluidsoverlast zullen de meeste trillingen afkomstig zijn van gerelateerde werkzaamheden. De methode wordt beschouwd als trillingsvrij.

3.1.5 Productiekosten

De kosten van OWB zijn relatief hoog. Omdat de methode veel voordelen heeft wordt het veel toegepast.

De kosten voor het ontgraven van de bouwkuip bedragen € 15,-/m³.

De kosten voor het aanbrengen van het OWB (incl. materieel) bedragen € 100,-/m³.

De kosten zijn een genomen gemiddelde afhankelijk van verschillende variabelen.¹⁶

3.1.6 Voordelen

De voordelen van de OWB zijn als volgt:

- De methode is betrouwbaar;
- Onderwaterbeton biedt tegendruk ;
- Onderwaterbeton kan gebruikt worden als stempeling;
- Onderwaterbeton kan gebruikt worden als constructievloer (Dit kan alleen als er wapening in de OWB wordt aangebracht);
- Weinig bemalingskosten;
- Geen verplaatsing van vervuiling in de bodem in de omgeving door ondergrondse waterstromen richting de put tijdens bemalen;
- Geen verzakkingen (wanneer de palen niet genoeg draagkracht hebben en het gebouw dus te zwaar wordt zal de OWB gewoon mee zakken met de rest van het gebouw).

¹⁶ westerlaak, E. v. (2012, april 10). Onderwaterbeton. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

3.1.7 Nadelen

De nadelen van OWB zijn als volgt:

- Duurder dan waterglasinjectie bij grote bouwkuipen.

3.1.8 Risico's

De risico's van OWB zijn als volgt:

- Te hoog storten zorgt voor ontmenging van het OWB;
- Lekkages;
- Verkeerde samenstelling van het beton;
- Oponthoud tijdens het storten.

3.2 WATERGLASINJECTIE

Waterglasinjectie is een horizontale bouwkuipbegrenzing waarbij binnen een vooraf aangebrachte grond- en waterkerende bouwkuip een waterremmende injectielaag wordt aangebracht.

De injectielaag, die bestaat uit waterglas en harder, wordt opgebouwd door in een vooraf bepaald raster injectieslangen. Deze injectieslangen dienen stuk voor stuk te worden geïnjecteerd waardoor het waterglas en harder op de juiste diepte wordt gebracht.

Het waterglas wordt op de bouwplaats gemengd met water en een percentage harder. Het mengsel dient zich goed te mengen met de bestaande grondslag waardoor alle poriën worden opgevuld.

De injectievloeistof verspreidt zich door de grond zonder druk uit te oefenen en vult alle poriën tussen de zandkorrels op. Daarna hardt het mengsel uit waardoor een waterkerende laag wordt verkregen. Het bereik van een injectie is ongeveer een straal van 1 meter, naar alle richtingen.

3.2.1 Toetsvariabele bodemopbouw

Toepasbaarheid

Omdat waterglasinjectie uitgevoerd wordt door middel van de techniek 'permeation grouting' dient de doorlatendheid van de te injecteren laag goed te zijn. Bodeminjectie met waterglas en harder kan daarom alleen worden uitgevoerd in zand of een sterk zandhoudende grondslag.

Knelpunten

De grondsoort moet goed waterdoorlatend zijn. Als dit niet het geval is kan waterglasinjectie niet worden toegepast en zal over gegaan worden op een andere vorm van horizontale bouwkuipafdichting.

3.2.2 Toetsvariabele hoogte grondwaterstand

Voor de methode van waterglasinjectie is de grondwaterspiegel niet van belang. Bij elke grondwaterstand kan er worden geïnjecteerd. Wel moet het werkniveau een meter hoger liggen dan het grondwaterniveau om te werken in den droge.

3.2.3 Toetsvariabele uitvoering/dimensionering

De injectievloeistof verspreidt zich door de grond zonder druk uit te oefenen. Daarbij worden alle poriën opgevuld en hardt vervolgens uit. Het bereik van een injectie is ongeveer een straal van 1 meter, naar alle richtingen.

Bij de methode van waterglasinjectie heeft de grootte van de bouwkuip geen invloed. De diepte daar en tegen wel.

De injectielaag wordt dieper dan het ontgravingniveau aangebracht om opbarsten van de bouwputbodem te voorkomen. Er moet genoeg ballast op de injectie laag drukken. Als dat niet het geval is zal er dieper moeten worden geïnjecteerd. Hierdoor dienen de wanden van de bouwkuip ook dieper aangebracht te worden.

3.2.4 Toetsvariabele omgeving

Bij het aanbrengen van waterglasinjectie komt geen trillings- en/of geluidshindervrij.

3.2.5 Productie kosten

De kosten van waterglasinjectie zijn meestal lager dan die van OWB.

De gemiddelde kosten voor het injecteren van de bouwkuip bedragen ca. € 100,-/m².

De kosten zijn een genomen gemiddelde afhankelijk van verschillende variabelen.¹⁷

¹⁷ Kok, O. d. (2012, april 2). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden & CSM. (M. Kerckhoffs, & F. Roos,

3.2.6 Voordelen

De voordelen van waterglasinjectie zijn als volgt:

- Weinig tot geen grondwateronttrekking;
- Schone en droge bouwkuip;
- Bouwkuip kan binnen een week na het injecteren vanuit de kuip ontgraven worden;
- Mogelijkheid om droog te ontgraven. Daarom geen nat transport;
- Geen slipdepot nodig;
- Bij ontgraving leveren vervormingen in de damwandconstructie geen verhoogde horizontale spanningen op de injectielaag. Daarom geen lekkage in damwandkassen;
- Het bovenliggende grondpakket zorgt voor voldoende neerwaartse druk om opbarsten te voorkomen. Er zijn dus voor de bodemafluiting geen trekankers of –palen nodig.

3.2.7 Nadelen

De nadelen van waterglasinjectie zijn als volgt:

- Mogelijkheid bestaat dat bouwkuipwanden dieper doorgezet moeten worden;
- Uitvoeringsduur langer dan bij onderwaterbeton (afhankelijk het grondwerk en trekpalen of ankers).

3.2.8 Risico's

De risico's van waterglasinjectie zijn als volgt:

- Schaduwwerking (vanwege obstakels in de ondergrond kunnen onvolkomenheden optreden omdat het niet mogelijk is om achter deze obstakels de grond te injecteren);
- Geen goede overlapping waardoor lekkages kunnen ontstaan.

4 TOOL BOUWKUIPSELECTIE

Voor een aannemer is het belangrijk dat de kosten gedurende de aanbestedingsfase zo laag mogelijk worden gehouden, waardoor er een scherpe prijs aangeboden kan worden. Hierdoor is een programma ontwikkeld dat als hulpmiddel gebruikt kan worden om snel en eenvoudig een bouwkuipbegrenzing te selecteren.

De keuze van een bouwkuipbegrenzing is onder andere afhankelijk van onderstaande variabelen:

- Bodemopbouw
- Hoogte grondwaterstand
- Uitvoering/dimensionering
- Duur (definitief of tijdelijk)
- Omgeving

Daarnaast is de keuze van een bouwkuipbegrenzing afhankelijk van de benodigde tijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen.

Na het invullen van de gegevens van een specifieke bouwlocatie wordt door de tool een overzicht gegeven. In dit overzicht worden aspecten weergegeven die van belang zijn voor het selecteren van de meest geschikte bouwkuipbegrenzing. Deze aspecten zijn waardering toepasbaarheid, benodigde tijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen. Met dit overzicht is de gebruiker in staat een keuze te maken voor de meest geschikte bouwkuipbegrenzing.

Om gebruik te kunnen maken van de "Tool Bouwkuipselectie" is het van belang een toelichting te lezen die uitleg geeft over de opbouw, toekenning van de waardes en hoe gebruik kan worden gemaakt van de tool.

In de Tool is een werkwijzer en diverse informatie opgenomen. Deze werkwijzer en informatie kan zichtbaar worden gemaakt door middel van doorverwijzingen. Als er een doorverwijzing aanwezig is, zal deze te vinden zijn door de onderstreepte tekst. Door op de tekst te klikken wordt men doorverwezen naar de betreffende informatie.

De onderstaande bouwkuipbegrenzings zijn in het rapport onderzocht:

Verticale bouwkuipbegrenzing:

- Stalendamwanden (trillen, heien, drukken)
- CSM/MIP wanden
- Jetgrouten
- Diepwanden

Horizontale bouwkuipbegrenzing:

- Onderwaterbeton
- Waterglasinjectie

Per bouwkuipbegrenzing zijn de toepasbaarheidsgrenzen van de volgende toetsvariabelen onderzocht:

- Bodemopbouw
 - Grondsoort
 - Dikte van de laag
- Grondwaterstand
 - Hoogte grondwaterstand
- Uitvoering/dimensionering
 - Breedte bouwkuip
 - Lengte bouwkuip
 - Diepte bouwkuip
- Duur
 - Tijdelijk of definitief
- Omgeving
 - Vrije werkruimte
 - Vrije werkruimte uit de as van de wand
 - Afstand tot belending
 - Vrije hoogte
 - Geluidsoverlast
 - Trillingen

4.1 Toekenning waardes toetsvariabelen

Om een afweging te maken tussen de verschillende bouwkuipbegrenzings is het van belang dat per toetsvariabele de grenzen duidelijk zijn waarbinnen de betreffende bouwkuipbegrenzing toepasbaar is. Deze grenzen dienen voor elke toetsvariabele duidelijk te zijn en worden verder in het rapport 'toepasbaarheidsgrenzen' genoemd.

Per toetsvariabele zijn deze toepasbaarheidsgrenzen onderzocht door middel van interviews met experts van gespecialiseerde bedrijven en informatie van zowel internet als informatie uit boeken en artikelen.

Om de onderzochte methodes met elkaar te kunnen vergelijken, is het van belang een waarde toe te kennen aan de toepasbaarheid. Door het toekennen van deze waardes is de gebruiker in staat de bouwkuipbegrenzings met elkaar te vergelijken.

4.1.1 5-punts schaal waardering toepasbaarheid

Voor de waardering van de toepasbaarheid is gekozen voor een 5-punts schaal. Hiervoor is gekozen omdat er tijdens de gesprekken vaker woorden werden gebruikt als "goed toepasbaar" of "zeer slecht toepasbaar". Deze woorden zijn goed te converteren naar een 5-punts schaal. Daarnaast zou een kleinere schaal leiden tot te weinig variantie. Een grotere schaal zou daarentegen leiden tot schijn nauwkeurigheid.

De waarderingen uit de 5-punts schaal hebben de volgende betekenis:

2	Methode zeer goed toepasbaar
1	Methode goed toepasbaar
0	Methode neutraal
-1	Methode slecht toepasbaar
-2	Methode zeer slecht toepasbaar
x	Methode niet toepasbaar

4.1.2 Toekenning waardes toetsvariabelen

In de Tool Bouwkuipselectie zijn de variabelen opgenomen waarvan de keuze voor een bouwkuipbegrenzing afhankelijk is. Door waardes toe te kennen aan deze variabelen kunnen na invulling de onderzochte bouwkuipbegrenzings met elkaar vergeleken worden.

Door middel van gesprekken met experts van gespecialiseerde bedrijven is kennis verkregen over de toepasbaarheid van de onderzochte bouwkuipbegrenzings. Aan de hand van de verkregen kennis zijn in overleg met de experts toepasbaarheidsgrenzen opgesteld. Aan deze toepasbaarheidsgrenzen zijn op basis van expert judgement waardes toegekend. Deze waarden geven de toepasbaarheid van de methode weer bij de ingevulde project specifieke variabelen.

In de Tool Bouwkuipselectie zijn databases opgenomen waaruit de betreffende waarde wordt opgehaald. Om inzicht te krijgen in de Tool Bouwkuipbegrenzings wordt er een deel van een database als voorbeeld gegeven.

		CSM/MIP	Diepwanden	Jetgrouten	Stalen damwanden (trillen)	Stalen damwanden (drukken)	Stalen damwanden (heien)
Grondsoort	Laagdikte	1	2	3	4	5	6
Zand	0,25	0	0	0	1	0	1
Zand	0,5	0	0	0	1	-1	1
Zand	0,75	0	0	0	1	-1	1
Zand	1	1	1	1	1	-1	1
Zand	1,25	1	1	1	1	-2	1
Zand	1,5	1	1	1	1	-2	1
Zand	2	2	1	2	1	99	1
Zand	2,5	2	1	2	1	99	1
Zand	3	2	2	2	1	99	1
Zand	3,5	2	2	2	1	99	1
Zand	4	2	2	2	1	99	1
Zand	4,5	2	2	2	1	99	1
Zand	5	2	2	2	1	99	1
Zand	6	2	2	2	1	99	1
Zand	7	2	2	2	1	99	1
Zand	8	2	2	2	1	99	1
Zand	9	2	2	2	1	99	1
Zand	10	2	2	2	1	99	1
Zand	11	2	2	2	1	99	1
Zand	12	2	2	2	1	99	1
Zand	13	2	2	2	1	99	1
Zand	14	2	2	2	1	99	1
Zand	15	2	2	2	1	99	1
Zand	>15	2	2	2	1	99	1

Figuur 1 Database grondsoort zand

In figuur 1 is de database weergegeven die betrekking heeft op de grondsoort zand. In deze database is er voor elke laagdikte een waarde toegekend per bouwkuipbegrenzing voor de grondsoort zand. Deze waarden zijn tot stand gekomen aan de hand van gesprekken met experts van gespecialiseerde bedrijven. Om meer duidelijkheid te verkrijgen over de waarden wordt in figuur 2 uitleg gegeven waarom de desbetreffende waarde is toegekend.

Zoals ook te zien is in figuur 1 wordt er bij het drukken van stalen damwanden vanaf een laagdikte van 2 meter de waarde 99 toegekend. Deze waarde betekent dat de methode bij die laagdikte niet toepasbaar is. In de Tool Bouwkuipselectie wordt dit omgezet naar waarde "x".

Grondsoort	Laagdikte	CSM/MIP	
		1	Toelichting
Zand	0,25	0	Waardering 0 is gegeven omdat de laag zo dun is dat deze geen grote invloed heeft op de toepasbaarheid.
Zand	0,5	0	
Zand	0,75	0	
Zand	1	1	Waardering 1 is gegeven omdat zand een zeer positieve invloed heeft op de kwaliteit van de CSM/MIP wand, maar te dun is om waarde 2 te krijgen.
Zand	1,25	1	
Zand	1,5	1	
Zand	2	2	Waardering 2 is gegeven omdat zand een zeer positieve invloed heeft op de kwaliteit van de CSM/MIP wand.
Zand	2,5	2	
Zand	3	2	
Zand	3,5	2	
Zand	4	2	
Zand	4,5	2	
Zand	5	2	
Zand	6	2	
Zand	7	2	
Zand	8	2	
Zand	9	2	
Zand	10	2	
Zand	11	2	
Zand	12	2	
Zand	13	2	
Zand	14	2	
Zand	15	2	
Zand	>15	2	

Figuur 2 toelichting waardering CSM/MIP grondsoort zand

In figuur 2 wordt uitleg gegeven waarom een waarde bij een bepaalde laagdikte wordt toegekend. In dit voorbeeld is dit gedaan voor een CSM/MIP wand bij de toetsvariabele grondsoort zand. Om dit voorbeeld te vergelijken met een andere grondsoort wordt ook de database van CSM/MIP wand bij de grondsoort veen weergegeven en uitgelegd. Dit is terug te vinden in figuur 3.

		CSM/MIP	
Grondsoort	Laagdikte	1	Toelichting
Veen	0,25	0	Waardering 0 is gegeven omdat de laag zo dun is dat deze geen grote invloed heeft op de toepasbaarheid.
Veen	0,5	0	
Veen	0,75	0	
Veen	1	-1	Waardering -1 is gegeven omdat veen moeilijk vermengbaar is en een lage betonkwaliteit voortbrengt. Waardering -2 is niet toegewezen vanwege de geringe laagdikte.
Veen	1,25	-1	
Veen	1,5	-1	
Veen	2	-2	Waardering -2 is gegeven omdat veen moeilijk vermengbaar is en een lage betonkwaliteit voortbrengt, hetgeen resulteert in een zwakke wand.
Veen	2,5	-2	
Veen	3	-2	
Veen	3,5	-2	
Veen	4	-2	
Veen	4,5	99	Methode niet toepasbaar omdat veen in grote mate aanwezig is en een te lage betonkwaliteit voortbrengt.
Veen	5	99	
Veen	6	99	
Veen	7	99	
Veen	8	99	
Veen	9	99	
Veen	10	99	
Veen	11	99	
Veen	12	99	
Veen	13	99	
Veen	14	99	
Veen	15	99	
Veen	>15	99	

Figuur 3 Toelichting waardering CSM/MIP grondsoort veen

Voor elke toetsvariabele is een databases opgebouwd zoals in figuur 1. De toelichtingen zijn verwerkt in een apart tabblad, maar voor de duidelijkheid zijn deze samengevoegd in figuur 2 en 3. Om de gebruikersvriendelijkheid van de Tool Bouwkuipselectie te vergroten zijn de databases verborgen.

4.2 Deel 1: Toetsvariabelen

Het programma dat is ontwikkeld is opgesteld in *Microsoft Office Excel 2007*.

Op de horizontale as de verschillende bouwkuipbegrenzings weergegeven. De verticale as geeft de toetsvariabelen weer. De interface van de “Tool Bouwkuipselectie” is te zien in figuur 4.

Reset			Werkwijzer	Contingie	Diepwanden	Jotgroeten	Skalen damwanden (ruilen)	Skalen damwanden (drukken)	Skalen damwanden (trekken)	
Toetsvariabelen										
Grondopbouw	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Laagdikte	(leeg)	m							
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Laagdikte	(leeg)	m							
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Laagdikte	(leeg)	m							
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Laagdikte	(leeg)	m							
Keien/obstakels	Onbekend		0	0	0	0	0	0		
Grondwater	Diepte -mv	Onbekend	m	0	0	0	0	0	0	
Uitvoering	Breedte (m)	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Leegte (m)	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Diepte bouwkuip (m)	Onbekend	> Diepte wand (m)	0	0	0	0	0	0	
	Stempeling/verankering vereist	Ja		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Duur	Duur	Onbekend	0	0	0	0	0	0	
Omgeving	Vrije ruimte uit as van de wand	Onbekend	afstand (m)	0	0	0	0	0	0	
	Werkruimte	Onbekend	afstand (m)	0	0	0	0	0	0	
	Afstand tot belasting	Onbekend	afstand (m)	0	0	0	0	0	0	
	Vrije hoogte	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Geluidsoverlast	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
	Trillingen	Onbekend		0	0	0	0	0	0	
Waardering toepasbaarheid				#DEEL/0!	#DEEL/0!	#DEEL/0!	#DEEL/0!	#DEEL/0!	#DEEL/0!	

Figuur 4 Interface Tool Bouwkuipselectie

Om de “Tool Bouwkuipselectie” op de juiste manier te kunnen gebruiken dient de gebruiker te beschikken over de juiste informatie van de bouwlocatie. De velden die ingevuld dienen te worden zijn voorzien van een kleur.

Voordat men begint met het invullen van de toetsvariabelen kan informatie worden geraadpleegd die toelichting geeft over de in te vullen velden. Deze informatie kan zichtbaar worden gemaakt door te klikken op de betreffende toetsvariabele. Stel men wil bijvoorbeeld de bodemopbouw van de bouwlocatie invoeren, dan kan met klikken op bodemopbouw, waarna uitleg wordt gegeven hoe men gegevens van de bouwlocatie op de juiste manier dient in te vullen.

Reset			Werkwijzer						
				CSM/MIP	Diepwanden	Jetgrooten	Stalen damwanden (tullen)	Stalen damwanden (drukken)	Stalen damwanden (trekken)
Toetsvariabelen									
Grondopbouw	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
Keien/obstakels			Onbekend	0	0	0	0	0	0

Figuur 5 Verwijzing uitleg bodemopbouw

Na invulling van de gegevens van de bouwlocatie verschijnt er op het snijpunt van de methode en de variabele een waarde die de toepasbaarheid van de methode weergeeft. Deze waarde wordt aangegeven met de cijfers 2, 1, 0, -1, -2, x.

Indien er bijvoorbeeld op de bouwlocatie een zandlaag aanwezig is van 2.5 meter dik, scoort CSM/MIP wanden een 2. Dit voorbeeld is weergegeven in figuur 2. Elke waardering die wordt gegeven wordt beargumenteerd. In dit voorbeeld wordt een argument gegeven waarom CSM/MIP wanden waardering 2 scoren. Dit argument kan zichtbaar worden gemaakt door te klikken op de desbetreffende waardering.

Reset			Werkwijzer						
				CSM/MIP	Diepwanden	Jetgrooten	Stalen damwanden (tullen)	Stalen damwanden (drukken)	Stalen damwanden (trekken)
Toetsvariabelen									
Grondopbouw	Grondsoort	Zand		2	1	2	1	x	1
	Laagdikte	2,5	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
	Grondsoort	Onbekend		0	0	0	0	0	0
	Laagdikte	(leeg)	m						
Keien/obstakels			Onbekend	0	0	0	0	0	0

Figuur 6 Score CSM/MIP bij een zandlaag van 2.5m dik

Vorige

Waardering 2 is gegeven omdat zand een zeer positieve invloed heeft op de kwaliteit van de CSM/MIP wand.

Figuur 7 Argument waardering "2"

Voorbeeld:

Indien er een veenlaag van 2 meter aanwezig is op de bouwlocatie zal de methode diepwanden waardering -2 scoren. Dit houdt in dat methode zeer slecht toepasbaar is, maar toch kan worden uitgevoerd. Als waardering x was gegeven, was de methode niet toepasbaar geweest.

Nadat de toetsvariabelen zijn ingevuld wordt er een waardering voor de toepasbaarheid gegeven zoals in figuur 8. Deze waarde wordt gecreëerd door alle scores per methode bij elkaar op te tellen en te delen door het aantal variabelen. Indien er bij een variabele "onbekend" wordt ingevuld, krijgt deze waardering 0. Deze score wordt dan niet meegenomen in de berekening van het gemiddelde. De waardering van de toepasbaarheid ligt tussen de waardes 2 en -2, of heeft score "x". Hoe hoger de waarde, hoe beter de methode toepasbaar is. Indien de waarde "x" verschijnt is de methode niet toepasbaar op de betreffende bouwlocatie.

Reset	Werkwijzer	CSM/MIP	Diepwanden	Jetgrouten	Stalen damwanden (trillen)	Stalen damwanden (drukken)	Stalen damwanden (heven)
	Waardering toepasbaarheid	1,77	x	1,92	1,85	x	1,85

Figuur 8 Waardering toepasbaarheid van de methoden op de bouwlocatie

In het voorbeeld van figuur 8 hebben jetgroutwanden de hoogste waardering, maar de selectie van de best toepasbare bouwkuipegrenzing hangt naast de waardering van de toepasbaarheid ook af van de productietijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen. Hierdoor kan men uiteindelijk beslissen om niet te kiezen voor de methode met de hoogste score.

4.2 Deel 2: Tijd

Bij dit onderdeel zal de benodigde tijd voor het realiseren van de bouwkuip berekend worden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de aanvoer van het materieel, de afvoer van het materieel en de productie per werkdag, uitgedrukt in m² wandoppervlak.

Bij de berekening van de benodigde tijd zijn de aan- en afvoer in dagen bij elkaar opgeteld en het wandoppervlak gedeeld door de productie per werkdag. De gegevens die benodigd zijn voor het berekenen van het wandoppervlak zijn van de reeds ingevulde toets-variabele uitvoering/dimensionering gebruikt.

Voor meer uitleg over het correct invullen van de gegevens van de bouwlocatie in de Tool Bouwkuipselectie kan worden geklikt op de onderstreepte tekst: "Tijd".

Reset	Werkwijzer	CSM/MIP	Diepewanden	Jetgouten	Stalen damwanden (trillen)	Stalen damwanden (drukken)	Stalen damwanden (heien)
Tijd							
Aanvoer materiaal en materieel (in dagen)		1	1	1	1	1	1
Afvoer materiaal en materieel (in dagen)		1	1	1	1	1	1
Productie per werkdag (in m ² wandoppervlak)		150	150	150	275	230	250
Wandoppervlak	216 m ²						
Benodigd aantal dagen (excl. ontgraven en aanbrengen stempeling)		3,4	3,4	3,4	2,8	2,9	2,9

Figuur 9 Tijd

Bij de tijds aanduiding dient er rekening gehouden te worden met het feit dat dit een indicatie is en zeer globaal genomen is. De exacte productiesnelheid is afhankelijk van de bodemopbouw, bereikbaarheid en vrije werkruimte.

4.3 Deel 3: Kosten

In het onderdeel kosten worden de financiële aspecten van de bouwkuipbegrenzings beschreven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de eenmalige kosten en de productiekosten per m².

Onder de eenmalige kosten vallen onder andere de keuring van de machines, inrichting van de bouwplaats en de aan- en afvoer kosten.

De productiekosten per m² zijn de kosten voor het aanbrengen van de bouwkuipbegrenzing per m².

Deze kosten zijn zeer globaal genomen.

Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat het een indicatie is en niet de exacte kosten zijn.

Voor meer uitleg over het correct invullen van de gegevens van de bouwlocatie in de Tool Bouwkuipselectie kan worden geklikt op de onderstreepte tekst: "Kosten".

Reset	Werkwijzer	CSM/MIP	Diepewanden	Jetgouten	Stalen damwanden (trillen)	Stalen damwanden (drukken)	Stalen damwanden (heien)
Kosten							
Eenmalige kosten (in euro)		11.000,00	150.000,00	120.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00
Wandoppervlak	216 m ²						
Productiekosten per m ² (in euro)		Tijdelijk			60,00	120,00	70,00
		Definitief	175,00	1400,00	125,00	250,00	150,00
Totale bouwkuipkosten in I (excl. ontgraven en aanbrengen)		Tijdelijk			16.960,00	29.920,00	19.120,00
		Definitief	27.200,00	236.400,00	31.000,00	58.000,00	36.400,00

Figuur 10 Kosten

4.4 Deel 4: Overzicht van de bouwkuipbegrenzings met de risico's en voor- en nadelen

In het overzicht zoals gegeven in figuur 11 staan de aspecten weergegeven waarop de selectie van een bouwkuipbegrenzing kan worden gebaseerd. Hierin staat de waardering voor de toepasbaarheid, de benodigde tijd, de productiekosten, de voor- en nadelen en de risico's. Daarnaast staan er

algemene risico's beschreven. De risico's en voor- en nadelen kunnen worden bekeken door te klikken op de doorverwijzingen.

Doordat de aspecten waarop de selectie van een bouwkuipmethode wordt gebaseerd overzichtelijk in een overzicht zijn verwerkt, kan door de gebruiker op een snelle manier een afweging worden gemaakt tussen de verschillende methoden.

Uitleg over het overzicht kan worden teruggevonden door te klikken op de onderstreepte tekst overzicht.

In bijlagerapport 2 "Pilotproject 'prototype Nereda' Utrecht" is een pilotproject uitgevoerd. Deze pilot is uitgevoerd om de werking van de Tool Bouwkuipselectie te controleren. In deze pilot zijn de gegevens van een bouwlocatie van een project in Utrecht stapsgewijs ingevuld. Hierdoor wordt de werkwijze toegelicht en het functioneren gecontroleerd. Indien de uitkomst van de Tool Bouwkuipselectie dezelfde bouwkuipbegrenzing naar voren draagt als de daadwerkelijk geselecteerde bouwkuipbegrenzing, is de werking van de Tool Bouwkuipselectie gecontroleerd.

Om een voorbeeld van een selectie van een bouwkuipbegrenzing te geven wordt op basis van het overzicht van de pilot een conclusie getrokken.

Overzicht		LSPWMP		Diepwanden		Jetgrouten		Stalen damwanden (trillen)		Stalen damwanden (heien)		Stalen damwanden (trillen)	
Waardering toepasbaarheid		1,77	x	x	1,92	1,85	x	x	1,85	x	x	1,85	x
Tijd (in dagen)		3,4	3,4	3,4	3,4	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Kosten (in euro's)		Tijdelijk	Definitief	Tijdelijk	Definitief	Tijdelijk	Definitief	Tijdelijk	Definitief	Tijdelijk	Definitief	Tijdelijk	Definitief
		I 27.200,00	I 236.400,00	I 138.800,00	I 138.800,00	I 16.960,00	I 31.000,00	I 29.920,00	I 19.120,00	I 19.120,00	I 36.400,00	I 19.120,00	I 36.400,00
		Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen	Voordelen
		Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen	Nadelen
		Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's	Risico's
		Algemene Risico's											

Figuur 11 Overzichtselectie aspecten van het pilotproject

Conclusie

Op basis van het overzicht dat is gegeven in figuur 11 kan de best toepasbare bouwkuipbegrenzing worden geselecteerd. Hierin staan de aspecten weergegeven waarop de selectie van een bouwkuipbegrenzing kan worden gebaseerd. Uit het overzicht kan in eerste instantie worden geconcludeerd dat de methoden diepwanden en het drukken van stalen damwanden afvallen. Dit komt vanwege de "x" bij de waardering toepasbaarheid.

Als men kijkt naar de waardering toepasbaarheid kan worden gesteld dat jetgrouten het hoogste scoort, gevolgd door het trillen en heien van stalen damwanden. Als men echter de productiekosten vergelijkt van jetgrouten en het trillen of heien van stalen damwanden valt op dat de kosten van jetgrouten vele malen hoger zijn. Daarnaast zijn de voordelen, nadelen en de risico's in deze project-specifieke locatie nagenoeg gelijk.

Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de hogere waardering toepasbaarheid niet opweegt tegen het grote prijsverschil en daardoor de methode jetgrouten afvalt.

Als men het trillen en heien van stalen wanden met elkaar vergelijkt ziet men dat de methoden dezelfde waardering toepasbaarheid hebben. Het trillen van stalen damwanden neemt echter minder tijd in beslag, is goedkoper en heeft als voordeel dat het nauwkeuriger is en minder overlast met zich meebrengt. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat het heien van stalen damwanden afvalt.

Als laatste worden de methoden CSM/MIP wanden en het trillen van stalen damwanden vergeleken. Als men kijkt naar de waardering toepasbaarheid kan worden gesteld dat het trillen van stalen damwanden hoger scoort dan het toepassen van CSM/MIP wanden. Daarnaast behoeft het trillen van stalen damwanden minder productietijd. Het toepassen van CSM/MIP wanden is echter goedkoper dan het trillen van stalen damwanden.

Gesteld kan worden dat het geringe prijsverschil niet opweegt tegen de hogere waardering toepasbaarheid en de kortere productietijd. Hieruit volgt dat de best toepasbare bouwkuipbegrenzing voor het pilotproject is het trillen van stalen damwanden.

Geconcludeerd kan worden dat het trillen van stalen damwanden de best toepasbare bouwkuipbegrenzing is voor het pilotproject. Hierbij is rekening gehouden met de project-specifieke variabelen bodemopbouw, hoogte grondwaterstand, uitvoering/dimensionering, duur (tijdelijk/definitief), omgeving en de daarbij horende productietijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen.

De keuze voor het trillen van stalen damwanden komt overeen met de daadwerkelijk gekozen bouwkuipbegrenzing, waardoor de werking van de Tool bouwkuipbegrenzing is gecontroleerd.

4.5 Deel 5: Opbarstgevaar

Bij het realiseren van bouwkuipen dient met altijd rekening te houden met opbarstgevaar. Het opbarsten van een bouwkuip kan grote nadelige gevolgen hebben. Een voorbeeld hiervan is dat de bouwput vol water kan komen te staan. Door het invullen van de project-specifieke gegevens wordt aangegeven of er opbarstgevaar aanwezig is. In dit rapport wordt uitgegaan dat er een natuurlijke afsluitende laag aanwezig is. Voor meer uitleg over het correct invullen van de gegevens van de bouwlocatie in de Tool Bouwkuipselectie kan worden geklikt op de onderstreepte tekst: "Opbarstgevaar".

Opbarstgevaar				
Invoer	Grondwaterstand	0	m-maaiveld	
	Diepte onderkant afsluitende laag	0	m-maaiveld	
	Afsluitende laag		Soortelijke gewicht Veiligheidsf. 1.05	Gronddruk bij veiligheid dsf.
	Grondsoort	Onbekend	-Y	0
	Laagdikte	(leeg)	-Y	0
	Grondsoort	Onbekend	-Y	0
	Laagdikte	(leeg)	-Y	0
	Grondsoort	Onbekend	-Y	0
	Laagdikte	(leeg)	-Y	0
	Gegevens	Stijghoogte	0	m
Totale gronddruk		0	kN/m²	
Waterdruk		10	kN/m²	
Totale waterdruk		0	kN/m²	
Gronddruk-Waterdruk		0	kN/m²	
Conclusie: Geen opbarstgevaar				

Figuur 12 Opbarstgevaar

Om te berekenen of er sprake is van opbarstgevaar dienen de project-specifieke gegevens ingevuld te worden.

- Grondwaterstand:
Bij grondwaterstand dient de hoogte van de grondwaterspiegel in meters-maaiveld ingevoerd te worden.
- Diepte onderkant afsluitende laag:
Hierbij dient de diepte van de afsluitende laag te worden ingevoerd. Dit kan zowel de laag zijn waarin waterglas is geïnjecteerd, het onderwaterbeton of een natuurlijke afsluitende laag.
- Afsluitende laag:
Hierin dienen de gegevens van de afsluitende laag ingevoerd te worden.

Nadat de gegevens zijn ingevoerd verschijnt bij “Conclusie” of er sprake is van opbarstgevaar of niet. Indien er geen sprake is van opbarstgevaar dient er niet verder te worden gegaan. Indien er sprake is van opbarstgevaar dient er gekozen te worden voor een horizontale bouwkuipbegrenzing.

4.6 Deel 6: Horizontale bouwkuipbegrenzing

Nadat uit de tool is gebleken of er sprake is op opbarstgevaar zal er een horizontale bouwkuipbegrenzing moeten worden toegepast. Deze horizontale bouwkuipbegrenzing bestaat uit onderwaterbeton of waterglasinjectie.

Door het invullen van de bodemopbouw wordt bepaald of het mogelijk is om de verschillende methodes toe te passen. De grondsoort waarin, in het geval van waterglasinjectie, of de grondsoort waarop, in het geval van onderwaterbeton, dient hierbij te worden ingevuld. Uitleg over de horizontale bouwkuipbegrenzing kan worden teruggevonden door te klikken op onderstreepte tekst “horizontale bouwkuipbegrenzing”.

Horizontale bouwkuipbegrenzing		
Grondsoort onder	Onbekend	
Gegevens onderwaterbeton		
Toepasbaarheid	Toepasbaar	
Horizontaal oppervlak	320	m²
Volumegewicht onderwaterbeton	22	kN/m³
Dikte onderwaterbeton	0,7	m
hoeveelheid onderwaterbeton	213,0909091	m³
Productiekosten onderwaterbeton	100	€/m³
Aanbrengkosten onderwaterbeton (Incl. leveren en aanbrengen excl. ontgraven)	1 21.309,09	
Gegevens Glasinjectie		
Toepasbaarheid	Niet toepasbaar	
Horizontaal oppervlak	320	m²
Productiekosten glasinjectie	100	€/m³
glasinjectie (Incl. leveren en aanbrengen)	1 32.000,00	

Figuur 13 Horizontale bouwkuipbegrenzing

Door het invullen van de grondsoort van de ondergrond wordt aangegeven of de methode toepasbaar is. Voor onderwaterbeton wordt de dikte en de benodigde hoeveelheid berekend. Daarnaast worden de kosten van de methodes weergegeven.

4.7 Deel 7: Overzicht horizontale bouwkuipbegrenzing met de risico's en voor- en nadelen

In het overzicht staan de aspecten weergegeven waarop de selectie van een horizontale bouwkuipbegrenzing kan worden gebaseerd. Hierin staat of het mogelijk is de methode toe te passen, de productiekosten, de voor- en nadelen en de risico's. De risico's en voor- en nadelen kunnen worden bekeken door te klikken op de doorverwijzingen.

Door dit overzicht kan door de gebruiker op een snelle manier een afweging worden gemaakt tussen de verschillende methoden. Mede omdat de aspecten waarop de selectie van een horizontale bouwkuipbegrenzing wordt gebaseerd overzichtelijk in één overzicht zijn verwerkt. Uitleg over het overzicht kan worden teruggevonden door te klikken op de onderstreepte tekst: "Overzicht".

In bijlagerapport 2 "Pilotproject 'prototype Nereda' Utrecht" is een pilotproject uitgevoerd. Deze pilot is uitgevoerd om de werking van de Tool Bouwkuipselectie te controleren.

In deze pilot zijn de gegevens van een bouwlocatie van een project in Utrecht stapsgewijs ingevuld. Hierdoor wordt de werkwijze toegelicht en het functioneren gecontroleerd. Indien de uitkomst van de Tool Bouwkuipselectie dezelfde horizontale bouwkuipbegrenzing naar voren draagt als de daadwerkelijk geselecteerde horizontale bouwkuipbegrenzing, is de werking van de Tool Bouwkuipselectie gecontroleerd.

Om een voorbeeld van een selectie van een bouwkuipbegrenzing te geven wordt op basis van het overzicht van de pilot een conclusie getrokken.

Overzicht		
	Onderwaterbeton	Glasinjectie
Toepasbaarheid	Toepasbaar	Toepasbaar
Aanbrengkosten (Incl. leveren en aanbrengen excl. ontgraven)	1 21.309,09	1 32.000,00
	Voordelen	Voordelen
	Nadelen	Nadelen
	Risico's	Risico's

Figuur 14 Overzicht horizontale bouwkuipbegrenzing

Conclusie

Op basis van het overzicht dat is gegeven in figuur 14 kan de "meest geschikte" horizontale bouwkuipbegrenzing worden geselecteerd. Hierin staan de aspecten weergegeven waarop de selectie kan worden gebaseerd. Uit het overzicht kan worden geconcludeerd dat beide methodes toepasbaar zijn.

De kosten van de methodes verschillen van elkaar. Op de locatie is geen gevaar voor opbarsten omdat er geen afsluitende laag aanwezig is.

Om het mogelijk te maken om de bouwkuip in den droge te ontgraven dient er horizontale bouwkuipbegrenzing toegepast te worden.

Aangezien onderwaterbeton na 28 dagen is uitgehard, is er gekozen voor waterglasinjectie.

De methode is duurder, maar omdat er geen onderwaterbeton maar waterglasinjectie wordt toegepast, zal het werk niet stagneren. Dit bespaard kosten waardoor uiteindelijk waterglasinjectie de goedkoopste methode is.

4.8 Aandachtspunten gebruik “Tool Bouwkuipselectie”

- Bij het gebruik van de “Tool Bouwkuipselectie” dient er rekening mee te worden gehouden dat het een model betreft. Hierdoor kan het als hulpmiddel worden gebruikt, maar dient de gebruiker de selectie niet volledig af te laten hangen van het resultaat van de “Tool bouwkuipselectie”.
- Bij het gebruik van de “Tool Bouwkuipselectie” dient er rekening te worden gehouden met het feit dat voor de bepaling van de benodigde tijd en productiekosten standaard waarden zijn aangenomen. Deze waarden zijn aangenomen in overleg met experts van gespecialiseerde bedrijven. De daadwerkelijk benodigde productietijd en kosten zijn project-specifiek.
- Indien het niet mogelijk is een bepaalde bouwkuipbegrenzing toe te passen kan er gebruik worden gemaakt van hulpmiddelen om de bouwkuipbegrenzing alsnog aan te brengen. Deze oplossingen zijn echter project-specifiek. Vanwege de complexiteit van deze specialistische oplossingen zijn deze niet opgenomen in de “Tool Bouwkuipselectie”.

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Conclusie

In opdracht van GMB is een programma ontwikkeld dat als hulpmiddel gebruikt kan worden om snel en eenvoudig een bouwkuipbegrenzing te selecteren.

Aan de hand van deelvragen is een antwoord gevonden op de hoofdvraag.

De hoofdvraag luidt als volgt:

“Welke afwegingssystematiek kan gebruikt worden voor het selecteren van de meest geschikte bouwkuipbegrenzing, rekening houdend met de variabelen bodemopbouw, grondwater, uitvoering/dimensionering, duur en omgeving en de daarbij behorende productietijd, productiekosten, risico's en voor- en nadelen?”

Door beantwoording van de deelvragen is antwoord gevonden op de hoofdvraag.

Hieronder volgt een conclusie per deelvraag.

“Welke bouwkuipbegrenzingsen worden in het onderzoek meegenomen?”

Als eerste is een selectie gemaakt welke bouwkuipbegrenzingsen er onderzocht dienen te worden.

De volgende bouwkuipbegrenzingsen zijn onderzocht:

- Stalen damwanden (trillen)
- Stalen damwanden (heien)
- Stalen damwanden (drukken)
- CSM/MIP
- Diepwanden
- Jetgrouten

Deze selectie is gemaakt op basis van overleg met dhr. Bas Stolte van GMB Civiel. Deze selectie is gemaakt om de afwegingssystematiek zo goed mogelijk aan te laten sluiten op de wensen van GMB Civiel.

“Wat zijn de toepasbaarheidsgrenzen van de onderzochte bouwkuipbegrenzingsen met betrekking tot onderstaande toetsvariabelen”:

- Bodemopbouw
- Hoogte grondwaterstand
- Uitvoering/dimensionering
- Duur (definitief/tijdelijk)
- Omgeving

Door beantwoording van deze deelvraag zijn de grenzen duidelijk geworden waarbinnen de bouwkuipbegrenzingsen per toetsvariabele kunnen worden toegepast. De deelvraag is beantwoord door middel van interviews met experts van gespecialiseerde bedrijven en informatie van zowel internet als informatie uit literatuur.

Deze toepasbaarheidsgrenzen zijn verwerkt en opgenomen in databases in *Microsoft office Excel 2007*. Deze databases vormen de kern waarop de Tool Bouwkuipselectie is gebaseerd.

“Wat zijn per onderzochte bouwkuipbegrenzing”:

- *De benodigde productietijd*
- *De benodigde productiekosten*
- *De voor- en nadelen*
- *De risico's*

Door beantwoording van deze deelvraag zijn de productiekosten, productietijd, risico's en voor- en nadelen verkregen en verwerkt in database in *Microsoft office Excel 2007*. Deze deelvraag is beantwoord door middel van interviews met experts van gespecialiseerde bedrijven en informatie van zowel internet als informatie uit literatuur¹⁸.

“Is er bij de realisatie van de bouwkuipbegrenzing gevaar voor opbarsten?”

Door invulling van de gegevens van de projectspecifieke locatie wordt er door de Tool Bouwkuipselectie berekend of er sprake is van opbarstgevaar.

“Hoe worden de toepasbaarheidsgrenzen geclassificeerd en gewogen?”

Door middel van gesprekken met experts van gespecialiseerde bedrijven zijn de toepasbaarheidsgrenzen opgesteld. Op basis van deze toepasbaarheidsgrenzen zijn waarderingen gegeven. Deze waarderingen zijn gebaseerd op expert judgement.

Na afronding van het onderzoek is een programma ontwikkeld dat als afwegingssysteem gebruikt kan worden om snel en eenvoudig een bouwkuipbegrenzing te selecteren. Dit programma wordt “Tool Bouwkuipselectie” genoemd.

De “ Tool bouwkuipselectie” is gebaseerd op toepasbaarheidsgrenzen. Deze grenzen zijn tot stand gekomen door middel van gesprekken met experts van gespecialiseerde bedrijven.

Na invulling van de gegevens van de bouwlocatie in de “Tool Bouwkuipselectie” wordt er een overzicht gegeven. In het overzicht staan de aspecten weergegeven waarop de selectie van een bouwkuipbegrenzing kan worden gebaseerd. Hierin staan de waarderingen voor de toepasbaarheid, de benodigde tijd, de productiekosten, de voor- en nadelen en de risico's. Op basis van het overzicht kan door de gebruiker een selectie worden gemaakt voor de meest geschikte bouwkuipbegrenzing

Om de werking van de Tool Bouwkuipselectie te controleren is er een pilotproject uitgevoerd. Dit project is terug te vinden in bijlage rapport 2 “Pilotproject ‘prototype Nereda’ Utrecht”.

De Tool Bouwkuipselectie geeft dezelfde uitkomst als de daadwerkelijk geselecteerde bouwkuipbegrenzing. Hierdoor is de werking van de Tool Bouwkuipselectie gecontroleerd.

¹⁸ CUR-Publicatie 166, (oktober 2005). *Damwandconstructies*. Gouda: Stichting CUR.

Aanbevelingen

De vastgestelde waarderingen die zichtbaar worden na invulling van de variabelen zijn opgesteld door middel van gesprekken met experts van gespecialiseerde bedrijven. Vanwege het feit dat er ten tijde van het opstellen van dit rapport te weinig informatie beschikbaar was met betrekking tot de waarderingen van de toepasbaarheidsgrenzen, is nader onderzoek gewenst.

BIJLAGEN

Bijlagerapport 1, Introductie en werkwijzer per bouwkuipbegrenzing

Bijlagerapport 2, Pilotproject “prototype Nereda” Utrecht

Bijlagerapport 3, Plan van aanpak afstudeeropdracht

Bijlage 4, “Tool Bouwkuipselectie”

BRONVERMELDING

Stalen damwanden

Internetsites

ARCELORMITTAL. (sd). *U-profielen*. Opgeroepen op maart 5, 2012, van ArcelorMittal:
http://www.arcelorprojects.nl/projects/europe/foundationsolutions/NL/sheet_piling/U_sections.htm
ARCELORMITTAL. (sd). *Z-profielen*. Opgeroepen op maart 5, 2012, van ArcelorMittal:
http://www.arcelorprojects.nl/projects/europe/foundationsolutions/NL/sheet_piling/AZ_sections.htm
HOFFMANN GROEP. (sd). *Damwand trillen*. Opgeroepen op maart 6, 2012, van Hoffmann groep:
<http://www.hoffmanngroep.com/C77-trillen.html>
HOFFMANN GROEP. (sd). *Damwand trillingsvrij trillen*. Opgeroepen op maart 6, 2012, van Hoffmann groep:
<http://www.hoffmanngroep.com/C78-Trillingsvrij.html>
INFRA TRADING. (sd). *Stalen damwanden*. Opgeroepen op maart 5, 2012, van Infra Trading:
<http://www.infratrading/stalen-damwanden.html>
INTRABV. (sd). *Koudgewalst- en koudgevoemd damwand*. Opgeroepen op maart 5, 2012, van Intrabv:
<http://www.intrabv.com/damwanden>
INTRABV. (sd). *Warmgewalste damwand*. Opgeroepen op maart 5, 2012, van Intrabv:
<http://www.intrabv.com/damwanden>
VAN 'T HEK. (sd). *Stalen damwand*. Opgeroepen op maart 6, 2012, van van 't hek.

Boeken

CUR-Publicatie 166, (oktober 2005). *Damwandconstructies*. Gouda: Stichting CUR.

Artikelen

Vrouwenvelder, A. (2003). Schade aan bouwwerken door trillingen. *sbr*, 23-28.

Interviews

Kok, O. d. (2012, april 2). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden & CSM. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)
Tol, A.-J. (2012, maart 19). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

Jetgrouten

Internetsites

FOLKER STAAL FUNDERINGEN. (sd). *Jetgrouten*. Opgeroepen op april 11, 2012, van Folker staal funderingen:
<http://www.vsf.nl/constructie.php?id=82>
SOIL-ID. (sd). *Jetgrouting*. Opgeroepen op april 11, 2012, van Soil-id, bouwkundige bodeminjecties:
<http://www.soilid.nl/overige-technieken/jetgrouting>

Artikelen

Stoel, A. v. (november, 2006). Grouting bij funderingen. 17-19.

Interviews

Looij, R. (2012, maart 28). Bouwkuipbegrenzing jetgrouten. (M. Kerckhoffs, & F. roos, Interviewers)

Diepwanden

Internetsites

BAUER. (sd). *Diepwanden*. Opgeroepen op april 11, 2012, van Bauer funderingstechniek:
<http://www.bauernl.nl/nl/referenties/wanden/diepwand/>
FOLKER STAAL FUNDERINGEN. (sd). *Diepwanden*. Opgeroepen op april 11, 2012, van Folker staal funderingen:
<http://www.vsf.nl/constructie.php?id=98>

Boeken

CUR-Richtlijn 231, (2010). *Handboek diepwanden- ontwerp en uitvoering*. Gouda: Stichting CURNET.

Interviews

Waalwijk, P. (2012, april 16). Bouwkuipbegrenzing diepwanden. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

CSM/MIP wanden

Internetsites

BAUER. (sd). *Mix in place*. Opgeroepen op april 4, 2012, van Bauer funderingstechniek:

<http://www.bauernl.nl/nl/referenties/mixedinplace/>

HOFFMANN GROEP. (sd). *Soil-mix*. Opgeroepen op april 4, 2012, van Hoffmann groep:

<http://www.hoffmanngroep.com/C80-Cutter-Soilmix.html>

SOETAERT. (sd). *Mix in place*. Opgeroepen op april 4, 2012, van Soetaert:

<http://www.soetaert.be/nl/symposium.htm>

Interviews

Kok, O. d. (2012, april 2). Bouwkuipbegrenzing stalen damwanden & CSM. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

Meer, J. v. (2012, april 3). Bouwkuipbegrenzing MIP. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

Onderwaterbeton

Internetsites

FABER. (sd). *Onderwaterbeton*. Opgeroepen op april 16, 2012, van Faber betonpompen:

<http://www.faberonderwaterbeton.nl/onderwaterbeton-introductie.html>

OTN. (sd). *Onderwaterbeton*. Opgeroepen op april 16, 2012, van OTN :

<http://www.struktonciviel.com/sites/otn/nl-nl/Specialismen/Pages/Onderwaterbeton.aspx>

Interviews

westerlaak, E. v. (2012, april 10). Onderwaterbeton. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

Waterglasinjectie

Internetsites

SOIL-ID. (sd). *Constructieve waterglasinjecties*. Opgeroepen op april 17, 2012, van Soil-id, bouwkundige bodeminjecties: <http://www.soilid.nl/constructieve-bodeminjecties/constructieve-waterglasinjecties>

Algemeen

Interviews

Haverkort, H. (2012, maart 20). Kosten bouwkuipbegrenzings. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)

Kuiper, K. (2012, maart 13). Verschillende soorten bouwkuipbegrenzings. (M. Kerckhoffs, & F. Roos, Interviewers)