

Optimalisatie damwandconstructies bij leidingsleuven

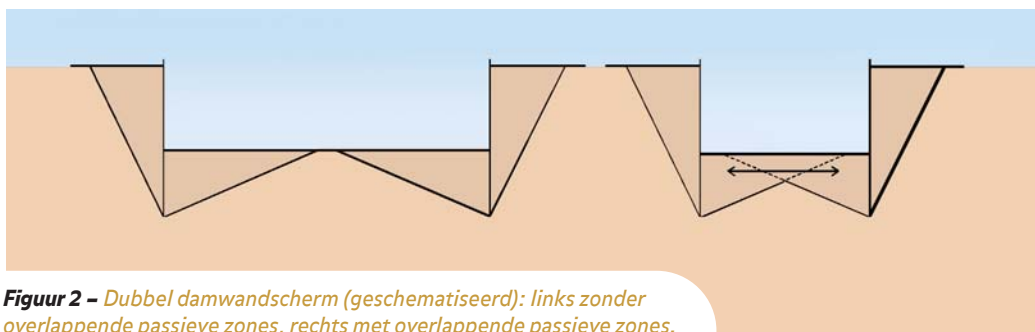
ir. Jaap F. Joosse M.P.T.
BT Geoconsult



ing. Bert Everts
TU Delft en ABT



Figuur 1 – Uitvoering smalle damwandsleuf, nu en vroeger.



Figuur 2 – Dubbel damwandscherm (geschematiseerd): links zonder overlappende passieve zones, rechts met overlappende passieve zones.

Aanleiding en inleiding

De aanleg van leidingen in gebieden met een intensief ruimtegebruik stijgt drastisch. Daarbij wordt vaak van damwandsleuven gebruik gemaakt. De voordelen van het toepassen van damwanden bij open sleuven zijn divers: het beperken van het ruimtegebruik, het realiseren van veilige taluds, het beperken van de zinking van nabijgelegen objecten en het beperken van de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving, zie *figuur 1*.

Nadelen van het toepassen van damwanden bij leidingaanleg zijn o.a. extra kosten en het ontstaan van zinkingen van (op staal gefundeerde) leidingen bij het verwijderen van die damwandplanken. Door het trillend trekken wordt de grond verdicht en treedt een zettingstrog op. De verschilzettingen,

die als gevolg van trillend trekken van damwandplanken over de leiding optreden, zijn zeer ongunstig en veelal ontoelaatbaar voor de leiding. Dat is vaak een reden voor het beperkt terugwinnen van de damwandplanken, met name bij leidingen met mof-spie verbindingen.

Damwandconstructies bij smalle damwandsleuven bestaan uit twee dichtbij en tegenover elkaar geplaatste damwandschermen. Dit heeft tot gevolg dat de passieve zones zich niet ongehinderd kunnen ontwikkelen. Er vindt overlap plaats, zie *figuur 2*.

Geotechnisch kader en vigerende richtlijnen

De vigerende richtlijnen voor het geotechnisch ontwerp van op buiging belaste damwandconstructies zijn EC7 hoofdstuk 9 (NEN 6740:2006

art. 12.4) en CUR 166 5e druk. Die bevatten onvoldoende ontwerpregels voor het ontwerpen van damwandconstructies, waarbij de ontwikkeling van de passieve zone gehinderd wordt (zoals het geval is bij overlappende passieve zones).

Ook in de nationale en internationale literatuur zijn voor die situaties geen methoden gevonden voor het bepalen van de maximaal te mobiliseren weerstand. Op voorhand kan men verwachten dat in die gevallen glijvlakken zich moeilijker kunnen ontwikkelen, hetgeen tot extra horizontale spanningen kan leiden. Verwacht mag worden dat het in rekening brengen daarvan kan leiden tot een economischer ontwerp en een beperking van de omgevingshinder.

Doel onderzoek

Om het effect van overlappende passieve zones bij op buiging belaste damwandconstructies te bepalen is een uitgebreide deskstudie uitgevoerd. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in het kader van de thesisstudie van de opleiding Pipeliner (www.pipeliner.nl) en is beoordeeld door prof. ir. A.F. van Tol, ing. H.J. Everts en dhr. R. van Hattem. Het doel van de studie was het creëren van een ontwerptool of het definiëren van een factor, die het effect van overlappende passieve zones in rekening brengt. Deze ontwerptool of factor moest geschikt zijn voor gebruik in eenvoudige rekenmodellen, zoals die in de geotechniek t.b.v. de leidingbranche veelal worden toegepast (verenmodellen, zoals bijvoorbeeld het computerprogramma MSheet).

Literatuur

De maximaal te mobiliseren passieve grondweerstand, $\sigma'_{p;h}$, wordt bepaald aan de hand van de initiële effectieve verticale spanning, $\sigma'_{v;0}$, en de horizontale passieve grondweerstandscoefficiënt¹, $K_{Y;p;h}$.

De in de praktijk, zowel nationaal alsook internationaal, meest voorkomende methoden voor het bepalen van $K_{p;h}$ of $K_{Y;p;h}$ zijn die volgens: Coulomb e.a. (veelal genoemd als Müller-Breslau), Kötter, Culmann, Streck en Ohde, Caquot-Kerisel

Samenvatting

In het kader van de thesisstudie *Pipeliner* heeft onderzoek plaatsgevonden naar het effect van overlappende passieve zones bij dicht tegenover elkaar gelegen damwandschermen toegepast bij smalle leidingsleuven. Bij geringe sleufbreedte wordt de ontwikkeling van de passieve zone gehinderd. Uit de studie blijkt dat er opspanning plaatsvindt. Het effect van de opspanning voor een damwandontwerp

is in een casus gekwantificeerd.

Voor de ontwerp praktijk betekent dit dat door het rekening houden met de extra weerstand van overlappende passieve zones, er een circa 40% economischer ontwerp gerealiseerd kan worden en de omgevingshinder fors gereduceerd zal kunnen worden.

en Sokolovski.

Opvallend is dat het in rekening brengen van de effectieve cohesie bij alle modellen (met uitzondering van de Eindige Elementen Modellen), gebaseerd is op een afleiding die door Bell (1915) is gegeven.

$$\sigma'_{p;h} = \sigma'_{p;h} \cdot K_{\sigma;p;h} + 2c' \cdot \sqrt{K_{c;p;h}}$$

De afleiding van Bell voor $K_{c;p;h}$ gaat uit van $\delta = 0$ en een recht glijvlak. Bell lijkt dit alleen gevalideerd te hebben met experimenten op klei. Veelal wordt aangenomen dat $K_{c;p;h} = K_{Y;p;h}$.

In *figuur 4* zijn de waarden voor $K_{Y;p;h}$ volgens diverse auteurs weergegeven, uitgaande van een wandwrijvingshoek $\delta = -2/3 \varphi'$. Hieruit blijkt een grote variatie voor $K_{Y;p;h}$.

Alle methoden gaan uit van een ongehinderde ontwikkeling van de passieve zone.

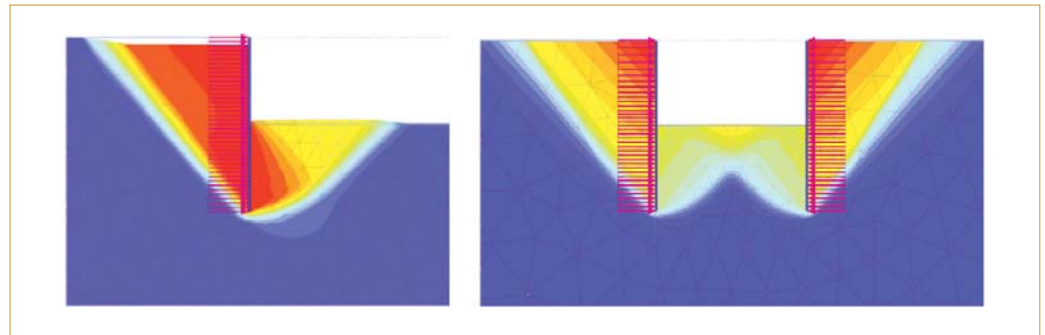
Modelopzet en verificatie

Het effect van overlappende passieve zones (gehinderde ontwikkeling schuifvlak) op $K_{Y;p;h}$ is geanalyseerd met behulp van een Eindige Elementen Model (EEM Plaxis). De modellering is geverifieerd. De belangrijkste modelkeuzes zijn: het grondmodel, de randafstand (actieve-, passieve- en onderzijde van de geometrie), de interfacevorm (met name rondom de teen van de damwand), de meshfijnheid en de verplaatsingsvorm van de wand (rotatie voorover, zuivere translatie en rotatie achterover).

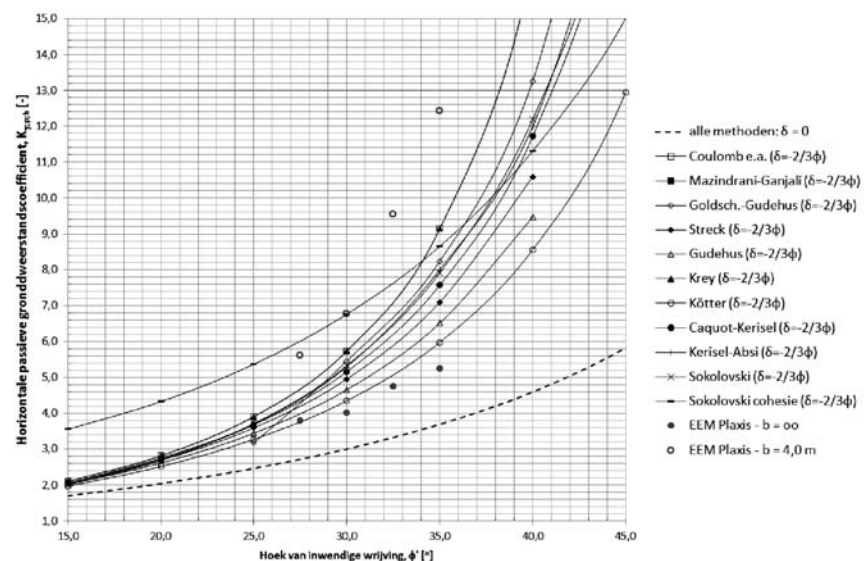
De belangrijkste beperking van het huidige model ten opzichte van de werkelijkheid is waarschijnlijk de aanname van een homogene grondopbouw.

Modelvalidatie

Met behulp van het opgezette en geverifieerde model zijn berekeningen uitgevoerd voor het valideren van het model voor de situatie van een ongehinderde ontwikkeling van de passieve zone (niet-overlappende passieve zone), omdat alleen hiervoor in de literatuur waarden bekend zijn. De waarden voor $K_{Y;p;h}$ die uit deze validatieberekeningen zijn afgeleid variëren van 3,19 tot



Figuur 3 – Ontwikkeling actieve en passieve zone bij: links enkel damwandscherm, en rechts dubbel damwandscherm (passieve zones nog niet geheel ontwikkeld).



Figuur 4 – Overzicht passieve grondweerstandscoefficienten, uitgaande van ongehinderde ontwikkeling van de passieve zone, volgens diverse auteurs ($\delta' = -2/3 \varphi'$).

4,39, afhankelijk van de verhouding tussen ontgravingdiepte en inbeddingslengte (bij $\varphi' = 30^\circ$ en $\delta' = 2/3 \varphi'$). Uit de literatuur bekende waarden voor dezelfde grondsoort zijn 4,66 en 4,83 voor respectievelijk de methode van Streck (1966) en Ohde (1938).

De waarden die zijn gevonden met het EEM liggen

duis iets lager dan de waarden die uit de literatuur bekend zijn. Een verklaring daarvoor kan zijn dat met het EEM het zwakste glijvlak wordt bepaald, terwijl Streck, Ohde en anderen weliswaar uitgaan van een gekromd, maar toch voorgeschreven glijvlak. De verschillen in waarden voor $K_{Y;p;h}$ tussen het EEM en de waarden volgens Streck en Ohde bedragen 5% à 35%. Dit is in lijn met de verschillen

die diverse methoden uit de literatuur geven, zie ook *figuur 4*.

De benodigde verplaatsing van de wand voor het bezwijken van de passieve zone, $u_{x;passief}$, komt overeen met de waarden die op basis van de literatuur worden verwacht, namelijk 2,5% à 5% van de inbeddingslengte.

Ook de vorm van het glijvlak op basis van het EEM komt overeen met de literatuur, zie *figuur 5*. In *figuur 7* is de gehinderde ontwikkeling van een dergelijk glijvlak weergegeven voor een model op basis van de halve sleufbreedte (symmetrie).

Definitie opspanningsfactor $X_{K_{Y;p;h}}$

Het effect van overlappende passieve zones is uit-

gedrukt in een opspanningsfactor, $X_{K_{p;h}}$. Deze opspanningsfactor drukt de verhouding uit tussen de waarde voor de passieve gronddrukcoëfficiënt in geval van gehinderde ontwikkeling van de passieve zone door een beperkte sleufbreedte b , $K_{Y;p;h;b}$, en de passieve gronddrukcoëfficiënt in geval van ongehinderde ontwikkeling van de passieve zone, $K_{Y;p;h;\infty}$. De gehanteerde definitie van de opspanningsfactor is dan in formulevorm:

$$X_{K_{Y;p;h;b}}(b, d_2) = \frac{K_{Y;p;h;b}(b, d_2)}{K_{Y;p;h;\infty}(b = \infty, d_2)}$$

waarin:

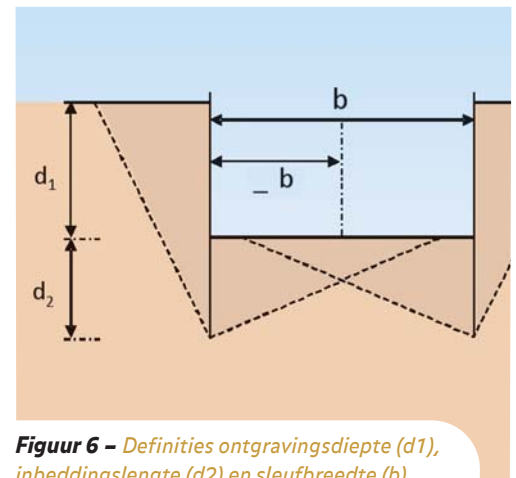
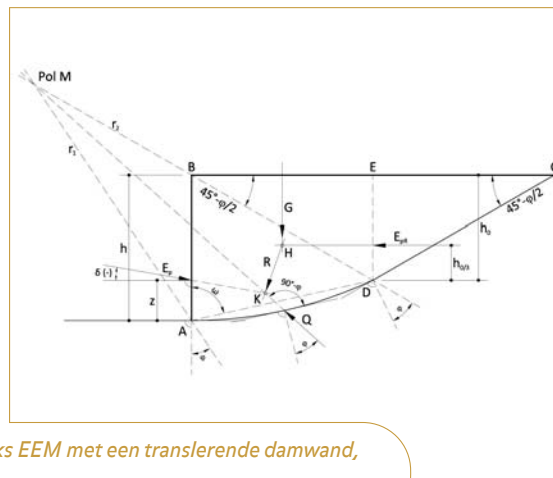
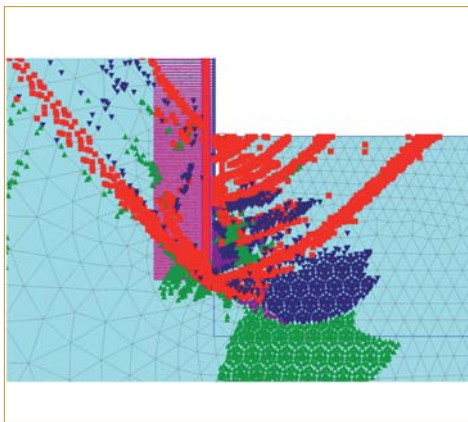
- b sleufbreedte zone ($1/2b$ = breedte waarbinnen de passieve zone zich kan ontwikkelen), zie *figuur 6*.

- d_2 inbeddingsdiepte (afstand tussen maaiveld aan ontgraven zijde en teen damwand), zie *figuur 6*.

Berekeningenserie

In de EEM analyses zijn de volgende parameter-varianties uitgevoerd:

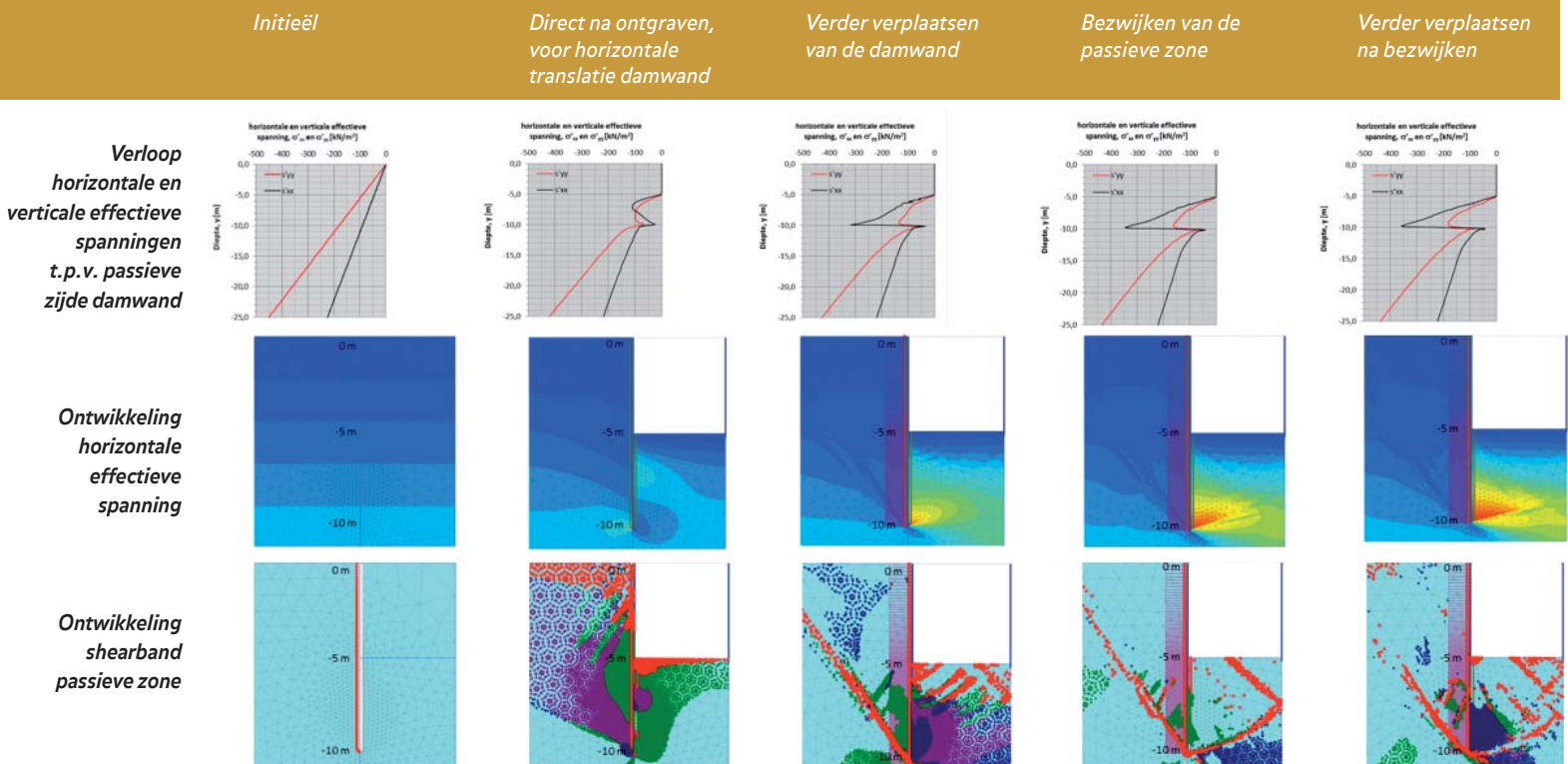
- φ' 27,5°, 30,0°, 32,5° en 35,0°; in gehele massief aan zowel actieve als passieve zijde;
- d_1 5,0 m en 6,0 m;
- d_2 4,0 m, 5,0 m, 6,0 m, 8,0 m en 10,0 m;
- b 80,0 m (ongehinderde ontwikkeling passieve zone) en $b = 10,0$ m, 8,0 m, 6,0 m, 4,0 m, 3,0 m en 2,0 m (mogelijk gehinderde ontwikkeling passieve zone).



Figuur 5 – Ontwikkeling van het glijvlak o.b.v.: links EEM met een translerende damwand, en rechts methode Ohde (1938).

Figuur 6 – Definities ontgravingdiepte (d_1), inbeddingslengte (d_2) en sleufbreedte (b).

Figuur 7 – Overzicht spanningsverloop horizontale en verticale effectieve spanning en ontwikkeling shearband ($d_1 = 5,0$ m en $d_2 = 5,0$ m)



Afleiding $K_{Y;p;h}$ uit EEM-berekeningen

Uit de berekeningenseries zijn de waarden voor $K_{Y;p;h}$ afgeleid op basis van het bekende verloop van de initiële effectieve verticale spanning, $\sigma'_{v;0}$, en de in het EEM berekende passieve grondreactie op de damwand, $E_{Y;p;h}$, op het moment van bezwijken van de passieve zone. Hierbij geldt:

$$K_{Y;p;h} = \frac{\int_0^z (\sigma'_{h;x=passief}) dz}{\int_0^z (\sigma'_{v;0}) dz}$$

Berekeningsresultaten

Bij damwandconstructies met overlappende passieve zones treedt een extra horizontale opspanning in de passieve zone op. Die opspanning leidt ertoe dat de te mobiliseren weerstand toeneemt. Naarmate de sleufbreedte afneemt, nemen de passieve grondweerstandscoefficiënt en de opspanningsfactor toe, zie figuur 8.

De waarden van de opspanningsfactor, $X_{KY;p;h}$, kunnen, uitgaande van zand, $\varphi' = 30^\circ$, oplopen van 1,0 tot meer dan 5,0, bij een verhouding tussen sleufbreedte en inbeddingslengte, b/d_2 , van respectievelijk 2,0 en 0,4, zie figuur 9.

Om het effect van de opspanningsfactor voor de ontwerp- en uitvoeringspraktijk te kwantificeren is een ontwerpcasus doorgerekend, waarbij de opspanningsfactor wel en niet in rekening is gebracht.

Op basis van deze ontwerpcasus, wordt geconcludeerd dat het toepassen van de opspanningsfactor kan leiden tot een besparing op de damwandlengte van circa 15% à 20% (12,9 m i.p.v. 15,1 m). Tevens leidt het tot een reductie van het moment in de wand met circa 43% (560 kNm i.p.v. 978

kNm). Dit leidt tot een gewichtsbesparing van het staal van circa 44% (12,9 m AZ17 i.p.v. 15,1 m AZ28). Daarbij is rekening gehouden met de heikbaarheid van het lichtere profiel en de uitvoerbaarheid. Uitgegaan is van een sleufbreedte van 4,0 m. Bij kleinere sleufbreedtes zal de besparing toenemen.

Conclusie

Voor de ontwerp-praktijk betekent dit dat door het rekening houden met de extra weerstand van overlappende passieve zones, er een economischer ontwerp gerealiseerd kan worden en de omgevingshinder fors gereduceerd zal kunnen worden, namelijk:

- besparing van staal (circa 44%) en daarmee een besparing op bijkomende kosten (transport, zwaarte materieel);
- beperking van de omgevingsbeïnvloeding door het gebruik van kortere damwanden (minder te verwachten trillingshinder en minder zettingen onder en nabij belendingen);
- beperking van de zakking van de aangelegde leiding (minder te verwachten zettingen onder de leiding door het uittrillen van de damwanden, doordat zich minder damwandlengte beneden het aanlegniveau van de leiding bevindt).

Met name dit laatste aspect kan indirect ook positieve gevolgen hebben voor het leidingontwerp en voor de mogelijkheid van het terugwinnen van de damwandplanken.

Het effect van het toepassen van de opspanningsfactor zal naar verwachting vooral merkbaar zijn in

situaties met een ontgravingsdiepte vanaf circa 3,0 m of meer.

In voorbereiding (en deels in gang gezet) is aanvullend onderzoek dat zich richt op het gedrag van de ontwikkeling van passieve zones bij smalle damwandsleuven in een gelaagde grondopbouw en het verder uitbreiden van de berekeningenseries voor diverse hoeken van inwendige wrijving en ontgravingsdieptes.

Het bezwijken van de grond binnen een gehinderde passieve zone wordt bepaald door de sterkte van de grond. Uit het onderzoek is gebleken dat die sterkte toeneemt. In hoeverre het in rekening brengen van die extra sterkte gevolgen heeft voor de verplaatsing van de damwanden zal nader worden onderzocht.

Noot

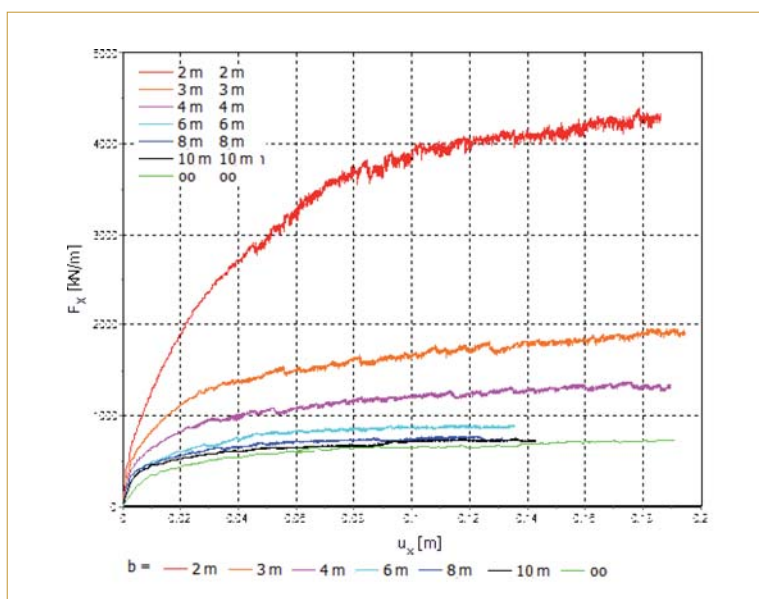
¹ In dit artikel wordt, zoals ook in de literatuur vaak het geval is, steeds de term grondweerstand gebruikt, waarmee in feite de korreldrukweerstand wordt bedoeld.

Bronnen

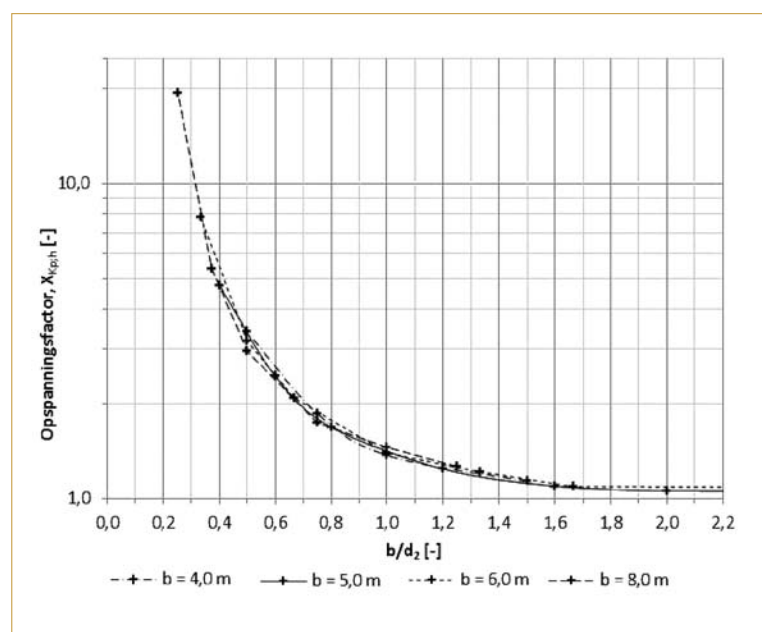
[1] Bell, A. L., (1915), *Lateral pressure and resistance of clay, and the supporting power of clay foundations*, Proc. Inst. Civ. Eng., Struct. Build. 199, 233-336.

[2] Joosse, J.F., (2011), *Onderzoek naar het effect van de overlap van passieve zones bij smalle damwandsleuven – Eindrapport Definitief*, BT Geoconsult B.V. kenmerk R011-002 rev. 4, d.d. 1 december 2011.

[3] Sokolovski, V.V., (1960), *Statics of Soil Media*, Butterworth, London. ●



Figuur 8 – Relatie tussen toenemende damwandverplaatsing en de daarvoor benodigde kracht, als functie van de beschikbare sleufbreedte ($d_1 = 5,0$ m, $d_2 = 5,0$ m).



Figuur 9 – Resultaten opspanningsfactor, $X_{KY;p;h}$ uitgezet tegen de relatieve sleufbreedte, b/d_2 ($d_1 = 5,0$ m, $d_2 = 5,0$ m).