

2020 • 2021
Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Sondeerverslagen versus Eurocode 7: onderzoek naar de spreiding van gerapporteerde draagvermogens

PROMOTOR :

Prof. dr. ing. Bram VANDOREN

PROMOTOR :

ing. Jonas CLAES

COPROMOTOR :

ing. Phil MELARD

Lowie Poelmans

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

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



2020 • 2021

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Sondeerverslagen versus Eurocode 7: onderzoek naar de spreiding van gerapporteerde draagvermogens

PROMOTOR :

Prof. dr. ing. Bram VANDOREN

PROMOTOR :

ing. Jonas CLAES

COPROMOTOR :

ing. Phil MELARD

Lowie Poelmans

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



KU LEUVEN

Voorwoord

Bij de keuze van mijn masterproef, wilde ik naast een studie uitvoeren ook graag iets ontwikkelen of verder uitwerken. Het onderzoek naar het draagvermogen van funderingen op staal voor het studiebureau AB Associates was daarbij een ideale keuze. Bij deze masterproef wordt er naast een onderzoek ook een berekeningstool geoptimaliseerd. Hierdoor kon ik de theorie van het onderzoek implementeren in de tool en kreeg ik meer inzicht in hoe een studiebureau in de praktijk te werk gaat. Doorheen deze studie werd het me duidelijk dat grondmechanica een complexe wetenschap is en verder gaat dan de basisformules uit de lessen Geotechniek. Deze complexiteit maakte het onderzoek net interessant doordat er veel factoren te onderzoeken vielen. Verder werd het ook duidelijk dat grondmechanica geen exacte wetenschap is. Voor de interpretatie van resultaten wordt er vaak beroep gedaan op ervaring of vakkennis, wat vaak leidt tot verschil in resultaten.

Graag zou ik een aantal mensen bedanken die mij hebben bijgestaan om mijn thesis tot een goed einde te brengen. Eerst en vooral wil ik mijn promotoren Prof. dr. ing. Bram Vandoren, Ing. Jonas Claes en Ing. Phil Melard bedanken. Prof. Dr. ing. Bram Vandoren stond steeds paraat om mijn voortgang op te volgen en advies te geven omtrent mijn onderzoek en scriptie. Zijn raad zorgde ervoor dat ik de correcte stappen ondernam in mijn onderzoek en die ook gebundeld kreeg in deze scriptie. Ing. Jonas Claes en Ing. Phil Melard wisten, ondanks hun eigen drukke agenda, steeds tijd vrij te maken om de resultaten van mijn onderzoek te overlopen en mij op de juiste denkpijlers te zetten. Verder wil ik Dr. Giovanni Vanroelen bedanken voor zijn hulp met de statistische analyse van de resultaten. Ook mijn ouders Erwin Poelmans en Fanny Vannitsem speelden een belangrijke rol in deze masterproef. Zij zaten voortdurend achter mijn veren en zorgde ervoor dat ik steeds op schema bleef. Tot slot wil ik mijn broer Stef Poelmans bedanken voor het kritisch controleren en verbeteren van mijn spellings- en grammatikafouten.

Oprechte dank!

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Lijst van tabellen.....	5
Lijst met figuren.....	7
Abstract	9
Abstract	11
1 Inleiding	13
1.1 Situering	13
1.3 Doelstellingen.....	14
1.4 Methode.....	14
2 Wetenschappelijke achtergrond berekeningstool.....	17
2.1 Inleiding.....	17
2.2 Analyse ondergrond	18
2.2.1 Sonderingen	18
2.2.2 Boringen	19
2.2.3 Classificatie van de ondergrond	20
2.2.4 Implementatie in berekeningstool.....	21
2.3 Het geotechnisch ontwerp	22
2.3.1 Ontwerpeisen	22
2.3.2 Ontwerpbenadering	23
2.3.3 Partiële factoren.....	23
2.3.4 Implementatie in berekeningstool.....	24
2.4 Berekening draagvermogen	25
2.4.1 Analytische oplossing	25
2.4.2 Excentrische belasting.....	27
2.4.3 Invloedsdiepte.....	29
2.4.4 Grondwaterstand	30
2.4.5 Implementatie in berekeningstool.....	31
3 Aanpak sondeerfirma's.....	35
3.1 Inleiding.....	35
3.2 Analyse ondergrond	35
3.3 Berekening draagvermogen	36
4 Vergelijking resultaten	39
4.1 Inleiding.....	39
4.2 Methode.....	39
4.2.1 Berekening draagkracht volgens sondeerverslagen	39

4.2.2 berekening draagkracht volgens berekeningstool	41
4.2.3 Berekening draagkracht volgens qc/10.....	41
4.3 Resultaten.....	42
4.4 Discussie resultaten.....	49
4.4.1 Globale vaststellingen	49
4.4.2 Analyse ondergrond	49
4.4.3 Invloed aanzetdiepte.....	50
4.4.4 Invloed breedte-term draagvermogen.....	51
4.4.5 Vuistregel qc/10	52
4.4.6 Invloed ondergrond.....	52
5 Besluit.....	53
Bibliografie	55
Bijlagenlijst	57
Bijlage A: Optimalisatie berekeningstool	59
Bijlage B: Correcties berekeningstool	65
Revisie berekening “geval 3” gedraineerde toestand.....	66
Bijlage C: Resultaten berekening draagkracht	69
Bijlage D: Standaardtabel met karakteristieke waarden voor grondparameters	76

Lijst van tabellen

Tabel 1: Berekeningsmethodes sondeerverslagen	37
Tabel 2: Kengetallen vergelijking resultaten berekeningstool en sondeerverslag	42
Tabel 3: Kengetallen effect aanzetdiepte	44
Tabel 4: Kengetallen analyse afmetingen zool zonder opsplitsing breedte	45
Tabel 5: Kengetallen effect afmetingen zool met opsplitsing breedte	45
Tabel 6: kerngetallen effecten ondergrond	47
Tabel 7: vergelijking onderverdeling grondlagen SGS_Peer_S1	50

Lijst met figuren

Figuur 1: Schematische voorstelling van een sondeerpunt (a), uitvoering van een diepsondering (b)	18
Figuur 2: Elektrische sondeersonde	19
Figuur 3: Analyse ondergrond in berekeningstool	21
Figuur 4: Detail zone C analyse ondergrond in berekeningstool	21
Figuur 5: Invoerblok gegevens belasting berekeningstool	24
Figuur 6: Stap 1a bepaling belasting en effectieve breedte berekeningstool	24
Figuur 7: Veronderstelde bezwijktoestand strookfundering	25
Figuur 8: Excentrische belasting in breedterichting	27
Figuur 9: Reductiefactor voor draagvermogen bij excentrische belastingen	28
Figuur 10: Weergave invloedsdiepte en invloedsbreedte	29
Figuur 11: Gegevens funderingszool en invloedsdieptes berekeningstool	31
Figuur 12: Keuze situatie + resultaten berekeningstool	31
Figuur 13: Berekening draagvermogen ongedraineerde toestand berekeningstool	32
Figuur 14: Berekening draagvermogen gedraineerd geval 1 en 2 berekeningstool	33
Figuur 15: Berekening draagvermogen gedraineerde toestand geval 3 berekeningstool	34
Figuur 16: Berekening invloedsdiepte fictief funderingsvlak berekeningstool	34
Figuur 17: Resultaten van de verhouding draagkracht berekeningstool / draagkracht sonderingverslag	43
Figuur 18: Resultaten effect aanzetdiepte	44
Figuur 19: Analyse resultaten afmetingen zool zonder opsplitsing breedte	45
Figuur 20: Resultaten effect afmetingen zool met opsplitsing breedte	45
Figuur 21: Analyse ondergrond	47
Figuur 22: Sondering SGS_Peer_S1	49
Figuur 23: Integratie macro "Invloedsdiepte gedraineerd" in Excelsheet	59
Figuur 24: Vergelijking methodes interpretatie sonderingen	62
Figuur 25: Integratie functie "qc_gem_laag" Excelsheet	63
Figuur 26: berekening grondparameters invloedsdiepte fictief funderingsvlak	66
Figuur 27: Berekening draagvermogen in gedraineerde situatie "geval 3"	67

Abstract

AB Associates heeft twijfels bij de berekende draagvermogens gerapporteerd in sondeerverslagen van diverse sondeerfirma's. Daardoor hebben ze zelf een berekeningstool ontwikkeld om het draagvermogen van funderingen te berekenen. Deze masterproef heeft als doel de betrouwbaarheid van de draagvermogens weergegeven in de sondeerverslagen te onderzoeken. Bijkomend wordt de berekeningstool van de firma geoptimaliseerd en gecontroleerd op overeenstemming met de Eurocodes.

De betrouwbaarheid wordt gecontroleerd door een vergelijking te maken tussen de draagvermogens weergegeven in de sondeerverslagen en deze berekend met de berekeningstool. De gegevens van de berekeningstool zijn gebaseerd op de sondeergegevens uit de sondering. Bij de vergelijking worden drie aanzetniveaus en drie zoolafmetingen onderzocht.

De vergelijking toont aan dat het draagvermogen onderschat wordt in sondeerverslagen bij funderingszolen van grote afmetingen. Ook bij funderingen op kelderniveau wordt het draagvermogen onderschat in sondeerverslagen. Voor een nauwkeurige berekening van de draagkracht is een uitgebreid terreinonderzoek aangeraden. Dat heeft een positief effect op het berekende draagvermogen. Een eigen berekening van de draagkracht is dus noodzakelijk. Dat komt voornamelijk door het feit dat afmetingen van de zool, de richting van de belasting en de eventuele aanwezigheid van een kelder niet gekend zijn op het moment van de sondering.

Abstract

AB associates is doubtful about the calculated load-bearing capacities shown in cone penetration test (CPT) reports from various CPT companies. As a result, they have developed their own calculation tool to calculate the bearing capacity of foundations. The aim of this master's thesis is to investigate the reliability of the bearing capacities shown in the CPT reports. In addition, the company's calculation tool is optimised and checked for compliance with the Eurocodes.

The reliability is checked by making a comparison between the load capacities given in the probe reports and those calculated with the calculation tool. The data of the tool are based on the data from the CPT. In the comparison, three depths of foundations and three slab dimensions are examined.

The comparison shows that the bearing capacity is underestimated in CPT reports for foundation slabs of large dimensions. The bearing capacity is also underestimated in CPT reports for basement level foundations. For an accurate calculation of the bearing capacity, a comprehensive site investigation is recommended, which has a positive effect on the calculated bearing capacity. An own calculation of the bearing capacity is therefore necessary. This is mainly due to the fact that the dimensions of the slab, the direction of the load and the possible presence of a basement are not known at the time of the CPT.

1 Inleiding

1.1 Situering

Als masterstudent Industriële ingenieurswetenschappen aan de UHasselt krijg ik de kans om mijn masterproef te realiseren bij AB Associates te Hasselt. AB Associates is een studiebureau opgericht in 1999 en telt een 15-tal ingenieurs en bouwkundig experts. Deze ingenieurs en bouwkundig experts ondersteunen de driehoek bouwheer, architect en aannemer met hun specialisatie in het uitvoeren van stabiliteitsstudies en het ontwerpen van driedimensionale structuurplannen. Ze voeren hun studies zo uit dat iedere bouwpartij er voordeel uit kan halen. Dat doen de medewerkers door dagelijks berekeningen, technische evaluaties en controletaken nauwkeurig uit te voeren [1].

Een belangrijk onderdeel van een stabiliteitsstudie is de berekening van de fundering. Die heeft als functie het overdragen van de belastingen van de structuur op de ondergrond. Voor de berekening van het draagvermogen van de fundering baseren ze zich op sonderingsrapporten die aangeleverd worden door verschillende sonderingsfirma's. Deze rapporten bestaan uit: de proefresultaten van de sondering, alle geologische en geotechnische informatie, de geologische interpretatie van de proefresultaten en een richtinggevend funderingsadvies. Dit funderingsadvies bestaat zowel uit de meest geschikte funderingstechniek voor het respectievelijke project alsook het draagvermogen van de fundering [2].

Sinds kort hebben de ingenieurs van AB Associates zelf een tool ontwikkeld om de draagkracht te berekenen van funderingen. Deze tool is opgesteld in overeenstemming met de Eurocodes. De Eurocodes zijn Europese normen en richtlijnen voor het berekenen en ontwerpen van gebouwen en structuren van de burgerlijke bouwkunde die er gekomen zijn in het kader van de Europese eenwording [3]. In de tool worden de resultaten van een diepsondering ingevoerd. Daaruit wordt de gelaagdheid van de grond afgeleid en worden vervolgens grondeigenschappen bepaald. Deze grondeigenschappen worden dan gebruikt om de draagkracht en afmetingen van funderingen te berekenen.

1.2 Probleemstelling

De sondeerverslagen geven een waarde voor het draagvermogen, maar over de randvoorwaarden en berekeningsmethode is vaak weinig geweten. Veel van deze aspecten dateren ook al van voor de invoering van de Eurocodes. Verder is het draagvermogen ook afhankelijk van de belasting en de afmetingen van de fundering. Deze gegevens zijn bij een sondeerverslag niet gegeven. Het is dus niet zeker dat de draagvermogens weergegeven in de sondeerverslagen in overeenstemming zijn met de moderne normen.

Om daarin zeker te zijn, heeft AB Associates zelf een tool ontwikkeld, zoals eerder beschreven. Deze tool kan echter nog verder geoptimaliseerd worden. Zo moeten de invloedsdiepte en de afmetingen van de funderingszool nog handmatig berekend worden. Verder zijn er nog enkele problemen bij de analyse van de diepsonderingen. Zo geven diepsonderingen een eerder grillige weergave van de conusweerstand. Dat kan veroorzaakt worden door mogelijke stenen of andere oneffenheden in de ondergrond. Dat grillig patroon maakt het wel ingewikkeld om de ondergrond te interpreteren. De ingenieurs van AB Associates hebben een techniek om deze oneffenheden af te vlakken, maar zijn niet zeker over de wiskundige correctheid van deze methode.

1.3 Doelstellingen

De hoofddoelstelling van deze masterproef is om onderzoek te doen naar de betrouwbaarheid van de draagvermogens, weergegeven in de sondeerverslagen. Door dit onderzoek uit te voeren, weten de medewerkers van AB Associates wanneer ze die resultaten kunnen gebruiken en in welke gevallen ze aandachtig moeten zijn. Deze hoofddoelstelling wordt onderverdeeld in drie deeldoelstellingen:

- De eerste doelstelling bestaat eruit om de berekeningsmethode van de berekening van fundering op staal te begrijpen volgens Eurocode 7. Dat gaat gepaard met het begrijpen van de berekeningstool.
- Een tweede doelstelling is om meer inzicht te krijgen in de gebruikte rekenmethodes en randvoorwaarden gebruikt door de sondeerfirma's, wat cruciaal is om een latere vergelijking te maken van de resultaten.
- De derde doelstelling is het uitvoeren van een vergelijking tussen de resultaten van de sondeerverslagen en deze bekomen volgens de berekeningstool. Deze vergelijking maakt het mogelijk om de betrouwbaarheid te controleren. Eventuele afwijkingen in resultaten zullen uitgelicht en verklaard worden.

Daarnaast zijn er ook nevendoelestellingen met betrekking tot de optimalisatie van de berekeningstool. Het is de bedoeling dat een ingenieur van AB Associates op een kwartier tijd een zoalfundering kan berekenen. Daarvoor zal de berekening van de invloedsdiepte binnen de tool geautomatiseerd worden. Dit is momenteel een iteratief proces dat handmatig moet worden uitgevoerd. Voorts zal de tool nagekeken worden op de correctheid van de berekeningsmethodes en tot slot zal de overeenkomst met de Eurocodes gecontroleerd worden.

1.4 Methode

Om een duidelijk beeld te krijgen van de berekeningsmethode voor funderingen op staal volgens de Eurocodes, werd een literatuurstudie uitgevoerd. Deze literatuurstudie werd herwerkt tot hoofdstuk 2: wetenschappelijke achtergrond berekeningstool. In dit hoofdstuk wordt de theorie van de berekening gekoppeld aan de berekeningstool. Dit maakt het mogelijk om de werking van de berekeningstool te begrijpen.

Om meer inzicht te krijgen in de berekeningsmethodes en randvoorwaardes van de sondeerfirma's, werden 40 sondeerverslagen van 14 sondeerfirma's geanalyseerd. Daarbij werd er gezocht naar beschrijvingen van de gebruikte methodes, randvoorwaardes en beperkingen. Bij het ontbreken van relevante informatie, werd er contact opgenomen met de respectievelijke firma en verdere duiding gevraagd. De resultaten van deze analyse worden weergegeven in hoofdstuk 3:

Berekeningsmethodes sondeerverslagen

De eigenlijke vergelijking werd uitgevoerd door de resultaten van de 40 sondeerverslagen opnieuw te berekenen met de berekeningstool. De resultaten van respectievelijk de sondeerverslagen en berekeningstool werden uitgedrukt als een ratio om zo de verschillen weer te geven. De verklaringen voor de verschillen werden gezocht in zowel de literatuur als bij de sondeerfirma's. De resultaten van de vergelijking zijn terug te vinden in hoofdstuk 4.

Het is belangrijk om op te merken dat deze vergelijking enkel betrekking heeft op het evenwichtsdragvermogen. Het vormveranderingsvermogen (zettingen) werd niet bestudeerd.

Voor de optimalisatie van de berekeningstool werd er gebruik gemaakt van VBA. VBA staat voor Visual Basic for Application en is een programmeertaal gecreëerd door Microsoft. Daarmee is het mogelijk om code te schrijven die uitgevoerd wordt binnen de programma's van Excel. Een macro is een voorbeeld van VBA: het is een geprogrammeerde actie. Er werden macro's geschreven voor de berekening van de invloedsdiepte, de analyse van sondeerverslagen en het bepalen van de grondsoorten van de ondergrond. Deze macro's maken de berekeningstool gebruiksvriendelijker en zorgen ervoor dat de berekening van een fundering op staal binnen 15 minuten kan gebeuren. De stappen van elke macro alsook de code kunnen gevonden worden in Bijlage A.

Voor de controle van de berekeningstool werd de Reader Geotechniek van de werkgroep waterbouw KIVI afdeling Hoger Onderwijs Techniek geraadpleegd [4]. Daarin staat een stappenplan voor de berekening van funderingen op staal volgens de Eurocodes. De verschillende stappen werden getoetst aan de berekeningsmethodes van de berekeningstool. De correcties aan de berekeningstool worden weergegeven in Bijlage B.

2 Wetenschappelijke achtergrond berekeningstool

2.1 Inleiding

De berekeningstool werd ontwikkeld om het draagvermogen van funderingen op staal te kunnen berekenen volgens de huidige Europese normen. Een fundering is het onderste deel van een gebouw of structuur van burgerlijke bouwkunde en heeft als functie het overdragen van de belastingen van de structuur op de ondergrond.

Funderingen op staal worden toegepast wanneer de grondeigenschappen op geringe diepte voldoende goed zijn. Men spreekt van een ondiepe fundering wanneer de breedte van de fundering groter is dan de diepte van de fundering. Meestal wordt er gewerkt met een verbrede voet om de spanningen afkomstig uit de constructie beter te kunnen spreiden over een groter oppervlak van de ondergrond. De term “op staal” is afkomstig uit het Oudgermaanse ‘Stal’ (staan op, rusten op) en heeft dus niets te maken met het materiaal [4].

In de grondmechanica worden traditioneel reken- en ontwerpmethodes gebruikt die hun nut bewezen hebben in de praktijk. Om de veiligheid te garanderen werd er vroeger gewerkt met aanzienlijke veiligheidsfactoren (2 à 3 bij het draagvermogen van funderingen op staal) om de onzekerheden van de berekeningsmethoden en grondeigenschappen op te vangen. De waardes van veiligheidscoëfficiënten waren gebaseerd op ervaring en inzicht. Dat maakt dat de veiligheidsfactoren verschilden van geval tot geval en daarbovenop waren er ook nog grote verschillen tussen de verschillende landen. Om dat probleem op te vangen werden op Europees niveau de Eurocodes opgesteld. De Eurocodes nemen de onzekerheden op de belasting, grondeigenschappen en rekenmethodes afzonderlijk in rekening door gebruik te maken van partiële veiligheidscoëfficiënten [5]. Doordat normen sterk afhankelijk zijn van nationale gebruiken en wetgeving, is het onvoldoende om enkel de rekenregels in de Eurocodes te gebruiken. Daarvoor zijn de Nationale bijlages toegevoegd. Daarin staan specifieke bepalingen voor elk land. Voor deze studie zijn Eurocode 0, Eurocode 1 en Eurocode 7 van toepassing.

In dit hoofdstuk zal de link gelegd worden tussen de verschillende normen en de stappen die worden toegepast in de berekeningstool. In eerste instantie wordt er gekeken naar hoe de ondergrond moet worden geanalyseerd. Daarna wordt er dieper ingegaan op het geotechnisch ontwerp en tot slot wordt het stappenplan voor de berekening van het draagvermogen toegelicht.

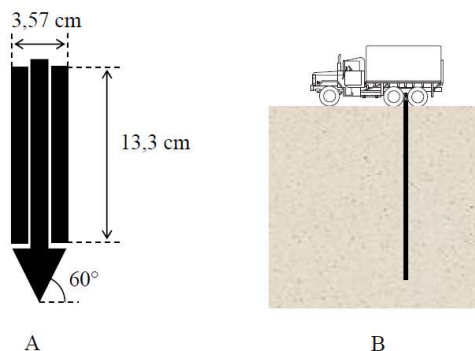
2.2 Analyse ondergrond

Een fundering is een geotechnische constructie. Dat houdt in dat de mechanische eigenschappen van de grond bepalend zijn voor het draagvermogen van de fundering [4]. Volgens NBN EN 1997-1 Hoofdstuk 2.4.3 moeten de geotechnische parameters van de ondergrond die gebruikt zijn voor de ontwerpberekeningen verkregen zijn uit proefresultaten, of via correlaties, of via theoretische beschouwingen of uit ervaring [6]. In de praktijk wordt er gebruik gemaakt van diepsonderingen en boringen om inzicht te krijgen in deze geotechnische parameters. De mechanische eigenschappen van de ondergrond zijn sterk afhankelijk van de grondsoort. Het is hiervoor belangrijk om verschillende grondsoorten van elkaar te onderscheiden en ze apart te classificeren voor de verdere berekening van het draagvermogen van funderingen.

2.2.1 Sonderingen

Een diepsondering is een techniek waarbij een sonde in de grond gedrukt wordt. Deze sonde meet de conusweerstand en kleef op elke diepte. Daardoor krijgt men in eerste instantie een indicatie van de ligging van zwakke en sterke grondlagen in functie van de diepte. Het is echter ook mogelijk om grondeigenschappen af te leiden uit de conusweerstand en de kleef.

De sonde bestaat uit een kegelvormige conus met een hoek van 60° en een diameter van 3.57 cm. Achter de conus bevindt zich de mantel met een lengte van 13.3 cm die apart kan bewegen van de conus. De proef wordt uitgevoerd vanuit een sondeerwagen. Deze zware wagen dient als contragewicht om de sonde de grond in te drukken. De maximale kracht waarmee de sonde in de grond gedrukt kan worden, kan oplopen tot 250 kN [5]. Figuur 1 geeft een schematische voorstelling van een mechanische sondeerpoint alsook van een sondeerwagen.



Figuur 1: Schematische voorstelling van een sondeerpoint (a), uitvoering van een diepsondering (b) [5]

Er bestaan twee soorten diepsonderingen: mechanische en elektrische diepsonderingen. Vroeger werd vooral de mechanische sondering gebruikt. Daarbij werd eerst de conus over een afstand van 20 cm in de grond gedrukt en werd de conusweerstand opgemeten. Vervolgens werd de mantel tegen de conus geplaatst en werd het geheel opnieuw 20 cm in de grond gedrukt waarbij de totale weerstand wordt gemeten. Deze techniek heeft als nadeel dat de wrijving tussen de bewegende delen ook mee gemeten wordt. Deze weerstand beïnvloedt de gemeten weerstanden [4]. Verder heeft deze methode ook als nadeel dat de lokale kleef niet opgemeten wordt, maar enkel de totale kleef. Hierdoor kan het wrijvingsgetal niet berekend worden. Het wrijvingsgetal R_f is het ratio van de conusweerstand q_c en de lokale wrijvingsweerstand τ_s . Deze parameter wordt gebruikt bij de classificatie van de ondergrond.

Om dat probleem te verhelpen, werd de elektrische sondering ontwikkeld. Een elektrische conus (zie figuur 2) bestaat uit drie onderdelen: de conuspunt, de mantel en een stalen kern. Deze onderdelen

kunnen ten opzichte van elkaar bewegen waarbij rekstrookjes inwendige krachten kunnen detecteren. De resultaten van de rekstrookjes worden met een elektrisch signaal naar het meettoestel gestuurd waardoor er geen beïnvloeding is van wrijving. Bij een elektrische sondering kan ook de conusweerstand en de kleef gelijktijdig opgemeten worden [7]. Elektrische sondes kunnen ook uitgerust worden met een waterspanningsmeter. Die laat het toe om op elke gewenste diepte de poriënwaterdruk als de doorlaatbaarheid van de grond te bepalen. Dat kan van belang zijn bij projecten waar grondwater verlagingen noodzakelijk zijn [8]. Anders dan bij mechanische sondeersondes, kan bij de elektrische sondeersonde wel de lokale kleef gemeten worden en kan het wrijvingsgetal wel gebruikt worden voor de classificatie van de ondergrond.



Figuur 2: Elektrische sondeersonde

2.2.2 Boringen

Bij een boring wordt de grond opgehaald voor de analyse van de aard en de mechanische eigenschappen van de grond. Afhankelijk van het onderzoek kan men grondstalen op twee manieren onderzoeken: geroerd en ongeroerd.

Bij een geroerde staalname wordt de ondergrond verstoord. Het is enkel mogelijk om de aarde en fysieke eigenschappen van de ondergrond te bepalen. Bij een ongeroerde staalname blijft de ondergrond onverstoord en is het ook mogelijk om de mechanische eigenschappen te bepalen van de ondergrond. Ongeroerde staalnames worden vooral uitgevoerd wanneer de onverstoorde toestand van de ondergrond van belang is voor het onderzoek [9].

2.2.3 Classificatie van de ondergrond

In NBN EN 1997-1 ANB staat de tabel 2.1 ANB. Deze tabel kan worden teruggevonden in bijlage D. Dat is de standaardtabel voor de karakteristieke waarden voor grondparameters in functie van de conusweerstand en het wrijvingsgetal.

Voor de berekening van het draagvermogen van gronden zijn vooral het soortelijk eigengewicht en de schijnbare hoek van inwendige wrijving van belang. De cohesieterm wordt vaak uit veiligheidsoverwegingen weggelaten. Daarover wordt verder op ingegaan in hoofdstuk 2.3: Berekening van draagvermogen van funderingen op staal.

Bij het gebruik van de tabel uit bijlage D moet, volgens de Eurocode, de conusweerstand q_c eerst omgezet worden naar een genormeerde q_c -waarde overeenkomend met een effectieve verticale korrelspanning σ'_v van 100 kPa [10]:

$$q_{c:100 \text{ kPa}} = \left(\frac{100}{\sigma'_v}\right)^{\frac{2}{3}} * q_c \quad (1.13)$$

Dat is noodzakelijk omdat de tabel opgesteld is op basis van triaxiaalproeven. De triaxiaalproef is een laboproef die gebruikt wordt om de schuifweerstandskarakteristieken en de grondsoort van een grondmonster te bepalen. Uit deze schuifweerstandskarakteristieken kan de hoek van inwendige wrijving en cohesie bepaald worden [5]. Bij een triaxiaalproef komt de effectieve verticale korrelspanning overeen met 100 kPa. Het is belangrijk om de grond te onderzoeken in de situatie zoals hij voorkomt in het veld. De effectieve verticale korrelspanning is afhankelijk van het soortelijk gewicht van de grond en van de diepte. Dit zorgt ervoor dat de verticale effectieve spanning van de grond zelden exact overeen komt met 100 kPa. Daarom is het nodig om de gemeten conusweerstand om te zetten naar de genormeerde conusweerstand.

Deze omzetting heeft als gevolg dat de conusweerstand op een gering diepte niet logische piekwaarden geeft bij de toepassing van formule 1.13. De effectieve verticale korrelspanning is hier veel kleiner dan de korrelspanning van 100 kPa van bij de triaxiaalproeven. Hierdoor zal de genormeerde conusweerstand vele malen hoger zijn dan de gemeten conusweerstand.

Het WTCB liet weten dat deze genormeerde conusweerstand niet meer in de volgende versie van de ANB van Eurocode 7 zal staan doordat ze in de praktijk zelden wordt toegepast. Daardoor werd er gekozen om in de berekeningstool niet meer te rekenen met de genormaliseerde conusweerstand, maar met de gemeten conusweerstand. Hierdoor is het probleem van de piekwaarden van de conusweerstand op geringe diepte ook niet meer aanwezig.

Doordat bij een mechanische sondering de lokale wrijvingsweerstand niet gemeten wordt, kan het wrijvingsgetal niet bepaald worden en kan de tabel uit de Nationale Bijlage van Eurocode 7 niet gebruikt worden. Uit een bevraging bij 5 sondeerfirma's blijkt dat in dit geval gebruik gemaakt wordt van de conusweerstand, geologische kaarten, ervaring en eventuele aarde die aan de sonde blijft hangen voor de classificatie van de grond. Verder bleek uit de bevraging dat sondeerfirma's niet altijd vertrouwen op de wrijvingsgetallen, door tegenstrijdige resultaten met boringen. Daardoor is het steeds aangeraden om de classificatie van de grondsoorten af te toetsen met geologische kaarten en met de resultaten van een boring.

Tot slot kan een sondering een grillig patroon vertonen wanneer er op een bodemvreemd object gestoten wordt. Zo een object kan aanleiding geven tot piek- of dalwaarden die verkeerd geïnterpreteerd kunnen worden. Dit probleem wordt verder besproken in bijlage A.

2.3 Het geotechnisch ontwerp

Het geotechnisch ontwerp behandelt eisen inzake weerstand, stabiliteit, bruikbaarheid en duurzaamheid van geotechnische bouwwerken [11]. Eurocode 7 geeft instructies en aanbevelingen voor dit geotechnische ontwerp. Eurocode 7 is onderverdeeld in twee delen. Het eerste deel wordt beschouwd als de basisnorm voor het geotechnisch ontwerp, het tweede deel handelt over grondonderzoek en laboproeven. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste aspecten van het eerste deel van Eurocode 7 toegelicht

2.3.1 Ontwerpeisen

Het geotechnisch ontwerp gaat over eisen inzake weerstand, stabiliteit, bruikbaarheid en duurzaamheid van geotechnische bouwwerken [11]. Een van de belangrijkste eisen is dat geen relevante grenstoestand overschreden mag worden. Deze grenstoestanden zijn onder te verdelen in twee groepen:

- uiterste grenstoestand (UGT): controle op stabiliteit;
- bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT): controle op maximaal toelaatbare vervorming.

De norm EN-EN 1997-1 [6] maakt nog een onderscheid tussen verschillende uiterste grenstoestanden. Daarbij zijn de volgende het belangrijkste voor deze studie:

- GEO: “bezwijken of zeer grote vervorming van de ondergrond, waarbij de sterkte van de grond of gesteente een beduidende bijdrage levert aan de weerstand”;
- STR: “intern bezwijken of zeer grote vervorming van de constructie of onderdelen ervan waarbij de sterkte van de constructiematerialen een grote bijdrage moet leveren aan de weerstand”;
- EQU: “verlies van evenwicht van de constructie of de ondergrond, opgevat als een stijf geheel, waarin de sterkte van de constructieve materialen en de ondergrond geen noemenswaardige bijdrage levert aan de weerstand.”

De gebruiksgrenstoestand is de toestand waarbij de constructie niet meer bruikbaar is door vervormingen van de constructies. In het geval van funderingen gaat het daarbij vaak over zettingen. De zettingsberekening van funderingen valt buiten de omvang van dit onderzoek. Meestal is het BGT-criteria strenger dan het UGT-criteria.

Om geotechnische ontwerpeisen te kunnen vaststellen, worden drie geotechnische categorieën geïntroduceerd afhankelijk van de complexiteit van de constructie en het risico in het ontwerp [6]. De categorieën zijn:

- geotechnische categorie 1: eenvoudige constructies;
- geotechnische categorie 2: normale funderingsconstructies zonder buitengewone risico's of complexiteit;
- geotechnische categorie 3: bijzondere constructies.

De berekening van funderingen op staal valt binnen de geotechnische categorie 2.

In Eurocode 0 worden constructies onderverdeeld in drie gevolgklassen. Deze gevolgklassen zijn gebaseerd op de gevolgen in termen van mensenlevens of de gevolgen op economisch, sociaal of milieuvlak [12]. Aan de gevolgklassen zijn betrouwbaarheidsklassen gekoppeld waarvoor minimale betrouwbaarheidsindexen aanbevolen zijn. Deze betrouwbaarheidsindexen geven de gecumuleerde waarde weer van het risico op gebreken [12]. Op basis hiervan worden de partiële factoren bepaald aan de belastingszijde. Over de partiële factoren wordt er meer toelichting gegeven in sectie 2.3.3.

2.3.2 Ontwerpbenadering

In Eurocode 0 worden drie ontwerpbenaderingen (OB) gegeven. Iedere benadering is een combinatie van materiaalfactoren, belastingsfactoren en factoren op de totale draagkracht [4]. De nationale bijlage van Eurocode 7 geeft aan dat in België ontwerpbenadering 1 moet worden gebruikt [10]. Ontwerpbenadering 1 wordt nog opgesplitst in twee gevallen:

- OB1.1: Veiligheden aan belastingszijde en niet aan materiaalzijde;
- OB1.2: Veiligheden aan materiaalzijde en op ongunstig werkende variabele belasting.

De laagste waarde van deze twee benaderingen zal maatgevend zijn.

2.3.3 Partiële factoren

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.3.1 moeten er veiligheden toegepast worden op de belastingen. De belastingen die aangrijpen op de fundering staan beschreven in Eurocode 1. Belastingen die door de grond worden uitgeoefend op de fundering moeten worden beschouwd als constructieve belastingen [4]. In Eurocode 1 worden de karakteristieke waarden gegeven van de belasting. De rekenwaarde van een belasting wordt verkregen door de karakteristieke waarde te vermenigvuldigen met een partiële belastingsfactor. Deze partiële factor is zoals eerder vermeld afhankelijk van de betrouwbaarheidsklasse en de gevolgklasse. De rekenwaarde van de belasting wordt dan gegeven als:

$$F_d = \gamma_F * F_k \quad (1)$$

In deze formule is:

- F_d : rekenwaarde belasting;
- γ_F : partiële belastingsfactor;
- F_k : karakteristieke belasting.

Ook aan de materiaalzijde moeten veiligheidsfactoren toegepast worden. Zoals beschreven worden de eigenschappen van de ondergrond bepaald door een interpretatie van een sondering en gebruik van de standaardtabel met karakteristieke waarden voor grondparameters opgegeven in de Nationale Bijlage van Eurocode 7 [10]. De rekenwaarde van deze eigenschappen wordt bekomen door de karakteristieke waarde te delen door een materiaalfactor. Anders dan bij de belastingsfactor, is deze niet afhankelijk van de betrouwbaarheidsklasse of gevolgklasse. De rekenwaarde van de materiaaleigenschappen wordt dan gegeven als:

$$X_d = \frac{X_{rep}}{\gamma_M} \quad (2)$$

In deze formule is:

- X_d : rekenwaarde materiaaleigenschap;
- γ_M : partiële materiaalfactor;
- X_k : karakteristieke materiaaleigenschap.

2.3.4 Implementatie in berekeningstool

Op figuur 5 wordt het invoerblok weergegeven voor de belastingen. Daar kunnen de verticale en horizontale belastingen ingegeven worden (A) alsook de gevolgklasse (B). De gevolgklasse is voor funderingen op staal gelijk aan RC2. Op figuur 6 wordt stap 1a weergegeven van de berekening van het draagvermogen. Daarin wordt de rekenwaarde van de belasting berekend. Dat gebeurt zowel voor ontwerpbenadering 1.1 als voor ontwerpbenadering 1.2 (C). De partiële materiaalfactoren en belastingsfactoren worden ook weergegeven (D). De belastingsfactoren worden automatisch aangepast aan de geselecteerde gevolgklasse en zijn in overeenstemming met de Eurocodes. Bij de berekening van de rekenwaarde van de verticale belasting worden volgende belastingen in rekening gebracht:

- de blijvende belasting;
- de variabele belasting;
- het gewicht van de funderingszool;
- het gewicht van het aardepakket aanwezig op de fundering.

A

Gegevens belastingen			
	G	Q	
Verticale belasting V (Karakteristieke waarde)	6700	1675	kN
Horizontale belasting Hx (Karakteristieke waarde)	0	0	kN
Horizontale belasting Hy (Karakteristieke waarde)	0	0	kN
gevolgklasse		RC2	
Excentrische belasting ex	0	cm	
Excentrische belasting ey	0	cm	
	A1M1R1	A2M2R1	
Verticale belasting Ved (UGT)	11709	8655	kN
Horizontale belasting Hx;ed (UGT)	0	0	kN
Horizontale belasting Hy;ed (UGT)	0	0	kN

B **C**

Figuur 5: Invoerblok gegevens belasting berekeningstool

Stap 1a: bepaling belasting en effectieve breedte

	A1 combinatie	A2 combinatie	
γ_d	1,35	1,00	
γ_o	1,50	1,10	
	M1 combinatie	M2 combinatie	
$\gamma_{d'}$	1,0	1,25	
$\gamma_{c'}$	1,0	1,25	
γ_{cu}	1,0	1,4	
γ_v	1,0	1,0	
K_{ed}	1,0	1,0	
Vd	11709	8655	kN
Hxd	0	0	kN
Hyd	0	0	kN
Hxd/Vd	0,000	0,000	cm
Hyd/Vd	0	0	cm
$eb=Hxd*H_{zool}/Vd+ex$	0	0	cm
$el=Hyd*H_{zool}/Vd+ey$	0	0	cm
Effectieve breedte zool b'	300	300	cm
Effectieve lengte zool l'	300	300	cm

D

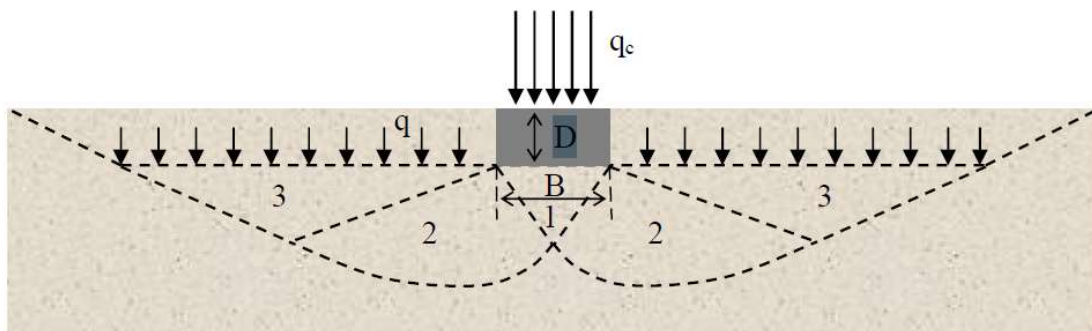
Figuur 6: Stap 1a bepaling belasting en effectieve breedte berekeningstool

2.4 Berekening draagvermogen

Het bepalen van de draagkracht van een fundering is één van de belangrijkste problemen van de grondmechanica. Er bestaan veel verschillende types funderingen; voor deze studie is enkel de fundering op staal van toepassing. Funderingen op staal worden op geringe diepte aangezet op draagkrachtige grond met behulp van een verbrede voet. Deze voet zorgt ervoor dat de druk afkomstig van de constructie, die groter is dan het draagvermogen van de draagkrachtige ondergrond, opgenomen en gespreid kan worden over een groter oppervlak [4].

2.4.1 Analytische oplossing

Prandtl was de eerste onderzoeker die een analytische oplossing formuleerde voor het berekenen van de draagkracht van een fundering op staal. Daarbij wordt er verondersteld dat wanneer de belasting groter is dan het draagvermogen van de grond er een breukmechanisme ontstaat in de vorm van een afschuivende grondwig, zoals weergegeven in figuur 7.



Figuur 7: Veronderstelde bezwijktoestand strookfundering [5, p. 91].

Binnen deze grondwig kunnen er drie zones gedefinieerd worden. In zone 1, onder de belasting, overheersen de horizontale effectieve spanningen (de actieve grensspanningen) de verticale effectieve spanningen (gelijk aan de belasting). Deze zone bevindt zich in een actieve grenstoestand. De actieve gronddruk is de minimale druk waaraan de grond moet kunnen weerstaan. Bij een actieve grenstoestand draagt de grond bij aan het bezwijken. In zone 3 overheersen de horizontale effectieve spanningen (de passieve grensspanningen) de verticale effectieve spanning (de geostatische spanningen). Deze zone bevindt zich in een passieve grondtoestand. De passieve gronddruk is de maximale gronddruk die de grond kan ontwikkelen voor bezwijken. Bij een passieve grenstoestand verzet de grond zich tegen het bezwijken. Zone 2 is een overgangsgebied gegeven door een spiraalvormige wig. In elke van deze zone wordt voldaan aan het Mohr-Coulombcriterium [4], [5]:

$$(\tau = c + \sigma_n * \tan\varphi) \quad (3)$$

In deze formule is:

- τ : schuifspanning;
- c : cohesie;
- σ_n : normaalspanning;
- φ : hoek van inwendige wrijving.

Prandtl [7] stelde vast dat het draagvermogen van de grond afhankelijk was van de cohesie en de aanzetdiepte. Het resultaat wordt door middel van draagkrachtfactoren N_c en N_q berekend als:

$$q_c = c * N_c + q * N_q \quad (4)$$

In deze formule is:

- q_c : draagvermogen van de grond;
- c : cohesie;
- N_c : invloedscoëfficiënt van de cohesie;
- q : gronddruk ter hoogte van fundering;
- N_q : invloedscoëfficiënt van de gronddruk.

Buisman, Caquot en Terzaghi [7] merkten op dat de draagkracht van grond ook afhankelijk is van het eigengewicht van de grond en zij voegden een derde term toe aan deze vergelijking met bijhorende draagkrachtfactor N_γ :

$$q_c = c * N_c + q * N_q + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma \quad (5)$$

In deze derde term is:

- γ : soortelijk gewicht van de grond;
- B : breedte van de belaste funderingszool;
- N_γ : invloedscoëfficiënt van het eigengewicht.

De factoren N_q , N_c en N_γ zijn afhankelijk van de effectieve wrijvingshoek (φ') van de grond. Deze parameter, alsook de cohesie, zijn grondeigenschappen die afgeleid moeten worden uit terreinonderzoek. Er bestaan verschillende formuleringen van de invloedscoëfficiënten. Terzaghi, Meyerhof, Vesic en Hansen [13] kwamen elk met een andere uitdrukking voor deze coëfficiënten. In Eurocode 7 bijlage D worden volgende coëfficiënten voorgesteld:

$$N_q = e^{\tan\varphi'} \tan^2\left(45 + \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (6)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot\varphi' \quad (7)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan\varphi' \quad (8)$$

Door Brinch Hansen en andere onderzoekers [7] is deze formule verder uitgebreid met reductiefactoren voor de vorm van de fundering (s_c, s_q, s_γ), richting van de belasting (i_c, i_q, i_γ) en de helling van het maaiveld ($\lambda_c, \lambda_q, \lambda_\gamma$):

$$q_c = i_c s_c \lambda_c c * N_c + i_q s_q \lambda_q q * N_q + i_\gamma s_\gamma \lambda_\gamma \frac{1}{2} * \gamma * b * N_\gamma \quad (9)$$

De richting van het maaiveld wordt binnen deze studie horizontaal verondersteld, dus deze reductiefactoren zijn niet van toepassing binnen het bereik van het onderzoek. In de literatuur zijn er ook dieptefactoren te vinden die rekening houden met het toenemende draagvermogen bij een toenemende diepte [13]. Deze dieptefactoren zijn niet hetzelfde als de diepteterm in formule 9.

Deze formule moet met voldoende voorzichtigheid gebruikt worden. Over het feit dat de drie termen gesuperponeerd mogen worden, bestaat er twijfel. De redelijkheid van deze aanname werd door verschillende onderzoekers onderzocht en min of meer aangetoond [7]. Ook over de uitdrukking van de draagkrachtfactor N_γ bestaat er geen sluitende afleiding. De achtergrond is gebaseerd op theorie, overeenstemmend met de proefresultaten en elementaire logica. Vervelender is nog dat bij oudere literatuur de term $\frac{1}{2}$ ontbreekt in formule (9). De waarde N_γ wordt dan wel gehalveerd, wat ervoor

zorgt dat het resultaat gelijk blijft, maar wat voor verwarring zorgt. Ook over de reductiefactoren is er nog geen internationale overeenstemming. De factoren berusten voornamelijk op empirische relaties. Daardoor bestaat er nog veel verschil in inzicht over deze factoren [7].

Bovenstaande formule is enkel geldig in een gedraineerde situatie. Bij een gedraineerde situatie kan het grondwater vrij wegstromen en kan consolidatie snel optreden. Dat is vooral van toepassing bij grove gronden zoals grind en zand. De ongedraineerde situatie doet zich voor wanneer het grondwater niet vrij kan wegstromen. Dat is vaak van toepassing bij silt- en kleigronden.

In dit geval is de situatie onmiddellijk na belasting maatgevend. Hierbij zorgt een verhoging van de belasting tot een verhoging van de waterspanning. Mits enkele veronderstellingen, kan formule 5 ook gebruikt worden voor de ongedraineerde situatie. Veronderstel dat $\varphi = 0$. en $c = s_u$ (ongedraineerde schuifsterkte), waaruit volgt dat $N_q = 1$, $N_c = 2 + \pi$ en $N_\gamma = 0$. Formule 5 wordt dan:

$$q_c = (2 + \pi)s_u + q \quad (10)$$

In deze formule is:

- q_c : draagvermogen van de grond;
- s_u : ongedraineerde schuifsterkte van grond;
- q : gronddruk ter hoogte van fundering.

2.4.2 Excentrische belasting

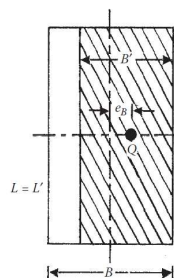
De belasting treedt excentrisch op wanneer de belasting niet aangrijpt in het zwaartepunt van de fundering of wanneer de fundering belast is met zowel een verticale kracht als een moment. Voor het berekenen van het draagvermogen van excentrisch belaste funderingen introduceerde Meyerhof [14] het principe van een gereduceerde oppervlakte. Daarbij wordt de oppervlakte verkleind zodat de belasting wel centrisc aangrijpt in de gereduceerde oppervlakte.

Veronderstel dat er enkel een excentriciteit e_b optreedt in de breedterichting, dan wordt de effectieve breedte B_{eff} gegeven door:

$$B_{eff} = B - 2 * e_b \quad (11)$$

Het is deze breedte die gebruikt moet worden in formule 9 voor de berekening van het draagvermogen. Figuur 2 geeft weer hoe de gereduceerde oppervlakte zich bevindt ten opzichte van de originele oppervlakte. De draagkracht wordt verkregen door de het draagvermogen te vermenigvuldigen met de gereduceerde oppervlakte A_{eff} :

$$Q_c = q_c * A_{eff} = q_c * B_{eff} * L_{eff} \quad (12)$$



Figuur 8: Excentrische belasting in breedterichting [13, p. 109]

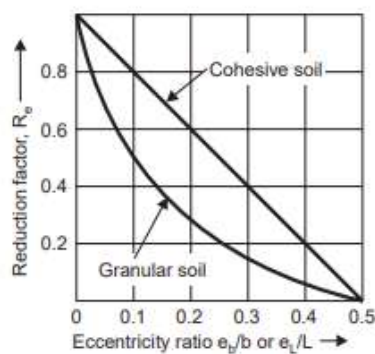
Deze theorie veronderstelt dat het draagvermogen lineair verkleint bij toenemende excentriciteit. Deze theorie klopt behoorlijk voor cohesieve gronden, maar voor granulaire gronden is de relatie eerder parabolisch. Daarom is het voor cohesieve gronden beter om gebruik te maken van een reductiefactor, dan van de gereduceerde oppervlakte [15] Het draagvermogen wordt dan gegeven door:

$$q'_{ult} = q_{ult} * R_e \quad (13)$$

Daarin is:

- q'_{ult} : draagvermogen van fundering met excentrische belasting;
- q_{ult} : draagvermogen van fundering met centrische belasting;
- R_e : reductiefactor voor de excentriciteit.

Figuur 9 geeft een grafische weergave van de reductiefactor R_e .



Figuur 9: Reductiefactor voor draagvermogen bij excentrische belastingen [15, p. 627]

De methode van de reductiefactor staat niet beschreven in de Eurocode. De methode met het gereduceerd oppervlakte wel. Deze methode werd dan ook toegepast in de berekeningstool.

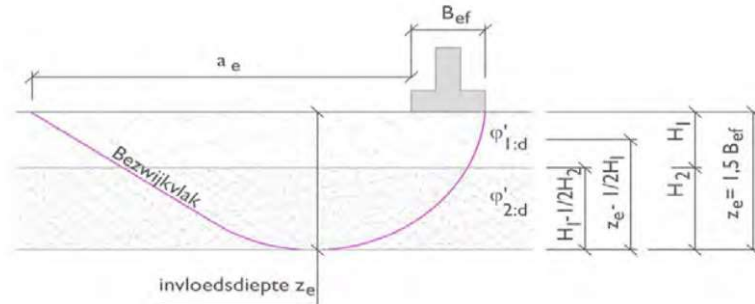
Het principe van Meyerhof heeft als gevolg dat wanneer een kolom op de hoek van een funderingszool geplaatst wordt, de excentriciteit $0.5 \times B$ bedraagt en de effectieve breedte gelijk is aan 0. Hierdoor is de draagkracht ook gelijk aan nul:

$$Q_c = q_c * A_{eff} = q_c * B_{eff} * L_{eff} = q_c * 0 * L_{eff} = 0 \quad (5)$$

Bij renovaties komt deze situatie echter wel voor, wanneer er een nieuwe kolom geplaatst wordt op een reeds bestaande funderingszool. Een studie van Meyerhof [14] toont aan dat voor funderingen aan het maaiveld dit principe klopt. Bij funderingen waarbij de diepte groter is dan de breedte, wordt het draagvermogen echter onderschat. Dit doordat er merkbare laterale krachten geïnduceerd worden in de schacht van de fundering. Het effect van deze krachten kan begroot worden als stijve vrijdragende damwanden. Een analytische uitdrukking van dit probleem werd gegeven door Karl Terzaghi in zijn boek Theoretical Soil Mechanics [16].

2.4.3 Invloedsdiepte

Zoals eerder al vermeld zal een fundering bezwijken door het afschuiven van een grondwig. De maximale diepte van deze wig is de invloedsdiepte z_e . De invloedbreedte a_e is de breedte van de afschuivende grondwig zonder de breedte van de fundering. Figuur 10 geeft een weergave van de invloedsdiepte en invloedbreedte van een grondwig.



Figuur 10: Weergave invloedsdiepte en invloedbreedte [4, p. 11 H6]

Het bepalen van de invloedsdiepte in gedraineerde toestand is een iteratief proces, doordat de invloedsdiepte afhankelijk is van de hoek van inwendige wrijving φ'_{rep} binnen de grondwig. φ'_{rep} binnen de grondwig moet bepaald worden als een gewogen gemiddelde ($\varphi'_{gem;d}$) van de aanwezige grondlagen. Dit gewogen gemiddelde is afhankelijk van de invloedsdiepte [4].

Op basis van de aanwezige grondlagen binnen de invloedsdiepte worden er verschillende gevallen onderscheiden. Voor de gedraineerde toestand zijn dat:

- geval 1: één homogene laag grond binnen de invloedsdiepte;
- geval 2: meerdere lagen, waarbij het verschil tussen de grootste en kleinste waarde van $\varphi'_k \leq 6^\circ$. Draagvermogen moet berekend worden met gewogen gemiddeldes van de grondeigenschappen;
- geval 3: meerdere lagen, waarbij het verschil tussen de grootste en kleinste waarde van $\varphi'_k \geq 6^\circ$. Draagvermogen moet berekend worden met gewogen gemiddeldes van de grondeigenschappen, maar ook een controle op doorpensen moet worden uitgevoerd [4].

Voor de ongedraineerde toestand zijn er ook drie gevallen te onderscheiden:

- geval A: één homogene laag grond binnen de invloedsdiepte;
- geval B: meerdere lagen met direct onder funderingsvlak een cohesieve laag, gelegen op een niet-cohesieve laag. Draagvermogen berekenen met grondeigenschappen van de cohesieve laag. Controle van squeezezen mag worden uitgevoerd;
- geval C: meerdere grondlagen met direct onder het funderingsvlak een niet cohesieve laag, gelegen op een cohesieve laag. Draagvermogen berekenen met grondeigenschappen van de zwakste grondlaag [4].

Voor grind en zandgronden is het voldoende om de gedraineerde situatie te onderzoeken. Voor klei- en leemgronden moeten zowel de gedraineerde- als de niet-gedraineerde situatie worden gecontroleerd [4]. De controle van "squeezezen" in geval B van de ongedraineerde situatie wordt niet uitgevoerd in de berekeningstool. Deze controle dient enkel uitgevoerd te worden bij strookfunderingen waarbij $l'/b' > 10$ en heeft overigens enkel een positieve invloed op het draagvermogen. Het niet controleren van "squeezezen" is dus een veilige aanname.

2.4.4 Grondwaterstand

In paragraaf 2.2.1 en paragraaf 2.2.2 werd al aangehaald hoe de grondwaterstand bepaald kan worden. Een goede kennis van de grondwaterstand is belangrijk voor een correcte berekening van het draagvermogen. Het is aangewezen om een fundering niet in grondwater te plaatsen. Dit heeft echter een negatief effect op het draagvermogen. De grondwaterstand heeft op twee termen betrekking in formule 5:

$$q_c = c * N_c + q * N_q + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma \quad (5)$$

Het grondwater heeft in eerste instantie betrekking op de diepteterm van de fundering. Indien er grondwater aanwezig is boven het aanzetniveau, dan moet er voor de zone onder de grondwatertafel gerekend worden met het effectieve grondgewicht γ' en moet er voor de zone boven de grondwatertafel gerekend worden met het drooggewicht van de grond γ_d . Indien er geen grondwater aanwezig is boven het aanzetniveau, wordt er enkel gerekend met het drooggewicht van grond. Grondwater boven het aanzetniveau heeft dus een negatief effect op het draagvermogen.

Ook wanneer er grondwater aanwezig is binnen de invloedsdiepte van de fundering, heeft dit effect op het draagvermogen. In de derde term van het draagvermogen volgens Buisman, Caquot en Terzaghi moet het gewogen gemiddelde berekend worden van het grondgewicht van de verschillende lagen aanwezig binnen de invloedsdiepte. Aangezien het effectieve grondgewicht beduidend lager is dan het droog grondgewicht, heeft de aanwezigheid van grondwater binnen de invloedsdiepte een negatief effect op het draagvermogen.

2.4.5 Implementatie in berekeningstool

Figuur 11 geeft een overzicht van de overige gegevens die nodig zijn voor de berekening van de draagkracht van de fundering. Uit formule 5 blijkt dat het draagvermogen afhankelijk is van de breedte van de fundering. Het is daarom belangrijk om deze afmetingen op voorhand in te geven (A). Ook de diepte bepaalt het draagvermogen. Hiervoor is het noodzakelijk om de aanzetdiepte op te geven (B). De helling van de onderzijde van de zool en de helling van het maaiveld hebben invloed op de reductiefactoren.

Gegevens funderingszool			
Breedte zool B	300	cm	
Lengte zool L	300	cm	
Hoogte zool H	50	cm	
aanzetdiepte H _m	320	cm	
helling onderzijde zool: α	0	°	
helling maaiveld (aflopend): β	0	°	

Invloedsdiepte ongedraineerde toestand			
	A1M1R1	A2M2R1	
Effectieve breedte zool: b'	300	300	cm
Effectieve lengte zool: l	300	300	cm
rap	0	0	°
ze/b'	0,70	0,70	
ze/l	0,70	0,70	
invloedsdiepte: z _e	210	210	cm
Aantal grondlagen in rekening te brengen	2	2	

Invloedsdiepte/-breedte gedraineerde toestand			
	A1M1R1	A2M2R1	
ze/b'	1,75	1,49	
ze/l	1,75	1,49	
invloedsdiepte: z _e	525	447	cm
Aantal grondlagen in rekening te brengen	3	2	
ae/b'	5,06	3,86	
ae/l	5,06	3,86	
invloedsbreedte: a _e	1518	1158	cm
gem;d	32,6	27,9	°

Invloedsdiepte gedraineerd A1M1R1		Invloedsdiepte gedraineerd A2M2R1	

Figuur 11: Gegevens funderingszool en invloedsdieptes berekeningstool

Met deze gegevens kunnen zowel de invloedsdiepte in ongedraineerde toestand (C) als in gedraineerde toestand berekend worden (D). De invloedsdiepte in ongedraineerde toestand wordt automatisch berekend. Het aantal lagen binnen deze invloedsdiepte wordt ook weergegeven. Dit is handig voor later de gepaste situatie te bepalen zoals weergegeven in figuur 12 voor de verdere berekening van het draagvermogen. De berekening van de invloedsdiepte in gedraineerde toestand is een iteratief proces. Daarvoor is het nodig om op de knoppen E te drukken voor de berekening uit te voeren. Voor de werking van de functies achter de knoppen wordt er verwezen naar bijlage A. Ook hier wordt het aantal lagen in de invloedsdiepte weergegeven.

Berekening verticaal draagvermogen gedraineerde toestand			
	A1M1R1	A2M2R1	
Δ _v 'k	5	5	°
Situatie	geval 3	geval 3	
indien geval 3: cohesieve laag is laag	2	2	

Invloedsdiepte "pons" A1M1R1		Invloedsdiepte "pons" A2M2R1	

Resultaat			
	Ed	Rd	σ _{v,d}
gedraineerd			
A1M1R1	11709	21073	kN 1,53
A2M2R1	8655	10005	kN 1,45
ongedraineerd			
A1M1R1	11709	/	kN /
A2M2R1	8655	/	kN /

Figuur 12: Keuze situatie + resultaten berekeningstool

Met de kennis van de invloedsdiepte en de opbouw van de ondergrond kan er een gepaste situatie gekozen worden (F) zoals beschreven in 2.4.3. Indien geval 3 geselecteerd wordt, moet de cohesieve laag ook nog opgegeven worden en moet de invloedsdiepte opnieuw berekend worden door op de knoppen (H) te drukken. De resultaten van de berekening worden nu weergegeven (G).

In de Excelsheet moet er aangegeven worden welke situatie aanwezig is binnen de invloeddiepte van de fundering. De berekeningstool rekent echter alle mogelijke situaties uit, maar enkel het resultaat van de geselecteerde situatie wordt weergegeven in de samenvattende resultaten. Figuur 13 geeft een overzicht van de verschillende berekeningen voor de verschillende situaties in een ongedraineerde situatie.

Stap 1c: draagkracht in ongedraineerde situatie				
	A1M1R1	A2M2R1		
Geval a1				
Geval a2				
	cu;d	0,050	0,036	N/mm ²
	sc	1,20	1,20	
	ic	1,00	1,00	
	λc	1,00	1,00	
	λq	1,00	1,00	
	σ _{v,z;d}	0,054	0,054	N/mm ²
	σ _{v,max;d}	0,36	0,27	N/mm ²
	R _{v;d}	3266	2473	kN
Geval b				
	σ _{v,z;d}	0,054	0,054	N/mm ²
	σ _{v,max;d}	0,36	0,27	N/mm ²
	R _{v;d}	3266	2473	kN
Geval c				
	cohesieve laag is laag	2		
	controle pons van de cohesieve laag			
	hpons	200		cm
	bpons;gem	328		cm
	lpons;gem	328		cm
	ΔVpons;d	19	14	kN/m ²
	Vpons;d	11912,8	8806	kN
	eb=Hxd*Hzool/Vd+ex	0	0	cm
	el=Hyd*Hzool/Vd+ey	0	0	cm
	b'pons	356	356	cm
	l'pons	356	356	cm
	cu;d	0,050	0,036	N/mm ²
	sc	1,20	1,20	
	ic	1,00	1,00	
	λc	1,00	1,00	
	λq	1,00	1,00	
	σ _{v,z;d}	0,036	0,036	N/mm ²
	σ _{v,max;d}	0,345	0,257	N/mm ²
	R _{v;d}	4376,4	3258,0	kN

Figuur 13: Berekening draagvermogen ongedraineerde toestand berekeningstool

In geval a1 of a2 is er slechts één grondlaag aanwezig binnen de invloeddiepte. In dit geval kan formule 10 voor het draagvermogen in ongedraineerde situatie toegepast worden voor de eigenschappen van de desbetreffende grondlaag (I). In geval b moet er gerekend worden met de parameters van de laag waarin wordt aangezet. Daardoor is dezelfde formule geldig als bij geval a1 en a2 (J). Bij geval 3 moet er gerekend worden met de zwakste laag aanwezig in de invloeddiepte. Daarbij wordt er een fictief funderingsvlak verondersteld op de bovenkant van deze zwakke laag. In dat geval vergroot het funderingsoppervlak onder een hoek van 8° met de diepte en wordt het extra grondpakket toegevoegd aan de belasting (K). Over de exacte reden van de spreiding onder de specifieke hoek van 8° is er in de literatuur weinig te vinden. Met deze aanpassingen kan opnieuw formule 10 gebruikt worden om de draagkracht te berekenen.

Ook voor de gedraineerde situatie zijn er drie situaties waarin de ondergrond zich kan bevinden. Bij geval 1 is er slechts 1 laag aanwezig binnen de invloeddiepte. Formule 9 kan dan toegepast worden om de draagkracht te berekenen van de fundering (L). Bij het tweede geval zijn er meerdere lagen aanwezig binnen de invloeddiepte, maar is het verschil van de hoek van inwendige wrijving tussen de verschillende lagen kleiner dan 6° . In dit geval moet er gerekend worden met de gewogen parameters van de verschillende lagen (M). In de Excelsheet wordt daar dezelfde berekening voor gebruikt als in geval 1, waarbij in geval 1 het gemiddelde van één laag berekend wordt. Deze twee gevallen worden weergegeven in figuur 14.

Stap 1d: draagkracht in gedraineerde situatie			
	A1M1R1	A2M2R1	
Aantal in rekening te brengen lagen	3	2	
$\Delta\varphi$ k	5	5	°
Geval 1			
φ gem;d	33	28	°
c gem;d	0,0000	0,0000	N/mm ²
γ gem;d	9,0	9,0	kN/m ³
Nc	37,35	25,59	
Nq	24,89	14,55	
N γ	30,56	14,34	
sc	1,00	1,00	
sq	1,00	1,00	
s γ	0,70	0,70	
mb	1,50	1,50	
ml	1,50	1,50	
θ	45,00	45,00	°
m θ	1,50	1,50	
m	1,50	1,50	
ic	1,00	1,00	
iq	1,00	1,00	
i γ	1,00	1,00	
Ac	1,00	1,00	
Aq	1,00	1,00	
$\lambda\gamma$	1,00	1,00	
bc	1,00	1,00	
bq	1,00	1,00	
b γ	1,00	1,00	
$\sigma'_{v,z;d}$	0,064	0,064	
$\sigma'_{v,max;d}$	1,88	1,07	N/mm ²
Rv;d	16898,4	9577,7	kN
Geval 2			
Rv;d	16898,4	9577,7	kN

Figuur 14: Berekening draagvermogen gedraineerd geval 1 en 2 berekeningstool

Bij geval 3 wordt het ingewikkelder. Daarbij moet zowel een controle worden uitgevoerd met de gewogen parameters als een controle op doorponzen. De controle met gewogen parameters komt overeen met deze voor geval 2. Voor de controle op doorponzen wordt dezelfde methode toegepast als bij de ongedraineerde situatie: er wordt een fictief funderingsvlak verondersteld op de bovenzijde van de cohesieve laag en het funderingsoppervlak wordt vergroot onder een hoek van 8° . Voor het fictieve funderingsvlak moet de invloeddiepte opnieuw berekend worden. Deze berekening wordt weergegeven in figuur 15. Het probleem is dat afhankelijk van welke laag de cohesieve laag is, er andere lagen mee in rekening genomen moeten worden. Daarvoor worden de verschillende situaties weergegeven in figuur 16. Door aan te geven welke laag de cohesieve laag is, weet de Excelsheet welke gewogen parameters hij moet gebruiken voor de berekening van de invloeddiepte en berekening van het draagvermogen.

Geval 3			
Rv;d1	5849,4	3606,2	kN
cohesieve laag is laag	2	2	
controle pons van de cohesieve laag			
Invloedsdiepte	500	421	cm
Aantal lagen in rekening	2	2	
$\varphi_{gem;d}$	26,2	20,6	
hpons	200	200	cm
bpons,gem	328	328	cm
lpons,gem	328	328	cm
$\Delta V_{pons;d}$	19	14	kN
Vpons;d	11912,8	8806	kN
Horizontale belasting Hx;ed (UGT)	0	0	kN
Horizontale belasting Hy;ed (UGT)	0	0	kN
Hx/V	0	0	
Hy/V	0	0	
ze/b'	1,41	1,18	
ze/l'	1,41	1,18	
eb=Hxd*Hzool/Vd+ex	0	0	cm
el=Hyd*Hzool/Vd+ey	0	0	cm
b'pons	356	356	cm
l'pons	356	356	cm
$\varphi_{gem;d}$	26	21	N/mm ²
c'gem;d	0,00308	0,00273	
$\gamma_{gem;d}$	8	8	
Nc	22,50	15,40	
Nq	12,05	6,78	
N γ	10,85	4,34	
sc	1,48	1,41	
sq	1,44	1,35	
s γ	0,70	0,70	
mb	1,50	1,50	
ml	1,50	1,50	
e	45,00	45,00	
me	1,50	1,50	
m	1,50	1,50	
ic	1,00	1,00	
iq	1,00	1,00	
i γ	1,00	1,00	
Ac	1,00	1,00	
Aq	1,00	1,00	
A γ	1,00	1,00	
bc	1,00	1,00	
bc	1,00	1,00	
b γ	1,00	1,00	
$\sigma'_{v,z;d}$	0,036	0,036	
$\sigma'_{v,max;d}$	0,85	0,44	
Rv;d2	10731,7	5548,3	
Rv;d	5849,4	3606,2	kN

Figuur 15: Berekening draagvermogen gedraineerde toestand geval 3 berekeningstool

Berekening invloedsdiepte fictief funderingsvlak				Berekening invloedsdiepte fictief funderingsvlak				Berekening invloedsdiepte fictief funderingsvlak						
Zwakke laag = 2				Zwakke laag = 3				Zwakke laag = 4						
Grondlaag onder schijn		1	2	3	Grondlaag onder schijn		1	2	3	Grondlaag onder schijn		1	2	3
Grondlaag		2	3	4	Grondlaag		3	4	5	Grondlaag		4	5	6
Dikte laag		260	260	260	Dikte laag		260	260	260	Dikte laag		260	260	260
Dikte laag in invloedsd	A1M1R1	260	240	/	Dikte laag in invloedsd	A1M1R1	260	240	240	Dikte laag in invloedsdiepte	A1M1R1	500	421	30
	A2M2R1	260	161	/		A2M2R1	260	161	161		A2M2R1	421	30	24
$\varphi_{;d}$	A1M1R1	25	30	30	Effectieve hoek inwendig	A1M1R1	30	30	30	Effectieve hoek inwendig	A1M1R1	30	24	0
	A2M2R1	20	24	24		A2M2R1	24	24	24		A2M2R1	24	0	0
c;d	A1M1R1	0,004	0	0	c;d	A1M1R1	0	0	0	c;d	A1M1R1	0	0	0
	A2M2R1	0,0032	0	0		A2M2R1	0	0	0		A2M2R1	0	0	0
$\gamma_{;d}$	A1M1R1	8	9	9	$\gamma_{;d}$	A1M1R1	9	9	9	$\gamma_{;d}$	A1M1R1	9	9	9
	A2M2R1	8	9	9		A2M2R1	9	9	9		A2M2R1	9	9	9
Afstand midden laag tot	A1M1R1	370	120	#WAARDEI	Afstand midden laag tot in	A1M1R1	370	120	120	Afstand midden laag tot in	A1M1R1	250	250	250
	A2M2R1	291	80,5	#WAARDEI		A2M2R1	291	80,5	80,5		A2M2R1	250	250	250
$\varphi_{gem;d}$	A1M1R1	25,00	26,15	#WAARDEI	$\varphi_{gem;d}$	A1M1R1	30,00	30,00	30,00	$\varphi_{gem;d}$	A1M1R1	30,00	24,00	24,00
	A2M2R1	20,00	20,58	#WAARDEI		A2M2R1	24,00	24,00	24,00		A2M2R1	24,00	0,00	0,00
c'gem;d	A1M1R1	0,0040	0,0031	#WAARDEI	c'gem;d	A1M1R1	0,00	0,00	0,00	c'gem;d	A1M1R1	0,00	0,00	0,00
	A2M2R1	0,0032	0,0027	#WAARDEI		A2M2R1	0,00	0,00	0,00		A2M2R1	0,00	0,00	0,00
$\gamma_{gem;d}$	A1M1R1	8,00	8,23	#WAARDEI	$\gamma_{gem;d}$	A1M1R1	9,00	9,00	9,00	$\gamma_{gem;d}$	A1M1R1	9,00	9,00	9,00
	A2M2R1	8,00	8,15	#WAARDEI		A2M2R1	9,00	9,00	9,00		A2M2R1	9,00	9,00	9,00

Figuur 16: Berekening invloedsdiepte fictief funderingsvlak berekeningstool

3 Aanpak sondeerfirma's

3.1 Inleiding

Gegevens over de ondergrond worden bekomen door een geotechnisch grondonderzoek. Een geotechnisch onderzoek kan bestaan uit een sondering, een boring of een meting van de grondwaterstand. Zo'n onderzoek wordt uitgevoerd door een gespecialiseerde firma en wordt samengevat in een sondeerverslag. Een sondeerverslag bevat een omschrijving van de sondering, een hoogtemeting, vermoedelijke geologische informatie van de grondlagen, opmeting grondwaterpeil, funderingsadvies, zettingsberekeningen en een berekening van het draagvermogen. Voor deze studie werden 40 sondeerverslagen geanalyseerd van 14 verschillende firma's

Iedere firma heeft zijn eigen methodes om tot de gegevens van een sondeerverslag te komen. Verder zijn er ook twee soorten sonderingen, zoals eerder al aangehaald: mechanische en elektrische. Deze geven beide verschillende resultaten wat ook weer leidt tot een andere analyse van de gegevens. In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de verschillende methodes gebruikt door de verschillende sondeerfirma's. Het is belangrijk om inzicht te krijgen in deze verschillende methodes om later de resultaten van de vergelijking in hoofdstuk 4 correct te kunnen analyseren.

3.2 Analyse ondergrond

Volgens de Eurocode moet de grondsoort bepaald worden volgens de standaardtabel met karakteristieke waarden voor grondparameters. Zoals eerder al vermeld in hoofdstuk 2.2.4 kan de grondsoort enkel gebruikt worden indien er gesondeerd is met een elektrische sonde doordat de lokale kleef niet gemeten wordt bij een mechanische sonde. Verder blijkt uit een bevraging bij de sondeerfirma's dat er ook niet blindelings vertrouwd mag worden op het wrijvingsgetal. Uit ervaring blijkt dat deze vaak strijdig is met de resultaten uit een boring.

Voor de hierboven genoemde redenen maken sondeerfirma's gebruik van een andere aanpak. Voor de classificatie van de grond baseren ze zich op de conusweerstand q_c van de sondering, op geologische kaarten van het DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen) en op basis van boringen die in de directe omgeving werden uitgevoerd. Op basis van deze gegevens wordt de ondergrond in een vijftal lagen onderverdeeld over de volledige diepte van de sondering.

Naast kennis over de grondsoorten aanwezig in de ondergrond, is het ook mogelijk om kennis te vergaren over de grondwaterstand. Dat kan op twee manieren gebeuren: opmeting in het sondeergat of opmetingen met een peilbuis. Na het uitvoeren van een sondering blijft er een gat met een diameter van 4 cm achter op het terrein. In dat sondeergat kan het grondwaterniveau gemeten worden. Echter bestaat het risico dat het gat dicht gevallen is of dat er een steen de meting verstoort. Overigens is een grondwatermeting in een open sondeergat ook niet zeer nauwkeurig. Het niveau kan bepaald worden door vier factoren: neerslag, grondsoort, seizoenen en de geologie [17]. Een nauwkeurige meting van het grondwaterpeil gebeurt met een peilbuis. Een peilbuis is een geperforeerde buis die in de bodem wordt geplaatst. Het grondwater dringt binnen in de peilbuis en het grondwaterniveau kan nauwkeurig afgelezen worden.

3.3 Berekening draagvermogen

Waar de analyse van de ondergrond in alle sondeerverslagen nog op dezelfde methode gebeurt, zijn de verschillen bij het berekenen van het draagvermogen groter. De formule gebruikt voor het berekenen van het draagvermogen is wel in elk geval hetzelfde. Het gaat over de formule van Prandtl-Caquot-Buisman die ook gegeven wordt in NBN EN 1997-1:

$$q_c = c * N_c + q * N_q + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma \quad (5)$$

Deze formule werd eerder al toegelicht in H2.4.1. Voor alleenstaande zolen mag het draagvermogen nog verhoogd worden met 30 %. Deze verhoging mag enkel toegepast worden indien de breukvlakken van de afzonderlijke funderingszolen elkaar niet snijden. In formule 5 zijn drie termen aanwezig: de diepteterm, de breedteterm en de cohesieterm. Iedere firma maakt een verschil in welke termen ze meenemen of verwaarlozen in hun berekeningen. De diepteterm wordt in elk verslag meegenomen. De breedteterm wordt enkele malen weggelaten, omdat deze afhankelijk is van de afmetingen van de fundering en deze niet gekend zijn op het moment van de sondering. In ongeveer de helft van de gevallen wordt de cohesieterm verwaarloosd. Een gedetailleerd overzicht van alle verslagen wordt gegeven in tabel 1. In Eurocode 7 worden er ook nog reductiefactoren voor de vorm van de fundering (s_c, s_q, s_γ), richting van de belasting (i_c, i_q, i_γ) en de helling van het maaiveld ($\lambda_c, \lambda_q, \lambda_\gamma$) toegevoegd aan formule 5. Dit is niet mogelijk om te doen in een sondeerverslag, aangezien deze gegevens nog niet gekend zijn.

Zoals eerder verteld is het draagvermogen afhankelijk van de breedte van de fundering. Deze is nog niet gekend op het moment van de sondering. Daarom maken de firma's een aanname van de breedte van de fundering die zal geplaatst worden. In de meeste gevallen gaat het daarbij over een breedte van 80 cm. Enkele firma's berekenen het draagvermogen voor meerderere breedtes. Ze variëren van 60 cm tot 2 m. De ingenieur kan dan het draagvermogen gebruiken waarvan de breedte het dichtste aansluit bij de eigenlijke afmetingen van de funderingen. Een overzicht van welke verslagen een onderscheid maken in breedte, wordt ook gegeven in Tabel 1.

In de berekeningstool wordt er in formule 9 gebruik gemaakt van gewogen grondparameters afhankelijk van de grondlagen aanwezig binnen de invloedsdiepte. Verder moet er ook een ponscontrole worden uitgevoerd indien er een cohesieve laag aanwezig is binnen de invloedsdiepte. Deze invloedsdiepte is afhankelijk van de afmetingen van de funderingszool alsook van de optredende belasting. Daardoor is het niet mogelijk om het effect van zwakke lagen binnen de invloedsdiepte op te nemen in de berekening van het draagvermogen volgens de sondeerverslagen. Om toch rekening te houden met zwakke lagen onder de fundering wordt volgende opmerking geplaatst in de verslagen:

“De draagvermogens op een bepaalde diepte zijn enkel geldig indien de onderliggende lagen niet boven hun eigen draagvermogen belast worden door de residuele belasting.”

Dat houdt in dat ook het draagvermogen van onderliggende lagen getoetst moet worden. Daarbij moeten de afmetingen van de funderingszool vergroot worden in functie van de diepte om rekening te houden met spreiding van de belasting. In de praktijk wordt dat vaak gedaan onder een hoek van 45° [5]. Het laagste draagvermogen moet dan weerhouden worden. In de meeste gevallen moet deze controle zelf gebeuren. Sommige bureaus voeren deze controle uit door de methode van Trân-vô-Nhiem toe te passen. Daarbij wordt binnen een invloedsdiepte van $2xB$ (breedte van de fundering) gezocht naar de laagste waarde van het draagvermogen [18]. Een overzicht van welke verslagen deze methode gebruiken, wordt gegeven in tabel 1.

Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende berekeningsmethodes toegepast op de 40 onderzochte verslagen. De verslagen kregen de volgende ID: Sondeerfirma_Locatie-sondering_Gebruikte-sondering-verslag. In deze tabel staat PCB voor Prandtl-Cauchy-Buisman en TVN voor Tr n-v -Nhiem.

Tabel 1: Berekeningsmethodes sondeerverslagen

	Formule draagvermogen	Elektrisch	Diepteterm	Breedterterm	Cohesierterm	Veiligheidsfactor	Opsplitsing breedte	Benadering TVN
Advison_Aarschot_S1	PCB		x	x	x	2		
Advison_Binkom_S1	PCB		x	x	x	2		
Advison_Boutersem_S1	PCB	x	x	x	x	2		
Advison_Geel_S1	PCB	x	x	x	x	2		
Advison_Hasselt_S1	PCB	x	x	x	x	2		
Advison_Hoellaart_S1	PCB		x	x	x	2		
Advison_Houth_Helcht_S3	PCB	x	x	x	x	2		
Advison_Houth_Helcht_S1	PCB	x	x	x	x	2		
Advison_Houth_Helcht_S2	PCB	x	x	x	x	2		
Advison_Lier_S1	PCB	x	x	x	x	2		
Advison_Lummen_S1	PCB		x	x	x	2		
Advison_Meerbeek_S1	PCB		x	x	x	2		
Advison_Tervuren_S1	PCB		x	x	x	2		
Advison_Tessenderlo_S1	PCB		x	x	x	2		
Berners NV_Overpelt_S1	PCB		?	?	?	2		
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5	PCB		x			2		
Cona_Bilzen_S1	PCB	x	x	x	x	/		x
Geosonda_Hasselt_S1 (weggooien, veenlaag)	PCB	x	x	x		2 à 3	x	
Geotechnica_Tongeren_S2	PCB	x	x	x		2 à 3	x	
Geosonda_Zonhoven_S1	PCB	x	x	x		2	x	
Laborex_Asse_zellik_S1	PCB		x	x		2		
Laborex_Pelt_S1	PCB	x	x	x		2		
SGS_Bilzen_S1	PCB		x	x	x	2		
SGS_Boortmeerbeek_S1	PCB		x	x	x	2		
SGS_Hasselt_S1	PCB		x	x	x	2		
SGS_Kessel Lo_S8 (boring tot 1,2m)	PCB		x	x	x	2		
SGS_Peer_S1	PCB	x	x	x	x	2		
SGS_Ronquieres_S1	PCB		x	x	x	2		
SGS_Zoutleeuw_S1	PCB		x	x	x	2		
Sondex_Temse_S1	PCB	x	x	x		2 à 3	x	
Vanderkeulen_Lubbeek_S1	PCB		x	x		2 à 3	x	
Vanderkeulen_proefrapport_S1	PCB	x	x	x		2 à 3	x	
VDC_Diepenbeek_S1	PCB		x			2		
Verbeke_Lubbeek_S1	PCB		x	x	x	2		x
Verbeke_Opplabbeek_S1	PCB		x	x	x	2 à 2,5		
Verbeke_Overijse_S1	PCB		x	x	x	2		x
Verbeke_Zonhoven_S1	PCB		x	x	x	2		x
WS_Geel_S1	PCB	x	?	?	?	?		
WS_Zonhoven_S1	PCB	x	?	?	?	?		
WS-Hamont-Achel_S1	PCB	x	?	?	?	?		

Het valt op dat er veel gegevens niet gekend zijn op het moment van een sondering om een correcte berekening van het draagvermogen van een zoelfundering te bekomen. De sondeerfirma's zijn daarvan op de hoogte en geven dat ook aan in hun verslagen. De berekende waarden mogen enkel als eerste inschatting van het draagvermogen gebruikt worden. Een correcte berekening moet gebeuren door de architect of de stabiliteitsingenieur op het moment dat alle gegevens gekend zijn.

4 Vergelijking resultaten

4.1 Inleiding

In Hoofdstuk 2 werd uitgebreid beschreven hoe het draagvermogen van een fundering op staal berekend moet worden volgens de Europese normen. In Hoofdstuk 3 werd beschreven hoe sondeerfirma's hiermee aan de slag gaan en wat hun gebruikte methodes en beperkingen zijn. In de praktijk worden de draagvermogens uit de sondeerverslagen wel degelijk gebruikt om de draagkracht van een fundering te berekenen. Verder wordt er in de praktijk ook gebruik gemaakt van de vuistregels $q_c/10$ als eerste raming van het draagvermogen [5]. In dit hoofdstuk wordt de vergelijking gemaakt tussen de resultaten uit de sondeerverslagen, de resultaten bekomen met de berekeningstool en de resultaten van de vuistregel $q_c/10$.

Voor dit onderzoek werd de draagkracht van 9 verschillende funderingszolen onderzocht. Er werden drie funderingsafmetingen onderzocht: 1 m x 1 m, 2 m x 2 m en 3 m x 3 m. De draagkracht van deze drie zolen werd berekend op drie verschillende aanzetdieptes: 0,8 m (vorstvrije diepte), 1,5 m (kruipkelder niveau), 3,3 m (kelderniveau). In totaal werden deze berekeningen uitgevoerd voor 40 sondeerverslagen.

In het hoofdstuk 4.2: Methode worden de verschillende stappen en aannames besproken voor de drie berekeningen van de draagkracht van een fundering. In het hoofdstuk 4.3: Resultaten worden de resultaten gevisualiseerd met grafieken en de belangrijkste gegevens weergegeven. Tot slot wordt in het hoofdstuk 4.4: Bespreking resultaten de resultaten besproken en worden de eventuele verschillen verklaard.

4.2 Methode

4.2.1 Berekening draagkracht volgens sondeerverslagen

De draagkracht van de funderingszolen werd berekend met de toelaatbare funderingsdruk voor vrijliggende zolen q'_{ad} . In een sondeerverslag wordt voor elke diepte de toelaatbare funderingsdruk weergegeven q'_d . Deze toelaatbare funderingsdruk wordt bekomen door een veiligheidsfactor in rekening te brengen op het evenwichtsdragvermogen q_d . Deze varieert voor de onderzochte verslagen tussen de 2 en 3. Voor vrijliggende funderingszolen mag deze toelaatbare funderingsdruk nog verhoogd worden met 30%. Het is deze funderingsdruk die gebruikt wordt voor de berekening van de draagkracht q'_{ad} .

Voor elke aanzetdiepte wordt het draagvermogen opgezocht in het sondeerverslag en vermenigvuldigd met het effectieve oppervlakte van de zool. In dit onderzoek wordt aangenomen dat de belasting centrisch aangrijpt op de zool en dat er geen horizontale belastingscomponent aanwezig is. Het effect van een excentrische belasting werd eerder al besproken in paragraaf 2.4.2. Daardoor wordt de draagkracht berekend als:

$$F_d(z_a) = q'ad(z_a) * b' * l' = q'ad(z_a) * b * l \quad (14)$$

In deze formule is:

- $F_d(z_a)$: draagkracht op aanzetniveau z_a
- $q'ad$: toelaatbare funderingsdruk zool
- b' : effectieve breedte fundering
- l' : effectieve breedte fundering
- b : breedte fundering
- l : lengte fundering

Om rekening te houden met mogelijke zwakke onderliggende lagen wordt de toelaatbare draagkracht van onderliggende lagen ook gecontroleerd met aangepaste afmetingen van de funderingszool. Die mag de toelaatbare funderingsdruk van de desbetreffende laag niet overschrijden. De belasting wordt gespreid onder een hoek van 45° [5]. De draagkracht wordt dan berekend als:

$$F_d(z) = q'ad(z) * b * (1 + (z_a - z) * 2) * l * (1 + (z_a - z) * 2) \quad (15)$$

In deze formule is:

- $F_d(z)$: draagkracht op niveau z
- b : breedte funderingszool
- z_a : aanzetniveau fundering
- z : niveau berekening draagkracht
- l : breedte fundering

Als uiteindelijke draagkracht wordt het minimum genomen van alle draagkrachten berekend voor de verschillende dieptes.

Zoals blijkt uit formule 9 is het draagvermogen afhankelijk van de breedte van de fundering. Deze afmetingen zijn niet gekend op het moment dat een sondeerverslag wordt opgesteld. Daarom berekenen 5 sondeerverslagen het draagvermogen voor verschillende breedtes. De berekende breedtes variëren van 0,6 m tot 2 m. De draagkracht wordt berekend door lineaire interpolatie toe te passen op de draagvermogens zodat deze draagvermogens overeenstemmen met de breedte van de respectievelijke funderingszool. Voor de berekening van het draagvermogen met een breedte van 3 m moet er geëxtrapoleerd worden. De geldigheid van deze aanpak wordt onderzocht bij de bespreking van de resultaten.

4.2.2 Berekening draagkracht volgens berekeningstool

Bij de berekeningstool moet het draagvermogen nog berekend worden. Daarvoor moet eerst de ondergrond onderverdeeld worden in vier grondlagen. Bij mechanische sonderingen wordt er gekeken naar de variaties in de conusweerstand en naar geologische kaarten voor een opdeling in grondlagen. Daarbij worden de resultaten steeds vergeleken met die weergegeven in het sondeerverslag zelf. Bij afwijkingen tussen de analyses, wordt de onderverdeling van de grondlagen gebruikt zoals aangegeven in de sondeerverslagen om de vergelijking van de resultaten mogelijk te maken. Bij elektrische sonderingen wordt er gekeken naar zowel de conusweerstand en het wrijvingsgetal. De grondsoorten worden bepaald met de standaardtabel met karakteristieke waarden voor grondparameters uit de Nationale bijlage van Eurocode 7. Ook daar worden de grondsoorten vergeleken met deze weergegeven in de sondeerverslagen. Ter hoogte van de grondwaterstand dient er steeds een nieuwe laag te beginnen. Er wordt steeds een laag van 60 cm verondersteld net onder het aanzetniveau. Dat is belangrijk in het geval dat het aanzetniveau zich bevindt op de grens tussen twee grondsoorten. Zou men hier een dikke laag veronderstellen, zouden de grondparameters van de grondlaag niet meer representatief zijn voor deze op het aanzetniveau. Een grondlaag van 60 cm neemt minstens drie datapunten in rekening en is anderzijds nog dun genoeg om representatief te zijn voor de grondeigenschappen op het aanzetniveau.

De methode waarop het draagvermogen berekend wordt bij de berekeningstool werd eerder al toegelicht in hoofdstuk 2.4.4. Ook hier wordt verondersteld dat de belasting centrisch aangrijpt en dat er geen horizontale belasting component aanwezig is. Er wordt gerekend met gevolgklasse RC2 aangezien deze het meest voorkomend is [12]. De dikte van de funderingszool wordt verondersteld op 50 cm. Tot slot worden de relevante gevallen gecontroleerd zoals weergegeven op P29. De laagste waarde van de gedraineerde en ongedraineerde toestand wordt aangehouden als toelaatbare draagkracht.

4.2.3 Berekening draagkracht volgens $q_c/10$

Tot slot wordt de draagkracht berekend volgens de vuistregel $q_c/10$. Daarbij wordt de conusweerstand op aanzetniveau gedeeld door 10 en vermenigvuldigd met de oppervlakte van de funderingszool:

$$F_d(z_a) = \frac{q_c(z_a)}{10} * b * l \quad (16)$$

In deze formule is:

- $F_d(z_a)$: draagkracht op aanzetniveau z_a
- $q_c(z_a)$: conusweerstand op aanzetniveau z_a
- b : breedte funderingszool
- l : lengte funderingszool

Bij deze methode wordt er ook rekening gehouden met eventuele zwakke onderliggende lagen. Dit door de belasting te spreiden onder een hoek van 45° in functie van de diepte. De laagste waarde van het draagvermogen over een invloedsdiepte van de 2 keer de breedte wordt aangehouden als draagvermogen op het aanzetniveau.

4.3 Resultaten

De resultaten van de berekening volgens de sondeerverslagen, berekeningstool en de vuistregel $q_c/10$ worden in tabelvorm weergegeven in bijlage C. Hierin is te zien hoe voor de 40 verschillende sondeerverslagen de draagkracht berekend is voor de zoolafmetingen op drie aanzetniveaus. De verschillende sondeerverslagen kregen de ID: Sondeerfirma_Locatie-sondering_Gebruikte-sondering-verslag. In deze tabel zijn sommige resultaten weggelaten. Dat is het geval wanneer er sprake was van een veenlaag. In een veenlaag mag nooit aangezet worden, dus deze gegevens zijn niet relevant voor deze studie. Om de resultaten beter te kunnen analyseren werden ook de volgende verhoudingen berekend:

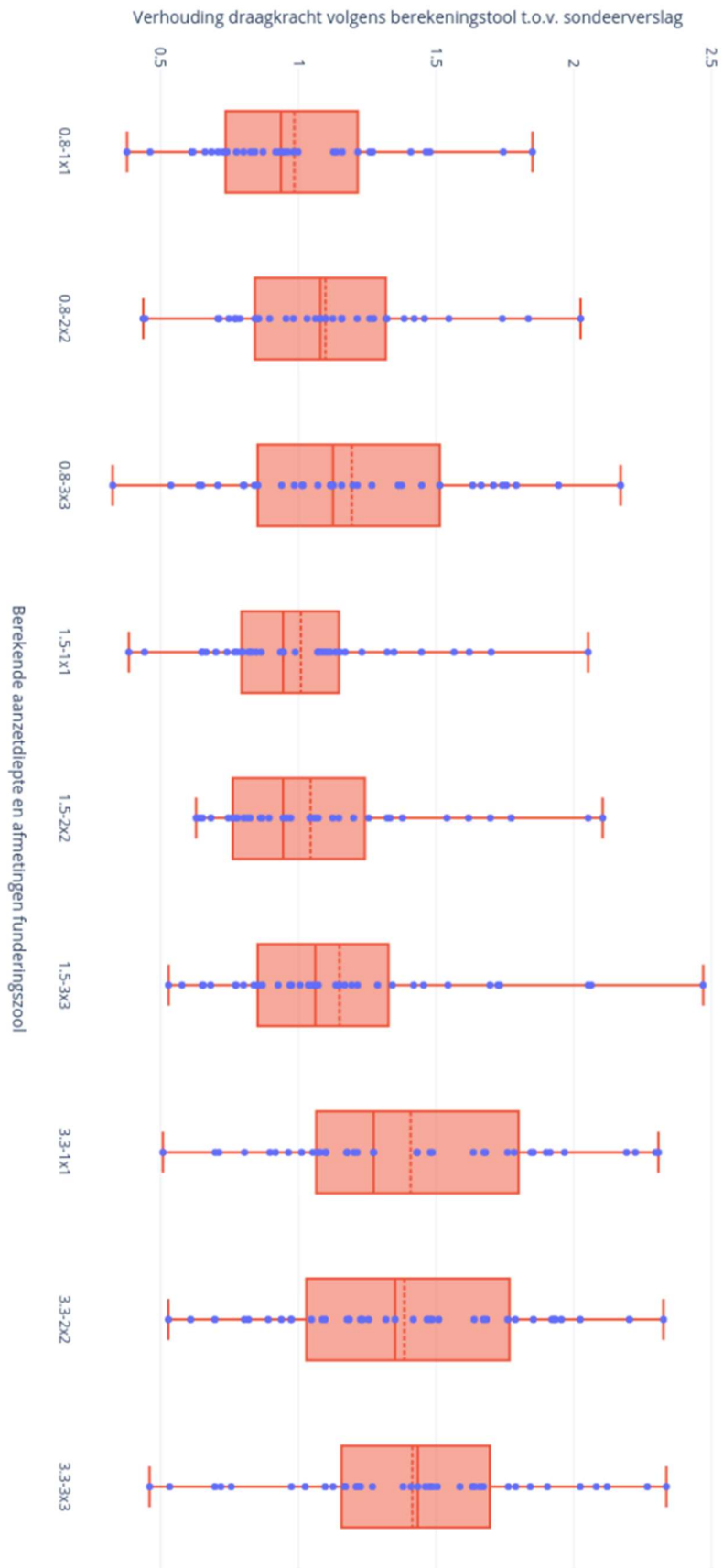
- draagkracht berekeningstool / draagkracht sondeerverslag;
- draagkracht berekeningstool / draagkracht ($q_c/10$);
- draagkracht sondeerverslag / draagkracht ($q_c/10$).

De resultaten van vergelijking tussen de berekeningstool en het sonderingverslag worden weergegeven in onderstaande grafiek. De resultaten worden weergegeven in een beeswarm plot op de volgende pagina. Op de x-as staan de 9 onderzochte funderingen. Op de y-as staat de verhouding draagkracht berekeningstool ten opzichte van de draagkracht sonderingverslag. Elk blauw punt staat voor de ratio van één sondeerverslag. Op de grafiek is ook de boxplot getekend voor elke onderzochte fundering. De belangrijkste kengetallen worden weergegeven in tabel 2.

Het gemiddelde van alle ratio's bedraagt 1,19. Daaruit volgt dat het draagvermogen over het algemeen onderschat wordt in de sondeerverslagen.

Tabel 2: Kengetallen vergelijking resultaten berekeningstool en sondeerverslag

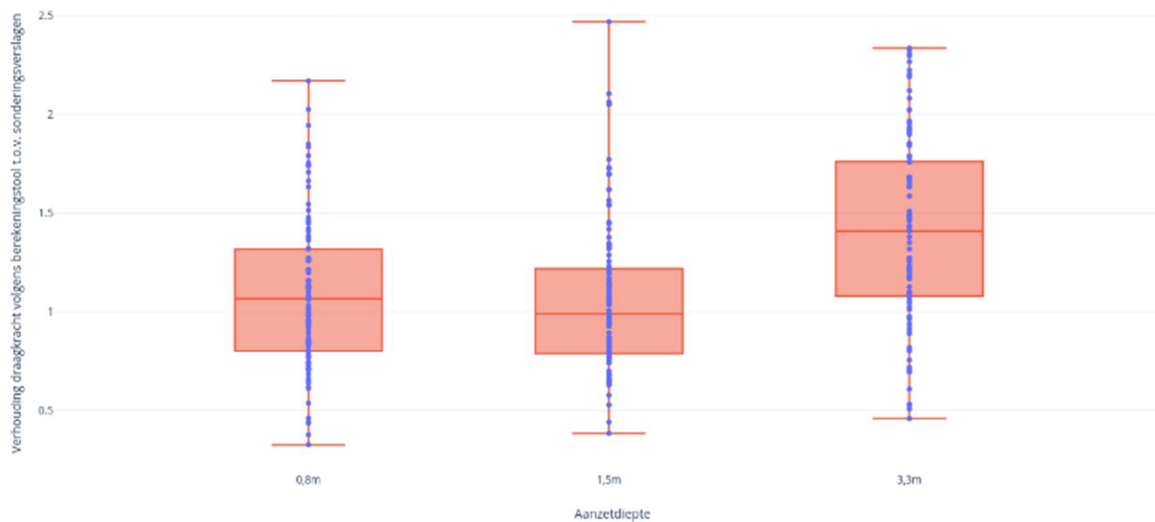
	0,8m			1,5m			3,3m		
	Ratio ()	Ratio ()	Ratio ()	Ratio ()	Ratio ()	Ratio ()	Ratio ()	Ratio ()	Ratio ()
	1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3
1e kwartiel	0,74	0,84	0,87	0,79	0,76	0,85	1,07	1,05	1,17
Mediaan	0,94	1,08	1,13	0,94	0,92	1,06	1,24	1,29	1,39
Gemiddelde	1,02	1,12	1,20	1,00	0,99	1,08	1,39	1,35	1,35
3e kwartiel	1,21	1,32	1,48	1,14	1,21	1,30	1,74	1,68	1,65
Standaardafwijking	0,35	0,38	0,44	0,35	0,40	0,44	0,47	0,45	0,45



Figuur 17: Resultaten van de verhouding draagkracht berekeningstool / draagkracht sonderingverslag

Uit figuur 17 en tabel 2 kunnen op het eerste zicht twee trends onderscheiden worden: de ratio neemt toe met de aanzetdiepte van de funderingszool en de ratio neemt toe met de afmetingen van de funderingszool.

Figuur 18 en tabel 3 geven de eerste trend duidelijker weer. Voor de aanzet op 0,8 m en 1,5 m bedraagt de mediaan van de ratio's 1,08 en 0,99. Dat geeft aan dat de berekende draagkrachten op deze diepte quasi gelijk zijn volgens de berekening met de berekeningstool en de berekening volgens de sonderingen. Bij een aanzetdiepte van 3,3 m bedraagt de mediaan van het ratio 1,37. Dat geeft aan dat de draagkracht met de berekening volgens de sondeerverslagen onderschat wordt, of dat er gerekend wordt met andere randvoorwaarden.

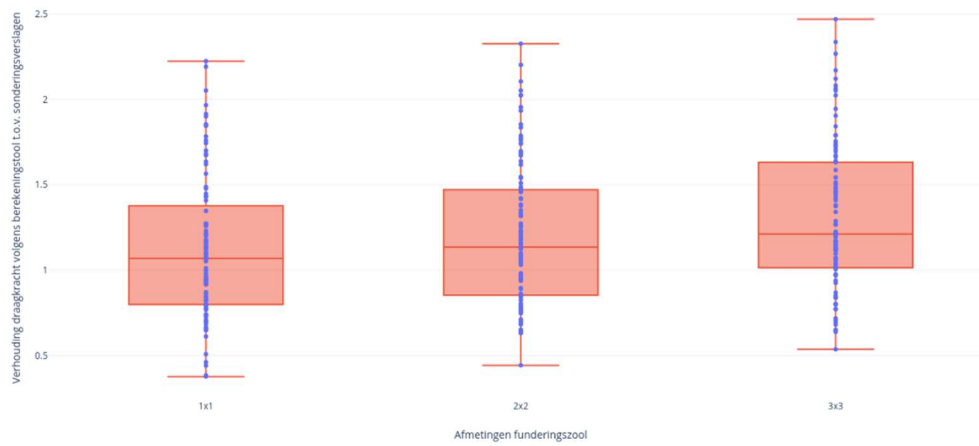


Figuur 18: Resultaten effect aanzetdiepte

Tabel 3: Kengetallen effect aanzetdiepte

	0,8m	1,5m	3,3m
	Ratio	Ratio	Ratio
	()	()	()
1e kwartiel	0,86	0,74	1,01
Mediaan	1,08	0,99	1,37
Gemiddelde	1,11	1,03	1,37
3e kwartiel	1,34	1,20	1,67
Standaardafwijking	0,38	0,37	0,47

Voor het effect van de afmetingen te analyseren, wordt er een onderscheid gemaakt tussen twee gevallen: sondeerverslagen waarbij er geen opsplitsing gebeurt in breedte voor de berekening van het draagvermogen en sondeerverslagen waarbij er wel een opsplitsing gebeurt in breedte voor de berekening van het draagvermogen. De resultaten van deze analyses worden respectievelijk weergegeven in figuur 19 en figuur 20. Tabel 4 en 5 geven de respectievelijke kengetallen.



Figuur 19: Analyse resultaten afmetingen zool zonder opsplitsing breedte

Tabel 4: Kengetallen analyse afmetingen zool zonder opsplitsing breedte

	1x1	2x2	3x3
	Ratio	Ratio	Ratio
	()	()	()
1e kwartiel	0,80	0,86	1,02
Mediaan	1,07	1,15	1,21
Gemiddelde	1,13	1,21	1,31
3e kwartiel	1,38	1,47	1,63
Standaardafwijking	0,42	0,42	0,43



Figuur 20: Resultaten effect afmetingen zool met opsplitsing breedte

Tabel 5: Kengetallen effect afmetingen zool met opsplitsing breedte

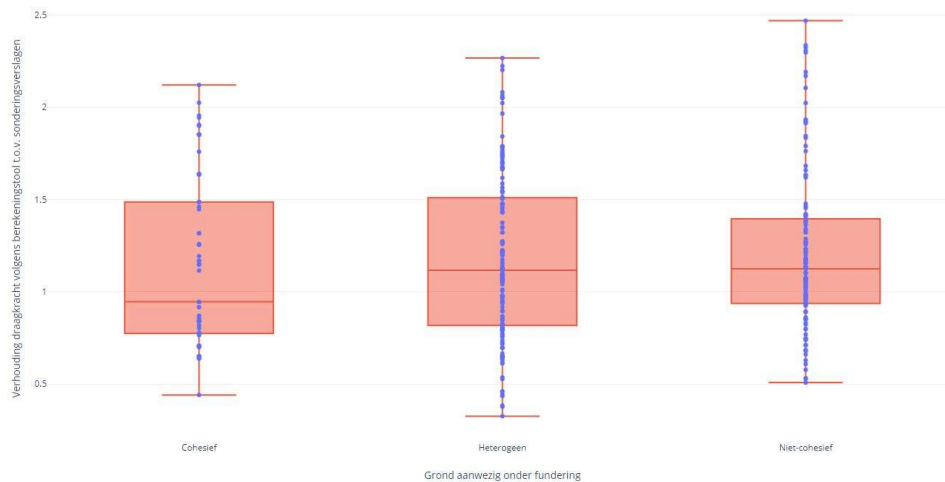
	1x1	2x2	3x3
	Ratio	Ratio	Ratio
	()	()	()
1e kwartiel	0,85	0,66	0,54
Mediaan	1,09	0,84	0,80
Gemiddelde	1,23	0,98	0,88
3e kwartiel	1,43	1,07	1,04
Standaardafwijking	0,53	0,46	0,44

Bij de verslagen waar geen onderscheidt wordt gemaakt in breedte bij de berekening van het draagvermogen, neemt de ratio toe naarmate de afmetingen toe nemen. Bij een zool van 1 m x 1m bedraagt de mediaan van de ratio 1,07, waar dit voor funderingszolen van 3 m x 3 m 1,21 is. Dat wil zeggen dat voor grote zolen het draagvermogen onderschat wordt in de sondeerverslagen. De gemiddelde ratio's per funderingsafmeting en aanzetdiepte geven aan dat het effect van dit verschil kleiner wordt bij grotere aanzetdieptes. Bij een aanzetdiepte van 0,8 m bedraagt het verschil in gemiddelde van de ratio's 0,18 tussen het draagvermogen van een funderingszool van 1 m x 1 m en het draagvermogen van een funderingszool van 3 m x 3 m. Bij een aanzetniveau van 3,3 m is het verschil in gemiddelde van de ratio's nog maar 0,04.

Bij de sondeerverslagen waar er wel een opsplitsing werd gemaakt in breedte bij de berekening van het draagvermogen is er een andere trend zichtbaar: de ratio daalt bij toenemende zoolafmetingen. Voor de berekeningen met een zool van 1 m x 1 m bedraagt de mediaan van de ratio's 1.09. Voor de berekening met een zool van 3 m x 3 m bedraagt de mediaan van de ratio's nog maar 0.80. Dat duidt aan dat het draagvermogen volgens de sondeerverslagen bij grote afmetingen overschat wordt.

Uit de tabel weergegeven in bijlage C op pagina 74 volgt dat de verhouding van de draagkracht berekend met de berekeningstool en met de vuistregel $q_c/10$ varieert tussen 0,238 en de 5,194. De mediaan van de ratio's bedraagt 0,77 en de standaardafwijking 0,676. De variaties zijn het grootst bij aanzet in een grondlaag met een conusweerstand groter dan 8 MPa. Het draagvermogen wordt dan met de vuistregel $q_c/10$ sterkt overschat. Op pagina 75 zijn de resultaten weergegeven van de verhouding van de draagkracht berekend met de berekeningstool en met de vuistregel $q_c/10$, maar dan zonder de waardes waarbij wordt aangezet in een grondlaag met een conusweerstand hoger dan 8 MPa. De mediaan van de ratio's bedraagt dan 0,912 en de standaardafwijking 0,718.

Tot slot wordt in figuur 21 een opsplitsing gemaakt op basis van de ondergrond. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen niet-cohesieve gronden, cohesieve gronden en heterogene gronden. Tabel 6 geeft de kerngetallen van deze analyse.



Figuur 21: Analyse ondergrond

Tabel 6: kerngetallen effecten ondergrond

	Cohesief	Heteroëen	Niet-cohesief
	Ratio	Ratio	Ratio
	()	()	()
1e kwartiel	0,78	0,82	0,94
Mediaan	0,95	1,12	1,12
Gemiddelde	1,16	1,18	1,21
3e kwartiel	1,49	1,51	1,39
Standaardafwijking	0,46	0,44	0,44

De medianen van de ratio's bedraagt voor de cohesieve gronden, de heterogene gronden en de niet-cohesieve gronden respectievelijk 0,95, 1,12 en 1,12. De standaardafwijking is voor de drie situaties nagenoeg gelijk (0,46, 0,44 en 0,44). In de niet-cohesieve gronden liggen de grenzen van het eerste kwartiel en het derde kwartiel het dichtste bij de mediaan van de drie onderzochte situaties. Echter zijn er bij de niet-cohesieve gronden ook de grootste uitschieters wat betreft onderschatting van het draagvermogen volgens de sondeerverslagen. Bij heterogene gronden zijn de uitschieters het grootst wat betreft de overschatting van het draagvermogen volgens de sondeerverslagen.

4.4 Discussie resultaten

4.4.1 Globale vaststellingen

De gemiddelde verhouding van de draagkracht berekend volgens de berekeningstool en de draagkracht berekend volgens de sondeerverslagen bedraagt 1,18. Dat houdt in dat de draagkracht volgens de berekeningstool gemiddeld groter is. Bij de sondeerverslagen wordt er aangegeven dat de cohesieterm verwaarloosd wordt. Bij de berekeningstool gebeurt dit niet. Daardoor zal het draagvermogen van de berekeningstool groter zijn dan dat weergegeven in de sondeerverslagen. Verder worden de veiligheden bij de berekeningstool bepaald zoals voorgeschreven in de Eurocode. Dat houdt in dat op basis van de gevolgklasse partiële veiligheidsfactoren worden toegepast op de materiaaleigenschappen. Bij sondeerverslagen wordt het bekomen draagvermogen gedeeld door een veiligheidsfactor om de onzekerheden van de methode en de onzekerheden van de verschillende parameters in rekening te brengen. Zoals weergegeven in tabel 1 kan deze factor variëren tussen de 2 en 3. Of het verschil van beide aanpakken impact heeft op het uiteindelijke draagvermogen, valt moeilijk te onderzoeken doordat er veel andere factoren spelen en het niet zeker is dat er steeds met dezelfde parameters gerekend werd. Ook wordt er vastgesteld dat voor de ponsberekening de belasting onder een hoek van 8° gespreid wordt, terwijl dit volgens de theorie van Boussinesq [4] onder een hoek van 45° (voor dichtgepakte gronden) zou kunnen. Over de reden waarom er gespreid wordt met een hoek van 8°, wordt er niets vermeld in de literatuur. Verder onderzoek kan worden uitgevoerd om te achterhalen of ook bij doorponsen onder een hoek van 45° gespreid mag worden.

4.4.2 Analyse ondergrond

De analyse van de grondsoorten kwam vaak niet overeen met deze opgegeven in de sondeerverslagen. Zoals eerder aangegeven baseren de sondeerfirma's zich op de conusweerstand, geologische kaarten en boringen in de directe omgeving voor het identificatie van de ondergrond. Bij de berekeningstool werd bij mechanische sonderingen uitgegaan van de conusweerstand en geologische kaarten, bij elektrische sonderingen werd de standaardtabel voor karakteristieke waarden van grondparameters uit de Nationale bijlage van Eurocode 7 gebruikt.

Een voorbeeld hiervan is de sondering SGS_Peer_S1. De sondering wordt gegeven in figuur 22. De oranje lijn is de conusweerstand, de groene lijn geeft het wrijvingsgetal weer. De rode lijn geeft de gekozen onderverdeling van lagen weer en de bijhorende gemiddelde conusweerstand van die laag.



Figuur 22: Sondering SGS_Peer_S1

In tabel 6 wordt zowel de beschrijving gegeven van de ondergrond volgens het sondeerverslag als volgens de berekeningstool. De sondeerverslagen identificeren binnen een grondlaag verschillende grondsoorten waar de berekeningstool de gemiddelde grondsoort over een grondlaag geeft. Binnen de berekeningstool kunnen ook maximum vier lagen geïdentificeerd worden.

Tabel 7: vergelijking onderverdeling grondlagen SGS_Peer_S1

Sonderingsverslag		Berekeningstool	
Begin- en einddiepte laag	Beschrijving laag	Begin- en einddiepte laag	Beschrijving laag
0,00-1,30	Aanvullingslaag en/of geroerde zone, gevolgd door quartair los gepakt, kleihoudend tot plaatselijk dicht gepakt zand	0,80-1,40	Matig gepakt zand met leem/klei
1,30-3,30	Quartair en/of tertiair matig tot dicht gepakt zand, plaatselijk mogelijk klei- of glauconiethoudend	1,40-2,40	Vij vast gepakte leem/silt met leem
3,30-14,40	Tertiair dicht tot zeer dicht gepakt zand, met plaatselijk zwakkere klei- of lignietlaagjes	2,40-3,20 3,20-8,60	Matig gepakt zand met leem/klei Dicht gepakt zand

De beperking van maximaal vier grondlagen zorgt voor een beperking in nauwkeurigheid. Zeker bij de elektrische sonderingen waar conusweerstand en lokale kleef gemeten wordt om de 2 cm zijn vier grondlagen te weinig om een betrouwbaar model te krijgen van de ondergrond. Het belang van extra grondlagen wordt groter bij heterogene gronden en bij grote funderingszolen, waar de invloedsdiepte groter is.

Deze sondering toont ook het belang aan van een goede inschatting van de ondergrond. In het sondeerverslag wordt er aangegeven dat er binnen de eerste grondlaag dichtgepakt zand aanwezig is. Wordt er hiermee gerekend in plaats van matig gepakt zand met leem/klei, dan levert dit een toename in draagkracht op van 21 % op (2591 kN t.o.v. 2145 kN). Het is dus zeer belangrijk om voldoende aandacht te besteden aan het grondonderzoek, voldoende relevante bronnen te raadplegen zoals geologische kaarten en eventueel een boring te laten uitvoeren. Ook moet steeds het grondonderzoek afgetoetst worden aan het grondonderzoek beschreven in het sondeerverslag. Bij tegenstrijdigheden wordt er best contact opgenomen met de firma's.

Verschiedende rekensoftware/firma's maken gebruik van de methode van Robertson voor het analyseren van grondlagen op basis van de resultaten in sondeerverslagen. Deze methode is proefondervindelijk gecontroleerd in België en geeft in de meeste gevallen realistische resultaten (met uitzondering van glauconiethoudend zand) [19]. Het is mogelijk interessant om te onderzoeken of deze methode beter is om op te nemen in Eurocode 7 in plaats van de standaardtabel voor de karakteristieke waarden voor grondparameters. Dit doordat sondeerfirma's aangeven dat de resultaten van deze tabel soms vreemde resultaten geven in België.

4.4.3 Invloed aanzetdiepte

De resultaten van het effect van de aanzetdiepte tonen aan dat op een aanzetdiepte van 3,3 m het draagvermogen volgens de sonderingsverslagen 37% verschilt van het draagvermogen berekend met de berekeningstool. Over de randvoorwaarden van de berekening in de sondeerverslagen is er weinig gegeven. Zo is het de vraag of de firma's rekenen met het volledige aardepakket aanwezig boven de fundering, of dat ze al rekening houden met een eventuele kelder. Advison geeft in hun verslagen aan of er een kelder aanwezig zal zijn of niet. Vanderkeulen, Geosonda, Borges Geoconsult, SGS, Sondex, VDC en Geotechnica vermelden dat het huidige maaiveld aanwezig moet blijven voor de geldigheid van de berekende draagvermogens. Laborex, Verbeke, Winters sonderingen en Cona grondonderzoek geven geen toelichting over welke aannames werden gemaakt. De resultaten tonen

aan dat er bij elk van de drie voorgenoemde situaties grote afwijkingen optreden tussen de resultaten. Het is dus moeilijk om een direct verband voor deze afwijking te vinden.

Het is een veilige aanname om de invloed van de diepteterm te beperken tot de zoldikte. Dit voor problemen bij eventuele latere uitgravingen te voorkomen.

4.4.4 Invloed breedteterm draagvermogen

Uit de resultaten van de verslagen, waar geen onderverdeling werd gemaakt in de berekende breedte van het draagvermogen, volgt dat de sondeerverslagen de draagkracht onderschatten voor grote zoolafmetingen. Dat komt overeen met wat men zou verwachten op basis van vergelijking 9. Daaruit blijkt dat het draagvermogen van een fundering op staal afhankelijk is van de breedte. Sondeerfirma's veronderstellen een breedte waarmee ze het draagvermogen berekenen, meestal bedraagt die 0,8 m. Doordat deze breedte kleiner is dan de werkelijke breedte van de funderingszool, wordt het draagvermogen onderschat in het sondeerverslag. De invloed van deze fout neemt af naarmate de aanzetdiepte vergroot. Dat wordt verklaard doordat de diepteterm een grotere rol gaat spelen in de formule van het draagvermogen en het effect van de breedte dus minder merkbaar is.

Het effect van de breedte in de formule voor het draagvermogen werd gesimuleerd door het draagvermogen voor een homogene dichtgepakte zandgrond te berekenen. Eenmaal werd het draagvermogen berekend met een breedte van 1 m en eenmaal werd het draagvermogen berekend met een breedte van 3 m. Bij een aanzetniveau van 0,8 m bedroeg het verschil in draagvermogen 21%. Bij een aanzetniveau 3,3 m bedroeg het verschil in draagvermogen nog 5%. Deze waarden zijn in lijn met de vaststellingen in tabel 2 en tonen aan dat het effect van de breedteterm afneemt in functie van de diepte.

Bij de sondeerverslagen waar er wel een opsplitsing werd gemaakt in de berekende breedtes van het draagvermogen, overschatten de sondeerverslagen het draagvermogen. Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in de toegepaste methode. Voor drie van de vijf verslagen was de maximumbreedte waarbij het draagvermogen werd berekend 1,2 m. Daardoor moet voor zowel de funderingszool van 2 m x 2 m als voor de funderingszool van 3 m x 3 m het draagvermogen geëxtrapolerd worden. Dat heeft als risico dat mogelijke zwakke lagen onder de fundering niet gecontroleerd werden. De reden hiervoor is dat ze buiten de invloedsdiepte vallen van de berekende funderingsafmetingen, maar binnen de invloedsdiepte van de veronderstelde funderingsafmetingen. Daardoor worden ze niet gecontroleerd bij de sondeerverslagen, maar wel bij de berekeningstool. Daardoor zal het draagvermogen van de sondeerverslagen een hogere waarde geven. Daaruit kan besloten worden dat de techniek van extrapoleren niet gebruikt mag worden bij de berekening van de draagkracht bij verslagen waarbij er een onderverdeling gemaakt is in berekende breedtes.

Het is ook belangrijk om vast te stellen dat deze studie werd uitgevoerd met de veronderstelling dat er enkel een verticale belastingscomponent aanwezig is en dat deze centrisch aangrijpt. In het geval waarbij dit niet zo is, moet zowel de breedte als de lengte gereduceerd worden met tweemaal de excentriciteit in de respectievelijke richting. Deze effectieve breedte moet ook gebruikt worden in de breedteterm van formule 9. Daardoor zal bij een schuine belasting, of een excentrische belasting, het draagvermogen van de ondergrond verlagen. Over de belasting is op het moment van sonderen nog niets gekend. Deze effecten worden dus niet meegenomen in de berekening volgens de sondeerverslagen.

4.4.5 Vuistregel $q_c/10$

De vuistregel $q_c/10$ moet met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden. Uit de analyse blijkt dat het draagvermogen met een factor 5 over- of onderschat kan worden. Bij funderingen waarbij wordt aangezet in een grondlaag met een conusweerstand van meer dan 8 MPa, wordt het draagvermogen met de vuistregel sterk overschat. Dit doordat het draagvermogen van een fundering volgens Prandtl-Caquot-Buisman niet lineair toeneemt met de conusweerstand van de ondergrond, de vuistregel veronderstelt dit wel. Wanneer deze resultaten buiten beschouwing worden gelaten, komt de mediaan van de ratio's dichter bij de 1 te liggen (0,912). De spreiding blijft echter zeer hoog (standaardafwijking van 0,718). De vuistregel q_c moet daarom met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden en mag enkel dienen als een eerste indicatie van het draagvermogen. Een nauwkeurige berekening met de formules uit hoofdstuk 2.4 is steeds vereist.

4.4.6 Invloed ondergrond

Uit de opsplitsing tussen cohesieve gronden, heterogene gronden en niet-cohesieve gronden kunnen geen duidelijke trends afgeleid worden. In de drie situaties is de spreiding nagenoeg gelijk. Niet-cohesieve gronden hebben de kleinste spreiding tussen het eerste en het derde kwartiel, maar hebben ook de grootste uitschieters wat betreft onderschatting van het draagvermogen door de sondeerverslagen. De grootste uitschieters wat betreft de overschatting van het draagvermogen bevinden zich bij de heterogene gronden. Het is moeilijk om conclusies te trekken uit deze analyse. Dit doordat ook de invloed van de aanzetdiepte, breedte, beperking van vier grondlagen bij de berekeningstool en de analyse van de ondergrond verweven zitten in deze resultaten. Uit de resultaten volgt wel dat voor iedere ondergrond de berekening van het draagvermogen met voldoende nauwkeurigheid en aandacht moet gebeuren.

5 Besluit

De berekende draagvermogens gerapporteerd in de sondeerverslagen worden gemiddeld met 19 % onderschat ten opzichte van de berekende draagvermogens volgens de referentieberekening met de berekeningstool. Dit doordat de berekening van de draagkracht van een fundering op staal sterk afhankelijk is van de interpretatie van de ingenieur. Het is belangrijk om alle randvoorwaarden en grondparameters correct in rekening te brengen. De randvoorwaarden zijn vaak niet gekend op het moment van een sondering, waardoor de berekening gegeven in sondeerverslagen niet nauwkeurig is. De belangrijkste randvoorwaarden en grondparameters zijn:

- De opbouw van de ondergrond: De grondparameters zijn afhankelijk van de opbouw van de ondergrond en de onderverdeling hiervan komt zelden overeen met deze opgegeven in de sondeerverslagen. Het is belangrijk om deze grondparameters correct te bepalen, aangezien een verkeerde inschatting van de pakkingsgraad al een afwijking van 21% kan veroorzaken. Bij deze onderverdeling moet steeds beroep gedaan worden op geologische kaarten, ervaring en eventuele boringen. Er moet ook steeds vergeleken worden met de analyse van de ondergrond opgegeven in de sondeerverslagen.
- De aanzetdiepte: De resultaten tonen aan dat het draagvermogen in sondeerverslagen op grote diepte (3,3 m) onderschat worden met 37 % wanneer er gerekend wordt met het behoud van het huidige maaiveld. Het is echter een veilige aanname om slechts een beperkte diepteterm in rekening te brengen voor eventuele schadegevallen bij latere graafwerken te vermijden.
- De breedte van de fundering: Zowel het draagvermogen als de invloeddiepte is afhankelijk van de breedte van de fundering. De afmetingen van de fundering zijn niet gekend bij het opstellen van een sondeerverslag waardoor de firma's een veilige aanname doen. Hierdoor wordt het draagvermogen voor grote zoolafmetingen (3 m x 3 m) onderschat in de sondeerverslagen met 21 %. Verder mag er bij sondeerverslagen die een opsplitsing maken in hun berekende breedte van het draagvermogen niet geëxtrapoleerd worden. Dit zorgt voor een overschatting van 20 % van het draagvermogen bij funderingszolen van 3 m x 3 m.
- Het grondwaterpeil: Deze moet gekend zijn voor een correcte berekening. Het grondwaterpeil heeft zowel invloed op zowel de diepteterm als de breedteterm van de formule van het draagvermogen.
- Richting van belasting en excentriciteit: Deze studie werd uitgevoerd met de aanname dat er geen horizontale belastingscomponent of excentriciteit aanwezig is. Een horizontale belasting of excentriciteit heeft een negatieve invloed op het draagvermogen. Deze invloed kan niet berekend worden bij een sondeerverslag door een gebrek aan gegevens over de belasting.

Verder staat er in de Eurocode zeer beperkt beschreven hoe funderingen berekend moeten worden en hoe de ondergrond geïnterpreteerd moet worden. In een toekomstige studie zou onderzocht kunnen worden welke methode van grondonderzoek de beste resultaten geeft.

Tot slot is de aanname bij de berekeningstool om binnen de invloeddiepte maximaal vier grondlagen te definiëren te beperkend. Deze aanname zorgt ervoor dat bij heterogene gronden geen voldoende nauwkeurig beeld gevormd kan worden van de ondergrond. Het is een mogelijkheid om de tool uit te breiden tot vijf of zes grondlagen om een beter model te kunnen maken van de ondergrond.

Bibliografie

- [1] AB Associates, „Over AB Associates,” 2018. [Online]. Available: <https://www.abassociates.be/over-ons/>. [Geopend 14 11 2020].
- [2] Advison, „Wat staat er in het sondeerverslag,” Abeloosdesign, [Online]. Available: <https://www.advison.be/nl/faq/wat-staat-er-in-het-sondeerverslag>. [Geopend 14 11 2020].
- [3] S. Schaerlaekens, „Hoe en waarom... De Eurocodes?,” *BIN-Revue*, 2000.
- [4] Backhausen en v. d. Stoel, Reader geotechniek voor het HBO, Den Haag: KIVI, 2011.
- [5] D. Smet, Grondmechanica, Brussel: Vrije Universiteit Brussel, 2007.
- [6] CEN: European Committee for Standardization, „NBN EN 1997-1,” CEN: European Committee for Standardization, Brussel, 2004.
- [7] A. Verruijt, Grondmechanica, Delft: TUDelft, 2001.
- [8] BG Engineering, „Elektrische diepsonderingen,” BG Engineering, [Online]. Available: https://www.bg-engineering.be/diepsondering_electrisch.htm. [Geopend 25 Februari 2021].
- [9] Group Verbeke, „Wat is een boring?,” Kriesi, [Online]. Available: <https://www.verbeke.com/geotechniek/boringen/>. [Geopend 06 05 2021].
- [10] CEN; European Committee for Standardization, „NBN EN 1997-1 ANB,” NBN EN 1997-1 ANB, Brussel, 2014.
- [11] WTCB, „Geotechniek: Ontwerp,” WTCB, [Online]. Available: <https://www.wtcb.be/homepage/>. [Geopend 26 Februari 2021].
- [12] B. Parmentier en D. Delincé, „Ontwerp en dimensionering van constructies volgens Eurocode 0 (EN 1990),” *WTCB Tijdschrift*, pp. 35-36, 2003.
- [13] B. M. Das, Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, Miami: CRC Press, 2017.
- [14] G. Meyerhof, The Bearing Capacity of Foundations under Eccentric, Watford: ISSMGE.
- [15] C. Venkatramaiah, Geotechnical Engineering, Tirupati: New Age publishers, 2006.
- [16] K. Terzaghi, Theoretical Soil Mechanics, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1943.
- [17] Advison, „Hoe nauwkeurig is een grondwatermeting?,” Abeloosdesign, [Online]. Available: <https://www.advison.be/nl/faq/hoe-nauwkeurig-is-een-grondwatermeting>. [Geopend 08 mei 2021].
- [18] L. Wauters, „Rapport 20082633-001 Geotechnisch onderzoek,” Diepsonderingen funderingsadvies Verbeke bvba, Sint-Eloois-Winkel, 2020.

Bijlagenlijst

Bijlage A: Optimalisatie berekeningstool	59
Bijlage B: Correcties berekeningstool	65
Bijlage C: Resultaten berekening draagkracht	69
Bijlage D: Standaardtabel met karakteristieke waarden voor grondparameters	76

Bijlage A: Optimalisatie berekeningstool

Automatiseren berekening invloedsdiepte gedraineerde situatie

In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd hoe de invloedsdiepte berekend wordt. Daaruit blijkt dat de berekening van de invloedsdiepte in gedraineerde toestand een iteratief proces is. De berekeningstool is gemaakt in Excel. Dit programma laat geen kringprocessen toe. Daardoor moest in de originele versie van de tool deze stap handmatig uitgerekend worden. In de nieuwe versie wordt de invloedsdiepte in gedraineerde toestand berekend door een macro.

De macro kan beschreven worden door volgende stappen:

- 1) Invloedsdiepte wordt geschat op 1.5 x het maximum van de effectieve breedte en de effectieve lengte.
- 2) Vul de invloedsdiepte in in de Excelsheet.
- 3) Haal de factoren Z_e/b' en Z_e/l' op uit de Excel.
- 4) $Invloedsdiepte_2 = \text{maximum van } Z_e/b' \times \text{effectieve breedte en } Z_e/l' \times \text{effectieve lengte.}$
- 5) Als verschil $invloedsdiepte_2$ en $invloedsdiepte > 1$: herhaal stappen 2 tot 4.
- 6) Als aantal iteraties groter dan 5: bereken gemiddelde uit vorige twee invloedsdieptes.
- 7) Vul invloedsdiepte in in Excelsheet.

Stap 6 werd toegevoegd omdat dit proces niet altijd convergeert. Dit probleem treedt op wanneer de invloedsdiepte net gelegen is op de grens van twee grondlagen. In dat geval schommelt de invloedsdiepte tussen twee waardes. Als oplossing wordt dan het gemiddelde van deze twee dieptes aangenomen.

Figuur 23 geeft weer hoe de macro geïntegreerd werd in de Excel. Een druk op de knop "Invloedsdiepte gedraineerd A1M1R1" en "Invloedsdiepte gedraineerd A2M1R1" geeft de invloedsdieptes in de naastliggende gele cellen. Boven de cellen van de invloedsdieptes worden de factoren Z_e/b' en Z_e/l' weergegeven. Rechts staan de tabellen waar deze factoren geïnterpoleerd worden afhankelijk van de effectieve hoek van inwendige wrijving en de verhouding van de horizontale en verticale belastingen.

Gegevens funderingszool				A1M1R1					A2M1R1				
Breedte zool B	300	cm		invloedsdiepte Z_e/b' (tabel 6.3.1)					invloedsdiepte Z_e/l' (tabel 6.3.1)				
Lengte zool l	300	cm		α	HV+0	z_e/b' : HV+0	z_e/l' : HV+0	HV+1	α	HV+0	z_e/b' : HV+0	z_e/l' : HV+0	HV+1
Hoogte zool h	90	cm		0	0.7	0.70	0.70	0.4	0	0.7	0.70	0.70	0.4
aanzetdiepte Hm	330	cm		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
helling onderzijde zool a	0	°		5	0.77	0.77	0.77	0.41	5	0.77	0.77	0.77	0.41
helling maasveld (aflopend): B	0	°		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
				10	0.88	0.88	0.88	0.44	10	0.88	0.88	0.88	0.44
				15	1	1.00	1.00	0.47	15	1	1.00	1.00	0.47
				20	1.16	1.16	1.16	0.5	20	1.16	1.16	1.16	0.5
				25	1.35	1.35	1.35	0.54	25	1.35	1.35	1.35	0.54
				30	1.59	1.59	1.59	0.59	30	1.59	1.59	1.59	0.59
				32.0			1.7	1.7	35	1.9	1.90	1.90	0.65
				35	1.9	1.90	1.90	0.65	40	2.33	2.33	2.33	0.73
				40	2.33	2.33	2.33	0.73	45	2.95	2.95	2.95	0.84
				45	2.95	2.95	2.95	0.84					

Figuur 23: Integratie macro "Invloedsdiepte gedraineerd" in Excelsheet

Op de volgende pagina wordt de effectieve code weergegeven voor de berekening van de invloedsdiepte in gedraineerde toestand.

```

Public Sub Invloedsdiepte_Gedraineerd_AlMiR1()

    '/ Deze sub automatiseert het iteratief proces voor de berekening van de gedraineerde invloedsdiepte

    Dim invloedsdiepte As Integer
    Dim invloedsdiepte2 As Integer
    Dim effBreedte As Integer
    Dim effLengte As Integer
    Dim zeb As Double
    Dim zel As Double
    Dim verschil As Integer
    Dim aantalIteraties As Integer

    '/ Effectieve breedte en effectieve lengte ophalen uit de excel
    effBreedte = Range("B72").Value
    effLengte = Range("B73").Value

    '/ Verschil wordt ingesteld op 10 cm iteratief proces te kunnen laten starten
    verschil = 10

    '/ Als eerste inschatting van de invloedsdiepte wordt 1.5 keer het maximum van de effectieve breedte en effectieve lengte genomen
    invloedsdiepte2 = 1.5 * WorksheetFunction.Max(effBreedte, effLengte)

    '/ Als het verschil tussen de vorige iteratie en de nieuwe iteratie groter is dan 1 cm, dan haalt de sub zeb en zel uit de excel en berekend opnieuw de invloedsdiepte
    Do While verschil > 1

        invloedsdiepte = invloedsdiepte2
        Range("B83").Value = invloedsdiepte

        zeb = Range("B81")
        zel = Range("B82")

        invloedsdiepte2 = WorksheetFunction.Max(zeb * effBreedte, zel * effLengte)

        If invloedsdiepte2 > invloedsdiepte Then

            verschil = invloedsdiepte2 - invloedsdiepte

        Else

            verschil = invloedsdiepte - invloedsdiepte2

        End If

        '/ Wanneer de invloedsdiepte juist gelgegen is op de grens van 2 lagen, dan convergeert deze functie niet.
        '/ De invloedsdiepte blijft schommelen tussen twee waardes
        '/ Als invloedsdiepte wordt dan het gemiddelde van de twee genomen
        aantalIteraties = aantalIteraties + 1

        If aantalIteraties > 5 Then

            invloedsdiepte2 = (invloedsdiepte + invloedsdiepte2) / 2
            verschil = 0

        End If

    Loop

    invloedsdiepte = invloedsdiepte2
    Range("B83").Value = invloedsdiepte

End Sub

```

Interpretatie sondeerverslagen

Voor de berekening van het draagvermogen van een fundering moet de ondergrond onder deze fundering onderverdeeld worden in lagen. Voor elk van deze lagen kan een grondsoort bepaald worden met bijhorende sterkte-eigenschappen. Een goede inschatting van de grondsoorten is cruciaal voor een correcte berekening van de funderingen zoals vermeld in H4: vergelijking resultaten.

Bij elektrische sonderingen worden de grondsoorten bepaald aan de hand van de conusweerstand q_c en het wrijvingsgetal R_f . Bij mechanische sonderingen worden de grondsoorten bepaald aan de hand van de conusweerstand q_c en geologische kaarten. De conusweerstand en het wrijvingsgetal worden weergegeven in een sondering.

Het verloop van de conusweerstand q_c en wrijvingsgetal kan zeer grillig zijn. Stenen of en andere oneffenheden kunnen zorgen voor pieken of dalen in een sondeerverslag. Deze onregelmatigheden maken de interpretatie nog moeilijker. Het is daarom nodig om een methode te vinden om deze onregelmatigheden uit een sondeerverslag te krijgen.

De vorige versie van de berekeningstool loste dit op door de methode van het "moving average" toe te passen. Hierbij wordt het gemiddelde genomen van een bepaald aantal datapunten. Dat zorgde voor een vloeiender verloop van de sondering waarbij pieken en dalen afgezwakt werden. Het nadeel is dat voor een vloeiend verloop soms 100 datapunten nodig zijn. Bij een sondering die om de 2 cm een datapunt weergeeft, betekent dit dat datapunten van 1 meter hoger 1 meter lager opgenomen worden in het gemiddelde. Wanneer dit gemiddelde gelegen is op de grens tussen twee lagen, wilt dit zeggen dat datapunten uit beide lagen opgenomen worden. Dat terwijl het de bedoeling is om lagen van elkaar te kunnen onderscheiden.

Door bovenstaande reden wordt er in de nieuwe versie van de tool een nieuwe methode toegepast. Daarbij wordt het gemiddelde berekend tussen twee opgegeven punten. Dit gemiddelde wordt dan weergegeven op de grafiek. Deze methode zorgt voor een geblokte grafiek waarbij geen invloeden van andere lagen meegenomen worden in de berekening van de gemiddelden. De gemiddelde q_c -waarde (en eventuele R_f -waarde) kunnen ook rechtstreeks gebruikt worden om een grondsoort te bepalen zoals beschreven in tabel 2.1 van de Nationale Bijlage van Eurocode 7.

In figuur 24 wordt een vergelijking gemaakt tussen de twee verschillende methodes. Op de sondering wordt de conusweerstand q_c weergegeven over de volledige diepte in het blauw. De groene grafiek geeft de methode van het "moving average" weer. De rode grafiek geeft de methode weer waarbij het gemiddelde berekend wordt tussen twee opgegeven punten.

Op een diepte van 400 cm is er een dal in de conusweerstand die te breed is om te wijten aan een oneffenheid. Bij de methode van het "moving average" is dit dal niet meer zichtbaar doordat de gemiddelde q_c -waarde op deze diepte beïnvloed wordt door twee naastgelegen sterke grondlagen. Hierdoor zou deze zwakke laag niet opgemerkt worden en het draagvermogen van de fundering overschat worden. Bij de methode van het gemiddelde tussen twee datapunten is het mogelijk om ook het gemiddelde van deze dunne laag te berekenen.



Figuur 24: Vergelijking methodes interpretatie sonderingen

Voor het berekenen van de gemiddelde qc-waarde van een grondlaag werd een functie geschreven. De functie kan beschreven worden door volgende stappen:

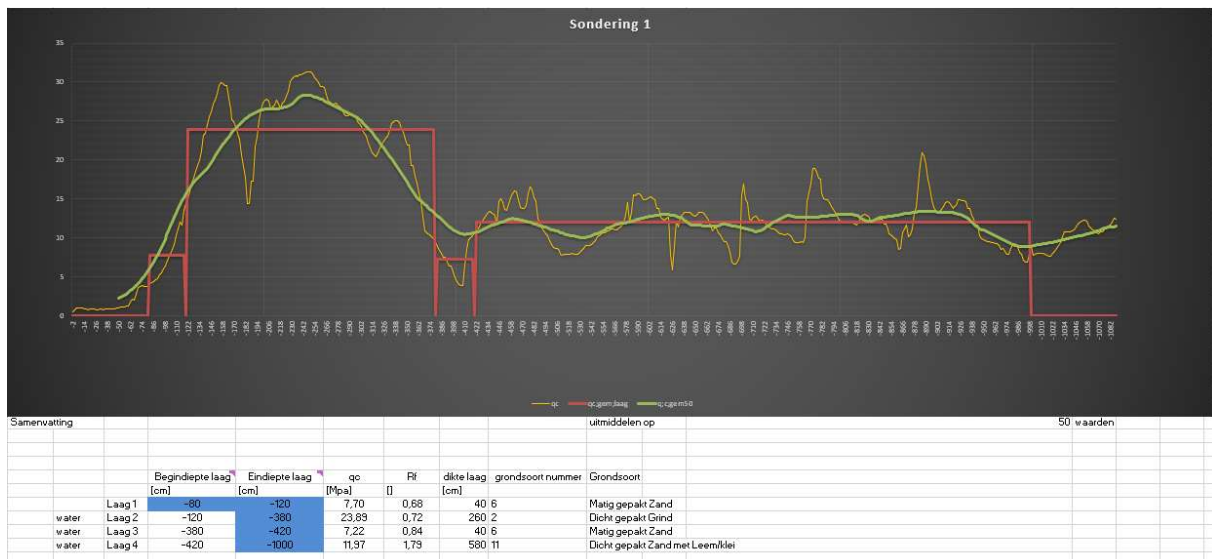
- 1) Zoek de begindiepte van de grondlaag in de sondering.
- 2) Houd vanaf dan de som van alle qc-waarden bij en tel het aantal datapunten.
- 3) Herhaal dit tot de einddiepte van de grondlaag.
- 4) Deel de som van qc-waarde door het aantal datapunten.
- 5) Return de gemiddelde qc-waarde.

Deze functie kan ook gebruikt worden voor het berekenen van de gemiddelde Rf-waarde van een laag.

Figuur 25 geeft weer hoe de functie gebruikt kan worden binnen de Excel

sheet. In de blauwe vakken kan de begindiepte en de einddiepte ingegeven worden van de laag waarvan de gemiddelde qc-waarde of rf-waarde gezocht wordt. De functie berekent deze waarden en geeft ze zowel weer op de grafiek als in getalwaarde in de samenvatting. Op basis van de qc-waarde en Rf-waarde kan ook een grondsoort bepaald worden volgens de grenswaarden weergegeven in tabel 2.1 van de Nationale Bijlage van Eurocode 7. Indien meerdere opties mogelijk zijn, zullen alle mogelijke opties weergegeven worden. Indien er niet eenduidig een grondsoort bepaald kon worden, zal de boodschap "Er kon geen grondsoort eenduidig bepaald worden" weergegeven worden.

Het is belangrijk om niet blindelings op deze resultaten te vertrouwen. Sondeerfirma's lieten via een bevraging weten dat het wrijvingsgetal in België soms onrealistische waarden geeft. Het is daarom belangrijk om de resultaten uit de berekeningstool steeds te vergelijken met gegevens van geologische kaarten, boringen, ervaring en de opbouw van de ondergrond weergegeven in het sondeerverslag.



Figuur 25: Integratie functie "qc_gem_laag" Excelsheet

Op de volgende pagina wordt de code weergegeven voor de functie "qc_gem_laag".

```

Public Function qc_gem_laag(begindiepte As Integer, einddiepte As Integer, sondering As Range) As Double

    '/ Voor het vereenvoudigen van de interpretatie van sonderingsverslagen, werd deze functie geschreven
    '/ Berekend de gemiddelde qc waarde van een grondlaag
    Dim rowindex As Integer
    Dim somwaardeqc As Double
    Dim aantalwaarden As Integer
    Dim huidigeDiepte As Integer
    Dim interval As Integer
    Dim volgendeDiepte As Integer

    rowindex = 1
    somwaardeqc = 0
    aantalwaarden = 0
    huidigeDiepte = sondering.Cells(rowindex, 1).Value
    volgendeDiepte = sondering.Cells(rowindex + 1, 1).Value
    interval = volgendeDiepte - huidigeDiepte

    '/ Eerste inschatting van ligging begin laag
    rowindex = rowindex + (begindiepte - huidigeDiepte) / interval
    huidigeDiepte = sondering.Cells(rowindex, 1).Value

    '/ Exacte bepaling van begin laag
    '/ Voor deze functie te laten werken, moet de begindiepte exact overeenkomen met een meetpunt van de sondering
    '/ Sondringen worden vaak uitgevoerd in stappen van 2 of 20 cm, om te voorkomen dat de begindiepte niet overeenkomt met een meetpunt, werd ook de grenswaarde interval/2 toegevoegd.
    '/ Hierdoor kunnen grenslagen tot op 10cm of tot op 1 cm nauwkeurig ingegeven worden
    Do Until begindiepte = huidigeDiepte Or begindiepte = huidigeDiepte + interval / 2

        rowindex = rowindex + 1
        huidigeDiepte = sondering.Cells(rowindex, 1).Value

    Loop

    '/ Telt voor elke meetpunt binne de grondlagen de qc waarden op en houdt het aantal meetpunten bij
    Do Until einddiepte = huidigeDiepte Or einddiepte = huidigeDiepte + interval / 2

        somwaardeqc = somwaardeqc + sondering.Cells(rowindex, 3).Value
        aantalwaarden = aantalwaarden + 1
        rowindex = rowindex + 1
        huidigeDiepte = sondering.Cells(rowindex, 1).Value

    Loop

    somwaardeqc = somwaardeqc + sondering.Cells(rowindex, 3).Value
    aantalwaarden = aantalwaarden + 1

    qc_gem_laag = somwaardeqc / aantalwaarden

End Function

```

Bijlage B: Correcties berekeningstool

Kleine aanpassingen

Cel	Wijziging	Verklaring
L149:O149	B18->C18 B28->C28 B38->C28 B48->C28	Voor belastingscombinatie A2M2R1 moet er verwezen worden naar de afstand z1 berekend met de invloedsdiepte volgens belastingscombinatie A2M2R1
L151:O151	B18->C18 B28->C28 B38->C28 B48->C28	Voor belastingscombinatie A2M2R1 moet er verwezen worden naar de afstand z1 berekend met de invloedsdiepte volgens belastingscombinatie A2M2R1
L153:O153	B18->C18 B28->C28 B38->C28 B48->C28	Voor belastingscombinatie A2M2R1 moet er verwezen worden naar de afstand z1 berekend met de invloedsdiepte volgens belastingscombinatie A2M2R1
L155:O155	B18->C18 B28->C28 B38->C28 B48->C28	Voor belastingscombinatie A2M2R1 moet er verwezen worden naar de afstand z1 berekend met de invloedsdiepte volgens belastingscombinatie A2M2R1
C202:C204	B198->C198	Onderscheid tussen A1M1R1 en A2M2R1
B226:C226	Breedte in breedteterm is minimum van B_{eff} en L_{eff}	De breedte in de breedteterm van het draagvermogen is het minimum van de effectieve breedte en de effectieve lengte. Door de excentriciteit van de belasting kan het zijn dat de effectieve lengte kleiner wordt dan de effectieve breedte.
B237:C238	Spreiding onder hoek van 8 graden	Het schijnbaar oppervlak van de fundering op het schijnbaar aanzetniveau neemt toe met een hoek van 8 graden t.o.v. het originele aanzetniveau

Revisie berekening “geval 3” gedraineerde toestand

Binnen de gedraineerde toestand zijn er drie situaties mogelijk:

- Geval 1: Één laag
 - o Rekenen met de waarde van de laag waarin wordt aangezet
- Geval 2: Meerdere lagen, waarbij $\Delta f'k \leq 6^\circ$
 - o Rekenen met de gewogen parameters
- Geval 3: Meerdere lagen, waarbij $\Delta f'k > 6^\circ$ en de zwakke laag een cohesieve laag is
 - o Rekenen met gewogen parameters en tweede berekening met de zwakste laag binnen de invloeddiepte (doorponen)

De formules in de vorige versie van de berekeningstool bij geval 3 waren deze voor de ongedraineerde toestand. Deze werden vervangen door deze voor de gedraineerde toestand. Zoals hierboven vermeld moet er één berekening gedaan worden met gewogen parameters en één met doorponen. Het laagste draagvermogen van de twee berekeningen wordt dan weerhouden. De berekening met gewogen parameters komt overeen met geval 2 en kan dus overgenomen worden.

Voor de berekening met doorponen wordt een fictief funderingsvlak verondersteld op de bovenkant van de cohesieve laag. Voor dit fictief funderingsniveau moet opnieuw de invloeddiepte berekend worden. Afhankelijk van welke laag de cohesieve laag is, moeten er andere lagen meegenomen worden in de berekening van de invloeddiepte. Deze verschillende situaties worden weergegeven in Figuur 26.

Berekening invloeddiepte fictief funderingsvlak				Berekening invloeddiepte fictief funderingsvlak				Berekening invloeddiepte fictief funderingsvlak						
Zwakke laag = 2				Zwakke laag = 3				Zwakke laag = 4						
Grondlaag onder schijnbaar funderingsvlak		1	2	3	Grondlaag onder schijnbaar funderingsvlak	1	2	3	4	Grondlaag onder schijnbaar funderingsvlak	1	2	3	4
Grondlaag		2	3	4	Grondlaag	3	4	5	6	Grondlaag	4	5	6	7
Dikte laag		40	150	150	Dikte laag	150	150	150	150	Dikte laag	150	150	150	150
Dikte laag in invloeddiepte	A1M1R1	40	150	150	Dikte laag in invloeddiepte	A1M1R1	150	150	150	Dikte laag in invloeddiepte	A1M1R1	839	839	839
	A2M2R1	40	150	150		A2M2R1	150	150	150		A2M2R1	688	688	688
$\varphi'd$	A1M1R1	20	32	32	Effectieve hoek inwendige wrij	A1M1R1	32	32	32	Effectieve hoek inwendige wrij	A1M1R1	32	32	32
	A2M2R1	16	25,6	25,6		A2M2R1	25,6	25,6	25,6		A2M2R1	25,6	25,6	25,6
$c'd$	A1M1R1	0,015	0	0	$c'd$	A1M1R1	0	0	0	$c'd$	A1M1R1	0	0	0
	A2M2R1	0,012	0	0		A2M2R1	0	0	0		A2M2R1	0	0	0
$\gamma'd$	A1M1R1	9	10	10	$\gamma'd$	A1M1R1	10	10	10	$\gamma'd$	A1M1R1	10	10	10
	A2M2R1	9	10	10		A2M2R1	10	10	10		A2M2R1	10	10	10
Afstand midden laag tot invloeddiepte ze	A1M1R1	819	724	574	Afstand midden laag tot invloeddiepte ze	A1M1R1	764	614	463	Afstand midden laag tot invloeddiepte ze	A1M1R1	419,5	419,5	419,5
	A2M2R1	668	573	423		A2M2R1	613	463	313		A2M2R1	419,5	419,5	419,5
$\varphi'gem'd$	A1M1R1	20,00	29,22	30,27	$\varphi'gem'd$	A1M1R1	32,00	32,00	32,00	$\varphi'gem'd$	A1M1R1	32,00	32,00	32,00
	A2M2R1	16,00	23,32	24,14		A2M2R1	25,60	25,60	25,60		A2M2R1	25,60	25,60	25,60
$c'gem'd$	A1M1R1	0,0150	0,0035	0,0022	$c'gem'd$	A1M1R1	0,00	0,00	0,00	$c'gem'd$	A1M1R1	0,00	0,00	0,00
	A2M2R1	0,0120	0,0028	0,0018		A2M2R1	0,00	0,00	0,00		A2M2R1	0,00	0,00	0,00
$\gamma'gem'd$	A1M1R1	9,00	9,77	9,86	$\gamma'gem'd$	A1M1R1	10,00	10,00	10,00	$\gamma'gem'd$	A1M1R1	10,00	10,00	10,00
	A2M2R1	9,00	9,76	9,85		A2M2R1	10,00	10,00	10,00		A2M2R1	10,00	10,00	10,00

Figuur 26: berekening grondparameters invloeddiepte fictief funderingsvlak

Door deze situaties afzonderlijk weer te geven in de Excelsheet is het mogelijk om dezelfde macro te gebruiken als eerder vermeld voor de berekening van de invloeddiepte. Door aan te geven welke laag de cohesieve laag is, worden enkel de relevante gegevens uit de tabellen in de eigenlijke berekening opgenomen. Ook moet opgemerkt worden dat de H/V-ratio verandert door het toenemen van de horizontale kracht ten gevolgen van het gewicht van de bovengelegen grond. Die wijziging heeft effect op de factoren Z_e/b' en Z_e/l' en vervolgens dus ook op de invloeddiepte. Het is daarvoor nodig om deze factoren opnieuw te interpoleren zoals weergegeven in Figuur 23.

Voor de verdere berekening van het draagvermogen werden dezelfde formules aangehouden als in geval 1. Figuur 27 geeft een chronologisch overzicht van deze berekeningen.

Geval 3				
Rv;d1	66272,0	32963,9		kN
cohesieve laag is laag	2	2		
controle pons van de cohesieve laag				
Invloedsdiepte	839	688		cm
Aantal lagen in rekening	3	3		
ϕ' gem;d	30,3	24,1		
hpons	80	80		cm
bpons;gem	511	511		cm
lpons;gem	511	511		cm
ΔV pons;d	21	15		kN
Vpons;d	12515,7	9252		kN
Horizontale belasting Hx;ed (UGT)	0	0		kN
Horizontale belasting Hy;ed (UGT)	0	0		kN
Hx/V	0	0		
Hy/V	0	0		
ze/b'	1,61	1,32		
ze/l'	1,61	1,32		
eb=Hxd*Hzool/Vd+ex	0	0		cm
el=Hyd*Hzool/Vd+ey	0	0		cm
b'pons	522	522		cm
l'pons	522	522		cm
ϕ' gem;d	30	24		N/mm ²
c'gem;d	0,00216	0,00182		
γ' gem;d	10	10		
Nc	30,80	19,52		
Nq	18,98	9,75		
N γ	20,99	7,84		
sc	1,53	1,46		
sq	1,50	1,41		
s γ	0,70	0,70		
mb	1,50	1,50		
ml	1,50	1,50		
e	45,00	45,00		
me	1,50	1,50		
m	1,50	1,50		
ic	1,00	1,00		
iq	1,00	1,00		
i γ	1,00	1,00		
lc	1,00	1,00		
lq	1,00	1,00		
l γ	1,00	1,00		
bc	1,00	1,00		
bq	1,00	1,00		
b γ	1,00	1,00		
$\sigma'v$;z;d	0,076	0,076		
$\sigma'v$;max;d	2,65	1,24		
Rv;d2	72333,7	33764,1		
Rv;d	66272,0	32963,9		kN

Figuur 27: Berekening draagvermogen in gedraineerde situatie "geval 3"

Bijlage C: Resultaten berekening draagkracht

Resultaten sondeerverslagen:

	0,8m			1,5m			3,3m		
	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	
	(kN) 1x1	(kN) 2x2	(kN) 3x3	(kN) 1x1	(kN) 2x2	(kN) 3x3	(kN) 1x1	(kN) 2x2	(kN) 3x3
Advison_Aarschot_S1	169	389	635	49	173	347	440	1760	3960
Advison_Binkom_S1	102	408	918	83	332	747	465	1860	4185
Advison_Boutersem_S1	160	640	1387	260	1040	1922	50	200	450
Advison_Geel_S1	100	400	900	360	1440	3240	150	600	1180
Advison_Hasselt_S1	120	480	1080	390	969	1606	180	524	1014
Advison_Hoelaart_S1	0	0	0	435	1740	3375	479	1916	4311
Advison_Houth_Helcht_S3	351	1402	3155	844	3376	7596	1292	5166	11540
Advison_Houth_Helcht_S1	235	938	2111	996	3982	8960	1222	4656	7717
Advison_Houth_Helcht_S2	337	1346	3029	836	3344	7524	769	3076	6921
Advison_Lier_S1	270	1080	2430	450	1397	2726	1120	3921	7517
Advison_Lummen_S1	316	1264	2047	329	910	1371	472	1888	4248
Advison_Meerbeek_S1	336	1344	3024	376	1504	3384	573	2292	5157
Advison_Tervuren_S1	110	440	990	707	2828	6363	673	2692	6057
Advison_Tessenderlo_S1	289	1156	2601	240	960	2160	264	1056	2376
Bemers NV_Overpelt_S1	383	1531	3061	176	704	1583	630	2520	5671
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5	243	972	2187	177	708	1593	300	1200	2700
Cona_Bilzen_S1	260	1040	2340	340	1360	3060	540	2160	4860
Geosonda_Hasselt_S1 (weggooien, veenlaag)	607	852	1139	367	562	800	26	104	234
Geosonda_Tongeren_S2	300	1858	5651	222	1234	3557	295	1421	3379
Geosonda_Zonhoven_S1	315	1845	5472	684	3936	11556	523	2597	6984
Laborex_Asse_zellik_S1	194	775	1743	196	786	1768	186	744	1674
Laborex_Pelt_S1	194	775	1743	282	1128	2538	495	1980	4456
SGS_Bilzen_S1	21	84	189	135	540	1087	187	748	1683
SGS_Boortmeerbeek_S1	163	652	1467	160	640	1440	85	340	765
SGS_Hasselt_S1	150	518	1040	610	2440	4374	290	1160	2610
SGS_Kessel Lo_S8 (boring tot 1,2m)	/	/	/	775	3100	6975	2446	5786	9967
SGS_Peer_S1	620	2480	5382,4	750	2073,6	3385,6	300	1200	2700
SGS_Ronquieres_S1	875	1229	1643	529	811	1153	60	240	540
SGS_Zoutleeuw_S1	387	819	1411	80	320	720	150	600	1350
Sondex_Temse_S1	332	1328	2988	524	1472	2300	76	304	684
Vanderkeulen_Lubbeek_S1	147	867	2574	161	853	2284	485	2323	6084
Vanderkeulen_proefrapport_S1	/	/	/	259	1408	2512	106	464	1134
VDC_Diepenbeek_S1	367	1468	3303	864	3456	7776	911	3644	7815
Verbeke_Lubbeek_S1	107	428	963	125	500	1125	715	2860	6435
Verbeke_Opplabbeek_S1	126	629	1595	314	1600	4378	391	1827	4702
Verbeke_Overijse_S1	71	284	640	65	261	588	202	808	1819
Verbeke_Zonhoven_S1	0	0	0	627	2508	5643	991	3964	8919
WS_Geel_S1	211	844	1899	326	1304	2934	960	3840	8640
WS_Zonhoven_S1	147	588	1323	471	1884	4239	763	3052	6867
WS-Hamont-Achel_S1	166	664	1494	416	1664	3744	952	3808	8568

Resultaten berekeningstool:

	0,8m			1,5m			3,3m		
	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	F_d	
	(kN) 1x1	(kN) 2x2	(kN) 3x3	(kN) 1x1	(kN) 2x2	(kN) 3x3	(kN) 1x1	(kN) 2x2	(kN) 3x3
Advison_Aarschot_S1	124	495	1114	66	266	598	630	2657	6282
Advison_Binkom_S1	124	495	1114	66	266	598	1034	4096	9488
Advison_Boutersem_S1	124	495	1114	246	982	2210	95	391	857
Advison_Geel_S1	185	810	1750	295	1113	2505	278	1112	2502
Advison_Hasselt_S1	101	404	908	172	620	1346	165	658	1481
Advison_Hoeilaart_S1	/	/	/	376	1435	3551	685	2811	6485
Advison_Houth_Helcht_S3	350	1992	5649	789	3579	8627	1643	6080	14005
Advison_Houth_Helcht_S1	230	1181	2901	789	3027	6916	1436	4368	9334
Advison_Houth_Helcht_S2	383	2081	5039	789	3251	7336	844	3769	8480
Advison_Lier_S1	196	967	2714	381	1847	4206	1133	4261	9536
Advison_Lummen_S1	253	972	1328	352	590	1328	928	3820	8842
Advison_Meerbeek_S1	230	1144	3073	289	1691	4356	603	2826	7115
Advison_Tervuren_S1	124	495	1114	772	2993	6762	857	3636	8684
Advison_Tessenderlo_S1	214	864	2080	226	1000	2465	487	2042	4808
Berners NV_Overpelt_S1	253	1090	2874	285	1481	3909	1206	4241	7988
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5	223	954	2463	277	1255	3287	857	3636	8648
Cona_Bilzen_S1	329	1516	3997	492	2200	5296	582	1737	3491
Geosonda_Hasselt_S1 (weggooien, veenlaag)	318	1151	2677	268	1130	2413	278	1112	2502
Geosonda_Tongeren_S2	185	810	1842	240	1006	2329	237	750	1552
Geosonda_Zonhoven_S1	465	1989	4664	755	2933	6670	1206	4988	11587
Laborex_Asse_zellik_S1	183	838	1946	226	943	2147	275	1099	2473
Laborex_Pelt_S1	186	852	2208	347	1504	3601	1085	4606	10410
SGS_Bilzen_S1	90	391	880	105	420	944	278	1112	2502
SGS_Boortmeerbeek_S1	142	558	937	104	417	937	139	557	1254
SGS_Hasselt_S1	124	495	1114	396	1540	3724	487	2042	4808
SGS_Kessel Lo_S8 (boring tot 1.2m)	/	/	/	574	2965	7224	1243	5152	12163
SGS_Peer_S1	286	1099	2889	288	1335	3524	502	2006	4514
SGS_Ronquieres_S1	330	967	1967	352	516	1160	107	429	966
SGS_Zoutleeuw_S1	237	949	2136	136	543	1221	165	658	1481
Sondex_Temse_S1	235	939	2113	367	1127	2688	275	1099	2473
Vanderkeulen_Lubbeek_S1	187	920	2535	134	536	1206	1115	4479	10723
Vanderkeulen_proefrapport_S1	/	/	/	342	1222	2665	95	380	857
VDC_Diepenbeek_S1	341	1514	3345	712	2359	5299	1094	3816	8796
Verbeke_Lubbeek_S1	124	495	1114	134	536	1206	689	2786	6593
Verbeke_Opplabbeek_S1	185	831	2174	310	1429	3739	278	1112	2502
Verbeke_Overijse_S1	124	495	1114	134	536	1206	141	563	1267
Verbeke_Zonhoven_S1	/	/	/	500	2161	5226	1202	4696	10445
WS_Geel_S1	199	1168	3101	370	1796	4267	1130	5442	14100
WS_Zonhoven_S1	207	1079	2871	551	2365	5685	815	2971	6692
WS-Hamont-Achel_S1	209	875	2163	464	1908	4468	1675	5018	10005

Resultaten qc/10:

	0,8m			1,5m			3,3m		
	Fd (kN) 1x1	Fd (kN) 2x2	Fd (kN) 3x3	Fd (kN) 1x1	Fd (kN) 2x2	Fd (kN) 3x3	Fd (kN) 1x1	Fd (kN) 2x2	Fd (kN) 3x3
Advison_Aarschot_S1	171	389	635	46	173	347	494	1976	4446
Advison_Binkom_S1	113	452	1017	81	324	729	576	2304	5184
Advison_Boutersem_S1	206	824	1457	328	1312	1817	45	180	405
Advison_Geel_S1	114	456	1026	517	2068	4653	139	556	1251
Advison_Hasselt_S1	131	524	1179	610	904	1491	168	524	1014
Advison_Hoeilaart_S1	0	0	0	730	2920	6570	549	2196	4941
Advison_Houth, Helcht, S3	738	2952	6642	2102	8408	18918	2526	10104	22734
Advison_Houth. Helcht, S1	380	1520	3420	2769	11076	24921	2305	9220	20745
Advison_Houth. Helcht, S2	690	2760	6210	2067	8268	18603	1071	4284	9639
Advison_Lier_S1	479	1916	4311	751	3004	6759	2000	4577	7274
Advison_Lummen_S1	623	1474	2047	460	910	1371	556	2224	5004
Advison_Meerbeek_S1	688	2752	6192	575	2300	5175	690	2760	6210
Advison_Tervuren_S1	124	496	1116	1638	6552	14742	877	3508	7893
Advison_Tessenderlo_S1	535	2140	4815	285	1140	2565	266	1064	2394
Bemers NV Overpelt_S1	806	3223	4133	252	1006	2264	1594	6377	14348
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5	404	1616	3636	146	584	1314	185	740	1665
Cona_Bilzen_S1	872	3488	7848	1644	6576	14796	727	2908	6543
Geosonda Tongeren_S2	303	1212	2727	200	800	1800	260	1040	2340
Geosonda_Zonhoven_S1	662	2648	5958	2236	8944	20124	1160	4640	10440
Laborex_Asse_zellik_S1	257	1028	2313	191	764	1719	111	444	999
Laborex_Pelt_S1	268	1072	2412	1133	4532	10197	999	3996	8991
SGS_Bilzen_S1	20	80	180	140	560	1040	180	720	1620
SGS_Boortmeerbeek_S1	209	836	1881	172	688	1548	81	324	729
SGS_Hasselt_S1	86	344	694	552	2208	4968	261	1044	2349
SGS_Kessel Lo_S8 (boring tot 1,2m)	/	/	/	969	3876	8721	735	2940	6615
SGS_Peer_S1	433	1732	3897	733	1555	2539	253	1012	2277
SGS_Ronquieres_S1	875	1229	1643	529	811	1153	56	224	504
SGS_Zoutleeuw_S1	266	563	970	55	220	495	124	496	1116
Sondex_Temse_S1	280	1120	2520	610	1760	2750	100	400	900
Vanderkeulen_Lubbeek_S1	120	480	1080	155	620	1395	570	2280	5130
Vanderkeulen_proefrapport_S1	/	/	/	254	1016	2286	126	505	1135
VDC_Diepenbeek_S1	801	3204	7209	2472	9888	22248	1764	7056	15876
Verbeke_Lubbeek_S1	116	464	1044	173	692	1557	641	2564	5769
Verbeke_Opplabbeek_S1	139	556	1251	791	3164	7119	688	2752	6192
Verbeke_Overijse_S1	65	260	585	102	300	601	531	2124	4057
Verbeke_Zonhoven_S1	0	0	0	1655	6620	14895	994	3976	8946
WS_Geel_S1	718	2872	6462	650	2600	5850	1253	5012	11277
WS_Zonhoven_S1	245	980	2205	1376	5504	12384	1429	5716	12861
WS-Hamont-Achel_S1	385	1540	3465	1017	4068	9153	1940	7760	17460

Resultaten Berekeningstool/sondeerverslagen:

	0,8m			1,5m			3,3m		
	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
	1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3
Advison_Aarschot_S1	0,736	1,273	1,755	1,347	1,539	1,724	1,432	1,510	1,586
Advison_Binkom_S1	1,216	1,213	1,214	0,795	0,801	0,801	2,224	2,202	2,267
Advison_Boutersem_S1	0,775	0,773	0,803	0,946	0,944	1,150	1,900	1,955	1,904
Advison_Geel_S1	1,850	2,025	1,944	0,819	0,773	0,773	1,853	1,853	2,121
Advison_Hasselt_S1	0,842	0,842	0,841	0,441	0,640	0,838	0,917	1,255	1,461
Advison_Hoeilaart_S1				0,864	0,825	1,052	1,430	1,467	1,504
Advison_Houth, Helcht, S3	0,999	1,421	1,791	0,935	1,060	1,136	1,272	1,177	1,214
Advison_Houth, Helcht, S1	0,981	1,259	1,375	0,793	0,760	0,772	1,175	0,938	1,210
Advison_Houth, Helcht, S2	1,138	1,546	1,664	0,944	0,972	0,975	1,098	1,225	1,225
Advison_Lier_S1	0,726	0,895	1,117	0,847	1,322	1,543	1,012	1,087	1,269
Advison_Lummen_S1	0,801	0,769	0,649	1,070	0,648	0,969	1,966	2,023	2,081
Advison_Meerbeek_S1	0,685	0,851	1,016	0,769	1,124	1,287	1,052	1,233	1,380
Advison_Tervuren_S1	1,127	1,125	1,125	1,092	1,058	1,063	1,273	1,351	1,434
Advison_Tessenderlo_S1	0,740	0,747	0,800	0,942	1,042	1,141	1,845	1,934	2,024
Bemers NV Overpelt_S1	0,661	0,712	0,939	1,620	2,105	2,469	1,914	1,683	1,409
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5	0,918	0,981	1,126	1,565	1,773	2,063			
Cona_Bilzen_S1	1,265	1,458	1,708	1,447	1,618	1,731	1,078	0,804	0,718
Geosonda Tongeren_S2	0,617	0,436	0,326	1,082	0,815	0,655	0,804	0,528	0,459
Geosonda Zonhoven_S1	1,478	1,078	0,852	1,104	0,745	0,577	2,307	1,920	1,659
Laborex Asse zellik_S1	0,945	1,082	1,116	1,150	1,200	1,214	1,478	1,477	1,477
Laborex Pelt_S1	0,960	1,100	1,267	1,230	1,333	1,419	2,191	2,326	2,336
SGS_Bilzen_S1				0,778	0,778	0,869	1,487	1,487	1,487
SGS Boortmeerbeek_S1	0,871	0,856	0,639	0,650	0,652	0,651	1,635	1,638	1,639
SGS Hasselt_S1	0,827	0,955	1,071	0,649	0,631	0,851	1,679	1,760	1,842
SGS Kessel Lo_S8 (boring tot 1,2m)				0,741	0,956	1,036	0,508	0,890	1,220
SGS Peer_S1	0,461	0,443	0,537	0,384	0,644	1,041	1,673	1,672	1,672
SGS Ronquieres_S1	0,377	0,787	1,197	0,665	0,636	1,006	1,783	1,788	1,789
SGS Zoutleeuw_S1	0,612	1,158	1,514	1,700	1,697	1,696	1,100	1,097	1,097
Sondex Temse_S1	0,708	0,707	0,707	0,700	0,766	1,169			
Vanderkeulen Lubbeek_S1	1,269	1,062	0,985	0,831	0,629	0,528	2,297	1,928	1,762
Vanderkeulen proefrapport_S1				1,322	0,868	1,061	0,896	0,819	0,756
VDC Diepenbeek_S1	0,929	1,031	1,013	0,824	0,683	0,681	1,201	1,047	1,126
Verbeke Lubbeek_S1	1,159	1,157	1,157	1,072	1,072	1,072	0,964	0,974	1,025
Verbeke Opglabbeek_S1	1,464	1,322	1,363	0,989	0,893	0,854	0,711	0,609	0,532
Verbeke Overijse_S1	1,744	1,741	1,741	2,052	2,052	2,052	0,698	0,696	0,697
Verbeke Zonhoven_S1				0,797	0,862	0,926	1,213	1,185	1,171
WS_Geel_S1	0,943	1,384	1,633	1,135	1,377	1,454	1,177	1,417	1,632
WS_Zonhoven_S1	1,408	1,835	2,170	1,170	1,255	1,341	1,068	0,973	0,975
WS-Hamont-Achel_S1	1,259	1,318	1,448	1,115	1,147	1,193	1,759	1,318	1,168

Resultaten berekeningstool/(qc/10):

	Aanzet op 3,2 in laag met qc-waarde boven 8			Aanzet op 1,4 in laag met qc-waarde boven 8			Aanzet op 0,8 in laag met qc-waarde boven 7					
				0,8m			1,5m			3,3m		
				Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd
				(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
			1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3	
Advison_Aarschot_S1				0,727	1,273	1,755	1,435	1,539	1,724	1,275	1,345	1,413
Advison_Binkom_S1				1,097	1,095	1,095	0,815	0,821	0,820	1,795	1,778	1,830
Advison_Boutersem_S1				0,602	0,601	0,765	0,750	0,748	1,217	2,111	2,172	2,116
Advison_Geel_S1					1,776	1,706	0,571	0,538	0,538	2,000	2,000	2,000
Advison_Hasselt_S1				0,771	0,771	0,770	0,282	0,685	0,902	0,982	1,255	1,461
Advison_Hoeilaart_S1							0,515	0,491	0,540	1,248	1,280	1,312
Advison_Houth_Helecht_S3	x	x		0,474	0,675	0,850	0,375	0,426	0,456	0,650	0,602	0,616
Advison_Houth_Helecht_S1	x	x		0,605	0,777	0,848	0,285	0,273	0,278	0,623	0,474	0,450
Advison_Houth_Helecht_S2	x	x		0,555	0,754	0,811	0,382	0,393	0,394	0,788	0,880	0,880
Advison_Lier_S1			x	0,409	0,505	0,630	0,507	0,615	0,622	0,567	0,931	1,311
Advison_Lummen_S1				0,406	0,659	0,649	0,765	0,648	0,969	1,669	1,718	1,767
Advison_Meerbeek_S1				0,334	0,416	0,496	0,503	0,735	0,842	0,874	1,024	1,146
Advison_Tervuren_S1				1,000	0,998	0,998	0,471	0,457	0,459	0,977	1,036	1,100
Advison_Tessenderlo_S1				0,400	0,404	0,432	0,793	0,877	0,961	1,831	1,919	2,008
Berners NV_Overpelt_S1	x		x	0,314	0,338	0,695	1,133	1,472	1,727	0,756	0,665	0,557
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5				0,552	0,590	0,677	1,897	2,149	2,502	4,632	4,914	5,194
Cona_Bilzen_S1	x	x		0,377	0,435	0,509	0,299	0,335	0,358	0,801	0,597	0,534
Geosonda_Tongeren_S2				0,611	0,668	0,675	1,200	1,258	1,294	0,912	0,721	0,663
Geosonda_Zonhoven_S1		x	x	0,702	0,751	0,783	0,338	0,328	0,331	1,040	1,075	1,110
Laborex_Asse_zellik_S1				0,712	0,815	0,841	1,183	1,234	1,249	2,477	2,475	2,475
Laborex_Pelt_S1		x	x	0,694	0,795	0,915	0,306	0,332	0,353	1,086	1,153	1,158
SGS_Bilzen_S1							0,750	0,750	0,907	1,544	1,544	1,544
SGS_Boortmeerbeek_S1				0,679	0,667	0,498	0,605	0,606	0,605	1,716	1,719	1,720
SGS_Hasselt_S1				1,442	1,439	1,606	0,717	0,697	0,750	1,866	1,956	2,047
SGS_KesselLo_S8 (boring tot 1,2m)		x					0,592	0,765	0,828	1,691	1,752	1,839
SGS_Peer_S1				0,661	0,635	0,741	0,393	0,858	1,388	1,984	1,982	1,982
SGS_Ronquieres_S1	x			0,377	0,787	1,197	0,665	0,636	1,006	1,911	1,915	1,917
SGS_Zoutleuw_S1				0,890	1,685	2,202	2,473	2,468	2,467	1,331	1,327	1,327
Sondex_Temse_S1				0,839	0,838	0,838	0,602	0,640	0,977			
Vanderkeulen_Lubbeek_S1				1,558	1,917	2,347	0,865	0,865	0,865	1,956	1,964	2,090
Vanderkeulen_proefrapport_S1				/	/	/	1,347	1,203	1,166	0,753	0,753	0,755
VDC_Diepenbeek_S1	x	x	x	0,426	0,473	0,464	0,288	0,239	0,238	0,620	0,541	0,554
Verbeke_Lubbeek_S1				1,069	1,067	1,067	0,775	0,775	0,775	1,075	1,087	1,143
Verbeke_Opplabbeek_S1		x	x	1,331	1,495	1,738	0,392	0,452	0,525	0,404	0,404	0,404
Verbeke_Overijse_S1				1,908	1,904	1,904	1,315	1,790	2,006	0,266	0,265	0,312
Verbeke_Zonhoven_S1		x					0,302	0,326	0,351	1,209	1,181	1,168
WS_Geel_S1	x	x	x	0,277	0,407	0,480	0,569	0,691	0,729	0,902	1,086	1,250
WS_Zonhoven_S1		x	x	0,845	1,101	1,302	0,400	0,430	0,459	0,570	0,520	0,520
WS-Hamont-Achel_S1		x	x	0,543	0,568	0,624	0,456	0,469	0,488	0,863	0,647	0,573

Resultaten Berekeningstoel/(Qc/10) zonder waardes met conusweerstand boven 8

			Aanzet op 3,2 in laag met qc-waarde boven 8								
			Aanzet op 1,4 in laag met qc-waarde boven 8								
			Aanzet op 0,8 in laag met qc-waarde boven 7								
			0,8m			1,5m			3,3m		
<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>	<i>Fd</i>		
(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3			
Advison_Aarschot_S1			0,727	1,273	1,755	1,435	1,539	1,724	1,275	1,345	1,413
Advison_Binkom_S1			1,097	1,095	1,095	0,815	0,821	0,820	1,795	1,778	1,830
Advison_Boutersem_S1			0,602	0,601	0,765	0,750	0,748	1,217	2,111	2,172	2,116
Advison_Geel_S1				1,776	1,706	0,571	0,538	0,538	2,000	2,000	2,000
Advison_Hasselt_S1			0,771	0,771	0,770	0,282	0,685	0,902	0,982	1,255	1,461
Advison_Hoeilaart_S1						0,515	0,491	0,540	1,248	1,280	1,312
Advison_Houth_ Helcht_ S3	x	x	0,474	0,675	0,850						
Advison_Houth_ Helcht_ S1	x	x	0,605	0,777	0,848						
Advison_Houth_ Helcht_ S2	x	x	0,555	0,754	0,811						
Advison_Lier_S1		x	0,409	0,505	0,630	0,507	0,615	0,622			
Advison_Lummen_S1			0,406	0,659	0,649	0,765	0,648	0,969	1,669	1,718	1,767
Advison_Meerbeek_S1			0,334	0,416	0,496	0,503	0,735	0,842	0,874	1,024	1,146
Advison_Tervuren_S1			1,000	0,998	0,998	0,471	0,457	0,459	0,977	1,036	1,100
Advison_Tessenderlo_S1			0,400	0,404	0,432	0,793	0,877	0,961	1,831	1,919	2,008
Berners NV_Overpelt_S1	x					1,133	1,472	1,727			
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5			0,552	0,590	0,677	1,897	2,149	2,502	4,632	4,914	5,194
Cona_Bilzen_S1	x	x							0,801	0,597	0,534
Geosonda_Tongeren_S2			0,611	0,668	0,675	1,200	1,258	1,294	0,912	0,721	0,663
Geosonda_Zonhoven_S1		x	0,702	0,751	0,783						
Laborex_Asse_zellik_S1			0,712	0,815	0,841	1,183	1,234	1,249	2,477	2,475	2,475
Laborex_Pelt_S1		x	0,694	0,795	0,915						
SGS_Bilzen_S1						0,750	0,750	0,907	1,544	1,544	1,544
SGS_Boortmeerbeek_S1			0,679	0,667	0,498	0,605	0,606	0,605	1,716	1,719	1,720
SGS_Hasselt_S1			1,442	1,439	1,606	0,717	0,697	0,750	1,866	1,956	2,047
SGS_KesselLo_S8 (boring tot 1,2m)		x							1,691	1,752	1,839
SGS_Peer_S1			0,661	0,635	0,741	0,393	0,858	1,388	1,984	1,982	1,982
SGS_Ronquieres_S1	x					0,665	0,636	1,006	1,911	1,915	1,917
SGS_Zoutleeuw_S1			0,890	1,685	2,202	2,473	2,468	2,467	1,331	1,327	1,327
Sondex_Temse_S1			0,839	0,838	0,838	0,602	0,640	0,977			
Vanderkeulen_Lubbeek_S1			1,558	1,917	2,347	0,865	0,865	0,865	1,956	1,964	2,090
Vanderkeulen_proefrapport_S1			/	/	/	1,347	1,203	1,166	0,753	0,753	0,755
VDC_Diepenbeek_S1	x	x	x								
Verbeke_Lubbeek_S1			1,069	1,067	1,067	0,775	0,775	0,775	1,075	1,087	1,143
Verbeke_Opplabbeek_S1		x	1,331	1,495	1,738						
Verbeke_Overijse_S1			1,908	1,904	1,904	1,315	1,790	2,006	0,266	0,265	0,312
Verbeke_Zonhoven_S1		x							1,209	1,181	1,168
WS_Geel_S1	x	x	x								
WS_Zonhoven_S1		x	0,845	1,101	1,302						
WS-Hamont-Achel_S1		x	0,543	0,568	0,624						

Resultaten sondeerverslagen/(qc/10):

	Aanzet op 0,8 in laag met qc-waarde boven 7	Aanzet op 1,4 in laag met qc-waarde boven 8	Aanzet op 3,2 in laag met qc-waarde boven 8	0,8m			1,5m			3,3m		
				Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd	Fd
				(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
				1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3	1x1	2x2	3x3
Advison_Aarschot_S1				0,989	1,000	1,000	1,065	1,000	1,000	0,891	0,891	0,891
Advison_Binkom_S1				0,903	0,903	0,903	1,025	1,025	1,025	0,807	0,807	0,807
Advison_Bouterssem_S1				0,777	0,777	0,952	0,793	0,793	1,058	1,111	1,111	1,111
Advison_Geel_S1					0,877	0,877	0,696	0,696	0,696	1,079	1,079	0,943
Advison_Hasselt_S1				0,916	0,916	0,916	0,639	1,071	1,077	1,071	1,000	1,000
Advison_Hoeilaart_S1							0,596	0,596	0,514	0,872	0,872	0,872
Advison_Houth, Helcht_S3	x	x		0,475	0,475	0,475	0,402	0,402	0,402	0,511	0,511	0,508
Advison_Houth, Helcht_S1		x	x	0,617	0,617	0,617	0,360	0,360	0,360	0,530	0,505	0,372
Advison_Houth, Helcht_S2		x	x	0,488	0,488	0,488	0,404	0,404	0,404	0,718	0,718	0,718
Advison_Lier_S1			x	0,564	0,564	0,564	0,599	0,465	0,403	0,560	0,857	1,033
Advison_Lummen_S1				0,507	0,858	1,000	0,715	1,000	1,000	0,849	0,849	0,849
Advison_Meerbeek_S1				0,488	0,488	0,488	0,654	0,654	0,654	0,830	0,830	0,830
Advison_Tervuren_S1				0,887	0,887	0,887	0,432	0,432	0,432	0,767	0,767	0,767
Advison_Tessenderlo_S1				0,540	0,540	0,540	0,842	0,842	0,842	0,992	0,992	0,992
Berners NV_Overpelt_S1	x		x	0,475	0,475	0,741	0,699	0,699	0,699	0,395	0,395	0,395
Borges Geoconsult_Scherpenh_S5				0,601	0,601	0,601	1,212	1,212	1,212	1,622	1,622	1,622
Cona_Bilzen_S1	x	x		0,298	0,298	0,298	0,207	0,207	0,207	0,743	0,743	0,743
Geosonda_Tongeren_S2				0,990	1,533	2,072	1,109	1,543	1,976	1,133	1,367	1,444
Geosonda_Zonhoven_S1		x	x	0,475	0,697	0,918	0,306	0,440	0,574	0,451	0,560	0,669
Laborex_Asse_zellik_S1				0,754	0,754	0,754	1,029	1,029	1,029	1,676	1,676	1,676
Laborex_Pelt_S1		x	x	0,723	0,723	0,723	0,249	0,249	0,249	0,496	0,496	0,496
SGS_Bilzen_S1							0,964	0,964	1,044	1,039	1,039	1,039
SGS_Boortmeerbeek_S1				0,780	0,780	0,780	0,930	0,930	0,930	1,049	1,049	1,049
SGS_Hasselt_S1				1,744	1,507	1,500	1,105	1,105	0,880	1,111	1,111	1,111
SGS_Kessel Lo_S8 (boring tot 1,2m)		x					0,800	0,800	0,800	1,027	1,027	0,987
SGS_Peer_S1				1,432	1,432	1,381	1,023	1,333	1,333	1,186	1,186	1,186
SGS_Ronquieres_S1	x			1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,071	1,071	1,071
SGS_Zoutleeuw_S1				1,455	1,455	1,455	1,455	1,455	1,455	1,210	1,210	1,210
Sondex_Temse_S1				1,186	1,186	1,186	0,859	0,836	0,836			
Vanderkeulen_Lubbeek_S1				1,228	1,806	2,383	1,040	1,375	1,637	0,851	1,019	1,186
Vanderkeulen_proefrapport_S1				/	/	/	1,018	1,386	1,099	0,840	0,920	0,999
VDC_Diepenbeek_S1	x	x	x	0,458	0,458	0,458	0,350	0,350	0,350	0,516	0,516	0,492
Verbeke_Lubbeek_S1				0,922	0,922	0,922	0,723	0,723	0,723	1,115	1,115	1,115
Verbeke_Opplabbeek_S1		x	x	0,909	1,131	1,275	0,396	0,506	0,615	0,569	0,664	0,759
Verbeke_Overijse_S1				1,094	1,094	1,094	0,641	0,872	0,978	0,381	0,381	0,448
Verbeke_Zonhoven_S1		x					0,379	0,379	0,379	0,997	0,997	0,997
WS_Geel_S1	x	x	x	0,294	0,294	0,294	0,502	0,502	0,502	0,766	0,766	0,766
WS_Zonhoven_S1		x	x	0,600	0,600	0,600	0,342	0,342	0,342	0,534	0,534	0,534
WS-Hamont-Achel_S1		x	x	0,431	0,431	0,431	0,409	0,409	0,409	0,491	0,491	0,491

Bijlage D: Standaardtabel met karakteristieke waarden voor grondparameters

Grondsoort	Bijmenging	Pakkingaeththeid/ consistentie	q_p (MPa)	R_f (%)	γ_h boven F.O. (kN/m ³)	γ_h beneden F.O. (kN/m ³)	φ_h (°)	c_h (kPa)	e_{uh} (kPa)
grind	-	matig dicht	< 20 > 20	< 1% > 1%	18 19	20 21	35 40	0 0	- -
	leem- of kleihoudend	matig dicht	< 20 > 20	1-2%	19 20	21 22	32 37	0 0	- -
zand	-	los matig dicht zeer dicht	2-4 4-10 10-15 > 15	< 1%	16 17 18 19	18 19 20 20	27 30 32 35	0 0 0 0	- - - -
	leem- of kleihoudend	los matig dicht zeer dicht	2-4 4-10 10-15 > 15	1-2%	16 17 18 19	18 19 20 20	25 27 30 32	0 0 0 0	- - - -
	-	Weinig vnet matig vast vrij vnet vast	0.4-1 1-2 2-4 > 4	2-4%	16 17 18 19	16 17 18 19	22 22 22 22	0 2 4 8	10 25 50 100
klei	zandhoudend	Weinig vast matig vast vrij vnet vast	0.4-1 1-2 2-4 > 4	1-3%	16 17 18 19	16 17 18 19	25 25 25 25	0 2 4 8	10 25 50 100
	-	Weinig vnet matig vast vrij vnet vast	0.4-1 1-2 2-4 > 4	3-6%	16 17 18 19	16 17 18 19	20 20 20 20	2 4 8 15	20 50 100 200
veen	zandhoudend	Weinig vast matig vast vrij vnet vast	0.4-1 1-2 2-4 > 4	2-5%	16 17 18 19	16 17 18 19	22 22 22 22	2 4 8 15	20 50 100 200
	-	Weinig vnet Matig vnet Vast	0.2-0.5 0.5-1 > 1	> 6%	10 12 14	10 12 14	15 15 15	2 5 10	10 20 40