



Dr. Ir. P. Ganne
WTBC, afdeling
Geotechniek



Ir. N. Huybrechts
WTBC, afdeling
Geotechniek



Ir. F. De Cock
Geotechnisch
Expert
Office Geo.be



Ing. B. Lameire
Belgische Ver.
Aannemers
Funderings-
werken ABEF



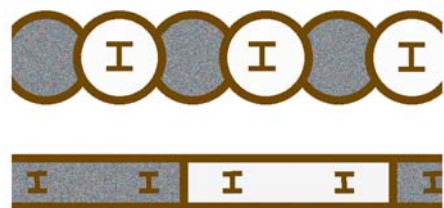
Prof. J. Maertens
bvba &
KU Leuven

SOILMIX wanden als kerende constructies – kritische analyse van de ontwerpparameters van het materiaal

Inleiding

Sinds enkele decennia staat de (diepe) soilmix techniek (mixed in place) bekend als een grondverbeteringstechniek (Probaha, 1998). Daartoe wordt de grond in situ mechanisch gemengd terwijl een bindmiddel op basis van cement en kalk (Probaha et al., 1998) geïnjecteerd wordt. De resultaten van nationale en Europese onderzoeksprogramma's werden gepubliceerd in verschillende interessante rapporten (zoals Eurosoilstab, 2002) terwijl ook de Europese norm voor de uitvoering van diep mengen 'Execution of special geotechnical works – Deep Mixing' (EN 14679) gepubliceerd werd in 2005. De meeste van deze onderzoeksprojecten leggen zich toe op de globale stabilisatie van slappe gronden als veen, klei, gyttja, ...

Sinds kort wordt soilmix (mixed in place) steeds meer gebruikt voor de kering van grond en water tijdens graafwerken als een meer economisch alternatief voor betonnen secanspalenwanden en zelfs voor Berlijnse wanden. De cilindervormige soilmix kolommen of rechthoekige panelen worden naast elkaar, maar oversnijdend (secans) geplaatst. Door de verschillende overlappende soilmix elementen (Rutherford et al., 2007), wordt een doorlopende soilmix wand gerealiseerd (figuur 1 en 2). Stalen H- of I-profielen worden vóór het uitharden in het soilmix materiaal



Figuur 1 Schematisch bovenaanzicht van de secansuitvoering van cilindervormige soilmix kolommen (boven) en rechthoekige soilmix panelen (onder).

geplaatst om de afschuif- en buigkrachten in de keermuur op te vangen. De maximale installatiediepte van soilmix wanden bedraagt in de meest courante toepassingen 20 m. Het belangrijkste structurele verschil tussen deze soilmix wanden en de meer traditionele secanspalenwanden is het constructieve wandmateriaal dat bestaat uit een mengeling van grond en cement in plaats van traditioneel beton.

Tot dusver worden er drie hoofdtypen van soilmix systemen gebruikt in België: CVR C-mix®, TSM en CSM. De karakterisering van het resulterende soilmix materiaal is niet evident. In dit artikel worden eerst de verschillende types van soilmix systemen beschreven, daarna wordt de bepaling

Samenvatting

De toepassing in België van de soilmix technologie neemt sterk toe. Naast grondverbeterende toepassingen dienen soilmix wanden heel vaak als beschoeiing tijdens graafwerken. De druksterkte en de elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal zijn essentiële parameters in het ontwerp van deze kerende constructies. In dit artikel wordt een procedure beschreven voor de schatting en meting van de druksterkte en de elasticiteitsmodulus van soilmix materiaal. Deze procedures zijn gebaseerd en gevalideerd op een ruime populatie van testresultaten van laboratoriumproeven met in situ gekernd soilmix materiaal in Belgische bodems. Bovendien wordt een procedure voorgesteld en gevalideerd om de 5% fractiel karakteristieke waarde van de druksterkte van het soilmix materiaal te definiëren.

van de druksterkte en de elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal besproken.

Soilmix Systemen In België

CVR C-mix®, TSM en CSM zijn de drie meest



Figuur 2 Foto van een soilmix wand met een grond- en waterkerende functie (CVR).

gebruikte soilmix systemen in België. Alle drie zijn natte soilmix systemen.

CVR C-MIX®

CVR C-mix® wordt uitgevoerd met een aangepaste boormachine en een speciaal ontworpen mengboorkop. Deze boorkop draait rond een verticale as met ongeveer 100 tpm en versnijdt de grond dus op mechanische wijze.

Tegelijkertijd wordt het mengsel van water en bindmiddel (de verhouding water\bindmiddel ligt tussen 0,6 en 0,8) geïnjecteerd onder lage druk (< 5 bar). De geïnjecteerde hoeveelheid bindmiddel bedraagt meestal 350 tot 450 kg bindmiddel/m³ in functie van het grondtype. Het bindmiddel keert gedeeltelijk (tussen 0% en 30%) terug naar het oppervlak in de retour-specie.

De resulterende soilmix elementen zijn cilindervormige kolommen. De diameter van de soilmix kolommen is de diameter van de menggereedschap: namelijk een nominale diameter van tussen 0,43 en 1,03 m. Als de soilmix techniek gebruikt wordt voor een kerende constructie, bedraagt de productiesnelheid ongeveer 160 m³ soilmix wand per dag.

Om de productiesnelheid te verhogen, wordt een CVR Twinmix® en een CVR Triple C-MIX® gebruikt. Een twinmix heeft twee mengboorkoppen die twee overlappende cilindervormige kolommen (totale muurlengte van 0,8 tot 1,2 m) tegelijkertijd mengen. De dagelijkse productie stijgt tot 210 m³. Een CVR Triple C-mix® heeft drie mengboorkoppen in lijn met een totale muurlengte van 1,5 tot 1,8 m. De productiesnelheid neemt hierbij toe tot 300 m³ per dag.

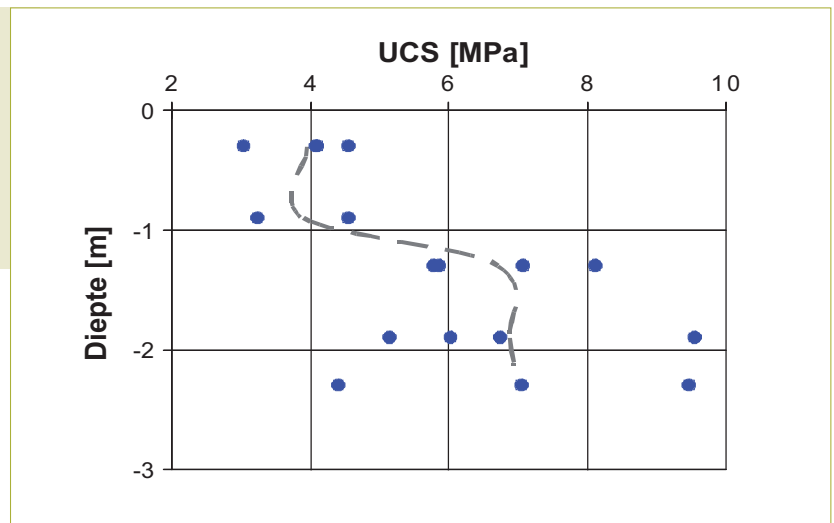
TUBULAR SOILMIX (TSM)

De TSM-techniek berust op een mechanische en hydraulische menging. Naast de (rond de verticale as) draaiende mengboorkop wordt de grond versneden door de injectie onder hoge druk (tot 500 bar) van het mengsel van water en bindmiddel. De verhouding water/bindmiddel van het mengsel ligt tussen 0,6 en 1,2. De geïnjecteerde hoeveelheid mengsel van water en bindmiddel bedraagt meestal 200 tot 450 kg bindmiddel/m³ in functie van het grondtype. Een deel van het bindmiddel (tussen 0% en 30%) keert terug naar het oppervlak in de retour-specie.

De resulterende soilmix elementen zijn cilindervormige kolommen met een diameter tussen 0,38 en 0,73 m. De productiesnelheid bedraagt ongeveer 80 m³ soilmix wand per dag. Ook hier bestaat er een twin en triple versie. De totale muurlengte van de twee (drie) cilindervormige kolommen van een twin (triple) versie

Figuur 3

De UCS-resultaten van monsters gekernd op verschillende dieptes (werf Brugge: CSM in kwartair zand).



varieert tussen 0,8 en 1,4 m (1,2 en 2,1 m). Op deze manier wordt de productiesnelheid verhoogd tot ongeveer 180 (twin) en 250 m³ (triple) soilmix wand per dag.

CUTTER SOILMIX (CSM)

Een CSM-toestel is commercieel verkrijgbaar. Het maakt gebruik van twee snijwielen die onafhankelijk rond een horizontale as draaien en de grond versnijden. Tegelijkertijd wordt het mengsel van water en bindmiddel geïnjecteerd onder lage druk (< 5 bar). De verhouding water/bindmiddel bedraagt tussen 0,6 en 1,2. De geïnjecteerde hoeveelheid bindmiddel bedraagt meestal 200 tot 400 kg bindmiddel/m³ in functie van het grondtype. Een deel van het bindmiddel (tussen 0% en 30%) keert terug naar het oppervlak in de retour-specie.

De resulterende soilmix elementen zijn rechthoekige panelen. In België hebben deze panelen een lengte van 2,4 m en een dikte van 0,55 m hoewel frezen met andere afmetingen internationaal verkrijgbaar zijn. De productiesnelheid bedraagt ongeveer 100 m³ tot 250 m³ per dag.

VOORDELEN VAN SOILMIX WANDEN ALS KERENDE CONSTRUCTIES

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

Er worden geen grote trillingen veroorzaakt tijdens de toepassing van de soilmix techniek. Omdat de ontspanning van de grond beperkt is, kan de soilmix techniek dichtbij bestaande constructies uitgevoerd worden.

In tegenstelling tot secanspalenwanden in beton heeft de uitvoering van soilmix wanden minder last van vertragingen veroorzaakt door bv. verkeersopstoppingen van het onverharde beton. Nog een interessant voordeel in vergelijking

met jet-grouting is de beperkte hoeveelheid retour-specie.

Testprogramma

In deze fase van het onderzoek werden soilmix kernen werden horizontaal geboord op 23 verschillende werven in België met een verschillende grondtype en met verschillende types van soilmix systemen. In totaal werden 950 uniaxiale drukproeven en 100 elasticiteitsmodulustesten uitgevoerd op deze kernen. Er werden ook monsters die ontnomen werden uit de verse soil mix (wet grab) en in laboratorium gemengde monsters getest.

UITVOERING VAN UNIAXIALE DRUKPROEVEN EN ELASTICITEITS-MODULUSTESTEN

De laboratoriumproef om de uniaxiale druksterkte (UCS = 'unconfined compressive strength') te bepalen, werd uitgevoerd volgens EN 206.

De monsters hadden een diameter tussen 85 mm en 115 mm. De verhouding tussen de hoogte en de diameter bedroeg 1. De resultaten van de proefmonsters met grondinsluitingen > 1/6 van de diameter werden verworpen op voorwaarde dat niet meer dan 15% van de proefmonsters van één specifieke werf verworpen werden. Deze mogelijkheid om resultaten van proefmonsters te verwerpen, resulteert uit de overweging dat een grondinsluiting van 20 mm of minder het gedrag van een soilmix constructie niet zal beïnvloeden. Maar een grondinsluiting van 20 mm in een proefmonster met een diameter van 100 mm zal het testresultaat wel aanzienlijk beïnvloeden. Natuurlijk is deze voorwaarde enkel van toepassing als wordt aangenomen dat er in de soilmix constructie geen grondinsluitingen voorkomen die groter zijn dan 1/6 van de breedte van de soil mix constructie.

Voor de laboratoriumproeven ter bepaling van de elasticiteitsmodulus werden kernen met een visueel betere kwaliteit geselecteerd om het uniaxiaal gedrag tijdens de proef te behouden. De elasticiteitsmodulus werd secans bepaald door het aanbrengen van een cyclische belasting tussen 10% en 30% van de geschatte UCS-waarde van de proefmonsters (NBN-B15-203). Daarna werd de belasting voortgezet om de UCS-waarde te bepalen.

VERGELIJKING TUSSEN GEKERNDE EN WET GRAB MONSTERS

In volgende paragrafen worden enkel laboratoriumproeven op gekernde proefmonsters besproken. Daartoe werd besloten na een vergelijkend onderzoek van de UCS van gekernde en wet grab monsters. Op twee werven werden er namelijk ook wet grab monsters genomen. In het eerste half uur na het mengen van de grond met het bindmiddel werd een speciaal ontworpen cilindervormig bemonsteringsgereedschap in het onverharde soilmix element gebracht. Dit bemonsteringsgereedschap bleef gesloten tot het een diepte van $2 \pm 0,2$ m bereikte. Op dat moment wordt het apparaat geopend over een hoogte van 0,2 m. Van zodra het apparaat gevuld was met soilmix materiaal, werd het gesloten en opgetrokken. Het materiaal werd in cilindrische mallen (diameter = 113 mm; hoogte = 220 mm) bewaard in een klimaatkamer (vochtigheid > 98%; temperatuur = $20 \pm 2^\circ\text{C}$). Twee weken later werden dezelfde soilmix elementen gekernd op dezelfde locatie (op $2,0 \pm 0,2$ m diep). De kernen en wet grab monsters werden getest op dezelfde dag (uithardingstijd =

14 dagen). Deze procedure werd tweemaal uitgevoerd op een werf in Gent (CSM in tertiair zand) en op een werf in Leuven (CSM in tertiair zand). De verschillen tussen de gemiddelde UCS van gekernde monsters en van de wet grab monsters varieert tussen -10% en +35% (tabel 1). Deze verschillen kunnen niet verklaard worden door de variatie van de testresultaten alleen (Larsson, 2005). Wellicht hebben ook de omstandigheden tijdens de uitharding een grote invloed.

DE UCS BOVENAAN DE KEERMUUR

Op verschillende werven werd ook vastgesteld dat de UCS van de eerste meter van het soilmix materiaal sterk beïnvloed wordt door de uitvoeringsprocedure aan het begin en het einde van een element (bv. infiltratie van spoelwater). Als voorbeeld geeft *figuur 3* aan dat op de werf Brugge (CSM in kwartair zand) de UCS-waarde van monsters van de eerste meter slechts ongeveer 60% bedraagt van de gemiddelde UCS-waarde op grotere diepte. Dus is de bovenkant van de wand niet representatief voor het dieper gelegen gedeelte. Daarom betreffen de volgende paragrafen alleen laboratoriumproeven op monsters die gekernd werden op een diepte van meer dan 1 m onder het oppervlak.

INVLOED VAN DE UITHARDINGSTIJD OP DE UCS VAN SOILMIX PROEFMONSTERS

De UCS van een soilmix monster hangt onder andere af van de uithardingstijd. In dit artikel varieert de uithardingstijd van de geteste soilmix monsters tussen 14 dagen en 180 dagen. Om de invloed van de uithardingstijd te bepalen, worden verschillende series laboratorium gemengde soil mix monsters vervaardigd. Van deze monsters wordt de druksterkte bepaald na verschillende uithardingstijden (3, 7, 14, 28, 56 en 91 dagen). Aan de hand van deze resultaten wordt de evolutie van de drukweerstand in functie van de tijd gefit:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \quad (1)$$

waarbij $f_{cm}(t)$ de evolutie van de UCS met de tijd [MPa] is; f_{cm} de UCS na 28 dagen [MPa] en

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left(s\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)\right) \quad (2)$$

waarbij t de uithardingstijd [dagen] is en s de gefitte parameter (EN 1992-1-1). Afhankelijk van het grondtype werd het type van bindmiddel, de hoeveelheid bindmiddel, de hoeveelheid water en de invloed van de uithardingstijd getest in 11 verschillende omstandigheden. Naargelang de bodemgesteldheid in België, de gebruikte hoeveelheid water en cement en het type van bindmiddel varieerde de gefitte parameter s tussen 0,96 en 0,99 (bindmiddel gebruikt bij CSM) en tussen 1,28 en 1,71 (bindmiddel gebruikt bij CVR C-mix®).

Resultaten voor de UCS en elasticiteitsmodulus van kernmonsters

950 UCS-tests en 100 tests van de elasticiteitsmodulus werden uitgevoerd op monsters die op 23 verschillende werven in België gekernd waren. De grond werd gemengd met het mengsel van water en bindmiddel door de soilmix systemen en met de typische uitvoeringsparameters zoals gebruikt in België. Het is duidelijk dat de UCS en de elasticiteitsmodulus beïnvloed worden door deze uitvoeringsparameters, het grondtype enzovoort.

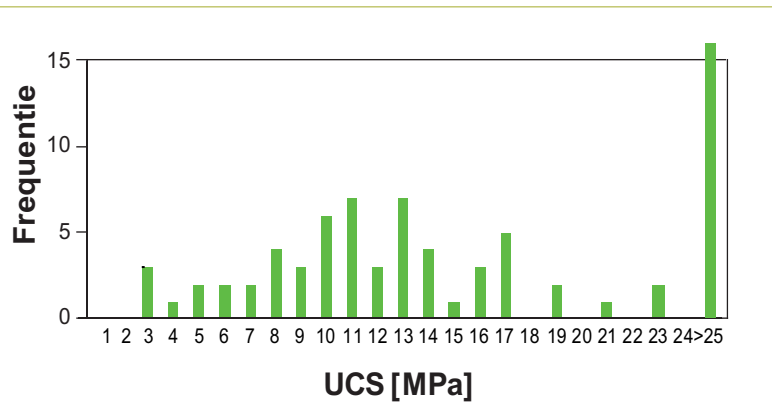
INVLOED VAN HET GRONDTYPE OP DE UCS-WAARDE VAN SOILMIX MONSTERS

Om te focussen op de invloed van het grondtype, werden de UCS-resultaten in deze paragraaf gecorrigeerd naar een uithardingstijd van 28 dagen (gebaseerd op par.3.4). Om de invloed van het type te bepalen, werden de gronden geclassificeerd als (A) kwartair of tertiair zand, (B) leem of (C) alluviale klei. *Figuur 5* tot *6* geven de histogrammen weer van de UCS-testresultaten van de soilmix monsters

Site	Geboorde kernen UCS [MPa]	Wet grab monsters UCS [MPa]
Gent	$\mu = 2,37$	$\mu = 2,61$
Element I	$\sigma = 0,36$	$\sigma = 0,23$
	# = 4	# = 5
Gent	$\mu = 1,60$	$\mu = 1,85$
Element II	$\sigma = 0,25$	$\sigma = 0,10$
	# = 4	# = 5
Leuven	$\mu = 3,98$	$\mu = 3,68$
Element I	$\sigma = 0,78$	$\sigma = 0,21$
	# = 4	# = 4
Leuven	$\mu = 4,99$	$\mu = 3,64$
Element II	$\sigma = 0,71$	$\sigma = 0,45$
	# = 4	# = 5

Tabel 1 Vergelijking tussen de UCS resultaten na 14 dagen van gekernde en wet grab (# is het aantal proefmonsters, is de gemiddelde UCS en is de standaardafwijking van de UCS-proeven).

Figuur 4 Histogram van de UCS-testresultaten van soilmix monsters gekernd op de werf Gent KII (TSM in tertiair zand).



gecorrigeerd naar een uithardingstijd van 28 dagen naargelang het type van de grond. Het is duidelijk 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). Ook de grote variatie van de UCS, onafhankelijk van het grondtype, valt op.

4.2. Elasticiteitsmodulus van soilmix materiaal
De secant elasticiteitsmodulus werd bepaald van 100 gekerde soilmix monsters. Na de cyclische belasting ter bepaling van de elasticiteitsmodulus werd de test voortgezet tot breuk om de UCS te definiëren. Deze monsters werden gekerd in soilmix wanden op 17 werven in een verschillende grondtype en verschillende uitvoeringsparameters. De uithardingstijd van de geteste soilmix monsters varieerde tussen 14 dagen en 180 dagen. Omdat het doel van deze paragraaf is de correlatie tussen de elasticiteitsmodulus en de UCS van het soilmix materiaal te bepalen, zijn de testresultaten in deze paragraaf niet gecorrigeerd naar de uithardingstijd.

Figuur 8 geeft de elasticiteitsmodulus weer als een functie van de UCS van het geteste soilmix materiaal zonder een onderscheid te maken voor de grondsoort. Een lineaire relatie tussen de elasticiteitsmodulus en de UCS wordt gefit. Zodoende is de beste geschatte waarde van de elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal ongeveer:

$$E = 1000 UCS \quad (3)$$

waarbij E de secans elasticiteitsmodulus [MPa] is en UCS de uniaxiale druksterkte [MPa] van het soilmix materiaal. Een lage 5% fractiel schatting van de elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal is:

$$E = 620 UCS \quad (4)$$

Een hoge 5% fractiel schatting van de elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal is:

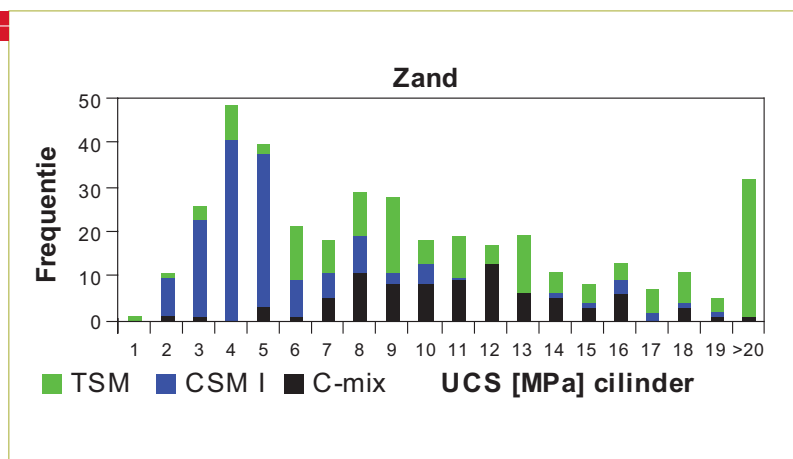
$$E = 1460 UCS \quad (5)$$

Deze schattingen zijn enkel geldig voor het bereik $2 \text{ MPa} < UCS < 30 \text{ MPa}$.

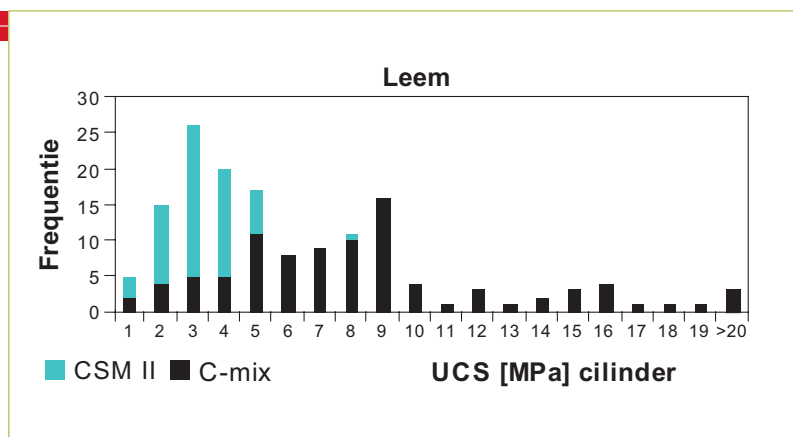
Bepaling van de karakteristieke waarde van de ucs

De UCS wordt gebruikt als kwaliteitscontrole voor het in situ soilmix materiaal. Het doel is een 5% fractiel karakteristieke waarde van de UCS te schatten die gebruikt kan worden in het ontwerp. De conventionele methode om een karakteristieke waarde te schatten, is uitgaan van een Gaussiaanse populatie van de testresultaten. In dit geval wordt de 5% fractiel karakteristieke waarde geschat als (met verwaarlozing van student t - correctie):

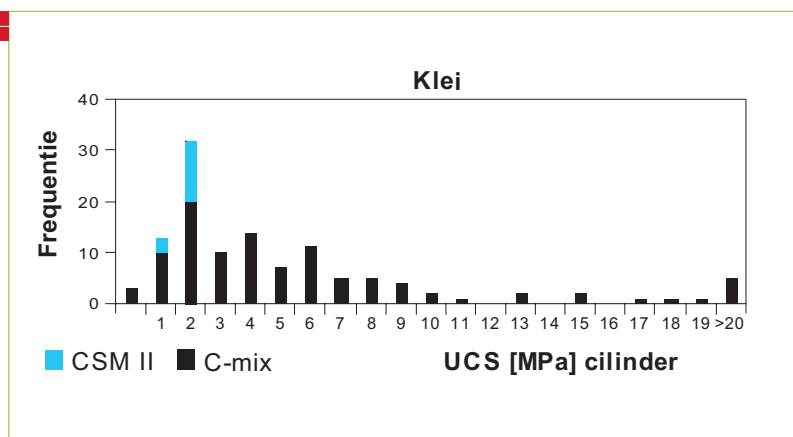
Figuur 5 Histogram van de UCS [MPa] van kernmonsters van soilmix materiaal gemengd in kwartair en tertiair zand bij een TSM, CSM of CVR C-mix®. De testresultaten zijn gecorrigeerd naar een uithardingstijd van 28 dagen.



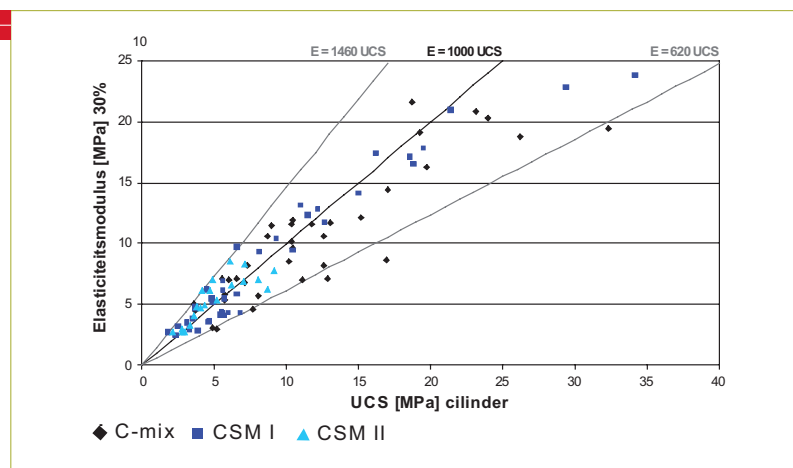
Figuur 6 Histogram van de UCS [MPa] van kernmonsters van soilmix materiaal gemengd in leemgrond bij een CSM of CVR C-mix®. De testresultaten zijn gecorrigeerd naar een uithardingstijd van 28 dagen.



Figuur 7 Histogram van de UCS [MPa] van kernmonsters van soilmix materiaal gemengd in alluviale kleigrond bij een CSM of CVR C-mix®. De testresultaten zijn gecorrigeerd naar een uithardingstijd van 28 dagen.



Figuur 8 Elasticiteitsmodulus [MPa] als functie van de UCS [MPa] van soilmix materiaal in verschillende grondsoorten.



$$X_{k,0.05} = \bar{X} - 1.64 \sigma \quad (6)$$

waarbij $X_{k,0.05}$ de geschatte 5% fractiel karakteristieke waarde is, \bar{X} de gemiddelde waarde en σ de standaardafwijking van de populatie van de testresultaten.

In België wordt geacht dat deze methode veel te pessimistische resultaten oplevert voor de UCS-populaties van soilmix materiaal. Dit wordt aangetoond in *tabel 2* waar het 5% fractiel laagste testresultaat (zoals bepaald op de testpopulatie) vergeleken wordt met $X_{k,0.05}$ (Verg. 6). De UCS-resultaten van monsters afkomstig van Gent KII (TSM in tertiair zand) bijvoorbeeld geven een $X_{k,0.05}$ van -0.7 MPa. We merken op dat een negatieve karakteristieke UCS-waarde fysisch geen betekenis heeft. Toch bedraagt het 5% fractiel laagste testresultaat van de populatie 6,3 MPa. Dit substantiële verschil wordt veroorzaakt door de niet-symmetrische en niet-Gaussiaanse

verdeling van de UCS-testresultaten (*figuur 4*). Bovendien veroorzaken de UCS-resultaten boven 25 MPa een grote toename van de standaardafwijking en bijgevolg een daling van de $X_{k,0.05}$.

De schatting van de karakteristieke waarde uitgaande van een lognormale verdeling, levert een meer realistische schatting op. In het geval van Gent KII bijvoorbeeld bedraagt de geschatte karakteristieke waarde uitgaande van een lognormale verdeling 5,0 MPa. Deze waarde moet vergeleken worden met het 5% fractiel laagste testresultaat (zoals bepaald op de testpopulatie: 6,3 MPa). De 20% onderschatting van de karakteristieke waarde van de UCS is te wijten aan de niet perfecte lognormale verdeling van de testresultaten. *Figuur 9* geeft het histogram van het logaritme (basis 10) van de testresultaten van de UCS op soilmix monsters van Gent KII. Deze grafiek suggereert dat de populatie van de testresultaten uit twee subpopulaties bestaat

(een populatie rond 1,1 (dus 13 MPa) en één rond 1,5 (dus 32 MPa)).

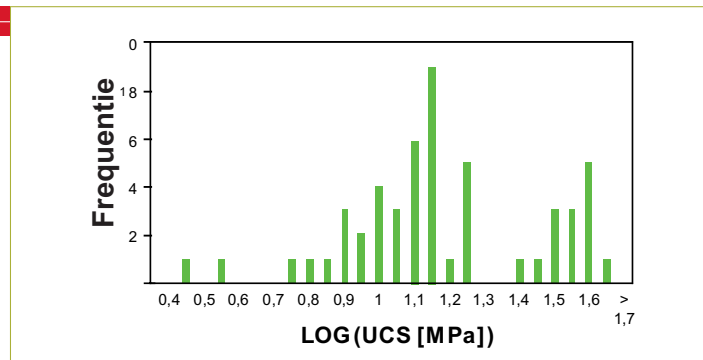
Over het algemeen (Tabel 2) is de schatting van de karakteristieke waarde uitgaande van een lognormale verdeling realistischer dan de schatting gebaseerd op de Gaussiaanse benadering. We wijzen erop dat de karakteristieke waarde van de UCS van soilmix materiaal verkregen wordt door monsters te testen van ongeveer 100 mm lang en met een diameter van ongeveer 100 mm. Verder onderzoek zal uitgevoerd worden om de invloed van de 'grootte' van de monsters op deze karakteristieke waarde te analyseren.

Conclusies

De toepassing van de soilmix technologie voor de realisatie van grond- en waterkerende constructies neemt sterk toe in België en in andere delen van de wereld.

Voor de toepassing van de soilmix technologie voor kerende constructies moeten de kwaliteit over het algemeen, de UCS-waarde en de elasticiteitsmodulus van het soilmix materiaal op voorhand geschat worden. Hiervoor kunnen *figuren 4 tot 7* gebruikt worden in typisch Belgische gronden (indien de uitvoeringsparameters gelijkwaardig zijn). Hierbij dient men wel nog rekening te houden met conversiefactoren tussen druksterktes bekomen op cilinders en kubussen en de invloed van lange termijn effecten zoals kruip en krimp. Na de uitvoering van de soil mix elementen moeten er laboratoriumproeven uitgevoerd worden op in situ gekernd soilmix materiaal om

Figuur 9 Histogram van het logaritme van de UCS-testresultaten van soilmix monsters gekernd op de werf Gent KII (TSM in tertiair zand).



Site	Soilmix systeem	Grond	Gemiddelde waarde van de UCS-testresul. [MPa]	Standaardafw. van de UCS-testresul. [MPa]	Variatiecoëf. [%]	Aantal geteste monsters [-]	5% fractiel karakt. UCS-waarde [MPa] (testpopulatie)	5% fractiel karakt. UCS-waarde [MPa] (Gaussiaans)	5% fractiel karakt. UCS-waarde [MPa] (lognormale)
Brugge	CSM	Kwartair zand	6,3	1,6	25,4	39	4,1	3,8	4,0
Zeebrugge	CSM	Kwartair zand	6,5	0,8	12,3	38	4,8	5,3	5,3
Gent KI	TSM	Tertiair zand	9,8	4,6	46,9	60	3,6	2,3	3,6
Gent KII	TSM	Tertiair zand	17,2	10,9	63,4	52	6,3	-0,7	5,0
Antwerpen	CVR C-mix®	Kwartair zand	11,9	4,1	34,5	50	6,5	5,2	6,4
Lommel	CVR C-mix®	Kwartair zand	18,6	3,9	21,0	39	11,6	12,2	12,4
Tongeren	CSM	Leem	5,3	1,6	30,2	33	2,8	2,7	2,7
Sint-Lievens	CVR C-mix®	Leem	10,8	4,9	45,4	31	4,8	2,7	4,5
Houtem									
Limelette	C-mix® CVR	Leem	14,8	5,4	36,5	38	7,4	6,0	7,8
Anderlecht	C-mix® CVR	Leem	8,0	5,8	72,5	64	2,0	-1,6	1,9
Gent	C-mix® CVR	Alluviale klei	8,6	7,0	81,4	41	1,5	-2,8	1,6
Borgloon	C-mix® CVR	Alluviale klei	5,7	3,1	54,4	26	1,0	0,6	1,4
Knokke	C-mix® CVR	Klei	7,3	7,2	98,6	25	0,5	-4,5	0,9
Erembodegem	C-mix®	Alluviale klei	8,0	4,6	57,5	25	2,3	0,4	2,4

Tabel 2 Vergelijking van de 5% karakteristieke waarde van de UCS-waarden, getest op cilindervormige soilmix monsters, bepaald door uit te gaan van een Gaussiaanse verdeling en een lognormale verdeling. Per werf worden de UCS-proeven uitgevoerd op monsters gekernd op dezelfde diepte ($\pm 0,2$ m) met ongeveer dezelfde uithardingstijd. Monsters van verschillende werven kunnen op meerdere dieptes gekernd worden of kunnen een verschillende uithardingstijd hebben.

de geschatte parameters te bevestigen. Daarom wordt een procedure voorgesteld en gevalideerd om de karakteristieke UCS-waarde van soilmix materiaal te bepalen. Dit onderzoek wordt financieel gesteund door het Belgisch Instituut voor Normalisatie (NBN; WTCB, 2009 – 2010). De kwestie van een aangepaste methodologie voor de mechanische berekening van soilmix constructies rekening houdend met de heterogeniteit en de grondinsluitingen, blijft momenteel echter nog open. Hierdoor startte het WTCB eind 2009 een onderzoeksproject over de berekeningsmethodologie van soilmix materiaal met vooral aandacht voor:

1. druksterkte van soilmix constructies rekening houdend met de invloed van grondinsluitingen,
2. hechting tussen het soilmix materiaal en de stalen wapeningselementen,
3. duurzaamheid van soilmix materiaal,
4. doorlaatendheid.

Het doel is een berekeningsmethodologie voor de soilmix constructie te verkrijgen waarbij rekening gehouden wordt met de aanwezigheid van de heterogeniteit en de grondinsluitingen als ook de tijds- en schaafeffecten zoals uithardings-tijd en kruip. Dit nieuwe onderzoeksproject

wordt uitgevoerd in samenwerking met de Katholieke Universiteit van Leuven en de Belgische Vereniging Aannemers Funderingswerken (ABEF) en wordt financieel ondersteund door het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie van het Vlaamse gewest (IWT; WTCB 2009-2013).

Referenties

- WTCB, 2009. *SOIL MIX in constructieve en permanente toepassingen – Karakterisatie van het materiaal en ontwikkeling van nieuwe mechanische wetmatigheden* IWT 080736 .
- WTCB, 2009. *BESCHOEIINGEN – Richtlijnen voor het ontwerp, de uitvoering en de monitoring van klassieke en nieuwe beschoeiingstechnieken*. NBN CC CCN/PN/NBN – 613 .
- Eurosoilstab. 2002. *Development of design and construction methods to stabilise soft organic soils*. Design Guide Soft Soil Stabilisation. EC project BE 96-3177.
- EN 1992-1-1, 2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. CEN
- EN 14679, 2005. *Execution of special geotechnical works – Deep mixing*. CEN TC 288 WI 011.

- NBN EN 206-1, 2006. *Concrete – Part 1: Specification performance, production and conformity*. NBN.
- Larsson, S. 2005. *State of Practise Report - Execution, monitoring and quality control*. In International Conference on Deep Mixing. *Best Practise and Recent Advances; Proceedings of the International Conference on Deep Mixing (Deep mixing '05)*, Stockholm, Sweden, May 23-25, 2005, pp. 732-786. Swedish Deep Stabilization Research Centre.
- NBN B15-203, 1990. *Proeven op beton – Statische elasticiteitsmodulus bij druk*. NBN.
- Probaha, A. 1998. *State of the art in deep mixing technology: part I. Basic concepts and overview*. Ground Improvement, Vol. 2, pp. 81-92.
- Probaha, A., Tanaka H. & Kobayashi M. 1998. *State of the art in deep mixing technology, part II. Applications*. Ground Improvement Journal, Vol. 3, pp. 125-139.
- Rutherford C.J., Biscontin G., Koutsoftas D. & Briaud J.L. 2007. *Design process of deep soil mixed walls for excavation support*. International Journal of Geotechnical Engineering Case Histories, Vol. 1, pp. 56-72. ■

Precies ontworpen. Precies zo gebouwd.

HUESKER



**FUNDERING LANDHOOFD
OP GEWAPENDE GROND**

Fortrac® geogrids

is de wapening voor de op staal gefundeerde landhoofden van kunstwerk B en O in de N242 bij Alkmaar

Agent voor Nederland
CECO B.V.
info@cecobv.nl
Tel.: 043 - 352 76 09

HUESKER Netherlands
huesker.brok@hccnet.nl
Tel.: 073 - 503 06 53



HUESKER ingenieurs ondersteunen u bij het ontwerp en de realisatie van uw bouwprojecten. Veelomvattende knowhow en jarenlange ervaring zijn de basis voor een betrouwbare uitvoering en zorgen voor een soepel verloop van de werkzaamheden. Uw kunt steunen op de producten en oplossingen van HUESKER.

**HUESKER geokunststoffen –
betrouwbaar door ervaring.**

www.huesker.com

GEOTECHNIEK

WEGENBOUW

WATERBOUW

MILIEUTECHNIEK