

Uitvoering van een bouwput met SCB-wanden in het centrum van Tilburg

Ing. R.J. Schippers
VWS Geotechniek b.v.

SAMENVATTING

Bij de aanleg van een ondergrondse parkeergarage in Tilburg zijn Spanwanden® van 18 m lang afgehangen in een cementbentonietwand van 54 m diep. Dit tweede artikel over dit project behandelt de uitvoering.

De stabiliteitseigenschappen van de sleuf waren maatgevend voor de logistiek. Vanwege de beperkte dikte van 0,8 m is veel aandacht besteed aan de verticaliteit ten einde een goede aansluiting van de panelen te waarborgen. Voor aanvang is uitgebreid onderzoek gedaan naar de eigenschappen van het cementbentonietmengsel, zoals het vloeigedrag, de verhardingssnelheid en de eindsterkte. De hechting van het mengsel aan de Spanwand® is apart onderzocht in verband met de verwijdering daarvan van de in het zicht komende binnenzijde van de wand.

INLEIDING

Ten behoeve van het project 'Herontwikkeling Pieter Vreedeplein' in Tilburg is voor het maken van de bouwput gekozen voor het afhangen van Spanwanden in een verse cementbentoniet sleuf (zie figuur 1). Dit samenstel van Spanwand® en cementbentoniet wordt in het vervolg SCB-wand genoemd. Bij de uitwerking van de varianten die voldeden aan de specifieke combinatie van randvoorwaarden in het voortraject, bleek dat de toepassing van een SCB-wand een technisch

en economisch interessante oplossing was. Door de cementbentonietwand een stuk langer te maken dan de Spanwand®, kon mooi gebruik worden gemaakt van de diep gelegen waterremmende kleilaag op NAP -38,0 m. Hierdoor werden dure tijdelijke voorzieningen, zoals bijvoorbeeld een onderwaterbetonvloer in combinatie met trekpalen of een waterremmende injectielaag overbodig. In het vorige nummer van Geotechniek werd de theoretische achtergrond van de toepassing van een SCB-wand besproken [Schippers,

2006]. In dit artikel deel wordt de uitvoeringstechnische kant belicht.

STABILITEIT VAN DE SLEUF

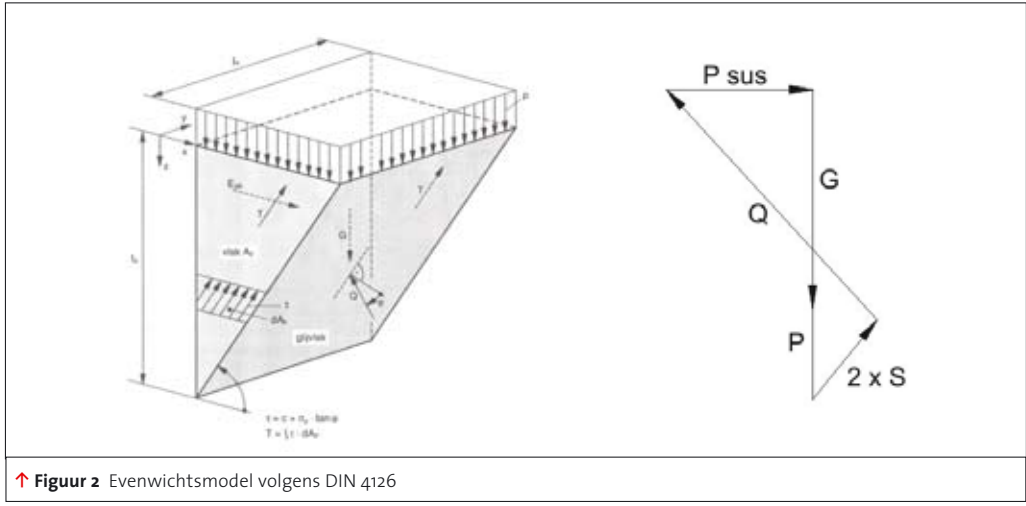
Het graven van een sleuf in de grond veroorzaakt altijd invloed op de omgeving. Er zijn twee redenen waarom een met steunvloestof gevulde sleuf niet instort. De eerste reden is dat er in de sleuf sprake is van overdruk, omdat de steunvloestof een hoger volumiek gewicht heeft dan het grondwater eromheen. De vloeistofspiegel in de sleuf wordt altijd hoger gehouden dan de grondwaterstand. De tweede reden is dat er in de ondergrond sprake is van spanningsspreiding (boogwerking) om de ontgraven sleuf heen.

Dit houdt automatisch in dat de invloed op de omgeving sterk afhankelijk is van het gewicht van de steunvloestof en de mate waarin boogwerking op kan treden. Naarmate de sleuf breder wordt, kan er steeds minder boogwerking optreden en neemt de stabiliteit van de sleuf af. Naarmate de sleufstabiliteit afneemt, nemen de vervormingen in de ondergrond toe, wat in dit geval ongewenst is. Om een minimale gronddeformatie te bereiken, moet de sleuf zo smal mogelijk blijven. Er is echter het spanningsveld met de uitvoering die, om efficiënt te kunnen werken, juist een zo groot mogelijke afstand tussen het graven en het plaatsen van de Spanwand® wenst.

In Nederland zijn geen normen beschikbaar



↑ **Figuur 1** Overzicht van de bouwplaats



wrijving langs de omtrek van de wig (achterzijde en zijvlakken) en de vloeistofdruk in de sleuf. De aandrijvende krachten bestaan uit het gewicht aan grond in de moot, eventueel verhoogd met externe belastingen op het maaiveld (verkeer, materieel, opslag, etc.) of belasting uit belendende gebouwen (zie figuur 2).

De norm schrijft voor dat een dergelijke evenwichtsbeschouwing stapsgewijs voor meerdere ontgravingsdieptes moet worden uitgevoerd. Ook moet de hellingshoek van de afschuivende wig worden gevarieerd, zodat de minimale veiligheid op iedere diepte wordt gevonden.

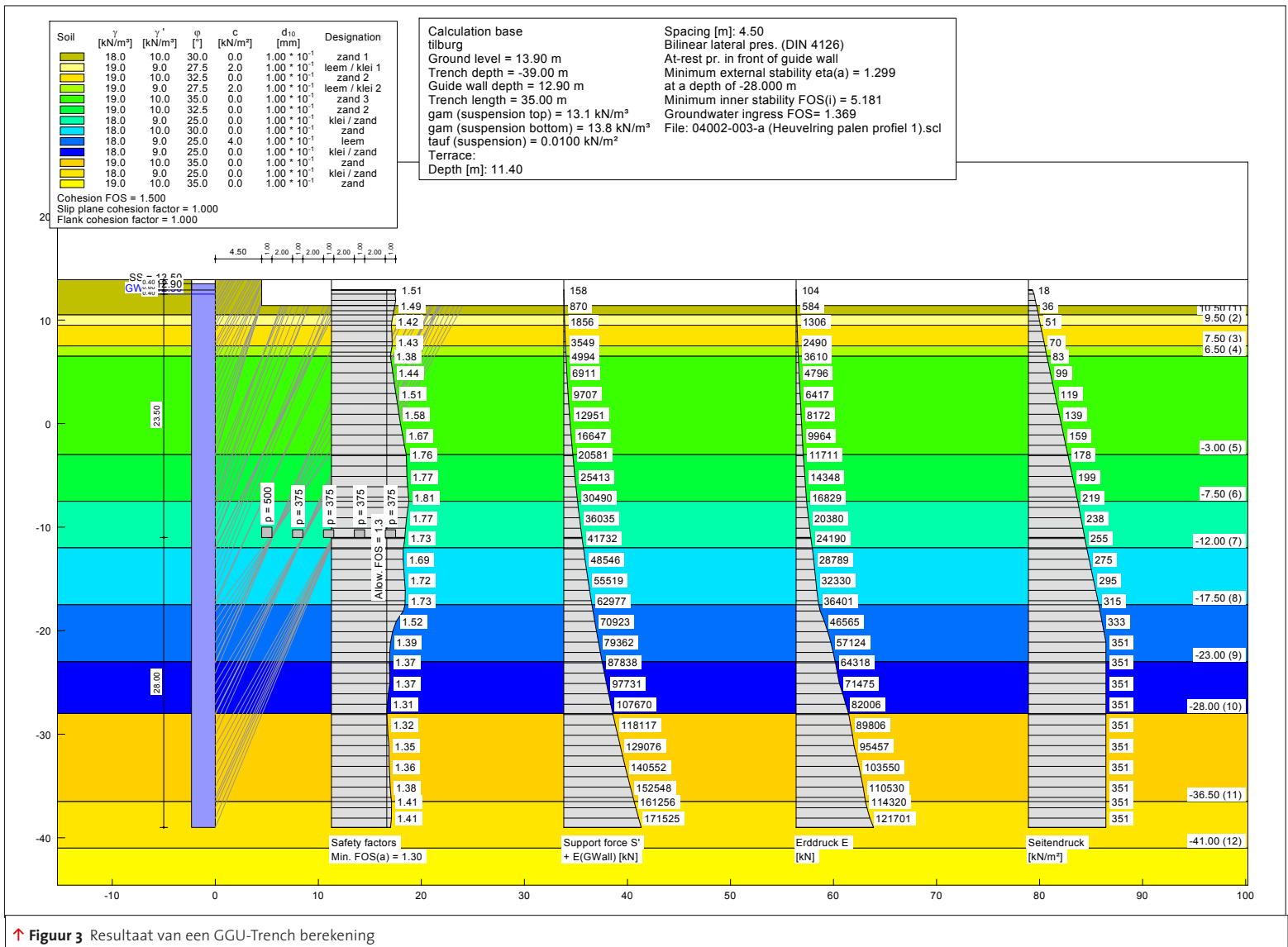
↑ **Figuur 2** Evenwichtsmodel volgens DIN 4126

waaraan de stabiliteit van een gegraven sleuf moet voldoen. Er wordt in Nederland dan ook altijd gebruik gemaakt van de Duitse norm DIN 4126. De stabiliteit wordt hierin gedefinieerd als de verhouding tussen de weerstandbiedende en de aandrijvende krachten. Hoewel

in de praktijk de bezwijkvorm in de ondergrond de vorm van een schelp heeft, is er voor gekozen om de bezwijkende grondmoot te schematiseren in de vorm van een wig die de sleuf in wil schuiven (zie figuur 2).

De weerstandbiedende krachten bestaan uit

Voor de berekening van de sleufstabiliteit is gebruik gemaakt van het programma GGU-Trench (zie figuur 3). Dit programma is volledig afgestemd op DIN 4126. De parameters die moeten worden ingevoerd, zijn eenvoudig: γ' , ϕ' en c' van de diverse lagen, de sleufbreedte



↑ **Figuur 3** Resultaat van een GGU-Trench berekening



↑ **Figuur 4** Het ontgraven van de sleuf en het afhangen van de Spanwand®

en diepte, het volumieke gewicht van de steunvloeistof, de grondwaterstand, het steunvloeistofniveau en tenslotte de locatie en grootte van eventuele externe belastingen. Omdat de afstand tot en de funderingswijze van de belastingen variëren, zijn meerdere berekeningen uitgevoerd. Aangezien niet alle informatie met betrekking tot de belastingen in detail beschikbaar was, is er in dit geval voor gekozen om gezamenlijk een aantal relevante doorsneden te definiëren en deze door te rekenen.

Voor het volumieke gewicht van het cementbentoniet mengsel is uitgegaan van een mengsel dat bestond uit 40 kg/m^3 bentoniet en 210 kg/m^3 cement. Het volumieke gewicht na menging kan als volgt worden bepaald: $210 \text{ kg cement} + 40 \text{ kg bentoniet}$ heeft een volume van $(210 / 2.950 + 40 / 2.450) = 0,088 \text{ m}^3$. Om 1 m^3 materiaal te krijgen, moet hier $(1,000 - 0,088) = 0,912 \text{ m}^3$ water bij worden gevoegd. Het geheel weegt na menging $210 + 40 + 912 = 1.162 \text{ kg/m}^3$. Gedurende het graven wordt het mengsel zwaarder, doordat er ten gevolge van het in- en uithijzen van de grijper zand in vermengd wordt. Omdat het zand onder invloed van de zwaartekracht uitzakt, zal er onderin de sleuf meer zand in het mengsel zitten dan bovenin. Op basis van ervaring is aangenomen dat er bovenin ca. 10 % en onderin ca. 15 % zand in het mengsel terecht komt door het graven. Het gewicht van het mengsel in de sleuf bedraagt bovenin $(0,10 \times 2.650) + (0,90 \times 1.162) = 1.311 \text{ kg/m}^3$ en onderin $(0,15 \times 2.650) + (0,85 \times 1.162) = 1.385 \text{ kg/m}^3$. De berekende doorsneden bestonden uit een

viertal maatgevende belastingschema's vanuit de belendingen. Aanvullend is de invloed van de aanwezigheid van het materieel bekeken. De berekeningen zijn zo uitgevoerd dat de sleuflengte bepaald is waarbij de theoretische veiligheid 1,3 bedroeg. Uit de berekeningen volgde in de meest ongunstige doorsnede theoretisch een toelaatbare sleuflengte van ca. 35,0 m.

Hoewel een dergelijke sleufbreedte in theorie toelaatbaar zou zijn geweest, is rekening gehouden met het sterk schematische karakter van het berekeningsmodel. In deze toepassing staat de sleuf ook relatief lang open, omdat de verhardingstijd zodanig moet worden gestuurd dat enerzijds de elementen tijdig kunnen worden geplaatst, maar dat het mengsel daarna niet al te lang meer vloeibaar blijft. Om deze redenen is voor het uitvoeren van een SCB-wand een verhoging van de veiligheid op de sleufstabiliteit noodzakelijk naar minimaal 1,5 in plaats van 1,3.

HET GRAVEN VAN DE SLEUF

Om de planning te kunnen halen, was de inzet van twee graafkranen noodzakelijk. In eerste instantie was er gepland om met twee graafkranen naast elkaar te werken en zou de wand in één richting rond gegraven worden. De weekproductie van een graafkraan bedroeg 20 m sleuftraject, zodat met twee kranen in een week 40 m sleufbreedte open zou worden gegraven, wat qua stabiliteit niet haalbaar was. Het graven was qua tijd echter maatgevend boven het afhangen van de Spanwanden.

Gezien de mogelijke onzekerheid ten aanzien van de verhardingstijd van het cementbentoniet mengsel (ondanks een uitgebreid geschiktheidsonderzoek vooraf, waarover later meer) en het inbouwen van enige reserve, is besloten om te werken met twee graaffronten in plaats van met één.

Dit hield in dat in principe niet meer dan 20 m sleuf open zou komen te staan. Onverwachte langere verhardingstijd zou dan niet direct tot stagnatie leiden. Bij onverwachte kortere verhardingstijd was de hoeveelheid Spanwand® die in korte tijd geplaatst moest worden qua hoeveelheid te overzien. Hoewel de keuze voor een tweede graaffront leidde tot een ingewikkelde logistiek op de bouwplaats, bood het incasseringsvermogen in de operatie (zie *figuur 4*).

Een belangrijk gegeven voor de bepaling van de graafvolgorde was dat er bij voorkeur maar één eind- of pasplank diende te worden gemaakt, omdat de Spanwanden geprefabriceerd op het werk komen. Door de kranen op enige afstand van elkaar te laten beginnen en ze eerst in dezelfde richting te laten werken, kon het eerste gedeelte Spanwand® worden afgehangen zonder passtuk. Hierna zijn beide kranen in tegengestelde richting rond gegaan, totdat ze elkaar uiteindelijk aan de andere zijde weer hebben ontmoet.

Gezien het feit dat de sleuf ca. 45,0 m diep is, bij een dikte van slechts 0,8 m, is veel aandacht besteed aan de verticaliteit en de nauwkeurigheid van het graven. Normaliter wordt



↑ **Figuur 5** Laboratoriumcontainer voor geschiktheidsonderzoek en kwaliteitscontrole

een nauwkeurigheid van 1% haalbaar geacht. Bij een ontgravingsdiepte van 45,0 m kan een paneel onderin 0,45 m verlopen zijn. Wanneer twee naastgelegen panelen beide een maximale scheefstand hebben, maar in tegengestelde richting, dan kan de maximale afwijking 0,9 m bedragen, zodat de panelen bij een dikte van 0,8 m in theorie niet meer op elkaar aansluiten.

In dit geval zijn beide kranen voorzien van een nauwkeurig plaatsbepalingssysteem, waarmee bij iedere hijsbeweging op intervallen van 0,5 m de positie van de grijper real-time wordt uitgelezen. Van de verzamelde gegevens wordt gedurende het graafproces een 3D-weergave van de sleuf ten opzichte van de theoretische positie in de cabine van de kraanmachinist weergegeven. Hiermee kon gedurende het graafproces worden gecontroleerd, of de gewenste nauwkeurigheid gehaald werd. Door de draaicycclus van de grijper te onderbreken (normaliter wordt na iedere hijsbeweging de grijper 180 graden gedraaid) kon enigszins worden bijgestuurd.

GESCHIKTHEIDSONDERZOEK CEMENT-BENTONIET MENGSEL

Voor aanvang van het werk is er in een laboratorium een uitgebreid vooronderzoek gedaan met diverse mengsels en samenstellingen. Voor het mengsel was een karakteristieke druksterkte vereist van 1,5 N/mm². Om deze karakteristieke sterkte te halen, moest de representatieve waarde minimaal 2,0 à 2,1 N/mm² bedragen. Het mengsel moest ook een



↑ **Figuur 6** Detail geleidingssysteem

relatief lange tijd (min. 5 dagen) vloeibaar blijven, maar bij voorkeur niet langer dan 10 dagen.

Er zijn verschillende mengsels aangemaakt met verschillende hoeveelheden bentoniet, cement en hulpstof. De proefopzet is in twee fasen verdeeld, te weten:

1. Bepaling van de rheologische eigenschappen (volumieke massa, Marsh viscositeit, filterverlies, cake dikte en vrij water) met diverse "blanco" mengsels en bepaling van het opstijvingsgedrag. Dit opstijvingsgedrag is door middel van vane-metingen in kaart gebracht. Aan de hand van de resultaten is bepaald met welke mengselsamenstelling het vervolgonderzoek zou worden uitgevoerd. De maatgevende criteria voor deze fase in vloeibare toestand zijn viscositeit, vertraging en uitzakking. Voor de verharde toestand is dit de druksterkte.
2. Na bepaling welke mengsels voldeden aan de rheologische eisen en het opstijvingsgedrag, is aan deze mengsels grond bijgevoegd welke ter plaatse is geboord. Ook van deze mengsels is het opstijvingsgedrag bepaald en zijn er monsters gemaakt waarvan na 56 dagen de druksterkte bepaald is.

Uiteindelijk is een mengsel toegepast dat per m³ bestond uit 40 kg bentoniet, 210 kg cement (CEM III/C32,5), 911 kg water en diverse hulpstoffen. Deze zijn toegevoegd om zowel op vloeigedrag als ook op vertraging van de verharding te kunnen sturen. De hoeveelheden hulpstof zijn in het werk regelmatig aangepast

aan de hand van de opstijvingsresultaten in de sleuf. De dosering van de hulpstoffen werd tijdens het werk in het laboratorium tweemaal per dag gecontroleerd (zie *figuur 5*).

Aanvullend is er nog een klein onderzoek geweest naar hulpmiddelen om het verwijderen van het cementbentoniet na het ontgraven van de bouwput aan de binnenzijde te bevorderen. Er zijn drie stukken Spanwand® horizontaal gelegd en gevuld met cementbentoniet. Op één stuk is een anti-graffiti middel aangebracht, op één stuk was bekistingsolie aangebracht en één stuk was onbehandeld. Het verharde cementbentoniet bleek het eenvoudigst af te steken van het onbehandelde stuk, zodat logischerwijs de Spanwanden onbehandeld zijn geplaatst.

HET PLAATSEN VAN DE ELEMENTEN

Hoewel de elementen zijn afgehangen in cementbentoniet, wat in principe al waterdichtheid garandeert, is veel aandacht besteed aan een goede onderlinge aansluiting van de elementen zelf. De Spanwanden zijn voorzien van een messing en groef, waartussen een rubberen voegprofiel aanwezig is die de aansluiting waterdicht maakt. In feite is er bij een SCB-wand dus sprake van een dubbele waterkering.

Omdat de elementen nogal een forse lengte hebben, is ervoor gekozen om in de kop twee schroefhulzen aan te laten brengen in de zwaartelijn van het profiel. In de schroefhul-

zen kunnen draadeinden worden geschroefd waar de hijsvoorzieningen aan bevestigd konden worden. Omdat de hijspunten zich in de zwaartelijns bevinden, hing het profiel daarvoor altijd verticaal.

Omdat er tijdens het inhijzen visueel weinig controle mogelijk is, is de onderzijde van de Spanwanden voorzien van een stalen geleidingsschoen met een V-vormige opening. Aan de andere zijde van de Spanwand werd een bout aangebracht, waarmee de planken naar elkaar toe werden geleid (zie figuur 6).

Het op de juiste hoogte afhangen werd gedaan door de draadeinden te voorzien van een stelplaat en een moer. Iedere plaat steunde af op een samengesteld dubbel U-profiel dat op zijn beurt op de prefab geleidebalken kon worden gelegd (zie figuur 7). Met behulp van een eenvoudig waterpastaestel kon vervolgens het profiel op exact de juiste hoogte worden afgehangen.

Vanaf dat moment diende er slechts te worden afgewacht tot de cementbentoniet voldoende verhard was, zodat de draadeinden en de U-profielen konden worden losgemaakt en de geleidebalken konden worden verwijderd.

HET RESULTAAT

Na het gereedkomen van de wand is de bemaling geïnstalleerd en getest. Het maximale debiet voor de tijdelijke verlaging van de waterstand binnen de bouwkuip bleef na de initiële ontwatering en inregeling beperkt tot ca. 50 m³/uur. Na het ontgraven van de bouwput bleek de waterdichtheid van de constructie zeer bevredigend. Het verwijderen van de cementbentoniet kon plaatsvinden, vrijwel zonder de Spanwanden te beschadigen. Er kan worden gesproken over een geslaagd project, waarbij de vooraf gestelde functionele doelen ten aanzien van de omgevingsbeïnvloeding zijn gehaald. Het uiteindelijke resultaat mag bovendien gezien worden (zie de figuren 8 en 9).

LITERATUUR

- [1] R.J. Schippers: Innovatief concept voor een bouwput in het centrum van Tilburg. Geotechniek, nr. 4, oktober 2006, p. 28-33



↑ Figuur 7 Detail afhangsysteem



↑ Figuur 8 Resultaat van de uitvoering van de SCB-wand



↑ Figuur 9 Aanzicht van de afgewerkte SCB-wand

Reacties op dit artikel kunnen tot 1 april 2007 naar de uitgever worden gestuurd