

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Ontwikkeling van een proef ter bepaling van de effectieve
verdichtbaarheid van behandelde en onbehandelde gronden

PROMOTOR :

Prof. ir. Bart VAN ZEGBROECK

PROMOTOR :

Dhr. Wim SEGHERS

BEGELEIDER :

De heer Sean KOX

Sofie Molderez, Tijds Willaert

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

De transnationale Universiteit Limburg is een uniek samenwerkingsverband van twee universiteiten in twee landen: de Universiteit Hasselt en Maastricht University.



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Ontwikkeling van een proef ter bepaling van de effectieve
verdichtbaarheid van behandelde en onbehandelde gronden

PROMOTOR :

Prof. ir. Bart VAN ZEGBROECK

PROMOTOR :

Dhr. Wim SEGHERS

BEGELEIDER :

De heer Sean KOX

Sofie Molderez, Tijs Willaert

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde



KU LEUVEN

Woord vooraf

Deze masterproef is het sluitstuk van de opleiding tot Industrieel Ingenieur met als specialisatie Bouwkunde. Bij het tot stand komen van dit eindwerk hebben enkele mensen een grote bijdrage geleverd en deze personen willen we in dit voorwoord graag bedanken.

Een eerste dankbetuiging gaat uit naar de externe promotor vanuit BESIX Infra, Manager Uitvoering Wim Seghers. Hij heeft ons gedurende de volledige masterthesis met raad en daad bijgestaan en stond altijd klaar om onze vragen te beantwoorden. Hij heeft ervoor gezorgd dat de proefopstelling op tijd klaar was en heeft tevens veel van de gebruikte literatuur aangereikt wat de literatuurstudie ten goede bevorderde. Een tweede dankbetuiging gaat uit naar de interne promotor vanuit UHasselt, prof. ir. Bart Van Zegbroeck. Meneer Van Zegbroeck was steeds bereid om ondersteuning en feedback te geven zowel bij problemen als tijdens de vorming van deze masterproef. Een derde dankbetuiging gaat uit naar de tweede interne promotor vanuit de UHasselt, ing. Sean Kox. Hij heeft ons bijgestaan bij het verwerken van de resultaten en heeft eveneens onze scriptie regelmatig nagelezen en verbeterd. Een vierde dankbetuiging gaat uit naar ir. Dan Dragan. Hij heeft ons ondersteund tijdens het uitvoeren van de proeven in het Technologiecentrum en kon veel uitvoeringsproblemen op eenvoudige wijze oplossen. Een laatste dankbetuiging gaat uit naar onze familie en vrienden, die we willen bedanken voor hun eeuwige steun, goede raad en helpende handen bij het verzamelen van de grondmonsters.

Juni 2018

Molderez Sofie en Willaert Tijs

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	7
Verklarende woordenlijst	9
Abstract	11
Abstract in English	13
1 Inleiding	15
2 Literatuurstudie	17
2.1 Algemene grondeigenschappen	17
2.2 Grondbehandeling	21
2.3 Verdichting	25
2.4 Proeven	26
3 Materiaal en methode	31
3.1 Proefopstelling	31
3.2 Parameterstudie.....	35
3.3 Werkwijze	36
4 Resultaten	37
4.1 Karakterisatie gronden.....	37
4.2 Meetreeksen	39
4.3 Verdichtingstijden	68
5 Discussie	69
5.1 Algemene bespreking experimenten	69
5.2 Parameteronderzoek.....	69
5.3 Optimale verdichting	73
5.4 Proefontwikkeling	73
5.5 Vervolgonderzoek.....	74
6 Besluit	75
Literatuurlijst	77
Bijlagen	79

Lijst van tabellen

Tabel 1: De onderverdeling van korrelgroottes	18
Tabel 2: Afmetingen van de mallen.....	31
Tabel 3: Afmetingen van de verdichtingsplaten	32
Tabel 4: Karakteristieken van de boorhamer	33
Tabel 5: Karakteristieken van de slagsonde en de lichte slagsonde type OCW	33
Tabel 6: Schema van alle parameters	35
Tabel 7: Meetreeksen rijnzand	39
Tabel 8: Meetreeksen sleufgrond Wellen.....	39
Tabel 9: Meetreeksen sleufgrond Tongeren	39
Tabel 10: Meetreeksen sleufgrond Diepenbeek	39
Tabel 11: Meetreeks 5 – Verschil in indringing per slag	44
Tabel 12: Meetreeks 7 – Verschil in indringing per slag	46
Tabel 13: Meetreeks 8 – Verschil in indringing per slag	47
Tabel 14: Meetreeks 10 – Verschil in indringing per slag.....	49
Tabel 15: Meetreeks 12 – Verschil in indringing per slag.....	51
Tabel 16: Meetreeks 13 – Verschil in indringing per slag.....	52
Tabel 17: Meetreeks 14 – Verschil in indringing per slag.....	53
Tabel 18: Meetreeks 15 – Verschil in indringing per slag.....	54
Tabel 19: Meetreeks 16 – Verschil in indringing per slag.....	55
Tabel 20: Meetreeks 19 – Verschil in indringing per slag.....	58
Tabel 21: Meetreeks 20 – Verschil in indringing per slag.....	59
Tabel 22: Meetreeks 21 – Verschil in indringing per slag.....	60
Tabel 23: Meetreeks 22 – Verschil in indringing per slag.....	61
Tabel 24: Meetreeks 23 – Verschil in indringing per slag.....	63
Tabel 25: Meetreeks 24 – Verschil in indringing per slag.....	64
Tabel 26: Meetreeks 25 – Verschil in indringing per slag.....	65
Tabel 27: Meetreeks 26 – Verschil in indringing per slag.....	66
Tabel 28: Meetreeks 27 – Verschil in indringing per slag.....	67
Tabel 29: Optimale verdichtingstijd per grond en type mal	68

Lijst van figuren

Figuur 1: De aanleg van een rioleringsbuis	15
Figuur 2: Grondbehandeling met het bindmiddel kalk.....	16
Figuur 3: Het niet-lineair gedrag van grond	17
Figuur 4: Voorbeeld van een korrelverdeling	19
Figuur 5: Weergave van het consolidatieproces	20
Figuur 6: Proctorkromme en CBR-curven.....	22
Figuur 7: Cementsamenstellingen.....	24
Figuur 8: Opbouw van de lichte slagsonde type OCW	26
Figuur 9: Voorbeeld van een slagsondering type OCW	27
Figuur 10: Proctorproefopstelling	28
Figuur 11: Proctorkrommes	28
Figuur 12: CBR-proefopstelling.....	29
Figuur 13: CBR-curves	29
Figuur 14: De mallen	31
Figuur 15: De verdichtingsplaten	32
Figuur 16: Het mechanisch verdichtingstoestel.....	32
Figuur 17: Het elektrische verdichtingstoestel (boorhamer)	33
Figuur 18: De slagsonde.....	33
Figuur 19: De verzwaringsringen	34
Figuur 20: De zeefkromme van rijzand, sleufgrond uit Wellen, sleufgrond uit Diepenbeek en sleufgrond uit Tongeren.....	37
Figuur 21: Meetreeks 1 – Indringing i.f.v. het aantal slagen.....	40
Figuur 22: Meetreeks 1 – Zakking i.f.v. het aantal slagen	40
Figuur 23: Meetreeks 2 – Indringing i.f.v. het aantal slagen.....	41
Figuur 24: Meetreeks 2 – Zakking i.f.v. het aantal slagen	41
Figuur 25: Meetreeks 3 – Indringing i.f.v. het aantal slagen.....	42
Figuur 26: Meetreeks 3 – Zakking i.f.v. het aantal slagen	42
Figuur 27: Meetreeks 4 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd	43
Figuur 28: Meetreeks 4 – Zakking i.f.v. de verdichtingstijd	43
Figuur 29: Meetreeks 5 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen	44
Figuur 30: Meetreeks 6 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd	45
Figuur 31: Meetreeks 6 – Zakking i.f.v. de verdichtingstijd	45
Figuur 32: Meetreeks 7 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen	46
Figuur 33: Meetreeks 8 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen	47
Figuur 34: Meetreeks 9 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd	48
Figuur 35: Meetreeks 9 – Zakking in functie van de verdichtingstijd.....	48
Figuur 36: Meetreeks 10 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	49
Figuur 37: Meetreeks 11 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd	50
Figuur 38: Meetreeks 11 – Zakking in functie van de verdichtingstijd.....	50
Figuur 39: Meetreeks 12 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	51
Figuur 40: Meetreeks 13 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	52
Figuur 41: Meetreeks 14 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	53
Figuur 42: Meetreeks 15 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	54
Figuur 43: Meetreeks 16 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	55
Figuur 44: Meetreeks 17 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	56
Figuur 45: Meetreeks 18 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	57
Figuur 46: Meetreeks 19 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	58
Figuur 47: Meetreeks 20 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	59
Figuur 48: Meetreeks 21 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	60
Figuur 49: Meetreeks 22 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	61

Figuur 50: Meetreeks 23 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	63
Figuur 51: Meetreeks 24 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	64
Figuur 52: Meetreeks 25 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	65
Figuur 53: Meetreeks 26 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	66
Figuur 54: Meetreeks 27 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen.....	67
Figuur 55: Volle verdichtingsplaat voor de kleine mal	73

Verklarende woordenlijst

BVSM	Belgische vereniging tot studie, beproeving en gebruik der materialen
CBR	California Bearing Ratio
CEM I	Cementklasse I, portlandcement
CEM II	Cementklasse II
CEM III	Cementklasse III, hoogovencement
CEM V	Cementklasse V, composietcement
HBW	Hydraulische bindmiddelen voor de wegenbouw
IPI	Indice Portant Immédiate, onmiddellijke draagvermogenindex
OCW	Opzoekingscentrum voor de wegenbouw
TOP	Tijdelijke opslagplaats

C_u	Uniformiteitscoëfficiënt [-]
D_{10}	Korrel diameter waarbij 10% doorval is [mm]
D_{60}	Korrel diameter waarbij 60% doorval is [mm]
$\Delta\sigma_0$	Totale spanningstoename [N/mm ²]
$\Delta\sigma'_t$	Spanningstoename in de korrelstructuur op tijdstip t [N/mm ²]
I_p	Plasticiteitsindex [-]
Δu_0	Spanningstoename in het grondwater op tijdstip nul [N/mm ²]
Δu_t	Spanningstoename in het grondwater op tijdstip t [N/mm ²]

Al_2O_3	Aluminiumoxide
$Al(O,OH)_6$	Aluminiumheptaoxide/aluminiumheptahydroxide
C_3A	Tricalciumaluminaat
C_4AF	Tetracalciumferroaluminaat
CAH	Calciumaluminaathydraat
CaO	Calciumoxide, ongeluste kalk
$Ca(OH)_2$	Calciumhydroxide, gebluste kalk
$CASH$	Calciumsilicoaluminaathydraat
$CaSO_4$	Calciumsulfaat, gips
C_3S	Tricalciumsilicaat
C_3S_2	Metaal armer zout van tricalciumsilicaat
CSH	Calciumhydrataat
$C_3S_2nH_2O$	Hydraat van het metaal armer zout van tricalciumsilicaat
Fe_2O_3	Ijzeroxide
H_2O	Diwaterstofoxide, water
SiO_2	Siliciumdioxide, kwarts silicaat (2D)
SiO_4	Siliciumtetraoxide, silicaat (3D)

Abstract

BESIX Infra wil een proefopstelling ontwerpen die de verdichtbaarheid van aanvullingsgrond voor sleuven kan meten. Momenteel is enkel de lichte slagsonde beschikbaar, maar deze controle wordt pas uitgevoerd na 7 of 28 dagen. Dit is te laat en niet wenselijk in werfomstandigheden. Om dit probleem op te lossen, wordt een proefopstelling ontworpen die bepaalt of een grond verdichtbaar is en bijkomend onderzoekt deze masterproef wanneer hierbij de optimale verdichting bereikt wordt.

De proefopstelling wordt door BESIX Infra gebouwd en de testen hierop gebeuren aan de hand van drie type gronden. De proefopstelling bestaat uit vijf onderdelen, deze zijn samen met de andere parameters gebundeld in een parameterstudie en deze studie dient als leidraad voor het uitvoeren van de testen. Hierbij wordt de invloed van iedere parameter gelinkt aan de indringing met de slagsonde of met de zakking en zodoende wordt iedere parameter afzonderlijk getest tijdens het uitvoeren van de metingen.

Uit de resultaten komt naar voren dat de proefopstelling verdichtbaarheid kan meten, hierbij leidt een stijging van de verdichtingsenergie tot een kleinere indringing en een grotere daling van het grondvolume (zakking). De optimale verdichting wordt bekomen door middel van een boorhamer op stand II waarbij de grond in de kleine mal en de grond in de middelmatige mal respectievelijk 30 seconden en 40 seconden per laag van 10 cm verdicht moet worden.

Abstract in English

BESIX Infra wanted to design a test setup which measures the soil compaction, used to cover sewage pipes. At the present moment, only the *lichte slagsonde* is available, but this check is solely performed after day 7 and 28. This is generally too late and not desirable under construction site conditions. To solve this problem, a test setup is designed which determines the compaction of soil and, following this, a method will be provided to determine when optimal compaction is achieved.

The test setup was built by BESIX Infra and the testing was carried out using three ground types. The test setup consisted of five elements. These, together with the other parameters, were combined in a parameter study which served as a guideline during the experiments. With this, the influence of every parameter from the study should be linked with the penetration of the *slagsonde* or with the volume reduction of the soil.

The results show that the test setup is able to measure compaction. If compaction energy increases, the volume reduction increases as well, and a smaller penetration occurs as a result. The optimal compaction is achieved with a hammer drill used with setting II. In the small mould, the soil should be compacted 30 seconds for each soil layer of 10 cm. The medium mould reaches optimal compaction after 40 seconds compaction per 10 cm soil.

1 Inleiding

Deze masterproef wordt uitgevoerd op voorstel van BESIX Infra met ondersteuning van de universiteit Hasselt en de katholieke universiteit Leuven. BESIX Infra is de Belgische dochteronderneming van het multidisciplinaire bouwbedrijf BESIX. Voorheen stond dit bouwbedrijf bekend onder de naam Heijmans Infra, maar samen met Van den Berg en Heijmans Bouw, behoort dit sinds april 2017 tot de BESIX-groep. Ze zijn een topspeler in de Belgische inframarkt en zijn actief in de wegenbouw, rioleringsaanleg, milieusanering en de aanleg van publieke ruimtes [1] [2]. Deze masterproef is toegespitst op het onderdeel van de rioleringsaanleg en doet onderzoek naar het meetbaar maken van de verdichtbaarheid van grond.

De aanleg van een nieuwe riolering gebeurt in drie opeenvolgende stappen. Ten eerste wordt een sleuf gegraven en wordt het funderingsmateriaal voor de rioleringsbuis aangebracht. Vervolgens wordt de rioolbuis in de sleuf gebracht en met de daarvoor geplaatste buizen verbonden, zoals afgebeeld in Figuur 1. Ten slotte vult de aannemer de sleuf terug aan en wordt de aanvullingsgrond verdicht door middel van verdichtingstoestellen. Aangezien dit een repetitief werk is, zijn er twee mogelijke scenario's die worden toegepast, afhankelijk van de uitgegraven grond en of deze behandeld moet worden. Het eerste scenario, waarbij de grond niet behandeld moet worden, verloopt als volgt. Eerst wordt de sleuf uitgegraven door graafmachines waarbij de uitgegraven grond in een vrachtwagen geladen wordt die een bepaalde route rijdt om zo aan de andere kant van de werf uit te komen. Terwijl deze vrachtwagen onderweg is, wordt de rioolbuis geplaatst en verbonden met de daarvoor geplaatste buizen. Tot slot laadt de vrachtwagen zijn grond weer uit en wordt deze in de sleuf gebracht en verder verdicht door middel van verdichtingstoestellen. Dit is dus een continu proces waarbij de verschillende stappen achtereenvolgens worden uitgevoerd. Zo wordt vooraan op de werf de grond uitgegraven en in vrachtwagens geladen. Daarna worden de nieuwe rioolbuizen in de sleuf geplaatst en achteraan wordt de sleuf opgevuld en verdicht. Na het uitvoeren van deze drie stappen worden slagsonderingen, op specifieke tijdstippen, uitgevoerd ter controle van de verdichting van de sleufaanvulling.



Figuur 1: De aanleg van een rioleringsbuis [3]

Het tweede scenario, waarbij er wel nood is aan grondbehandeling, verloopt vrij gelijkaardig aan het eerste scenario met als enige verschil dat de grond eerst nog behandeld wordt vooraleer het in de sleuf gebracht wordt. De grond die na uitgraving in de vrachtwagen geladen is, wordt op een naburig veld gestapeld. Dit veld kan zich zowel binnen de werfzone als erbuiten op een tijdelijke opslagplaats bevinden. Op het terrein wordt met tussenpozen de gestapelde grond uitgespreid, waarna de bindmiddelen hieronder gemengd worden waardoor de verdichtbaarheid verbeterd. Het mengen van een bindmiddel met de sleufgrond wordt in Figuur 2 geïllustreerd.

De drie types bindmiddelen die hiervoor in aanmerking komen zijn kalk, cement en hydraulische bindmiddelen. De hoeveelheid bindmiddel die onder de uitgegraven grond vermengd wordt, wordt via vooronderzoeken in onafhankelijke labo's bepaald waarbij het niet eenvoudig is om deze exacte hoeveelheden in de praktijk juist toe te passen. Zo wordt er op bepaalde plaatsen meer toegevoegd dan nodig en op andere plaatsen misschien te weinig. Vaak is het zelfs zo dat er bewust meer wordt toegevoegd om zeker te zijn dat de grond goed verdichtbaar wordt [4].



Figuur 2: Grondbehandeling met het bindmiddel kalk [5]

Momenteel is er echter nog geen proef beschikbaar die de verdichtbaarheid van een onverdicht grondmonster kan meten, direct na de behandeling met een bindmiddel of vlak voor het aanvullen van de sleuf. Wel bestaat er een proef die uitgevoerd wordt op de verdichte grond in de sleuf, namelijk de lichte slagsonde. Het probleem hierbij is echter dat deze controle noodzakelijk is, maar tegelijkertijd ook te laat. Als de grond na controle niet voldoet aan de vastgelegde eisen, moet de aannemer de aangevulde grond in principe er terug uithalen en nogmaals de grond behandelen, in de sleuf storten, verdichten en uiteindelijk opnieuw testen. Deze herhaling van de werkwijze is tijdrovend en niet wenselijk of praktisch in werfomstandigheden [4].

Om dit probleem te vermijden, onderzoekt deze masterproef een voorstel van een proef die de verdichtbaarheid van een grondmonster kan meten. Deze proef moet voldoen aan vier criteria. Ten eerste moet de proef uitgevoerd worden onder condities gelijkaardig aan de toestand van de grond in de sleuf waarop de lichte slagsonde wordt uitgevoerd. Ten tweede moet de proef uitvoerbaar zijn op elk type grond, al dan niet behandeld en moet de uitvoeringswijze onafhankelijk zijn van het type grond. Ten derde moet de proef uitvoerbaar zijn door arbeiders in werfomstandigheden, maar moet er eveneens de mogelijkheid zijn om de proefopstelling, in een verder stadium, te automatiseren. Het vierde en laatste criteria is de tijdsduur die beperkt is tot 15 minuten voor de volledige uitvoering van de proef. Naast deze vier criteria, onderzoekt deze masterproef bijkomend wanneer de optimale verdichting bereikt wordt.

Deze masterproef is ingedeeld in zes hoofdstukken. Eerst wordt de literatuurstudie besproken in hoofdstuk 2. Deze studie omvat vier grote thema's: de algemene grondeigenschappen, grondbehandeling, verdichting en bestaande proeven. Hoofdstuk 33 Materiaal en methode bespreekt vervolgens de materialen en de methode, hierin wordt de proefopstelling toegelicht, een parameterstudie uitgevoerd en wordt de testprocedure verduidelijkt. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de uitgevoerde proeven beschreven die daarna becommentarieerd worden in de discussie in hoofdstuk 5. Als laatste wordt er een besluit gemaakt en wordt de mogelijkheid tot verder onderzoek toegelicht. Dit is terug te vinden in hoofdstuk 6.

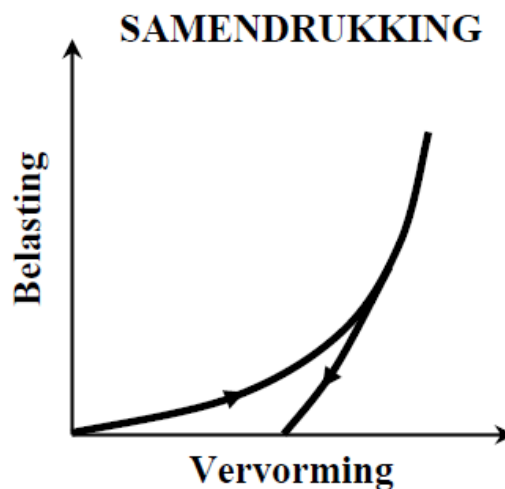
2 Literatuurstudie

Om een beter zicht te krijgen in de te bouwen proefopstelling en om te begrijpen welke aspecten bepalend zijn voor de verdichtbaarheid van grond, is het van groot belang dat er eerst een grondige literatuurstudie wordt uitgevoerd. In deze literatuurstudie worden vier topics onderzocht, namelijk de algemene grondeigenschappen, grondbehandeling, verdichting en proeven.

2.1 Algemene grondeigenschappen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste geotechnische aspecten van verschillende gronden besproken, gebaseerd op drie verschillende bronnen gepubliceerd door prof. dr. ir. F. De Smedt [6], prof. dr. ir. A. Verruijt [7] en F. B. J. Barends [8].

Het gedrag van grond is moeilijk te beschrijven aangezien grond een niet-lineair materiaal is dat zich plastisch gedraagt. In het geval van zuivere samendrukking wordt grond stijver bij een toenemende belasting, wat te zien is in Figuur 3. Enerzijds neemt de verdere vervorming af bij toenemende belasting en anderzijds keert de grond niet terug naar zijn oorspronkelijke toestand na ontlasting. De oorzaak van dit gedrag is te wijten aan het feit dat grond een natuurlijk materiaal is en sterke heterogene eigenschappen vertoont door aanwezigheid van open ruimtes in de korrelstructuur. Desondanks is het belangrijk om dit gedrag te onderkennen, omdat alle constructies op de bodem afdragen en de grondeigenschappen dus bepalend zijn voor de stabiliteit van gebouwen, bruggen, wegen en rioleringen.



Figuur 3: Het niet-lineair gedrag van grond [6, p. 5]

Grond is een verzameling van korrels die zowel kunnen verschillen in aard als in grootte. Deze korrels zitten niet dicht opeen, maar vormen een korrelstructuur met veel vrije ruimtes die gevuld zijn met lucht of water. Wanneer de grond veel poriën met lucht bevat, is de mogelijkheid tot vervorming groot. Door deze grond samen te drukken wordt de lucht uit de poriën gedruwd waardoor de korrels dichter op elkaar komen te zitten en neemt het grondvolume af. Bijgevolg wordt de grond steeds compacter en biedt de grond meer weerstand tegen verdere vervorming wat leidt tot een stijvere grond. In het geval dat de poriën vol water zitten, is de grond maar verdichtbaar voor zover dit water kan ontwijken. Bij het aanbrengen van een belasting wordt er op het niet-samendrukbare poriënwater gedrukt en treedt er daarom geen onmiddellijke vervorming of verdichting op. Het aanbrengen van een belasting leidt echter wel tot een herverdeling van het grondwater in de loop der tijd. Door het drukverschil ontstaat er namelijk een

drukgradiënt die aanleiding geeft tot een grondwaterstroming. Gedurende het wegstromen van het grondwater, wordt de belasting geleidelijk aan overgedragen van het poriënwater op de korrels waardoor de vervormingen mettertijd zullen plaatsvinden.

2.1.1 Benaming en onderverdeling

De benaming en onderverdeling van verschillende grondsoorten kan op meerdere manieren gebeuren. De twee meest voorkomende opdelingen zijn op basis van de chemische samenstelling en op basis van de korrelgrootte.

De eerste onderverdeling is gebaseerd op de aanwezigheid van verschillende mineralen. Deze mineralen worden opgesplitst in twee groepen, namelijk primaire en secundaire mineralen. Onder primaire mineralen vallen de silicaten zoals kwarts en veldspaten, dit zijn mineralen die onveranderd zijn gebleven in de tijd. De secundaire mineralen bevatten kleimineralen zoals illiet, kaolinet en montmorilloniet en zijn ontstaan door chemische verwerking van primaire mineralen. Een typische zandgrond bestaat voornamelijk uit silicaten die samen een netwerk van SiO_4 -tetraëders vormen. Dit staat beter bekend onder het mineraal kwarts dat een grote hardheid heeft, niet verweert en chemisch inert is. Dit verklaart de eigenschappen van een zandgrond zoals grote draagkracht, weinig cohesie en waterdoorlatend. Een kleigrond daarentegen is cohesief, gedraagt zich plastisch en is slecht waterdoorlatend waardoor het kan zwellen en krimpen. Kleimineralen bestaan uit een gelaagde structuur van SiO_4 -tetraëders en $Al(O,OH)_6$ -octaëders met vrije ionen tussen de lagen. Afhankelijk van deze opbouw en de aard van de vrije ionen kunnen de eigenschappen zoals plasticiteit en zwelcapaciteit variëren. Tot slot kan een grond nog ander materiaal bevatten bovenop de zonet besproken mineralen. Gronden die bijvoorbeeld organisch materiaal bevatten worden veenhoudend genoemd. Deze gronden kunnen tot meer dan 50% organisch materiaal bevatten, maar dit zorgt er ook voor dat veen niet bruikbaar is als bouwtechnisch materiaal aangezien dit van nature geen stabiele draagstructuur vormt.

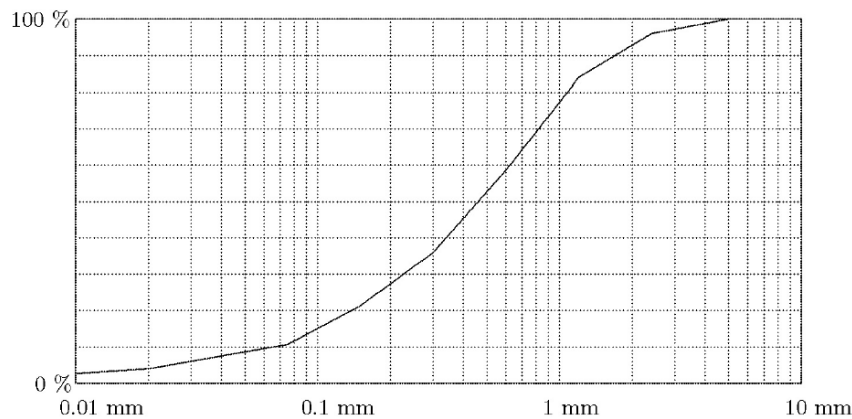
De tweede opdeling van grondsoorten gebeurt op basis van textuur. Aangezien grond een natuurlijk materiaal is, zijn geen twee korrels hetzelfde. Om hier enige ordening mogelijk te maken, zijn er fracties opgesteld met elk een boven en/of ondergrens zoals aangegeven in Tabel 1. Hierbij horen alle korrels met een diameter kleiner dan zestig micrometer tot de fijne fractie en alles hierboven tot de grove fractie. Deze grens is gebaseerd op wat het menselijk oog nog net kan onderscheiden.

Tabel 1: De onderverdeling van korrelgroottes [6, p. 13] [7, p. 13] [8, pp. 37-38]

Fractie	Klasse	Korrelgrootte
Fijne fractie	Klei	< 2 μm
	Silt / Leem	2 μm – 60 μm
Grove fractie	Zand	60 μm – 2 mm
	Grind	2 mm – 60 mm
	Stenen	> 60 mm

Een grond bestaat echter niet uit een enkele fractie, maar is een mengeling van verschillende korrelgroottes. Dit wordt gevisualiseerd aan de hand van een cumulatieve korrelverdelingsfunctie, zoals Figuur 4 toont voor een zandgrond. Dit type grafiek toont de korrelverdeling van een specifiek grondmonster en hieruit kan het aandeel van elke korrelgrootte bepaald worden. De vorm van de grafiek is daarbij een indicatie van de

heterogeniteit in korrelgrootte van de grond. Een steile grafiek wijst namelijk op een weinig gevarieerde korrelgrootte. Bij het bepalen of een grond al dan niet verdichtbaar is, is de korrelgrootte een belangrijke factor. Een grond met verschillende korrelgroottes is meestal beter te verdichten doordat kleinere korrels de open ruimtes tussen de grotere korrels opvullen. Zeer uniforme gronden bestaan vooral uit korrels met eenzelfde diameter en zijn daarom moeilijker verdichtbaar. Gronden met te kleine korrels, zoals een kleigrond, zijn overigens ook moeilijk te verdichten omdat deze gronden meestal te plastisch en slecht waterdoorlatend zijn, waardoor wegstromen van het poriënwater bemoeilijkt wordt.



Figuur 4: Voorbeeld van een korrelverdeling met op de x-as de diameter van de zeef en op de y-as het cumulatieve gewichtsperscentage dat door elke zeef valt [7, p. 14]

De belangrijkste parameter die volgt uit een korrelverdeling is de uniformiteitscoëfficiënt C_u . Dit is de verhouding van de korreldiameter D_{60} waarbij 60% doorvalt is op de korreldiameter D_{10} waarbij 10% doorvalt is, zoals weergegeven in formule 1.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Een uniformiteitscoëfficiënt lager dan vijf wijst op een uniforme korrelverdeling. Een uniformiteitscoëfficiënt groter dan vijftien wijst dan weer op een heterogene samenstelling.

2.1.2 Invloed van water

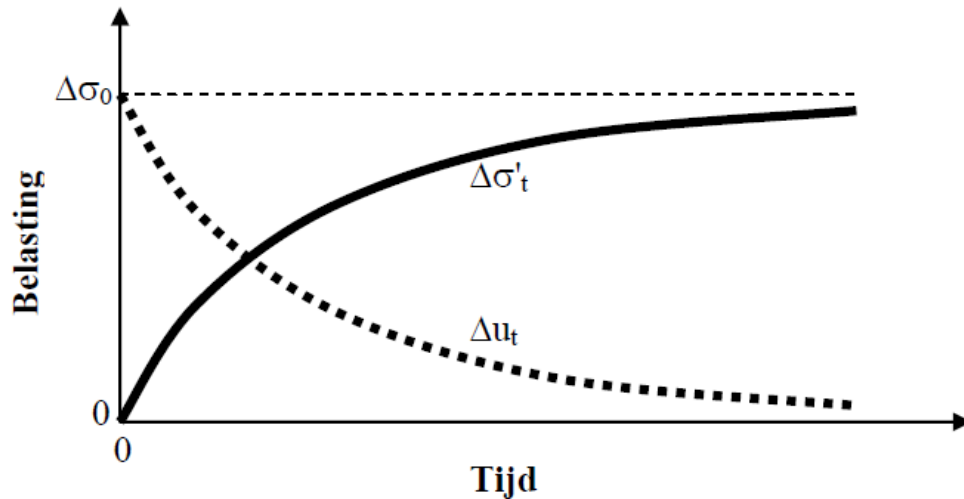
De aanwezigheid van water heeft een grote invloed op de verdichtbaarheid. Bij de belasting van een verzadigde grond vangt het grondwater initieel de volledige toename in totale spanning op, dit wordt beschreven in formule 2.

$$\Delta\sigma_0 = \Delta u_0 \quad (2)$$

Hierbij is $\Delta\sigma_0$ de totale spanningstoename en Δu_0 de spanningstoename in het grondwater op tijdstip nul. Aangezien water quasi niet samendrukbaar is, treedt er bijgevolg geen ogenblikkelijke vervorming of verdichting op. Door het aanbrengen van een belasting ondervindt het water een overdruk en gaat dit wegstromen om het drukverschil weg te werken. Hoe snel dit water wegstroomt, is afhankelijk van de opbouw en samenstelling van de grond. In een grove zandgrond kan water veel makkelijker ontwijken dan in een fijne kleilaag. Door lang genoeg te wachten, gaat het water zich altijd herverdelen en wordt de oorspronkelijke spanningstoename geleidelijk aan overgedragen op de korrelstructuur die hierdoor vervormt. Dit wordt voorgesteld door formule 3.

$$\Delta\sigma_0 = \Delta\sigma'_t + \Delta u_t \quad (3)$$

De term $\Delta\sigma'_t$ verwijst naar de spanningstoename in de korrelstructuur op tijdstip t en analoog staat Δu_t voor de spanningsafname in het grondwater op hetzelfde tijdstip. De evolutie van formule 2 naar 3 wordt het best geïllustreerd door Figuur 5. Hierin is duidelijk te zien dat het grondwater in het begin de volledige druktoename draagt. Na dit startpunt gaat het water geleidelijk aan wegstromen en draagt de korrelstructuur een steeds groter aandeel van de totale spanning.



Figuur 5: Weergave van het consolidatieproces [6, p. 37]

Gelijkaardig aan de korrelverdeling, is de vorm van de grafiek zeer belangrijk. Een vlakke grafiek wijst op een minder waterdoorlatende grond. Bij dikke kleilagen kan dit proces zeer lang duren, tot wel meer dan honderd jaar. Dit fenomeen heet consolidatie en verklaart waarom geotechnische problemen complex zijn in tijd en ruimte. Tot slot is ook de invloed van de drainagerandvoorwaarden niet te verwaarlozen. Indien een goed doorlatende zandgrond volledig ingesloten zit tussen slecht doorlatende kleilagen, kan het consolidatieproces significant vergroten.

2.2 Grondbehandeling

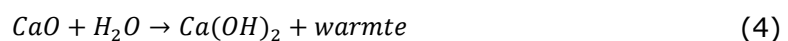
Grondbehandeling wordt toegepast om grond toch bruikbaar te maken die in zijn normale toestand niet voldoet aan de bouwtechnische eisen. Door een bindmiddel onder de "slechte" grond te mengen, verbetert de grond op korte termijn en treedt er stabilisatie op na langer termijn. Door onder de grond één tot drie procent bindmiddel te mengen verbeterd de grond ogenblikkelijk en verbeteren eigenschappen zoals draagvermogen, penetratieweerstand en verdichtbaarheid. Indien dit bindmiddelpercentage verhoogd wordt tot vier of acht procent verbeteren de mechanische eigenschappen en verhoogt de weerstand tegen water en vorst geleidelijk aan in de weken na behandeling [9] [10].

Het toepassen van grondbehandeling heeft drie grote voordelen. Ten eerste is het ecologisch; het hergebruik van de aanwezige grond, die zonder behandeling afgevoerd moet worden, leidt tot minder transport en behoud van natuurbronnen. Ten tweede geeft grondbehandeling een economisch voordeel. Door grond te behandelen is er minder stockage of storten nodig en dalen bovendien de vervoersafstanden. De derde reden is het technische aspect; behandelde gronden hebben goede bouwtechnische eigenschappen en dus een hogere functionaliteit [9] [11].

De drie meest gebruikte bindmiddelen zijn ongebluste kalk, cement en hydraulische bindmiddelen voor de wegebouw. Het type bindmiddel en de optimale dosering zijn afhankelijk van de toepassing, de doelstelling (verbetering of stabilisatie) en de bodemkarakteristieken zoals grondsoort, watergehalte... De bindmiddelsamenstelling en de dosering, die tot het beste resultaat leiden voor een specifieke bodem, worden bepaald op basis van een vooronderzoek. Dit onderzoek bestaat uit twee delen. Ten eerste wordt de grond getest op geschiktheid voor behandeling en welk type bindmiddel hiervoor in aanmerking komt. Deze controle gebeurt door middel van proeven die het watergehalte, de korrelverdeling, het gehalte aan organisch materiaal en de methyleenblauwwaarde meten. Ten tweede wordt de bindmiddeldosering bepaald aan de hand van de proctorproef en de zwelproef [9] [11]. De belangrijkste proeven worden verder besproken in paragraaf 2.4.

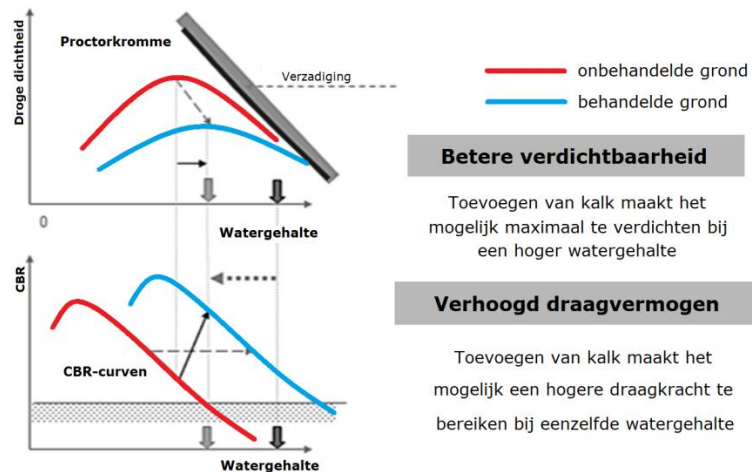
2.2.1 Kalk

Het bindmiddel kalk wordt opgedeeld in twee soorten, namelijk ongebluste kalk en gebluste kalk. De wetenschappelijke namen hiervoor zijn respectievelijk calciumoxide (CaO) en calciumhydroxide ($Ca(OH)_2$). Door toevoeging van water aan ongebluste kalk ontstaat gebluste kalk, zoals formule 4 aantoont.



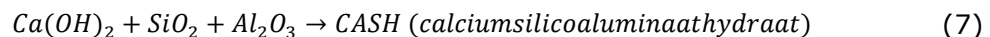
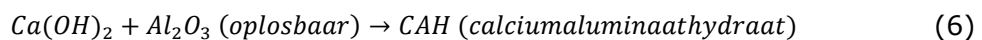
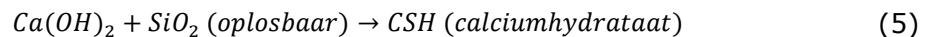
Formule 4 verklaart waarom calciumoxide ideaal is als bindmiddel voor een natte grond. Enerzijds daalt het watergehalte van de grond bij de reactie van calciumoxide tot calciumhydroxide. Anderzijds is deze reactie exotherm, i.e. er komt warmte vrij tijdens de reactie. Deze warmte doet een deel van het water verdampen. In de praktijk wordt ongebluste kalk voornamelijk gebruikt als bindmiddel om het watergehalte van de grond te reguleren. Gronden die hiervoor in aanmerking komen zijn onder andere klei- en leemgronden. In gunstige weersomstandigheden (warm en droog weer) daalt de hoeveelheid water met vier tot vijf procent. Afhankelijk van de aard van het kleimineraal en het watergehalte wordt er een tot drie procent ongebluste kalk toegevoegd [11].

Nadat de hydratatiereactie heeft plaatsgevonden, treden er een aantal ogenblikkelijke veranderingen op in de grondeigenschappen. Ten eerste is het kleigehalte van de bodem gedaald, wat waarneembaar is aan de hand van een verlaagde methyleenblauwwaarde en een reductie van de plasticiteitsindex. Ten tweede is het optimaal watergehalte voor verdichting verhoogd. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 6 door een afvlakking van de proctorkromme. Ten derde is het draagvermogen gestegen wat ook te zien is in Figuur 6, bij eenzelfde watergehalte is de CBR-waarde gestegen [11].



Figuur 6: Proctorkromme en CBR-curven [11, p. 93]

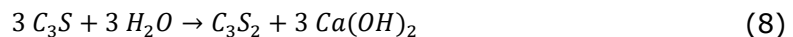
Op lange termijn treedt er ook grondstabilisatie op. Deze stabilisatie is te wijten aan de puzzolane reacties waarbij de kalk verder reageert en duurzame verbindingen vormt. Een aantal van deze reacties worden gegeven door formules 5, 6 en 7.



Doorheen de tijd reageert de gebluste kalk met de mineralen in de bodem om zo sterkere verbindingen te vormen die betere mechanische eigenschappen bezitten. Het eindresultaat en de snelheid van deze reacties zijn afhankelijk van het oorspronkelijk watergehalte, de hoeveelheid toegevoegde kalk, de aard van het kleimineraal en de uitvoeringsomstandigheden. Het stabiliseren van de grond kan enkele maanden tot verscheidene jaren duren. Uiteindelijk verbeteren de mechanische prestaties, vergroot de cohesie en is er een betere weerstand tegen statische en dynamische belasting. Tevens verhoogt deze reactie de ongevoeligheid voor water of vorst [11].

2.2.2 Cement

Cement is net als kalk een veel gebruikt bindmiddel voor grondstabilisatie. In tegenstelling tot kalk komt dit niet vrij voor in de natuur. Het proces om cement te maken bestaat uit drie stappen. Ten eerste wordt een mengsel van kalksteen en klei vermaalt tot een zeer fijne fractie bestaande uit vier oxides, namelijk kalk (CaO), silicaat (SiO_2), aluminiumoxide (Al_2O_3) en ijzeroxide (Fe_2O_3). Ten tweede wordt dit mengsel verhit in een roterende oven tot een temperatuur tussen de 1400°C en 1500°C. Hierdoor sinteren de vier oxides en het product dat na verhitting uit de oven komt, heet klinker. Dit is een samenstelling van zouten zoals tricalciumsilicaat (C_3S), tricalciumaluminaat (C_3A) en tetracalciumferroaluminaat (C_4AF). In de laatste stap wordt calciumsulfaat of 'gips' ($CaSO_4$) toegevoegd, dit regelt het bindingsgedrag en heeft een remmend effect tijdens het uithardingsproces [11] [12] [13]. Indien water wordt toegevoegd aan klinker treden er twee chemische reacties op. Eerst vindt er een hydrolysereactie plaats waarbij het zout in water ontbindt, waardoor er een metaalarmer zout en een base gevormd worden. Als voorbeeld wordt deze reactie in formule 8 uitgeschreven voor tricalciumsilicaat.



Na de hydrolysereactie treedt een hydratatiereactie op waarbij de watermoleculen aan het metaalarmer zout binden. Formule 9 toont deze reactie voor het metaalarmere zout, dat gevormd is tijdens de reactie uit formule 8.

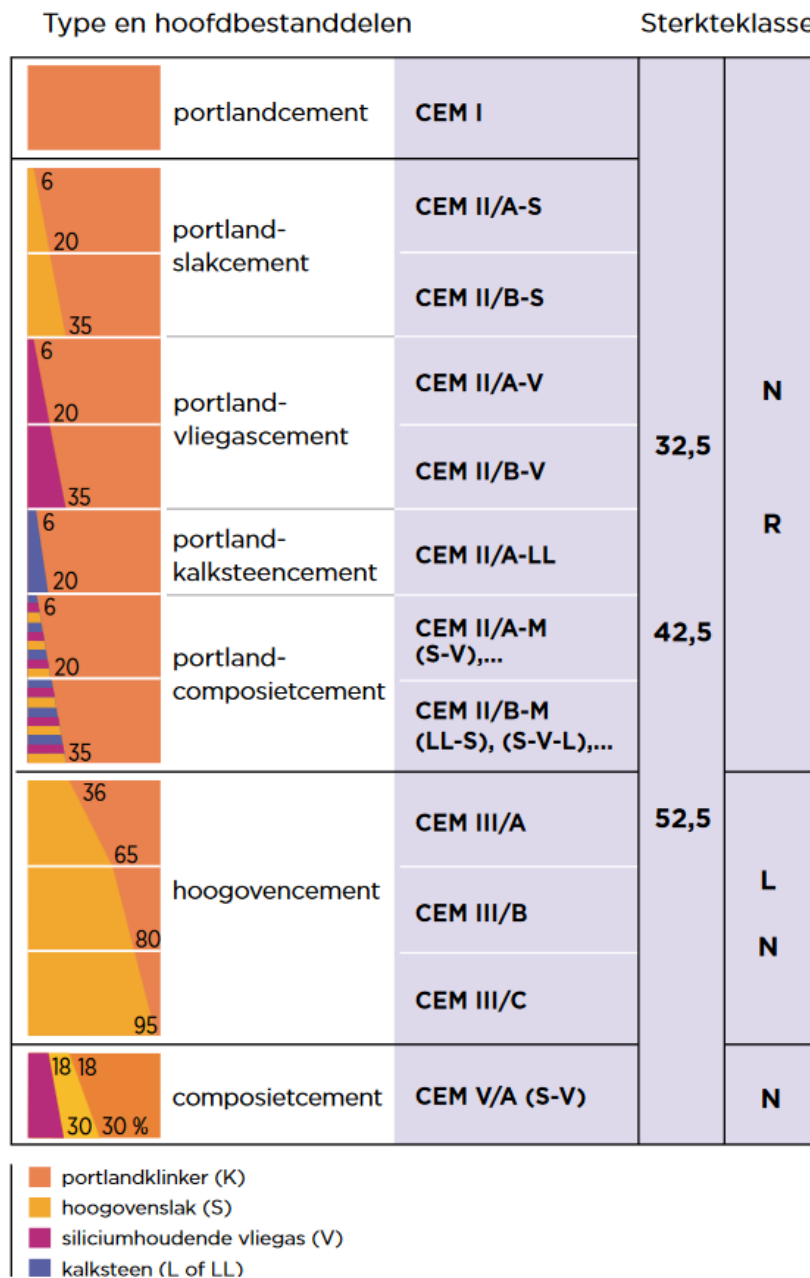


Deze hydrolysereactie is een zeer snelle reactie wat kan leiden tot een niet homogene verharding. Om dit proces af te remmen wordt calciumsulfaat toegevoegd [14].

Cement is een samenstelling van klinker met hoogovenslakken, vliegassen en kalksteen. De verhouding van deze verschillende bestanddelen leiden tot verschillende cementsoorten. In totaal zijn er vijf belangrijke cementsoorten waarvan er vier geproduceerd worden in België, namelijk CEM I, CEM II, CEM III en CEM V. De samenstelling van elke soort wordt weergegeven in Figuur 7. CEM I heet portlandcement en bevat enkel klinker, deze cementsoort heeft de grootste reactiesnelheid en bereikt het snelst zijn maximale sterkte na toevoeging van water. Doordat dit cement snel uithardt, wordt dit vooral aangewend bij betonproductie [13]. Voor grondmechanische toepassingen wordt dit type cement enkel gebruikt bij koud weer [11]. CEM II is een combinatie van portlandcement met kleine hoeveelheden van de andere hulpstoffen. De totaalsom van deze hulpstoffen moet steeds kleiner zijn dan 35%. Doordat CEM II hoofdzakelijk klinker bevat, zijn de eigenschappen gelijkaardig aan die van CEM I [15]. CEM III bevat de grootste hoeveelheid hoogovenslakken en heet daarom hoogovencement. Deze grote hoeveelheid aan hoogovenslakken leidt tot een tragere sterkteontwikkeling en zorgt eveneens voor een beperkte productie van hydratatiwarmte [16]. Voor grondbehandeling is dit type cement het meest aangewezen aangezien er bij grondbehandeling geopteerd wordt voor cementtypes die een langere bindingstijd hebben met een tragere sterkteontwikkeling [11]. Tenslotte is er nog CEM V dat bekend staat onder de naam composietcement, dit type cement is een mengeling van portlandklinker, hoogovenslakken en vliegassen. Deze samenstelling maakt dat CEM V vele toepassingen kent in de bouwsector gaande van betonproductie tot funderingen in de wegenbouw [17].

Aangezien de hydratatiereactie van cement minder water verbruikt dan kalk, wordt het bindmiddel cement vooral gebruikt bij het behandelen van zandgronden. Klei- en

leemgronden zijn hiervoor minder geschikt en worden voornamelijk behandeld met kalk zoals aangehaald in paragraaf 2.2.1. Het meest gebruikte cementtype voor grondbehandeling is CEM III met sterkteklassen 32,5 N of 42,5 N. Indien het extreem koud weer is kan er overgeschakeld worden op CEM I, maar onder normale omstandigheden worden snel bindende cementsoorten afgeraden [9] [11].



Figuur 7: Cementsamenstellingen [18]

2.2.3 Hydraulische bindmiddelen voor de wegenbouw

Hydraulische bindmiddelen voor de wegenbouw (HBW) zijn combinaties van zowel cement gerelateerde bestanddelen zoals klinker, vliegassen en hoogovenslakken alsook verschillende soorten kalk. Door deze materialen te combineren worden de waterregulerende eigenschappen van kalk verenigd met het draagvermogen en de sterkteontwikkeling van cement. De samenstelling en de dosering van de HBW zijn afhankelijk van de grondsoort, het watergehalte, de temperatuur en het doel van de behandeling, i.e. verbetering of stabilisatie [9] [11].

2.3 Verdichting

Het verdichten van de grond is noodzakelijk om de gewenste draagkracht te bekomen. Een losse grond biedt geen weerstand en zakt in elkaar bij belasting. Door een grond mechanisch te belasten wordt deze compacter en sterker doordat het aantal holtes in de grond daalt waardoor de breukweerstand en de druksterkte verhogen. Elke toepassing schrijft daarom een draagkrachtseis of verdichtingsgraad voor waaraan de grond moet voldoen. Om deze eis te vervullen is het daarom essentieel dat de grond verdicht wordt.

De eenvoudigste manier om een grond te verdichten is door mechanische belasting. Deze verdichtingswijze wordt opgesplitst in twee verschillende werkwijzen, namelijk statisch en dynamisch verdichten. Statisch verdichten is het compacteren van een grond door hier een zwaar gewicht op te plaatsen. Dit gewicht oefent een statische druk uit op de grond, maar heeft een beperkte dieptewerking. Om met deze methode de volledige grond te verdichten, moet er laagsgewijs verdicht worden.

De tweede manier om een grond te verdichten is door middel van een dynamisch werkwijze waarbij het eigengewicht van een machine gecombineerd wordt met kneden, trillen of stampen van de ondergrond. Dit heeft een grotere dieptewerking waardoor er in dikkere lagen gewerkt kan worden. Op de werf wordt vooral verdicht met behulp van walsen en deze kunnen bijna allemaal zowel statisch als dynamisch verdichten. Bij kleinere oppervlaktes en moeilijk bereikbare plaatsen wordt er overgeschakeld op lichtere trilplaten en stampers [19].

De draagkracht van een grond kan, naast mechanische verdichting, ook op andere manieren verhoogd worden. Het gebruik van bindmiddelen heeft eveneens een positief effect op het draagvermogen zoals beschreven in paragraaf 2.2. Het gebruik van bindmiddelen sluit echter de mechanische verdichting niet uit, integendeel. Het opzoekingscentrum voor de wegenbouw geeft volgende richtlijnen voor de aanvullingsgrond bij rioleringswerken. Ten eerste moet elke laagdikte die verdicht wordt kleiner zijn dan dertig centimeter. Een dikkere laag leidt tot een onvolledige verdichting en resulteert in onvoldoende draagkracht. Ten tweede moet er, afhankelijk van het type bindmiddel, al dan niet gewacht worden met verdichten. Wanneer kalk als bindmiddel gebruikt is, wordt er aangeraden om de behandelde grond eerst te laten verluchten zodat het water kan uitdampen. Indien cement wordt toegepast, is het belangrijk dat de behandelde grond binnen de twee uur, na inmenging van cement, verdicht wordt. In geval van behandeling met HBW wordt de minimale of maximale wachttijd opgegeven door de producent. Afhankelijk van de samenstelling van HBW kan het ook gewenst zijn om de behandelde grond de tijd te geven om te verluchten [20].

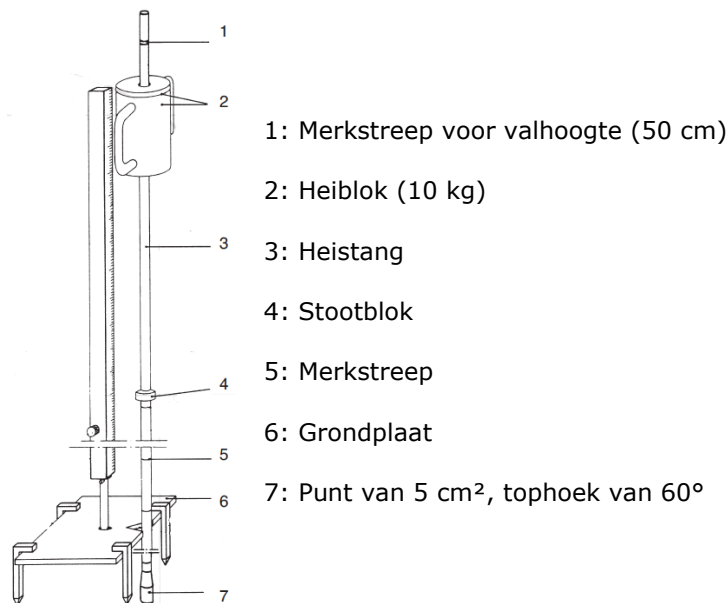
Nadat de grond verdicht is, vindt er nog een controle plaats. Bij de rioleringstoepassingen wordt gebruikgemaakt van de lichte slagsonde. Over de volledig aangevulde sleuf moet iedere vijftig meter minstens één controle uitgevoerd worden [21]. De regels omtrent de individuele metingen en verdere informatie over de lichte slagsonde wordt verder beschreven in paragraaf 2.4.1.

2.4 Proeven

Door middel van genormaliseerde proeven worden de verschillende eigenschappen van een grond gemeten die ervoor zorgen dat onderlinge vergelijking tussen gronden mogelijk is. De belangrijkste geotechnische proeven, gelinkt aan deze masterproef, worden in de volgende paragrafen besproken.

2.4.1 Lichte slagsonde

De eerste proefopstelling is de lichte slagsonde. Deze proef wordt in situ gebruikt om de verdichting van een grond te meten en wordt onder andere gehanteerd voor het controleren van aanvullingsgrond bij rioleringsaanleg. Er bestaan verschillende versies van dit toestel, waarvan twee genormaliseerde: de Duitse lichte "Rammsonde" en de Europese lichte penetrometer zijn. In België wordt de lichte slagsonde gebruikt, dit toestel is ontworpen door het OCW en wordt voorgesteld in Figuur 8 [22].



Figuur 8: Opbouw van de lichte slagsonde type OCW [22, p. 4] [23, p. 1]

De montage van de lichte slagsonde gebeurt in vaste stappen. Eerst wordt de heistang met de verlengstang verbonden en wordt de grondplaat horizontaal op de aanvullingsgrond geplaatst. Ten tweede wordt het heiblok over de heistang geschoven waarna de heistang en de verlengstang door het gat van de bodemplaat gestoken worden. Ten slotte wordt de beweegbare meetlat onderaan aangebracht en kan de meting van start gaan. Een meting met de lichte slagsonde gebeurt door twee personen. Per laag van 10 cm laat persoon 1 een heiblok vallen vanaf de merkstreep op een valhoogte van vijftig centimeter. Persoon 2 houdt de meetopstelling vast zodat de heiblok langs de geleide stang kan glijden waardoor deze stang in de onderliggende grond gedrukt wordt. Het aantal slagen om 10 cm te zakken wordt genoteerd en is een maat voor de verdichting. Volgende eisen worden gesteld bij de rioleringsaanleg:

7 dagen na uitvoering

- $X \leq 40 \text{ mm/slag}$;
- *individuele waarde* $\leq 60 \text{ mm/slag}$;

28 dagen na uitvoering

- *individuele waarde* $\leq 40 \text{ mm/slag}$.

Hierbij is X de gemiddelde indringing per laag van 10 cm over de volledige sonderingsdiepte. Deze eis is strenger naarmate de tijd vordert en de grond meer tijd heeft gehad om te stabiliseren. 28 dagen na uitvoering wordt van elke meting geëist dat de indringing per slag niet meer dan vier centimeter bedraagt [20]. Een formulier van een voorbeeldmeting met de lichte slagsonde wordt in Figuur 9 getoond.

Aflezings (mm) (1)	Verschillen (mm) (2)	Aantal slagen per ong. 10 cm (3)	Indringing per slag (mm) (4)
000			
102	102	3	34
204	102	3	34
306	102	5	20
403	97	5	19
509	106	6	17
604	95	5	19
700	96	8	12
800	100	7	14
903	103	5	21
102	102	3	34
208	106	3	35
312	104	4	26
420	108	4	24
510	90	5	18
613	103	5	21
710	97	6	16
820	110	6	18
915	95	7	14

Figuur 9: Voorbeeld van een slagsondering type OCW [22, p. 12]

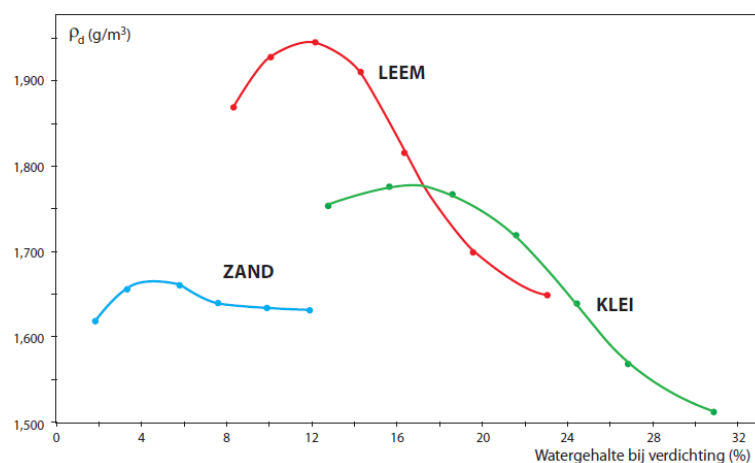
2.4.2 Proctorproef

De tweede proef is de proctorproef. Deze laboratoriumproef wordt onder andere gebruikt in het vooronderzoek en toont het verband tussen het watergehalte en de droge volumieke massa van een grond. Hieruit volgt dan het optimale watergehalte waarbij de grootste verdichting mogelijk is. De proefopstelling wordt getoond in Figuur 10 en de norm die de werkwijze beschrijft is NBN EN 13286-2 [9].



Figuur 10: Proctorproefopstelling [24]

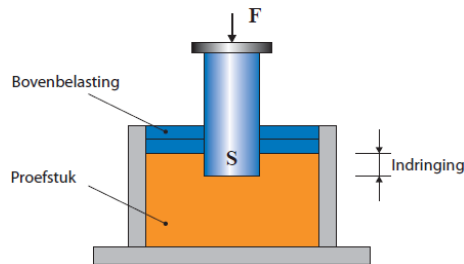
Om de proctordichtheid van een grond te bepalen worden eerst enkele grondmonsters verzameld. Deze samples worden vervolgens op verschillende watergehaltenes gebracht en in het proctortoestel verdicht door middel van een proctorhamer. Alle stappen en onderdelen van deze proef zijn genormaliseerd, zoals het aantal grondmonsters, de opbouw van de grondmonsters, de proefopstelling, de verdichtingsenergie... Deze parameters worden bepaald op basis van de korrelverdeling van de grond [9] [25]. Figuur 11 toont enkele proctorkrommes met op de x-as het watergehalte en op de y-as de droge volumieke massa. Uit deze grafieken wordt ten slotte het optimaal watergehalte afgelezen bij de maximale droge volumieke massa. Hieruit volgt in welke maten de grond op de werf verdichtbaar is en of deze eventueel gedroogd of besproeid moet worden [9].



Figuur 11: Proctorkrommes [9, p. 18]

2.4.3 CBR-proef

De derde proef is de 'California Bearing Ratio' proef. Deze meet het draagvermogen van een grondmonster door een stempel met een constante snelheid in het grondmonster te drukken en de weerstandbiedende kracht te meten. Net zoals de proctorproef is ook deze procedure volledig genormaliseerd en staat beschreven in NBN EN 13286-47 [26]. Een schematische weergave van de proefopstelling staat afgebeeld in Figuur 12.



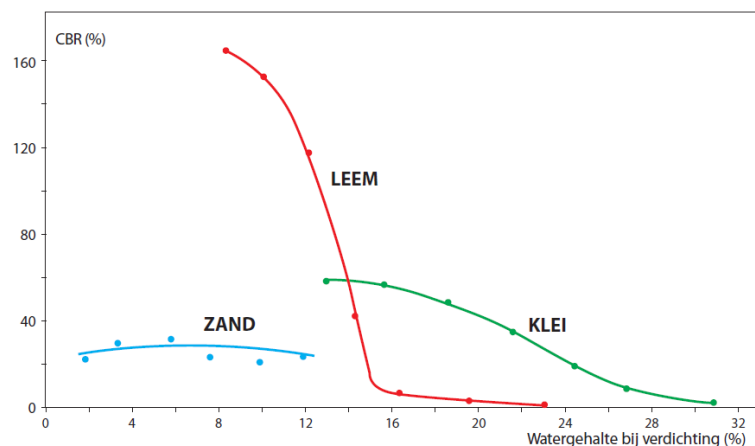
Figuur 12: CBR-proefopstelling [9, p. 17]

Deze proef wordt uitsluitend verricht op proctorverdichte proefstukken en geeft een correlatie tussen het draagvermogen en het watergehalte. Twee specifieke metingen zijn belangrijk in deze proef, namelijk de reactiekracht bij een indringing van 2,5 mm en 5 mm in het grondmonster. Deze twee waarden worden met het Californisch referentiemateriaal vergeleken met behulp van formules 10 en 11 [9].

$$CBR(\%) = \frac{F(2,5 \text{ mm})}{13,2 \text{ kN}} \quad (10)$$

$$CBR(\%) = \frac{F(5 \text{ mm})}{20 \text{ kN}} \quad (11)$$

De grootste waarde uit formules 10 en 11 wordt vervolgens uitgezet in een grafiek waarna de proef herhaald wordt voor andere watergehaltenes. Figuur 13 toont enkele CBR-curves met op de x-as het watergehalte en op de y-as de CBR-waarde. Een hoge CBR-waarde wijst op een draagkrachtige grond en het watergehalte heeft hier een duidelijke invloed op. Indien Figuur 13 met Figuur 12 vergeleken wordt, kan er gesteld worden dat de CBR-waarde stijgt naarmate de proctordichtheid benaderd wordt [9].



Figuur 13: CBR-curves [9, p. 18]

2.4.4 IPI-proef

De 'Test Indice Portant Immédiat' (IPI) of de onmiddellijke draagvermogenindexproef is een variant op de CBR-proef. De IPI-proef meet evenzeer het draagvermogen en deze waarde is ook afhankelijk van het watergehalte. De proefopstelling en werkwijze zijn bijna identiek aan de CBR-procedure en de norm is dezelfde, namelijk NBN EN 13286-47 [26]. Het verschil tussen deze twee proeven is een kleine aanpassing van de proefopstelling. In tegenstelling tot de CBR-proef heeft de IPI-proef geen bovenplaat die als extra steun en belasting optreedt. Deze aanpassing zorgt er nog steeds voor dat er een algemeen draagvermogen bepaald kan worden, maar specifiek toont dit het draagvermogen van de grond tegen het bouwverkeer tijdens de constructiefase. Dit laat ook meteen het praktisch nut van deze proef zien. Gelijkaardig aan de CBR-waarde wijst een hoge IPI-index op een draagkrachtige grond [9] [27].

3 Materiaal en methode

Het onderdeel materiaal en methode is opgedeeld in drie delen waarin de gehanteerde methodologie wordt toegelicht. Eerst wordt de proefopstelling besproken, hierbij wordt het basisprincipe waarop de gehele proefopstelling steunt verduidelijkt en worden de verschillende onderdelen beschreven. Vervolgens worden alle parameters die de verdichtbaarheid kunnen beïnvloeden overlopen waarna ten slotte de gehanteerde beproevingswijze verduidelijkt wordt.

3.1 Proefopstelling

3.1.1 Opbouw en werkingsprincipe

De proefopstelling is ontworpen in samenwerking met Asenco NV en BESIX Infra en werd gebouwd door Comet-Technics, een machinebouw- en engineeringbedrijf gevestigd in Ooigem. De proefopstelling bestaat uit vijf verschillende onderdelen waarvan de precieze maatvoering opgenomen is in Bijlage A. Het basisprincipe waarop de proefopstelling steunt is dat een verdichtbare grond zal verdichten door aanbrengen van verdichtingsenergie. Deze verdichtingsenergie kan op de grond worden overgedragen d.m.v. trillingen of door statische samendrukking. Het effect hiervan op de grond is meetbaar aan de hand van twee evidente parameters, namelijk de volumeverandering (zakking) en de weerstand tegen indringen van een vreemd voorwerp (indringing). Deze twee metingen worden toegepast in de beproevingswijze.

3.1.2 Mallen

Het eerste onderdeel van de proefopstelling zijn de mallen, deze zijn afgebeeld in Figuur 14. Er zijn drie varianten voorzien die in de verdere masterproef als "klein", "middelmatig" en "groot" beschouwd worden. Alle mallen zijn vervaardigd uit roestvast staal en de afmetingen hiervan zijn terug te vinden in Tabel 2.

Tabel 2: Afmetingen van de mallen

Type	Hoogte (cm)	Diameter (cm)
Klein	30	9,2
Middelmatig	40	20,5
Groot	50	48,4



Figuur 14: De mallen

3.1.3 Verdichtingsplaten

Het tweede onderdeel van de proefopstelling zijn de verdichtingsplaten, zoals afgebeeld in Figuur 15. Deze elementen vormen de koppeling tussen de grond en het verdichtingstoestel en dragen bijgevolg de verdichtingsenergie over van het verdichtingstoestel op de grond. Voor de kleine en de middelmatige mal is er telkens één verdichtingsplaat gemaakt die beide vlak afgewerkt zijn aan de onderkant. Voor de grote mal zijn er twee varianten ontworpen waarvan de eerste vlak afgewerkt is en de andere voorzien is van een ribbelpatroon. De afmetingen van de vier verdichtingsplaten worden opgesomd in Tabel 3.

Tabel 3: Afmetingen van de verdichtingsplaten

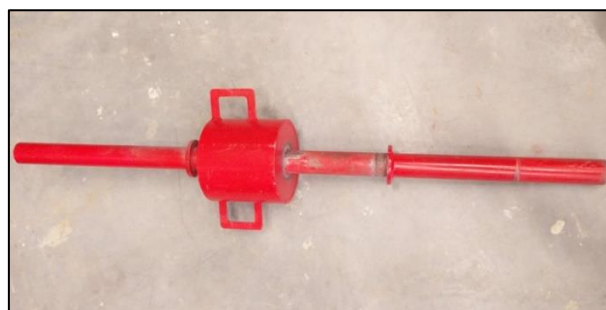
Type	Diameter (cm)
Klein	8,5
Middelmatig	20
Groot zonder ribbels	48
Groot met ribbels	48



Figuur 15: De verdichtingsplaten (van links naar rechts) voor de kleine mal, de middelmatige mal en twee varianten voor de grote mal

3.1.4 Verdichtingstoestellen

Het verdichten van de grond gebeurt met een van de twee verschillende verdichtingstoestellen, namelijk het mechanische verdichtingstoestel of het elektrische verdichtingstoestel. Deze zijn respectievelijk afgebeeld in Figuur 16 en Figuur 17. Het mechanische verdichtingstoestel wordt met de hand bediend waarbij een valgewicht over een gedefinieerde valafstand wordt losgelaten. Het valgewicht heeft een massa van 7,2 kg en de valafstand bedraagt 51 cm en deze afstand wordt begrensd door twee verdikkingen op de centrale stang. Door dit toestel verticaal op de verdichtingsplaat te positioneren, bovenop de grond in de mal, kan er per slag 36 joule (zie formule 12) worden overgedragen op de grond.



Figuur 16: Het mechanisch verdichtingstoestel

$$\text{Slagenenergie} = m \cdot g \cdot h = 7,2 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot 0,51 \text{ m} = 36 \text{ J} \quad (12)$$

Een tweede verdichtingswijze is met behulp van het elektrische verdichtingstoestel, i.e. een elektrische boorhamer. De karakteristieken van de gebruikte boorhamer zijn opgenomen in Tabel 4 en de werking is gelijkaardig aan het mechanische verdichtingstoestel. Het enige verschil is de manier waarop de boorhamer verdichtingsenergie overbrengt op de verdichtingsplaat. Doordat de boorhamer elektro-pneumatisch een hoogfrequente klopbeweging opwekt, begint de verdichtingsplaat te trillen waardoor de grond verdicht.

Tabel 4: Karakteristieken van de boorhamer [28]

Aantal standen	Slagenergie (J)	Volle hamerfrequentie (Hz)
I en II	11,5	46



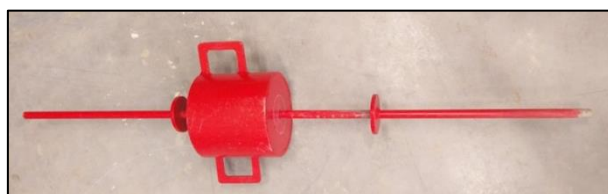
Figuur 17: Het elektrische verdichtingstoestel (boorhamer)

3.1.6 Slagsonde

De slagsonde, afgebeeld in Figuur 18, is het meettoestel van de proefopstelling. Dit toestel is sterk gelijkend op het mechanische verdichtingstoestel en wordt ook met de hand bediend. Door een valgewicht van 7,2 kg te laten vallen over een begrensde afstand van 51 cm, dringt de slagsonde in de grond. De centrale stang heeft een diameter van 2 cm en is vlak afgewerkt. Met behulp van de slagsonde wordt de indringing gemeten en de aflezing heeft een meetnauwkeurigheid van 0,5 cm. De maatvoering en werking van de slagsonde zijn gebaseerd op de lichte slagsonde van het type OCW en de karakteristieken van beide types worden vergeleken in Tabel 5.

Tabel 5: Karakteristieken van de slagsonde en de lichte slagsonde type OCW

Type	Valgewicht (kg)	Valafstand (cm)	Afwerking punt	Oppervlakte punt (cm ²)
Slagsonde	7,2	51	Vlak	3,1
Lichte slagsonde OCW	10,0	50	Punt (60°)	5,0



Figuur 18: De slagsonde

3.1.7 Verzwarringsringen

Bij de proefopstelling is er de mogelijkheid om de massa van het valgewicht van het mechanische verdichtingstoestel te verhogen met behulp van verzwarringsringen. Er zijn drie ringen beschikbaar met elk een gewicht van 1,32 kg. Door deze drie ringen te gebruiken kan de slagenergie vergroot worden tot 67 joule, de berekening hiervan wordt getoond in formule 13.



Figuur 19: De verzwarringsringen

$$\text{Slagenergie} = m \cdot g \cdot h = (7,2 \text{ kg} + 3 \cdot 1,32 \text{ kg}) \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot 0,51 \text{ m} = 56 \text{ J} \quad (13)$$

3.2 Parameterstudie

In dit onderzoek zijn verschillende parameters gedefinieerd die een invloed kunnen hebben op de meetresultaten. Om hiervoor een volledig beeld te verkrijgen, wordt er vooraf een parameterstudie uitgevoerd. Deze studie toont aan dat er vier categorieën zijn waarin de parameters opgedeeld kunnen worden. Deze categorieën zijn de meetparameters, de toestelparameters, de verdichtingsparameters en de grondparameters. De eerste categorie zijn de meetparameters en hier wordt het onderscheidt gemaakt tussen de indringen en de zakking. De zakking is een maat voor de volumedaling van de grond en deze wordt eenvoudig gemeten met een meetlat. De indringing is een maat voor de weerstand tegen intrede door een vreemd voorwerp en dit wordt met de slagsonde gemeten. De tweede categorie zijn de toestelparameters en dit duidt op de fysieke componenten van de proefopstelling. Zoals eerder besproken zijn er drie groottes van mallen die gebruikt worden, namelijk klein, middelmatig en groot. Voor de grote mal is er nog een extra parameter, namelijk de vlakheid van de verdichtingsplaat (ribbels of vlak). De derde categorie zijn de verdichtingsparameters waartoe zowel het verdichtingstoestel als de verdichtingswijze behoren. Indien het mechanische verdichtingstoestel gebruikt wordt, kan het aantal slagen en de gebruikte hoeveelheid verzwaringringen gevarieerd worden. Bij het elektrische verdichtingstoestel wordt de tijdsduur en de trilfrequentie (stand I of stand II) onderzocht. Behalve het verdichtingstoestel kan ook de verdichtingswijze van het proefstuk variëren. Ofwel wordt de grond in lagen van 10 cm verdicht ofwel wordt de grond in zijn geheel verdicht. De vierde en laatste categorie zijn de grondparameters en hier wordt het onderscheidt gemaakt tussen twee variabelen, namelijk het vochtgehalte en de korrelverdeling. Het vochtgehalte is afhankelijk van de omgeving en kan beïnvloed worden door de grond te behandelen met ongebluste kalk. De korrelverdeling beschrijft het type grond en de drie type gronden die getest worden, zijn klei-leemgrond, middelmatige zandgrond en een grove zandgrond. Alle opgesomde parameters worden geschematiseerd in de Tabel 6.

Tabel 6: Schema van alle parameters

Meetparameters	Indringing	Slagsonde
	Zakking	Meetlat
Toestelparameters	Mallen	Klein
		Middelmatig
		Groot
	Verdichtingsplaat	Vlak Met ribbels
Verdichtingsparameters	Mechanisch verdichten	Aantal slagen
		Verzwaringringen
	Elektrisch verdichten	Tijd
		Trilfrequentie
	Verdichtingswijze	Lagen van 10 cm
		Geheel
Grondparameters	Vochtgehalte	Onbehandeld
		Behandeld
	Korrelverdeling	Klei-/ leemgrond
		Middelmatige zandgrond
Grove zandgrond		

3.3 Werkwijze

In deze paragraaf worden twee onderwerpen aangehaald. Ten eerste wordt het verloop van een meetreeks uitgelegd en ten tweede wordt het testen van de proefopstelling besproken.

Een meetreeks bestaat uit een serie van opeenvolgende metingen waarbij één parameter variabel is en alle andere parameters constant gehouden worden. De werkwijze van een individuele meting heeft een vast patroon en bestaat uit twee stappen. Eerst wordt de grond in de mal gebracht en verdicht door een van de twee verdichtingstoestellen. Daarna worden de zakking en de indringen bepaald. De zakking van de grond wordt gemeten met een meetlat, dit is het hoogteverschil van de grond tot de rand van de mal. De indringing wordt met de slagsonde gemeten, dit is de penetratie van de slagsonde in de grond per slag van het valgewicht. Het type grond, de vorm van de mal, het soort verdichtingstoestel en de verdichtingswijze worden dus tijdens één meetreeks constant gehouden waarbij de relatie tussen de indringing en de verdichtingsenergie of de relatie tussen de zakking en de verdichtingsenergie bekeken worden. Elke meetreeks wordt daarbij drie keer herhaald om ervoor te zorgen dat toevalstreffers of slechte metingen gedetecteerd worden. Door systematisch alle parameters te laten variëren, kan de invloed van iedere variabele bepaald worden.

Het testen van de proefopstelling gebeurt aan de hand van meetreeksen en dit in twee fases. In de eerste fase wordt de invloed van iedere parameter apart onderzocht, met behulp van een grove zandgrond (rijnzand), zoals hierboven besproken. Deze parameters zijn de verdichtingsparameters, de toestelparameters en de meetparameters. De grondparameters worden in de tweede fase onderzocht en dit aan de hand van sleufgronden uit Wellen, Tongeren en Diepenbeek. Hierbij wordt bepaald wanneer een grond maximaal verdicht is, dit is het geval wanneer de indringing en de zakking tussen twee opeenvolgende meetreeksen binnen de meetnauwkeurigheid vallen. In deze fase worden gronden, afkomstig van werven waar BESIX Infra actief is, zowel onbehandeld als behandeld getest. Eerst worden de werfgronden onbehandeld getest en wordt per grond bepaald of deze al dan niet onbehandeld verdichtbaar is. Vervolgens worden de gronden met één tot drie procent ongebluste kalk behandeld, afhankelijk van hun verdichtbaarheid, en worden ze opnieuw getest waarna alle resultaten gebundeld en vergeleken worden.

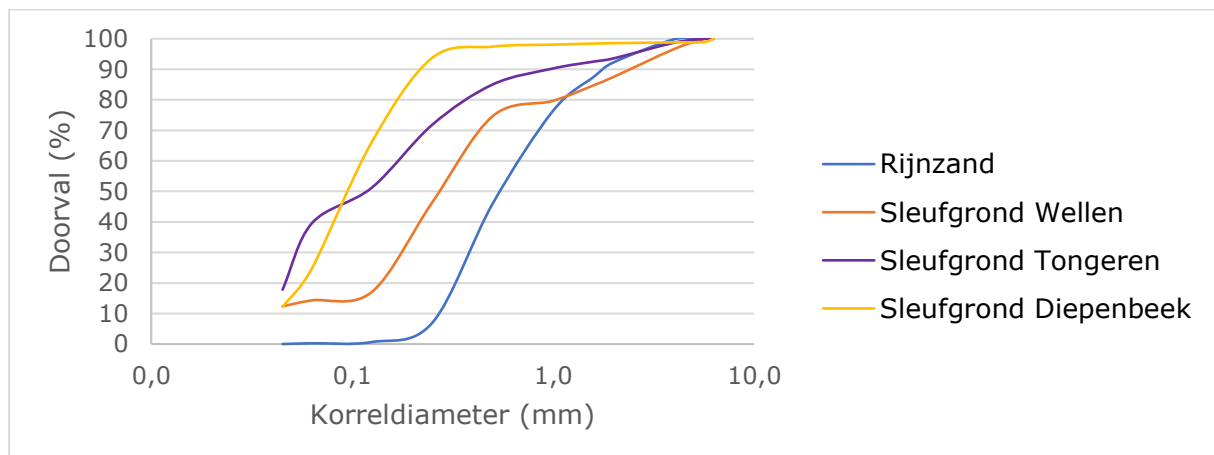
4 Resultaten

De resultaten worden in twee aparte delen besproken. Eerst worden de karakteristieken van gebruikte gronden beschreven. In het tweede gedeelte wordt een schematische weergave van alle meetreeksen getoond waarna de belangrijkste informatie van iedere reeks kort wordt samengevat.

4.1 Karakterisatie gronden

Zoals aangehaald in hoofdstuk 3.3 zijn er in totaal vier verschillende gronden gebruikt, namelijk rijnzand, sleufgrond uit Wellen, sleufgrond uit Tongeren en sleufgrond uit Diepenbeek. Deze gronden worden in volgende paragraaf geïnclassificeerd o.b.v. hun zeeffromme en vochtgehalte voor en na de behandeling. Een belangrijke bemerking bij de zeeffrommes van alle sleufgronden is de maximale korrelgrootte van 5,6 mm.

Doordat alle gronden zeer grote stenen bevatte (> diameter 5 cm) is er gekozen om de gronden preventief te zeven met een zeef met een maaswijdte van 5,6 mm. Hierdoor wordt het nadelig effect van de grote stenen op de meting met de slagsonde preventief verholpen. De zeeffrommes van de vier gronden worden weergegeven in Figuur 20



Figuur 20: De zeeffromme van rijnzand, sleufgrond uit Wellen, sleufgrond uit Tongeren en sleufgrond uit Diepenbeek

Het eerste type grond is een zandgrond die bekend staat onder de handelsnaam "rijnzand". Uit Figuur 20 volgt dat de fijne fractie van deze grond minder dan 10% bedraagt waardoor de grond genoemd wordt naar zijn dominante fractie volgens de methode van de Belgische vereniging tot studie, beproeving en gebruik der materialen (BVSM) [6, p. 25]. Op basis van Tabel 1 uit Bijlage B kan besloten worden dat fractie IV dominant is, waardoor het rijnzand geïnclassificeerd kan worden als een grove zandgrond. Het watergehalte van het rijnzand is 2,2%, deze waarde is bepaald aan de hand van de gegevens uit Bijlage C, Tabel 4.

Het tweede type grond is de sleufgrond uit Wellen, deze grond is afkomstig uit de Zonneveldweg. Uit de zeeffromme volgt dat de fijne fractie minder dan 10% bedraagt en dat zowel fractie III als fractie IV kleiner zijn dan 50%, maar samen wel groter zijn dan 50%. Hierdoor kan de sleufgrond uit Wellen geïnclassificeerd worden als een middelmatige zandgrond volgens de BVSM. Het watergehalte van deze grond is 9,9% voor de behandeling en 9,2% na de behandeling, het watergehalte is dus gedaald met 0,7% door toevoeging van 1% ongebluste kalk. Deze waarden zijn bepaald aan de hand van de gegevens uit Bijlage D, Tabel 6 en Tabel 7.

Het derde type grond is de sleufgrond uit Tongeren, deze grond is afkomstig uit de Kruisvindingsstraat. Uit de zeefkromme volgt dat de fijne fractie groter dan 10% is. Aangezien dat de I_p -waarde niet gekend is, kan er geen onderscheidt gemaakt worden tussen leem of klei en kan de sleufgrond zowel als een leemhoudende of een kleinhoudende grond geclassificeerd worden. Het watergehalte van deze grond is 15,2% voor de behandeling en 13,8% na de behandeling, het watergehalte is dus gedaald met 1,4% door toevoeging van 2% ongebluste kalk. Deze waardes zijn bepaald aan de hand van de gegevens uit Bijlage E, Tabel 9 en Tabel 10.

Het vierde type grond is de sleufgrond uit Diepenbeek, deze grond is afkomstig uit de Kerklaan. Uit de zeefkromme volgt dat de fijne fractie groter dan 10% is. Aangezien dat de I_p -waarde niet gekend is, kan er geen onderscheidt gemaakt worden tussen leem of klei en kan de sleufgrond zowel als een leemhoudende of een kleinhoudende grond geclassificeerd worden. Het watergehalte van deze grond is 15,8% voor de behandeling en 13,5% na de behandeling, het watergehalte is dus gedaald met 2,3% door toevoeging van 3% ongebluste kalk. Deze waardes zijn bepaald aan de hand van de gegevens uit Bijlage F, Tabel 12 en Tabel 13.

4.2 Meetreeksen

De gehele testprocedure is gebeurd aan de hand van 27 meetreeksen. Hiervan zijn er 13 meetreeksen uitgevoerd op rijnzand, 6 meetreeksen uitgevoerd op de sleufgrond uit Wellen, 4 meetreeksen uitgevoerd op de sleufgrond uit Tongeren en 4 meetreeksen uitgevoerd op de sleufgrond uit Diepenbeek. De resultaten van de verschillende meetreeksen worden opgesomd in paragraaf 4.2.1 t.e.m. 4.2.27, deze reeksen zijn niet onderling gebundeld, maar worden individueel getoond omdat deze voorstellingswijze een beter overzicht biedt. Voor een snelle navigatie naar de juiste meetreeks kunnen onderstaande tabellen: Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9 en Tabel 10 gebruikt worden. Hierbij zijn de proeven uit de eerste kolom altijd verdicht in hun geheel, dus niet in lagen en zijn de proeven in de tweede kolom altijd verdicht in lagen van 10 cm.

Tabel 7: Meetreeksen rijnzand

Verdrichtingstoestel	Malvorm					
	Klein		Middelmatig		Groot	
Mechanisch - 0 ringen	1	/	3	/	/	/
Mechanisch - 3 ringen	2	/	/	/	/	/
Elektrisch - stand I	4	5	6	7	/	8
Elektrisch - stand II	9	10	11	12	/	13
	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen

Tabel 8: Meetreeksen sleufgrond Wellen

Behandeld	Malvorm					
	Klein		Middelmatig		Groot	
Nee	/	14	/	15	/	16
Ja (1%)	/	19	/	20	/	21
	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen

Tabel 9: Meetreeksen sleufgrond Tongeren

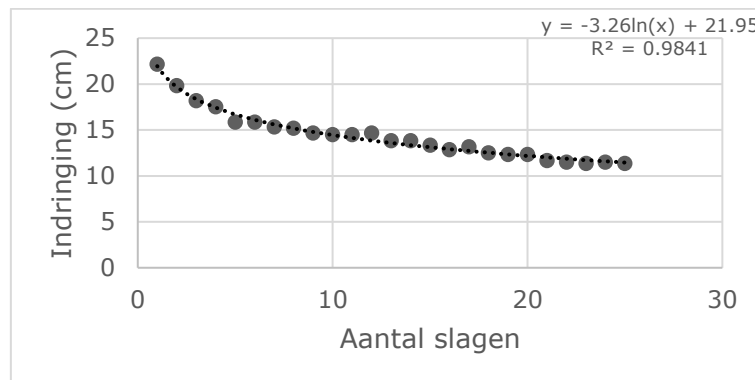
Behandeld	Malvorm					
	Klein		Middelmatig		Groot	
Nee	/		/	17	/	/
Ja (2%)	/	22	/	23	/	24
	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen

Tabel 10: Meetreeksen sleufgrond Diepenbeek

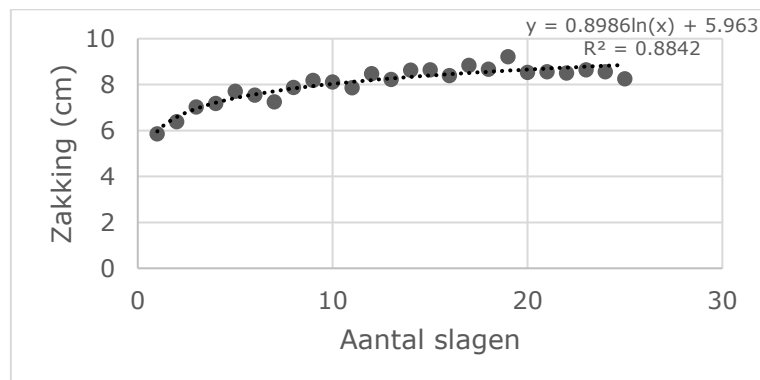
Behandeld	Malvorm					
	Klein		Middelmatig		Groot	
Nee	/	/	/	18	/	/
Ja (3%)	/	25	/	26	/	27
	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen	Geheel	Lagen

4.2.1 Meetreeks 1

Meetreeks 1 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 14 uit Bijlage G. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijnzand, verdicht door het mechanische verdichtingstoestel zonder verzwaringsringen in de kleine mal waarbij de grond in zijn geheel verdicht is. Figuur 21 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen op de x-as en de indringing met de slagsonde op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Uit deze grafiek en de meetwaarden kan er afgeleid worden dat de indringingscurve afzwakt vanaf 23 ± 2 slagen naar een waarde van 11 cm. Figuur 22 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen op de x-as en de zakking van de grond op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Hierbij vertoont de curve een stijgend verloop dat afzwakt vanaf 15 ± 3 slagen met lichte fluctuaties.



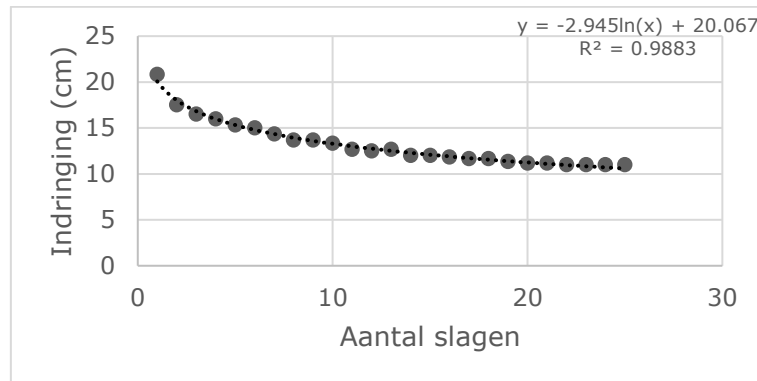
Figuur 21: Meetreeks 1 – Indringing i.f.v. het aantal slagen



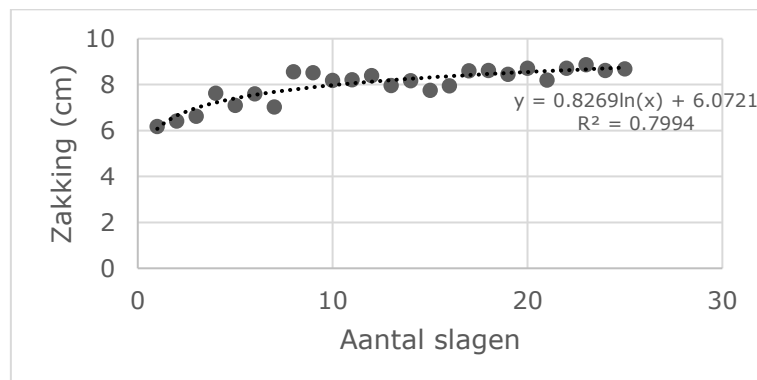
Figuur 22: Meetreeks 1 – Zakking i.f.v. het aantal slagen

4.2.2 Meetreeks 2

Meetreeks 2 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 15 uit Bijlage H. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijnzand, verdicht door het mechanische verdichtingstoestel met drie verzwaringsringen in de kleine mal waarbij de grond in zijn geheel verdicht is. Figuur 23 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen op de x-as en de indringing met de slagsonde op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Uit deze grafiek en de meetwaarden kan er afgeleid worden dat de indringingscurve afzwakt vanaf 19 ± 2 slagen naar een waarde van 11 cm. Figuur 24 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen op de x-as en de zakking van de grond op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Hierbij vertoont de curve een stijgend verloop dat afzwakt vanaf 20 ± 3 slagen met lichte fluctuaties.



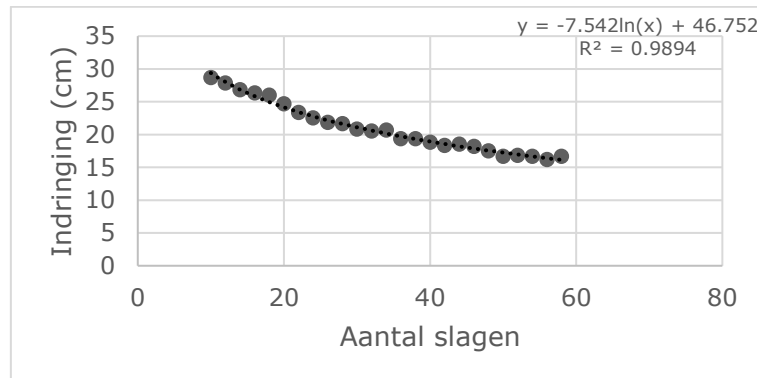
Figuur 23: Meetreeks 2 – Indringing i.f.v. het aantal slagen



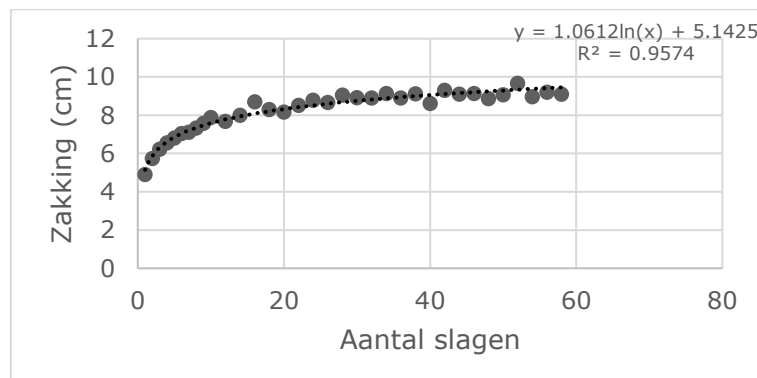
Figuur 24: Meetreeks 2 – Zakking i.f.v. het aantal slagen

4.2.3 Meetreeks 3

Meetreeks 3 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 16 uit Bijlage I. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijzand, verdicht door het mechanische verdichtingstoestel zonder verzwaringsringen in de middelmatige mal waarbij de grond in zijn geheel verdicht is. Figuur 25 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen op de x-as en de indringing met de slagsonde op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Uit deze grafiek en de meetwaarden kan er afgeleid worden dat de indringingscurve afzwakt vanaf 52 ± 2 slagen naar een waarde van 16,5 cm. Figuur 26 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen op de x-as en de zakking van de grond op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Hierbij vertoont de curve een stijgend verloop dat afzwakt vanaf 30 ± 4 slagen met lichte fluctuaties.



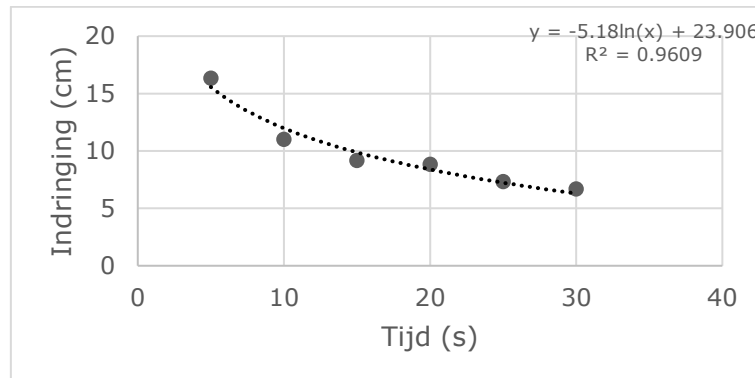
Figuur 25: Meetreeks 3 – Indringing i.f.v. het aantal slagen



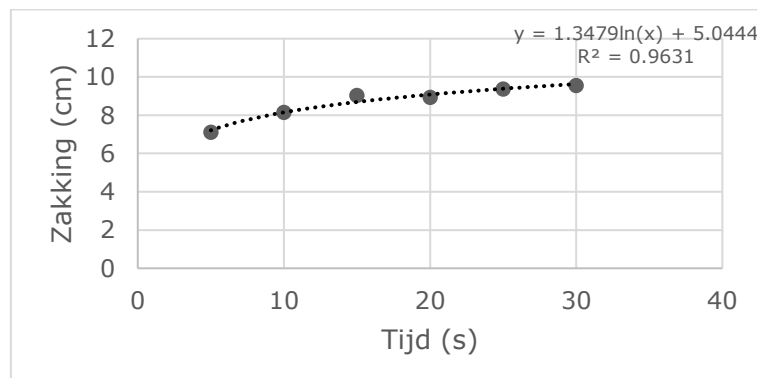
Figuur 26: Meetreeks 3 – Zakking i.f.v. het aantal slagen

4.2.4 Meetreeks 4

Meetreeks 4 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 17 uit Bijlage J. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijnzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand I in de kleine mal waarbij de grond in zijn geheel verdicht is. Figuur 27 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de indringing met de slagsonde op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Uit deze grafiek en de meetwaarden kan er afgeleid worden dat de indringingscurve nog daalt na 30 seconden. Figuur 28 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de zakking van de grond op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Hierbij vertoont de curve een stijgend verloop dat afzwakt vanaf 25 ± 5 seconden.



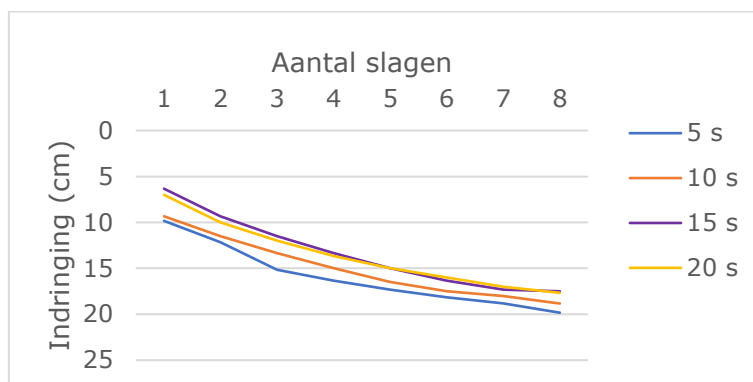
Figuur 27: Meetreeks 4 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd



Figuur 28: Meetreeks 4 – Zakking i.f.v. de verdichtingstijd

4.2.5 Meetreeks 5

Meetreeks 5 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 18, Tabel 19 en Tabel 20 uit Bijlage K. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand I in de kleine mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 29 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 11 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



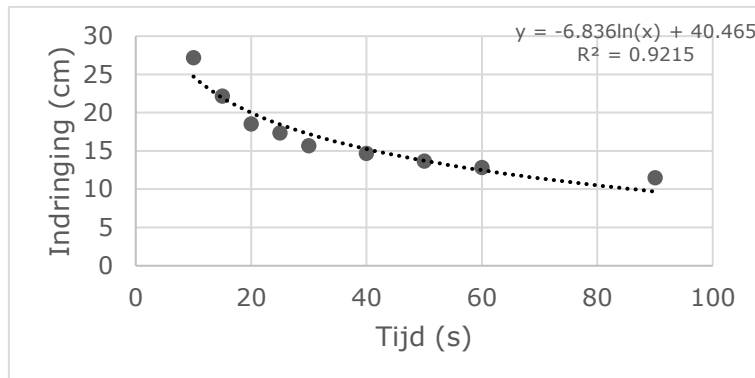
Figuur 29: Meetreeks 5 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 11: Meetreeks 5 – Verschil in indringing per slag

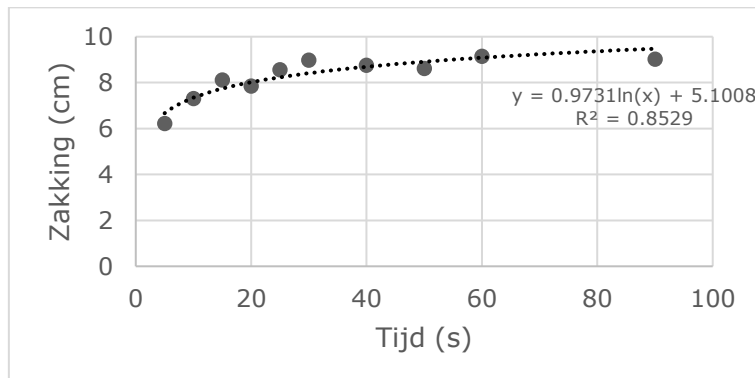
		5 s / 10 s	10 s / 15 s	15 s / 20 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	0,5	3,0	-0,7
	Slag 2	0,2	-0,8	0,0
	Slag 3	1,2	-0,3	0,2
	Slag 4	-0,5	-0,2	0,2
	Slag 5	-0,5	-0,2	0,3
	Slag 6	-0,2	-0,3	0,3
	Slag 7	0,2	-0,5	0,0
	Slag 8	0,2	0,7	-0,5

4.2.6 Meetreeks 6

Meetreeks 6 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 21 uit Bijlage L. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijnzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand I in de middelmatige mal waarbij de grond in zijn geheel verdicht is. Figuur 30 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de indringing met de slagsonde op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Uit deze grafiek en de meetwaarden kan er afgeleid worden dat de indringingscurve nog daalt na 90 seconden. Figuur 31 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de zakking van de grond op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Hierbij vertoont de curve een stijgend verloop dat afzwakt vanaf 40 ± 10 seconden.



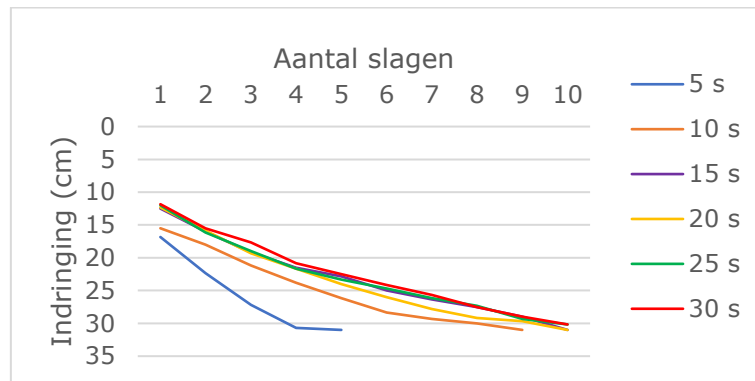
Figuur 30: Meetreeks 6 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd



Figuur 31: Meetreeks 6 – Zakking i.f.v. de verdichtingstijd

4.2.7 Meetreeks 7

Meetreeks 7 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 22, Tabel 23 en Tabel 24 uit Bijlage M. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand I in de middelmatige mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 32 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 12 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



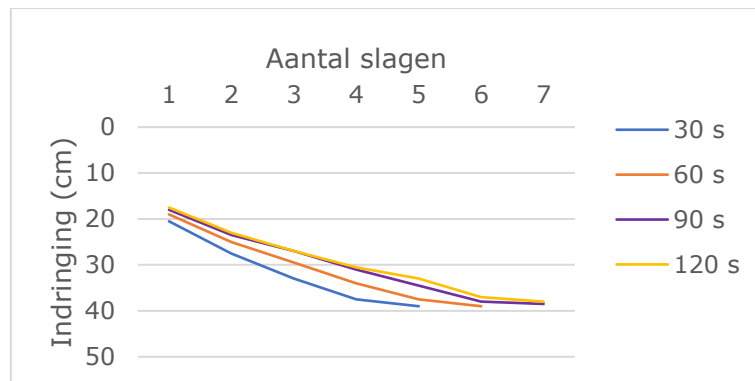
Figuur 32: Meetreeks 7 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 12: Meetreeks 7 – Verschil in indringing per slag

		5 s / 10 s	10 s / 15 s	15 s / 20 s	20 s / 25 s	25 s / 30 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	1,3	3,0	0,2	0,3	0,2
	Slag 2	3,0	-1,0	0,0	-0,7	0,5
	Slag 3	1,7	0,0	-0,3	0,7	0,7
	Slag 4	0,8	0,3	0,0	-0,3	-0,5
	Slag 5	-2,0	1,0	-1,0	0,7	0,0
	Slag 6		0,0	0,2	0,7	-0,3
	Slag 7		-0,3	-0,5	0,3	0,0
	Slag 8		-0,5	-0,2	0,2	-0,7
	Slag 9		-0,5	1,0	-1,5	0,5
	Slag 10			0,7	0,5	-0,3

4.2.8 Meetreeks 8

Meetreeks 8 geeft de resultaten weer van Tabel 25 uit Bijlage N. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand I in de grote mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 33 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 13 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt. In Bijlage N zijn ook nog Tabel 26 en Tabel 27 opgenomen, dit zijn de meetwaardes van de metingen uitgevoerd aan de randen van de grote mal. Deze resultaten vertonen eveneens een dalend verloop hoewel deze sneller dalen in vergelijking met de meting in het midden van de mal.



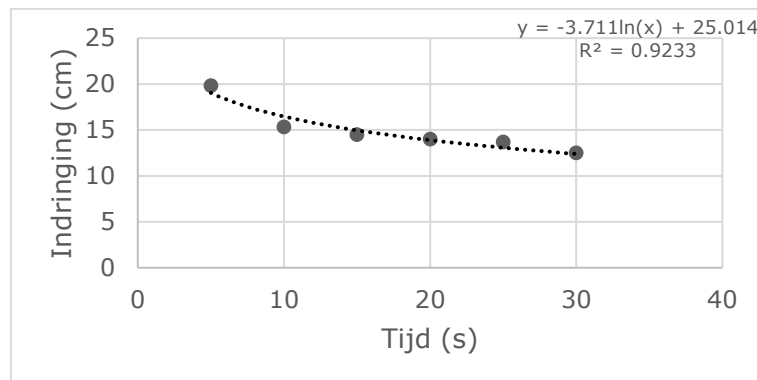
Figuur 33: Meetreeks 8 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 13: Meetreeks 8 – Verschil in indringing per slag

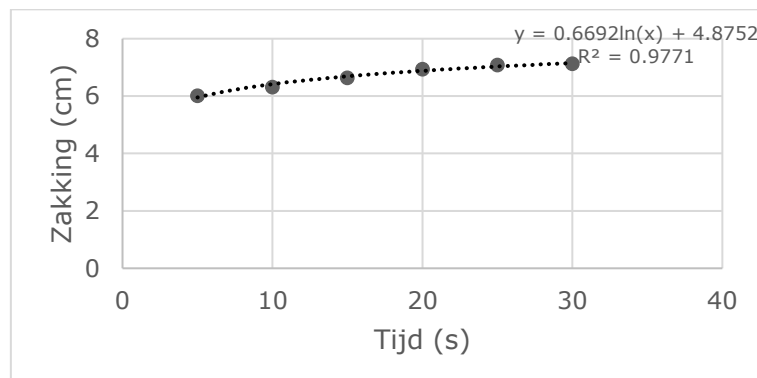
		30 s / 60 s	60 s / 90 s	90 s / 120 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	1,5	1,0	0,5
	Slag 2	1,0	0,5	0,0
	Slag 3	1,0	1,0	-0,5
	Slag 4	0,0	0,5	0,5
	Slag 5	-2,0	0,0	1,0
	Slag 6		-2,0	-0,5
	Slag 7			-0,5

4.2.9 Meetreeks 9

Meetreeks 9 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 28 uit Bijlage O. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijnzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de kleine mal waarbij de grond in zijn geheel verdicht is. Figuur 34 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de indringing met de slagsonde op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Uit deze grafiek en de meetwaarden kan er afgeleid worden dat de indringingscurve nog daalt na 30 seconden. Figuur 35 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de zakking van de grond op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Hierbij vertoont de curve een stijgend verloop dat afzwakt vanaf 25 ± 5 seconden.



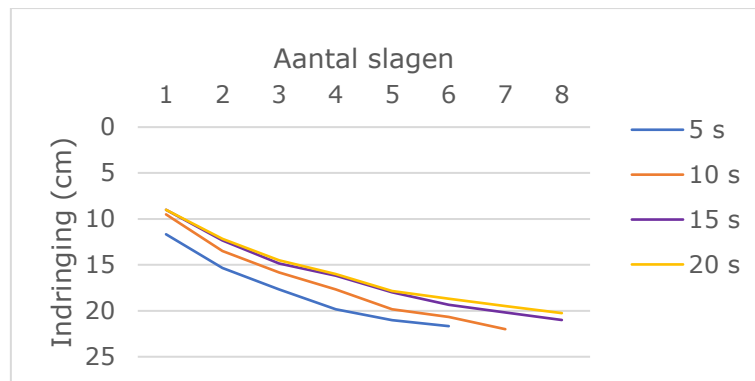
Figuur 34: Meetreeks 9 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd



Figuur 35: Meetreeks 9 – Zakking in functie van de verdichtingstijd

4.2.10 Meetreeks 10

Meetreeks 10 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 29, Tabel 30 en Tabel 31 uit Bijlage P. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijnzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de kleine mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 36 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 14 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 15 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



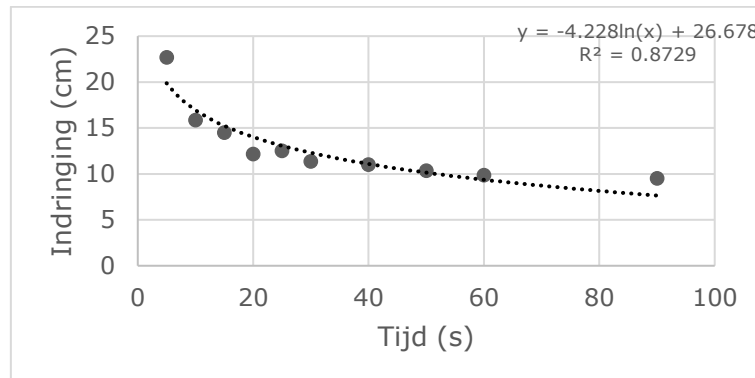
Figuur 36: Meetreeks 10 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 14: Meetreeks 10 – Verschil in indringing per slag

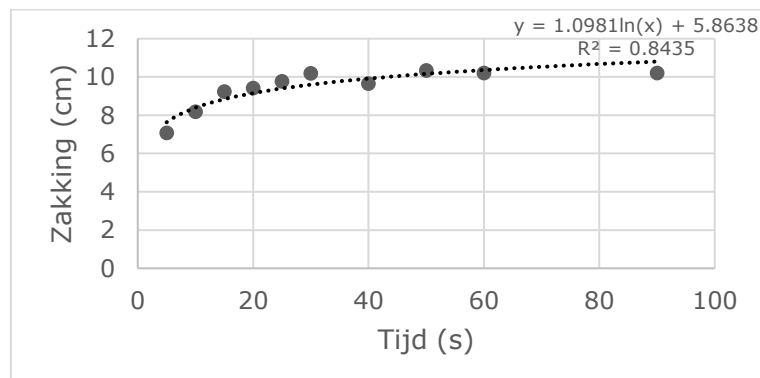
		5 s / 10 s	10 s / 15 s	15 s / 20 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	2,2	0,5	0,0
	Slag 2	-0,3	0,7	0,2
	Slag 3	0,0	-0,2	0,2
	Slag 4	0,3	0,5	-0,2
	Slag 5	-1,0	0,3	0,0
	Slag 6	-0,2	-0,5	0,5
	Slag 7		0,5	0,0
	Slag 8			0,1

4.2.11 Meetreeks 11

Meetreeks 11 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 32 uit Bijlage Q. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de middelmatige mal waarbij de grond in zijn geheel verdicht is. Figuur 37 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de indringing met de slagsonde op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Uit deze grafiek en de meetwaarden kan er afgeleid worden dat de indringingscurve afzwakt vanaf 60 ± 10 seconden naar een waarde van 9,5 cm. Figuur 38 geeft de relatie weer tussen de verdichtingstijd op de x-as en de zakking van de grond op de y-as, tussen deze twee parameters is een logaritmisch verband. Hierbij vertoont de curve een stijgend verloop dat afzwakt vanaf 60 ± 10 seconden.



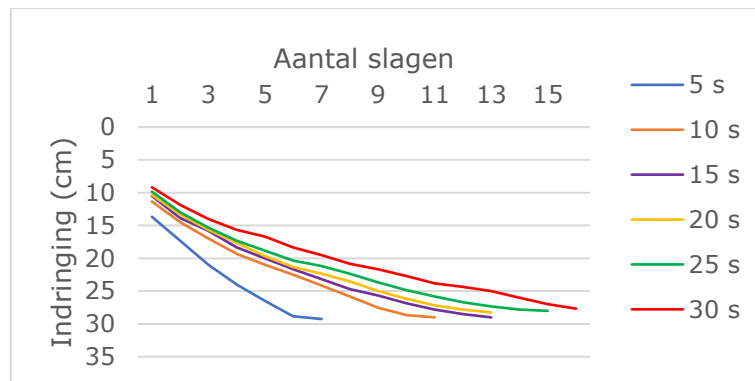
Figuur 37: Meetreeks 11 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd



Figuur 38: Meetreeks 11 – Zakking in functie van de verdichtingstijd

4.2.12 Meetreeks 12

Meetreeks 12 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 33, Tabel 34 en Tabel 35 uit Bijlage R. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijnzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de middelmatige mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 39 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 15 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 20 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



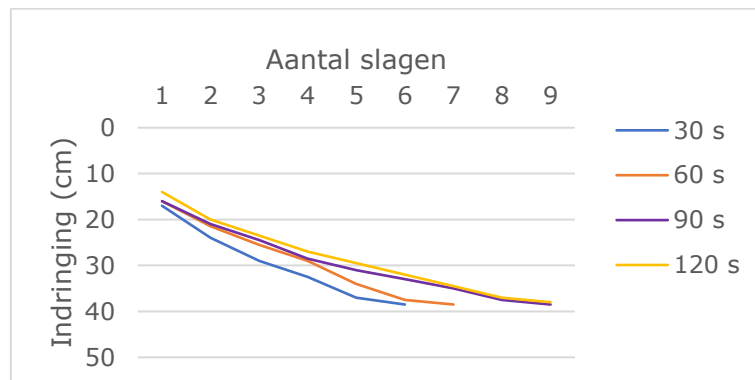
Figuur 39: Meetreeks 12 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 15: Meetreeks 12 – Verschil in indringing per slag

		5 s / 10 s	10 s / 15 s	15 s / 20 s	20 s / 25 s	25 s / 30 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	2,3	0,8	0,2	0,5	0,7
	Slag 2	0,5	-0,2	0,3	-0,2	0,5
	Slag 3	1,2	0,5	-0,3	0,0	0,2
	Slag 4	0,7	-0,2	0,5	0,0	0,3
	Slag 5	0,8	0,0	-0,3	0,5	0,5
	Slag 6	0,8	-0,2	0,0	0,2	-0,2
	Slag 7	-1,3	0,2	0,5	0,2	-0,3
	Slag 8		0,2	0,3	0,0	-0,2
	Slag 9		0,7	-0,5	0,2	0,5
	Slag 10		0,0	0,0	0,0	0,2
	Slag 11		-0,7	0,0	0,0	-0,2
	Slag 12			0,0	-0,2	0,3
	Slag 13			0,1	-0,2	0,0
	Slag 14					-0,5
	Slag 15					-0,8
	Slag 16					

4.2.13 Meetreeks 13

Meetreeks 13 geeft de resultaten weer van Tabel 36 uit Bijlage S. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandeld rijzand, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de grote mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 40 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 16 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting niet bereikt. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt. In Bijlage S zijn Tabel 37 en Tabel 38 opgenomen, dit zijn de meetwaarden van de metingen uitgevoerd aan de randen van de grote mal. Deze resultaten vertonen eveneens een dalend verloop hoewel deze sneller dalen in vergelijking met de meting in het midden van de mal.



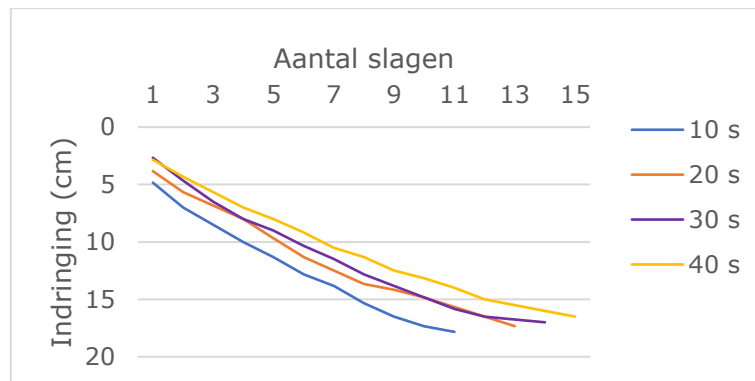
Figuur 40: Meetreeks 13 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 16: Meetreeks 13 – Verschil in indringing per slag

		30 s / 60 s	60 s / 90 s	90 s / 120 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	1,0	0,0	2,0
	Slag 2	1,5	0,5	-1,0
	Slag 3	1,0	0,5	0,0
	Slag 4	0,0	-0,5	0,5
	Slag 5	-0,5	2,5	0,0
	Slag 6	-2,0	1,5	-0,5
	Slag 7		-1,0	-0,5
	Slag 8			0,0
	Slag 9			0,0

4.2.14 Meetreeks 14

Meetreeks 14 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 39, Tabel 40 en Tabel 41 uit Bijlage T. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandelde sleufgrond uit Wellen, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de kleine mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 41 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 17 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 30 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



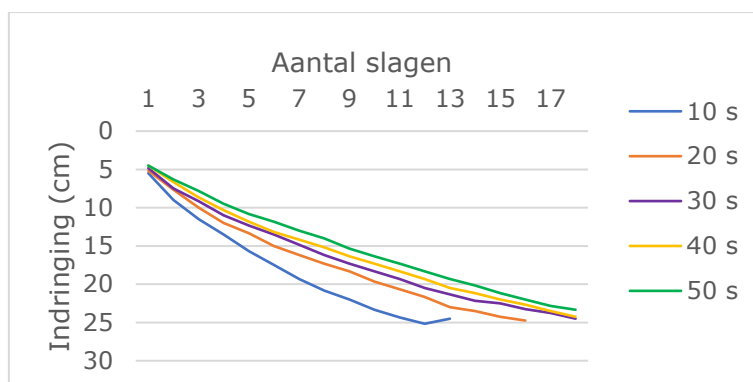
Figuur 41: Meetreeks 14 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 17: Meetreeks 14 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	1,0	1,2	-0,2
	Slag 2	0,3	-0,2	0,5
	Slag 3	0,3	-0,7	0,5
	Slag 4	0,3	-0,3	0,2
	Slag 5	-0,3	0,7	0,0
	Slag 6	-0,2	0,3	0,2
	Slag 7	-0,2	0,0	-0,2
	Slag 8	0,3	-0,2	0,5
	Slag 9	0,7	-0,5	-0,2
	Slag 10	0,2	-0,3	0,3
	Slag 11	-0,3	-0,2	0,2
	Slag 12		0,2	-0,3
	Slag 13		0,6	-0,3
	Slag 14			-0,3
	Slag 15			

4.2.15 Meetreeks 15

Meetreeks 15 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 42, Tabel 43 en Tabel 44 uit Bijlage U. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandelde sleufgrond uit Wellen, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de middelmatige mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 42 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 18 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 30 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



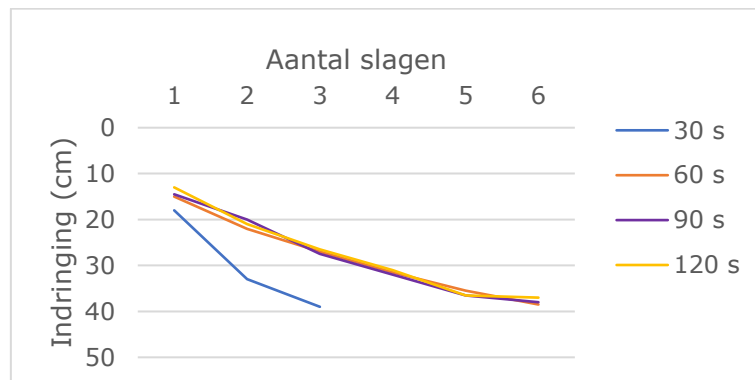
Figuur 42: Meetreeks 15 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 18: Meetreeks 15 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s	40 s / 50 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	0,3	0,3	0,3	0,0
	Slag 2	1,0	-0,2	0,5	0,3
	Slag 3	0,2	0,7	-0,3	0,5
	Slag 4	0,0	0,2	0,2	0,0
	Slag 5	0,8	0,0	-0,2	0,2
	Slag 6	0,2	0,5	-0,2	0,3
	Slag 7	0,7	-0,2	0,3	-0,2
	Slag 8	0,3	-0,2	0,3	0,0
	Slag 9	0,2	-0,2	0,0	-0,2
	Slag 10	0,0	0,3	0,0	0,0
	Slag 11	0,0	0,0	0,0	0,0
	Slag 12	-0,2	-0,2	0,2	0,0
	Slag 13	-2,0	0,5	-0,3	0,2
	Slag 14		-0,3	0,2	-0,2
	Slag 15		0,4	-0,5	-0,2
	Slag 16		-0,3	0,1	-0,2
	Slag 17			-0,3	0,0
	Slag 18			0,0	0,3
	Slag 19			-0,3	0,1

4.2.16 Meetreeks 16

Meetreeks 16 geeft de resultaten weer van Tabel 45 uit Bijlage V. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandelde sleufgrond uit Wellen, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de grote mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 43 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 19 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond is de optimale verdichting niet bereikt. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt. In Bijlage V zijn Tabel 46 en Tabel 47 opgenomen, dit zijn de meetwaarden van de metingen uitgevoerd aan de randen van de grote mal. Deze resultaten vertonen eveneens een dalend verloop hoewel deze sneller dalen in vergelijking met de meting in het midden van de mal.



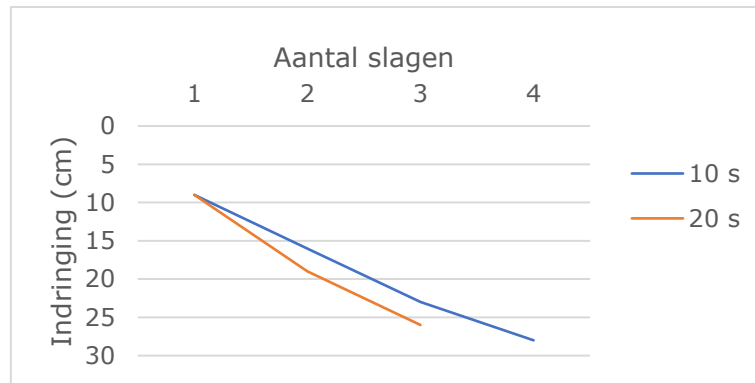
Figuur 43: Meetreeks 16 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 19: Meetreeks 16 – Verschil in indringing per slag

		30 s / 60 s	60 s / 90 s	90 s / 120 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	3,0	0,5	1,5
	Slag 2	8,0	1,5	-2,5
	Slag 3	1,0	-2,5	2,0
	Slag 4		0,0	0,0
	Slag 5		-0,5	-1,0
	Slag 6		1,5	1,0

4.2.17 Meetreeks 17

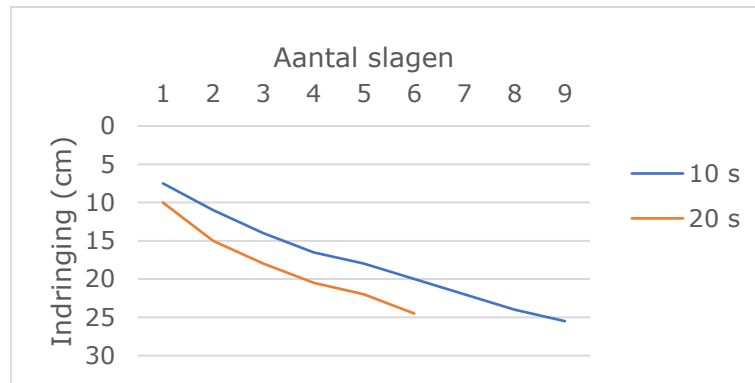
Meetreeks 17 geeft de resultaten weer van Tabel 48 uit Bijlage W. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandelde sleufgrond uit Tongeren, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de middelmatige mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 44 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Uit de grafiek kan er afgeleid worden dat de sleufgrond uit Tongeren onbehandeld niet verdichtbaar is, aangezien dat de indringing stijgt bij een toename in verdichtingstijd.



Figuur 44: Meetreeks 17 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

4.2.18 Meetreeks 18

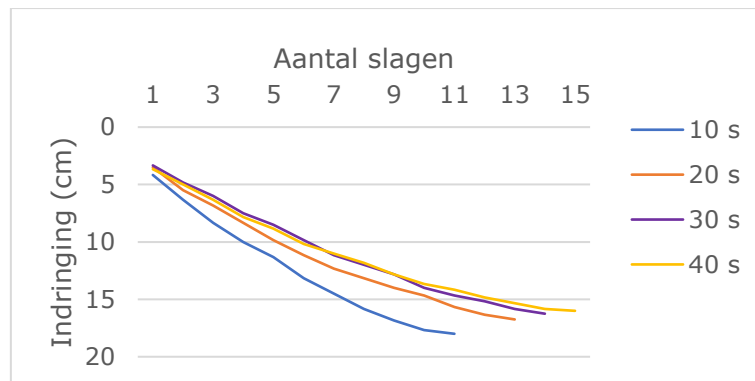
Meetreeks 18 geeft de resultaten weer van Tabel 49 uit Bijlage X. Deze metingen zijn uitgevoerd op onbehandelde sleufgrond uit Diepenbeek, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de middelmatige mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 45 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Uit de grafiek kan er afgeleid worden dat de sleufgrond uit Tongeren onbehandeld niet verdichtbaar is, aangezien dat de indringing stijgt bij een toename in verdichtingstijd.



Figuur 45: Meetreeks 18 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

4.2.19 Meetreeks 19

Meetreeks 19 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 50, Tabel 51 en Tabel 52 uit Bijlage Y. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de kleine mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 46 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 20 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 20 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



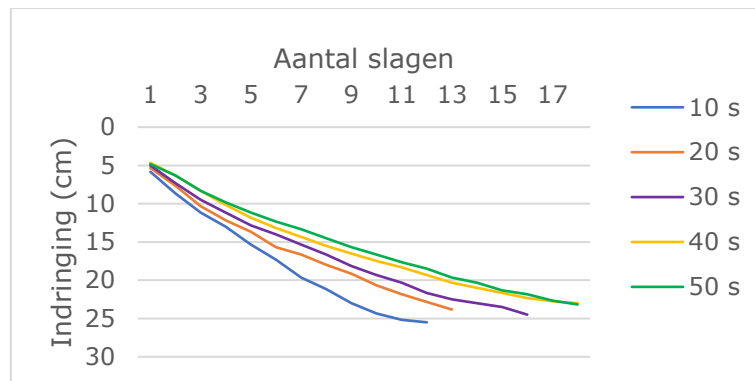
Figuur 46: Meetreeks 19 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 20: Meetreeks 19 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	0,7	0,2	-0,3
	Slag 2	0,2	0,5	0,2
	Slag 3	0,7	0,2	-0,2
	Slag 4	0,2	0,0	0,0
	Slag 5	-0,2	0,5	0,0
	Slag 6	0,5	0,0	0,0
	Slag 7	0,2	-0,2	0,5
	Slag 8	0,5	0,0	0,0
	Slag 9	0,2	0,0	-0,2
	Slag 10	0,2	-0,5	0,3
	Slag 11	-0,7	0,3	0,2
	Slag 12		0,2	-0,2
	Slag 13		-0,3	0,2
	Slag 14			-0,1
	Slag 15			

4.2.20 Meetreeks 20

Meetreeks 20 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 53, Tabel 54 en Tabel 55 uit Bijlage Z. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de middelmatige mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 47 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 21 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 40 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



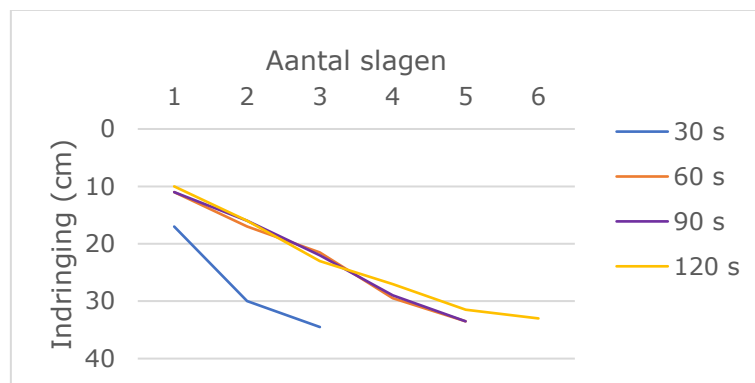
Figuur 47: Meetreeks 20 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 21: Meetreeks 20 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s	40 s / 50 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	0,5	0,3	0,3	-0,2
	Slag 2	0,5	0,0	0,7	0,2
	Slag 3	-0,2	0,5	0,2	0,0
	Slag 4	0,0	0,2	-0,2	0,3
	Slag 5	0,8	-0,2	0,0	0,3
	Slag 6	0,0	0,8	-0,2	0,2
	Slag 7	1,3	-0,3	0,2	0,2
	Slag 8	0,2	0,0	0,2	0,0
	Slag 9	0,7	-0,3	0,5	-0,2
	Slag 10	-0,2	0,3	0,2	0,0
	Slag 11	-0,3	0,2	0,2	-0,2
	Slag 12	-0,7	-0,3	0,3	0,2
	Slag 13		0,2	-0,2	-0,2
	Slag 14			-0,2	0,0
	Slag 15			-0,2	-0,3
	Slag 16			0,3	0,2
	Slag 17				-0,4
	Slag 18				-0,3
	Slag 19				

4.2.21 Meetreeks 21

Meetreeks 21 geeft de resultaten weer van Tabel 56 uit Bijlage AA. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de grote mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 48 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 22 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond is de optimale verdichting niet bereikt. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt. In Bijlage AA zijn Tabel 57 en Tabel 58 opgenomen, dit zijn de meetwaarden van de metingen uitgevoerd aan de randen van de grote mal. Deze resultaten vertonen eveneens een dalend verloop hoewel deze sneller dalen in vergelijking met de meting in het midden van de mal.



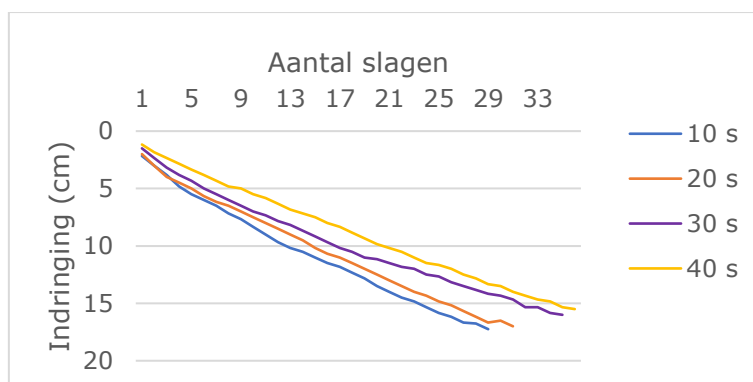
Figuur 48: Meetreeks 21 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 22: Meetreeks 21 – Verschil in indringing per slag

		30 s / 60 s	60 s / 90 s	90 s / 120 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	6,0	0,0	1,0
	Slag 2	7,0	1,0	-1,0
	Slag 3	0,0	-1,5	-1,0
	Slag 4		1,0	3,0
	Slag 5		-0,5	0,0
	Slag 6			

4.2.22 Meetreeks 22

Meetreeks 22 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 59, Tabel 60 en Tabel 61 uit Bijlage AB. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de kleine mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 49 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 23 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 20 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



Figuur 49: Meetreeks 22 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

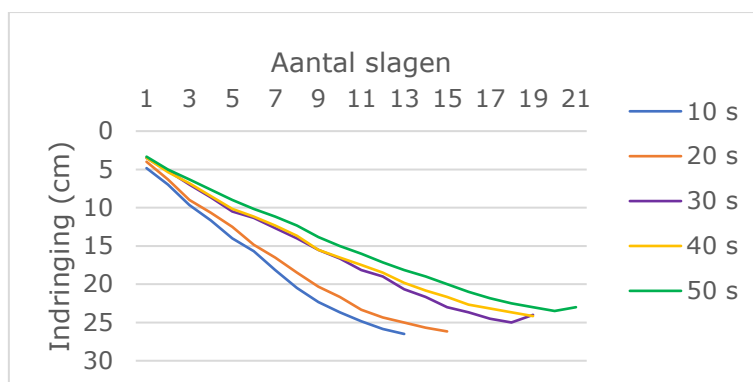
Tabel 23: Meetreeks 22 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	0,2	0,5	0,3
	Slag 2	-0,2	0,2	0,2
	Slag 3	-0,2	0,2	0,3
	Slag 4	0,5	-0,2	0,2
	Slag 5	0,2	0,0	0,0
	Slag 6	-0,2	0,0	0,2
	Slag 7	0,0	0,0	0,0
	Slag 8	0,3	-0,2	0,0
	Slag 9	0,0	0,0	0,3
	Slag 10	0,2	0,0	0,0
	Slag 11	0,2	0,2	0,0
	Slag 12	0,2	0,0	0,0
	Slag 13	0,0	0,2	-0,2
	Slag 14	-0,2	0,0	0,2
	Slag 15	-0,2	0,2	0,2
	Slag 16	0,0	0,0	0,0
	Slag 17	0,0	-0,2	0,2
	Slag 18	0,0	0,2	-0,2
	Slag 19	0,0	0,0	0,0
	Slag 20	0,2	0,3	-0,3
	Slag 21	0,0	0,2	0,0
	Slag 22	0,0	0,2	0,0
	Slag 23	-0,2	0,3	-0,3
	Slag 24	0,2	-0,2	0,0

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s
Δ Indringing (cm)	Slag 25	0,0	0,3	0,0
	Slag 26	0,0	-0,2	0,2
	Slag 27	0,0	0,2	-0,2
	Slag 28	-0,4	0,2	0,0
	Slag 29	0,0	0,2	-0,2
	Slag 30		-0,3	0,0
	Slag 31		0,2	-0,2
	Slag 32			0,3
	Slag 33			-0,3
	Slag 34			0,3
	Slag 35			-0,3
	Slag 36			

4.2.23 Meetreeks 23

Meetreeks 23 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 62, Tabel 63 en Tabel 64 uit Bijlage AC. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de kleine mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 50 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 24 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 40 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



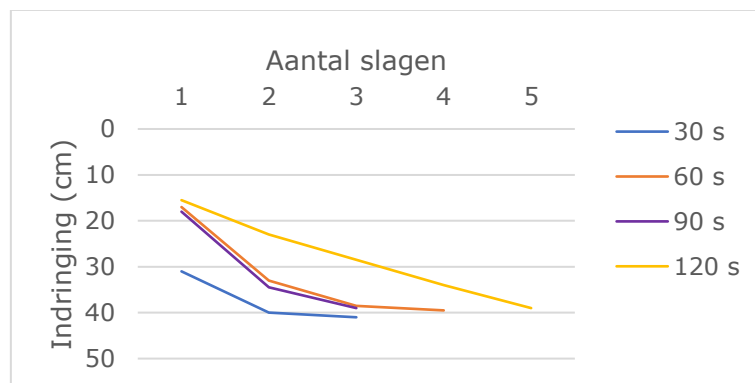
Figuur 50: Meetreeks 23 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 24: Meetreeks 23 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s	40 s / 50 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	0,8	0,5	0,0	0,2
	Slag 2	-0,2	0,7	-0,2	0,2
	Slag 3	0,0	0,8	0,3	0,2
	Slag 4	0,3	0,0	0,0	0,3
	Slag 5	0,5	0,0	0,2	0,3
	Slag 6	-0,7	1,5	-0,2	-0,2
	Slag 7	0,8	0,3	0,2	0,2
	Slag 8	0,3	0,7	0,0	0,2
	Slag 9	0,0	0,3	-0,3	0,3
	Slag 10	0,0	0,2	0,2	-0,2
	Slag 11	-0,5	0,2	0,5	0,0
	Slag 12	0,0	0,2	-0,2	-0,2
	Slag 13	0,0	-1,0	0,3	0,3
	Slag 14		-0,3	0,0	0,2
	Slag 15		-0,8	0,5	-0,2
	Slag 16			-0,3	0,0
	Slag 17			0,3	-0,3
	Slag 18			0,0	-0,2
	Slag 19			-1,5	0,0
	Slag 20				
	Slag 21				

4.2.24 Meetreeks 24

Meetreeks 24 geeft de resultaten weer van Tabel 65 uit Bijlage AD. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de grote mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 51 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 25 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond is de optimale verdichting niet bereikt. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt. In Bijlage AD zijn Tabel 66 en Tabel 67 opgenomen, dit zijn de meetwaarden van de metingen uitgevoerd aan de randen van de grote mal. Deze resultaten vertonen eveneens een dalend verloop hoewel deze sneller dalen in vergelijking met de meting in het midden van de mal.



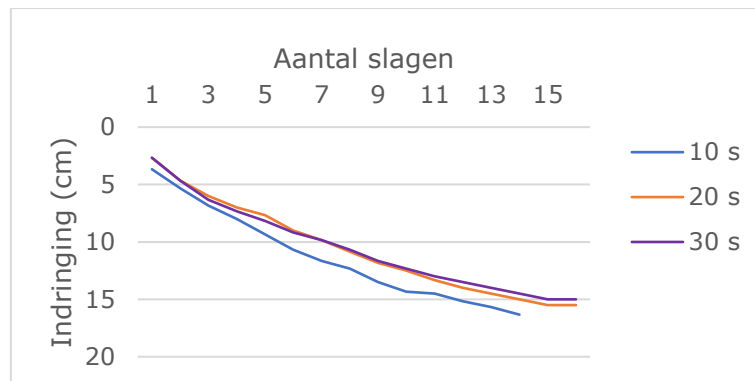
Figuur 51: Meetreeks 24 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 25: Meetreeks 24 – Verschil in indringing per slag

		30 s / 60 s	60 s / 90 s	90 s / 120 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	14,0	-1,0	2,5
	Slag 2	-7,0	-0,5	9,0
	Slag 3	-4,5	1,0	-1,0
	Slag 4			
	Slag 5			

4.2.25 Meetreeks 25

Meetreeks 25 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 68, Tabel 69 en Tabel 70 uit Bijlage AE. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de kleine mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 52 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 26 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 20 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



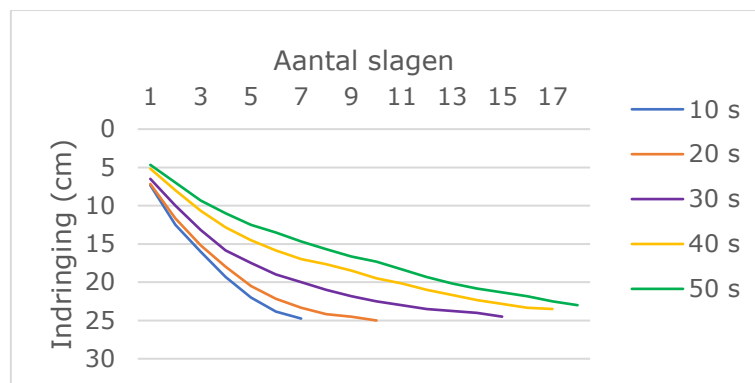
Figuur 52: Meetreeks 25 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 26: Meetreeks 25 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	1,0	0,0
	Slag 2	-0,3	0,0
	Slag 3	0,2	-0,3
	Slag 4	0,2	0,0
	Slag 5	0,7	-0,2
	Slag 6	0,0	0,3
	Slag 7	0,2	0,2
	Slag 8	-0,3	0,2
	Slag 9	0,2	0,0
	Slag 10	0,2	0,0
	Slag 11	-0,7	0,2
	Slag 12	0,0	0,2
	Slag 13	0,0	0,0
	Slag 14	0,2	0,0
	Slag 15		0,0
	Slag 16		0,0

4.2.26 Meetreeks 26

Meetreeks 26 geeft de gemiddelde resultaten weer van Tabel 71, Tabel 72 en Tabel 73 uit Bijlage AF. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de middelmatige mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 53 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 27 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond wordt de optimale verdichting bereikt na 40 seconden. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt.



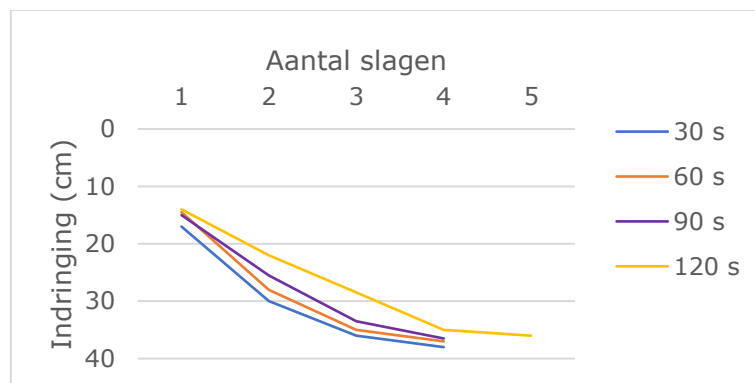
Figuur 53: Meetreeks 26 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 27: Meetreeks 26 – Verschil in indringing per slag

		10 s / 20 s	20 s / 30 s	30 s / 40 s	40 s / 50 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	0,2	0,7	1,3	0,5
	Slag 2	0,7	1,0	0,7	0,5
	Slag 3	0,0	0,3	0,5	0,3
	Slag 4	0,5	0,2	0,5	0,5
	Slag 5	0,2	0,8	0,0	0,2
	Slag 6	0,2	0,2	0,2	0,3
	Slag 7	-0,2	0,2	-0,2	0,0
	Slag 8		-0,2	0,3	-0,3
	Slag 9		-0,5	0,0	-0,2
	Slag 10		-0,2	-0,3	0,3
	Slag 11			-0,2	-0,3
	Slag 12			-0,3	-0,2
	Slag 13			-0,4	-0,2
	Slag 14			-0,4	0,0
	Slag 15			0,0	0,0
	Slag 16				0,0
	Slag 17				-0,5
	Slag 18				

4.2.27 Meetreeks 27

Meetreeks 27 geeft de resultaten weer van Tabel 74 uit Bijlage AG. Deze metingen zijn uitgevoerd op sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% ongebluste kalk, verdicht door het elektrische verdichtingstoestel op stand II in de grote mal waarbij de grond in lagen van 10 cm verdicht is. Figuur 54 geeft de relatie weer tussen het aantal slagen met de slagsonde op de x-as, de indringing van de slagsonde op de y-as en de verdichtingstijd. Tabel 28 geeft het verschil in indringing per slag weer tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden. Indien het verschil kleiner is dan een halve centimeter, dan is de optimale verdichting bereikt. Voor deze grond is de optimale verdichting niet bereikt. Uit de grafiek en de tabel kan er afgeleid worden dat het verschil in indringing per slag tussen twee opeenvolgende verdichtingstijden daalt naarmate de verdichtingstijd toeneemt. In Bijlage AG zijn Tabel 75 en Tabel 76 opgenomen, dit zijn de meetwaarden van de metingen uitgevoerd aan de randen van de grote mal. Deze resultaten vertonen eveneens een dalend verloop hoewel deze sneller dalen in vergelijking met de meting in het midden van de mal.



Figuur 54: Meetreeks 27 – Indringing i.f.v. de verdichtingstijd en het aantal slagen

Tabel 28: Meetreeks 27 – Verschil in indringing per slag

		30 s / 60 s	60 s / 90 s	90 s / 120 s
Δ Indringing (cm)	Slag 1	2,5	-0,5	1,0
	Slag 2	-0,5	3,0	2,5
	Slag 3	-1,0	-1,0	1,5
	Slag 4	0,0	-1,0	-3,5
	Slag 5			

4.3 Verdichtingstijden

Onderstaande Tabel 29 geeft per type mal weer na hoeveel seconden de grond optimaal verdicht is, per type grond. Hierbij wordt verondersteld dat een grond optimaal verdicht is wanneer het verschil in indringing per slag tussen twee verdichtingstijden, kleiner is dan 0,5 cm. Deze keuze is gemaakt omdat de nauwkeurigheid van het meettoestel een halve centimeter bedraagt. Indien het verschil tussen twee verdichtingstijden groter is dan een halve centimeter, is de grond dus nog niet optimaal verdicht. Hiervoor zijn de volgende meetreeksen gebruikt: 10, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 en 27. Uit de resultaten van Tabel 29 volgt dat de grond, onafhankelijk van het type, in de kleine mal optimaal verdicht is na een verdichtingstijd van 30 seconden per laag van 10 cm. Dit komt overeen met een verdichtingsenergie van 15.870 joule per laag. Voor de middelmatige mal is een minimale verdichtingstijd van 40 seconden per laag nodig. Dit komt overeen met een verdichtingsenergie van 21.160 joule per laag. De grond in de grote mal kan niet optimaal verdicht worden.

Tabel 29: Optimale verdichtingstijd per grond en type mal

Grond	Behandeling	Kleine mal	Middelmatige mal	Grote mal
Rijnzand	/	15 s	20 s	/
Sleufgrond Wellen	/	30 s	30 s	/
Sleufgrond Wellen	1%	20 s	40 s	/
Sleufgrond Tongeren	2%	20 s	30 s	/
Sleufgrond Diepenbeek	3%	20 s	40 s	/

5 Discussie

Als volgend onderdeel van deze masterproef worden de resultaten vergeleken en besproken. Dit hoofdstuk is opgesplitst in drie onderdelen. Eerst worden de metingen algemeen overlopen en worden de belangrijkste aandachtspunten toegelicht. Vervolgens worden de vier parametercategorieën afzonderlijk besproken. Ten slotte komt de proefopstelling aan bod en worden er mogelijke aanpassingen en verbeteringen voorgesteld die kunnen leiden tot verder onderzoek.

5.1 Algemene bespreking experimenten

Zoals besproken in hoofdstuk 4.2 zijn er 27 meetreeksen uitgevoerd waarbij veel parameters getest zijn. Deze meetreeksen worden opgedeeld in twee groepen: alle proeven op rijnzand (meetreeks 1 t.e.m. 13) zijn groep 1. Alle proeven op sleufgronden (meetreeks 14 t.e.m. 27) zijn groep 2. Het verschil tussen deze twee groepen is de uitvoeringswijze. Meetreeks 1 t.e.m. 13 is uitgevoerd om de relatie tussen de meetparameters en de toestel- en verdichtingsparameters aan te tonen en bijgevolg zijn hier kleinere meettussenstappen toegepast en werden de proeven afgebroken na een vast aantal meetwaarden. Bij de tweede groep, i.e. meetreeks 14 t.e.m. 27, is de relatie tussen de verschillende parameters niet de hoofdzaak, maar is de eindwaarde van een meetreeks het objectief. Daarom zijn deze metingen ook uitgevoerd in grotere meetstappen en werden de metingen verdergezet totdat de eindwaarde bereikt werd. Hoe dit eindpunt wordt vastgesteld komt in hoofdstuk 5.3 nog aan bod.

Doordat alle metingen uit de 27 meetreeksen op grondmateriaal worden uitgevoerd, mag één enkele meting niet als perfect beschouwd worden. Grond is een heterogeen materiaal en dit zorgt ervoor dat een meting niet helemaal reproduceerbaar is. Dit maakt dat iedere meetreeks meerdere malen herhaald moet worden om een statisch gemiddelde te bekomen. Elke meetreeks wordt daarom drie keer uitgevoerd en de resultaten hiervan zijn opgenomen in Bijlage G t.e.m. AG.

5.2 Parameteronderzoek

5.2.1 Meetparameters

De eerste groep parameters zijn de meetparameters. Hieronder vallen de indringing en de zakking. De indringing wordt met de slagsonde gemeten en heeft een meetnauwkeurigheid van 0,5 cm. De zakking wordt met een meetlat gemeten en heeft een meetnauwkeurigheid van 1 mm. Het verschil in nauwkeurigheid ligt in de meetwijze. De zakking kan namelijk eenvoudig bepaald worden door het hoogteverschil te meten tussen de bovenkant van het grondoppervlak en de bovenkant van de mal. De indringing daarentegen is moeilijker afleesbaar doordat de grond langs de slagsonde niet vlak is. Een fijnere meetnauwkeurigheid heeft daarbovenop geen meerwaarde omdat het beginvolume niet perfect reproduceerbaar is. Dit wil zeggen dat het volume grond in de mal nooit exact hetzelfde is en zeer nauwkeurige metingen waren bijgevolg niet mogelijk. Desondanks komen er uit alle meetresultaten wel dezelfde bevindingen naar voren. Indien de grond niet verdicht is, treedt er geen zakking op en zakt de slagsonde altijd tot de bodem bij de eerste slag. Door de grond te verdichten daalt het grondvolume, treedt er een zakking op en zakt de slagsonde niet meer tot de bodem. Het verband tussen de hoeveelheid verdichtingsenergie en de zakking of indringing worden in de meetreeksen 1, 2, 3, 4, 6, 9 en 11 getoond. Het niet-lineaire gedrag van grond is hier duidelijk zichtbaar en verklaard waarom een grond stijver wordt bij een toenemende belasting. Dit betekent dat zowel de indringing als de zakking mogelijke meetmethodes zijn om de verdichtbaarheid van een grond te kwantificeren. Toch is er

een verschil tussen beide parameters. De resultaten tonen aan dat de zakking niet de beste parameter is om de verdichting te meten. De belangrijkste reden hiervoor is dat de zakking veel gevoeliger is aan het niet constante beginvolume. Van zodra de grond meer verdicht wordt en de zakking nog weinig verandert, is dit effect het beste zichtbaar. Dit komt het sterkst naar voren in de individuele meetwaardes van de eerste drie meetreeksen opgenomen in Bijlage G, H en I. De zakking fluctueert veel heviger dan de indringing en dit is ook zichtbaar in de grafieken van meetreeksen 1, 2 en 3. Door het gemiddelde te nemen van verschillende metingen verkleinen de fluctuaties, toch is de R^2 -waarde van grafieken die het verband tonen tussen de zakking en de verdichtingsenergie lager dan de R^2 -waarde van de grafieken die het verband tonen tussen de indringing en de verdichtingsenergie. Dus hoewel de zakking tot op de millimeter meetbaar is, zorgt het niet perfect-reproduceerbare beginvolume voor fluctuaties van enkele millimeters in de zakkingsmetingen waardoor deze resultaten minder nauwkeurig zijn. Hieruit volgt dat de indringing met de slagsonde de beste methode is om de verdichting van een grond te meten, dit strookt niet met de prognose aangezien er verwacht werd dat beide methodes even valabel waren.

5.2.2 Toestelparameters

De tweede groep parameters zijn de toestelparameters, hieronder valt het type mal en het type verdichtingsplaat. Zoals al eerder vermeld zijn er drie soorten mallen, namelijk een kleine, een middelmatige en een grote. De kleine mal is handig in gebruik omwille van het lage gewicht en het kleine volume. Echter verstoort deze mal de metingen met de slagsonde het meest doordat er veel grond omhoogkomt bij de indringing met de slagsonde waardoor de metingen onnauwkeurig worden. Een tweede probleem dat bij deze mal optreedt is dat de verdichte grond zeer moeilijk te verwijderen is na de proef. Dit is een groot nadeel indien de proef manueel uitgevoerd moet worden doordat hier veel kostbare tijd verloren gaat. Een oplossing hiervoor wordt verder besproken in hoofdstuk 5.4. De middelmatige mal heeft een volume dat zes keer groter is dan de kleine mal en is daarom ook zwaarder indien deze gevuld is. Bijgevolg is deze mal minder goed hanteerbaar en zijn er minstens twee personen nodig bij de proefuitvoering. Deze mal heeft echter geen probleem van de omhoogkomende grond en de metingen zijn daarom ook nauwkeuriger. De grote mal heeft een volume dat zeven keer zo groot is als de middelmatige mal en dit volume is dusdanig groot dat deze mal gevuld niet meer manueel verplaatst kan worden. Omwille van het grote volume is de grond ook moeilijk verdichtbaar doordat eenzelfde hoeveelheid verdichtingsenergie over een veel grotere hoeveelheid grond verdeeld wordt. Tevens is de verdichting van de grond niet homogeen. Dit is te zien aan resultaten in meetreeks 8, 13, 16, 21, 24 en 27. Tijdens de uitvoering van deze meetreeksen werden er telkens drie slagsondes uitgevoerd, één centraal in het midden en twee aan de rand van de mal. De resultaten aan de rand zijn beduidend slechter dan die in het midden wat wijst op een minder verdichte grond. De grote mal is dus niet verdichtbaar met de gebruikte verdichtingstechnieken. Uit deze analyse volgt dat de middelmatige mal de beste vorm heeft van de drie mallen doordat de grond verdicht geraakt, de mal manueel hanteerbaar is en er geen verstrend effect optreedt bij de indringing met de slagsonde. Dit resultaat komt overeen met de verwachtingen aangezien er verondersteld werd dat de middelmatige mal de ideale combinatie was van grootte en gebruiksgemak.

Een randbemerking bij de grote mal zijn de twee types van verdichtingsplaten, namelijk één met een vlak afgewerkte onderkant en één met een ribbelpatroon. Tijdens de metingen was hier geen verschil zichtbaar. Wel zorgt de ribbelplaat voor een uitvoeringsprobleem. Na de verdichting kleeft er namelijk veel grond tussen de ribbels

waardoor de bovenste laag van de grond verstoord wordt en dit zorgt voor een oneffen oppervlak dat de meting met de slagsonde bemoeilijkt.

5.2.3 Verdichtingsparameters

De verdichtingsparameters zijn de derde groep parameters en hieronder vallen de twee verdichtingsapparaten en de verdichtingswijze. Eerst worden de verdichtingsapparaten besproken en vergeleken, daarna de verdichtingswijzen.

Het eerste apparaat is het mechanische verdichtingstoestel en deze is vooral gebruikt tijdens de eerste metingen, met name meetreeks 1, 2 en 3. Indien er geen verzwaringsringen worden toegepast, wordt er per slag een verdichtingsenergie van 36 joule op de grond overgedragen. Door het valgewicht te verzwaren met drie verzwaringsringen, verhoogd de verdichtingsenergie tot 58 joule per slag. De vergelijking van meetreeks 1 en 3 leidt tot twee bevindingen. Ten eerste zwakke beide meetcurves af tot een indringing van 11 cm onafhankelijk van het valgewicht. Zonder verzwaringsringen wordt deze waarde bereikt na 23 slagen of 829 joule. Met verzwaringsringen wordt eenzelfde indringing bereikt na 19 slagen of 1.061 joule. Ten tweede komt er naar voren dat een zwaarder valgewicht de grond sneller verdicht, maar dat er in totaal wel meer verdichtingsenergie nodig is. Door het valgewicht te vergroten wordt per slag meer energie geleverd waardoor de grond sneller verdicht, maar ook dat een groter deel van de energie onbenut wordt. Dit komt door volgende reden: bij het verdichten van een grond wordt een deel energie gebruikt om de grond te compacteren, echter gaat er ook een deel energie verloren via geluid, wrijving of trillingen via de mal naar de omgeving. Bij een verhoging van de verdichtingsenergie stijgt de hoeveelheid nuttige energie per slag, maar stijgt ook het aandeel van de energie dat onbenut wordt. Daarom dat de verdichting met het verzwaarde valgewicht de grond sneller verdicht, maar ook meer energie verbruikt.

Het tweede verdichtingsapparaat is het elektrische verdichtingstoestel en dit heeft twee verschillende trilstanden: I en II. Enkel van stand II zijn de gegevens gekend, van stand I is er alleen gegeven dat deze op een lager vermogen werkt. Dit kan zowel beteken dat de slagenergie lager is en/of de trillfrequentie kleiner is. Eenzelfde tijdsduur met stand II moet dus een grotere verdichting teweegbrengen dan stand I. Dit is zichtbaar in meetreeks 6 en 11, 7 en 12, 8 en 13 maar niet in meetreeks 4 en 9 of 5 en 10. De reden hiervoor is dat na meetreeks 5 een nieuwe verdichtingsplaat gebruikt is voor de kleine mal aangezien de eerste gebroken was. De oorspronkelijke verdichtingsplaat trilde veel meer en heviger bij verdichten en zorgde bijgevolg voor een snellere verdichting. De nieuwe verdichtingsplaat is veel massiever en minder bewegelijk en liet het verdichten van de grond minder toe. Vandaar dat meetreeks 9 en 10, die met stand II verdicht zijn, een grotere indringing vertonen dan meetreeks 4 en 5, die met stand I verdicht zijn. Desalniettemin kan er gesteld worden dat stand II beter en sneller verdicht dan stand I.

Naast het verdichtingstoestel kan de manier waarop de grond verdicht wordt ook variëren. De grond kan in lagen van 10 cm verdicht worden of in zijn geheel. Om te bepalen of er een verschil is tussen beide methodes worden meetreeks 4 en 5, 6 en 7, 9 en 10, 11 en 12 vergeleken. Hierbij moeten de waardes met eenzelfde verdichtingsenergie vergeleken worden. Dus bij meetreeks 7 worden de waardes bij 5 seconden, 10 seconden en 15 seconden gekoppeld aan de waardes uit meetreeks 6 bij 20 seconden, 40 seconden en 60 seconden aangezien dat de middelmatige mal uit vier lagen van 10 cm bestaat en 5 seconden per laag verdichten overeenkomt met een totale verdichtingstijd van 20 seconden. Door deze 4 koppels van meetreeksen te vergelijken komt er geen eenduidig resultaat naar voren. Bij meetreeks 6 en 7 of meetreeks 9 en 10 komt naar voor dat het verdichten in lagen van 10 cm een betere verdichtingswijze is.

Uit koppels 4 en 5 of 11 en 12 komt het tegenovergestelde naar voren. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de ene techniek geen significant betere verdichtingswijze is t.o.v. de andere. De reden hiervoor is dat de totale grondhoogte maar 30 of 40 cm is, wat in de praktijk de dikte is van een laag die in één keer verdicht wordt. Het verschil tussen beide verdichtingswijzen kan veel duidelijker naar voren komen bij hogere mallen. Hoewel er dus geen significant verschil is, wordt er in de tweede testfase toch voor geopteerd om de grond in lagen van 10 cm te verdichten aangezien dit het dichtste bij de praktijk aansluit.

5.2.4 Grondparameters

De grondparameters zijn de vierde groep parameters en hieronder vallen alle grond gerelateerde eigenschappen. In totaal zijn er vier verschillende gronden getest, namelijk een grove zandgrond, een middelmatige zandgrond en twee leem/kleigronden. Meetreeks 1 t.e.m. 13 zijn uitgevoerd op de grove zandgrond (rijnzand) en hierbij is het duidelijk dat de grond verdichtbaar is. Elke meting toont aan dat een stijging van de verdichtingsenergie leidt tot een beter verdichte grond aangezien de indringing afneemt en de zakking toeneemt. De korrelstructuur en het watergehalte verklaren dit gedrag aangezien dat ten eerste het rijnzand verschillende korreldiameters bevat waardoor de fijnere korrels de gaten tussen de grotere korrels opvullen bij verdichten. Ten tweede bevat het rijnzand maar 2,2% vocht en is er dus geen nadelig effect van poriënwater bij verdichting.

Meetreeks 14 t.e.m. 16 en 18 t.e.m. 21 zijn uitgevoerd op de middelmatige zandgrond (sleufgrond Wellen) en ook deze grond is verdichtbaar. Vandaar dat er metingen zijn uitgevoerd met alle drie de mallen, zowel behandeld als onbehandeld. Deze grond is onbehandeld dus al verdichtbaar en als experiment is er 1% ongebluste kalk toegevoegd. Bij vergelijken van meetreeks 14 en 19, 15 en 20, 16 en 21 kan er besloten worden dat de behandeling van een reeds verdichtbare grond geen bijkomend effect heeft op de verdichtbaarheid. Dit is te verklaren doordat het toevoegen van ongeblust kalk enkel het watergehalte en de kleifractie beïnvloed. De sleufgrond uit Wellen is geen plastische kleigrond en bevat slechts 9,9% vocht waardoor deze grond dezelfde eigenschappen bezit als de grove zandgrond en behandeling met ongebluste kalk dus geen invloed heeft.

Meetreeks 17, 18 en 22 t.e.m. 27 zijn uitgevoerd op leem/kleigronden (sleufgrond Tongeren en Diepenbeek) en uit meetreeks 17 en 18 volgt dat deze gronden niet verdichtbaar zijn. Bij een stijging van de verdichtingsenergie neemt de indringing zelfs toe en de zakking af. Dit is visueel ook waarneembaar aangezien dat de plastische grond langs de verdichtingsplaat omhoogkomt bij verdichting en eveneens staat er water bovenop de grond na verdichten. Bijgevolg zijn deze gronden onbehandeld niet meer getest met de kleine of de grote mal. De sleufgronden uit Tongeren en Diepenbeek zijn respectievelijk behandeld met 2% en 3% ongebluste kalk waardoor het watergehalte daalde met 1,4% en 2,3%. De kalkpercentages zijn enerzijds gebaseerd op de textuur van de twee gronden waarbij de meest plastische grond, i.e. sleufgrond uit Diepenbeek, met het grootste percentage behandeld is. Anderzijds zijn deze percentages ook gekozen om het verband tussen het kalkpercentage en de daling in watergehalte te onderzoeken. Hierbij is duidelijk een lineair verband aanwezig waarbij de verhoging met 1% ongebluste kalk het watergehalte met 0,7% doet dalen. Na behandeling daalt het watergehalte dus en verkrumelt de grond waardoor deze verdichtbaar wordt. De reden waarom de leem/kleigronden onbehandeld niet verdichtbaar zijn, is door de aanwezigheid van fijne deeltjes en poriënwater. Gronden met een grote hoeveelheid aan fijne korrels zijn slecht waterdoorlatend en houden bijgevolg het poriënwater goed vast. Hierdoor kan dit water niet ontwijken bij verdichten en gaat de grond zich plastisch gedragen. Dit wil zeggen dat

de verdichtingsenergie opgevangen wordt door het poriënwater en er geen verdichting optreedt.

5.3 Optimale verdichting

De resultaten tonen aan dat grond in zowel de kleine mal als de middelmatige mal een optimale verdichtingstijd heeft, namelijk 30 seconden per laag voor de kleine mal en 40 seconden per laag voor de middelmatige mal. Dit komt overeen met de verwachtingen, doordat de kleine mal het kleinste volume bezit, wordt de grond in deze mal het snelste verdicht, i.e. de hoeveelheid energie per seconde per volume-eenheid grond is het grootste. De middelmatige mal heeft een groter grondvolume en bijgevolg duurt het langer voordat deze voldoende verdicht is doordat de hoeveelheid energie per seconde per volume-eenheid grond lager is. Uit de resultaten volgt dat het elektrische verdichtingstoestel voldoende energie leveren kan om deze grondvolumes te verdichten. Het grondvolume in de grote mal daarentegen kan niet optimaal verdicht worden omdat het te verdichten volume te groot is en daarom zoals besproken niet bruikbaar in de gegeven context. Indien een andere verdichtingsmethode wordt toegepast die meer verdichtingsenergie sneller kan overdragen en dit gelijkmatig over het hele grondoppervlak, is het wel mogelijk om de hoeveelheid verdichtingsenergie per laag te bepalen, maar hier is nog verder onderzoek voor nodig.

5.4 Proefontwikkeling

Tijdens het uitvoeren van de proeven zijn er enkele problemen voorgevallen. Het eerste probleem dat optrad tijdens de uitvoering was het falen van het materiaal. Zowel de slagsonde als de kleine verdichtingsplaat hebben het tijdens de proeven begeven. De slagsonde is gebroken aan de lasverbinding tussen de onderste verdikking en de centrale stang. Dit meettoestel is vervangen door een nieuwe versie met een volle stang i.p.v. een holle waardoor de spanningen, die ontstaan door de klopbeweging van het valgewicht, onder de vloiegrens blijven en het staal niet meer door vermoeiing faalt. De kleine verdichtingsplaat is gebroken ter hoogte van de lasverbinding tussen de holle cilinder en de bodemplaat. Aangezien een dikkere las geen mogelijkheid was doordat de verdichtingsplaat anders niet meer in de kleine mal paste, is er overgegaan op een volle stalen cilinder als verdichtingsplaat, deze is afgebeeld in Figuur 55. In deze figuur is te zien dat er een bout aan de bovenkant bevestigd is, deze zorgt ervoor dat de verdichtingsplaat eenvoudig uit de mal getild kan worden na verdichten. In deze afbeelding is centraal in de cilinder ook een gat te zien, dit gat begrensd de zijdelingse beweging van de boorhamer tijdens het trillen.



Figuur 55: Volle verdichtingsplaat voor de kleine mal

Het tweede probleem dat zich voortdeed, was de grondsamenstelling van de sleufgronden. Deze gronden bevatten namelijk veel grote stenen, met een diameter tot wel 5 cm, die de metingen met de slagsonde belemmerde. Indien de slagsonde op een grote steen botst, dringt dit meettoestel niet verder de grond in. Dit probleem is preventief verholpen door de grond op voorhand te zeven met een zeef diameter 5,6 mm.

Tot slot kan de proefopstelling d.m.v. enkele aanpassingen nog geoptimaliseerd worden. Een eerste optimalisatie is een meetlat op de slagsonde graveren met een maatstreep om de 5 mm. Zo kunnen de proeven aan een vlotter tempo uitgevoerd worden. Aan de binnenkant van de mal is een meetlat ook praktisch zodat de zakking eenvoudig gemeten kan worden en de grond in lagen van 10 cm eveneens makkelijker afleesbaar is. Een laatste optimalisatie is een verwijderbare bodem. Tijdens het uitvoeren van de proeven zijn moeilijkheden opgetreden wanneer de verdichte grond uit te mal gehaald moest worden. De grond blijft aan de zijkant van de mal kleven en komt na zeer veel moeite pas los. Een verwijderbare bodem lost dit probleem op en versnelt de werking.

5.5 Vervolgonderzoek

Om dit onderzoek met de praktijk te linken is nog vervolgonderzoek nodig die de metingen van de ontworpen proefopstelling kan relateren aan de resultaten van de lichte slagsonde die uitgevoerd wordt in werfomstandigheden. Hierdoor wordt het mogelijk om met een meting van de ontworpen slagsonde te bepalen of een grond al dan niet voldoende verdichtbaar is in de praktijk. Momenteel kan de proefopstelling enkel bepalen of een grond verdichtbaar is, niet de mate waarin. Eveneens kan verder onderzoek aantonen in welke mate de beproevingswijze geautomatiseerd kan worden zodat enerzijds menselijke fouten vermeden worden en anderzijds de doorlooptijd gereduceerd wordt.

6 Besluit

Het doel van deze masterproef is het ontwikkelen van een proef die de effectieve verdichtbaarheid van aanvullingsgrond bij sleuven kan meten en bijkomend wordt de optimale verdichtingstijd bepaald waarbij het grondmonster voldoende verdicht is.

Ten eerste zijn de meetparameters in rekening gebracht, hieronder vallen de indring en de zakking. Uit de resultaten volgt dat beide parameters mogelijke meetmethodes zijn om de verdichtbaarheid van een grond te kwantificeren. Desondanks is gebleken dat de indringing de betere keuze is aangezien deze parameter minder gevoelig is voor kleine variaties in beginvolume. Als tweede zijn de toestelparameters onderzocht. De resultaten tonen aan dat de middelmatige mal de betere keuze is van de drie type mallen omdat de grond bij gebruik van deze mal voldoende verdicht geraakt en de meting met de slagsonde niet verstoord. Uit de proeven volgt ook dat de voorkeur gaat naar een verdichtingsplaat die vlak is afgewerkt aan de onderkant. Ten derde zijn de verdichtingsparameters onderzocht, hierbij zijn zowel het betere verdichtingstoestel als verdichtingswijze bepaald. Het elektrische verdichtingstoestel zorgt voor een snellere en betere verdichting dan het mechanische verdichtingstoestel. Daarnaast is gebleken dat het verdichten in lagen van 10 cm weinig tot geen verschil vertoont met het verdichten in één geheel, hierbij geniet de eerste methode echter de voorkeur omdat deze beter aansluit bij de praktijk. Ten vierde zijn de grondparameters onderzocht. Deze resultaten tonen enerzijds aan dat een verdichtbare grond na behandelen niet beter verdichtbaar wordt. Anderzijds wordt een niet verdichtbare grond na behandelen met ongebluste kalk wel verdichtbaar.

Na het testen van de verschillende parameters, is de optimale verdichtingstijd bepaald voor de drie mallen. Hierbij vertoont de grond in de kleine mal de optimale verdichting na 30 seconden, indien deze grond in lagen van 10 cm met het elektrische verdichtingstoestel op stand II verdicht wordt. Dit komt overeen met een toevoeging van 15.870 joule per laag. Daarnaast bereikt de grond in de middelmatige mal een optimale verdichting na 40 seconden per laag wat overeenkomt met een toevoeging van 21.160 joule per laag. Tenslotte wordt besloten dat gronden niet optimaal kunnen verdicht worden in de grote mal met de gebruikte verdichtingstechnieken.

Verder onderzoek is nodig om de resultaten van de proefopstelling te linken met de resultaten van de lichte slagsonde uit de praktijk. Momenteel kan de proefopstelling enkel bepalen of een grond verdichtbaar is, niet de mate waarin. Eveneens kan vervolgonderzoek aantonen in welke mate de beproevingswijze geautomatiseerd kan worden zodat menselijke fouten vermeden worden en de doorlooptijd verkort.

Literatuurlijst

- [1] BESIX, „BESIX,” 2018. [Online]. Available: <https://www.besix.com/nl>. [Geopend 27 maart 2018].
- [2] BESIX Infra, „BESIX Infra,” 2018. [Online]. Available: <https://www.besixinfra.com/nl>. [Geopend 27 maart 2018].
- [3] J. Scholmans, „Aannemingsbedrijf Jos Scholmans,” 2017. [Online]. Available: <https://www.joscholman.nl/nieuws/nieuwe-riolering-voor-amsterdam-oud-zuid>. [Geopend 14 oktober 2017].
- [4] OCW, „Verbetering van grond voor de aanvulling van rioolsleuven en de omhulling van buizen,” 2009. [Online]. Available: <http://www.brrc.be/nl/artikel/a8110>. [Geopend 1 september 2017].
- [5] Grond/Weg/Waterbouw, „Grondstabilisatie en -verbetering met ongebluste kalk,” 2017. [Online]. Available: <http://www.gww-bouw.be/lhoist-groep-grondstabilisatie-en-verbetering-ongebluste-kalk/>. [Geopend 14 oktober 2017].
- [6] F. De Smedt, Grondmechanica, Brussel: Vrije Universiteit Brussel, 2005.
- [7] A. Verruijt, Grondmechanica, Delft: VSSD, 2007.
- [8] F. B. J. Barends, Introduction to soft soil geotechnique, Delft: IOS Press, 2011.
- [9] OCW, „Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen A81/10,” 2017. [Online]. Available: <http://www.brrc.be/nl/artikel/a8110>. [Geopend 1 september 2017].
- [10] OCW, „Verbetering en stabilisatie van grond,” 2017. [Online]. Available: http://www.brrc.be/nl/artikel/n310_00. [Geopend 2 november 2017].
- [11] L. Boehme, M. Joseph, Z. Sierens, G. Strypsteen en J. Benoot, Reuse of excavated Lime Modified Soils, Oostende: Luc Boehme, 2016.
- [12] J. Goffa, Bouwmaterialen, Hasselt: U Hasselt, 2006.
- [13] ENCI: HEIDELBERG CementGroup, „Bouwen begint met cement: CEM I,” mei 2007. [Online]. Available: <http://www.enci.nl/nl/bulk>. [Geopend 11 november 2017].
- [14] I. J. Goffa, Bouwmaterialen, Hasselt: U Hasselt, 2006.
- [15] ENCI: HEIDELBERG CementGroup, „Bouwen begint met cement: CEM II,” mei 2007. [Online]. Available: <http://www.enci.nl/nl/bulk>. [Geopend 13 November 2017].

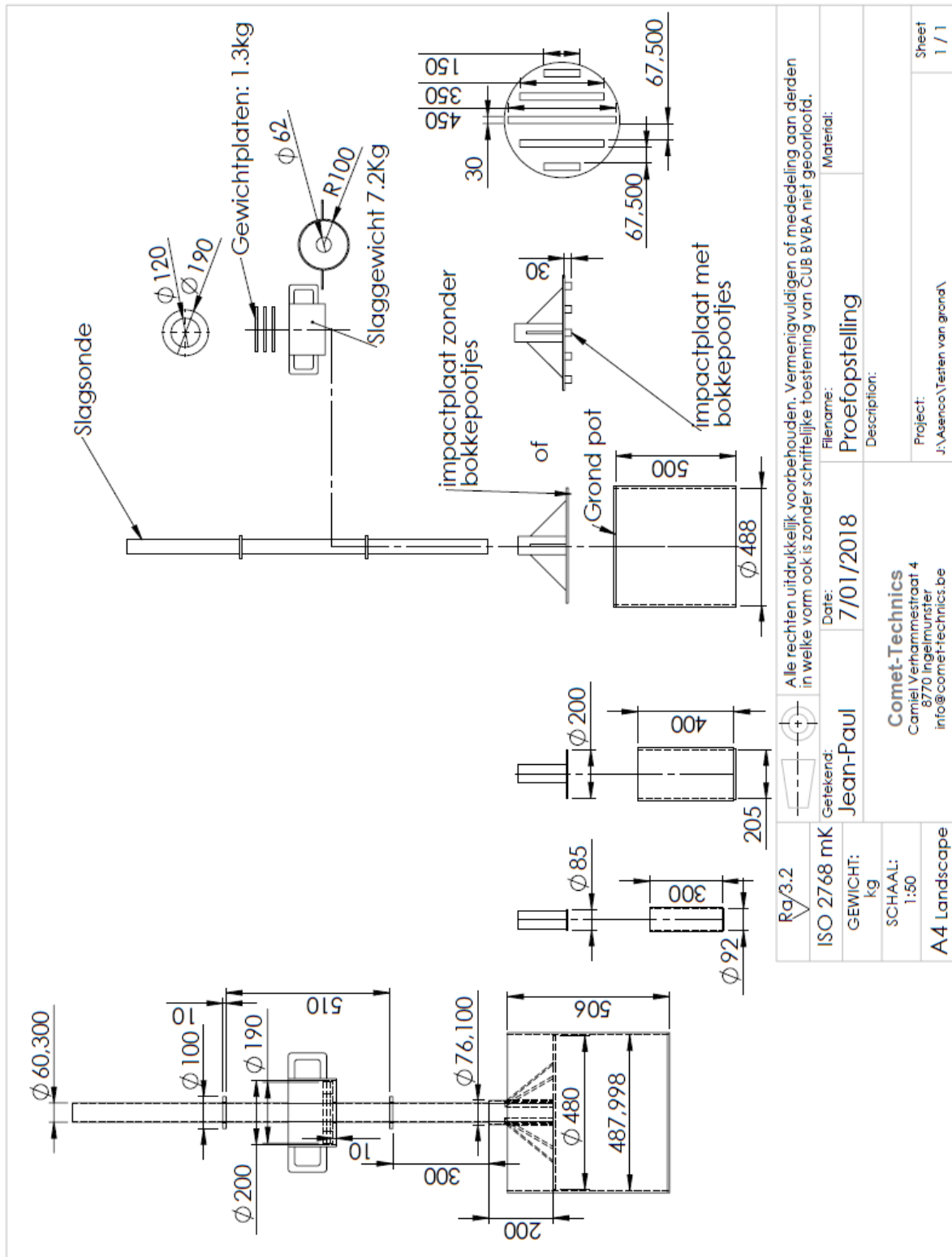
- [16] ENCI: HEIDELBERG CementGroup, „Bouwen begint met cement: CEM III,“ augustus 2006. [Online]. Available: <http://www.enci.nl/nl/bulk>. [Geopend 13 November 2017].
- [17] ENCI: HEIDELBERG CementGroup, „Bouwen begint met cement: CEM V,“ augustus 2006. [Online]. Available: <http://www.enci.nl/nl/bulk>. [Geopend 20 November 2017].
- [18] Febelcem, „Febelcem,“ Juni 2013. [Online]. Available: http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/autres-publications/nl/BelgischCementDepNL.pdf. [Geopend 20 November 2017].
- [19] Fonds voor Vakopleiding in de Bouwnijverheid, „Verdichtingdmachines,“ 2012. [Online]. Available: http://ffc.constructiv.be/~media/Files/Shared/FVB/Bouwplaatsmachines/NL/MECA-verdichtingsmachines_for_web.pdf. [Geopend 20 november 2017].
- [20] OCW, „Verbetering van grond voor de aanvulling van rioolsleuven en de omhulling van buizen A81/10 deel 1,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.cloet.be/upload/attach-document/praktijkgids1.pdf>. [Geopend 1 september 2017].
- [21] Agentschap Wegen en Verkeer, „Standaardbestek 250 voor de wegenbouw,“ December 2016. [Online]. Available: <https://wegenenverkeer.be/standaardbestek-250-versie-31>. [Geopend 11 November 2017].
- [22] J. Kindermans, „De lichte slagsonde in de wegenbouw,“ 1976. [Online]. Available: <http://www.brrc.be/nl/artikel/rv0576>. [Geopend 10 september 2017].
- [23] KURI, „Betrouwbare correlatie: lichte slagsonde type OCW,“ [Online]. Available: http://www.kurio.be/pdf/Kurioinfo_Correlatie.pdf. [Geopend 14 oktober 2017].
- [24] Geotechniek Ondergrond Vlaanderen, „Laboratorium: Dichtheid,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.geotechniekvo.be/nl/laboratorium>. [Geopend 20 november 2017].
- [25] NBN Bureau voor normalisatie, „NBN EN 13286-2,“ november 2010. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/360482?!=E>. [Geopend 20 november 2017].
- [26] NBN Bureau voor normalisatie, „NBN EN 13286-47,“ 2012. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/451351?!=E>. [Geopend 20 november 2017].
- [27] ARVOR Geotechnique: Ingénierie des sols et des fondations, „Indice Portant Immédiat - Indice CBR Immédiat - Indice CBR après immersion,“ 19 februarie 2011. [Online]. Available: http://arvor-geo.fr/einsitu/crbst_22.html. [Geopend 225 november 2017].

[28] HILTI, „TE 76P-ATC,“ 7 juli 2013. [Online]. Available: <https://www.hilti.be/boren-%26-afbraak/combihamers>. [Geopend 15 maart 2018].

Bijlagen

Bijlage A: Maatvoering van de proefopstelling	80
Bijlage B: Classificatie gronden volgens BVSM	81
Bijlage C: Karakteristieken rijnzand	82
Bijlage D: Karakteristieken sleufgrond uit Wellen.....	83
Bijlage E: Karakteristieken sleufgrond uit Tongeren	84
Bijlage F: Karakteristieken sleufgrond uit Diepenbeek	85
Bijlage G: Meetreeks 1	86
Bijlage H: Meetreeks 2	87
Bijlage I: Meetreeks 3	88
Bijlage J: Meetreeks 4	89
Bijlage K: Meetreeks 5	90
Bijlage L: Meetreeks 6.....	91
Bijlage M: Meetreeks 7.....	92
Bijlage N: Meetreeks 8	94
Bijlage O: Meetreeks 9	95
Bijlage P: Meetreeks 10.....	96
Bijlage Q: Meetreeks 11	97
Bijlage R: Meetreeks 12	98
Bijlage S: Meetreeks 13	100
Bijlage T: Meetreeks 14.....	101
Bijlage U: Meetreeks 15	103
Bijlage V: Meetreeks 16	105
Bijlage W: Meetreeks 17.....	106
Bijlage X: Meetreeks 18	107
Bijlage Y: Meetreeks 19.....	108
Bijlage Z: Meetreeks 20	110
Bijlage AA: Meetreeks 21.....	112
Bijlage AB: Meetreeks 22.....	113
Bijlage AC: Meetreeks 23	116
Bijlage AD: Meetreeks 24	119
Bijlage AE: Meetreeks 25.....	120
Bijlage AF: Meetreeks 26.....	122
Bijlage AG: Meetreeks 27	124

Bijlage A: Maatvoering van de proefopstelling



Figuur 1: Maatvoering van de proefopstelling

Ra3.2	Alle rechten uitdrukkelijk voorbehouden. Vermenigvuldigen of mededeling aan derden in welke vorm ook is zonder schriftelijke toestemming van CUB BVBA niet geoorloofd.	Material:
ISO 2768 mK	Getekend: Jean-Paul	Filename: Proefopstelling
GEWICHT: kg	Date: 7/01/2018	Description:
SCHAAL: 1:50	Comet-Technics Carniel Verhammestraat 4 8770 Ingelmunster info@comet-technics.be	
A4 Landscape	Project: J:\Asenoo\Testen van grond\	
	Sheet 1 / 1	

Bijlage B: Classificatie gronden volgens BVSM

Tabel 1: Vlaamse benamingen van grondsoorten en de overeenkomstige fracties [6, p. 25]

Grondsoort	Overeenkomstige fractie	
	Symbool	Korrel diameters
Klei	I	< 2 μm
Leem ¹	II	2 μm – 60 μm
Fijn zand	III	60 μm – 0,2 mm
Grof zand	IV	0,2 mm – 2 mm
Grind	V	2 mm – 20 mm
Stenen	VI	> 20 mm

Tabel 2: Vlaamse benaming van gronden met een fijne fractie groter dan 10% [6, p. 26]

Plasticiteitsindex	Overwegende fractie	Verband klei-leem	Benaming
> 0,25			Klei
0,15 – 0,25	II > 50% III + IV		Leem Zandhoudend klei
0,05 – 0,15	II III + IV	I > II _a I < II _a	Leem Kleihoudend zand Leemhoudend zand
< 0,05		I > II _a I < II _a	Weinig kleihoudend zand Leemhoudend zand

¹ Leem wordt nog opgedeeld in een extra fractie *fijn leem* van 2 μm tot 20 μm [6, p. 25]

Bijlage C: Karakteristieken rijnzand

Tabel 3: Zeefkromme van rijnzand

Zeef (mm)	Massa (g)	Massa (%)	Doorval (%)
6,3	0,0	0,00	100
5,6	0,0	0,00	100
4,0	11,7	0,17	99,83
2,0	533,8	7,55	92,29
1,6	329,1	4,65	87,64
1,0	790,4	11,17	76,46
0,5	2154,8	30,46	46,00
0,25	2764,5	39,08	6,92
0,125	444,0	6,28	0,64
0,063	28,1	0,40	0,25
0,045	17,4	0,25	0,00
Totale massa (g)	7073,8		

Tabel 4: Watergehalte van rijnzand, onbehandeld

m_{schaal} (g)	730,5
$m_{\text{nat, bruto}}$ (g)	7962,1
$m_{\text{netto, bruto}}$ (g)	7231,6
$m_{\text{droog, bruto}}$ (g)	7803,5
$m_{\text{droog, netto}}$ (g)	7073,0
m_{water} (g)	158,6
Watergehalte (%)	2,2

Bijlage D: Karakteristieken sleufgrond uit Wellen

Tabel 5: Zeefkromme van sleufgrond uit Wellen

Zeef (mm)	Massa (g)	Massa (%)	Doorval (%)
6,3	0,0	0,00	100
5,6	7,0	0,11	99,89
4,0	229,2	3,24	96,65
2,0	645,5	9,13	87,52
1,6	189,6	2,68	84,84
1,0	365,3	5,16	79,68
0,5	355,5	5,03	74,65
0,25	2000,4	28,28	46,37
0,125	2075,9	29,35	17,03
0,063	192,1	2,72	14,31
0,045	136,8	1,93	12,38
Totale massa (g)	6190,3		

Tabel 6: Watergehalte van sleufgrond uit Wellen, onbehandeld

m _{schaal} (g)	756,5
m _{nat, bruto} (g)	7645,6
m _{netto, bruto} (g)	6889,1
m _{droog, bruto} (g)	6966,7
m _{droog, netto} (g)	6210,2
m _{water} (g)	678,9
Watergehalte (%)	9,9

Tabel 7: Watergehalte van sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% ongebluste kalk

m _{schaal} (g)	481,7
m _{nat, bruto} (g)	3043,1
m _{netto, bruto} (g)	2561,4
m _{droog, bruto} (g)	2808,6
m _{droog, bruto} (g)	2326,9
m _{droog, netto} (g)	234,5
Watergehalte (%)	9,2

Bijlage E: Karakteristieken sleufgrond uit Tongeren

Tabel 8: Zeefkromme van sleufgrond uit Tongeren

Zeef (mm)	Massa (g)	Massa (%)	Doorval (%)
6,3	0,0	0,00	100
5,6	1,2	0,02	99,98
4,0	88,9	1,26	98,72
2,0	363,7	5,14	93,58
1,6	73,2	1,03	92,55
1,0	160,5	2,27	90,28
0,5	371,0	5,24	85,03
0,25	934,8	13,21	71,82
0,125	1459,2	20,63	51,19
0,063	821,5	11,61	39,58
0,045	1540,0	21,77	17,81
Totale massa (g)	5812,8		

Tabel 9: Watergehalte van sleufgrond uit Tongeren, onbehandeld

m _{schaal} (g)	489,8
m _{nat, bruto} (g)	3507,1
m _{netto, bruto} (g)	3017,3
m _{droog, bruto} (g)	3048,8
m _{droog, netto} (g)	2559,0
m _{water} (g)	458,3
Watergehalte (%)	15,2

Tabel 10: Watergehalte van sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% ongebluste kalk

m _{schaal} (g)	746,0
m _{nat, bruto} (g)	2982,9
m _{netto, bruto} (g)	2236,9
m _{droog, bruto} (g)	2674,6
m _{droog, bruto} (g)	1928,6
m _{droog, netto} (g)	308,3
Watergehalte (%)	13,8

Bijlage F: Karakteristieken sleufgrond uit Diepenbeek

Tabel 11: Zeefkromme van sleufgrond uit Diepenbeek

Zeef (mm)	Massa (g)	Massa (%)	Doorval (%)
6,3	0,0	0,00	100
5,6	68,3	1,11	98,89
4,0	4,6	0,07	98,82
2,0	18,3	0,26	98,56
1,6	9,4	0,13	98,43
1,0	24,0	0,34	98,09
0,5	45,8	0,65	97,44
0,25	261,1	3,69	93,75
0,125	1953,3	27,61	66,14
0,063	2927,4	41,38	24,76
0,045	892,8	12,62	12,13
Totale massa (g)	6136,7		

Tabel 12: Watergehalte van sleufgrond uit Diepenbeek, onbehandeld

m_{schaal} (g)	483,6
$m_{\text{nat, bruto}}$ (g)	3075,8
$m_{\text{netto, bruto}}$ (g)	2592,2
$m_{\text{droog, bruto}}$ (g)	2667,0
$m_{\text{droog, netto}}$ (g)	2183,4
m_{water} (g)	408,8
Watergehalte (%)	15,8

Tabel 13: Watergehalte van sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% ongebluste kalk

m_{schaal} (g)	742,0
$m_{\text{nat, bruto}}$ (g)	3291,5
$m_{\text{netto, bruto}}$ (g)	2549,5
$m_{\text{droog, bruto}}$ (g)	2947,9
$m_{\text{droog, netto}}$ (g)	2205,9
$m_{\text{droog, netto}}$ (g)	343,6
Watergehalte (%)	13,5

Bijlage G: Meetreeks 1

Tabel 14: Meetresultaten meetreeks 1 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, mechanisch verdichtingstoestel zonder verzwaringsringen, niet in lagen verdicht

Aantal slagen	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)
0	Bodem	/	Bodem	/	Bodem	/
1	22,5	6,2	22,0	5,6	22,0	5,8
2	20,5	6,2	20,0	6,8	19,0	6,3
3	17,0	6,2	19,0	7,9	18,5	7,1
4	17,0	6,8	19,5	7,8	16,0	7,0
5	15,5	6,1	17,0	8,7	15,0	8,4
6	16,5	7,6	16,0	8,3	15,0	6,8
7	14,5	6,2	16,0	8,5	15,5	7,1
8	15,5	7,6	15,0	8,4	15,0	7,7
9	14,0	8,0	15,5	8,1	14,5	8,5
10	14,5	8,0	15,0	8,6	14,0	7,8
11	13,0	7,5	15,0	7,9	15,5	8,3
12	14,0	7,6	15,0	8,8	15,0	9,1
13	14,0	6,9	13,5	8,6	14,0	9,2
14	13,5	8,6	14,0	9,0	14,0	8,4
15	12,5	8,9	14,5	9,1	13,0	8,0
16	12,5	8,0	14,0	8,1	12,0	9,1
17	13,5	8,5	13,5	8,5	12,5	9,6
18	12,0	8,0	13,0	8,7	12,5	9,4
19	11,5	9,6	13,0	8,5	12,5	9,6
20	12,5	8,4	12,0	8,4	12,5	8,9
21	11,5	7,8	11,5	8,6	12,0	9,4
22	11,5	8,5	11,0	9,0	12,0	8,0
23	11,5	8,6	11,5	8,5	11,0	8,9
24	11,5	9,0	11,5	8,8	11,5	8,0
25	11,5	9,1	11,5	7,5	11,0	8,2

Bijlage H: Meetreeks 2

Tabel 15: Meetresultaten meetreeks 2 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, mechanisch verdichtingstoestel met verzwaringringen, niet in lagen verdicht

Aantal slagen	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)
0	Bodem	/	Bodem	/	Bodem	/
1	22,0	6,0	20,0	6,3	20,5	6,3
2	18,0	5,5	18,0	7,0	16,5	6,8
3	17,0	7,2	16,0	6,3	16,5	6,5
4	14,5	7,6	17,5	7,9	16,0	7,5
5	14,5	6,6	16,0	8,1	15,5	6,7
6	14,5	7,9	14,5	7,2	16,0	7,8
7	13,5	6,9	15,5	7,6	14,0	6,7
8	14,0	8,6	13,5	8,6	13,5	8,6
9	13,5	7,8	14,0	9,7	13,5	8,2
10	13,5	8,7	12,5	7,5	14,0	8,4
11	13,0	8,5	12,0	8,0	13,0	8,2
12	12,0	7,5	13,5	9,0	12,0	8,7
13	12,5	8,7	13,0	7,8	12,5	7,4
14	11,5	9,3	12,5	7,2	12,0	8,0
15	11,5	6,7	13,0	8,9	11,5	7,8
16	11,0	7,9	12,0	8,4	12,5	7,7
17	11,0	8,1	12,0	9,9	12,0	7,9
18	11,5	9,5	11,5	8,2	12,0	8,2
19	11,0	6,6	11,5	9,7	11,5	9,2
20	11,5	7,8	11,0	10,0	11,0	8,5
21	11,0	8,5	11,0	8,4	11,5	7,8
22	11,0	7,9	11,0	9,2	11,0	9,1
23	11,0	8,4	11,0	9,8	11,0	8,5
24	11,0	8,5	11,0	8,2	11,0	9,2
25	11,0	9,1	11,0	8,7	11,0	8,3

Bijlage I: Meetreeks 3

Tabel 16: Meetresultaten meetreeks 3 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, mechanisch verdichtingstoestel zonder verzwaringsringen, niet in lagen verdicht

Aantal slagen	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)
0	Bodem	/	Bodem	/	Bodem	/
1	Bodem	4,7	Bodem	5,3	Bodem	4,7
2	Bodem	5,5	Bodem	6,3	Bodem	5,5
3	Bodem	6,0	Bodem	6,7	Bodem	6,1
4	Bodem	6,4	Bodem	7,0	Bodem	6,4
5	Bodem	6,6	Bodem	7,3	Bodem	6,7
6	Bodem	6,9	Bodem	7,5	Bodem	6,9
7	Bodem	6,9	Bodem	7,6	Bodem	7,0
8	Bodem	7,1	Bodem	7,8	Bodem	7,1
9	Bodem	7,8	Bodem	7,8	Bodem	7,2
10	27,0	8,1	29,5	8,6	29,5	7,0
12	27,5	8,9	27,5	8,2	28,5	6,0
14	27,0	9,1	26,5	7,9	27,0	7,1
16	26,0	9,7	26,0	8,5	27,0	7,9
18	25,5	9,6	26,5	7,9	26,0	7,4
20	24,0	9,1	25,5	8,4	24,5	7,1
22	22,5	9,5	25,0	8,8	22,5	7,3
24	23,0	9,7	23,0	8,2	21,5	8,5
26	22,0	8,8	21,5	9,1	22,0	8,2
28	21,0	9,1	22,0	9,1	22,0	9,0
30	20,5	9,4	21,5	8,7	20,5	8,7
32	20,0	9,2	21,5	9,6	20,0	8,0
34	20,5	9,7	21,0	9,4	20,5	8,4
36	19,0	9,0	20,0	8,7	19,0	9,0
38	19,5	9,4	20,5	9,2	18,0	8,8
40	19,0	9,9	19,0	8,0	18,5	8,0
42	18,0	10,1	18,5	9,4	18,5	8,5
44	18,5	10,0	18,5	9,3	18,5	8,1
46	18,0	9,3	18,5	9,2	18,0	9,0
48	18,0	9,6	18,0	8,3	16,5	8,8
50	17,0	9,0	17,0	8,7	16,0	9,6
52	17,0	10,0	17,0	9,3	16,5	9,7
54	16,5	9,5	16,5	8,4	17,0	9,1
56	16,0	9,7	16,5	8,2	16,0	9,7
58	16,5	9,5	17,0	8,5	16,5	9,4

Bijlage J: Meetreeks 4

Tabel 17: Meetresultaten meetreeks 4 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, niet in lagen verdicht

Tijd (s)	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)
0	Bodem	/	Bodem	/	Bodem	/
5	22,0	6,8	14,0	7,8	13,0	6,9
10	12,0	7,7	9,5	8,7	11,5	8,1
15	9,5	8,7	9,0	9,3	9,0	9,2
20	9,5	8,8	7,5	9,5	9,5	8,6
25	7,5	10,9	7,5	8,9	7,0	8,3
30	6,5	10,3	7,0	9,9	6,5	8,5

Bijlage K: Meetreeks 5

Tabel 18: Meetresultaten meetreeks 5, meting 1 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting 1				
		Verdichten (s)				
		0	5	10	15	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	10,0	9,0	6,5	7,5
	Slag 2		12,5	12,0	9,0	10,0
	Slag 3		16,0	13,5	11,5	12,0
	Slag 4		17,0	15,5	13,5	13,5
	Slag 5		18,5	17,0	15,5	14,5
	Slag 6		19,0	18,0	16,5	16,0
	Slag 7		19,5	18,0	18,0	17,0
	Slag 8		20,0	19,0	18,0	17,5
Zakking (cm)		/	7,2	9,7	9,9	11,3

Tabel 19: Meetresultaten meetreeks 5, meting 2 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting 2				
		Verdichten (s)				
		0	5	10	15	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	9,5	9,5	6,0	7,0
	Slag 2		12,0	11,5	9,0	10,5
	Slag 3		14,5	13,5	11,0	12,5
	Slag 4		15,5	15,0	13,0	14,0
	Slag 5		16,5	16,5	14,5	15,5
	Slag 6		18,0	17,5	16,0	16,0
	Slag 7		18,0	18,0	17,0	17,0
	Slag 8		19,0	18,5	17,0	18,0
Zakking (cm)		/	9,9	10,0	12,3	10,8

Tabel 20: Meetresultaten meetreeks 5, meting 3 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting 3				
		Verdichten (s)				
		0	5	10	15	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	10,0	9,5	6,5	6,5
	Slag 2		12,0	11,0	10,0	9,5
	Slag 3		15,0	13,0	12,0	11,5
	Slag 4		16,5	14,5	13,5	13,5
	Slag 5		17,0	16,0	15,0	15,0
	Slag 6		17,5	17,0	16,5	16,0
	Slag 7		19,0	18,0	17,0	17,0
	Slag 8		20,5	19,0	17,5	17,5
Zakking (cm)		/	8,2	9,6	11,1	10,8

Bijlage L: Meetreeks 6

Tabel 21: Meetresultaten meetreeks 6 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, niet in lagen verdicht

Tijd (s)	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)
0	Bodem	/	Bodem	/	Bodem	/
5	Bodem	6,2	Bodem	6,2	Bodem	6,3
10	27,5	7,2	28,0	7,4	26,0	7,4
15	25,5	8,6	20,0	8,0	21,0	7,8
20	19,5	8,3	18,5	7,7	17,5	7,6
25	19,5	8,4	16,5	8,7	16,0	8,7
30	15,0	9,1	16,5	8,8	15,5	9,1
40	16,0	9,0	14,0	8,9	14,0	8,4
50	14,5	9,1	13,5	8,6	13,0	8,2
60	13,0	9,3	13,0	9,4	12,5	8,8
90	11,0	9,1	12,5	9,4	11,0	8,6

Bijlage M: Meetreeks 7

Tabel 22: Meetresultaten meetreeks 7, meting 1 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting 1						
		Verdichten (s)						
		0	5	10	15	20	25	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	18,0	15,0	12,5	11,5	11,5	12,0
	Slag 2		23,5	17,0	16,0	15,0	16,0	16,0
	Slag 3		29,0	21,0	19,5	19,0	18,5	18,5
	Slag 4		31,0	23,0	21,5	21,5	22,0	21,5
	Slag 5			25,0	22,0	24,0	24,0	23,5
	Slag 6			26,5	24,0	25,5	25,0	25,0
	Slag 7			27,5	25,0	28,0	26,5	26,5
	Slag 8			29,0	25,5	28,5	27,0	28,0
	Slag 9			31,0	28,0	30,0	30,0	29,5
	Slag 10				31,0	31,0	31,0	31,0
Zakking (cm)		/	8,8	9,4	9,7	9,8	9,7	9,1

Tabel 23: Meetresultaten meetreeks 7, meting 2 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting 2						
		Verdichten (s)						
		0	5	10	15	20	25	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	15,0	16,5	12,0	13,0	12,0	12,0
	Slag 2		21,0	19,0	16,0	16,5	16,0	15,5
	Slag 3		25,5	21,5	19,5	20,0	19,0	17,5
	Slag 4		30,0	24,5	22,0	22,5	21,0	21,0
	Slag 5		31,0	27,0	24,5	24,5	22,5	22,5
	Slag 6			30,0	26,5	26,5	24,0	24,0
	Slag 7			31,0	28,0	28,0	26,0	25,5
	Slag 8				29,0	30,0	28,0	27,5
	Slag 9					29,5	29,0	29,0
	Slag 10						29,5	30,0
Zakking (cm)		/	9,1	9,7	11,2	11,2	10,9	10,6

Tabel 24: Meetresultaten meetreeks 7, meting 3 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting 3						
		Verdichten (s)						
		0	5	10	15	20	25	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	17,5	15,0	13,0	12,5	12,5	11,5
	Slag 2		22,5	18,0	16,0	16,0	16,5	15,0
	Slag 3		27,0	21,0	18,5	19,0	19,5	17,0
	Slag 4		31,0	24,0	21,0	21,0	22,0	20,0
	Slag 5			26,5	22,0	23,5	23,5	21,5
	Slag 6			28,5	24,5	26,0	25,0	23,5
	Slag 7			29,5	26,0	27,5	26,0	25,0
	Slag 8			31,0	28,0	29,0	27,0	27,0
	Slag 9				30,0	29,5	29,0	28,5
	Slag 10						30,0	29,5
Zakking (cm)		/	9,3	9,5	10,0	10,8	10,2	10,9

Bijlage N: Meetreeks 8

Tabel 25: Meetresultaten meetreeks 8, meting centrum – rijnzand, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting centrum				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	20,5	19,0	18,0	17,5
	Slag 2		27,5	25,0	23,5	23,0
	Slag 3		33,0	29,5	27,0	27,0
	Slag 4		37,5	34,0	31,0	30,5
	Slag 5		39,0	37,5	34,5	33,0
	Slag 6			39,0	38,0	37,0
	Slag 7				38,5	38,0
Zakking (cm)		/	10,7	11,4	11,9	12,7

Tabel 26: Meetresultaten meetreeks 8, meting rand 1 – rijnzand, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting rand 1				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	24,0	22,0	19,0	18,0
	Slag 2		32,5	30,0	24,0	24,0
	Slag 3		38,5	35,5	29,5	29,0
	Slag 4		39,0	39,0	34,0	32,0
	Slag 5				35,5	35,0
	Slag 6				38,5	37,0
	Slag 7					38,0
Zakking (cm)		/	10,7	11,4	11,9	12,7

Tabel 27: Meetresultaten meetreeks 8, meting rand 2 – rijnzand, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand I, in lagen verdicht

		Meting rand 2				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	22,5	20,0	19,0	18,0
	Slag 2		30,5	27,0	24,5	24,0
	Slag 3		39,0	31,5	29,0	28,0
	Slag 4			36,0	31,5	32,0
	Slag 5			39,0	35,0	35,0
	Slag 6				38,5	37,0
	Slag 7					38,0
Zakking (cm)		/	10,7	11,4	11,9	12,7

Bijlage O: Meetreeks 9

Tabel 28: Meetresultaten meetreeks 9 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, niet in lagen verdicht

Tijd (s)	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)
0	Bodem	/	Bodem	/	Bodem	/
5	19,0	6,1	20,0	6,1	20,5	5,9
10	15,0	6,5	15,0	6,3	16,0	6,2
15	14,0	6,8	14,5	6,4	15,0	6,7
20	13,0	7,9	15,0	6,6	14,0	6,4
25	14,0	7,4	14,0	7,0	13,0	7,0
30	12,0	7,2	13,0	7,1	12,5	7,2

Bijlage P: Meetreeks 10

Tabel 29: Meetresultaten meetreeks 10, meting 1 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1				
		Verdichten (s)				
		0	5	10	15	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	12,5	9,5	9,0	9,0
	Slag 2		16,5	13,0	12,5	12,5
	Slag 3		18,5	15,5	14,0	14,0
	Slag 4		20,0	17,5	16,0	16,0
	Slag 5		21,5	19,5	18,0	17,5
	Slag 6		22,5	20,5	19,5	18,5
	Slag 7			22,0	20,5	19,0
	Slag 8					
Zakking (cm)		/	8,1	8,9	10,4	11,5

Tabel 30: Meetresultaten meetreeks 10, meting 2 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2				
		Verdichten (s)				
		0	5	10	15	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	11,5	9,0	9,0	9,0
	Slag 2		14,5	14,0	12,5	12,0
	Slag 3		16,5	16,0	16,0	15,5
	Slag 4		20,0	18,0	17,0	16,5
	Slag 5		20,5	20,0	18,0	18,5
	Slag 6		21,0	21,0	19,5	19,0
	Slag 7				20,0	20,5
	Slag 8				21,0	21,0
Zakking (cm)		/	9,4	9,3	9,8	9,3

Tabel 31: Meetresultaten meetreeks 10, meting 3 – rijnzand, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3				
		Verdichten (s)				
		0	5	10	15	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	11,0	10,0	9,0	9,0
	Slag 2		15,0	13,5	12,0	12,0
	Slag 3		18,0	16,0	14,5	14,0
	Slag 4		19,5	17,5	15,5	15,5
	Slag 5		21,0	20,0	18,0	17,5
	Slag 6		21,5	20,5	19,0	18,5
	Slag 7				20,0	19,0
	Slag 8					19,5
Zakking (cm)		/	8,9	9,8	10,2	10,9

Bijlage Q: Meetreeks 11

Tabel 32: Meetresultaten meetreeks 11 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, niet in lagen verdicht

Tijd (s)	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)	Indringing (cm)	Zakking (cm)
0	Bodem	/	Bodem	/	Bodem	/
5	23,0	7,2	22,5	7,1	22,5	7,0
10	16,0	8,1	15,0	8,3	16,5	8,2
15	15,5	9,6	13,0	9,4	15,0	8,8
20	12,0	9,8	12,0	9,2	12,5	9,3
25	13,5	10,0	11,0	9,8	13,0	9,6
30	12,0	10,5	10,5	10,4	11,5	9,7
40	11,0	10,2	11,0	9,3	11,0	9,5
50	10,0	10,9	11,0	10,0	10,0	10,2
60	10,0	10,9	10,0	9,7	9,5	10,1
90	9,5	10,5	9,5	10,0	9,5	10,2

Bijlage R: Meetreeks 12

Tabel 33: Meetresultaten meetreeks 12, meting 1 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1						
		Verdichten (s)						
		0	5	10	15	20	25	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	14,0	12,0	11,0	10,0	10,5	9,5
	Slag 2		18,0	15,0	14,0	13,0	13,5	12,0
	Slag 3		21,0	17,0	16,0	15,5	16,0	14,0
	Slag 4		24,0	20,0	18,0	17,5	18,0	15,5
	Slag 5		26,0	21,5	20,0	19,5	19,5	17,0
	Slag 6		28,5	23,0	21,5	21,0	21,0	18,5
	Slag 7		29,5	25,0	23,0	22,0	22,0	20,0
	Slag 8			26,5	24,5	23,5	22,5	21,5
	Slag 9			28,0	25,5	25,0	24,5	22,5
	Slag 10			29,0	26,5	26,0	25,5	23,5
	Slag 11				27,5	27,0	26,5	24,5
	Slag 12				28,5	27,5	27,0	25,0
	Slag 13				29,0	28,0	27,5	25,5
	Slag 14						28,0	26,5
	Slag 15							27,5
	Slag 16							28,0
Zakking (cm)		/	10,7	11,3	11,2	12,7	12,7	12,2

Tabel 34: Meetresultaten meetreeks 12, meting 2 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2						
		Verdichten (s)						
		0	5	10	15	20	25	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	14,0	10,5	9,0	10,5	9,0	9,0
	Slag 2		17,5	14,0	13,0	13,5	12,5	11,5
	Slag 3		22,0	17,0	15,0	15,5	14,5	14,0
	Slag 4		25,0	19,0	18,0	17,0	16,5	16,0
	Slag 5		28,0	21,0	19,5	19,0	18,0	16,5
	Slag 6		30,0	22,5	21,0	21,0	19,5	18,5
	Slag 7			24,0	22,5	22,0	20,0	19,5
	Slag 8			25,5	24,0	23,0	22,0	21,0
	Slag 9			27,5	25,0	24,5	23,0	21,5
	Slag 10			28,5	26,5	26,0	24,0	22,5
	Slag 11			29,0	27,5	27,0	25,0	23,5
	Slag 12				28,5	28,0	26,0	24,0
	Slag 13					28,5	27,0	24,5
	Slag 14						27,5	25,5
	Slag 15						28,0	26,5
	Slag 16							27,5
Zakking (cm)		/	10,8	11,4	12,1	12,0	12,2	13,3

Tabel 35: Meetresultaten meetreeks 12, meting 3 – rijnzand, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3						
		Verdichten (s)						
		0	5	10	15	20	25	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	13,0	11,5	11,5	10,5	10,0	9,0
	Slag 2		16,5	14,5	14,5	13,5	13,0	12,0
	Slag 3		20,0	17,0	16,5	16,0	15,5	14,0
	Slag 4		23,0	19,0	19,0	18,5	17,5	15,5
	Slag 5		25,5	20,5	20,5	20,5	19,0	16,5
	Slag 6		28,0	22,0	22,5	22,0	20,5	18,0
	Slag 7		29,0	23,5	24,0	23,0	21,5	19,0
	Slag 8			25,5	25,5	24,0	22,5	20,0
	Slag 9			27,0	26,5	25,5	23,5	21,0
	Slag 10			28,5	27,5	26,5	25,0	22,0
	Slag 11			29,0	28,5	27,5	26,0	23,5
	Slag 12					28,0	27,0	24,0
	Slag 13						27,5	25,0
	Slag 14						28,0	26,0
	Slag 15							27,0
	Slag 16							27,5
Zakking (cm)		/	11,1	11,4	11,7	12,4	12,1	12,9

Bijlage S: Meetreeks 13

Tabel 36: Meetresultaten meetreeks 13, meting centrum – rijnzand, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting centrum				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	17,0	16,0	16,0	14,0
	Slag 2		24,0	21,5	21,0	20,0
	Slag 3		29,0	25,5	24,5	23,5
	Slag 4		32,5	29,0	28,5	27,0
	Slag 5		37,0	34,0	31,0	29,5
	Slag 6		38,5	37,5	33,0	32,0
	Slag 7			38,5	35,0	34,5
	Slag 8				37,5	37,0
	Slag 9				38,5	38,0
Zakking (cm)		/	11,8	12,0	12,2	12,5

Tabel 37: Meetresultaten meetreeks 13, meting rand 1 – rijnzand, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 1				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	20,5	18,0	17,0	16,0
	Slag 2		27,0	23,5	23,0	21,0
	Slag 3		31,0	28,0	27,0	25,5
	Slag 4		34,5	32,5	31,0	28,5
	Slag 5		38,5	36,0	34,0	32,0
	Slag 6			38,5	37,0	34,5
	Slag 7				38,5	37,5
	Slag 8					38,0
	Slag 9					
Zakking (cm)		/	11,8	12,0	12,2	12,5

Tabel 38: Meetresultaten meetreeks 13, meting rand 2 – rijnzand, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 2				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	19,0	16,5	18,0	15,0
	Slag 2		26,5	23,0	24,0	22,5
	Slag 3		32,0	28,0	28,0	27,0
	Slag 4		37,0	33,0	31,5	30,0
	Slag 5		38,5	37,5	34,5	33,5
	Slag 6			38,5	38,0	36,5
	Slag 7				38,5	38,0
	Slag 8					
	Slag 9					
Zakking (cm)		/	11,8	12,0	12,2	12,5

Bijlage T: Meetreeks 14

Tabel 39: Meetresultaten meetreeks 14, meting 1 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	4,5	4,0	2,5	3,0
	Slag 2		6,5	6,0	5,5	4,5
	Slag 3		8,5	7,0	7,0	6,0
	Slag 4		10,5	7,5	8,5	7,5
	Slag 5		12,0	10,5	9,5	8,5
	Slag 6		13,5	12,0	11,0	9,5
	Slag 7		14,5	13,5	12,0	10,5
	Slag 8		15,5	15,0	13,5	11,5
	Slag 9		17,0	15,5	14,0	13,0
	Slag 10		18,0	16,0	15,0	14,0
	Slag 11		18,5	17,0	16,5	14,5
	Slag 12		19,0	18,0	17,5	15,5
	Slag 13					16,0
	Slag 14					16,5
	Slag 15					17,0
Zakking (cm)		/	11,2	12,1	12,6	13,0

Tabel 40: Meetresultaten meetreeks 14, meting 2 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	5,0	4,0	2,5	2,5
	Slag 2		7,0	5,5	4,5	4,0
	Slag 3		9,0	6,5	6,5	5,5
	Slag 4		10,5	8,0	8,0	7,0
	Slag 5		11,5	9,0	9,0	8,0
	Slag 6		13,0	10,5	10,5	9,5
	Slag 7		14,0	11,5	11,5	11,0
	Slag 8		15,0	12,5	12,5	11,5
	Slag 9		16,0	13,0	13,5	12,5
	Slag 10		17,0	14,0	14,5	13,0
	Slag 11		17,5	15,0	15,0	14,0
	Slag 12		18,0	16,0	15,5	15,0
	Slag 13			17,0	16,5	15,5
	Slag 14			17,5	17,0	16,0
	Slag 15					16,5
Zakking (cm)		/	12,3	13,1	13,2	13,7

Tabel 41: Meetresultaten meetreeks 14, meting 3 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	5,0	3,5	3,0	3,0
	Slag 2		7,5	5,5	4,0	4,5
	Slag 3		8,0	7,0	6,0	5,5
	Slag 4		9,0	8,5	7,5	6,5
	Slag 5		10,5	9,5	8,5	7,5
	Slag 6		12,0	11,5	9,5	8,5
	Slag 7		13,0	12,5	11,0	10,0
	Slag 8		15,5	13,5	12,5	11,0
	Slag 9		16,5	14,0	14,0	12,0
	Slag 10		17,0	15,0	15,0	12,5
	Slag 11		17,5	16,0	16,0	13,5
	Slag 12		18,0	16,5	16,5	14,5
	Slag 13			17,0	17,0	15,0
	Slag 14					15,5
	Slag 15					16,0
Zakking (cm)		/	12,0	13,0	13,1	14,0

Bijlage U: Meetreeks 15

Tabel 42: Meetresultaten meetreeks 15, meting 1 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	6,0	5,0	5,0	4,0	4,5
	Slag 2		9,0	8,0	8,0	7,0	6,5
	Slag 3		11,5	10,0	9,5	9,0	7,5
	Slag 4		13,5	12,0	11,0	10,5	9,5
	Slag 5		15,0	13,0	12,0	12,0	11,0
	Slag 6		16,5	14,5	13,0	13,0	11,5
	Slag 7		18,0	16,0	14,5	14,0	13,0
	Slag 8		19,5	17,0	15,5	15,0	14,0
	Slag 9		20,5	18,0	16,5	16,0	15,0
	Slag 10		22,0	19,5	17,5	17,5	16,0
	Slag 11		23,0	20,0	18,5	18,5	17,0
	Slag 12		24,0	21,0	19,5	19,5	18,0
	Slag 13		24,5	22,0	20,0	20,5	19,0
	Slag 14			23,0	21,0	21,0	20,0
	Slag 15			24,0	22,0	22,0	21,0
	Slag 16			24,5	22,5	23,0	22,0
	Slag 17				23,0	24,0	23,0
	Slag 18				24,0	24,5	23,5
	Slag 19				25,0	25,0	24,0
Zakking (cm)		/	15,7	16,2	15,1	15,5	16,3

Tabel 43: Meetresultaten meetreeks 15, meting 2 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	5,0	5,5	4,5	5,0	4,0
	Slag 2		9,5	8,0	7,0	7,0	6,0
	Slag 3		12,5	10,0	8,5	9,0	7,5
	Slag 4		14,5	12,0	10,5	10,5	9,0
	Slag 5		17,0	13,0	12,0	11,5	10,5
	Slag 6		19,0	14,5	13,5	13,0	11,5
	Slag 7		20,5	15,5	14,5	14,0	12,5
	Slag 8		22,0	17,0	16,0	15,0	13,5
	Slag 9		23,0	18,0	17,0	16,5	15,0
	Slag 10		24,0	19,0	18,0	17,0	16,0
	Slag 11		25,0	20,5	19,0	18,0	17,0
	Slag 12		26,0	21,5	20,0	19,0	18,0
	Slag 13			23,0	21,0	20,5	19,0
	Slag 14			24,0	22,0	21,5	20,0
	Slag 15			24,5	23,0	22,5	21,0
	Slag 16			25,0	24,0	23,0	22,0
	Slag 17				24,5	23,5	23,0
	Slag 18				25,0	24,0	23,5
	Slag 19						24,0
Zakking (cm)		/	14,6	15,2	15,1	16,6	16,8

Tabel 44: Meetresultaten meetreeks 15, meting 3 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	5,5	5,0	5,0	4,5	5,0
	Slag 2		8,5	7,0	7,5	6,0	6,5
	Slag 3		10,5	10,0	9,5	8,0	8,5
	Slag 4		12,5	12,0	11,5	10,0	10,0
	Slag 5		15,0	14,0	13,0	12,0	11,0
	Slag 6		17,0	16,0	14,0	13,5	12,5
	Slag 7		19,5	17,0	15,5	14,5	13,5
	Slag 8		21,0	18,0	17,0	15,5	14,5
	Slag 9		22,5	19,0	18,5	16,5	16,0
	Slag 10		24,0	20,5	19,5	17,5	17,0
	Slag 11		25,0	21,5	20,5	18,5	18,0
	Slag 12		25,5	22,5	22,0	19,5	19,0
	Slag 13			24,0	23,0	20,5	20,0
	Slag 14				23,5	21,0	20,5
	Slag 15					21,5	21,5
	Slag 16					22,0	22,0
	Slag 17					23,0	22,5
	Slag 18						23,0
	Slag 19						
Zakking (cm)		/	14,6	15,3	16,2	16,2	15,9

Bijlage V: Meetreeks 16

Tabel 45: Meetresultaten meetreeks 16, meting centrum – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting centrum				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	18,0	15,0	14,5	13,0
	Slag 2		33,0	22,0	20,0	21,0
	Slag 3		39,0	27,0	27,5	26,5
	Slag 4			31,5	32,0	31,0
	Slag 5			35,5	36,5	36,5
	Slag 6			38,5	38,0	37,0
Zakking (cm)		/	50,0	49,8	50,7	50,4

Tabel 46: Meetresultaten meetreeks 16, meting rand 1 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 1				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	23,0	26,0	21,0	18,0
	Slag 2		39,0	37,5	31,0	27,0
	Slag 3			38,5	38,0	35,0
	Slag 4					37,0
	Slag 5					
	Slag 6					
Zakking (cm)		/	50,0	49,8	50,7	50,4

Tabel 47: Meetresultaten meetreeks 16, meting rand 2 – Sleufgrond uit Wellen, onbehandeld, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 2				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	28,0	22,0	19,0	22,0
	Slag 2		39,0	30,5	28,5	33,0
	Slag 3			38,5	38,0	37,0
	Slag 4					
	Slag 5					
	Slag 6					
Zakking (cm)		/	50,0	49,8	50,7	50,4

Bijlage W: Meetreeks 17

Tabel 48: Meetresultaten meetreeks 17 – Sleufgrond uit Tongeren, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting		
		Verdichten (s)		
		0	10	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	9,0	9,0
	Slag 2		16,0	19,0
	Slag 3		23,0	26,0
	Slag 4		28,0	
Zakking (cm)		/	12,0	14,4

Bijlage X: Meetreeks 18

Tabel 49: Meetresultaten meetreeks 18 – Sleufgrond uit Diepenbeek, onbehandeld, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting		
		Verdichten (s)		
		0	10	20
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	7,5	10,0
	Slag 2		11,0	15,0
	Slag 3		14,0	18,0
	Slag 4		16,5	20,5
	Slag 5		18,0	22,0
	Slag 6		20,0	24,5
	Slag 7		22,0	
	Slag 8		24,0	
	Slag 9		25,5	
Zakking (cm)		/	14,9	16,3

Bijlage Y: Meetreeks 19

Tabel 50: Meetresultaten meetreeks 19, meting 1 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	4,0	3,0	2,5	4,0
	Slag 2		6,5	5,0	5,0	5,0
	Slag 3		8,5	7,0	6,0	6,5
	Slag 4		10,5	8,0	8,0	8,0
	Slag 5		11,5	10,0	9,0	9,0
	Slag 6		13,5	11,0	10,0	10,5
	Slag 7		14,5	12,0	11,0	11,0
	Slag 8		15,5	12,5	12,0	11,5
	Slag 9		16,5	13,5	12,5	12,5
	Slag 10		17,5	14,0	14,0	13,5
	Slag 11		18,0	15,0	14,5	14,0
	Slag 12			16,0	15,0	15,0
	Slag 13			16,5	16,0	15,5
	Slag 14				16,5	16,0
	Slag 15					
Zakking (cm)		/	12,5	14,1	13,8	14,7

Tabel 51: Meetresultaten meetreeks 19, meting 2 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	4,5	3,5	4,0	3,5
	Slag 2		6,5	5,5	4,5	5,0
	Slag 3		8,5	6,0	5,5	6,5
	Slag 4		10,0	8,0	6,5	8,0
	Slag 5		11,5	9,0	7,5	8,5
	Slag 6		13,0	11,0	9,5	10,0
	Slag 7		14,5	12,5	11,0	11,0
	Slag 8		16,0	13,5	11,5	12,0
	Slag 9		17,0	14,5	12,5	13,0
	Slag 10		18,0	15,0	13,5	13,5
	Slag 11			16,0	14,5	14,0
	Slag 12			16,5	15,0	14,5
	Slag 13			17,0	15,5	15,0
	Slag 14				16,0	15,5
	Slag 15					16,0
Zakking (cm)		/	12,9	13,6	14,4	14,6

Tabel 52: Meetresultaten meetreeks 19, meting 3 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	4,0	4,0	3,5	3,5
	Slag 2		6,0	6,0	5,0	5,0
	Slag 3		8,0	7,5	6,5	6,0
	Slag 4		9,5	9,0	8,0	7,5
	Slag 5		11,0	10,5	9,0	9,0
	Slag 6		13,0	11,5	10,0	10,0
	Slag 7		14,5	12,5	11,5	11,0
	Slag 8		16,0	13,5	12,5	12,0
	Slag 9		17,0	14,0	13,5	13,0
	Slag 10		17,5	15,0	14,5	14,0
	Slag 11			16,0	15,0	14,5
	Slag 12			16,5	15,5	15,0
	Slag 13				16,0	15,5
	Slag 14					16,0
	Slag 15					
Zakking (cm)		/	13,0	13,9	14,4	14,3

Bijlage Z: Meetreeks 20

Tabel 53: Meetresultaten meetreeks 20, meting 1 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	6,0	5,5	5,0	5,0	5,0
	Slag 2		9,0	8,0	7,5	6,5	7,0
	Slag 3		11,5	10,5	10,0	8,5	8,5
	Slag 4		13,0	12,0	11,5	10,5	10,0
	Slag 5		15,5	13,5	13,5	12,0	11,5
	Slag 6		18,0	15,5	15,0	13,5	13,0
	Slag 7		20,0	16,5	16,5	15,0	14,0
	Slag 8		21,5	18,0	17,5	16,0	15,0
	Slag 9		23,5	19,5	19,0	17,0	16,0
	Slag 10		25,0	21,0	20,5	18,0	17,0
	Slag 11		25,5	22,0	21,5	19,0	18,0
	Slag 12			23,0	22,5	20,0	19,0
	Slag 13			23,5	23,0	21,0	20,5
	Slag 14					22,0	21,0
	Slag 15					22,5	22,0
	Slag 16					23,0	22,5
	Slag 17						23,5
	Slag 18						24,0
	Slag 19						
Zakking (cm)		/	14,9	16,5	17,2	17,2	16,4

Tabel 54: Meetresultaten meetreeks 20, meting 2 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5
	Slag 2		8,5	8,0	7,0	6,5	5,5
	Slag 3		11,5	10,5	9,0	8,5	8,0
	Slag 4		13,5	12,5	10,5	10,0	9,5
	Slag 5		15,5	13,5	12,0	11,5	11,0
	Slag 6		17,0	15,5	13,0	12,5	11,5
	Slag 7		19,5	16,5	14,0	13,5	12,5
	Slag 8		21,0	18,0	15,5	15,0	14,0
	Slag 9		23,0	19,0	17,0	16,0	15,0
	Slag 10		24,0	20,5	18,0	17,0	16,0
	Slag 11		25,0	22,0	19,0	17,5	17,0
	Slag 12			23,0	20,5	18,5	17,5
	Slag 13			24,0	21,5	19,5	18,5
	Slag 14				22,5	20,0	19,5
	Slag 15				23,5	21,0	20,5
	Slag 16				24,5	22,0	21,0
	Slag 17					22,5	22,0
	Slag 18					23,0	22,5
	Slag 19						23,0
Zakking (cm)		/	15,1	16,1	15,7	16,9	16,8

Tabel 55: Meetresultaten meetreeks 20, meting 3 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	5,5	5,0	5,0	4,5	5,0
	Slag 2		8,5	7,0	7,5	6,0	6,5
	Slag 3		10,5	10,0	9,5	8,0	8,5
	Slag 4		12,5	12,0	11,5	10,0	10,0
	Slag 5		15,0	14,0	13,0	12,0	11,0
	Slag 6		17,0	16,0	14,0	13,5	12,5
	Slag 7		19,5	17,0	15,5	14,5	13,5
	Slag 8		21,0	18,0	17,0	15,5	14,5
	Slag 9		22,5	19,0	18,5	16,5	16,0
	Slag 10		24,0	20,5	19,5	17,5	17,0
	Slag 11		25,0	21,5	20,5	18,5	18,0
	Slag 12		25,5	22,5	22,0	19,5	19,0
	Slag 13			24,0	23,0	20,5	20,0
	Slag 14				23,5	21,0	20,5
	Slag 15					21,5	21,5
	Slag 16					22,0	22,0
	Slag 17					23,0	22,5
	Slag 18						23,0
	Slag 19						
Zakking (cm)		/	14,5	16,1	16,9	17,0	17,1

Bijlage AA: Meetreeks 21

Tabel 56: Meetresultaten meetreeks 21, meting centrum – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting centrum				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	17,0	11,0	11,0	10,0
	Slag 2		30,0	17,0	16,0	16,0
	Slag 3		34,5	21,5	22,0	23,0
	Slag 4			29,5	29,0	27,0
	Slag 5			33,5	33,5	31,5
	Slag 6					33,0
Zakking (cm)		/	15,8	16,8	17,0	17,2

Tabel 57: Meetresultaten meetreeks 21, meting rand 1 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 1				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	24,0	17,0	16,0	22,0
	Slag 2		34,5	25,0	29,0	30,0
	Slag 3			32,5	33,5	33,0
	Slag 4			33,5		
	Slag 5					
	Slag 6					
Zakking (cm)		/	15,8	16,8	17,0	17,2

Tabel 58: Meetresultaten meetreeks 21, meting rand 2 – Sleufgrond uit Wellen, behandeld met 1% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 2				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	32,0	20,5	21,0	14,0
	Slag 2		34,5	31,0	33,0	22,5
	Slag 3			33,5	33,5	31,0
	Slag 4					33,0
	Slag 5					
	Slag 6					
Zakking (cm)		/	15,8	16,8	17,0	17,2

Bijlage AB: Meetreeks 22

Tabel 59: Meetresultaten meetreeks 22, meting 1 – Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	2,0	2,0	1,5	1,5
	Slag 2		3,0	3,0	2,0	2,0
	Slag 3		3,5	4,0	3,0	2,5
	Slag 4		4,5	4,5	3,5	3,0
	Slag 5		5,0	5,0	4,0	3,5
	Slag 6		5,5	5,5	5,0	4,0
	Slag 7		6,0	6,0	5,5	4,5
	Slag 8		7,0	6,0	6,0	5,0
	Slag 9		7,5	7,0	6,5	5,5
	Slag 10		8,0	7,5	7,0	6,0
	Slag 11		8,5	8,0	7,5	6,0
	Slag 12		9,5	8,5	8,0	6,5
	Slag 13		10,0	9,0	8,5	7,0
	Slag 14		10,5	9,5	9,0	7,0
	Slag 15		11,0	10,0	9,5	7,5
	Slag 16		11,5	10,5	10,0	8,0
	Slag 17		11,5	11,0	10,5	8,5
	Slag 18		12,0	11,5	11,0	9,0
	Slag 19		13,0	12,0	11,5	9,5
	Slag 20		13,5	12,5	11,5	10,0
	Slag 21		14,0	13,0	12,0	10,5
	Slag 22		14,5	13,5	12,5	11,0
	Slag 23		14,5	14,0	12,5	11,5
	Slag 24		15,0	14,5	13,0	12,0
	Slag 25		15,5	15,0	13,5	12,5
	Slag 26		16,0	15,5	14,0	12,5
	Slag 27		16,5	16,0	14,5	13,0
	Slag 28		16,5	16,5	14,5	13,0
	Slag 29		17,0	17,0	15,0	13,5
	Slag 30				15,0	14,0
	Slag 31				15,5	14,5
	Slag 32				16,0	15,0
	Slag 33				16,0	15,0
	Slag 34				16,5	15,5
	Slag 35					16,0
	Slag 36					
Zakking (cm)		/	13,1	13,3	13,9	14,5

Tabel 60: Meetresultaten meetreeks 22, meting 2 – Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	2,0	2,0	1,5	1,0
	Slag 2		3,0	3,0	3,0	2,0
	Slag 3		4,0	4,0	3,5	2,5
	Slag 4		5,0	4,5	4,0	3,0
	Slag 5		5,5	5,0	4,5	3,5
	Slag 6		6,0	6,0	5,0	4,0
	Slag 7		6,5	6,5	5,5	4,5
	Slag 8		7,0	7,0	6,0	5,0
	Slag 9		7,5	7,5	6,5	5,0
	Slag 10		8,5	8,0	7,0	5,5
	Slag 11		9,5	8,5	7,0	6,0
	Slag 12		10,0	9,0	7,5	6,5
	Slag 13		10,5	9,5	8,0	7,0
	Slag 14		10,5	10,0	8,5	7,5
	Slag 15		11,0	10,5	9,0	7,5
	Slag 16		11,5	11,0	9,5	8,0
	Slag 17		12,0	11,0	10,0	8,5
	Slag 18		12,5	11,5	10,0	9,0
	Slag 19		13,0	12,0	10,5	9,5
	Slag 20		14,0	12,5	10,5	10,0
	Slag 21		14,5	13,0	11,0	10,0
	Slag 22		15,0	13,5	11,0	10,5
	Slag 23		15,5	14,0	11,5	11,0
	Slag 24		16,0	14,0	12,0	11,5
	Slag 25		16,5	14,5	12,0	11,5
	Slag 26		16,5	14,5	12,5	12,0
	Slag 27		17,0	15,0	13,0	12,5
	Slag 28			15,5	13,5	13,0
	Slag 29			16,0	13,5	13,5
	Slag 30			16,5	14,0	13,5
	Slag 31			17,0	14,0	14,0
	Slag 32				14,5	14,0
	Slag 33				14,5	14,5
	Slag 34				15,0	14,5
	Slag 35				15,5	15,0
	Slag 36					15,5
Zakking (cm)		/	13,1	13,4	14,5	14,7

Tabel 61: Meetresultaten meetreeks 22, meting 3 – Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3				
		Verdichten (s)				
		0	10	20	30	40
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	2,5	2,0	1,5	1,0
	Slag 2		3,0	3,0	2,0	1,5
	Slag 3		4,0	4,0	3,0	2,0
	Slag 4		5,0	4,5	4,0	2,5
	Slag 5		6,0	5,0	4,5	3,0
	Slag 6		6,5	5,5	5,0	3,5
	Slag 7		7,0	6,0	5,5	4,0
	Slag 8		7,5	6,5	6,0	4,5
	Slag 9		8,0	6,5	6,5	4,5
	Slag 10		8,5	7,0	7,0	5,0
	Slag 11		9,0	7,5	7,5	5,5
	Slag 12		9,5	8,0	8,0	6,0
	Slag 13		10,0	8,5	8,0	6,5
	Slag 14		10,5	9,0	8,5	7,0
	Slag 15		11,0	10,0	9,0	7,5
	Slag 16		11,5	10,5	9,5	8,0
	Slag 17		12,0	11,0	10,0	8,0
	Slag 18		12,5	11,5	10,5	8,5
	Slag 19		12,5	12,0	11,0	9,0
	Slag 20		13,0	12,5	11,5	9,5
	Slag 21		13,5	13,0	11,5	10,0
	Slag 22		14,0	13,5	12,0	10,0
	Slag 23		14,5	14,0	12,0	10,5
	Slag 24		15,0	14,5	12,5	11,0
	Slag 25		15,5	15,0	12,5	11,0
	Slag 26		16,0	15,5	13,0	11,5
	Slag 27		16,5	16,0	13,0	12,0
	Slag 28		17,0	16,5	13,5	12,5
	Slag 29		17,5	17,0	14,0	13,0
	Slag 30				14,0	13,0
	Slag 31				14,5	13,5
	Slag 32				15,5	14,0
	Slag 33				15,5	14,5
	Slag 34				16,0	14,5
	Slag 35				16,5	15,0
	Slag 36					
Zakking (cm)		/	12,6	13,5	14,2	15,1

Bijlage AC: Meetreeks 23

Tabel 62: Meetresultaten meetreeks 23, meting 1 – Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	5,0	4,0	3,0	4,0	3,5
	Slag 2		7,0	6,5	5,0	6,0	5,0
	Slag 3		10,0	9,5	7,0	7,0	6,0
	Slag 4		12,0	11,5	8,5	9,0	7,5
	Slag 5		14,5	13,0	10,5	10,5	9,0
	Slag 6		15,5	15,0	11,0	11,0	10,0
	Slag 7		18,5	17,0	12,5	12,5	11,0
	Slag 8		21,0	19,0	14,0	14,0	12,5
	Slag 9		23,0	20,5	15,5	15,5	13,5
	Slag 10		24,0	22,0	16,5	16,5	15,0
	Slag 11		25,0	24,0	18,0	17,5	16,0
	Slag 12		26,0	25,0	19,0	18,5	17,0
	Slag 13		26,5	25,5	21,0	20,0	18,0
	Slag 14			26,0	22,0	21,0	19,0
	Slag 15			26,5	23,5	22,0	20,0
	Slag 16				24,0	23,0	21,5
	Slag 17				25,0	23,5	22,5
	Slag 18				25,5	24,0	23,0
	Slag 19					24,5	23,5
	Slag 20						24,0
	Slag 21						
Zakking (cm)	/	13,6	13,8	14,6	15,8	15,9	

Tabel 63: Meetresultaten meetreeks 23, meting 2 – Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0
	Slag 2		7,5	6,0	5,0	5,0	5,0
	Slag 3		9,5	8,0	6,5	6,5	6,0
	Slag 4		11,5	9,5	8,0	8,0	7,0
	Slag 5		14,0	11,5	10,0	10,0	8,5
	Slag 6		16,0	14,0	11,0	11,5	10,0
	Slag 7		18,5	15,5	12,5	12,0	11,0
	Slag 8		20,0	17,5	13,5	13,0	12,0
	Slag 9		21,5	19,5	15,0	15,0	13,5
	Slag 10		23,0	21,0	16,0	16,0	14,5
	Slag 11		24,5	22,5	17,5	17,0	15,5
	Slag 12		25,5	23,5	18,0	18,0	17,0
	Slag 13		26,5	24,5	19,0	19,5	18,0
	Slag 14			25,5	20,0	20,5	18,5
	Slag 15			26,0	21,0	21,0	19,5
	Slag 16				22,0	22,0	20,0
	Slag 17				23,0	22,5	20,5
	Slag 18				23,5	23,0	21,5
	Slag 19				24,0	23,5	22,0
	Slag 20						22,5
	Slag 21						23,0
Zakking (cm)		/	13,7	14,1	16,3	16,5	16,8

Tabel 64: Meetresultaten meetreeks 23, meting 3 – Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
	Slag 2		6,5	6,5	5,5	5,0	5,0
	Slag 3		9,5	9,5	7,5	7,0	7,0
	Slag 4		11,5	11,0	9,5	8,5	8,5
	Slag 5		13,5	13,0	11,0	10,0	9,5
	Slag 6		15,5	15,5	12,0	11,0	10,5
	Slag 7		17,5	17,0	13,0	12,5	11,5
	Slag 8		20,5	19,0	14,5	14,0	12,5
	Slag 9		22,5	21,0	16,0	16,0	14,5
	Slag 10		24,0	22,0	17,5	17,0	15,5
	Slag 11		25,0	23,5	19,0	18,0	16,5
	Slag 12		26,0	24,5	20,0	19,0	17,5
	Slag 13			25,0	22,0	20,0	18,5
	Slag 14			25,5	23,0	21,0	19,5
	Slag 15			26,0	24,5	22,0	20,5
	Slag 16				25,0	23,0	21,5
	Slag 17				25,5	23,5	22,5
	Slag 18				26,0	24,0	23,0
	Slag 19					24,5	23,5
	Slag 20						24,0
	Slag 21						
Zakking (cm)		/	14,3	14,0	14,7	15,5	16,6

Bijlage AD: Meetreeks 24

Tabel 65: Meetresultaten meetreeks 24, meting centrum- Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting centrum				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	31,0	17,0	18,0	15,5
	Slag 2		40,0	33,0	34,5	23,0
	Slag 3		41,0	38,5	39,0	28,5
	Slag 4			39,5		34,0
	Slag 5					39,0
Zakking (cm)		/	9,1	10,5	10,7	10,8

Tabel 66: Meetresultaten meetreeks 24, meting rand 1- Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 1				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	33,5	21,0	31,0	26,0
	Slag 2		41,0	33,0	38,0	37,0
	Slag 3			39,5	39,0	39,0
	Slag 4					
	Slag 5					
Zakking (cm)		/	9,1	10,5	10,7	10,8

Tabel 67: Meetresultaten meetreeks 24, meting rand 2- Sleufgrond uit Tongeren, behandeld met 2% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 2				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	33,0	30,0	26,0	19,0
	Slag 2		41,0	37,5	35,0	32,5
	Slag 3			39,5	39,0	39,0
	Slag 4					
	Slag 5					
Zakking (cm)		/	9,1	10,5	10,7	10,8

Bijlage AE: Meetreeks 25

Tabel 68: Meetresultaten meetreeks 25, meting 1 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1			
		Verdichten (s)			
		0	10	20	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	3,5	2,5	2,5
	Slag 2		5,0	4,5	4,5
	Slag 3		7,0	6,0	6,0
	Slag 4		8,0	7,5	7,0
	Slag 5		9,5	8,5	8,0
	Slag 6		10,5	10,0	9,0
	Slag 7		11,5	10,5	9,5
	Slag 8		12,0	11,5	10,5
	Slag 9		13,0	12,5	12,0
	Slag 10		14,0	13,0	12,5
	Slag 11		14,5	13,5	13,0
	Slag 12		15,5	14,0	13,5
	Slag 13		16,0	14,5	14,0
	Slag 14		16,5	15,0	14,5
	Slag 15			15,5	15,0
	Slag 16				
Zakking (cm)		/	13,7	14,6	15,2

Tabel 69: Meetresultaten meetreeks 25, meting 2 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2			
		Verdichten (s)			
		0	10	20	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	3,5	2,5	3,0
	Slag 2		5,0	4,5	5,0
	Slag 3		6,0	5,5	6,5
	Slag 4		7,5	6,0	7,5
	Slag 5		9,0	6,5	8,0
	Slag 6		10,5	7,5	9,0
	Slag 7		11,5	8,5	10,0
	Slag 8		12,0	9,5	10,5
	Slag 9		13,5	10,5	11,5
	Slag 10		14,5	11,5	12,5
	Slag 11		14,0	12,5	13,5
	Slag 12		14,5	13,5	14,0
	Slag 13		15,0	14,0	14,5
	Slag 14		16,0	14,5	15,0
	Slag 15			15,0	15,5
	Slag 16			15,5	
Zakking (cm)		/	14,3	15,3	14,5

Tabel 70: Meetresultaten meetreeks 25, meting 3 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, kleine mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3			
		Verdichten (s)			
		0	10	20	30
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	4,0	3,0	2,5
	Slag 2		6,0	5,0	4,5
	Slag 3		7,5	6,5	6,5
	Slag 4		8,5	7,5	7,5
	Slag 5		9,5	8,0	8,5
	Slag 6		11,0	9,5	9,5
	Slag 7		12,0	10,5	10,0
	Slag 8		13,0	11,5	11,0
	Slag 9		14,0	12,5	11,5
	Slag 10		14,5	13,0	12,0
	Slag 11		15,0	14,0	12,5
	Slag 12		15,5	14,5	13,0
	Slag 13		16,0	15,0	13,5
	Slag 14		16,5	15,5	14,0
	Slag 15			16,0	14,5
	Slag 16				15,0
Zakking (cm)	/	13,6	14,5	15,4	

Bijlage AF: Meetreeks 26

Tabel 71: Meetresultaten meetreeks 26, meting 1 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 1					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	7,5	7,5	6,0	5,0	4,5
	Slag 2		12,5	12,0	9,5	8,0	6,5
	Slag 3		16,0	15,5	12,5	10,5	9,0
	Slag 4		19,5	18,5	15,0	12,5	10,5
	Slag 5		22,0	21,0	16,5	14,0	12,0
	Slag 6		24,0	22,0	18,0	15,0	13,0
	Slag 7		25,0	23,0	19,0	16,5	14,5
	Slag 8			24,0	20,0	17,0	15,5
	Slag 9			24,5	21,0	17,5	16,5
	Slag 10			25,0	22,0	18,5	17,0
	Slag 11				22,5	19,5	18,0
	Slag 12				23,0	20,5	19,0
	Slag 13				23,5	21,5	20,0
	Slag 14				24,0	22,0	20,5
	Slag 15				24,5	22,5	21,0
	Slag 16					23,0	21,5
	Slag 17					23,5	22,0
	Slag 18						22,5
Zakking (cm)		/	15,7	15,7	16,1	16,5	17,4

Tabel 72: Meetresultaten meetreeks 26, meting 2 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 2					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	7,5	7,0	7,0	5,5	5,0
	Slag 2		13,0	11,0	10,0	8,0	7,5
	Slag 3		16,5	15,0	13,0	10,5	9,5
	Slag 4		20,0	17,5	16,0	13,0	11,0
	Slag 5		23,0	20,0	18,0	14,5	12,5
	Slag 6		24,5	22,0	19,5	16,0	13,5
	Slag 7			23,5	20,5	17,0	14,5
	Slag 8			24,5	21,5	18,0	15,5
	Slag 9				22,0	19,0	16,5
	Slag 10				22,5	20,0	17,5
	Slag 11				23,0	20,5	18,5
	Slag 12				23,5	21,0	19,5
	Slag 13				24,0	21,5	20,0
	Slag 14					22,0	21,0
	Slag 15					22,5	21,5
	Slag 16					23,0	22,0
	Slag 17					23,5	22,5
	Slag 18						
Zakking (cm)		/	16,0	16,1	16,3	16,9	17,7

Tabel 73: Meetresultaten meetreeks 26, meting 3 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, middelmatige mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting 3					
		Verdichten (s)					
		0	10	20	30	40	50
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	7,0	7,0	6,5	5,0	4,5
	Slag 2		12,0	12,0	10,5	8,0	7,0
	Slag 3		15,5	15,0	14,0	11,0	9,5
	Slag 4		18,5	18,0	16,5	13,0	11,5
	Slag 5		21,0	20,5	18,0	15,0	13,0
	Slag 6		23,0	22,5	19,5	16,5	14,0
	Slag 7		24,5	23,5	20,5	17,5	15,0
	Slag 8			24,0	21,5	18,0	16,0
	Slag 9				22,5	19,0	17,0
	Slag 10				23,0	20,0	17,5
	Slag 11				23,5	20,5	18,5
	Slag 12				24,0	21,5	19,5
	Slag 13					22,0	20,5
	Slag 14					23,0	21,0
	Slag 15					23,5	21,5
	Slag 16					24,0	22,0
	Slag 17						23,0
	Slag 18						23,5
Zakking (cm)		/	15,8	16,4	16,1	16,8	16,9

Bijlage AG: Meetreeks 27

Tabel 74: Meetresultaten meetreeks 27, meting centrum – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting centrum				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	17,0	14,5	15,0	14,0
	Slag 2		30,0	28,0	25,5	22,0
	Slag 3		36,0	35,0	33,5	28,5
	Slag 4		38,0	37,0	36,5	35,0
	Slag 5					36,0
Zakking (cm)		/	12,1	13,3	13,4	14,1

Tabel 75: Meetresultaten meetreeks 27, meting rand 1 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 1				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	30,0	34,0	34,5	34,0
	Slag 2		38,0	37,0	36,5	36,0
	Slag 3					
	Slag 4					
	Slag 5					
Zakking (cm)		/	12,1	13,3	13,4	14,1

Tabel 76: Meetresultaten meetreeks 27, meting rand 2 – Sleufgrond uit Diepenbeek, behandeld met 3% kalk, grote mal, elektrisch verdichtingstoestel op stand II, in lagen verdicht

		Meting rand 2				
		Verdichten (s)				
		0	30	60	90	120
Indringing (cm)	Slag 1	Bodem	33,0	35,0	34,0	34,0
	Slag 2		38,0	37,0	36,5	36,0
	Slag 3					
	Slag 4					
	Slag 5					
Zakking (cm)		/	12,1	13,3	13,4	14,1

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Ontwikkeling van een proef ter bepaling van de effectieve verdichtbaarheid van behandelde en onbehandelde gronden

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**
Jaar: **2018**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Molderez, Sofie

Willaert, Tijs

Datum: **2/06/2018**