

dr. ir. N. Denies
WTCB – Afdeling Geotechniek



ir. F. De Cock
Geotechnical Expert
Office Geo.be



em. Prof. ir. J. Maertens
Jan Maertens BVBA



prof. ir. N. Huybrechts
WTCB – Afdeling Geotechniek
en KU Leuven



ing. B. Lameire
Belgian Association of
Foundation Contractors, ABEF



prof. dr. ir. A. Vervoort
KU Leuven



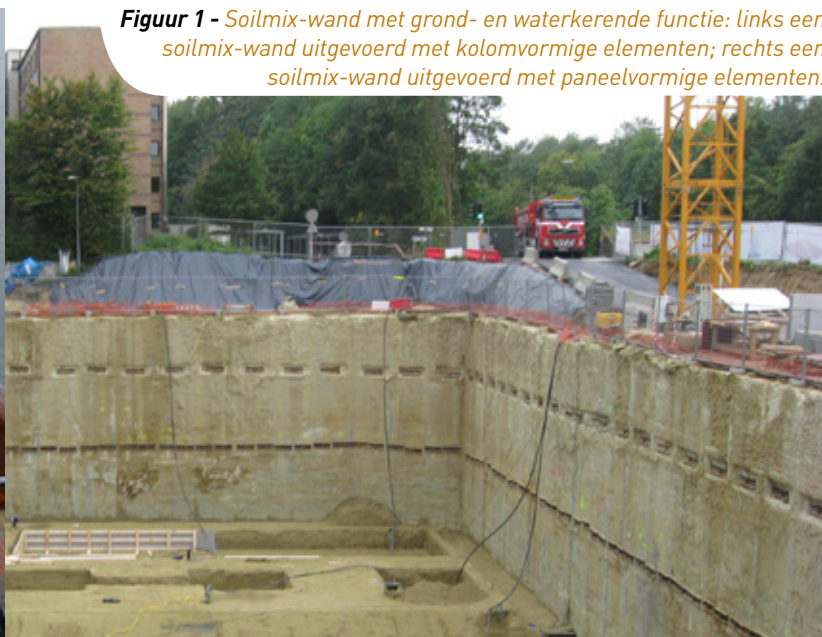
ir. J.C.J. de Leeuw
ConGeo



ir. F.J.M. Hoefsloot
Fugro GeoServices



Ontwerp van soilmix-wanden voor kerende constructies



Figuur 1 - Soilmix-wand met grond- en waterkerende functie: links een soilmix-wand uitgevoerd met kolomvormige elementen; rechts een soilmix-wand uitgevoerd met paneelvormige elementen.

1. Inleiding

Sinds verschillende decennia wordt de deep mixing methode (of de soilmix-methode) aangewend in het kader van grondverbeteringswerken. Meer recent worden soilmix-elementen steeds meer toegepast als structurele elementen in grond- en waterkerende constructies of als dichtwanden. Dit is mogelijk geworden door nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de menginstallaties en de samenstelling van de geïnjecteerde bindmiddelen, waardoor er typische druksterktes van het soilmix-materiaal van 1 à 12 MPa gehaald kunnen worden. Sinds begin jaren 2000 kent dit nieuwe toepassingsgebied van de soilmix-techniek een sterke groei in België en

Nederland, onder meer o.w.v. de economische en milieuvoordelen die de methode biedt. De nood aan richtlijnen voor de uitvoering en het ontwerp van soilmix-wanden werd daardoor steeds urgenter. Te meer daar de bestaande richtlijnen en normen voor deep mixing (bv. EN 14679) weinig soelaas bieden voor deze nieuwe toepassingen.

Voor tijdelijke toepassingen werden de vragen in verband met de mechanische karakterisatie van het soilmix-materiaal, zijn doorlatendheid en de interactie tussen staal en soilmix bestudeerd in het kader van het WTCB soilmix-onderzoek 2009-2013 [zie Denies et al., 2012]. De duurzaamheid van het soilmix-materiaal bleef echter een be-

langrijk topic, dat terwijl in de praktijk het aantal toepassingen van soilmix-wanden met een permanente en zelfs dragende functie toenam. Om een antwoord te bieden op deze evolutie, hebben het WTCB en het SBRCURnet gedurende meer dan 2 jaren samen gewerkt om richtlijnen te publiceren onder de vorm van een handboek. In het handboek komen de uitvoeringsprocessen en de ontwerpaspecten uitgebreid aan bod. Belangrijk hierbij is dat het toepassingsgebied van soilmix-wanden duidelijk afgebakend werd en dat de hieraan gekoppelde functionele eisen (praktische randvoorwaarden), de ontwerpmatige eisen, alsook de eisen inzake kwaliteitscontrole op het finale soilmix-product afgestemd

Samenvatting

Sinds begin jaren 2000 worden soilmix-wanden meer en meer toegepast in België en Nederland voor de constructie van water- en grondkerende wanden. Het WTCB en het SBRCURnet hebben samengewerkt om richtlijnen te publiceren onder de vorm van een handboek. In het handboek wordt het toepassingsgebied van soilmix-wanden duidelijk afgebakend en gekoppeld aan praktische randvoorwaarden, ontwerpmatige eisen en eisen inzake kwaliteitscontrole. Voor bepaalde toepassingsgebieden laat de ont-

werpmethodologie bovendien toe om, zij het in beperkte mate, de samenwerking tussen wapeningsstaal en soilmix-materiaal in rekening te brengen. De methodologie die hiervoor aangewend kan worden is gebaseerd op de resultaten van een uitgebreide proefcampagne op reële schaal. Een aantal resultaten van deze proefcampagne, alsook enkele principes van de ontwerpmethode die opgenomen is in het SBRCURnet/WTCB handboek worden in dit artikel kort toegelicht.

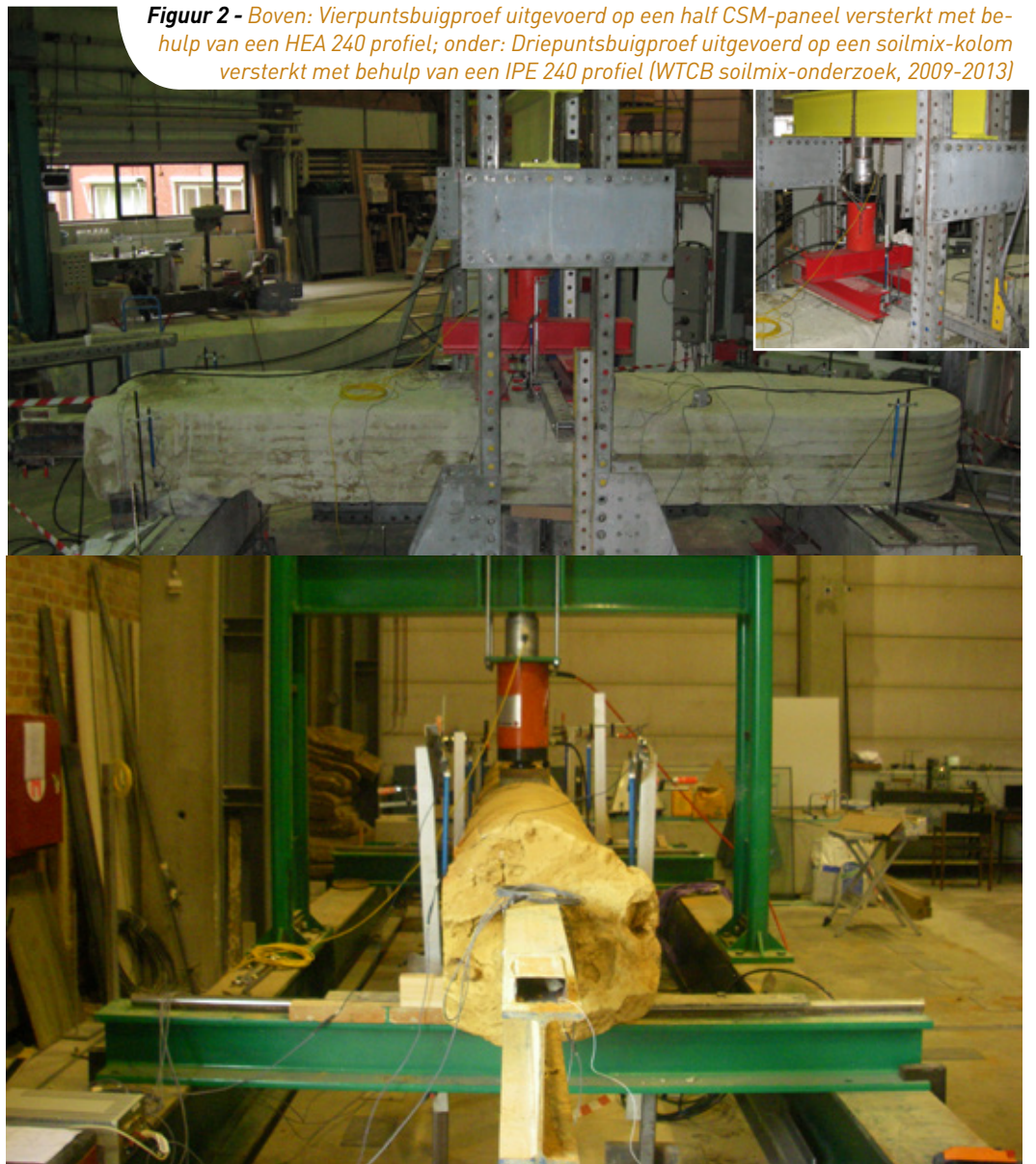
zijn op elkaar. Voor bepaalde toepassingsgebieden laat de ontwerpmethodologie bovendien toe om, zij het in beperkte mate, de samenwerking tussen wapeningsstaal en soilmix-materiaal in rekening te brengen. De methodologie die hiervoor aangewend kan worden is gebaseerd op de resultaten van een uitgebreide proefcampagne op reële schaal. Een aantal resultaten van deze proefcampagne, alsook enkele principes van de ontwerpmethode die opgenomen is in het SBRCURnet/WTCB handboek worden in dit artikel kort toegelicht.

2. Werkingsprincipes van soilmix-wanden met grond- en waterkerende functies

De soilmix-techniek bestaat erin om met behulp van een mengbeitel of een frees de grond tot op grote diepte (zelfs tot 25 m) te mengen met een bindmiddel, waardoor er na uitharding soilmix-kolommen of -panelen ontstaan. Door de ronde soilmix-kolommen of rechthoekige soilmix-panelen overlappend naast elkaar te plaatsen wordt een doorlopende wand verkregen, zoals geïllustreerd in figuur 1. Stalen H- of I-profielen worden aangebracht in het verse soilmix-materiaal om weerstand te bieden tegen de afschuifkrachten en de buigmomenten. Het soilmix-materiaal overbrugt op die manier de ruimte tussen de stalen profielen, vergelijkbaar met de beschotting bij berlinerwanden en brengt via gewelfwerking de op de wand inwerkende grond(water)drukken over naar de wapeningsprofielen.

3. Buigproeven op reële schaal

Eén van de vragen waarmee ontwerpers regelmatig geconfronteerd werden betrof de reële bijdrage van het soilmix-materiaal aan de reële schaal buigstijfheid en buigcapaciteit van de soilmix-wand. Om een antwoord te bieden op deze vraag werden 17 reële schaal buigproeven op soilmix-elementen uitgevoerd in het kader van het WTCB soilmix-onderzoek (Denies et al. 2014 en 2015). Elf soilmix-kolommen en zes CSM-panelen werden eerst in-situ geïnstalleerd (zeven verschillende werven met verschillende grondcondities), uitgegraven (na uitharding van het soilmix-materiaal) en vervolgens getranspor-



Figuur 2 - Boven: Vierpuntsbuigproef uitgevoerd op een half CSM-paneel versterkt met behulp van een HEA 240 profiel; onder: Driepuntsbuigproef uitgevoerd op een soilmix-kolom versterkt met behulp van een IPE 240 profiel (WTCB soilmix-onderzoek, 2009-2013)

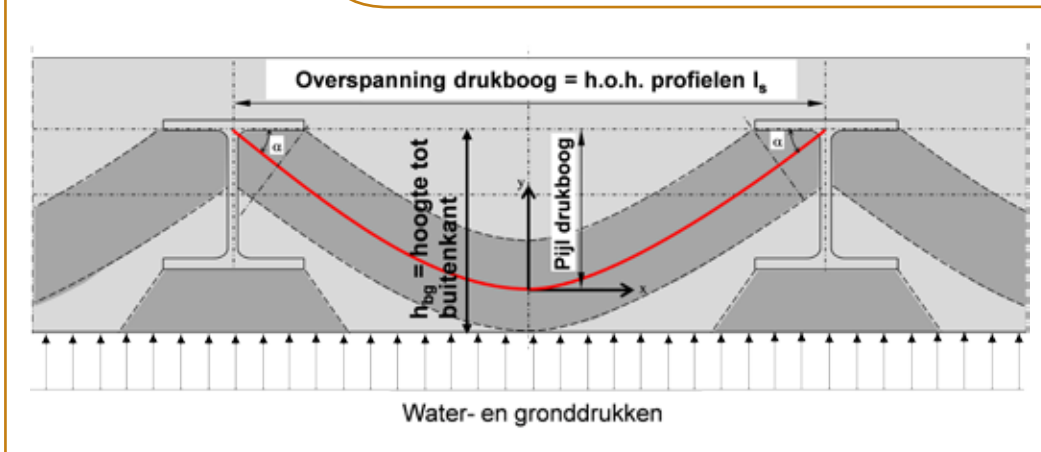
teerd naar het laboratorium van het WTCB voor de uitvoering van de proeven.

Het doel van deze proeven was het bepalen van de buigstijfheid en de buigcapaciteit van de gewapende soilmix-elementen. De soilmix-elementen werden op buiging belast volgens een vierpunts- of een driepuntopstelling, zoals geïllustreerd in figuur 2.

De volgende waarden werden opgemeten tijdens de belasting van elk soilmix-element:

- de centrale doorbuiging van het soilmix-element door middel van een Linear Variable Displacement Transducer (LVDT),
- de zakkingen van het soilmix-element aan elke steunpunt door middel van LVDT's,
- de verschuiving (slip) van het stalen profiel ten opzichte van het soilmix-materiaal. Dit gebeur-

Figuur 3 - Drukboogstelsel in een soilmix-wand met stalen profielen.



- de aan de hand van een LVDT,
- de vervormingen aan de onder- en de bovenkant van het stalen profiel met behulp van optische vezels,
- de aangelegde kracht met behulp van een krachtcel.

De duur van één constante belastingsstap bedroeg circa vijf minuten: kruip en duurzaamheidsaspecten werden dus niet beschouwd bij deze buigproeven.

De volledige proefprocedure en de resultaten van één buigproef is besproken in Denies et al. (2014). Een gedetailleerd overzicht van de resultaten van de 17 buigproeven uitgevoerd in het WTCB is gegeven in Denies et al. (2015). Een overzicht van de gemeten buigstijfheden en de maximum opgenomen buigmomenten is in tabel 1 gegeven.

Zoals besproken in Denies et al. (2015), toont de analyse van de resultaten van de 13 proefelementen met profielwapening aan dat er een reële samenwerking bestaat tussen staalprofiel en soilmix. De stijfheid van de samengestelde sectie (staal + soilmix) neemt echter af met toenemend buigmoment en de progressieve opening van de scheuren in het soilmix-materiaal. Er is een progressieve verplaatsing van de neutrale as in de sectie gedurende de proef. Uit deze proefreeks blijkt in ieder geval dat in het toepassingsgebied van de soilmix-wanden (in termen van buigmoment) de stijfheid van de soilmix-wand significant groter is dan de stijfheid van het stalen profiel alleen. Deze waarneming is van belang omdat de ingevoerde stijfheid van de wand in numerieke berekeningsmodellen een belangrijke invloed heeft op de berekende buigmomenten in de soilmix-wand.

Het maximale buigmoment dat bereikt wordt gedurende de proeven is 1,8 à 3 maal groter dan het

buigmoment overeenkomstig de vloeigrens van het stalen profiel alleen.

De metingen van de staalspanningen vertonen een reële samenwerking tussen het soilmix-materiaal en het staal: de vloeigrens in het stalen profiel ($\sigma = \sigma_{el}$) wordt bereikt bij buigmomenten die 20 à 70 % groter zijn dan de situatie zonder beschouwing van de samenwerking met het soilmix-materiaal (Denies et al., 2015).

4. Ontwerp van soilmix-wanden als grond- en waterkerende wand

4.1 Materiaaleigenschappen – soilmix-parameters en ontwerpstappen

De basisparameters die van belang zijn bij het geotechnische en het structurele nazicht van de horizontale en/of verticale stabiliteit van een soilmix-wand zijn:

- de UCS-druksterkte van het soilmix-materiaal over de hoogte van de wand, hetzij de gemiddelde waarden $f_{sm,m}$, hetzij de karakteristieke waarden $f_{sm,k}$,
- de treksterkte van het soilmix-materiaal,
- de schuifweerstand van het soilmix-materiaal,
- de elasticiteitsmodulus van het soilmix-materiaal,
- de afschuifsterkte tussen het soilmix-materiaal en de wapening.

Deze parameters zijn vereist voor de bepaling van de rekengrootheden van de soilmix-wand die in de stabiliteitsberekeningen moeten worden nagegaan, met name:

- het weerstandsmoment W , dat bepalend is voor de buigmomenten (eventueel in combinatie met dwarskrachten en normaalkrachten) die op korte en lange termijn door de wand kunnen worden opgenomen
- de buigstijfheid EI , die bepalend is voor de vervormingen van de wand en – in mindere mate

– eveneens voor de snedekrachten in de diverse bouwfasen.

Met betrekking tot de functionaliteit van de wand kunnen nog andere parameters van belang zijn, bv. :

- de doorlatendheidscoëfficiënt of de hydraulische weerstand van de soilmix-wand
- de bestendigheid van de wand tegen klimatologische invloeden, verontreinigingen, ...

In bovenstaande dient een onderscheid te worden gemaakt tussen het korte termijngedrag versus het lange termijngedrag.

Daarna moeten de ontwerpsters de volgende ontwerpstappen beschouwen:

- de verificatie van de drukboog,
- de bepaling van de buigstijfheid EI ,
- de bepaling van de structurele sterkte (M,N,D) van de soilmix-wand.

De voornaamste principes van deze ontwerpstappen zijn hieronder beschreven. Deze zijn alleen geldig voor soilmix-elementen gewapend met stalen profielen.

4.2 Drukboog-analyse

Binnen het berekeningsmodel van de soilmix-wand, dienen de inwerkende korrel- en waterdrukken op het soilmix-materiaal overgedragen te kunnen worden op de stalen wapeningsprofielen. Deze controle moet gebeuren bij de meest nadelige combinaties van de inwerkende drukken (zowel langs actieve als passieve zijde), de tussenafstand van de wapeningprofielen en de druksterkte van het soilmix-materiaal. De controle mag in verticale richting wel worden uitgemiddeld over een hoogte gelijk aan de dikte van de wand.

Om ongewenste liggerwerking van het materiaal tussen de wapeningsprofielen te voorkomen, met bijbehorende verticale scheurvorming tot gevolg, dient de hart-op-hart (h.o.h.)-afstand tussen de profielen zodanig te worden beperkt dat de belasting via een drukboogstelsel afgedragen kan worden naar deze profielen.

Figuur 3 toont het principe voor de verificatie van de drukboog.

In Eurocode 2 (EN 1992-1-1) is aangegeven dat uitgegaan kan worden van een gedrongen constructie indien:

$$l_s < 3h_{bg}$$

waarin:

l_s is de overspanning drukboog = h.o.h.-afstand

van de profielen,
 h_{bg} is de maximale hoogte beschikbaar voor de drukboog = hoogte tot buitenkant wand.

Enkel met de nodige onderbouwing (bv. via theoretische EEM-detailmodellering of proefondervindelijk) kan de ontwerper afwijken van deze drukboog-begrenzing en een "slankere" drukboog aannemen.

Als eerste stap is de geometrie van de drukboog (zijn hoogte, zijn dikte en de hoek α ter plaats van de aanzet boog) berekend conform Eurocode 2. Als tweede stap is de maatgevende krachtswerking in de drukboog bepaald conform Eurocode 2 met een staafwerkmodel.

Voor permanente toepassingen kan er eveneens gerekend worden op het drukboogeffect mits toepassing van een factor voor langeduur-effecten die toegepast dient te worden op de druksterkte en gelijk is aan 0,85.

4.3 Bepaling van de horizontale buigstijfheid EI

De bepaling van de horizontale buigstijfheid EI van de soilmix-wand is zeer relevant. In praktijk voeren de ontwerpers deze waarde in in een berekeningsprogramma ter bepaling van de buigmomenten en horizontale verplaatsing van de wand. In de meeste gevallen is de controle van de horizontale verplaatsing van de wand een belangrijke ontwerpfactor en is het dus noodzakelijk om een representatieve waarde van de buigstijfheid in de berekeningsmodellen te gebruiken.

In de ontwerpmethodologie van het SBRCURnet/WTCB handboek zijn twee methoden voorgesteld voor de berekening van de buigstijfheid van de soilmix-wanden.

De eerste methode houdt rekening houden met de partiële scheurvorming van het soilmix-materiaal. Deze methode conform Eurocode 2 is het meest aangewezen om een vrij realistische inschatting van de buigstijfheid van de gescheurde soilmix-wand te bepalen. Hierbij wordt de effectieve buigstijfheid EI-eff berekend als het gemiddelde van de ongescheurde stijfheid EI-1 en de gescheurde stijfheid EI-2 van de samengestelde sectie:

$$EI\text{-eff} = \frac{EI\text{-1} + EI\text{-2}}{2}$$

In de tweede vereenvoudigde methode wordt de effectieve buigstijfheid berekend als de som van de stijfheid van de wapening en de stijfheid van de gedrukte soilmix-zone, waarbij er wordt aangenomen dat de neutrale lijn door het midden van

het profiel gaat:

$$EI\text{-eff} = E_a I_a + E_{sm} \left[\frac{b_{c1} \cdot \left(\frac{h_{sm}^3}{2} \right)}{3} \right]$$

waarin:

$E_a I_a$ is de buigstijfheid van de wapening, per h.o.h.-profielafstand,

E_{sm} is de elasticiteitsmodulus van het soilmix-materiaal,

h_{sm} is de dikte van de soilmix-wand,

en b_{c1} is de meewerkende breedte voor de bepaling van de buigstijfheid:

$b_{c1} = L_e/4$ en b_{c1} is minder dan de gemiddelde h.o.h.-afstand l_s van de profielen.

L_e is de afstand tussen de momentennulpunten.

Men kan opmerken dat de vereenvoudigde methode buigstijfheden geeft die circa 10 à 20% lager zijn dan die berekend zijn met de eerste benadering met beschouwing van de gescheurde en ongescheurde stijfheden.

De karakteristieke elasticiteitsmodulus van het soilmix-materiaal wordt gelijk genomen aan de gemiddelde E-waarden. Deze gemiddelde waarden worden verkregen, hetzij uit specifieke drukproeven, hetzij uit correlatie met de druksterktes (Denies et al. 2012).

Het ontdebelen van de berekeningen met resp. een "hoog" en een "laag" ingeschatte E-modulus van het soilmix-materiaal is in courante gevallen weinig zinvol. Enkel voor meervoudig ondersteunde wanden en in geval de wandverplaatsingen vrij aanzienlijk zijn, kan een benadering met hoge en lage ingeschatte E-moduli nuttig zijn.

Voor permanente toepassingen kan de bijdrage van het soilmix-materiaal aan de buigstijfheid in rekening gebracht worden, zij het met de lange termijn elasticiteitsmodulus van het soilmix-materiaal (reductiefactor van 2).

4.4 Bepaling van de structurele sterkte van de soilmix-wand

Tot op heden is het basisprincipe voor de controle van de snedekrachten dat er enkel wordt gerekend op de wapening. Nochtans bewijzen de resultaten van de WTCB-buigproeven dat het soilmix-materiaal bijdraagt aan de buigcapaciteit van de soilmix-wanden. In de schoot van de SBRCURnet/WTCB commissie werd daarom een ontwerpmethodologie conform Eurocode 4 (EN 1994-1-1) ontwikkeld. Deze methode houdt reke-

ning met de samengestelde buiging van de stalen wapeningsprofielen en het soilmix-materiaal. Het resultaat van deze ontwerpmethodologie is onder de vorm van een verzameling van tabellen voorgesteld in het SBRCURnet/WTCB handboek. Dit wordt geïllustreerd in tabel 2, waar de momentcapaciteiten van een typische configuratie van een paneelwand (hoogte 550 mm) zijn opgenomen.

Daarbij kan nog opgemerkt worden dat de momentcapaciteiten van alleen het wapeningsprofiel $M(Rd,a,el)$ en $M(Rd,a,pl)$ (elastisch resp. plastisch) bepaald zijn op basis van de weerstandsmomenten W_{el} en W_{pl} die in de productcatalogen beschikbaar zijn. De vermelde rekenwaarden van de momentcapaciteiten zijn geldig per h.o.h.-profielafstand, resp. voor een karakteristieke druksterkte van het soilmix-materiaal van 2 MPa, 4 MPa en 6 MPa. Voor de momentcapaciteit per meter wand dienen deze waarden dus uiteraard nog te worden gedeeld door de h.o.h.-afstand van de profielen.

In Eurocode 4 (EN 1994-1-1) voor het ontwerp van staal-betonconstructies is de beschouwing van de interactie tussen staal en beton in de berekeningen toegelaten met een beperking voor de rekenwaarde van de afschuifsterkte tussen de twee materialen: $f_{bd} < 0.3 \text{ MPa}$.

Rekening houdende met deze beperking uit EC4 mag voor tijdelijke toepassingen de interactie tussen de twee materialen beschouwd worden met een maximale rekenwaarde van de afschuifsterkte f_{bd} tussen staal en soilmix: $f_{bd} = \min(10\% \text{ rekenwaarde druksterkte van het soilmix-materiaal}; 0.30 \text{ MPa})$. Met deze beperking is rekening gehouden in de berekening van de momentcapaciteiten van tabel 2.

Zoals geïllustreerd in tabel 2, resulteert de bijdrage van het soilmix-materiaal in een vermindering van de spanningen in de wapeningen. De buigmomenten berekend met deze benadering zijn 113 à 138% hoger dan de momenten verkregen met een elastische methode die alleen rekening houden met de vloeigrens van de wapening. Dat betekent een reductie van de gebruikte staalsectie van circa 15 à 40%.

Volgens de ontwerpmethodologie van het SBRCURnet/WTCB handboek kan de interactie tussen staal en soilmix alleen worden beschouwd voor tijdelijke toepassingen. De berekening van de buigmomenten in permanente soilmix-wanden mag uitsluitend gebaseerd worden op de weerstandsmomenten van de stalen profielen, tenzij er aan strikte randvoorwaarden voldaan is

Tabel 1 - Momentcapaciteiten en waarden afgeleid uit WTCB-buigproeven (Denies et al. 2015)

Karakteristieken van het soilmix-element				Resultaten van de reële schaal buigproeven					
Site	Soilmix -element	Type wapening	$f_{sm,m}^{\ddagger}$ MPa	M_{max}^3 kNm	M_{max}/M_{el}^{α} (-)	M/M_{el} als $\sigma = \sigma_{el}^{\beta}$	EI_{staal}^{γ} (10^3 kNm ²)	$EI_{180 MPa}^{\delta}$ (10^3 kNm ²)	
1	Heverlee	CSM 1 [†]	HEA 240*	6,05 ¹	326	2,05	1,47	16,3	36
2	Heverlee	CSM 2 [‡]	HEA 240*	6,05 ¹	376	2,36	1,57	16,3	36
3	Aalst	CSM1 [†]	HEA 240*	7,31 ¹	286	1,80	1,19	16,3	27
4	Aalst	CSM2 [‡]	HEA 240*	7,31 ¹	303	1,91	1,40	16,3	32
5	Aalst	CSM3 [†]	HEA 240*	7,31 ¹	306	1,92	1,47	16,3	42
6	Aalst	CSM4 [†]	HEA 240*	7,31 ¹	290	1,82	1,69	16,3	30
7	Leuven	TSM1 [†]	IPE 240*	10,02 ¹	168	2,21	1,32	8,17	14,5
8	Leuven	TSM2 [‡]	IPE 240*	10,02 ¹	162	2,13	1,27	8,17	13
9	Leuven	TSM3 [†]	6 Ø14	10,02 ¹	133	-	-	-	13,5
10	Leuven	TSM4 [‡]	6 Ø14	10,02 ¹	95	-	-	-	8
11	Blankenberge	C-mix 1 [†]	IPE180*	21,42 ²	65	1,88	Geen meting	2,76	-
12	Antwerpen	C-mix 1 [‡]	IPE 270*	8,15 ²	103	1,02	Geen meting	12,16	-
13	Antwerpen	C-mix 2 [‡]	Korf	15,63 ²	147	-	-	-	-
14	Antwerpen	C-mix 3 [‡]	Korf	10,37 ²	90	-	-	-	-
15	Knokke	C-mix 1 [‡]	IPE 270*	4,62 ²	143	1,42	Geen meting	12,16	-
16	Limelette	C-mix 1 [‡]	IPE 220*	10,73 ²	139	2,34	1,38	5,82	10
17	Limelette	C-mix 2 [‡]	IPE 220*	9,68 ²	178	3,01	1,59	5,82	15

† Vierpuntsbuigproef

‡ Driepuntsbuigproef

* Staal S235

‡ Gemiddelde waarde van de UCS-druksterkte van het soilmix-materiaal

¹ Voor de sites van Heverlee, Aalst en Leuven (id. 1 à 10) werden reële schaal drukproeven uitgevoerd op rechthoekige blokken met een vierkante sectie, met een breedte gelijk aan de dikte van de in-situ uitgevoerd soilmix-wand (circa 500 mm) en met een hoogte circa twee keer de breedte. Een overzicht van de resultaten van deze reële schaal drukproeven is in Denies et al. (2014) gegeven.

² Resultaten verkregen met drukproeven uitgevoerd op gekernde monsters

³ M_{max} is het maximale moment gemeten in de buigproef

^α M_{el} is het buigmoment overeenkomstig de vloeigrens van het stalen profiel alleen

^β M is, in dit geval, het buigmoment wanneer de vloeigrens in het stalen profiel ($\sigma = \sigma_{el}$) wordt bereikt

^γ EI_{staal} is de stijfheid van het stalen profiel alleen

^δ $EI_{180 MPa}$ is de reële schaal stijfheid van de samengestelde sectie (staal + soilmix) gemeten in de buigproef wanneer de spanningen in de stalen profielen 180 MPa bereiken.

(constructie in risicoklasse 1 of 2, beschermingsmaatregelen om corrosie van de staalwapening tegen te gaan, bescherming van de wand tegen klimatologische invloeden - vorst, dooi, uitspoeling, uitdroging...- afwezigheid van verontreinigingen die de integriteit van het soilmix-materiaal met verloop van tijd kunnen aantasten, lange

termijn reductiefactoren op sterkte en stijfheid...). Voor de berekening van de dwarskrachtcapaciteit van de soilmix-wanden kan verwezen worden naar Eurocode 3 [EN 1993-1-1].

5. Besluit

In het kader van het WTCB soilmix-onderzoek

(2009-2013) werden 17 reële schaal buigproeven op soilmix-elementen uitgevoerd. De analyse van de proefresultaten tonen aan dat er een reële samenwerking bestaat tussen staalprofielen en soilmix. Uit deze proefreeks blijkt in ieder geval dat in het toepassingsgebied van de soilmix-wanden (in termen van buigmoment) de stijfheid

Tabel 2 - Momentcapaciteiten van een paneelwand met dikte 550 mm gewapend met IPE-profielen

$h_{sm} = 550$ mm, h.o.h. afstand = 1100 mm, $L_e = 5000$ mm, geen excentriciteit van de wapening bij plaatsing, Staal S235, Soilmix $f_{sm,k} = 2, 4$ en 6 MPa

	IPE200	IPE220	IPE240	IPE270	IPE300	IPE330	IPE360	IPE400	IPE450
M(Rd,a,el)	45,7	59,2	76,2	100,8	130,9	167,6	212,3	271,7	352,5
M(Rd,a,pl)	51,8	67,1	86,2	113,7	147,7	189,0	239,5	307,1	400,0
M(Rd,2)	56,0	72,0	90,3	119,2	155,0	193,6	244,1	307,2	400,0
M(Rd,4)	61,9	78,7	97,9	128,4	165,9	205,2	256,5	320,3	412,8
M(Rd,6)	63,2	80,2	99,6	130,4	168,3	210,7	266,2	331,2	424,4

Bijdrage van het soilmix-materiaal aan de momentcapaciteit in vergelijking met de elastische methode

M(Rd,a,el)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
M(Rd,a,pl)	114%	113%	113%	113%	113%	113%	113%	113%	113%
M(Rd,2)	123%	122%	118%	118%	118%	116%	115%	113%	113%
M(Rd,4)	135%	133%	128%	127%	127%	122%	121%	118%	117%
M(Rd,6)	138%	135%	131%	129%	129%	126%	125%	122%	120%

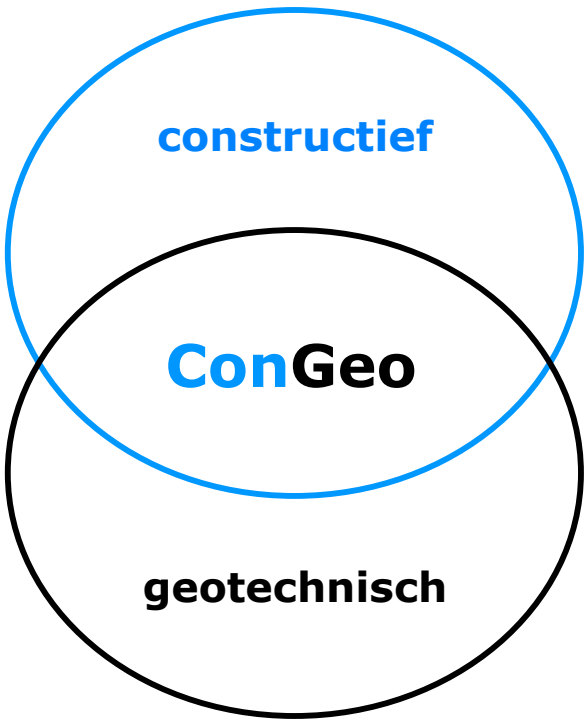
van de soilmix-wand significant groter is dan de stijfheid van het stalen profiel alleen. Bovendien wordt de vloeigrens in het stalen profiel bereikt bij buigmomenten die 20 à 70 % groter zijn dan de situatie zonder beschouwing van de samenwerking met het soilmix-materiaal. Op basis van deze resultaten werd een ontwerpmethodologie conform

Eurocode 4 ontwikkeld waarin voor bepaalde toepassingsgebieden de samenwerking tussen wapeningsstaal en soilmix-materiaal in rekening kan gebracht worden. De buigmomenten berekend met deze benadering zijn 113 à 138% hoger dan de momenten verkregen met een elastische methode die alleen rekening houdt met

de vloeigrens van de wapeningen. Dat betekent, voor tijdelijke toepassingen, dat de SBRCURnet/WTCB ontwerpmethodologie een reductie van de staalsectie van circa 15 à 40% toe laat dank zij de bijdrage van het soilmix-materiaal.

6. Literatuur

- Denies, N., Huybrechts, N., De Cock, F., Lameire, B., Vervoort, A., Van Lysebetten, G. and Maertens, J. 2012. Soil Mix walls as retaining structures – mechanical characterization. International symposium of ISSMGE - TC211. Recent research, advances & execution aspects of ground improvement works. 31 May-1 June 2012, Brussels, Belgium
- Denies, N., Van Lysebetten, G., Huybrechts, N., De Cock, F., Lameire, B., Maertens, J. and Vervoort, A. 2014. Real-Scale Tests on Soil Mix Elements. Proceedings of the International Conference on Piling & Deep Foundations, Stockholm, Sweden, 21-23 May 2014, Eds. DFI & EFFC, pp. 647-656
- Denies, N., Huybrechts, N., De Cock, F., Lameire, B., Maertens, J. and Vervoort, A. 2015. Large-Scale Bending Tests on Soil Mix Elements. ASCE Proceedings of the International Foundations Congress and Equipment Expo of San Antonio IFCEE 2015. Texas, March 17-21, 2015, pp. 2394-2409, doi: 10.1061/9780784479087.222
- WTCB soilmix-onderzoek 2009-2013. IWT 080736 soil mix project: SOIL MIX in constructieve en permanente toepassingen – Karakterisatie van het materiaal en ontwikkeling van nieuwe mechanische wetmatigheden.



constructief

ConGeo

geotechnisch

ConGeo - Ingenieurs voor vraagstukken waarbij constructieve en geotechnische kennis naast elkaar noodzakelijk zijn.

Bouwkuipen & Funderingen
Soilmix/Diepwand/Damwand
Stempelramen & Verankeringen
Paalwapening & Ankerpalen
Waterbouw & Stabiliteit materieel
Staaldetailering & Vermoeiing
Projectmanagement

D-Serie / Plaxis / TechnoSoft / Axis VM / [CG-Software](#)

ConGeo
www.congeo.nl