

Onderzoek naar de toepasbaarheid van Soilmix wanden in Nederland



Opgesteld door: T. Zaal

Onderzoek naar de toepasbaarheid van Soilmix wanden in Nederland

Opgesteld door

Tina Zaal
1549810

Begeleiders Fugro GeoServices B.V.

Ir. A.J. van Seters
Hoofd Afdeling Geotechniek / Regio West

Ing. M.J. van Baars
Adviseur Geotechniek

Begeleiders Hogeschool Utrecht

Dr. Ir. J.A.M. Stuifbergen
Ir. R.W.G. Frijn

Versie	Datum	Status	Paraaf begeleiders extern	Paraaf begeleiders intern
1	30-08-2011	Def.	Datum:	Datum:

VOORWOORD

Voor u ligt het eindverslag van het afstudeeronderzoek naar de toepassing van soilmix wanden in Nederland.

Ik heb het onderzoek ten behoeve van mijn afstuderen uitgevoerd bij Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam. Mijn dank gaat uit naar de begeleiders, dhr. A.J. van Seters en dhr. M.J. van Baars.

Daarnaast bedank ik de begeleiders van Hogeschool Utrecht, dhr. J.A.M. Stuifbergen en dhr. R.W.G. Frijn.

Woerden, 30 augustus 2011

SAMENVATTING

De soilmix methode is een relatief nieuwe methode in Nederland voor het maken van een grond- en/of waterkerende wand. De wand wordt gemaakt door op de bouwlocatie grond te mengen met cementspecie. Voor de sterkte en stijfheid van de wand worden op regelmatige afstand stalen H-profielen in de wand opgenomen. Het is een niet grondverdringend en trillingsarm systeem.

Tot dusver worden twee hoofdtypes van soilmix systemen gebruikt in Nederland, de CSM (CutterSoil-Mix) methode en de MIP (Mixed In Place) methode. Bij de CSM-methode wordt de wand vervaardigd met behulp van een grondfrees. Bij de MIP-methode wordt de wand gemaakt met behulp van verticale avegaars, waarmee de grond wordt losgewoeld en gemengd met de cementspecie. Beide methoden komen aan de orde in hoofdstuk 2.

Omdat de soilmix methode voor het maken van grond- en waterkerende wanden een nog relatief nieuwe en daardoor minder bekende methode in Nederland is, bezit de wand een aantal technische eigenschappen waarbij onduidelijkheden heersen over hoe daarmee om te gaan in de berekeningen. Bij voorbeeld: welke stijfheid en welke sterkte moet er voor het soilmix materiaal worden aangehouden (zie hoofdstuk 3). En de krachtswerking en de invloed van de wapening van staalprofielen, wat is de invloed op de wand wanneer je de profielen dichter of verder uit elkaar zet (hoofdstuk 4)?

Voor de dimensionering van de soilmix wand zijn er berekeningen uitgevoerd met het computerprogramma DSHEETPILE voor een geval van een éénvoudig gestempelde wand. Hiermee is het mechanisme in verticaal vlak geanalyseerd. DSHEETPILE is voor de berekening van momenten, dwarskrachten en verplaatsingen van een verticale grondkerende wand, al dan niet (meervoudig) verankerd. Om inzicht te verkrijgen in de wat de wand doet bij het nemen van verschillende EI-waardes, is de wand berekend met 4 verschillende aannamen voor de interactie tussen soilmix materiaal en de staalprofielen (zie hoofdstuk 5)..

Ook zijn de spanningen in het horizontale vlak en de overdracht naar de H-profielen geanalyseerd met het rekenprogramma PLAXIS (elastisch model). Bij PLAXIS is als het ware een "horizontale plak" van de grond en het staalprofiel gemodelleerd om te kunnen zien wat de samenwerking is tussen het soilmixmateriaal en het profiel, of er boogwerking optreedt en of we een relatie kunnen leggen tussen de stijfheid van het profiel en van het soilmixmateriaal en de hart op hart afstand van de profielen (zie hoofdstuk 6).

Uit de studie kan worden geconcludeerd (zie hoofdstuk 7), dat de functie van het staalprofiel belangrijk is voor de sterketetoetsing: de waarde van het moment wordt eigenlijk bepaald door de stijfheid van het profiel. Bij berekeningen met of zonder soilmix bleek de verplaatsing ca 20 % kleiner, wanneer de stijfheid van de soilmix werd meegenomen in de berekening. Rekenen met alleen de staalprofielen is een veilige aanname (zoals ook te verwachten).

Het model in Plaxis geeft een goed beeld van de krachtswerking als functie van de hart op hart afstand van de profielen. Aanbevolen wordt om de maximale hart op hart afstand tussen de profielen te beperken tot 1,5 m, bij een standaard wanddikte van 0,55 m, omdat de trekzone anders buiten de soilmix wand treedt.

INHOUDSOPGAVE

	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	6
2. GRONDKERENDE CONSTRUCTIE, SOILMIX METHODE	7
2.1 Algemeen	7
2.2 Soilmix systeem	7
2.2.2 Cuttersoilmixwand (CSM)	9
2.2.3 Mixed-In-Place wand (MIP)	10
2.2.4 CSM versus MIP methode	12
2.3 Voordelen en beperkingen van het soilmix systeem	13
2.4 Soilmix materiaal	13
3. TECHNISCHE ASPECTEN SOILMIX WAND	16
3.1. Algemeen	16
3.2. Parameters soilmix wand	16
4. TECHNISCHE ASPECTEN SOILMIX WAND	19
4.1. Krachtenwerking in soilmix wand	19
4.2. Berekeningen soilmix wand	20
5. BEREKENINGEN VAN DE KERENDE WAND MET MET D-SHEETPILE	21
5.1. Algemeen	21
5.2. Model	21
5.2.2 Terrein- en bodemgesteldheid	23
<i>Grondwaterstanden en stijghoogten</i>	23
<i>Grondparameters</i>	24
5.2.3 D-Sheet, wand invoer	25
Er is bij de berekeningen van het volgende uitgegaan:	25
5.3. Berekeningsresultaten	25
5.4. Conclusie	28
6. PLAXIS	29
6.1. Algemeen	29
6.2. Model	29
6.3. Berekeningsresultaten	32
6.4. Conclusie	36
7. EINDCONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	37
7.1. Eindconclusie	37
7.2. Aanbevelingen	37
8. BRONVERMELDING	39
<u>BIJLAGEN</u>	<u>Nr.</u>
Berekeningsresultaten PLAXIS	1
Foto rapportage uitvoering wand, methode CSM	2
Foto rapportage uitvoering wand, methode MIP	3

1. INLEIDING

In Nederland wordt door ruimte gebrek of herinrichting van de stad steeds vaker gekozen voor het bouwen in een bebouwde omgeving, waarbij in het algemeen een kelderconstructie met een parkeerfunctie wordt geëist. Het bouwen van een kelderconstructie kan op verschillende manieren, de meest gebruikte manier is om eerst grond- en/of waterkerende wanden te plaatsen om vervolgens de grond er tussen te ontgraven en een vloer te storten.

De soilmix methode is een relatief nieuwe methode voor het maken van een grond- en/of waterkerende wand. Het is een niet grondverdringende en in de grond gevormde wand, de wand bestaat uit grond, die op de bouwlocatie gemixt wordt met een cementspecie. Voor de sterkte worden er op regelmatige afstand stalen H-profielen in de wand opgenomen.

De kennis over deze soilmix wand ligt op dit moment eigenlijk alleen nog bij de uitvoerende partijen van het systeem, bij de overige partijen als ingenieursbureaus en gemeentes heersen nog veel onduidelijkheden over hoe de wand gedimensioneerd en berekend moet worden. Hierdoor wordt er vaak nog gekozen voor de vertrouwde en bewezen systemen.

Er is bovendien nog geen vaste rekenmethode hoe om te gaan met de eigenschappen van de wand. Zo is er weinig kennis over de sterkte van het soilmix materiaal en de samenwerking tussen het soilmix materiaal en de staalprofielen.

Dit document is opgebouwd uit een beschrijving van de soilmix methode. Er zal worden ingegaan op de technische aspecten van de soilmixwand. Bij de technische aspecten moet gedacht worden aan de krachtswerking in de wand en de sterkte parameters. Voorafgaand aan de hoofdstukken van de gemaakte berekeningen zal een hoofdstuk gewijd worden aan de uitgangspunten voor de berekeningen. Hierna komen de berekeningen aan bod.

2. GRONDKERENDE CONSTRUCTIE, SOILMIX METHODE

2.1 Algemeen

Om een kelderconstructie in den droge te kunnen uitvoeren is de aanleg van een bouwput noodzakelijk. Voor de wijze waarop de grond- en waterkerende wand van een bouwput wordt uitgevoerd bestaan verschillende methodes:

- Damwanden

Damwanden bestaan uit verticale elementen (of planken) die door middel van een slotconstructie aan elkaar verbonden zijn. Het is een beperkt grondverdringend systeem en wordt veelvuldig ingezet bij het maken van een wand. Deze elementen kunnen zijn gemaakt van staal, hout, beton en kunststof. Vanwege de kerende hoogte bij ondergrondse bouwprojecten zal meestal gewerkt worden met stalen damwandplanken.

De damwandplanken worden meestal door trillen of heien geïnstalleerd. Ook is drukken van damwand mogelijk, dan is het systeem trillingsarm.

- Combiwanden

Een combiwand bestaat uit buispalen met daartussen damwandprofielen. De buispalen, voorzien van sloten worden allereerst in de grond ingebracht waarop de damwandplanken zullen aansluiten. Het is een grondverdringend systeem die door zijn grote buigsterkte en stijfheid een grote stempelvrije ruimte kan waarborgen. Het systeem is niet trillingsarm.

- Palenwand

Een grondverwijderend systeem. Bestaande uit een rij in de grond gevormde palen, al dan niet verbuisd uitgevoerd. Voordeel is dat het een trillingsarm systeem is.

- Diepwand

Een in de grond gevormde betonnen wand. Door middel van een grijper wordt de grond in sleuven ontgraven, waarbij de sleuven niet kunnen instorten wegens het toevoegen van bentoniet. Na het ontgraven zullen er wapeningskorven in de sleuven worden gehangen. Hierna worden de sleuven gevuld met beton, waarbij de bentoniet naar boven wordt gedreven. De diepte van de wand is in principe onbeperkt. Trillingsarm systeem.

- Caissonmethode

Techniek waarbij de uitvoering van de constructie bovengronds op de locatie plaats vindt. Door de grond onder de constructie weg te halen wordt het casisson afgezonken.

- Soilmix wand

Deze methode wordt in de navolgende paragraaf nader uitgewerkt.

2.2 Soilmix systeem

2.2.1 Inleiding

Bij de uitvoering van de soilmix techniek wordt op locatie de grond gemengd met cementspecie. Door de grond te mengen met specie zullen de eigenschappen van de grond zodanig veranderen, dat deze een constructieve functie krijgt.

De soilmix techniek werd in eerste instantie gebruikt als een grondverbeteringstechniek en als waterkering in dijken, maar wordt nu steeds meer toegepast om grond- en waterkerende wanden te realiseren. Een soilmixwand is een niet grondverdringende en in de grond gevormde wand. Door cilindervormige soilmixkolommen of rechthoekige panelen oversnijdend (secans) te plaatsen wordt er een doorlopende wand gerealiseerd. Om de grondkerende functie van de wand te waarborgen is het nodig om de soilmixwand te wapenen. Hiervoor worden stalen H- of I-profielen voor het uitharden van de specie in het soilmix materiaal geplaatst om afschuif- en buigkrachten in de wand op te kunnen vangen.

Het soilmix systeem kan breed ingezet worden wanneer er een grond- en of waterkering moet worden verkregen zoals bij bouwkuipen, kademuren, bodemverontreinigingen of als kwelscherm achter een dijk.

Tot dusver worden twee hoofdtypes van soilmix systemen gebruikt in Nederland, namelijk de:

- CSM (CutterSoil-Mix) methode;
- MIP (Mixed In Place) methode.

Beide zijn natte soilmix systemen, wat inhoudt dat het bindmiddel vooraf met water wordt gemengd. Deze twee types zullen in dit document uitgebreid worden omschreven, en met elkaar worden vergeleken.

2.2.2 Cuttersoilmixwand (CSM)

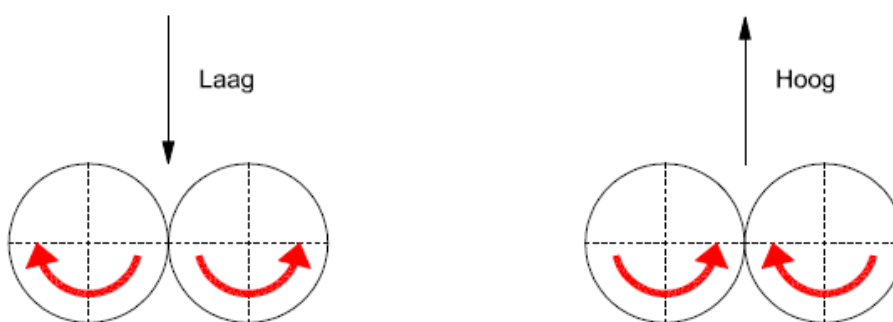
De Cutter soilmixwand wordt uitgevoerd met een CSM-frees, die de op de bouwlocatie aanwezige grond met cementspecie mengt.



De CSM-frees bestaat uit twee motoren die elk een freeswiel aandrijven, hiertussen zit een metalen voerbuis waardoor de cementspecie wordt gepompt. De freeswielen worden trillingsvrij de grond in gefreesd waarbij tegelijkertijd onder hoge druk het mengsel door de holle voerbuis naar de injectieopeningen in de mix-boorkop wordt gepompt. Door de draaiende beweging van de freeswielen (in tegengestelde richting)

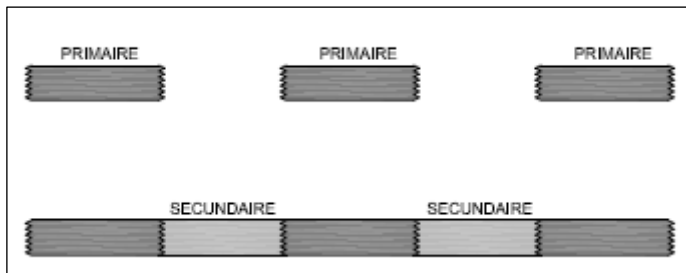
Afbeelding 2.1: Cutter soilmix methode

wordt het mengsel gemengd met de losgemaakte grond. De frees heeft een lengte in het horizontale vlak variërend van 2,2 m tot 2,4 m en 2,8 m. De breedte/dikte van het paneel ligt tussen de 0,5 m tot 1,2 m, doorgaans 0,55 m.



Figuur 2.1: principe werking CSM methode

De CSM-wand bestaat uit primaire en secundaire panelen. Eerst worden de primaire panelen gemaakt. Na het voldoende uitharden van de primaire panelen worden de secundaire panelen uitgevoerd. Wanneer wordt gewerkt met een freeslengte van 2,4 m, zal de tussenafstand tussen 2 primaire panelen 2,2 m bedragen. Bij het maken van het secundaire paneel wordt er 10 cm langs beide zijde afgefreesd om een waterdichte wand te creëren.



Figuur 2.2: overzicht uitvoering soilmix wand

Wanneer een paneel klaar is wordt de paneel gewapend met één, twee of drie stalen profielen die de afschuif- en buigkrachten in de wand op kunnen vangen.



Afbeelding 2.2: Inhangen van een stalen profiel

Ten tijde van de uitvoering wordt het proces continu gemonitord. In de freeswielen zijn verschillende druksensoren ingebouwd die de hydrostatische druk van het soilmixmengsel meten, deze druk wordt vergeleken met de geïnjecteerde volume van het cementgrout. De stabiliteit van de aangrenzende bebouwing wordt gegarandeerd door de druk in de gevormde wand groter te houden dan de zijdelingse gronddrukken. De uitgeoefende werkdruk wordt vergeleken met de resultaten van de sonderingen en boringen die op de locatie zijn gemaakt.

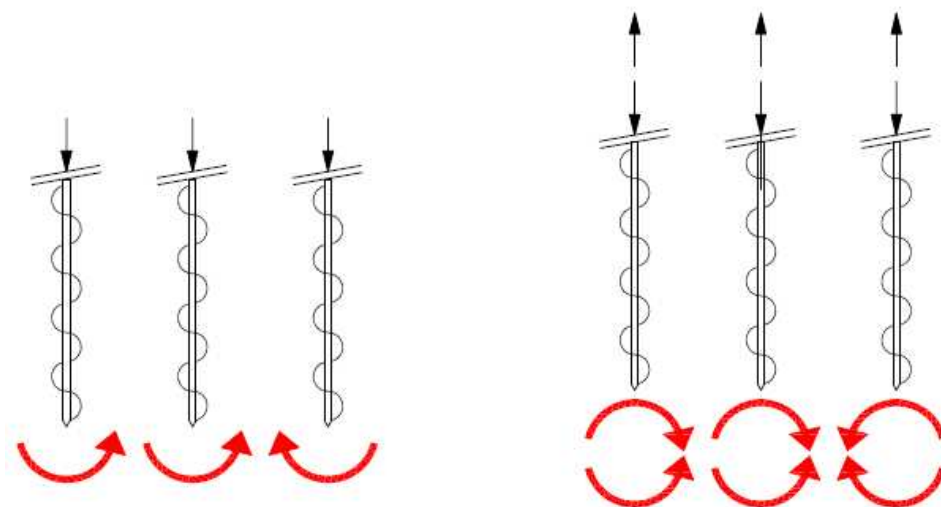
2.2.3 Mixed-In-Place wand (MIP)

Bij de Mixed-In-Place (MIP) methode wordt de grond door middel van avegaarboren gemengd met de cementspecie.



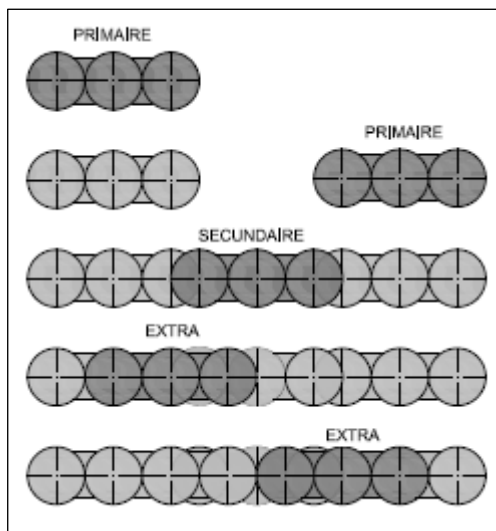
De Mixed-In-Place stelling bestaat uit een boorstelling met daaraan een makelaar waar één tot drie doorgaande avegaren naast elkaar zijn gemonteerd. Het installeren van de wand gebeurt door de driefvoudige avegaren onder toevoer van de cement/water suspensie in de bodem te boren. Na het bereiken van de einddiepte van de wand wordt door middel van het tegengesteld draaien van de avegaren en bij gelijktijdig op en neer bewegen van de avegaren, het bodem-bindmiddelmengsel gemengd tot een homogeen eindproduct. De horizontale lengte van een primaire lamel bedraagt 1,7 m, de lengte van de secundaire en extra lamel is 1,2 m. De breedte/dikte van de wand bedraagt 0,55 m (optie 0,37 m).

Afbeelding 2.3: Mix-In-Place methode



Figuur 2.3: principe werking MIP methode

De wand bestaat uit primaire, secundaire en extra panelen. Eerst zullen de primaire panelen worden geïnstalleerd waarna de secundaire panelen worden uitgevoerd. Om de uitvoering van een doorgaande, voegenloze wand te garanderen, worden extra lamellen toegepast ook wel de dubbele pelgrimsgang genoemd. (Patent Bauer Spezialtiefbau GmbH). Deze uitvoeringsvolgorde wordt gekenmerkt door een aanvullende bewerking op de overlapping van primaire- en secundaire lamellen. Hierdoor kan er gegarandeerd worden dat het geheel 2 maal door de drievoudige avegaren doorsneden en bewerkt wordt. Door de doorlopende, zogenoemde nat-in-nat vervaardiging van primaire, secundaire- en extralamellen, ontstaat afhankelijk van het werktijdenritme een bijna voegloze wand.



Figuur 2.4: overzicht uitvoering soilmix wand

De steundruk van het soilmix mengsel wordt ten tijde van de uitvoering gemeten door de drukopnemers die op de kop van de avegaar zijn geplaatst. De verticaliteit van de wand wordt constant gemeten met inclinometers.

2.2.4 CSM versus MIP methode

	<i>CSM METHODE</i>	<i>MIP METHODE</i>
Principe	freeswielen	avegaarboren
Max. boordiepte	25 m	30 m
Max. hoogte machine	25 m	25 m
Wand opgebouwd uit	panelen	kolommen

Tabel 2.1: CSM versus MIP methode

2.3 Voordelen en beperkingen van het soilmix systeem

De toepassing van soilmix wanden als grond- en/of waterkerende constructies levert een aantal specifieke voordelen en beperkingen op.

2.3.1 Voordelen

- De toepassing van de soilmix techniek is trillingsvrij.
- Er zal nagenoeg geen ontspanning van de grond optreden, doordat geen grond wordt verwijderd. Zo kan de soilmix techniek dichtbij bestaande belendingen uitgevoerd worden, wat in binnenstedelijk gebied een belangrijk voordeel is.
- De afvoer van de overtollige grond is zeer beperkt.
- De hoeveelheid ruimte die nodig is voor het materieel en de menginstallatie is in tegenstelling tot een diepwand gunstig.
- Omdat het cementmengsel met de aanwezige grond op de locatie wordt vermengd, is er geen toeslagstof (zand of grind) nodig.
- Economisch gezien is het aanbrengen van een soilmix wand daardoor gunstiger vergeleken met andere in de grond gevormde, trillingsvrije wandsystemen.
- Mogelijk verontreinigde grond wordt ingekapseld door het cement, waardoor veel kosten worden bespaard voor het saneren van de bodem.

2.3.2 Beperkingen

- Duur in vergelijking tot een te verwijderen damwand.
- Voor een permanente functie moeten bijkomende voorzieningen getroffen worden, dit omdat nog niet met zekerheid kan worden gezegd wat de duurzaamheid is van de soilmix wand (al worden er al wanden uitgevoerd met een permanente functie zonder getroffen voorzieningen).
- Toepasbaarheid van soilmix wanden is afhankelijk van de grond op de projectlocatie.

2.4 Soilmix materiaal

Het soilmix materiaal bestaat dus uit grond gemengd met cementspecie. Deze cementspecie moet ervoor zorgen dat de eigenschappen van de grond delen veranderen en een constructieve functie krijgen. De cementspecie bestaat uit de volgende hoofdbestanddelen:

- Cement
- Water
- Toeslagstoffen (zoals bentoniet)

Afbeelding 2.4: soilmix mengsel (MIP methode)

Na toevoeging van water aan cement ontstaat er een lijm die de grondkorrels aan elkaar hecht en na verharding een dichte structuur vormt.

In de onderstaande tabellen is weergegeven wat de standaard benodigdheden zijn voor 1,0 m³ mengsel. Dit is overigens een richtlijn en geen vast gegeven wegens de verschillende grondslagen op de locaties.

CSM wand	STANDAARD BENODIGDHEDEN VOOR 1 M ³ MENGSEL
----------	---

	<i>(VOLGENS LEVERANCIER)</i>
Cement	1000 – 1200 kg
Bentoniet	15 – 30 kg
Water	Niet bekend, maar wcf is 0,5 á 0,6 dus water is 500-600 l
Water / cement factor	0,5 – 0,6

Tabel 2.2: Richtlijnen benodigdheden mengsel CSM

MIP wand	<i>STANDAARD BENODIGDHEDEN VOOR 1 M³ MENGSEL (VOLGENS LEVERANCIER)</i>
Cement	1000 kg
Bentoniet	40 kg
Water	651 l
Water / cement factor	0,65

Tabel 2.3: Richtlijnen benodigdheden mengsel MIP

Het type grond kan veel invloed hebben op de sterkte van het soilmix materiaal. Zo is zand het meest geschikt voor deze methode, omdat vooral vaste cohesieve gronden minder goed te vermengen zijn. Organische gronden zoals veen hebben de eigenschap een zure grond te zijn, waardoor in loop van de tijd de wand kan worden aangetast. In onderstaand tabel is weergegeven wat de toepasbaarheid is van de Soilmix methode afhankelijk van de grondsoort op de locatie.

Zand	Leem	Veen	Slappe klei	Vaste klei
Altijd toepasbaar	Bijna altijd toepasbaar	Toepasbaar in bepaalde omstandigheden	Bijna altijd toepasbaar	Toepasbaar in bepaalde omstandigheden

Tabel 2.4: toepasbaarheid van de methode bij verschillende grondsoorten

Met het toevoegen van toeslagstoffen aan de cementspecie kan er voor gezorgd worden dat de methode ook toegepast kan worden in de gronden anders dan zand. Het toevoegen van toeslagstoffen aan de cementspecie zorgt ervoor dat de eigenschappen van de grond zo veranderen dat de wand de sterkte kan leveren die voldoende is voor het garanderen van een constructieve wand.

Toeslagstoffen die worden toegevoegd aan de specie zijn:

- Bentoniet
- Kalk
- Gips

Het toevoegen van bentoniet moet er voor zorgen dat het mengsel beter te vermengen is.

De toeslagstof kalk kan toegevoegd worden om zure gronden als veen te neutraliseren, en de bodemstructuur van kleiachtige gronden te verbeteren. Daarnaast ontstaat er tussen kalk en water een reactie waarbij water wordt gebonden. Het toevoegen van teveel kalk kan ook negatieve effecten hebben, op de samenstelling van het mengsel. Zo ontstaat er ammoniak,

die het mengsel porreus kan maken. Daarnaast zijn de ammoniak dampen die mogelijk vrij komen, schadelijk voor de mensen die betrokken zijn bij het vervaardigen van de wand.

Wanneer gips aan de cementspecie wordt toegevoegd zal er een reactie ontstaan tussen beide stoffen waarna er ettringiet ontstaat. Dit zorgt ervoor dat watermoleculen worden gebonden.

3. TECHNISCHE ASPECTEN SOILMIX WAND

3.1. Algemeen

Naast dat de “soilmix” methode voor het maken van grond- en waterkerende wanden een nog relatief nieuwe en daardoor minder bekende methode in Nederland is, bezit de wand een aantal technische eigenschappen waarbij nog veel onduidelijkheden heersen over hoe daarmee het beste om te gaan in de berekeningen. De technische eigenschappen waarbij voornamelijk nog onduidelijkheden heersen:

- De wand bestaat niet volledig uit volwaardig beton, maar uit een mengsel van cementspecie en de aanwezige grond op de projectlocatie. Welke elasticiteitsmodulus en welke sterkte moeten er nu aangehouden worden?
- De wapening in de wand bestaat uit stalen profielen die op een hart op hart afstand van ca. 1 á 2 m worden geplaatst. Wat is de invloed op de wand wanneer je de profielen dichter of verder uit elkaar zet?

Doordat er bij voornamelijk de ingenieurbureaus en gemeentes nog weinige ervaring is met de Soilmixwand als grond- en of waterkerende functie, resulteren de vraagtekens die bestaan bij de constructieve werking van de wand in de gebruiksfase, vaak tot het kiezen voor meer traditionele methoden, zoals damwand of diepwand.

Verder in dit document zullen deze onduidelijkheden nader worden toegelicht.

3.2. Parameters soilmix wand

3.2.1 Literatuur

De druksterkte en de elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal zijn zeer belangrijke parameters in het ontwerp van de wanden. Alleen is het nog erg moeilijk om met zekerheid vooraf iets over deze parameters te kunnen zeggen. Dit komt doordat het systeem erg afhankelijk is van de aanwezige grond op de projectlocatie en er bij de instanties met uitzondering van de uitvoerende partijen van de soilmix methode weinig ervaring bestaat met deze methode. Na maken van de soilmix wand of het uitvoeren van een proef, kunnen proefstukken (kernen uit de wand) worden getest in het laboratorium.

In België heeft door het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, België) een aantal onderzoeken plaatsgevonden van de druksterkte en de elasticiteitsmodulus van de wand gemixt met zand-, leem- en kleigronden. Bij deze onderzoeken zijn soilmix kernen horizontaal geboord op een aantal verschillende locaties in België met verschillende grondtypen en met verschillende typen van soilmix systemen. Daarnaast zijn ook monsters uit de verse soilmix genomen en in een laboratorium getest. Er werd een



laboratoriumproef uitgevoerd om de uniaxiale druksterkte (UCS= unconfined compressive strength) te bepalen, volgens EN 206 (de Europese norm voor betonmortel).

De secant elasticiteitsmodulus bij 30% van de druksterkte werd bepaald door het aanbrengen van een cyclische belasting tussen 10% en 30% van de geschatte UCS waarde van de proefmonsters. Daarna werd de belasting voortgezet om de UCS waarde te bepalen.

Ervaring wijst uit dat de UCS en de elasticiteitsmodulus naast de hoeveelheid geïnjecteerde cement wordt beïnvloed door de grondslag op de locatie. Om dit aan te kunnen tonen en de invloed van het type te bepalen, werden de bodemprofielen geclassificeerd als kwartair of tertiair zand, leem of klei. Het is gebleken dat de UCS waarde van soilmix kernen uit zandgronden doorgaans hoger is dan de UCS van soilmix kernen uit kleigronden. 80% van de soilmix monsters hebben een UCS na 28 dagen die hoger is dan 4,5 MPa (zand), 3,0 MPa (leem) en 1,7 MPa (klei).

De elasticiteitsmodulus van soilmix materiaal werd bepaald van 100 gekernde soilmix monsters. Na de wisselende belasting ter bepaling van de elasticiteitsmodulus werd de test voortgezet tot breuk om de UCS te definiëren. Volgens het onderzoek kan als Elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal het volgende worden aangehouden: $E = 1000$ maal UCS, waarbij E de elasticiteitsmodulus (MPa) is en UCS de uniaxiale druksterkte (MPa) van het soilmix materiaal.

Verder is er onder andere gebleken dat de UCS druksterkte van de eerste meter van het soilmix materiaal sterk wordt beïnvloed door de uitvoering aan het begin en het einde van het element. Zo is er als voorbeeld gegeven dat de UCS waarde van monsters van de eerste meter die zijn genomen op de bouwlocatie in Brugge (de grondslag bestond uit zand) slechts ongeveer 60% bedraagt van de gemiddelde UCS waarde op grotere diepte. Daarmee kan gezegd worden dat de bovenkant van de wand niet representatief is voor het dieper gelegen gedeelte.

Het WTCB is op dit moment nog bezig met verder onderzoek t.a.v:

- de druksterkte van de wand, rekening houdend met de invloed van de grondinsluitels
- de hechting tussen het materiaal en de stalen profielen
- de duurzaamheid van het materiaal
- de doorlatendheid van het materiaal

3.2.2 Parameters soilmix wand, Nederland

In Nederland liggen op dit moment de ervaring en kennis over soilmix voornamelijk bij de uitvoerende partijen van het systeem. Er zijn nog geen proeven en of testen uitgevoerd op het soilmix materiaal door een externe partij zoals het WTCB in België.

De uitkomsten van de onderzoeken uitgevoerd door het WTCB op de soilmix kernen van de wanden, geven een indicatie over de eigenschappen van soilmix wanden, maar dit is op basis van Belgische gronden en mogelijk niet representatief voor Nederland.

In onderstaande tabel is weergegeven welke parameters in Nederland worden gebruikt, deze parameters zijn verstrekt door de uitvoerende partijen.

	MIP-wand (Bauer)	csm-wand
Eigen gewicht soilmix wand	Niet bekend	1700 kg/m ³ - 2200 kg/m ³
Gewichtsverhouding water/cement	0,53	1,2
Cementgehalte	300 kg/m ³	200 – 450 kg/m ³
Elasticiteitsmodulus	1900 – 8100 N/mm ² *	5000 – 20.000 N/mm ²
Gemiddelde druksterkte	5 - 15 N/mm ²	5 - 20 N/mm ²
Waterdoorlatendheid	$k_f \leq 1 \times 10^{-8}$ m/s	$k_f \leq 1 \times 10^{-6}$ m/s

Tabel 3.1: Gebruikte parameters in Nederland

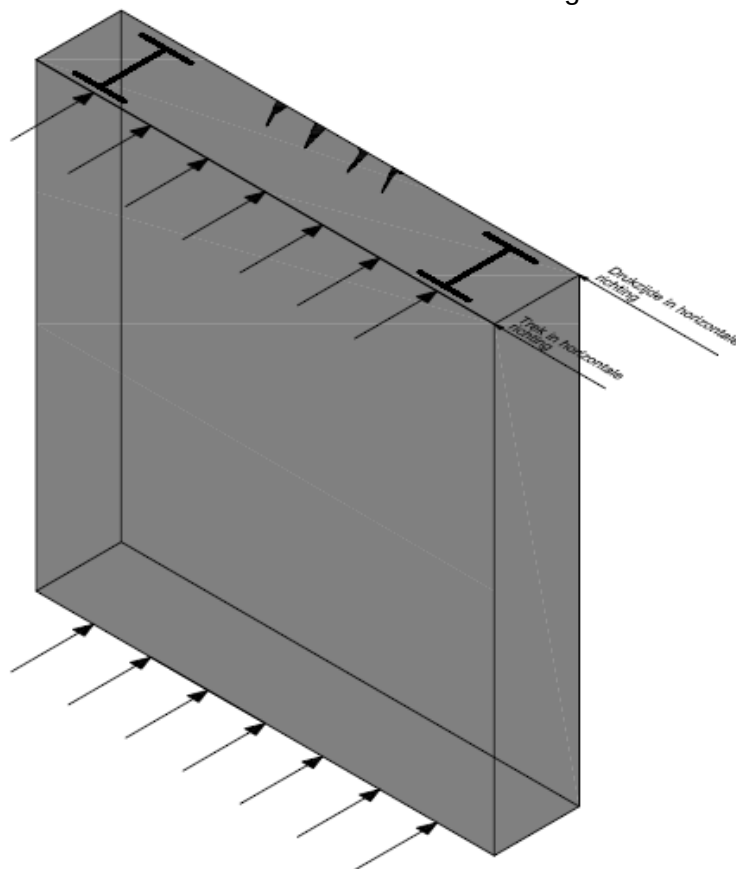
* $E = 220 \cdot f'_b(\text{druksterkte})^{1,3325}$

Als de waarden van de gemiddelde druksterkte in tabel 3.1 worden vergeleken met de waarden uit de literatuur van het WTCB (zie blz. 16), dan blijkt dat het WTCB een druksterkte presenteert van 4,5 MPa (voor zand). Dit in tegenstelling tot de druksterkte in de tabel gepresenteerde waarde van 5-15 MPa. Hieruit blijkt dat de waarde van 4,5 MPa een ondergrens betreft

4. TECHNISCHE ASPECTEN SOILMIX WAND

4.1. Krachtenwerking in soilmix wand

Zoals al eerder is beschreven, bestaat de soilmix wand uit een mengsel van grond en cement, verstevigd met staalprofielen in verticale richting. Deze staalprofielen zorgen ervoor dat de grond- en waterkerende functie in de wand wordt gewaarborgd. Voor de hart op hart afstand van de profielen wordt doorgaans een afstand van ongeveer 1,0 m – 2,0 m gehanteerd. De dikte van de soilmix wand is veelal 0,55 m. De horizontale gronddruk zal voor een deel direct worden opgenomen door de staalprofielen en het andere deel door het soilmix materiaal die het horizontaal afdraagt naar de staalprofielen.



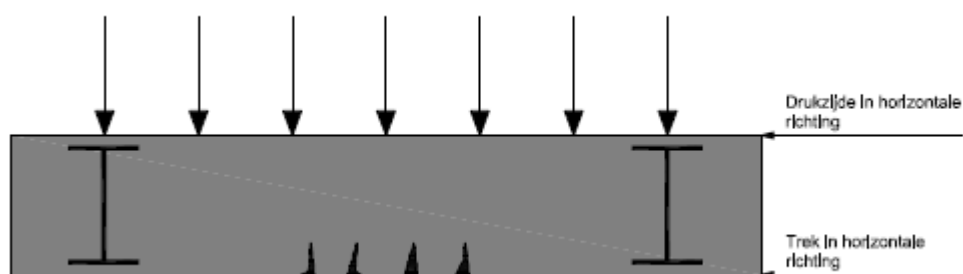
Figuur 4.1: Krachswerking in de soilmix wand, dwarsdoorsnede

Het soilmix materiaal is volgens de leveranciers vergelijkbaar met de betonkwaliteit B5. Deze is instaat geringe drukspanningen (rekenwaarde 3 N/mm^2) op te nemen en zeer kleine trekspanningen (rekenwaarde $0,7 \text{ N/mm}^2$) krachten.

De vervormingen in de wand die worden veroorzaakt door de belasting van de grond tegen de wand zijn dusdanig, dat de trekzijde in verticale en horizontale richting gescheurd zal zijn. Een onverankerde wand zal doorbuigen in de richting van de ontgraving, hierbij ontstaan **trekscheuren aan de zijde van de te keren grond** (zie figuur 4.1)

De afdracht in horizontale richting naar de profielen zal via een drukboog gebeuren, aan de trekzijde zullen verticale scheurtjes ontstaan. De buiging in de lengterichting wordt hoofdzakelijk door de profielen opgenomen. Het aandeel in de Soilmix is klein. Aan de trekzijde in langsrichting zullen horizontale scheurtjes ontstaan. De drukzijde zal er voor zorgen dat de wand zijn waterkerende functie behoudt.

De trekzone ontstaat hier aan de zijde van de ontgraving (zie figuur 4.2).



Figuur 4.2: Krachtwerking in de soilmix wand, bovenaanzicht

Er treden dus trekzones aan beide zijden van de wand op door verschillende mechanismen.

4.2. Berekeningen soilmix wand

Voor de dimensionering van de soilmix wand zijn berekeningen uitgevoerd met het computerprogramma DSHEETPILE. Hiermee kan het mechanisme volgens figuur 4.1 worden geanalyseerd. DSHEETPILE is een ééndimensionaal eindig elementenprogramma voor de berekening van momenten, dwarskrachten en verplaatsingen van een verticale grondkerende wand, al dan niet (meervoudig) verankerd. De druk van de grond op de constructie wordt in de berekening afhankelijk gesteld van de horizontale verplaatsing van de wand. Met het programma kan het effect van opeenvolgende bouwstadia worden onderzocht.

Ook zijn de spanningen in het horizontale vlak en de overdracht naar de H-profielen (figuur 4.2) geanalyseerd met het eindige element programma PLAXIS, versie 2D, V9.1. versie 2010. Bij PLAXIS is als het ware een "plak" uit de dwarsdoorsnede gemodelleerd om te kunnen zien wat de samenwerking is tussen het soilmixmateriaal en het profiel, of er boogwerking optreedt en of we een relatie kunnen leggen tussen de stijfheid van het profiel en van het soilmixmateriaal en de hart op hart afstand van de profielen.

De berekeningen voor de soilmix wand worden uitgevoerd conform de norm geotechniek NEN 6740 en CUR-Publicatie 166 "Damwandconstructies" (5^e druk, deel 1 en 2), waarbij onderscheid is gemaakt in de uiterste grenstoestanden 1A en 1B (UGT) en de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) ook wel bekend als grenstoestand 2.

5. BEREKENINGEN VAN DE KERENDE WAND MET MET D-SHEETPILE

5.1. Algemeen

Doordat het soilmixmateriaal niet als volwaardig beton kan worden beschouwd ($< B15$), verschillen uitvoerende partijen soms van mening hoe de wand zich in constructieve functie gedraagt. Bovendien bestaan er nog geen richtlijnen voor het bepalen van de sterkte en stijfheid van een soilmix wand.

In ons buurland België wordt er op dit moment enkel gerekend op de staalprofielen die in de soilmixwand worden geïnstalleerd gaan om de krachten, vooral de momenten van de grondkering op te nemen. Ze gaan er van uit dat de staalprofielen (IPE of HEA balken) alle grondkering kunnen opnemen (mechanisme volgens figuur 4.1), en het soilmix materiaal zelf enkel dient om lokaal de krachten over te dragen naar de profielen (mechanisme volgens figuur 4.2). Deze berekeningsmethode is bijna gelijk aan de berekeningsmethode van de Berlijnse wand.

In Nederland wordt ook in de berekening het optredend moment (UGT-analyse) volledig door de aanwezige staalprofielen opgenomen, dit omdat de buigtreksterkte van het soilmix materiaal als gering wordt beschouwd. Voor de stijfheid van de wand (BGT-analyse) wordt een samengestelde buigstijfheid van het soilmix materiaal en het profiel gebruikt.

Om inzicht te krijgen in wat de wand doet bij het nemen van verschillende EI-waardes, is de wand berekend met 4 verschillende EI-waardes. Te weten:

- EI-profiel;
- EI-soilmix;
- EI-soilmix (C4/5) +profiel (HE400A), ongescheurde toestand
- EI-soilmix (C4/5) +profiel (HE400A), gescheurde toestand

Voor de berekeningen is uitgegaan van een HE400A, dit wordt doorgaans ook toegepast. Het profiel bepaalt in grote mate de uitbuiging van de wand. Het is het maximaal toelaatbare profiel in verband met de dekking op de wand. Deze bedraagt bij een 0,55 m dikke wand minimaal 0,05 m. (incl. afwijkingen in de uitvoering.)

5.2. Model

5.2.1 Inleiding

Voor de te maken berekeningen in D-Sheet zal er gebruik worden gemaakt van gegevens en uitgangspunten van een bestaand project, waar het grondonderzoek is uitgevoerd door Fugro GeoServices B.V.

Op basis van de gegevens van het project zijn de volgende uitgangspunten aangehouden: In de berekeningen is er vanuit gegaan dat de wand op 7,5 m uit de belending geplaatst wordt. De onderzijde van de fundering ligt op NAP -2,0 m, en er is gerekend met een funderingsdruk van 100 kN/m^2 (representatieve waarde, een aanname). Voor het deel tussen de fundering en de wand is conform stap 2 van het stappenplan van CUR 166 een terreinbelasting met een waarde van 10 kN/m^2 (representatieve waarde) aangehouden.

De representatieve waarden voor de geometrische parameters en overige uitgangspunten is voor iedere bouwphase samengevat in Tabel ...

bouw - fase	representatieve waarde maaiveld [m t.o.v. NAP]		representatieve waarde (grond)waterstand [m t.o.v. NAP]		omschrijving
	hoge zijde	lage zijde	hoge zijde	lage zijde	
1	+1,0	+1,0	-0,2	-0,2	aanbrengen wand
2	+1,0	-2,8	-0,2	-3,1	ontgraven
3	+1,0	-1,0	-0,2	-3,1	aanbrengen stempel
4	+1,0	-9,55	-0,2	-0,2	in de natte ontgraven
5	+1,0	-9,55	-0,2	-9,55	aanbrengen onderwaterbeton
6	+1,0	-8,25	-0,2	-9,55	maken constructievloer / verwijderen stempel

Tabel 5.1: Representatieve waarden geometrische parameters doorsnede

Figuur 5.1: Grafische doorsnede van de geometrie

Voor de doorsnede is de volgende

bouwfaserings aangehouden:

- bouwfase 1: – Inbrengen wand;
– Inbrengen staalprofielen
- bouwfase 2: ontgraven tot NAP -2,8 m
- bouwfase 3: aanbrengen stempel op NAP -1,0 m
- bouwfase 4: in de natte ontgraven tot NAP -9,55 m
- bouwfase 5: aanbrengen onderwaterbeton
- bouwfase 6: water uit put

Stempel

Het stempel is geschematiseerd als een verend steunpunt met een scharnierend verankeringpunt. In de schematisatie van het stempel wordt een veerconstante C_{veer} gehanteerd van $100.000 \text{ kN/m}^1/\text{m}^1$, zodat deze een reële klemmingsweerstand biedt aan de wandconstructie.

5.2.2 Terrein- en bodemgesteldheid

Om in de ondergrond te construeren, dient de ondergrond inzichtelijk te worden gemaakt. Het oriënterend grondonderzoek heeft bestaan een aantal sonderingen incl. meting van de wrijvingsweerstand en de waterspanning.

Op basis van het grondonderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in onderstaande tabel is weergegeven.

Diepte bovenkant laag in m t.o.v. NAP	Bodembeschrijving
+1,58 à +0,73	<u>ZAND</u> Toplaag, plaatselijk puinhoudend
0,0 à -1,0	<u>VEEN</u>
-1,0 à -2,0	<u>ZAND</u> Matig vast gepakt
-6,5 à -8,0	<u>KLEI/VEEN</u> Doorsneden met zandlaagjes
-7,5 à -9,0	<u>ZAND</u> Matig tot zeer vast gepakt
-13,5 à -16,5	<u>ZAND</u> Doorsneden met klei- en veenlagen
-15,5 à -16,5	<u>ZAND</u> Vast tot zeer vast gepakt
-45,0	Maximaal verkende diepte

Tabel 5.2: Globale bodemgesteldheid

Grondwaterstanden en stijghoogten

Belangrijke factor bij het ontwerpen van (diepe) bouwkampen en het dimensioneren van een funderingsconstructie is het aanwezige grondwater. Hierbij is er onderscheid gemaakt tussen het freatisch water, ofwel de reguliere grondwaterstand en de stijghoogten van het in diepere lagen aanwezige grondwater. In de berekeningen is voor de freatische grondwaterstand en voor de stijghoogten in de watervoerende lagen een waarde van NAP - 0,2 m gehanteerd.

Grondparameters

Voor de berekeningen zullen de representatieve waarden voor de relevante grondparameters bepaald aan de hand van interpretatie van het beschikbare grond- en laboratoriumonderzoek en tabel 1 uit NEN 6740.

bovenkant laag [m NAP]	grondlaag	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	δ/δ_g [°]
+1,0	ZAND	18/20	0,0	30,0	20,0/30,0
-0,5	VEEN	11/11	1,5	15,0	0,0
-1,0	ZAND	18/20	0,0	30,0	20,0/30,0
-7,0	KLEI/VEEN	14/14	1,0	22,5	15,0/22,5
-7,5	ZAND	19/21	0,0	32,5	21,6/32,5
-13,5	ZAND, kleihoudend	18/18	0,0	27,5	18,3/27,5
-16,0	VEEN	12/12	2,0	15,0	0,0
-16,5	ZAND	19/21	0,0	32,5	21,6/32,5

Tabel 5.3: Representatieve waarden sterkteparameters

bovenkant laag [m NAP]	grondlaag	horizontale beddingconstante [kN/m ³]					
		lage waarden			hoge waarden		
		$k_{h,1}$	$k_{h,2}$	$k_{h,3}$	$k_{h,1}$	$k_{h,2}$	$k_{h,3}$
+1,0	ZAND	20.000	10.000	5.000	45.000	22.500	11.250
-0,5	VEEN	1.000	500	250	2.250	1.125	560
-1,0	ZAND	20.000	10.000	5.000	45.000	22.500	11.250
-7,0	KLEI/VEEN	2.000	800	500	2.250	1.125	560
-7,5	ZAND	40.000	20.000	10.000	90.000	45.000	22.500
-13,5	ZAND, kleihoudend	12.000	6.000	3.000	27.000	13.500	6.750
-16,0	VEEN	2.000	800	500	2.250	1.125	560
-16,5	ZAND	40.000	20.000	10.000	90.000	45.000	22.500

Tabel 5.4: Representatieve waarden stijfheidparameters (wand)

Opmerkingen:

- γ en γ_{sat} = volumiek gewicht; sat = verzadigd
- c' = effectieve cohesie
- ϕ' = effectieve hoek van inwendige wrijving
- δ = wandwrijvingshoek.
- δ_g = Bij toepassing van een in de grond gevormde wand mag conform EC7 $\delta = \phi'$ worden aangehouden (CUR 166, deel 2, §3.4.3).
- voor een berekening conform CUR Publicatie 166 kan een multi-lineaire veer karakteristiek worden gehanteerd, bestaande uit 3 tussentakken aangeduid met $k_{h,1}$ t/m $k_{h,3}$, waarin:
 - $k_{h,1}$ = lage- of hoge waarde voor de horizontale beddingconstante van tak 1
 - $k_{h,2}$ = lage- of hoge waarde voor de horizontale beddingconstante van tak 2
 - $k_{h,3}$ = lage- of hoge waarde voor de horizontale beddingconstante van tak 3.

5.2.3 D-Sheet, wand invoer

Er is bij de berekeningen van het volgende uitgegaan:

- 1 de staalprofielen staan h.o.h. 1 m, profiel HE400A met een staalkwaliteit van S235.
- 2 de wand is 0,55 m dik.
- 3 het soilmixmateriaal heeft betonkwaliteit C4/5

Moment

In de berekeningen zijn we er vanuit gegaan dat het optredende moment volledig opgenomen wordt door het staalprofiel.

$$M_{u;d} = W_{y;HE400A} \cdot \sigma_{yk}$$

$$M_{u;d} = 2310 \cdot 10^3 \cdot 235 = 542 \text{ kNm}$$

Stijfheid

El- profiel

Profiel HE400A, h.o.h. 1,0 m.

$$E_{\text{profiel}} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{\text{profiel}} = 45069 \text{ cm}^4 = 0,00045 \text{ m}^4$$

$$EI_{\text{profiel}} = 2,1 \cdot 10^8 \cdot 4,5069 \cdot 10^{-4} = 9,4645 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

El-soilmix

Aanname C4/5

$$E_{\text{soilmix}} = 5000 \text{ MPa} = 5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{\text{soilmix}} = 1/12 \cdot \rho_a \cdot d^3 = 1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,55^3 = 0,0139 \text{ m}^4$$

$$EI_{\text{soilmix}} = 6,9323 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

El-soilmix + profiel (HE400A), ongescheurde toestand

$$E_{\text{profiel}} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{\text{profiel}} = 45069 \text{ cm}^4 = 0,00045 \text{ m}^4$$

$$EI_{\text{profiel}} = 2,1 \cdot 10^8 \cdot 4,5069 \cdot 10^{-4} = 9,4645 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

$$E_{\text{soilmix}} = 5000 \text{ MPa} = 5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{\text{soilmix}} = 1/12 \cdot \rho_a \cdot d^3 = 1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,55^3 = 0,0139 \text{ m}^4$$

$$EI_{\text{soilmix}} = 6,9323 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{\text{samen}} = 1,6397 \cdot 10^5 \text{ kNm}^2$$

El-soilmix (C4/5) + profiel (HE400A), gescheurde toestand

$$EI_{\text{gescheurd}} = 50 \% \cdot EI_{\text{ongescheurd}} = 50 \% \cdot 6,9323 \cdot 10^4 = 3,4662 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{\text{soilmix}} + EI_{\text{staal}} = 9,4645 \cdot 10^4 + 3,4662 \cdot 10^4 = 12,9307 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

5.3. Berekeningsresultaten

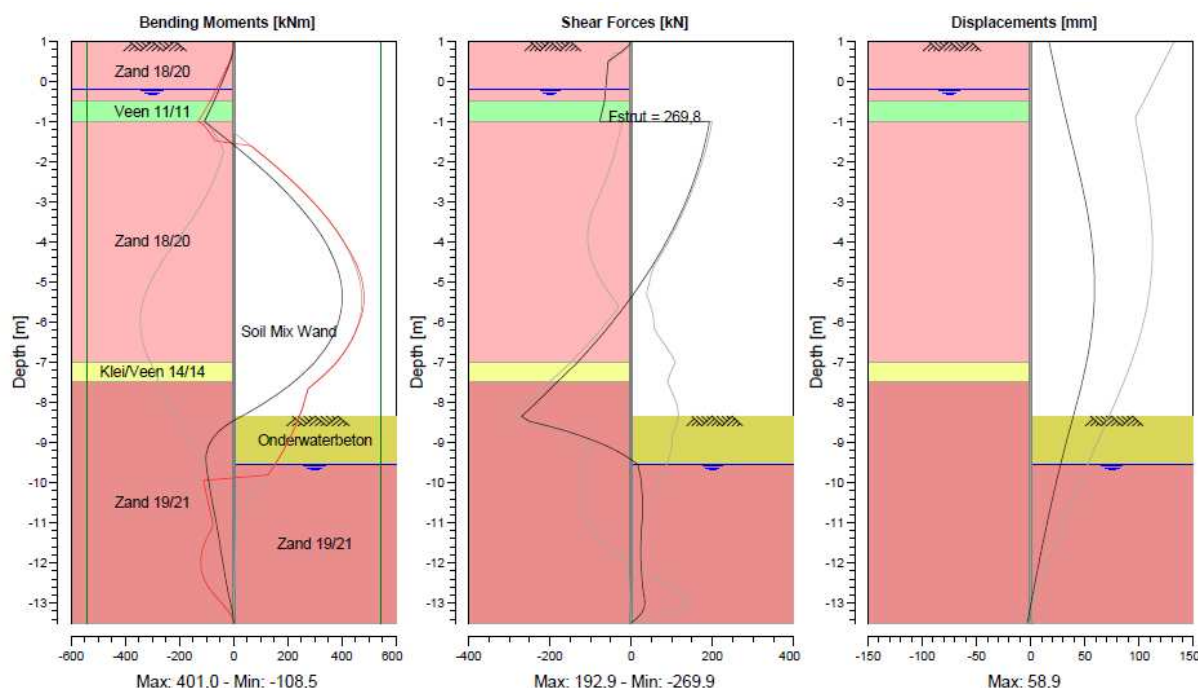
In de onderstaande tabel is van een doorsnede van de soilmixwand de berekeningsresultaten gepresenteerd voor de verschillende EI-waardes.

De berekeningsresultaten zijn tevens gepresenteerd in Figuur 5.2 waarbij alleen met de EI-waarde van het Profiel is gerekend, Figuur 5.3 waarbij is gerekend met de EI-waarde van het Soilmix, Figuur 5.4 geeft de resultaten weer wanneer er gerekend wordt met de EI-waardes van het profiel en Soilmix materiaal in ongescheurde toestand, In Figuur 5.5 is de EI-waarde van het profiel en Soilmix materiaal verwerkt in gescheurde toestand.

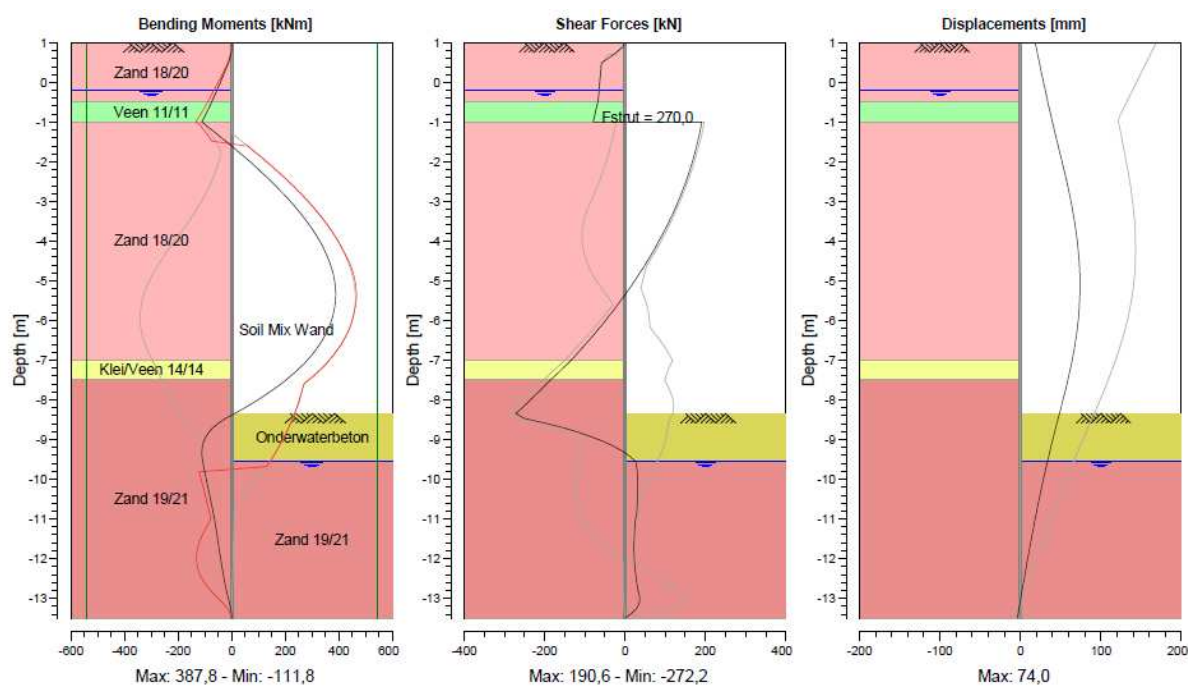
El-waarden invoer	E [kPa]	I [m ⁴ /m]	El- waarden (kNm ² /m ¹)	Max. moment (kN)	Verplaatsing (mm)
Profiel	$2,1 \cdot 10^8$	0,00045	$9,4645 \times 10^4$	401	59
** soilmix ongescheurd	$5 \cdot 10^6$	0,0139	$6,9323 \times 10^4$	338	80
Profiel + soilmix, ongescheurd	$2,1 \cdot 10^8$	0,00045	$1,6397 \cdot 10^5$	428	40
	$5 \cdot 10^6$	0,0139			
Profiel + soilmix, gescheurd	$2,1 \cdot 10^8$	0,00045	$1,2931 \cdot 10^5$	415	47
	$2,5 \cdot 10^6$	0,0139			

Tabel 5.5: Berekeningsresultaten van de verschillende EI-waardes

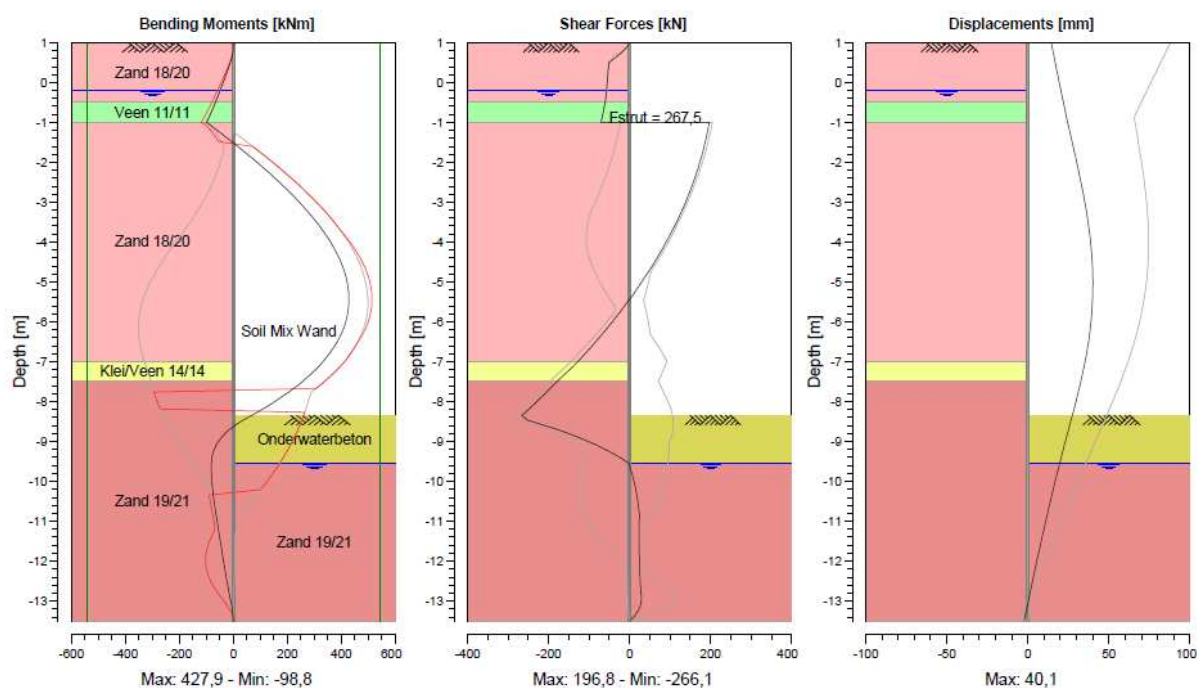
** Wanneer alleen de EI-waarde van het soilmix materiaal wordt gebruikt in de berekening, bezwijkt de wand. Als je voor de pure soilmix wand een treksterkte van ca 1,3 MPa aanhoudt, is het maximaal ongescheurd moment. $M = 1/6 \cdot d^2 \cdot h \cdot f_{bm}$ (gemiddelde treksterkte) = 65,5 kNm/m. En met de rekenwaarde $M = 1/6 \cdot d^2 \cdot h \cdot f_b = 33,3$ kNm/m.



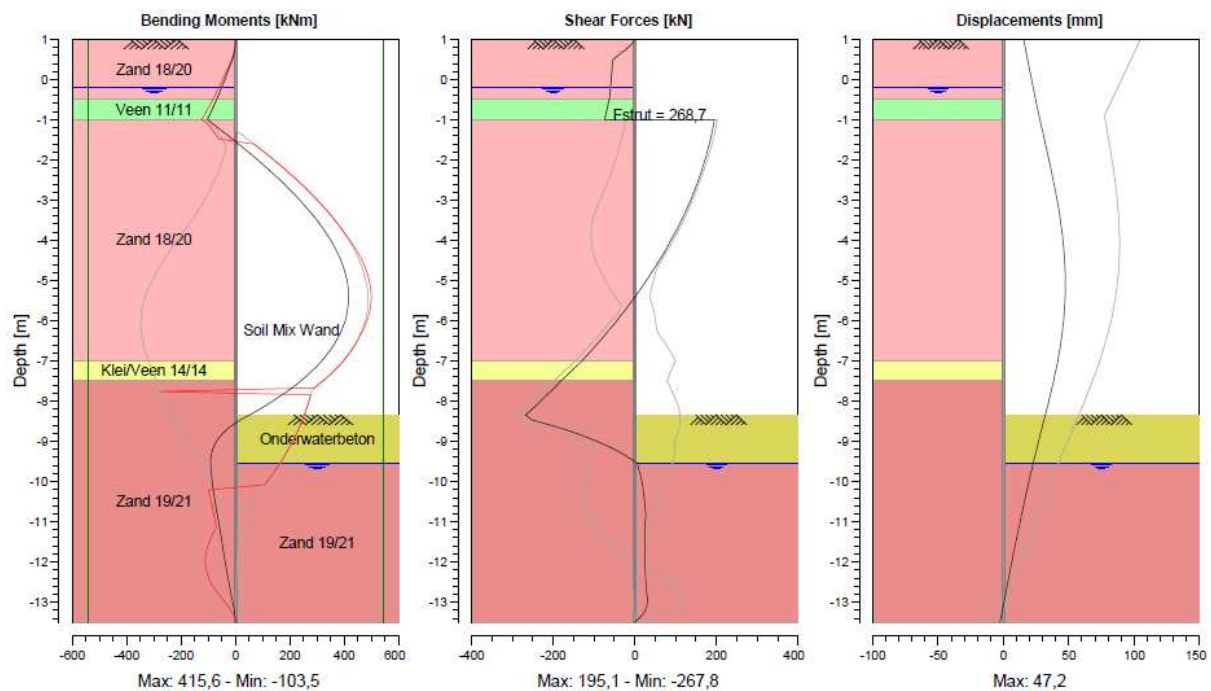
Figuur 5.2: Berekeningsresultaten, EI-waarde profiel



Figuur 5.3: Berekeningsresultaten, EI-waarde soilmix



Figuur 5.4: Berekeningsresultaten, EI-waarde profiel + soilmix ongescheurd



Figuur 5.4: Berekeningsresultaten, EI-waarde profiel + soilmix gescheurd

5.4. Conclusie

Bij het berekenen van een soilmix wand heerst er onzekerheid over de in te voeren waarden, zoals de stijfheid van de wand. Er wordt uitgegaan van de samenwerking tussen soilmix en de profielen, of alleen de stijfheid van het profiel wordt meegenomen in de berekeningen. Bij het analyseren van de berekeningsresultaten is het volgende gebleken:

- Wanneer men uitgaat van een soilmix wand zonder profielen, wordt het toelaatbare moment overschreden en de wand bezwijkt.
- Er treedt een gelijkwaardig moment op wanneer men de EI waarde hanteert van het soilmix materiaal + het profiel of van het profiel alleen. En wanneer het soilmix niet in de berekening wordt meegenomen de verplaatsing meer dan 20% is.
- Met deze berekeningen wordt niet de samenwerking tussen het profiel en het soilmix materiaal aangetoond, zie hiervoor Hoofdstuk 6.

6. PLAXIS

6.1. Algemeen

Wanneer de soilmix wand zijn sterkte heeft bereikt, zal de bouwput worden ontgraven. Als de bouwput wordt ontgraven, zal de wand in gebruiksfase treden en zal de wand de belasting aan de actieve zijde op moeten nemen. Onduidelijk bij de soilmix wand is nog hoe de belastingsafdracht nu werkelijk optreedt:

- Geschiedt de krachtsoverdracht door buiging in horizontale richting van de soilmix?
- Treedt er boogwerking in de wand op tussen de profielen?
- Hoe geschiedt de krachtsoverdracht naar de profielen in de Soilmix-wand?
- Wat is de optimale afstand tussen de profielen, afhankelijk van de dikte van de wand?

Voor een nadere analyse van de krachtsverdeling is een analyse met het Eindige Elementen programma PLAXIS uitgevoerd.

6.2. Model

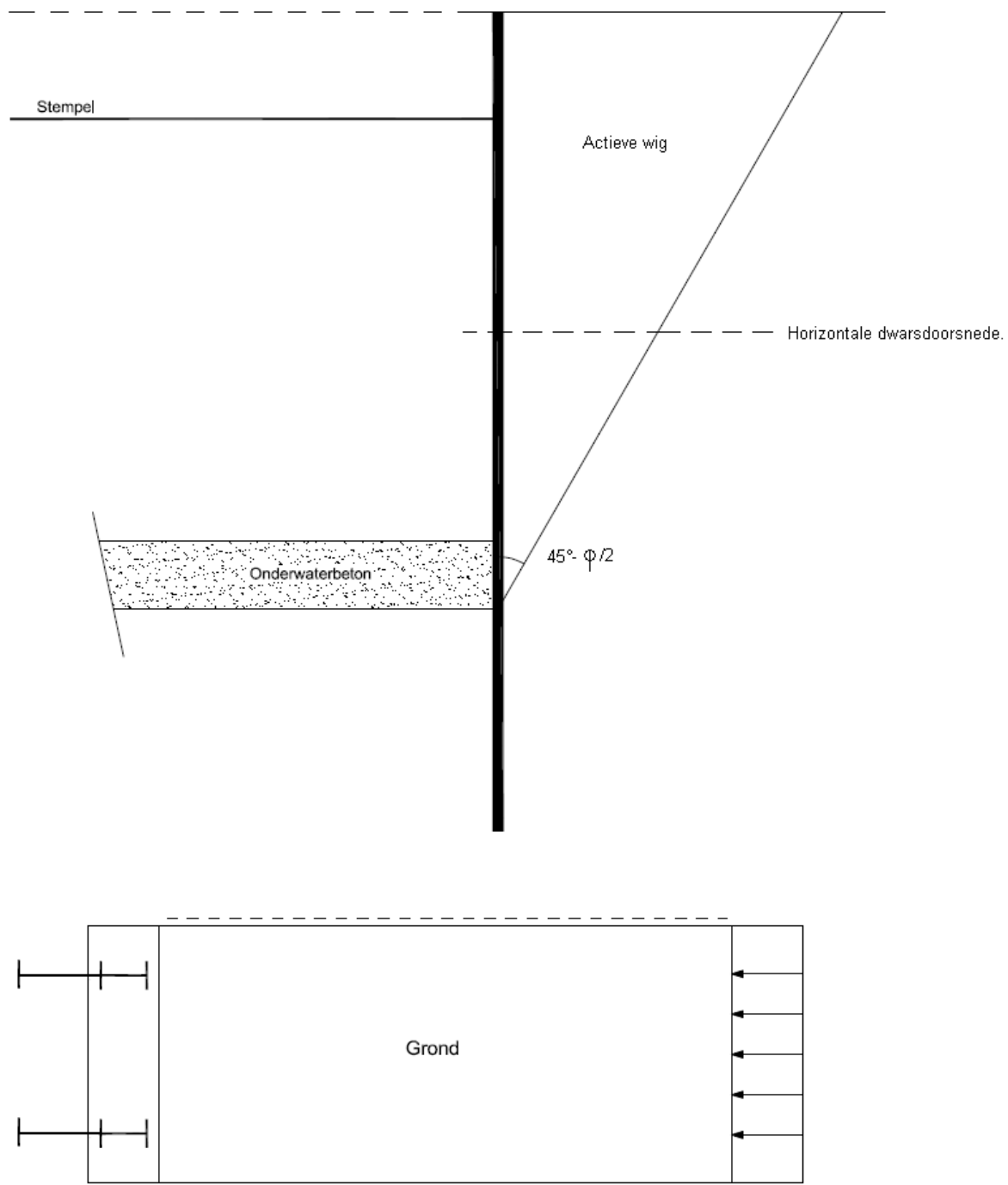
Het probleem van de overdracht van de krachten tussen soilmix en H-profielen is in feite 3-dimensionaal. In dit geval is een vereenvoudiging toegepast door een horizontale doorsnede van de wand te beschouwen. Op deze wijze kan met een 2 dimensionale doorsnede worden volstaan, waarbij toch de H-profielen en de wand kunnen worden gemodelleerd.

Verder is gekozen voor lineair elastisch grondgedrag. Deze vereenvoudiging is gemaakt, omdat PLAXIS normaal rekent met een bezwijkmodel (bv Mohr-Coulomb), waarbij de spanningen toenemen met de diepte tgv gravitatie. Echter, omdat in het horizontale vlak de spanningen niet toenemen met diepte, was een dergelijk model niet mogelijk.

Bij een lineair elastisch model is er een constante relatie tussen de spanning σ en de rek ϵ , die wordt gekarakteriseerd door de elasticiteitsmodulus E . Een 2 maal zo grote spanning levert dan ook 2 maal zoveel vervorming op. Verder is de dwarscontractie van belang, die wordt aangegeven met de dwarscontractie coëfficiënt (Poisson Ratio) ν .

Uit een dwarsdoorsnede van de wand is een horizontale doorsnede gemaakt, zoals weergegeven in figuur 6.1.

o

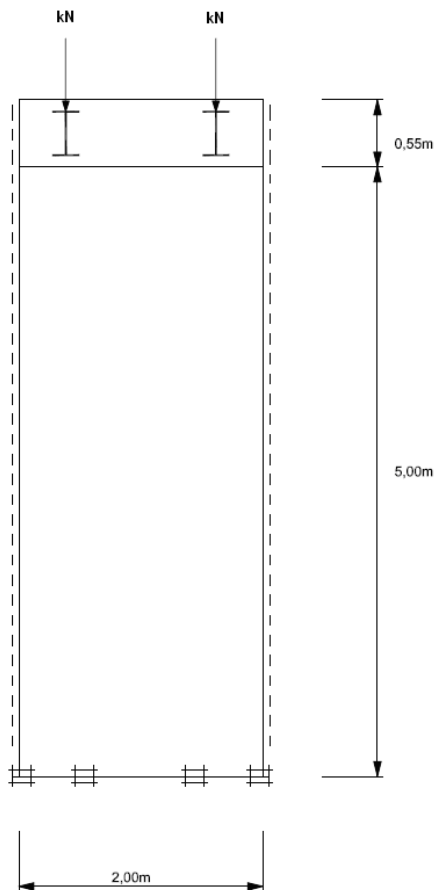


Figuur 6.1: De dwarsdoorsnede waaruit een horizontale doorsnede is gemaakt.

In de horizontale doorsnede wordt de belasting veroorzaakt door de horizontale actieve gronddruk achter de wand. Deze drukt tegen de wand en wordt afgedragen naar de profielen, die een star geheel vormen.

In het model is de belasting vanwege numerieke problemen echter omgedraaid. De belasting is aangebracht op de H-profielen, die nu tegen de grond indrukken. Bij een lineair elastisch model is dit een gelijkwaardige aanname.

Het rekenmodel ziet er nu uit, zoals weergegeven in figuur 6.2



Figuur 6.2: Model in PLAXIS

Voor de materialen zijn de volgende in de onderstaande tabel gepresenteerde parameters toegepast.

Materiaal	Elasticiteitsmodulus E [MPa]	Dwarscontractie coefficient ν [-]	Interfaces
Soilmix	5000	0,15	Volledige aanhechting
Zand	23	0,15	nvt

Tabel 6.1: Plaxis – ingevoerde parameters

De waarde van de elasticiteitsmodulus is afkomstig van de materialen. De dwarscontractie is een aanbevolen waarde in PLAXIS.

In de soilmix wand worden profielen geplaatst om afschuif- en buigkrachten in de wand op te kunnen vangen. Doordat de kwaliteit van de wand op elke bouwlocatie verschilt bestaan er geen vaste afmetingen van de h.o.h. afstand tussen de profielen. Omdat de h.o.h. afstanden doorgaans variëren tussen de 1,0 en 2,0 m. Is er voor gekozen om voor de afstanden 1,0 m; 1,25 m; 1,50 m; 1,75 m en 2,0 m de wand te berekenen en te zien of er met deze berekening iets gezegd kan worden over de wat de wand doet wanneer de h.o.h. afstand wordt vergroot.

Zoals hiervoor beschreven, wordt een belasting op de H-profielen uitgeoefend. Deze is als een fictieve belasting van 200 kN voor een h.o.h. afstand van 1 m genomen. De fictieve belasting is afhankelijk van de hart op hart afstand van de profielen en bedraagt voor een hart op hart afstand van 1 m 200 kN, voor een hart op hart afstand van 2 m dus 400 kN.

H.o.h. afstand profielen [m]	Belasting op profiel [kN]
1,00	200
1,25	250
1,50	300
1,75	350
2,00	400

Tabel 6.2: Plaxis – belasting, hart op hart afstand profielen

6.3. Berekeningsresultaten

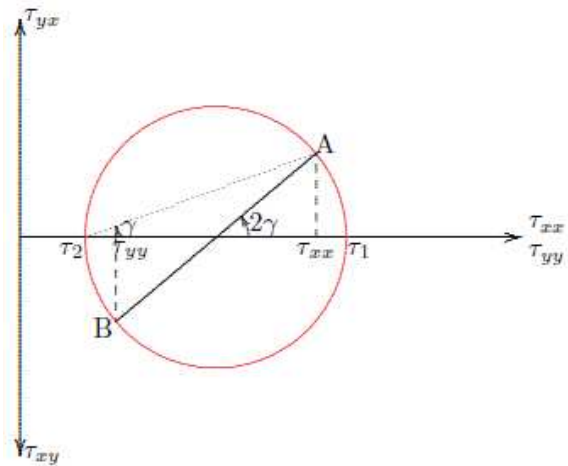
6.3.1 Inleiding

De berekeningsresultaten zijn hieronder weergegeven voor een hart op hart afstand van de H-profielen van 1,0 m. De resultaten voor de overige hart op hart afstanden zijn gegeven in bijlage 1.

De volgende figuren zijn opgenomen:

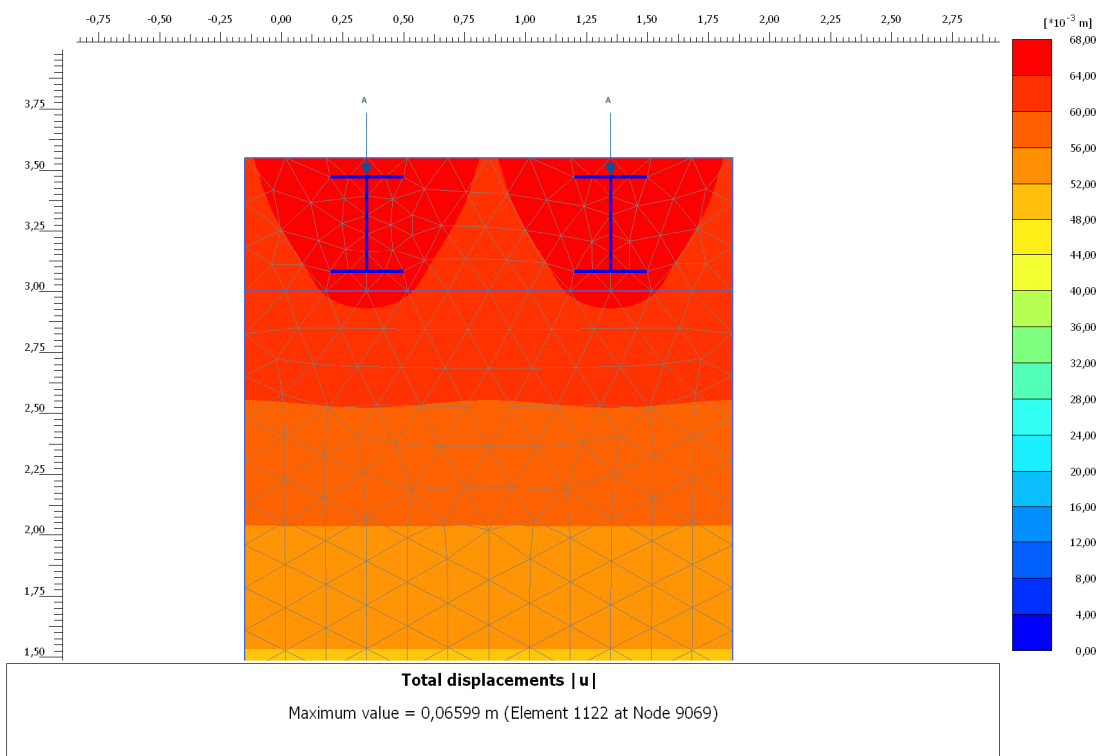
- Verplaatsingscontouren – hierbij moet worden bedacht, dat de profielen worden belast en dat de grond aan de onderzijde van de mesh gefixeerd is. In de praktijk is de situatie net andersom: d.w.z. de grondvervorming is groter dan de vervorming van de profielen. Deze zullen nauwelijks verplaatsen.
- Spanningskruisjes van de grootste en de kleinste hoofdspanning. Hieruit is de richting van de voornaamste spanningen op te maken en wordt inzicht gegeven in de krachtswerking.
- Contour van de grootste hoofdspanning σ'_1
- Contour van de kleinste hoofdspanning σ'_2

Toelichting op de hoofdspanningen: De hoofdspanningen kunnen worden gedefinieerd met behulp van de Cirkel van Mohr. In elk punt van de mesh worden normaalspanningen en schuifspanningen berekend. Door deze spanningen samen te stellen in een cirkel van Mohr, kunnen de hoofdspanningen worden bepaald (zie figuur 6.3). Ook de hoofdspanningsrichtingen worden uit de cirkel van Mohr afgeleid.



Figuur 6.3: Hoofdspanningen en Cirkel van Mohr

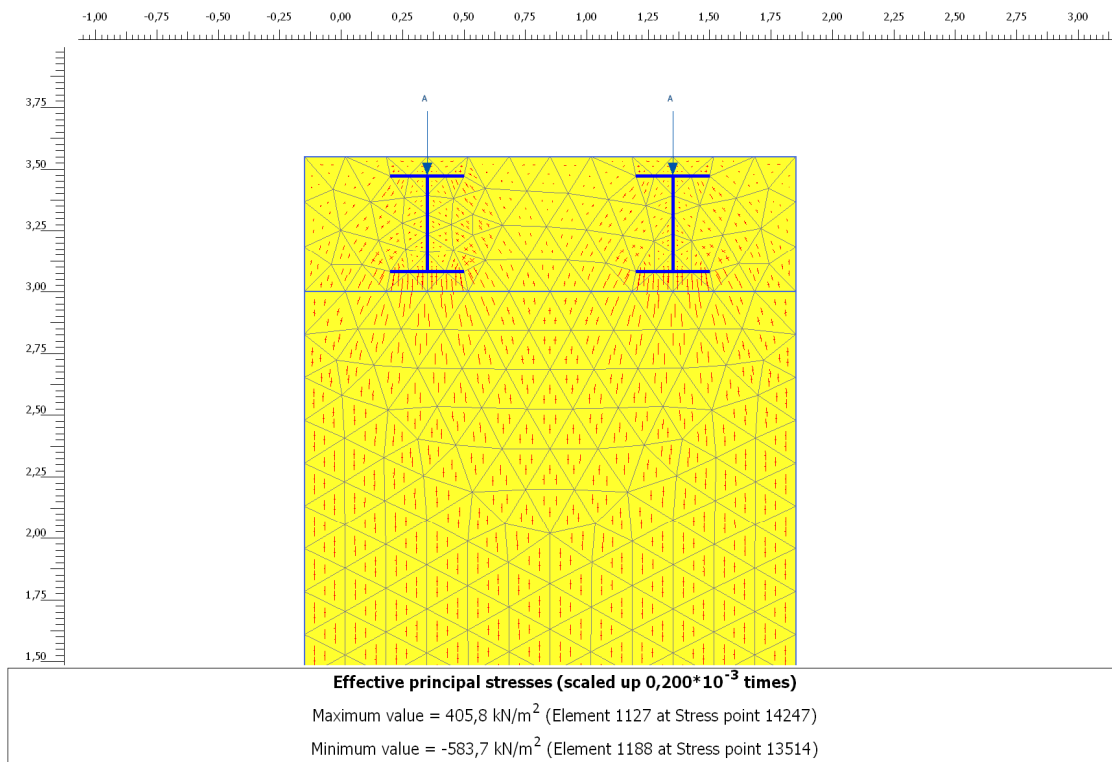
De vervormingen van de mesh zijn weergegeven voor een hart op hart afstand van de profielen van 1,0 m in figuur 6.4



Figuur 6.4: vervormingscontouren van de EEM mesh

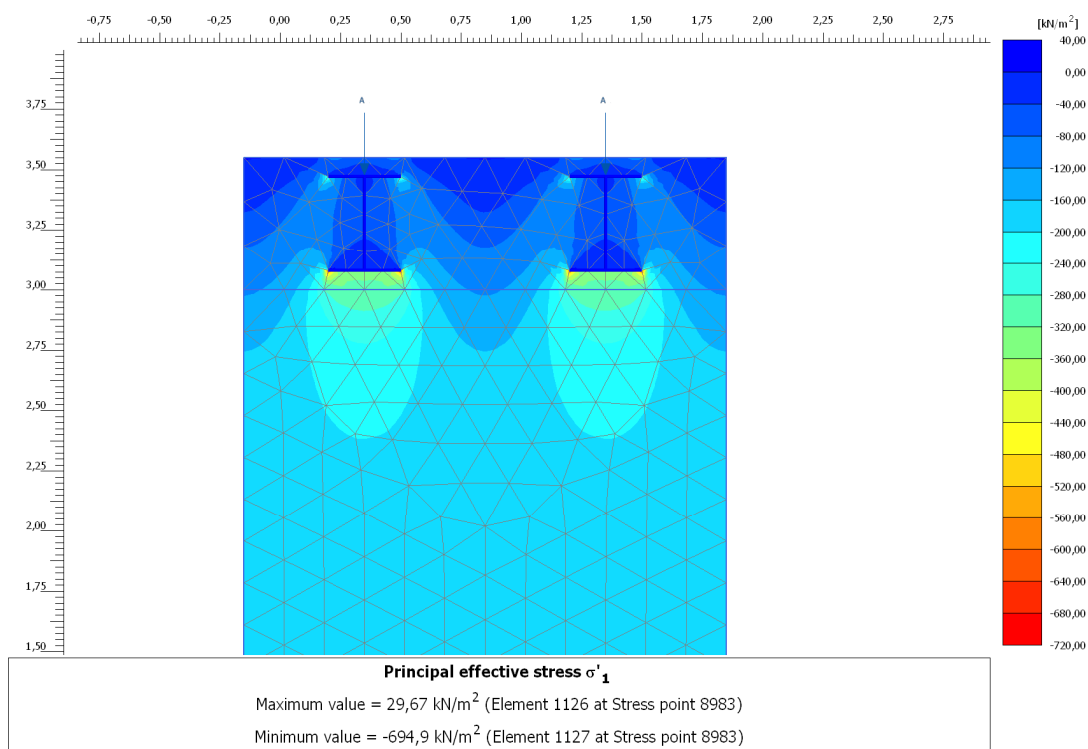
Uit de figuur blijkt, dat de soil mix wand enigszins doorbuigt tussen de H-profielen. De maximale doorbuiging bedraagt ca. 2 à 3 mm.

In figuur 6.5 zijn de spanningskruisjes weergegeven.

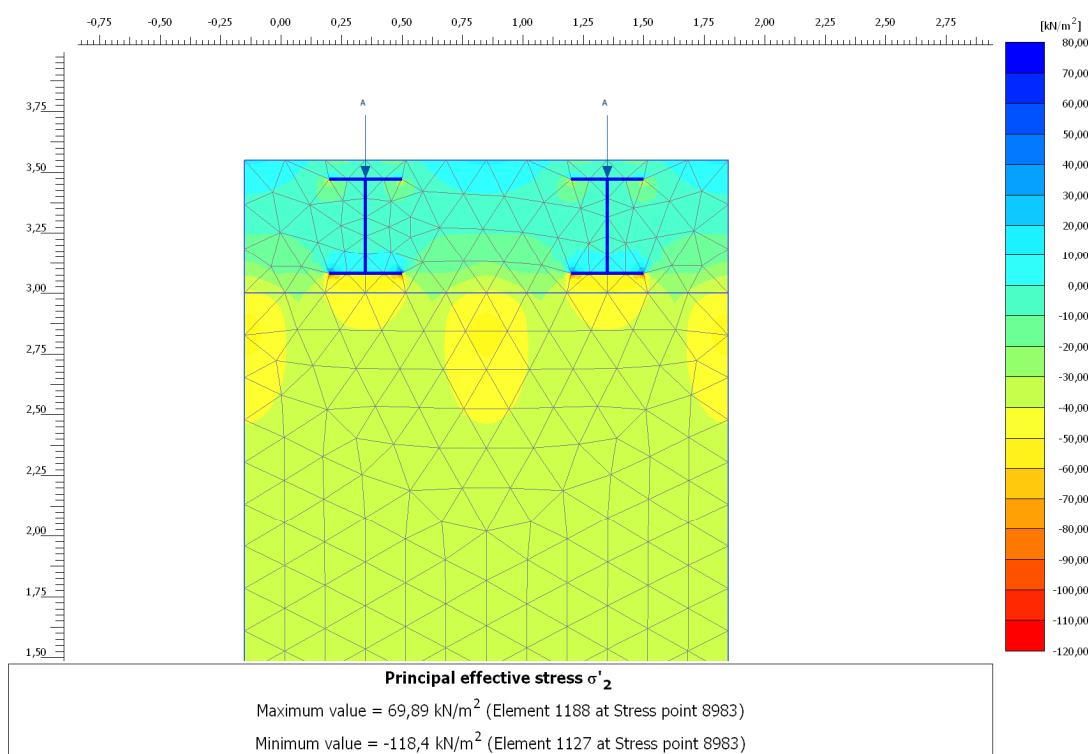


Figuur 6.5: Spanningskruisjes

Hieruit is duidelijk te zien, dat er een afbuiging van de grootste hoofdspanning optreedt naar de I-profielen toe. In feite vindt er dus een verdraaiing van de hoofdspanningen plaats. In het algemeen is de grootste hoofdspanning altijd een drukspanning, terwijl de kleinste hoofdspanning nabij de bovenrand van de mesh wisselt van druk naar trek. Dit is duidelijk te zien in de figuren 6.6 en 6.7, waarin de hoofdspannings contouren gegeven zijn voor de grootste en de kleinste hoofdspanning.



Figuur 6.6: grootste hoofdspanning σ'_1



Figuur 6.7 : grootste hoofdspanning σ'_2

Hieruit blijkt, dat er trekspanningen ontstaan aan de bovenzijde van de flenzen van het H-profiel en in een driehoek midden tussen de H-profielen. De (positieve) trekspanningen liggen in de orde van maximaal 70 kPa. De (negatieve) drukspanningen lopen op tot lokaal 700 kPa op de hoeken van de flenzen, met een gemiddelde van ca. 400 kPa.

De diepte van de trekzone aan de bovenzijde (driehoek tussen de H-profielen) bedraagt maximaal 300 mm.

6.3.2 Samenvatting van alle resultaten

In tabel 6.3 wordt een overzicht gegeven van de resultaten voor de overige hart op hart afstanden.

Hart op hart afstand [m]	Relatieve verplaatsing [mm]		Diepte spanningszone [m]
	A1-A2	B1-B2	
1,0	2,0	1,5	0,3
1,25	3,5	3,5	0,4
1,5	6,5	5,5	0,6
1,75	8,0	7,0	0,75
2,0	9,5	8,5	0,95

Tabel 6.3: resultaten van de variërende h.o.h. afstanden tussen de profielen

6.4. Conclusie

De grootste vraag voor ons was hoe de belastingsafdracht nu werkelijk plaatsvindt in de soilmix wand en of dat dit in het programma PLAXIS zou kunnen worden gemodelleerd en of er een conclusie uit zou kunnen worden getrokken.

Door middel van de grootste drukspanningen, de spanningskruisjes (figuur 6.5) is goed te zien hoe de spanningen zich gedragen in de soilmix wand. Zo zie je de spanningen onder een hoek wegllopen in het soilmix materiaal naar de grond toe. In de zone tussen de driehoek, zijn spanningen erg laag en worden deze niet opgenomen door de profielen. Voor een goede overdracht van de belasting naar de profielen dient de driehoek binnen de wand te vallen. Wanneer de h.o.h. afstand tussen de profielen groter wordt, wordt ook de driehoek groter. Bij de afstand van 1,5 m tussen de profielen valt de driehoek buiten de soilmix wand. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat de optimale plaatsing van profielen binnen een afstand van 1,5 m h.o.h. ligt.

Aangetekend is, dat het model een simpele benadering is van de werkelijkheid doordat:

- Het een 2-D model is. De werkelijkheid is in 3-D, hetgeen met een complexe Plaxis 3-D analyse kan worden geanalyseerd.
- Het model is lineair elastisch, bezwijkgedrag is niet meegenomen.
- De zwaartekracht is verwaarloosd, vanwege de horizontale doorsnede.

7. EINDCONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

7.1. Eindconclusie

De soilmix methode is een goede en professionele techniek. De grote voordelen van deze methode zijn dat:

- De toepassing van deze techniek trillingsvrij is.
- Er zal nagenoeg geen ontspanning van de grond optreden, doordat geen grond wordt verwijderd. Zo kan de soilmix techniek dichtbij bestaande belendingen uitgevoerd worden, wat in binnenstedelijk gebied een belangrijk voordeel is.
- Economisch gezien is het aanbrengen van een soilmix wand gunstig, het bestaat niet volledig uit beton en het bevat een minimum aan staal.

Wel is de sterkte van de wand sterk afhankelijk van de bodemtypen op de projectlocatie. Het vervaardigen van de wand is het meest geschikt in zandgronden.

De druksterkte en de E-waarde van aannemers zijn vergeleken met literatuur. De druksterkte die door de aannemers wordt aangegeven komt goed overeen met de literatuur (WTCB).

De constructieve werking is onderzocht door een gescheiden 2-D analyse (a) in verticaal vlak (D-Sheet piling) en (b) horizontaalvlak (Plaxis)

a) Uit de berekeningen die zijn uitgevoerd met het programma D-Sheet piling (Hoofdstuk 5), is het volgende gebleken:

- Wanneer men uitgaat van een soilmix wand zonder profielen, wordt het toelaatbare moment overschreden en de wand bezwijkt.
- Er een gelijkwaardig moment optreedt wanneer met de EI waarde hanteert van het soilmix materiaal + het profiel of het profiel alleen. En wanneer het soilmix niet in de berekening wordt meegenomen de verplaatsing meer dan 20% is.

b) Het model in Plaxis geeft een goed beeld van de krachtswerking als functie van de h.o.h. afstand van de profielen. De maximale h.o.h. afstand tussen de profielen moet kleiner zijn dan 1,5 m, omdat de trekzone anders buiten de soilmix wand treedt.

Overigens was deze analyse beperkt van omvang, een integrale 3-D som geeft mogelijkheid om het gehele probleem diepgaander te analyseren.

7.2. Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen voor verder onderzoek worden gedaan:

1. De h.o.h. afstand tussen de profielen en de keuze van het toe te passen profiel, kunnen worden geoptimaliseerd. Bijvoorbeeld de toepassing van een HEA profiel versus een IPE profiel.
2. Verder onderzoek naar de eigenschappen van de soilmix in Nederland, met bepaling van de druksterkte en de elasticiteitsmodulus ter vergelijking met de waarden uit België. Er dient onderscheid gemaakt te worden naar grondsoort.
3. Metingen van verplaatsingen en krachten in de soilmix wand bij een project in uitvoering. Eventueel kunnen de metingen ook in een modelproef, bijv. in een geocentrifuge worden uitgevoerd.

4. Een 3-D analyse met Plaxis van de soilmix wand, bij voorkeur gekoppeld aan de metingen uit de praktijk.

8. BRONVERMELDING

Literatuur

- Informatiebladen en presentaties, Bauer funderingstechniek B.V.
- Informatiebladen, Hoffmanngroep Wedam damwanden
- Uitvoeringfiches Soil mix wanden, WTCB
- 'Handboek Ondergronds Bouwen, deel 2: Bouwen vanaf het maaiveld', Centrum Ondergronds Bouwen, A.A. Balkema, Rotterdam, 2000
- CUR 166 Damwandconstructies, 5^e druk, deel 1+2
- NEN 6740 – Geotechniek (TGB 1990) Basiseisen en belastingen
- CB2 Constructieleer Gewapend Beton, 4^e druk, dr.ir.drs.C.R.Braam en ir.P.Lagendijk

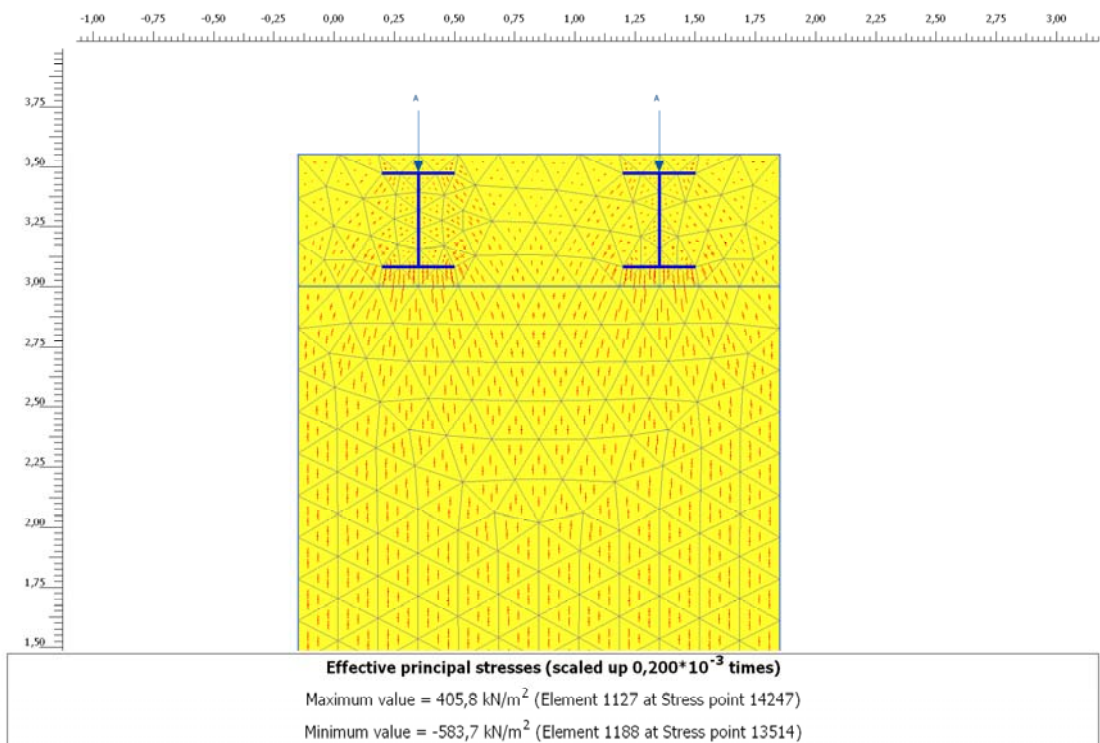
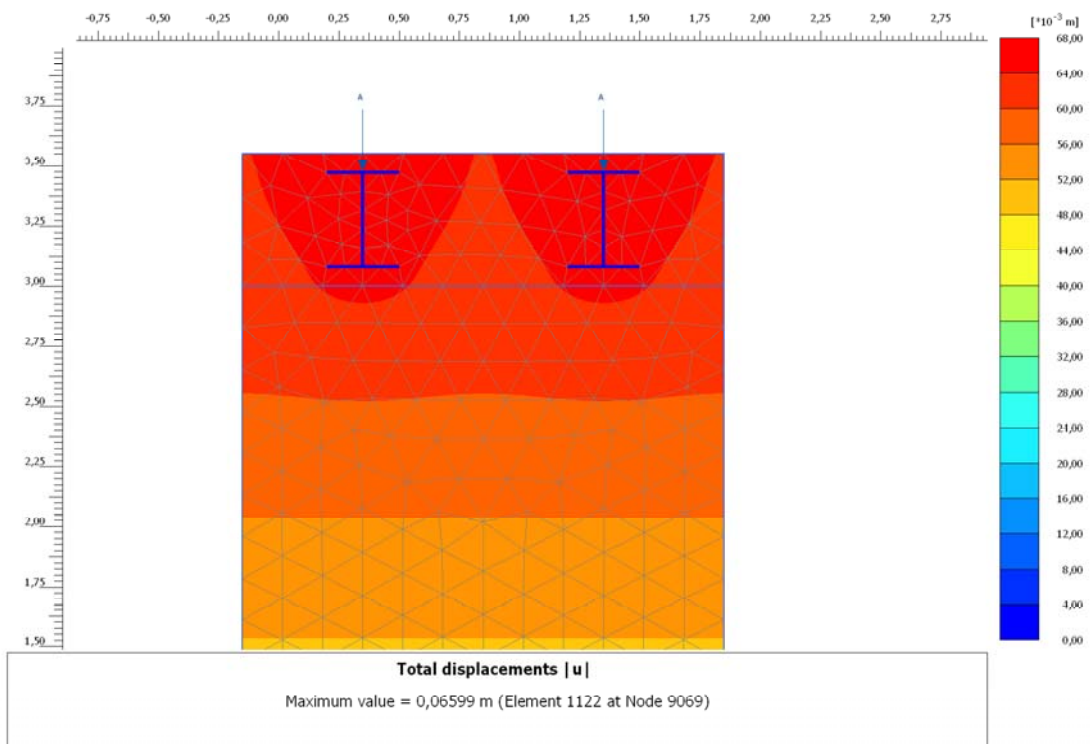
Websites

- <http://www.bauernl.nl/>
- <http://www.hoffmanngroep.com/>
- <http://www.lameirest.be/>
- <http://herrenknecht.com>
- <http://www.wtcb.be/>
- <http://www.cob.nl/>

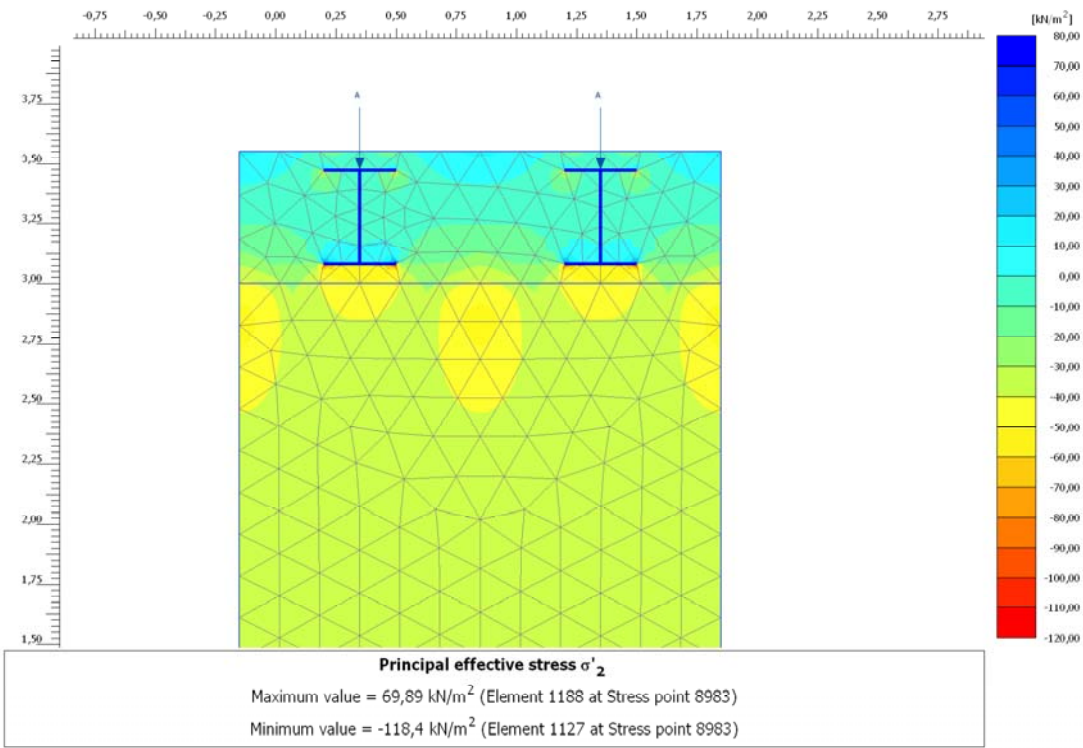
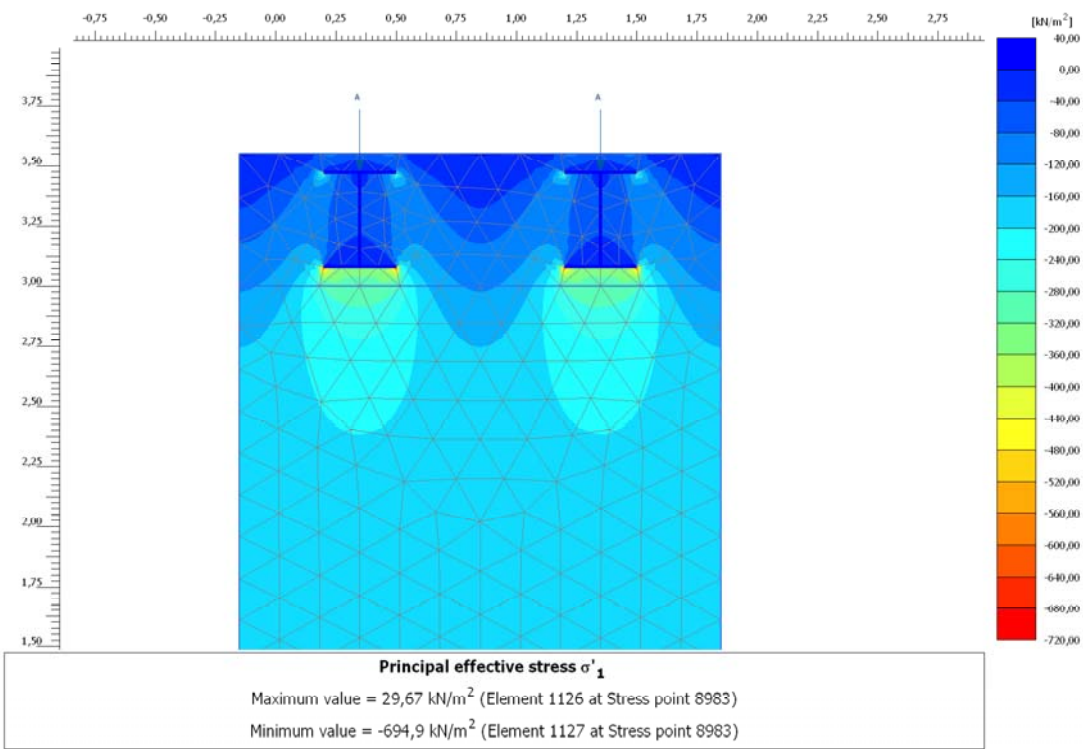
BIJLAGE 1

Berekeningsresultaten Plaxis

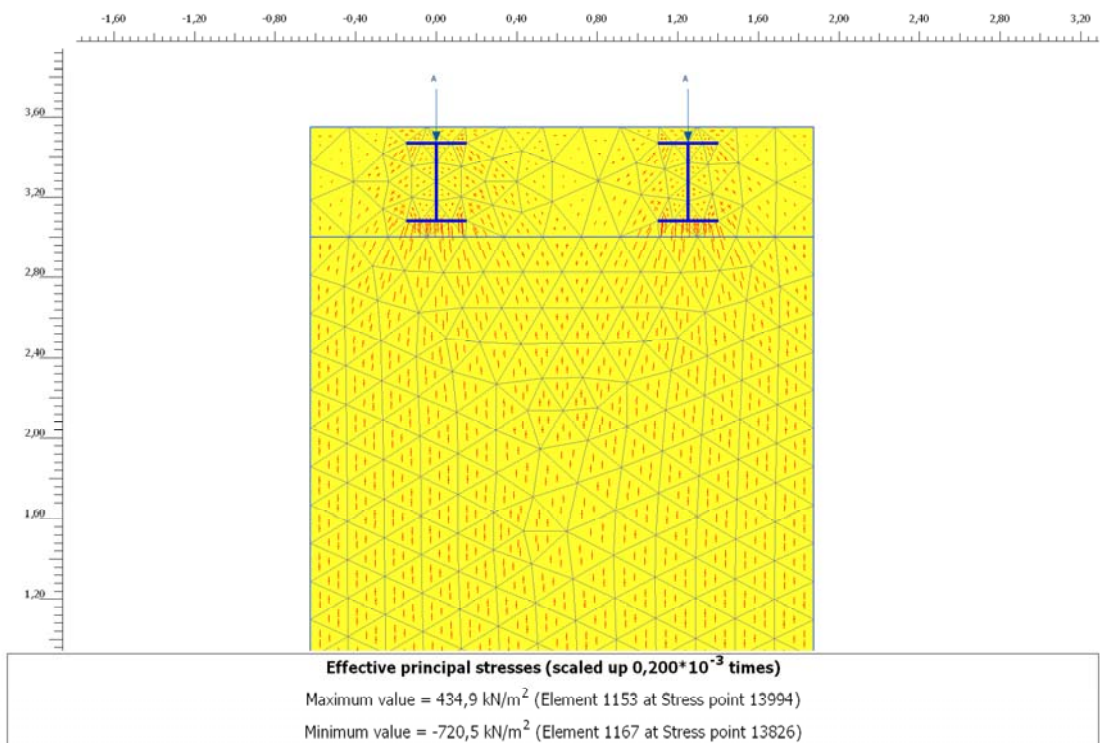
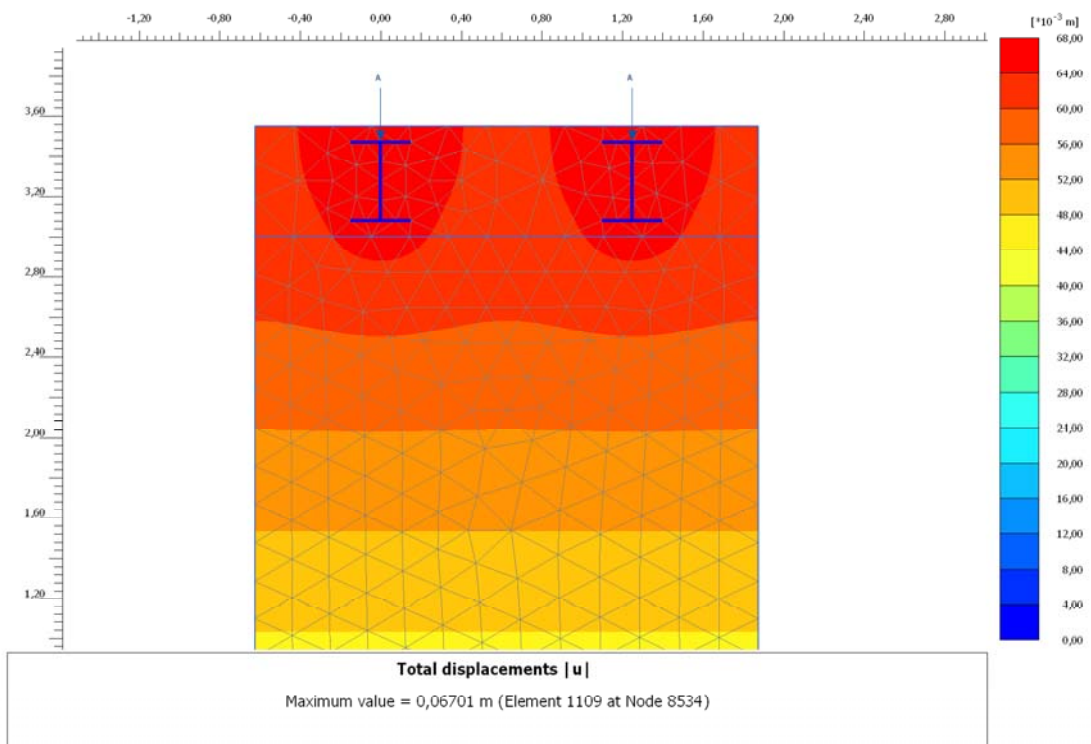
h.o.h. afstand profielen, 1,00 m



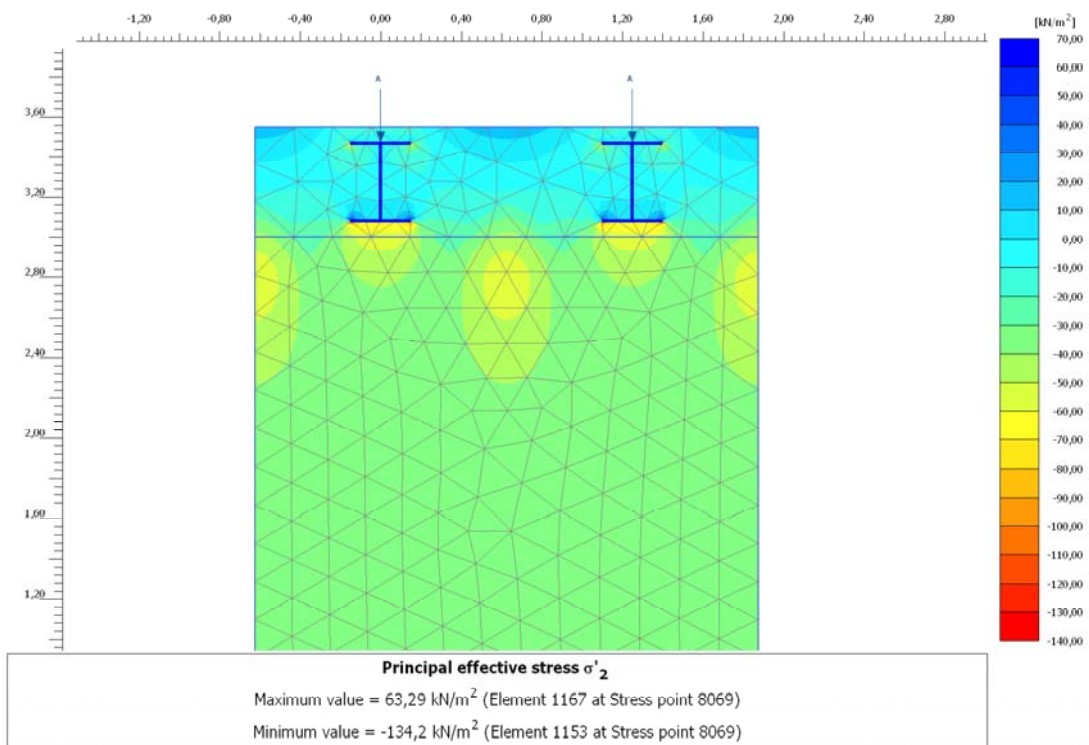
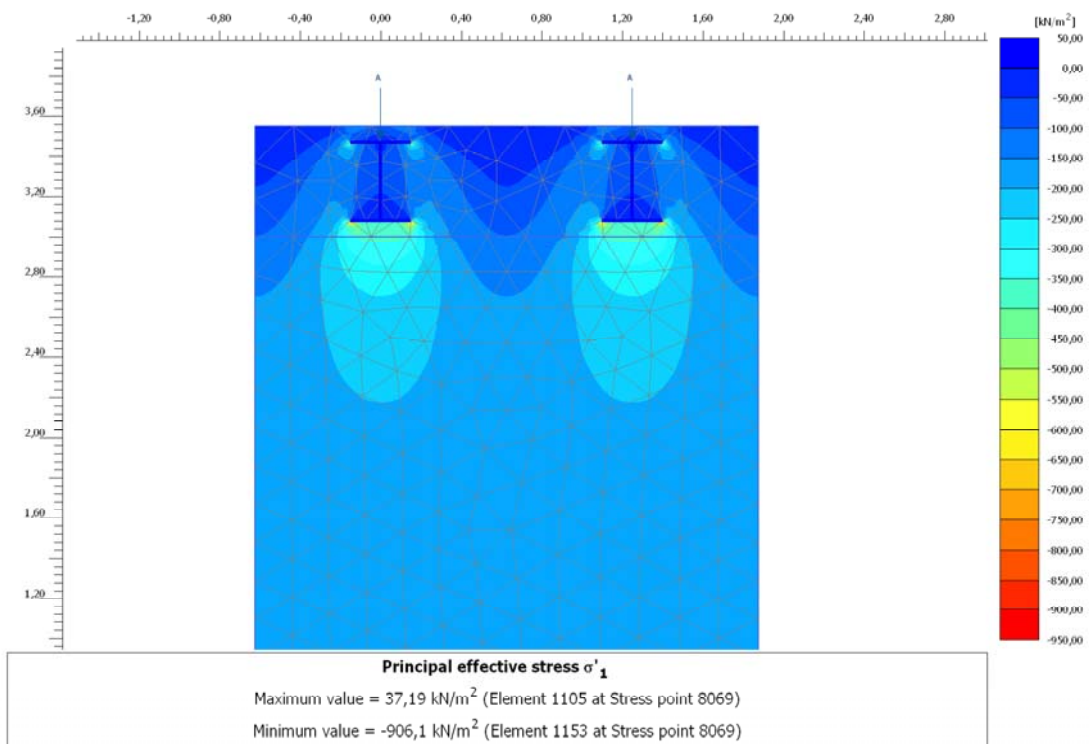
h.o.h. afstand profielen, 1,00 m



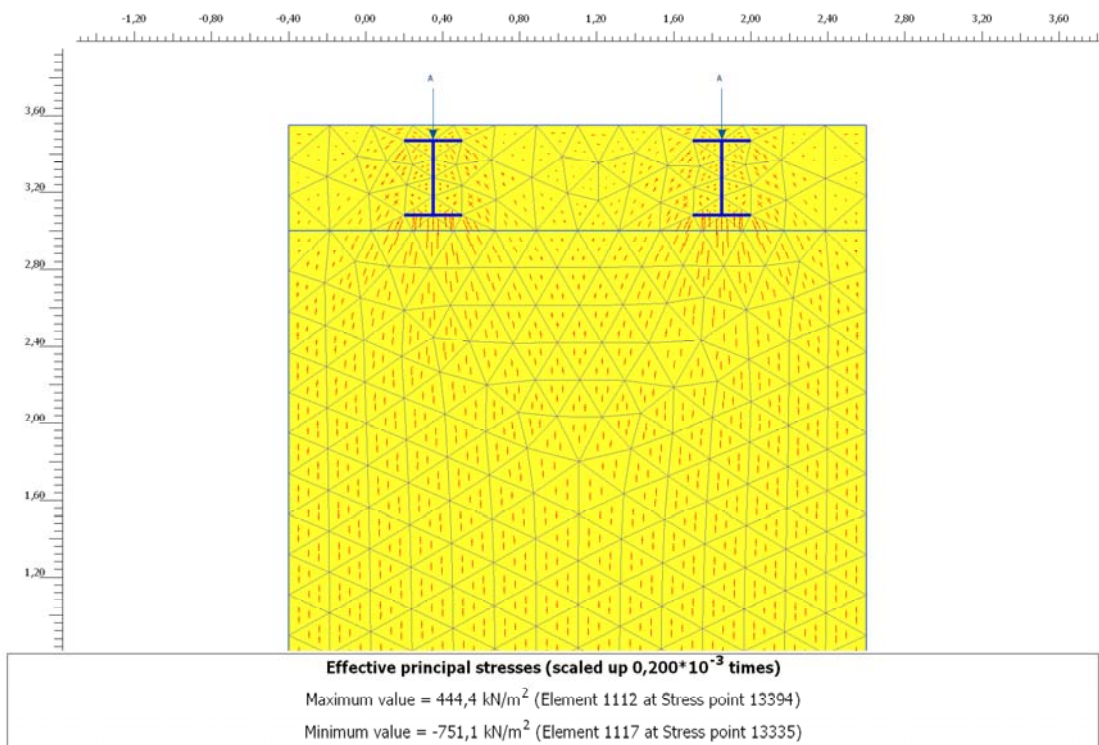
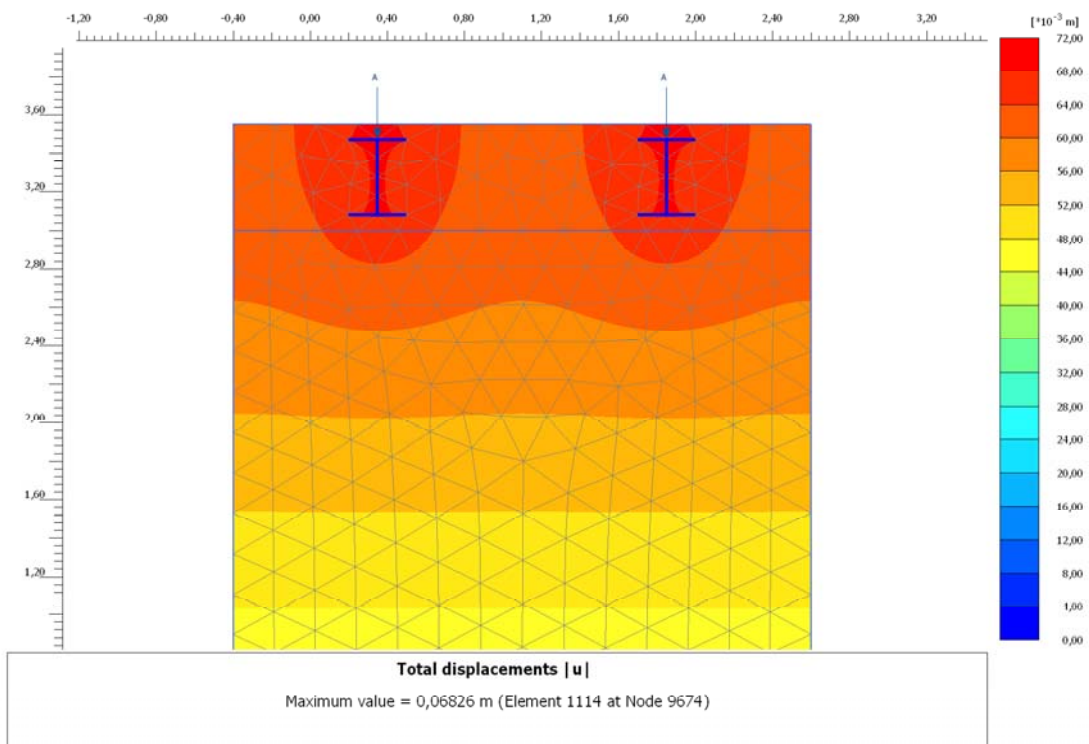
h.o.h. afstand profielen, 1,25 m



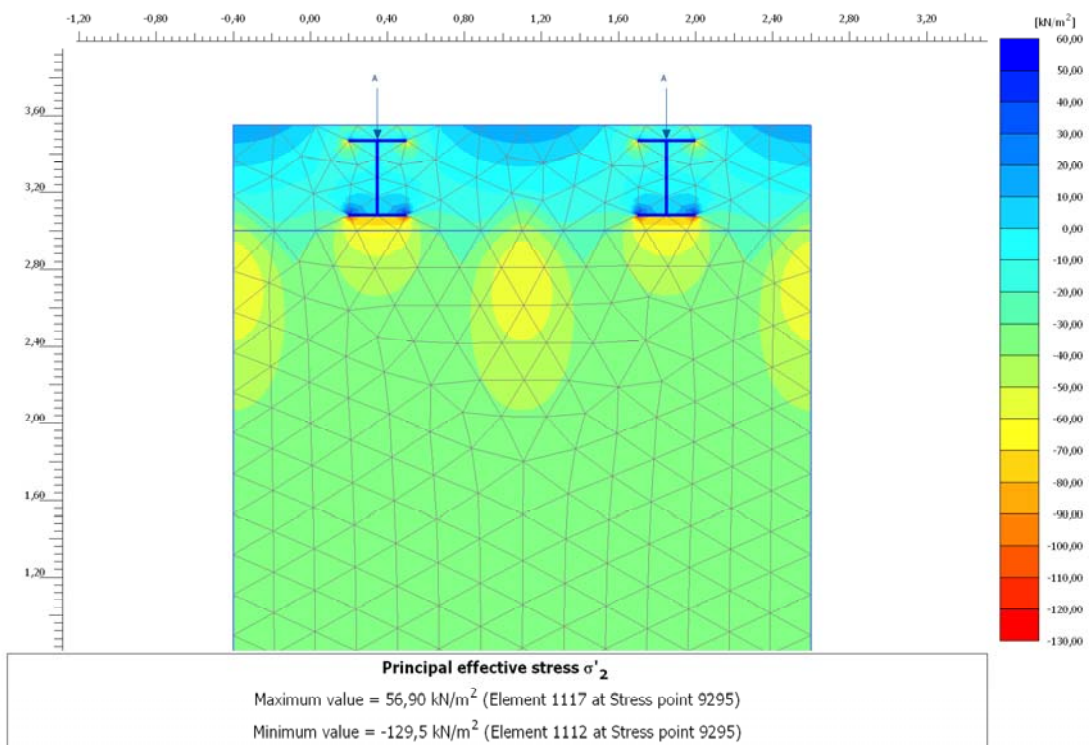
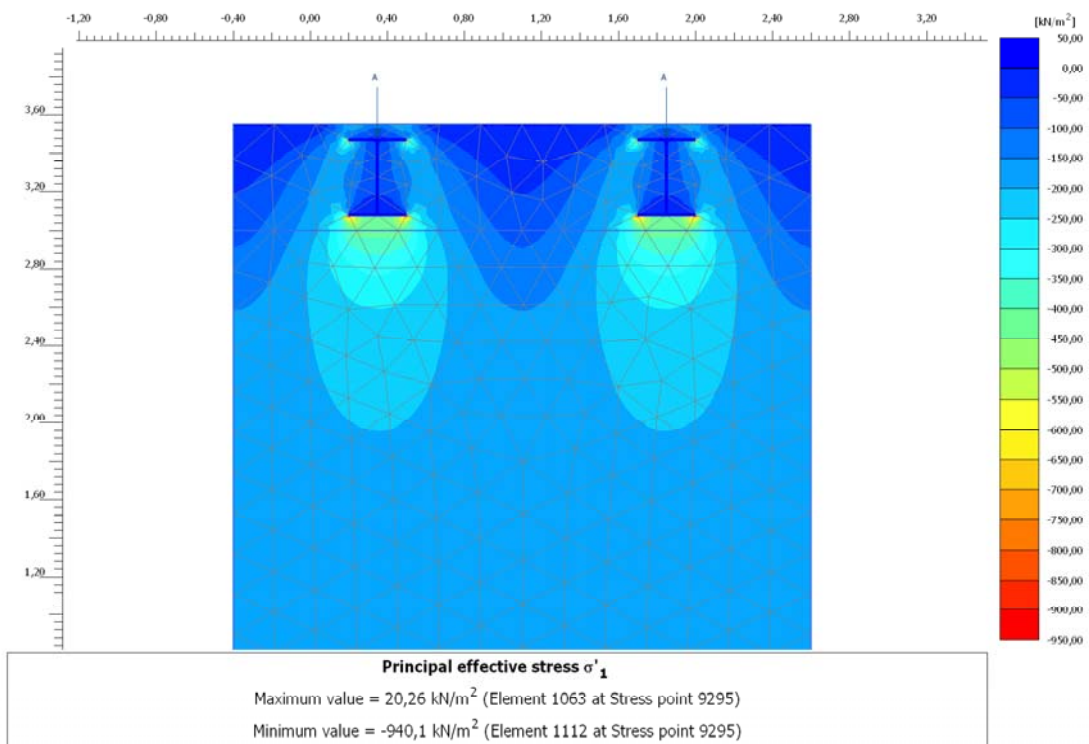
h.o.h. afstand profielen, 1,25 m



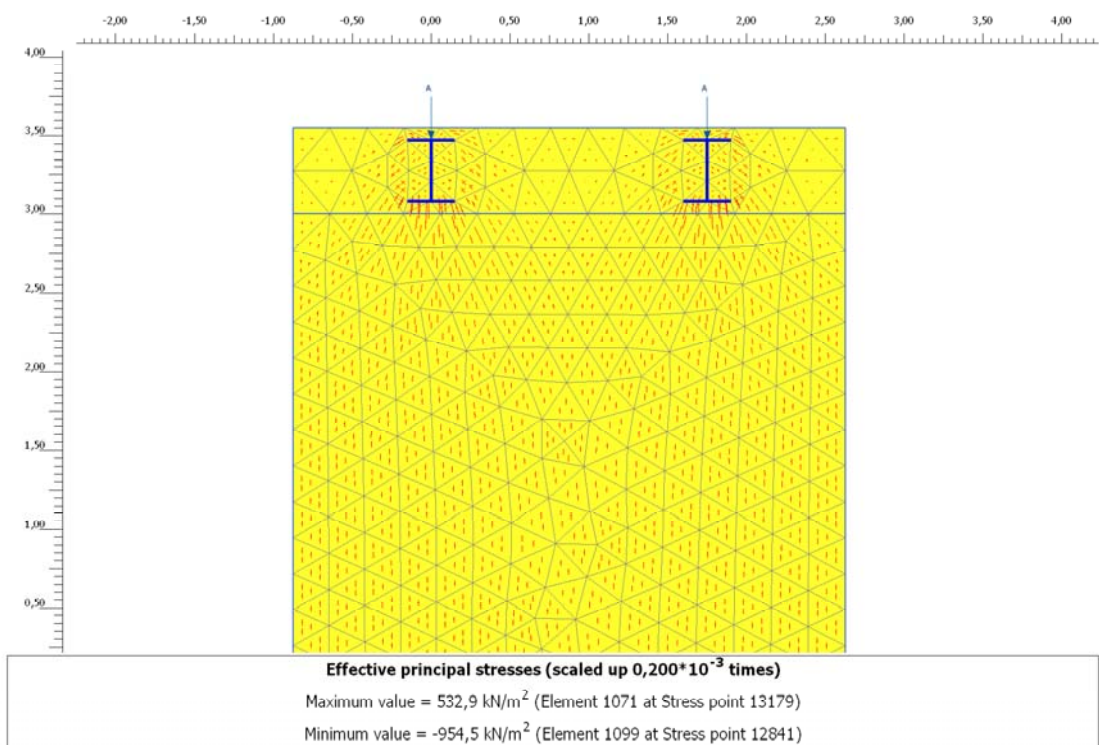
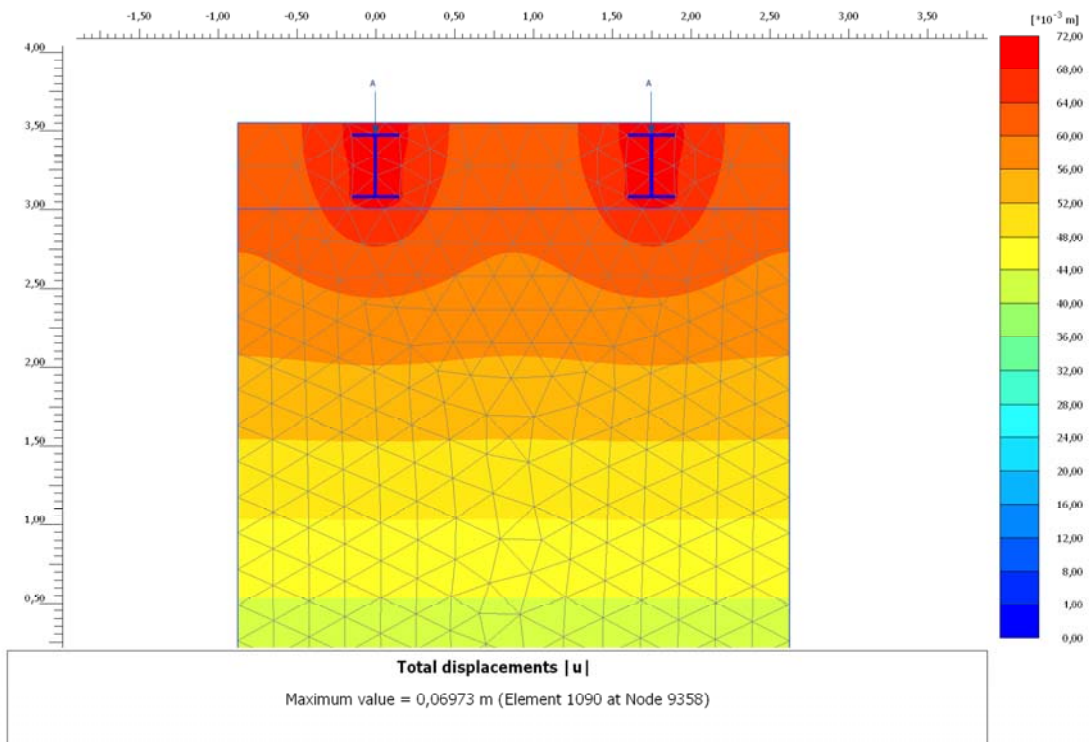
h.o.h. afstand profielen, 1,50 m



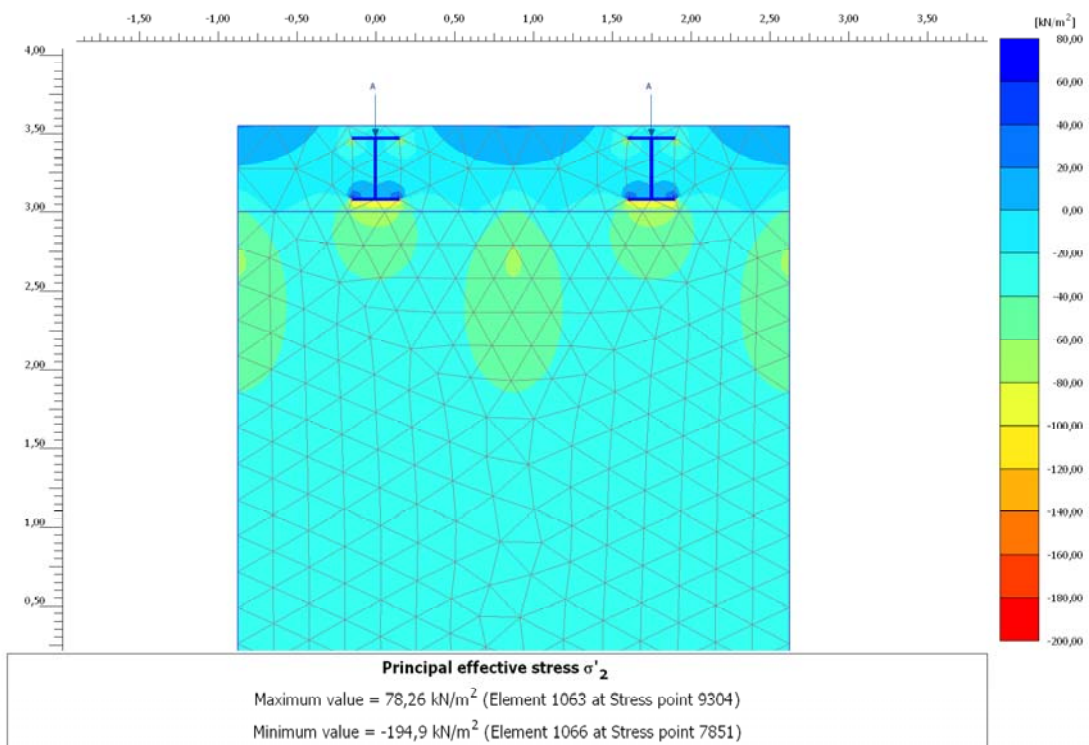
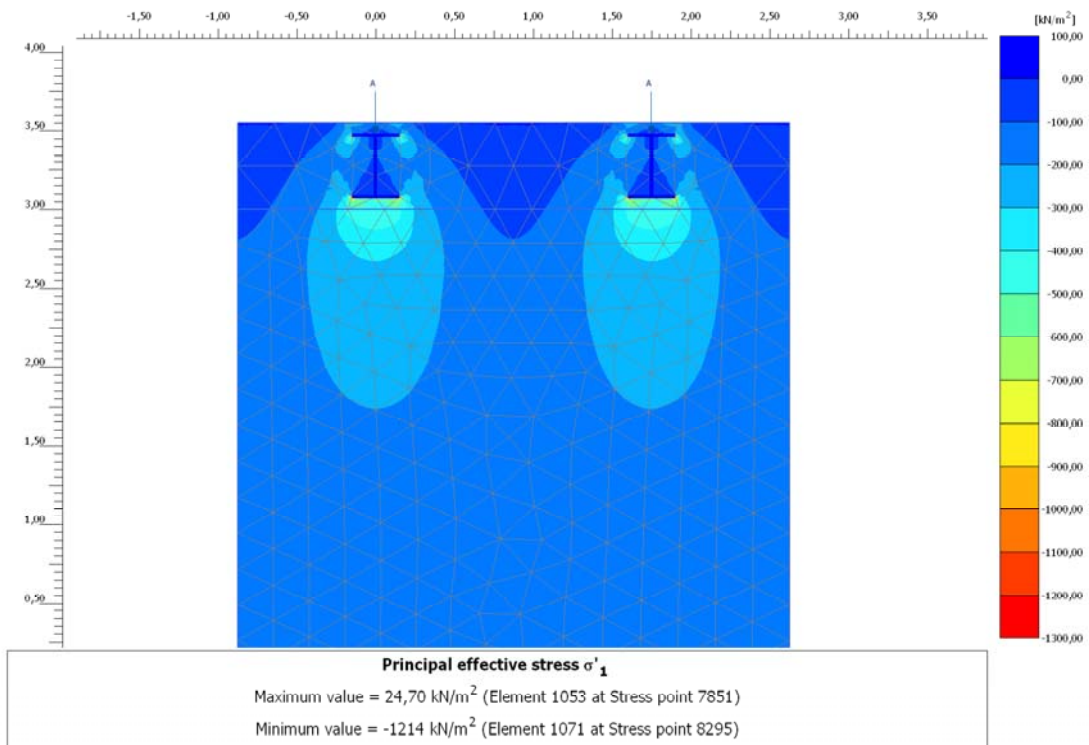
h.o.h. afstand profielen, 1,50 m



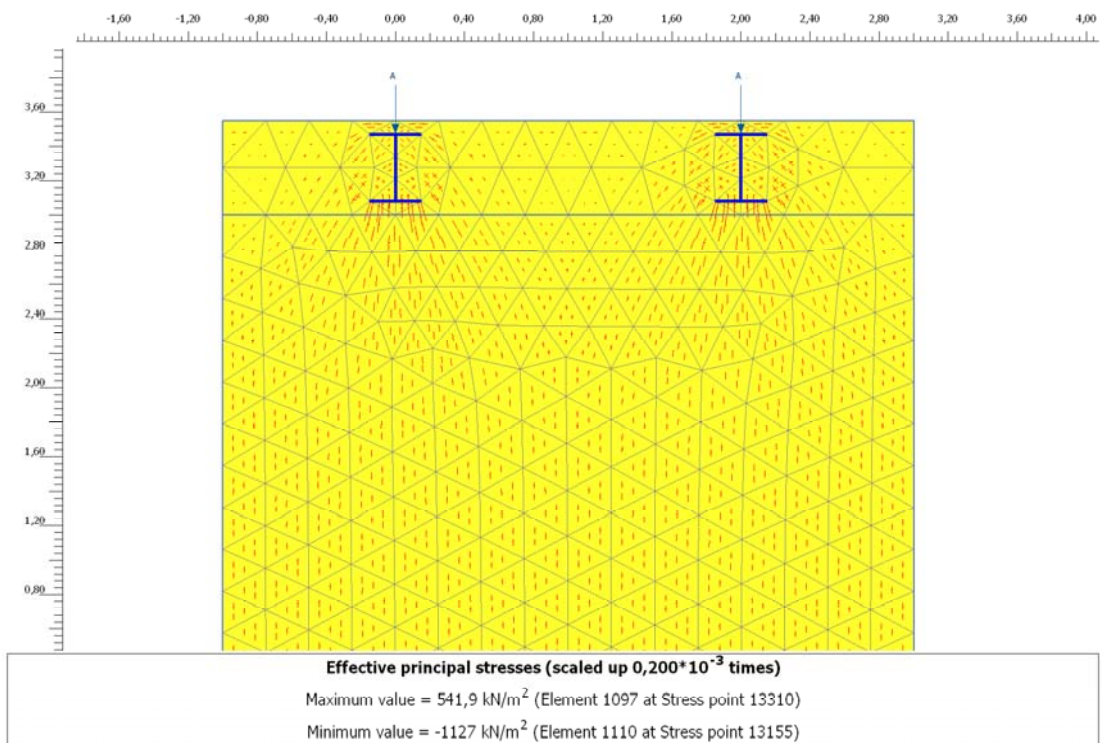
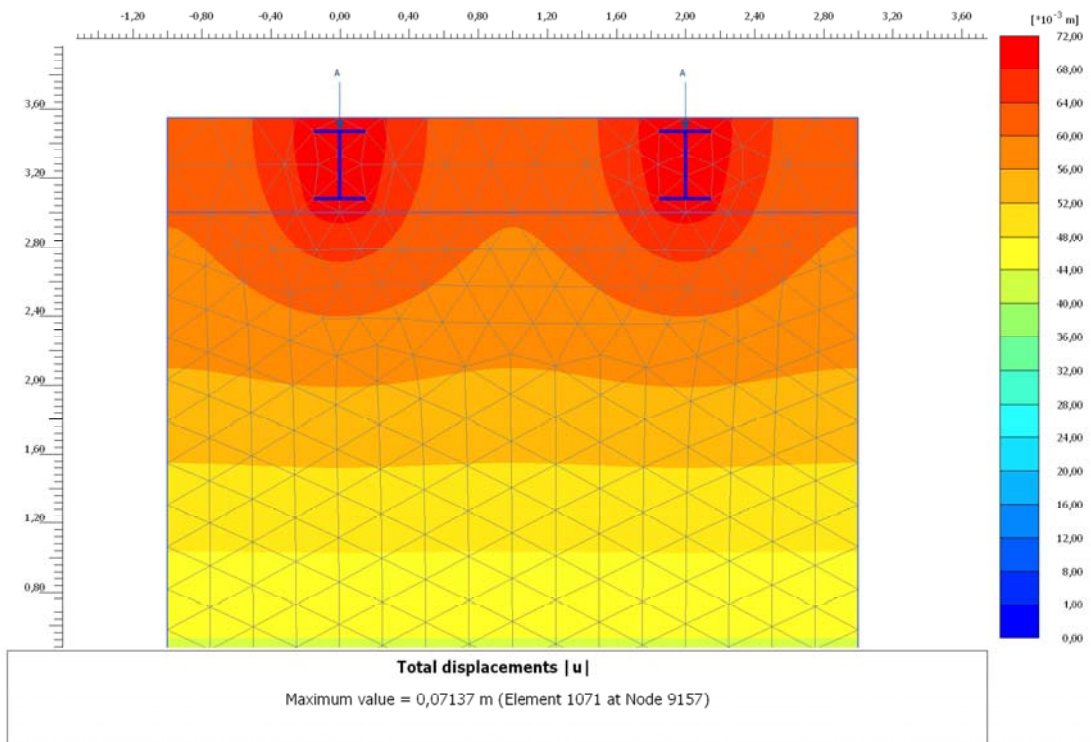
h.o.h. afstand profielen, 1,75 m



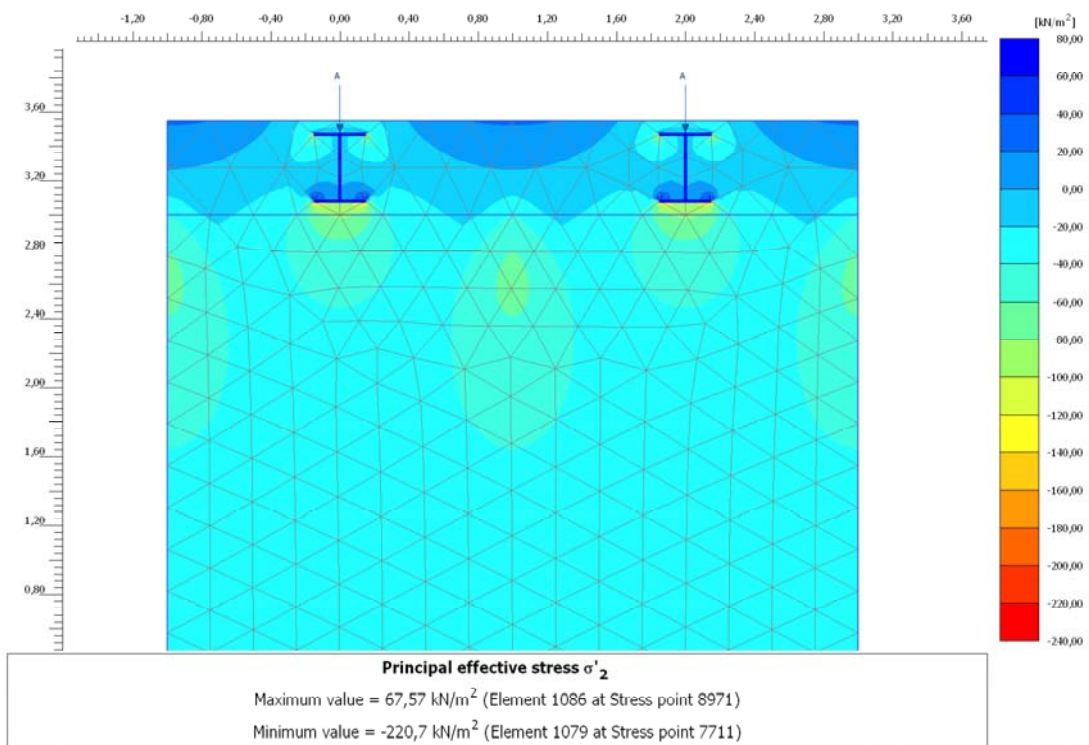
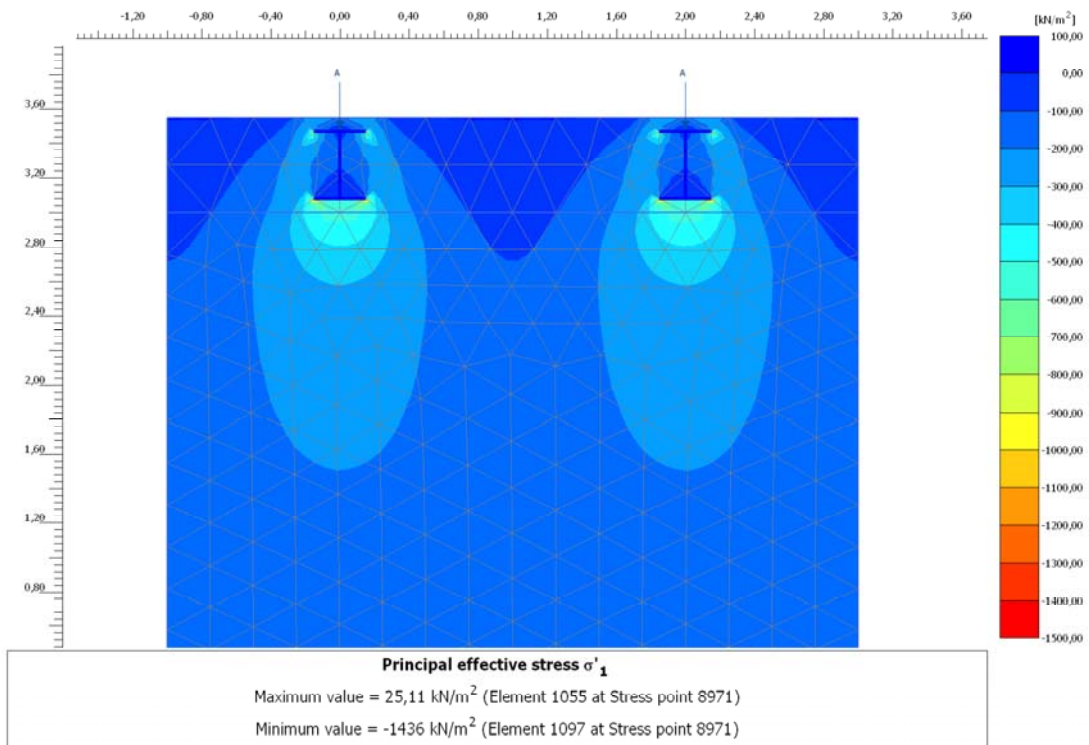
h.o.h. afstand profielen, 1,75 m



h.o.h. afstand profielen, 2,00 m



h.o.h. afstand profielen, 2,00 m



BIJLAGE 2

Foto rapportage uitvoering wand, methode CSM











BIJLAGE 3

Foto rapportage uitvoering wand, methode MIP







