

# 2015

## Afstudeerverslag Casper Frank: Gedrag van Eemklei in relatie tot de fundering van hoogbouw in Amsterdam



0828366 Casper Frank

Hogeschool Rotterdam

Fugro GeoServices

06-02-2015

| actie        | datum      | paraaf |
|--------------|------------|--------|
| opgesteld CF | 06-02-2015 |        |
| gelezen MJP  |            |        |
| gelezen JVD  |            |        |

## Inhoud

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inleiding                                                                                                                                             | 3  |
| 1.0 Probleemschets: Wat kunnen de effecten zijn van Eemklei?                                                                                          | 4  |
| 1.1 Doelstelling onderzoek                                                                                                                            | 6  |
| 1.2 Plan van aanpak onderzoek                                                                                                                         | 7  |
| 2.0 Onderzoeksfase: Selecteren van gebouwen, archiefonderzoek, inmeten en zettingsberekeningen                                                        | 8  |
| 2.1 Een inventarisatie en rapportage van bestaande gebouwen gefundeerd op Eemklei                                                                     | 8  |
| 2.1.1 Het 12-verdiepingenhuis, beter bekend als De Wolkenkrabber                                                                                      | 9  |
| 2.1.2 De woontoren Sky Dome                                                                                                                           | 10 |
| 2.1.3 De woontoren Staalmeesterslaan 101-191                                                                                                          | 12 |
| 2.1.4 De afvallers                                                                                                                                    | 13 |
| 2.2 Bepalen huidige hoogteligging geselecteerde gebouwen                                                                                              | 13 |
| 2.2.1 Uitvoering en uitkomsten doorgaande waterpassingen                                                                                              | 13 |
| 2.2.1.1 Uitkomsten hoogtemeting Wolkenkrabber                                                                                                         | 13 |
| 2.2.1.2 Uitkomsten hoogtemeting Staalmeesterslaan                                                                                                     | 15 |
| 2.2.1.3 Uitkomsten hoogtemeting Sky Dome                                                                                                              | 17 |
| 3.0 Modelering van de geconstateerde zettingen met D-settle                                                                                           | 20 |
| 3.0.1 Proefsom in Excel op de drie geselecteerde gebouwen                                                                                             | 22 |
| 3.0.2 Uitkomsten berekeningen met D-settle                                                                                                            | 23 |
| 3.0.3 Verschillen tussen Excel en D-settle                                                                                                            | 23 |
| 3.1 Aanpassen parameters in D-settle                                                                                                                  | 26 |
| 4.0 Voorkomen van schade                                                                                                                              | 26 |
| 4.1 Een aantal opties voor diepfunderen                                                                                                               | 27 |
| 4.2 Conclusies en aanbevelingen                                                                                                                       | 29 |
| Samenvatting                                                                                                                                          | 31 |
| Bijlage 1: Een beknopte geschiedenis van het ontstaan van de Nederlandse ondergrond en de bodemopbouw onder Amsterdam                                 |    |
| Bijlage 2: Een beknopte geschiedenis van hoogbouw in Amsterdam en de toekomstvisie ten aanzien van hoogbouw in Amsterdam in relatie tot de ondergrond |    |
| Bijlage 3: Voorbeeld doorgaande waterpassing                                                                                                          |    |
| Bijlage 4: Beknopte geschiedenis van het Amsterdams Peil en het Normaal Amsterdams Peil en correctie op NAP-bouten                                    |    |
| Bijlage 5: Vaststellen parameters                                                                                                                     |    |
| Bijlage 6: Uitkomsten parameters in Excel                                                                                                             |    |
| Bijlage 7: Uitkomsten zettingsberekeningen Wolkenkrabber                                                                                              |    |
| Bijlage 8: Uitkomsten zettingsberekeningen Staalmeesterslaan                                                                                          |    |
| Bijlage 9: Uitkomsten zettingsberekeningen Sky Dome                                                                                                   |    |

## Inleiding

Het voorliggende document is de eindrapportage van de afstudeeropdracht uitgevoerd door Casper Frank, studentnummer 0828366. In dit document worden alle bevindingen en eindresultaten gerapporteerd. Tevens zullen de bevindingen gepresenteerd worden in de laatste week van februari 2015 aan de Hogeschool Rotterdam.

De onderzoeksvraag die beantwoord moet worden is afkomstig van de heer IR. M.J. Profitlich, afdelingshoofd geo-advies bij Fugro GeoServices te Amsterdam, en luidt als volgt:

*“Beschrijf de zettingsgedrag van de Eemkleilaag in Amsterdam onder belasting van hoogbouw en geef een aantal opties voor het funderen op de derde zandlaag.”*

In het kort kan gezegd worden dat in de ondergrond van Amsterdam zich een grondlaag bevindt tussen de tweede en derde dragende zandlaag die zettingen vertoont als er bebouwing op de tweede dragende zandlaag gefundeerd wordt. Als deze bebouwing een dusdanige massa heeft zullen de vrijkomende belastingen resulteren in zettingen in de tussengelegen laag die bestaat uit de zogenaamde Eemklei. Deze zettingen ontstaan over het algemeen bij zware bouwconstructies in de vorm van hoogbouw. Deze zettingen kunnen niet alleen schade veroorzaken aan de betreffende bebouwing zelf, ook kan aan de omliggende bebouwing schade ontstaan. Tevens zijn er gevallen bekend van recent gebouwde constructies die zowel op de tweede als op de derde dragende zandlaag gefundeerd zijn en daardoor ongelijkmatige zetting vertoont hebben met scheurvorming als gevolg. Om verdere schade te voorkomen en herstel zinvol te maken heeft er in deze gevallen funderingsherstel plaats moeten vinden op basis van nieuw onderzoek naar de draagkracht van de ondergrond.

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is gebruik gemaakt van de beschikbare computerprogramma's zoals die voorhanden zijn bij Fugro, te weten de D-series van Deltares . Tevens zijn de interne Fugro (diep)sonderingen- en grondmonsterbibliotheek geraadpleegd. Een andere informatiebron zijn de archieven van de stadsdelen in Amsterdam en de database van de Noord- Zuidlijn, gegevens die openbaar en dus vrij beschikbaar zijn. Ook is bij aannemers informatie opgevraagd om de verschillende funderingsmethoden op de dieper gelegen derde dragende zandlaag inzichtelijk te krijgen qua uitvoeringsmethode en kosten.

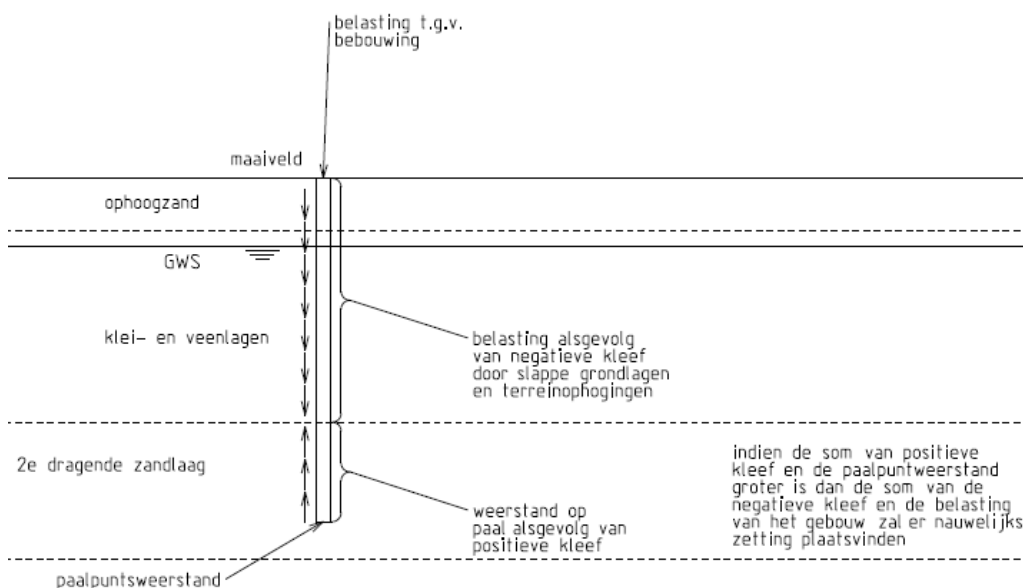
Deze onderzoeksvraag is in de afgelopen periode uitgewerkt en heeft geresulteerd in deze eindrapportage met een bijbehorende eindpresentatie.

## 1.0 Probleemschets: Wat kunnen de effecten zijn van Eemklei?

De ondergrond van Amsterdam bestaat voornamelijk uit slappe klei- en veenlagen. Op een bepaalde diepte bevindt zich de eerste dragende zandlaag. Over het algemeen kan gezegd worden dat deze onvoldoende dikte en daardoor onvoldoende draagkracht heeft om nieuwe gebouwen op te kunnen funderen. Onder deze zandlaag bevinden zich één of meerdere slappe klei- en/of veenlagen. Daarna volgt de tweede dragende zandlaag. Een laag die voldoende dikte en draagkracht heeft om de meeste gangbare typen van bebouwing te kunnen dragen. Als men hoogbouw toe wil passen, een type bebouwing die grotere belastingen veroorzaakt via de fundering op de tweede dragende zandlaag, blijkt dat de tweede dragende zandlaag in sommige gevallen te weinig draagvermogen heeft en zettingen in de ondergrond ontstaan. Deze zettingen blijken pas na enige jaren en soms na decennia ondanks dat in de ontwerpfase de fundering is getoetst en goedgekeurd. De reden dat de fundering wordt goedgekeurd is dat de mogelijke zettingen als gevolg van Eemklei doorgaans buiten beschouwing worden gelaten.

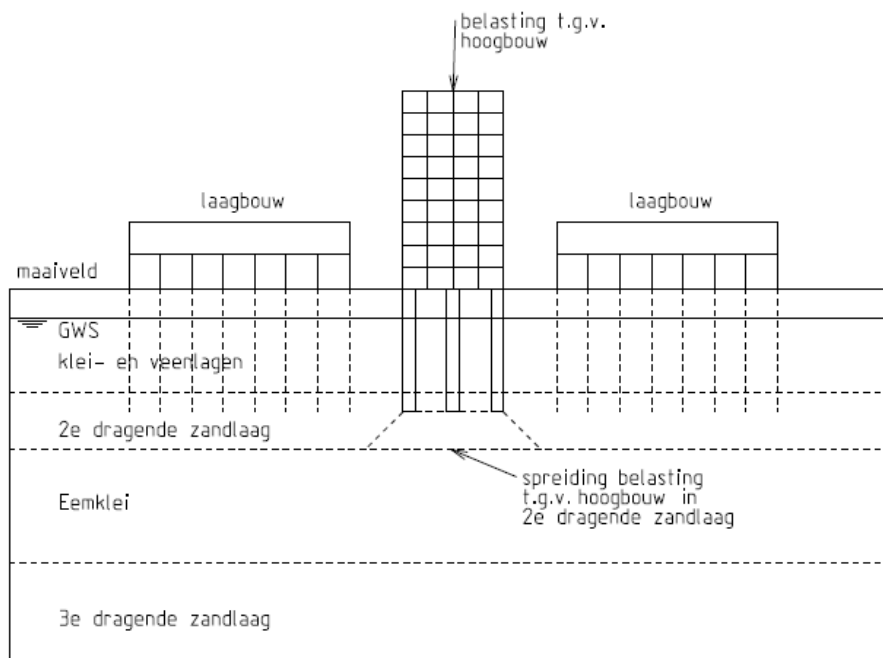
Bij de toetsing van een standaard paalfundering van een gebouw wordt de belasting als gevolg van het gebouw en het effect van negatieve kleef bij elkaar opgeteld. Negatieve kleef wordt veroorzaakt door slappe klei- en/of veenlagen en wordt versterkt door terreinophogingen. Slappe klei- en/of veenlagen zijn altijd onderhevig aan zettingen en gaan vastplakken aan de funderingspaal. Dit veroorzaakt een extra belasting op de funderingspaal naast de belasting veroorzaakt door de bebouwing. Positieve kleef wordt veroorzaakt door wrijvingsweerstand op de omtrek van het onderste deel van de funderingspaal die in een draagkrachtige zandlaag wordt aangebracht. De paalpuntweerstand zit aan de onderzijde van de funderingspaal en genereert het grootste deel van de paal draagkracht. De som van de negatieve kleef en gebouwbelasting moet kleiner zijn dan de som van de positieve kleef en het paal draagvermogen. Indien aan deze eis wordt voldaan is rekenkundig aangetoond dat de fundering sterk genoeg is om de belasting als gevolg van de bebouwing en de negatieve kleef te kunnen dragen en dat de eventuele restzetting nihil zal zijn. Door in de berekeningen te variëren met inheidieptes en paaldiameters wordt uiteindelijk de optimale situatie bepaald, een grotere paaldiameter en een diepere inheidiepte vergroten het draagvermogen van de funderingspaal. Een standaardsituatie voor een paalfundering staat schematisch weergegeven in figuur 2.1.

Figuur 2.1: Standaardsituatie paalfundering met invloeden van negatieve kleef.



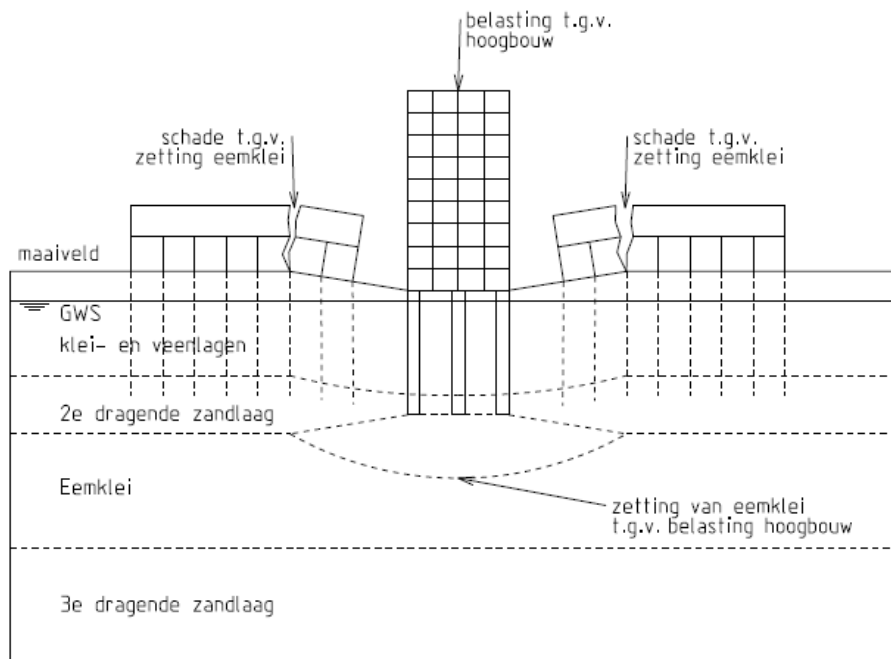
Indien besloten wordt om op een bepaalde locatie hoogbouw te realiseren wordt eerst onderzoek gedaan naar de draagkracht van de ondergrond te plaatse. In het verleden ging dit onderzoek meestal niet verder dan de tweede dragende zandlaag. Hiermee werden de effecten van zettingen die optreden in de ondergelegen Eemkleilaag onbedoeld buiten beschouwing gelaten waarna de hoogbouw gerealiseerd werd.

Figuur 1.2: Situatieschets aanvangssituatie voordat zettingen optreden in de Eemkleilaag .



Nadat de hoogbouw gerealiseerd is kunnen zettingen optreden in de Eemkleilaag. Dit hoeft voor de hoogbouw zelf geen gevolgen te hebben, de zettingen treden langzaam en gelijkmatig op. Dit komt doordat er spreiding van de belasting plaatsvindt in de tweede dragende zandlaag. Deze zettingen kunnen wel nadelige gevolgen hebben voor de naastgelegen bebouwing.

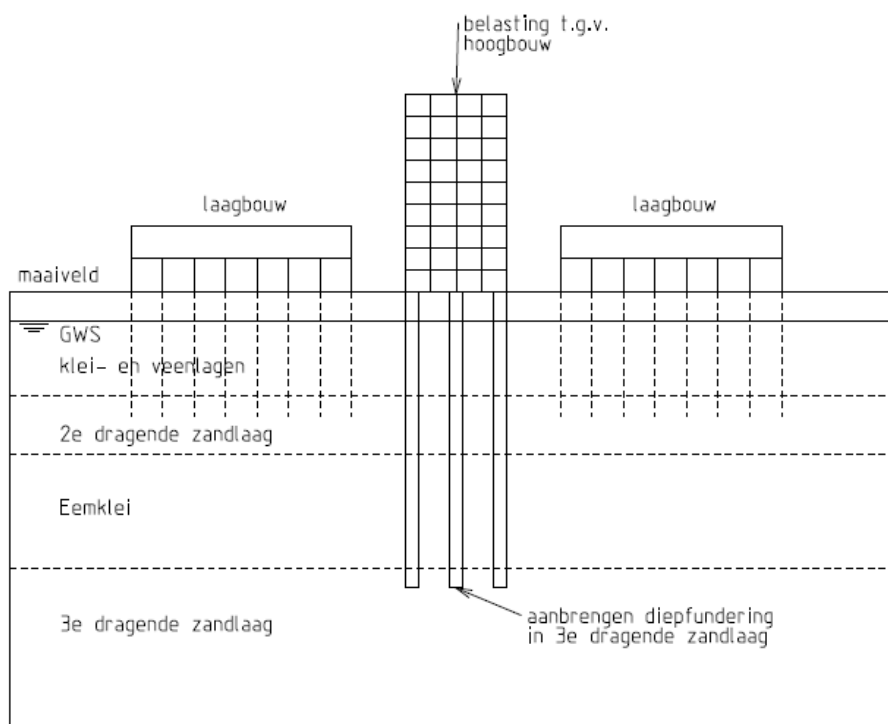
Figuur 1.3: Probleemschets als gevolg van zettingen die op kunnen treden in de Eemkleilaag .



Om schade als gevolg van zettingen van de Eemkleilaag te voorkomen kan men er voor kiezen om geen nieuwbouw toe te passen in de directe omgeving van de hoogbouw. Men bepaalt de zettingen in het ontwerptraject van de hoogbouw en telt deze op bij de aanleghoogte die men voor ogen heeft, de som hiervan is de nieuwe aanleghoogte. Na de ingebruikname van de hoogbouw zullen er zettingen in de Eemkleilaag gaan optreden. Als de eindzetting van de Eemkleilaag is bereikt ligt het gebouw op de ontwerphoogte die men aanvankelijk voor ogen had.

Deze voorgaande situatie is niet altijd te realiseren, in de praktijk wordt nieuwe hoogbouw vaak in de omgeving van bestaande (lage) bebouwing gebouwd of worden hoogbouw en laagbouw naast elkaar gebouwd volgens het stedenbouwkundig plan. Om in deze situaties zettingen in de Eemkleilaag te voorkomen is het aanbrengen van een diepfundering onder de hoogbouw noodzakelijk. Deze diepfundering zal door de tweede dragende zandlaag en de Eemkleilaag aangebracht moeten worden om uiteindelijk zijn draagkracht te genereren uit de derde dragende zandlaag.

Figuur 1.4: Schets diepfundering rustend op de derde dragende zandlaag.



Het aanbrengen van een diepfundering brengt hoge kosten met zich mee die de realisatie van hoogbouw tot een dure onderneming maakt. Daarom is er een inventarisatie gemaakt van de ondergrond van Amsterdam ten aanzien van de toekomstvisie op hoogbouw in Amsterdam. Een aantal systemen voor het aanbrengen van diepfunderingen worden in hoofdstuk 7 beschreven.

## 1.1 Doelstelling onderzoek

De doelstelling van het onderzoek is kort samen te vatten in de volgende drie punten:

- Inzichtelijk maken waar de Eemklei zich bevindt in de ondergrond van Amsterdam in relatie tot toekomstplannen met betrekking tot hoogbouw,
- Bepalen van het zettingsverloop in de tijd,
- Advies met betrekking tot funderingsmethoden.

## 1.2 Plan van aanpak onderzoek

Om de doelstellingen van het onderzoek te verwezenlijken moeten een aantal stappen gezet worden om dit te bereiken. Daarom wordt het onderzoek in een aantal stappen uitgevoerd en moeten een aantal zaken duidelijk inzichtelijk worden gemaakt om tot een volledig beeld te komen rondom de problematiek zoals die zich voordoet rondom de Eemklei in Amsterdam. Het plan van aanpak betreffende dit onderzoek resulteert in de volgende punten:

- Beschrijf de algemene ontstaansgeschiedenis van de ondergrond van Nederland en maak vervolgens duidelijk hoe deze ontstaansgeschiedenis zich heeft ontwikkeld in de ondergrond van Amsterdam,
- Wat is de visie van de gemeente Amsterdam ten aanzien van hoogbouw wat betreft de locaties waar men dit wil gaan toepassen in relatie tot de ondergrond,
- Maak een beschrijving van de ontstaansgeschiedenis van hoogbouw in Amsterdam en inventariseer een aantal gebouwen die zijn aangebracht in een periode dat de problematiek rondom Eemklei niet speelde, van de gebouwen moet aannemelijk zijn dat zettingen als gevolg van Eemklei later zijn opgetreden in relatie tot de funderingsdiepte,
- Achterhaal de oorspronkelijke aanleghoogtes, het gebouwgewicht, de funderingsmethode en de funderingsdiepte van de geselecteerde gebouwen via het bouwarchief van de gemeente Amsterdam,
- Voer een hoogtemeting uit ten opzichte van NAP en verifieer dit met de oorspronkelijke aanleghoogtes, let hierbij vooral op dat de NAP hoogtes zoals die gebruikt zijn ten tijde van de aanleg nog steeds hetzelfde zijn. Dit met het oog op eventuele correcties op de NAP bouten,
- Als aanvulling op het voorgaande punt moet de ontstaansgeschiedenis van het NAP en haar correcties inzichtelijk worden gemaakt, een wijziging van NAP hoogtes kan van grote invloed zijn op eventuele gemeten zettingen,
- Inventariseer welke grondparameters beschikbaar zijn om zettingen te bepalen en bepaal hiervan het gemiddelde en de statistische onder- en bovengrens,
- Bereken met deze parameters de theoretische zetting en vergelijk deze met de gemeten zetting. Pas de parameters zodanig aan dat de berekende zettingen gelijk zijn met de gemeten zettingen,
- Benoem een aantal methodes voor het funderen op grotere dieptes en benoem de voor- en nadelen en geef een globale kostenindicatie.

Als aanvulling op de bovenstaande punten wordt een plattegrond van Amsterdam aangeleverd waarop inzichtelijk is gemaakt waar de Eemklei zich onder Amsterdam bevindt ten aanzien van de door de gemeente Amsterdam aangewezen hoogbouwlocaties. Hierop staat de diepte van de boven- en onderkant van de Eemkleilaag aangegeven alsmede de dikte.

## 2.0 Onderzoeksfase: Selecteren van gebouwen en archiefonderzoek, inmeten en zettingsberekeningen

Voordat met het onderzoek kan worden begonnen moeten eerst een aantal vragen beantwoord worden over Eemklei in de ondergrond van Amsterdam en hoogbouw in Amsterdam, namelijk:

- De ontstaansgeschiedenis van de ondergrond van Nederland en Amsterdam in het bijzonder,
- De geschiedenis van hoogbouw in Amsterdam,
- De toekomstvisie ten aanzien van hoogbouw in Amsterdam.

Deze vragen worden beantwoord in bijlage 1 en 2 van dit verslag.

Samenvattend kan gezegd worden dat de toekomstvisie van de gemeente Amsterdam voorschrijft dat hoogbouw mag worden toegepast langs de Ringweg A10 west, zuid en oost en langs de noordelijke en zuidelijke IJ-oeveren. Nu de locaties bekend zijn die aangewezen zijn waar in de toekomst hoogbouw gerealiseerd mag worden en de ondergrond van deze locaties bekend is, kan begonnen worden met de onderzoeksfase. De onderzoeksfase bestaat uit vier delen, te weten:

- Selecteren van hoge gebouwen die op Eemklei staan en het raadplegen van het gemeentelijk bouwarchief met betrekking tot de geselecteerde gebouwen,
- Het bepalen van de huidige hoogteligging van de geselecteerde gebouwen en deze vergelijken met de oorspronkelijke aanleghoogtes die bekend zijn geworden na het archiefonderzoek,
- Het opzetten van rekenmodellen om de theoretische zetting te bepalen vanaf de aanleg van de gebouwen tot heden en deze vergelijken met de werkelijke zetting die uit de metingen bepaald zijn,
- Het aanpassen van de parameters om zodoende de gemeten en berekende zettingen gelijk te stellen.

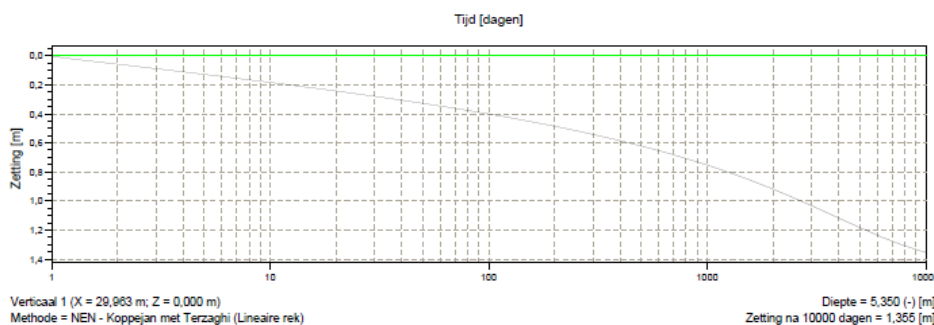
In de volgende paragrafen worden deze deelonderzoeken stap voor stap beschreven.

### 2.1 Een inventarisatie en rapportage van bestaande gebouwen gefundeerd op Eemklei

Aan de hand van de inventarisatie die gedaan is waar de Eemklei zich bevindt in relatie tot de aangewezen locaties waar hoogbouw toegepast gaat worden, is een selectie gemaakt van bestaande gebouwen die op of in de buurt van deze locaties aanwezig zijn. Hiervoor is het criterium aangehouden dat alleen gebouwen van tien verdiepingen of meer hiervoor in aanmerking komen. Uitgaande van een bouwlaaghoogte van 3,50 meter komt dat neer op een minimum gebouwhoogte van 35,00 meter. De geselecteerde gebouwen hebben echter meer dan tien verdiepingen waardoor alle gebouwen aan dit criterium voldoen.

Een ander criterium is dat het gebouw ten minste 15 jaar geleden opgeleverd moet zijn. Dit omdat met het bepalen van te verwachten zettingen als gevolg van bovenbelastingen in de praktijk een periode van 10.000 dagen wordt aangehouden, een periode die ongeveer overeenkomt met 30 jaren. Aan het einde van deze periode is de zetting nihil. Met name in de eerste drie tot vijf jaar is de zetting het grootst, daarna neemt deze zeer sterk af. De geselecteerde gebouwen zijn meer dan 15 jaar geleden opgeleverd waardoor alle gebouwen aan dit criterium voldoen.

Figuur 2.1: Willekeurig last-zakkingsdiagram als gevolg van een ophoging met  $t=10.000$  dagen, logaritmic weergegeven. Een periode van 15 jaar is dan  $15 \times 365$  dagen  $\approx 5500$  dagen. In dit willekeurige voorbeeld is de zetting dan 1,2 meter, ca. 90% van de totale zetting na 10.000 dagen.



Door een periode van 15 jaren aan te houden wordt de keuze in gebouwen aanzienlijk groter en heeft een aanzienlijk deel van de zettingen als gevolg van de belasting al plaats gevonden. Ook zijn er twee gebouwen geselecteerd waarbij er weinig tot geen Eemklei in de ondergrond aanwezig is. Dit om tot een nauwkeuriger vergelijking te komen wat het effect van Eemklei in de ondergrond is. De volgende gebouwen zijn geselecteerd op basis van relevantie zoals gesteld in paragraaf 1.2:

- Het 12-verdiepingenhuis, beter bekend als De Wolkenkrabber,
- Hotel Okura,
- Woontoren Staalmeesterslaan 101-191,
- Woontoren Sky Dome,
- Voormalig Shell kantoor Overhoeks.

In de volgende paragrafen volgt een per gebouw een rapportage van de bovengenoemde selectie van gebouwen.

### 2.1.1 Het 12-verdiepingenhuis, beter bekend als De Wolkenkrabber

Het 12-verdiepingenhuis, hierna genoemd De Wolkenkrabber, is in 1932 in gebruik genomen als wooncomplex. Hiermee was het één van de eerste vormen van hoogbouw in Amsterdam. In die zelfde periode zijn er meerdere hoge gebouwen gerealiseerd maar deze hadden een industriële functie en zijn in de loop der jaren verouderd geraakt om uiteindelijk gesloopt te worden. Tot op de dag van vandaag is de Wolkenkrabber in gebruik. Het gebouw is ontworpen door architect J.F. Staal. Het staat op een prominente plek in het door H.P. Berlage ontworpen Plan Zuid. Zoals de eigenlijke naam van het gebouw aangeeft telt het gebouw 12 verdiepingen en bestaat uit een betonskelet, gele bakstenen, staal en glas. Onder het gebouw is een kelder aangebracht waarvan de onderkant zich ten tijde van de aanleg op ca. -5,00 NAP lag. Onder het gebouw zijn in totaal 897 houten funderingspalen aangebracht. Op basis van eerder gedaan onderzoek naar de fundering kan gezegd worden dat ca. 150 palen een paalpuntniveau hebben van -14,50 NAP en de overige 747 palen een paalpuntniveau hebben van -13,00 NAP. In de jaren voorafgaand aan de bouw van De Wolkenkrabber is er een zandophoging aangebracht van ca. 5,00 meter. Bij het bepalen van de belasting van de Wolkenkrabber is ten tijde van het ontwerp in 1930 geen rekening gehouden met de gevolgen van negatieve kleeft en de opwaartse druk van grondwater. Hierdoor is de totale belasting destijds vastgesteld op 80,1 mN. In een latere berekening ten tijde van onderzoek in 1993 zijn de gevolgen van negatieve kleeft en opwaartse druk van grondwater nader bepaald en is de belasting van de Wolkenkrabber vastgesteld op 63,8 mN.

Figuur 2.2: Het 12-Verdiepingenhuys of "De Wolkenkrabber", gezien vanaf het Merwedeplein (Bron: [http://www.geheugenvannederland.nl/?/indonesie\\_onafhankelijk\\_-\\_fotos\\_1947-1953/items/SFA03:SFA001020038/&st=Staal,%20J.F.&sc=\(subject%20all%20\(Staal%20%20AND%20J.F.\)\)&singleitem=true](http://www.geheugenvannederland.nl/?/indonesie_onafhankelijk_-_fotos_1947-1953/items/SFA03:SFA001020038/&st=Staal,%20J.F.&sc=(subject%20all%20(Staal%20%20AND%20J.F.))&singleitem=true)).



Dit onderzoek in 1993 is gedaan naar aanleiding van schade aan naastgelegen bebouwing als gevolg van zettingen, zie figuur 4.2, links en rechts van de Wolkenkrabber. De conclusie van dit onderzoek was dat de zettingen veroorzaakt zijn door de Wolkenkrabber en zijn opgetreden in de Eemkleilaag. Als gevolg hiervan heeft de Wolkenkrabber rechtstandig kunnen zetten en is schade opgetreden aan de belendende bebouwing omdat de kop van het belendende bebouwing sterker is blootgesteld aan zettingen dan de achterzijde van de belendingen. Een schematische weergave van deze situatie is eerder weergegeven op bladzijde 5 in figuur 1.3. Ten behoeve van dit onderzoek is grondonderzoek verricht door een sondering uit te voeren. Uit deze onderzoek zijn de volgende gegevens te filteren:

Figuur 2.3: Tabel gegevens fundering en Eemklei onder Wolkenkrabber

| Maaiveldhoogte<br>t.o.v. NAP | Inheidiepte<br>paalfundering<br>t.o.v. NAP | Resterende<br>zandlaag<br>tussen<br>fundering en<br>Eemklei | Bovenzijde<br>Eemklei<br>t.o.v. NAP | Onderzijde<br>Eemklei<br>t.o.v. NAP | Laagdikte<br>Eemklei onder<br>Wolkenkrabber |
|------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| +1,00m                       | -13,00m                                    | 6,00m                                                       | -19,00m                             | -26,00m                             | 7,00m                                       |

### 2.1.2 De woontoren Sky Dome

De woontoren Sky Dome is in 1995 in gebruik genomen. Het gebouw staat aan de KNSM-laan op het KNSM-eiland te Amsterdam. Tot in de jaren 70 had dit gebied een havenfunctie en werd het gedomineerd door havenkranen en pakhuizen. Nadat de havenfunctie was weggefallen had het te maken met een sterke verpaupering, de pakhuizen en havenkranen raakten buiten gebruik en werden het domein van krakers en kunstenaars. Eind jaren 80 is het bestemmingsplan gewijzigd van een industriële functie in een woonfunctie en heeft er een herontwikkeling plaatsgevonden naar een plan van architect Jo Coenen. De kern van het plan was dat een deel van de oorspronkelijke bebouwing behouden bleef en een nieuwe functie zou krijgen. Het overige deel van de oorspronkelijke bebouwing werd gesloopt en vervangen door nieuwbouw. Eén van de in het oog springende nieuwe gebouwen is de woontoren Sky Dome. Een woontoren van ca. 60 meter hoogte naar ontwerp van Wiel Arets Architecten. De toren heeft 22 verdiepingen en onder het gebouw is een kelder aangebracht. Uit archiefonderzoek blijkt dat het gebouw wordt gedragen door 246 palen en het inheinniveau varieert tussen de 18,50 en de 20,00 meter -NAP. Het gebouwgewicht bedraagt volgens het constructierapport 196,66 mN Het maaiveld van het KNSM-eiland is al voor de

ingebruikname als haventerrein opgehoogd met baggerspecie uit het Noordzeekanaal. Dit heeft plaatsgevonden rond het jaar 1900.

*Figuur 2.4: Woontoren Sky Dome aan de KNSM laan op het Java eiland.*



Evenals de bebouwing die voor de bouw van Sky Dome aanwezig was op deze locatie kan dit van invloed zijn geweest op het zettingsverloop van de ondergelegen Eemkleilaag maar is buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek. Dit omdat de hoogte van de ophoging en de massa van de oorspronkelijke bebouwing onbekend zijn. Voor de aanvang van de bouwwerkzaamheden is er grondonderzoek gedaan door een aantal (diep)sonderingen uit te voeren.

*Figuur 2.5: Tabel gegevens fundering en Eemklei onder Sky Dome*

| <b>Maaiveldhoogte<br/>t.o.v. NAP</b> | <b>Inheidiepte<br/>paalfundering<br/>t.o.v. NAP</b> | <b>Resterende<br/>zandlaag tussen<br/>fundering en<br/>Eemklei</b> | <b>Bovenzijde<br/>Eemklei t.o.v.<br/>NAP</b> | <b>Onderzijde<br/>Eemklei<br/>t.o.v. NAP</b> | <b>Laagdikte<br/>Eemklei<br/>onder<br/>Sky<br/>Dome</b> |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| +1,00m                               | -19,50m                                             | 5,50m                                                              | -25,00m                                      | -40,50m                                      | 15,50m                                                  |

### 2.1.3 De woontoren Staalmeesterslaan 101-191

Aan de Nachtwachtlaan en de Staalmeesterlaan, beiden parallel aan de westelijke ringweg A10, zijn in 1973 negen woontorens van zestien verdiepingen met een hoogte van ca. 50 meter gerealiseerd naar ontwerp van architectenbureau Zandstra, Gmelig Meyling en De Clerq Zubli N.V. Over de achtergrond van deze gebouwen is weinig informatie te vinden in de archieven en op internet. Volgens het constructierapport bedraagt het bouwgewicht 112,112 mN.

Figuur 2.6: Woontorens aan de Staalmeesterslaan en de Nachtwachtlaan in het Rembrandtpark in stadsdeel Nieuw-West.



Uit de informatie die wel beschikbaar is zijn de volgende zaken naar voren gekomen waarbij aangetekend moet worden dat de gegevens met betrekking tot de dikte van de Eemkleilaag gebruik is gemaakt van de gegevens van Dinoloket, dit omdat tijdens het uitgevoerde grondonderzoek geen diepsonderingen zijn uitgevoerd.

Figuur 2.7: Tabel gegevens fundering en Eemklei onder Staalmeesterslaan

| Maaiveldhoogte<br>t.o.v. NAP | Inheidiepte<br>paalfundering<br>t.o.v. NAP | Resterende<br>zandlaag<br>tussen<br>fundering en<br>Eemklei | Bovenzijde<br>Eemklei<br>t.o.v. NAP | Onderzijde<br>Eemklei<br>t.o.v. NAP | Laagdikte Eemklei<br>onder<br>Staalmeesterslaan |
|------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|
| -1,00m                       | -18,50m                                    | 1,90m                                                       | -20,40m                             | -24,40m                             | 4,00m                                           |

### 2.1.4 De afvallers

Voor dit onderzoek zijn ook nog twee andere gebouwen geselecteerd en onderzocht maar afgevalen om verschillende redenen:

- Voormalig Shell kantoor Overhoeks, hoogte 78 meter: De reden om het onderzoek te staken is dat het organisatorisch een janboel is bij stadsdeel Amsterdam Noord. Na twee keer archiefonderzoek te hebben verricht is de eerst keer de verkeerde data opgestuurd en de

tweede keer helemaal geen data. Bovendien stond op geen van de bouwtekeningen een NAP hoogte vermeld van het gebouw, een onmisbaar gegeven om de zetting vanaf de bouw tot aan nu te bepalen,

- Hotel Okura, hoogte 78 meter: Gezien de te verwachten problemen met het inmeten van het gebouw is verder onderzoek achterwege gelaten. Tevens heeft er in het verleden al een onderzoek plaatsgevonden naar zettingen van het gebouw.

## 2.2 Bepalen huidige hoogteligging geselecteerde gebouwen in NAP

Om de huidige hoogteligging van de geselecteerde gebouwen te bepalen heeft per gebouw een doorgaande waterpassing plaatsgevonden tussen twee referentiepunten die in NAP hoogte bekend zijn. In Amsterdam bevindt zich een uitgebreid meetboutennetwerk van NAP bouten die beheerd worden door de gemeente. Aangezien de geselecteerde gebouwen 15 jaar of ouder zijn is het van belang om na te gaan of er in de loop van de tijd correcties hebben plaatsgevonden op het meetboutennetwerk. Dit is noodzakelijk om tot een nauwkeurig vergelijk te komen met de oorspronkelijke aanleghoogte. Voor informatie over de uitvoering van een doorgaande waterpassing wordt doorverwezen naar bijlage 3, voor informatie over de ontstaansgeschiedenis van het NAP en de correcties daarop wordt doorverwezen naar bijlage 4.

### 2.2.1 Uitvoering en uitkomsten doorgaande waterpassingen.

Om een hoogtemeting uit te kunnen voeren op een gebouw is het noodzakelijk om te weten waar zich in de directe omgeving van het gebouw NAP bouten bevinden. De gemeente Amsterdam heeft een uitgebreid meetboutennetwerk waarvan de gegevens te vinden zijn via internet. Deze meetbouten worden regelmatig ingemeten om zo de zetting te bepalen. Alleen voor de hoogtebepaling van Sky Dome is gebruik gemaakt van deze gegevens. Voor de hoogtebepaling van de Wolkenkrabber en de torenflat aan de Staalmeesterslaan is gebruik gemaakt van het boutenboek, uitgegeven door de gemeente Amsterdam. Wat betreft de ingemeten punten is als eis aangehouden dat er geen verstoring is opgetreden tussen de aanleghoogtes zoals weergegeven op de originele bouwtekeningen en de huidige situatie. Dat wil zeggen dat binnenvloeren zijn vermeden omdat de dikte van de afwerklaag op het originele betoncasco en de aangebrachte tegelvloer onbekend zijn. Dit kan van invloed zijn op de uitkomst van de metingen.

#### 2.2.1.1 Uitkomsten hoogtemeting Wolkenkrabber.

Voor het bepalen van de zettingen van de Wolkenkrabber is gebruik gemaakt van het boutenboek van de gemeente Amsterdam. Allereerst moet de meetlocatie bekend zijn en worden op de bijgevoegde overzichtskaart de dichtstbijzijnde peilmerken geselecteerd.

Figuur 2.8: Fragment overzichtskaart boutenboek Amsterdam met dichtstbijzijnde peilmerken t.b.v. zettingsmetingen aan de Wolkenkrabber.



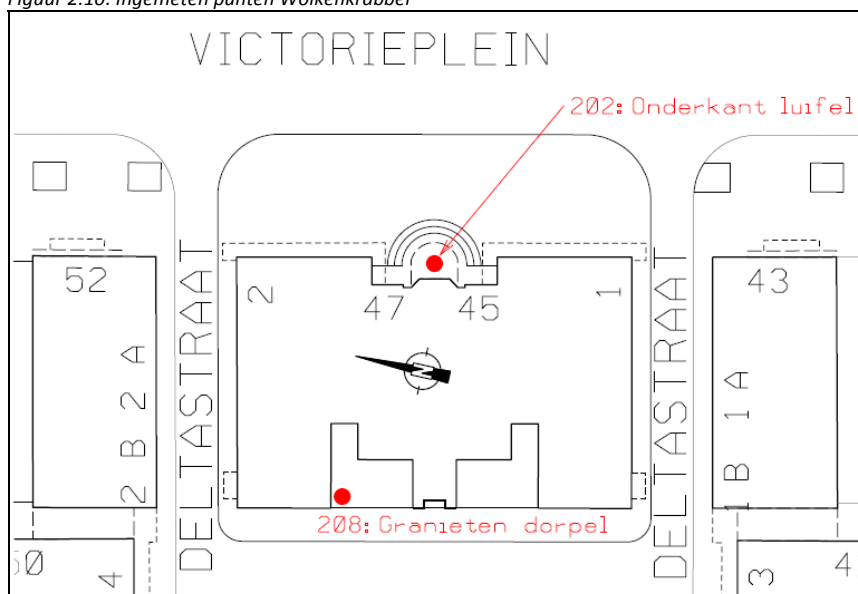
De peilmerken met de nummers 13780002 en 13780003 blijken zich het dichtst in de buurt van de meetlocatie te bevinden. In het boutenboek is de volgende informatie over deze peilmerken te vinden:

Figuur 2.9: Informatie over peilmerknnummers 13780002 en 13780003.

| peilmerknr. | beschrijving                                                                                                        | windr. | muurvlakcoör.<br>x y | merk | jaar | hoogte | peilmerknr. | RWSnr. |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------|------|------|--------|-------------|--------|
| 13780002    | Churchill-laan 48<br>(x = rechts van portiek; y = boven trasraam)                                                   | Z      | 103 21               | 1    | 2007 | +1.556 | 13780002    |        |
| 13780003    | Openbare kleuterschool "Het Mierennest" (x=rechts van<br>ingang) /Kinderdagverblijf "De Petteflet" Victorieplein 11 | NW     | 160 28               | 0    | 2007 | +0.949 | 13780003    |        |

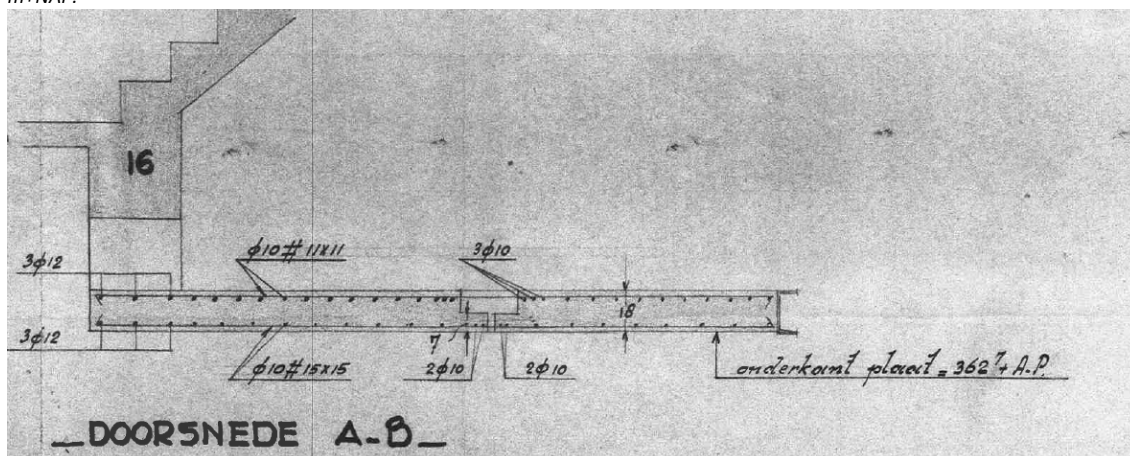
De meting is uitgevoerd vanaf peilmerknummer 13780003 naar 13780002. Op het gebouw zijn twee punten ingemeten en vergeleken met de oorspronkelijke aanleghoogtes zoals deze uit archiefonderzoek bij het gemeentearchief van stadsdeel Amsterdam Zuid naar voren zijn gekomen.

Figuur 2.10: Ingemeten punten Wolkenkrabber



Het archiefonderzoek heeft van deze twee meetpunten de volgende aanleghoogtes opgeleverd:

Figuur 2.11: Detail bouwtekening Wolkenkrabber 1930. Volgens tekening is de aanleghoogte van de onderkant van de betonnen luifel 3,627 m+NAP.



Figuur 2.12: Detail blauwdruk Wolkenkrabber 1930. Volgens tekening sluit de verharding zonder hoogteverschil aan op de granieten dorpel van de binnenplaats op 0,70+NAP.



De uitkomsten van de meting zijn vergeleken met de aanleghoogtes van de originele bouwtekeningen en staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Figuur 2.13: Tabel opgetreden zettingen Wolkenkrabber.

| Meetpunt | Aanleghoogte 1932 | Correctie NAP vanaf bouw tot 2009 | Standaard zetting | Gemeten 04-09-2014 | Zetting | Periode |
|----------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------|---------|---------|
| 202      | 3,627m+NAP        | -0.015m                           | -0.015m           | 3,535m+NAP         | 57mm    | 81 jaar |
| 208      | 0,700m+NAP        | -0.015m                           | -0.015m           | 0,597m+NAP         | 73mm    | 81 jaar |

Uit het verschil tussen de oorspronkelijke aanleghoogtes en de gemeten hoogtes blijkt dat de Wolkenkrabber in 80 jaar tijd gemiddeld 65 mm gezakt is. Bij het bepalen van de zetting is er vanuit gegaan dat na het aanbrengen van de aangebrachte belasting in de fundering altijd 15mm zetting optreedt. De correctie van de bout is bepaald uit het gegeven dat de bout 0,2mm per jaar zakt (zie bijlage 4). Teruggerekend vanaf de allerlaatste correctie van 2009 tot aan de bouw in 1932 is dat 0,2mm maal 77 jaar = 15,4mm.

### 2.2.1.2 Uitkomsten hoogtemeting Staalmeesterslaan.

Voor het bepalen van de zettingen van de woontoren aan de Staalmeesterslaan is gebruik gemaakt van het boutenboek van de gemeente Amsterdam. Allereerst moet de meetlocatie bekend zijn en worden op de bijgevoegde overzichtskaart de dichtstbijzijnde peilmerken geselecteerd.

Figuur 2.14: Fragment overzichtskaart boutenboek Amsterdam met dichtstbijzijnde peilmerken t.b.v. zettingsmetingen aan de Staalmeesterslaan.



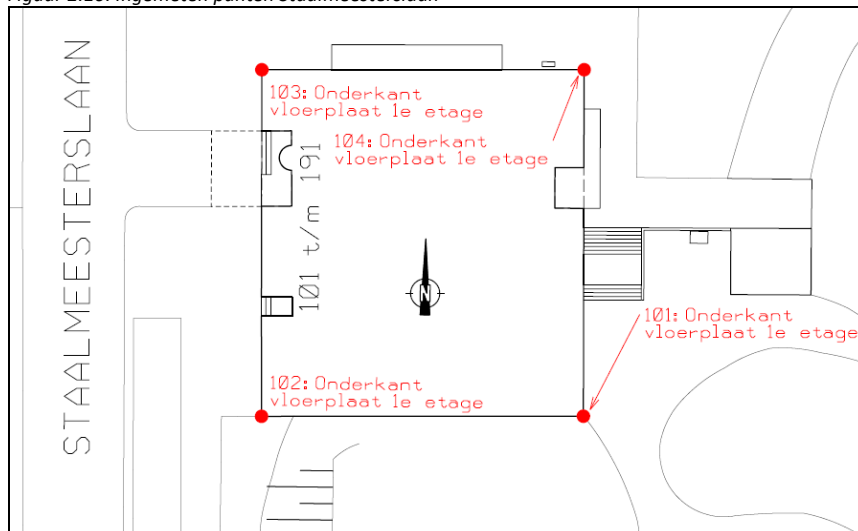
De peilmerken met de nummers 10980002 en 10980004 blijken zich het dichtst in de buurt van de meetlocatie te bevinden. In het boutenboek is de volgende informatie over deze peilmerken te vinden:

Figuur 2.15: Informatie over peilmerknnummers 10980002 en 19880004.

| peilmerknr. | beschrijving                                                             | windr. | muurvlakcoör.<br>x y | merk | jaar | hoogte | peilmerknr. | RWSnr. |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------|------|------|--------|-------------|--------|
| 10980002    | Derkinderenstraat 90<br>(Kerk van "Het Apostolisch Genootschap")         | W      | -20 35               | 0    | 2007 | -0.271 | 10980002    |        |
| 10980004    | Zuidoostelijke pijlaar in viadukt Einsteinweg over de Jan Evertsenstraat | N      | -50 33               | 0    | 2007 | -0.413 | 10980004    |        |

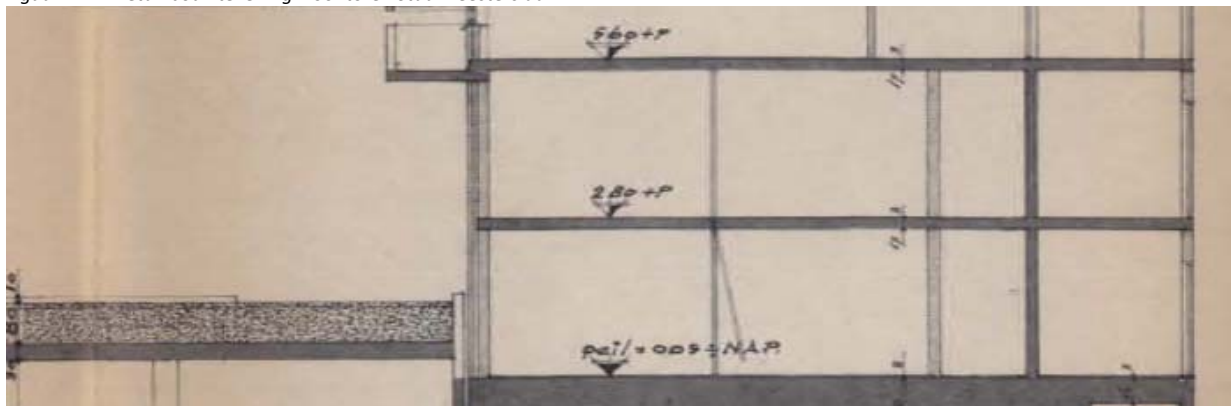
De meting is uitgevoerd vanaf peilmerknnummer 10980002 naar 10980004. Op het gebouw zijn diverse punten ingemeten en vergeleken met de oorspronkelijke aanleghoogtes zoals deze uit archiefonderzoek bij het gemeentearchief van stadsdeel Amsterdam Nieuw West naar voren zijn gekomen.

Figuur 2.16: Ingemeten punten Staalmeesterslaan



Archiefonderzoek bij stadsdeel Amsterdam Nieuw West heeft aangetoond dat het oorspronkelijke bouwpeil van de woontoren op 0,050-NAP lag en dat daardoor de vloer van de eerste woonlaag op 5,550 m+NAP is aangelegd. Het betreft hier de aanleghoogte van het kale betoncascos, dus zonder afwerkklagen.

Figuur 2.17: Detail bouwtekening woontoren Staalmeesterslaan.



Uit archiefonderzoek blijkt dat de vloerdikte 25 cm bedraagt en dat de onderzijde van de betonplaat die door de gevel uitkraagt maar liefst 40 cm lager ligt dan het vloerpeil van de eerste verdieping en daarmee gelijk ligt met onderkant balkon.

Figuur 2.18: Detail bouwtekening woontoren Staalmeesterslaan.



De uitkomsten van de meting zijn vergeleken met de aanleghoogtes van de originele bouwtekeningen en staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Figuur 2.19: Tabel opgetreden zettingen Wolkenkrabber.

| Meetpunt | Aanleghoogte 1970 | Correctie 2005 | Standaard zetting | Gemeten hoogte 04-09-2014 | Zetting | Periode |
|----------|-------------------|----------------|-------------------|---------------------------|---------|---------|
| 101      | 5,150m+NAP        | -0.007m        | -0.015m           | 5,089m+NAP                | 39mm    | 40 jaar |
| 102      | 5,150m+NAP        | -0.007m        | -0.015m           | 5,075m+NAP                | 53mm    | 40 jaar |
| 103      | 5,150m+NAP        | -0.007m        | -0.015m           | 5,106m+NAP                | 22mm    | 40 jaar |
| 104      | 5,150m+NAP        | -0.007m        | -0.015m           | 5,092m+NAP                | 36mm    | 40 jaar |

Uit het verschil tussen de oorspronkelijke aanleghoogtes en de gemeten hoogtes blijkt dat de woontoren Staalmeesterslaan in 40 jaar tijd gemiddeld 38 mm gezakt is. Bij het bepalen van de zetting is er vanuit gegaan dat na het aanbrengen van de aangebrachte belasting in de fundering altijd 15mm zetting optreedt. De correctie van de bout is bepaald uit het gegeven dat de bout 0,2mm per jaar zakt (zie bijlage 4). Teruggerekend vanaf de allerlaatste correctie van 2009 tot aan de bouw in 1973 is dat 0,2mm maal 77 jaar = 7,2mm.

### 2.2.1.3 Uitkomsten hoogtemeting Sky Dome.

Voor het bepalen van de zettingen van de woontoren Sky Dome is gebruik gemaakt de website <http://www.opdekaart.amsterdam.nl/dbi/meetbouten>. Op deze website zijn alle meetbouten van Amsterdam te vinden die in de loop der jaren zijn aangebracht om zettingen van gebouwen te monitoren. De gegevens zijn vrij te raadplegen in het kader van de wet op openbaar bestuur. De reden waarom in het geval van de zettingsbepaling van Sky Dome geen gebruik is gemaakt van het boutenboek is omdat de dichtstbijzijnde peilmerken van de gemeente Amsterdam zich op een veel grotere afstand bevinden dan de hierna genoemde meetbouten. Uit de uitleg over de vereffening van een doorgaande waterpassing in bijlage 3 kan worden opgemaakt dat een grotere afstand van het afgelegde traject tot een grotere sluitfout kan leiden die binnen de tolerantie valt. Na een vereffening

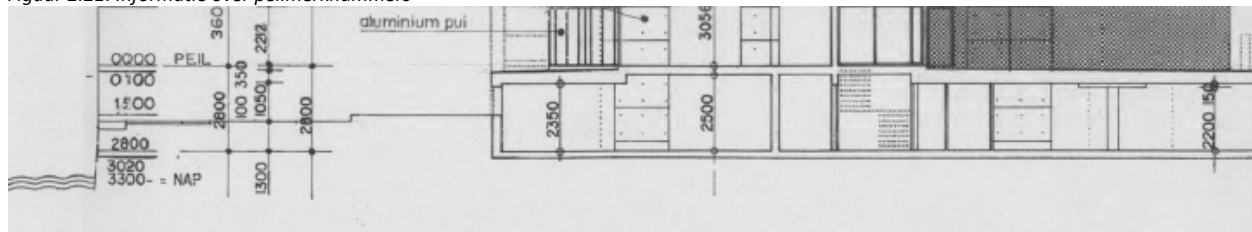
van de sluitfout blijkt dat de onnauwkeurigheid bij een langer traject groter is dan bij een korter traject. Daarom is het zaak om de peilmerken zo dicht mogelijk bij het in te meten punt te houden. Allereerst moet de meetlocatie bekend zijn en worden op de bijgevoegde overzichtskaart de dichtstbijzijnde peilmerken geselecteerd.

Figuur 2.20: Informatie over peilmerknnummers 10881000 en 1088002 ( Bron: <http://www.opdekaart.amsterdam.nl/dbi/meetbouten>).



De meting is uitgevoerd vanaf meetboutnummer 10881000 naar de parkeerkelder van woontoren Sky Dome en afgesloten op meetboutnummer 10881002. Op deze bouten worden met enige regelmaat controlemetingen uitgevoerd. In de parkeerkelder van het gebouw zijn de vloer, de onderkant draagbalk begaande grond en het plafond ingemeten en vergeleken met de oorspronkelijke aanleghoogtes zoals deze uit archiefonderzoek bij het gemeentearchief van stadsdeel Amsterdam Oost naar voren zijn gekomen. Uit het archiefonderzoek zijn de volgende aanleghoogtes gevonden op een bouwtekening:

Figuur 2.21: Informatie over peilmerknnummers



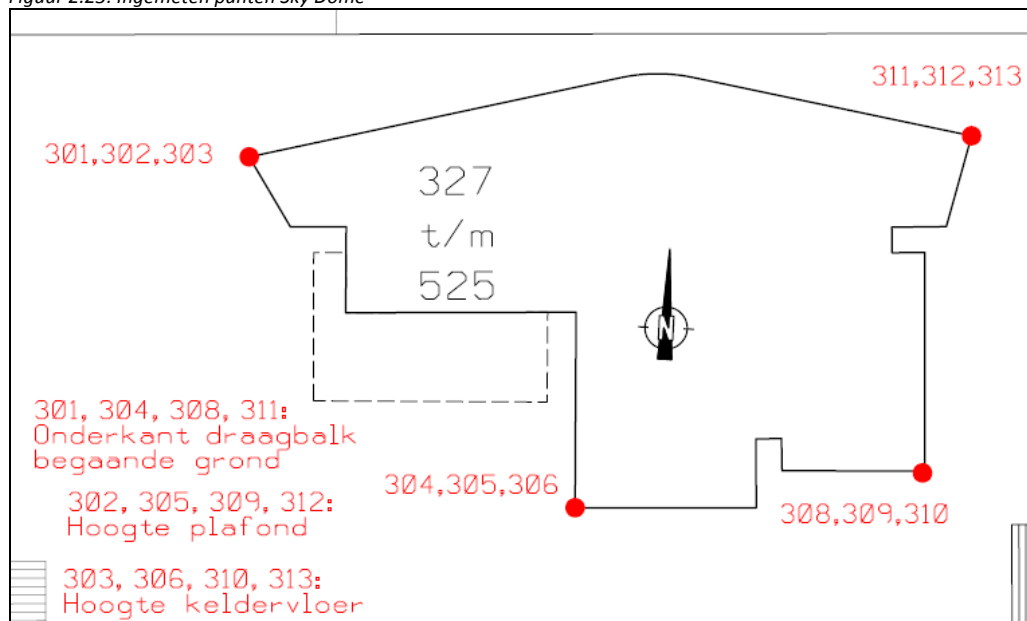
De aanleghoogtes zijn voor alle duidelijkheid weergegeven in onderstaande tabel.

Figuur 2.22: Tabel opgetreden zettingen Wolkenkrabber

| Aanleghoogte keldervloer | Aanleghoogte onderzijde draagbalk | Aanleghoogte plafond kelder |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 0.500m+NAP               | 2.700m+NAP                        | 2.850m+NAP                  |

Uit bovenstaande tabel wordt duidelijk dat het hoogteverschil tussen het plafond en de vloer  $2.850\text{m} - 0.500\text{m} = 2.350\text{m}$  bedraagt en dat het verschil tussen het plafond en de onderzijde draagbalk  $2.850\text{m} - 2.700\text{m} = 0.150\text{m}$  bedraagt. Tijdens de meting zijn de volgende punten in hoogte bepaald zoals weergegeven in onderstaande figuur.

Figuur 2.23: Ingemeten punten Sky Dome



Tijdens het vergelijken van de ingemeten hoogtes met de oorspronkelijke aanleghoogtes kwamen een aantal opmerkelijke verschillen naar voren. Volgens de bouwtekeningen zoals die in het archief van de gemeente Amsterdam te vinden zijn blijkt dat de aanleghoogte van de keldervloer destijds 0,500m +NAP is geweest. Uit de metingen is het volgende gebleken:

Figuur 2.24: Tabel opgetreden zettingen Wolkenkrabber

| Meetpunt | Aanleghoogte 1996 | Correctie 2005 | Standaard zetting | Gemeten hoogte 25-09-2014 | Rijzing | Periode |
|----------|-------------------|----------------|-------------------|---------------------------|---------|---------|
| 303      | 0.500m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 0.568m+NAP                | 86mm    | 18 jaar |
| 306      | 0.500m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 0.575m+NAP                | 93mm    | 18 jaar |
| 310      | 0.500m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 0.560m+NAP                | 78mm    | 18 jaar |
| 313      | 0.500m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 0.556m+NAP                | 74mm    | 18 jaar |

Tijdens het vergelijken van de uitkomsten van het plafond kwamen dezelfde opmerkelijke verschillen naar voren, de aanleghoogte van het plafond is volgens de bouwtekening 2.850m +NAP.

Figuur 2.25: Tabel opgetreden zettingen Wolkenkrabber

| Meetpunt | Aanleghoogte 1996 | Correctie 2005 | Standaard zetting | Gemeten hoogte 25-09-2014 | Rijzing | Periode |
|----------|-------------------|----------------|-------------------|---------------------------|---------|---------|
| 302      | 2.850m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 2.901m+NAP                | 69mm    | 18 jaar |
| 305      | 2.850m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 2.912m+NAP                | 80mm    | 18 jaar |
| 309      | 2.850m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 2.908m+NAP                | 76mm    | 18 jaar |
| 312      | 2.850m+NAP        | -0.003m        | -0.015m           | 2.894m+NAP                | 62mm    | 18 jaar |

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat het gemiddelde verschil tussen de gemeten plafondhoogte en de gemeten vloerhoogte  $2.904\text{m} - 0.565\text{m} = 2.339\text{m}$  bedraagt. Hieruit valt op te maken dat het hoogteverschil tussen vloer en plafond min of meer gelijk is ten opzichte van de bouwtekeningen.

Tijdens het vergelijken van de uitkomsten van de onderkant draagbalk begaande grond kwamen eveneens opmerkelijke verschillen naar voren, echter betreft het hier zettingen ten opzichte van de oorspronkelijke aanleghoogtes.

Figuur 2.26: Tabel opgetreden zettingen Wolkenkrabber.

| Meetpunt | Aanleghoogte 1996 | Correctie 2005 | Standaard zetting | Gemeten hoogte 25-09-2014 | Zetting | Periode |
|----------|-------------------|----------------|-------------------|---------------------------|---------|---------|
| 301      | 2.700m+NAP        | -0.003         | -0.015m           | 2,664m+NAP                | 18mm    | 18 jaar |
| 304      | 2.700m+NAP        | -0.003         | -0.015m           | 2,663m+NAP                | 19mm    | 18 jaar |
| 308      | 2.700m+NAP        | -0.003         | -0.015m           | 2,657m+NAP                | 25mm    | 18 jaar |
| 311      | 2.700m+NAP        | -0.003         | -0.015m           | 2,660m+NAP                | 22mm    | 18 jaar |

Uit het verschil tussen de oorspronkelijke aanleghoogtes en de gemeten hoogtes blijkt dat de onderkant van de draagbalk in 18 jaar tijd gemiddeld 21 mm gezakt is. Bij het bepalen van de zetting is er vanuit gegaan dat na het aanbrengen van de aangebrachte belasting in de fundering altijd 15mm zetting optreedt. De correctie van de bout is bepaald uit het gegeven dat de bout 0,2mm per jaar zakt (zie bijlage 4). Teruggerekend vanaf de allerlaatste correctie van 2009 tot aan de bouw in 1996 is dat 0,2mm maal 13 jaar = 2,6mm. Uit bovenstaande gegevens blijkt dat het gemiddelde verschil tussen de gemeten plafondhoogte en de onderkant draagbalk begaande grond  $2.904\text{m} - 2.661\text{m} = 0.241\text{m}$  bedraagt terwijl het verschil volgens de bouwtekeningen 0.150m zou moeten zijn. Voor het vervolg van dit onderzoek wordt daarom de aannahme gedaan dat tijdens de aanleg besloten is dat de hele constructie 0.100m hoger aan te leggen. Dit besluit is genomen nadat de draagbalk begaande grond is aangelegd.

### 3.0 Modelering van de geconstateerde zettingen met D-settle

Nu de daadwerkelijke zettingen van de geselecteerde gebouwen bekend zijn door hoogtemetingen kunnen deze gemodeleerd worden met D-settle. Voordat hiermee begonnen kan worden moeten eerst een aantal eigenschappen van de Eemklei inzichtelijk worden gemaakt, de zogenaamde parameters. Deze zijn afkomstig van twee eerder uitgevoerde grondonderzoeken in Amsterdam. Het blijkt in de praktijk lastig te zijn om goede gegevens over Eemklei te vinden, dit komt doordat er weinig onderzoek naar gedaan wordt omdat de meeste gebouwen geen grote belastingen op de Eemklei genereren en omdat onderzoek in de vorm van diepsonderingen en vooral diepboringen duur is. De gegevens in onderstaande tabel zijn gebaseerd op twee grondboringen waarvan de boven- en ondergrens statistisch is bepaald, de verdere uitwerking daarvan is te vinden in bijlage 5.

Figuur 3.1: Uitkomsten van de gemiddelde parameters ende statistische boven- en ondergrenzen.

| Parameter             | Cp     | Cs      | C'p   | C's    | C'    | Pg  | $\gamma_{\text{sat}}$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------|--------|---------|-------|--------|-------|-----|-----------------------------------------------|
| <b>Zone I:</b>        |        |         |       |        |       |     |                                               |
| Z <sub>n,v</sub> laag | 57,35  | 272,89  | 15,54 | 33,76  | 6,43  | 265 | 17,1                                          |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 85,01  | 557,15  | 20,21 | 102,24 | 10,97 | 265 | 17,1                                          |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 112,67 | 841,41  | 24,88 | 170,71 | 15,51 | 265 | 17,1                                          |
| <b>Zone II:</b>       |        |         |       |        |       |     |                                               |
| Z <sub>n,v</sub> laag | 52,83  | 382,30  | 19,89 | 11,76  | 8,71  | 300 | 17,7                                          |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 87,60  | 687,23  | 26,07 | 183,86 | 15,67 | 300 | 17,7                                          |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 122,37 | 992,17  | 32,26 | 355,97 | 22,62 | 300 | 17,7                                          |
| <b>Zone III:</b>      |        |         |       |        |       |     |                                               |
| Z <sub>n,v</sub> laag | 53,14  | 359,56  | 15,55 | 48,15  | 7,03  | 318 | 17,6                                          |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 106,37 | 807,34  | 17,56 | 71,99  | 8,73  | 318 | 17,6                                          |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 159,59 | 1255,12 | 19,58 | 95,83  | 10,43 | 318 | 17,6                                          |
| <b>Zone IV:</b>       |        |         |       |        |       |     |                                               |
| Z <sub>n,v</sub> laag | 64,84  | 64,12   | 18,95 | 60,99  | 8,46  | 361 | 17,7                                          |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 112,69 | 1071,97 | 25,11 | 89,35  | 11,81 | 361 | 17,7                                          |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 160,55 | 2208,06 | 31,27 | 117,72 | 15,16 | 361 | 17,7                                          |

Nu de bovenstaande gegevens zijn in Excel bepaald, is met dit programma is eerst een zettingsberekening van elk gebouw gemaakt om na te gaan of de parameters kloppen. In Excel is het mogelijk om een handmatige zettingsberekening uit te voeren door alle gegevens die voorhanden zijn aan elkaar te koppelen en de uitkomsten snel inzichtelijk te maken en aan te passen indien noodzakelijk. De vereiste gegevens zijn:

- Het gebouwgewicht en de lengte en breedte,
- De bodemopbouw onder het gebouw,
- De grondwaterstand,
- De oorspronkelijke aanleghoogte en het tijdstip van aanleg,
- De zetting van het gebouw ten opzichte van de oorspronkelijke aanleghoogte,
- De inheidiepte van de funderingspalen, vanaf de onderkant van de funderingspalen wordt de belasting afgegeven op de ondergelegen grondlagen,
- De parameters van de onder de funderingspalen aanwezige dragende zandlaag en de aanwezige zettingsgevoelige grondlagen (Eemklei).

Met deze gegevens is voor elk gebouw een handmatige zettingsberekening ingevoerd in Excel. Om de zetting te bepalen is gebruikgemaakt van de formule van Koppejan:

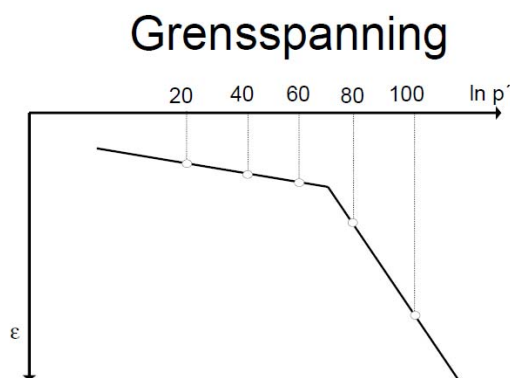
$$\frac{\Delta h}{h_0} = \left[ \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log(t) \right] * \ln \left( \frac{Pg}{\phi'0} \right) + \left[ \frac{1}{C'p} + \frac{1}{C's} * \log(t) \right] * \ln \left( \frac{\phi I}{Pg} \right)$$

Naast de gegevens die in de tabel van figuur 5.6 vermeld staan moet met behulp van een sondering of een boring de korrelspanning in het middel van de slappe, zettingsgevoelige, laag bepaald worden. Tevens moet de spanningstoename als gevolg van de belasting in het midden van de slappe, zettingsgevoelige, laag bepaald worden, een belangrijk gegeven hierbij is de afschuifhoek van de grondlagen onder de paalfundering. Deze verteld namelijk hoe de belasting gespreid wordt in de lagen onder de paalfundering. Als alle gegevens bekend zijn kan de formule van Koppejan ingevuld worden, de ingevulde gegevens hebben de volgende betekenis:

- $C_p$ : primaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning,
- $C_s$ : secundaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning,
- $C'_p$ : primaire samendrukkingsconstante na de grensspanning,
- $C'_s$ : secundaire samendrukkingsconstante na de grensspanning,
- $t$ : Tijd in dagen na het aanbrengen van de belasting in dagen,
- $\phi'_0$ : Korrelspanning in het midden van de laag voor belasting,
- $\phi'_i$ : Korrelspanning in het midden van de laag na belasting,
- $P_g$ : Grensspanning.

Wat opvalt aan de formule is dat het een optelsom is van het linker- en het rechterdeel die ogenschijnlijk veel op elkaar lijken. Het verschil is dat het linker deel met waarden voor de aangebrachte belasting en voor de grensspanning rekent en het rechter met waarden na de aangebrachte belasting en na de grensspanning. Om dit verder duidelijk te maken moet eerst duidelijk zijn wat de grensspanning eigenlijk is. In figuur 3.2 is een eenvoudig last-zakkingsdiagram weergegeven.

Figuur 3.2: Eenvoudige last-zakkingsdiagram met grensspanning.



Bovenstaande figuur laat het gedrag van grond zien als het wordt samengedrukt. Met het toenemen van de belasting zakt de lijn steeds verder weg tot een druk van  $70 \ln p'$ , dan bezwijkt de grond en neemt de draagkracht sterk af. De grensspanning van deze grond ligt bij  $70 \ln p'$ . Het deel voor de grensspanning wordt de stijve tak genoemd en het deel na de grensspanning de slappe tak. In de formule van Koppejan rekent het linker deel dus met de stijve tak en het rechterdeel met de slappe tak. In bijlage5 staat is te vinden waardoor een verhoogde grensspanning in Eemklei is ontstaan. Tijdens het opstellen van Excel rekenbladen die de formule van Koppejan doorrekenen is duidelijk geworden dat de belastingen als gevolg van de gebouwen de grensspanning in sommige Eemkleilagen niet overschrijden. Dit betekent dat het rechterdeel van de formule dan niet meetelt in de uitkomst en dat voor het rechterdeel als waarde een 0 ingevoerd moet worden. Laat men dit na dan zal de uitkomst van de formule van Koppejan een negatieve uitkomst geven wat inhoudt dat er geen sprake is van zetting maar van bodemrijzing als gevolg van belasting!

### 3.0.1 Proefsom in Excel op de drie geselecteerde gebouwen

De drie gebouwen zijn in Excel doorgerekend op de theoretische zetting die opgetreden zou moeten zijn vanaf de aanleg tot heden. Hierbij zijn de zowel de statistisch bepaalde hoge, de gemiddelde als de statistisch bepaalde lage waarden van de parameters doorgerekend en vergeleken met de door hoogtemetingen geconstateerde werkelijke zettingen. De uitkomsten staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Figuur 3.3: Tabel met de verschillen tussen de gemeten zettingen en de berekende zettingen in Excel. Tevens staat aangegeven welke waarden van de parameters zijn gebruikt voor de berekende zettingen.

| Gebouw            | Gemeten zettingen | Waardes parameters | Berekende zettingen | Vershil metingen/berekeningen |
|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| Wolkenkrabber     | 78mm              | $Z_{n,v}$ gem      | 65mm                | 13mm                          |
| Sky Dome          | 16mm              | $Z_{n,v}$ hoog     | 246mm               | -230mm                        |
| Staalmeesterslaan | 87mm              | $Z_{n,v}$ hoog     | 83mm                | 4mm                           |

Tussen de uitkomsten van de metingen en de berekeningen zitten verschillen, na wat kleine aanpassingen in de parametersets in Excel kunnen de berekende zettingen gelijkgezet worden met de gemeten zettingen. Een opvallende afwijking zit tussen de berekende en gemeten zettingen van Sky Dome. De uitkomsten van de metingen wekten al enige argwaan, het lijkt waarschijnlijk dat men voorafgaand aan de aanleg besloten heeft een de fundering onder het gebouw aan te brengen tot in de derde zandlaag of dat de meting niet goed is uitgevoerd waardoor de bovenstaande verschillen tussen meting en berekening zijn ontstaan.

### 3.0.2 Uitkomsten berekeningen met D-settle

Nadat in Excel de parametersets zijn bepaald welke het dichtst in de buurt komen van de gemeten zettingen, kunnen de zettingen doorgerekend worden in D-settle van Deltaris. Dit is een professioneel 2D programma waarmee zettingen kunnen worden doorberekend. Net als in Excel moeten alle noodzakelijke gegevens ingevoerd worden alvorens de berekeningen te kunnen uitvoeren. Volledigheidshalve zijn alle uitkomsten van de metingen als van de berekeningen weergegeven.

Figuur 3.4: Tabel met de verschillen tussen de gemeten zettingen en de berekende zettingen in Excel en D-settle.

| Gebouw            | Gemeten zettingen | Waardes parameters | Berekende zettingen in Excel | Berekende zettingen in D-settle |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Wolkenkrabber     | 65mm              | $Z_{n,v}$ gem      | 65mm                         | 76mm                            |
| Sky Dome          | 21mm              | $Z_{n,v}$ hoog     | 246mm                        | 446mm                           |
| Staalmeesterslaan | 38mm              | $Z_{n,v}$ hoog     | 83mm                         | 90mm                            |

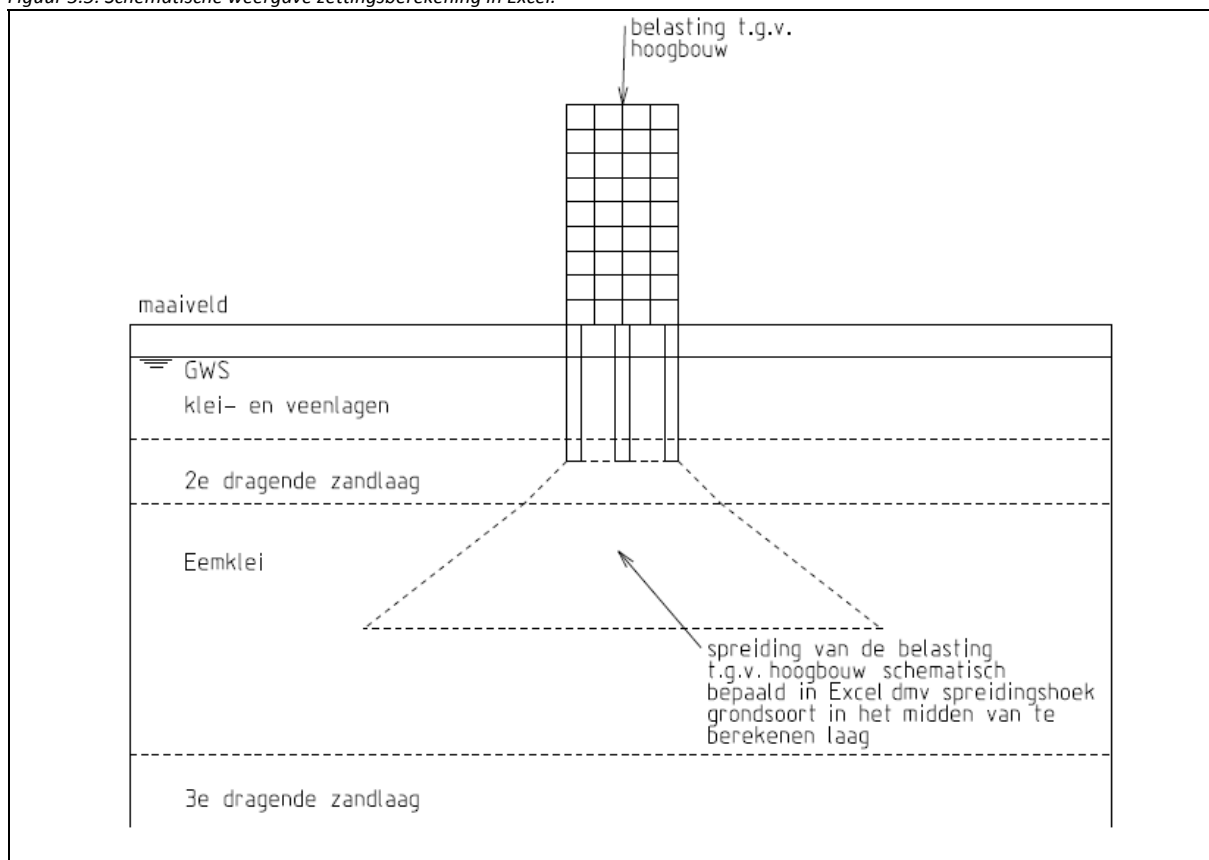
De hier gebruikte parametersets zijn nog niet aangepast om de uitkomsten meting en de berekening gelijk te stellen. Wat wederom opvalt is het grote verschil tussen de berekende zettingen in Excel en D-settle, terwijl de gemeten zetting slecht 21 mm bedraagt. Omdat dit niet te verklaren is wordt Sky Dome verder buiten beschouwing gelaten.

### 3.0.3 verschillen tussen Excel en D-settle

Het verschil in uitkomsten tussen D-settle en Excel is makkelijk te verklaren met behulp van een tweetal tekeningen. In beide gevallen is de paalfundering als een plaat beschouwd waarbij de belasting afgegeven wordt op de ondergrond aan de onderkant van de paalfundering. Voor het opstellen van de zettingsberekening in Excel is uitgegaan van een belastingspreiding die gelijk is aan de effectieve wrijvingshoek van Eemklei zoals deze bepaald is door het Projectbureau Noord-Zuidlijn in Amsterdam. Voor de berekening is uitgegaan van een spreidingshoek van 35°. Voor het bepalen van de spreiding van de belasting in het midden van een laag is de halve laagdikte vermenigvuldigd met twee en de tangens van de spreidingshoek. Vervolgens is het gebouwgewicht gedeeld over de oppervlakte van het nieuwe belastingsvlak en zodoende is de spanningsverhoging in het midden van de zettingsgevoeligelaag als gevolg van de gebouwbelasting bepaald. Op deze manier wordt de belasting gelijkmatig over het berekende oppervlakte verdeeld, iets wat in de praktijk anders werkt maar een redelijke benadering is van de werkelijkheid. Het voordeel van het berekenen met behulp

van een Excel-som is dat de uitkomsten zeer gemakkelijk en zeer snel aangepast kunnen worden, het resultaat van een wijziging aanbrengen is meteen zichtbaar.

Figuur 3.5: Schematische weergave zettingsberekening in Excel.



Voor de berekeningen in D-settle is het programma ingesteld om te rekenen met de belastingspreiding volgens Boussinesq. De standaard formule van Boussinesq om de belastingspreiding te bepalen gaat uit van een puntlast en luidt als volgt:

$$\sigma_{zz} = (3P z^3) / (2\pi R^5)$$

Waarbij:

$\sigma_{zz}$  = Zetting als gevolg van de belasting,

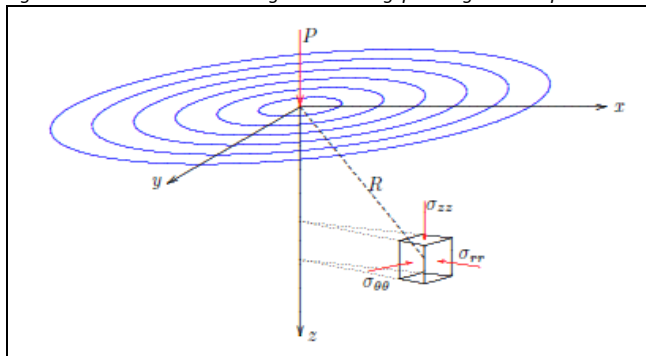
P = Groote van de puntlast,

z = Verticale diepte onder de puntlast,

R = Straal, de schuine afstand tussen de puntlast en een willekeurig punt onder het maaiveld.

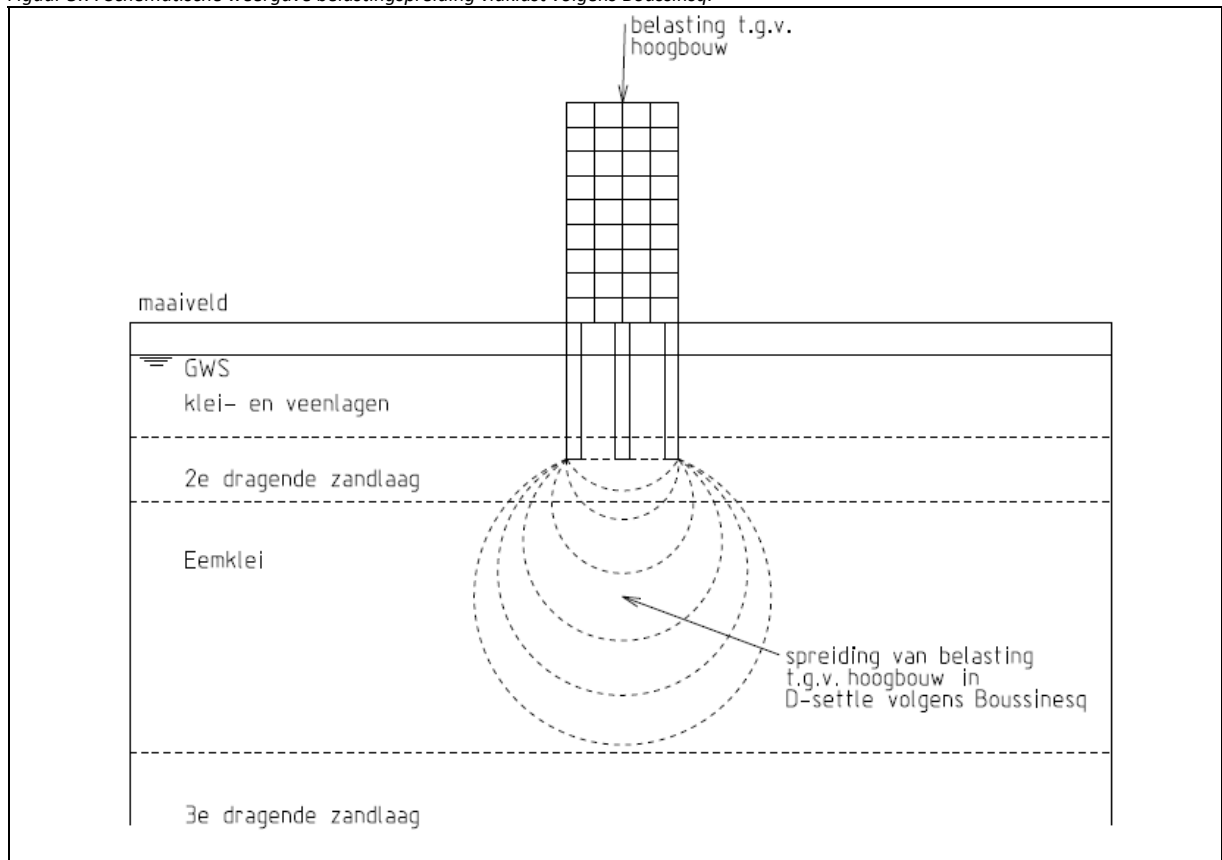
Schematisch ziet de formule van Boussinesq er uit als in onderstaande figuur.

Figuur 3.6: Schematische weergave belastingspreiding van een puntlast volgens Boussinesq (Grondmechanica, A. Veruijt TU Delft)



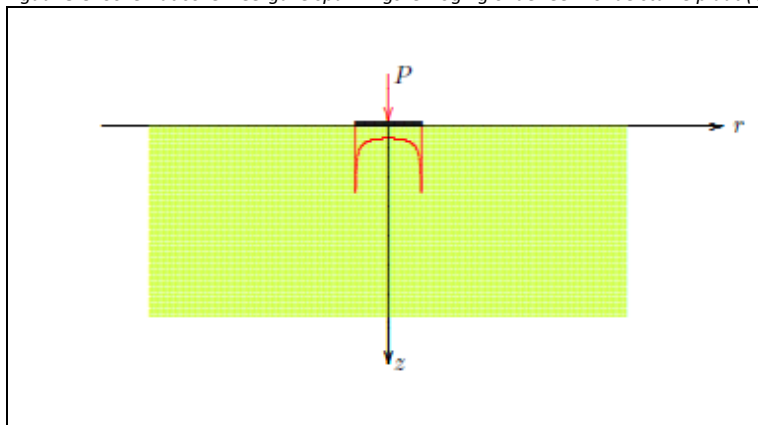
De belasting als gevolg van het gebouw bestaat echter niet uit een puntlast maar uit een vlaklast. De formule hiervoor is wat lastiger om in Excel in te voeren en is daarom achterwege gelaten, de uitkomsten van de Excel-bladen zijn dan ook benaderingen van de te verwachten zettingen. In de praktijk zal de belastingspreiding onder een vlaklast er uitzien als in figuur 3.7.

Figuur 3.7: Schematische weergave belastingspreiding vlaklast volgens Boussinesq.



Volgens deze benadering zal het midden van het gebouw meer zetting vertonen dan de randen van het gebouw. Aangezien er in de uitkomsten van de berekeningen in D-settle grote verschillen kunnen zijn tussen de zetting in het midden van het gebouw en de zetting aan de rand van het gebouw is besloten om van de twee uitkomsten het gemiddelde te nemen. Bij de uitkomsten van de D-settle som van Sky Dome is het verschil tussen het midden en de randen maar liefst 335 mm. Bovendien blijkt in de praktijk dat bij een stijve plaat de meeste spanningsverhogingen zich voordoen aan de rand van de plaat.

Figuur 3.8: Schematische weergave spanningsverhoging onder een ronde starre plaat (Grondmechanica, A. Veruijt TU Delft)



### 3.1 Aanpassen parameters in D-settle

Om de definitieve grondparameters vast te stellen moeten deze zodanig aangepast worden dat de gemeten en de berekende zettingen gelijke uitkomsten geven. De uitkomsten van de metingen staan vast en deze worden als maatstaf gezien van de werkelijke zettingen zoals die zich hebben voorgedaan vanaf de aanleg van de gebouwen. Bovendien moet rekening gehouden worden met het feit dat een gebouw altijd gaat zetten nadat het is aangebracht op de fundering. Ook deze zetting is meegenomen met het vaststellen van de uiteindelijke parameters van de Eemklei onder de geselecteerde gebouwen.

Figuur 3.9: Aangepaste parameterset Wolkenkrabber

| Parameters<br>Wolkenkrabber | Cp               | Cs     | C'p   | C's    | Pg  | $\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------------|------------------|--------|-------|--------|-----|--------------------------------------------|
|                             | <b>Zone I:</b>   |        |       |        |     |                                            |
| $Z_{n,v \text{ gem}}$       | 80,00            | 557,15 | 20,21 | 102,24 | 265 | 17,1                                       |
|                             | <b>Zone II:</b>  |        |       |        |     |                                            |
| $Z_{n,v \text{ gem}}$       | 85,00            | 687,23 | 26,07 | 183,86 | 300 | 17,7                                       |
|                             | <b>Zone III:</b> |        |       |        |     |                                            |
| $Z_{n,v \text{ gem}}$       | 90,00            | 807,34 | 17,56 | 71,99  | 318 | 17,6                                       |

Figuur 3.10: Aangepaste parameterset Staalmeesterslaan

| Parameters<br>Staalmeesterslaan | Cp              | Cs     | C'p   | C's    | Pg  | $\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|---------------------------------|-----------------|--------|-------|--------|-----|--------------------------------------------|
|                                 | <b>Zone I:</b>  |        |       |        |     |                                            |
| $Z_{n,v \text{ hoog}}$          | 80,00           | 841,41 | 24,88 | 170,71 | 265 | 17,1                                       |
|                                 | <b>Zone II:</b> |        |       |        |     |                                            |
| $Z_{n,v \text{ hoog}}$          | 90,00           | 992,17 | 32,26 | 355,97 | 300 | 17,7                                       |

Zowel in het geval van de Wolkenkrabber als de Staalmeesterslaan zijn de parameters van de primaire samedrukkingsconstante vóór de grensspanning aangepast. Deze parameter beschrijft de primaire zetting voor de grensspanning. De primaire zetting betekent de verticale zetting van grond als gevolg van belasting, bij het aanpassen van de parameters bleek dat deze parameter de grootste invloed heeft op de uitkomsten van de zettingsberekeningen. De secundaire samedrukkingsconstante vóór de grensspanning zegt iets over de horizontale zetting van de grond als gevolg van belasting. Deze zetting bestaat uit kruip van de grond en is van aanzienlijk mindere invloed in de zettingsberekeningen. Omdat de grensspanning niet bereikt is heeft het geen zin om de parameters na de grensspanning aan te passen. Indien de grensspanning niet bereikt wordt tellen deze parameters niet meegerekend en derhalve op nul gesteld.

### 4.0 Voorkomen van schade

Om schade te voorkomen aan omliggende bebouwing als gevolg van de realisatie van hoogbouw zijn een aantal opties mogelijk. Het is altijd noodzakelijk om vooraf een gedegen geotechnisch bodemonderzoek uit te voeren waarvan de Eemklei een onderdeel uitmaakt. Op basis hiervan kunnen de juiste voorzorgsmaatregelen genomen worden. Veelal zal blijken dat een diepfundering de enige manier is om schade te voorkomen. Dit is wel een dure oplossing. Er is echter een mogelijkheid om dit niet te hoeven doen. Dan moet echter wel aan een aantal criteria worden voldaan:

- Een geïsoleerde ligging van hoogbouw: De te realiseren hoogbouw bevindt zich op voldoende afstand van bestaande bebouwing zodat deze niet binnen de invloedssfeer van het zettingsproces van de nieuwe hoogbouw valt,
- De relatie tussen de hoogte en de oppervlakte van het gebouw en de dikte van de Eemkleilaag moet goed getoetst zijn: Een gebouw met een klein oppervlak en een grote hoogte genereert (veel) meer belasting per vierkante meter dan een lager gebouw met een groot oppervlak. In een dikke Eemkleilaag zullen waarschijnlijk meer zettingen optreden dan in een dunne,
- De te verwachten zettingen van de Eemkleilaag zijn gering, men kan de hoogbouw met overhoogte realiseren zodat deze door het zettingsproces na een aantal decennia op de beoogde aanleghoogte uitkomt.

In de praktijk zal het moeilijk blijken om aan deze criteria te voldoen in verband met de schaarse ruimte die voorhanden is. Daarom is het aanbrengen van een diepfundering onder hoogbouw vaak de enige optie voor het voorkomen van schade aan omliggende bebouwing.

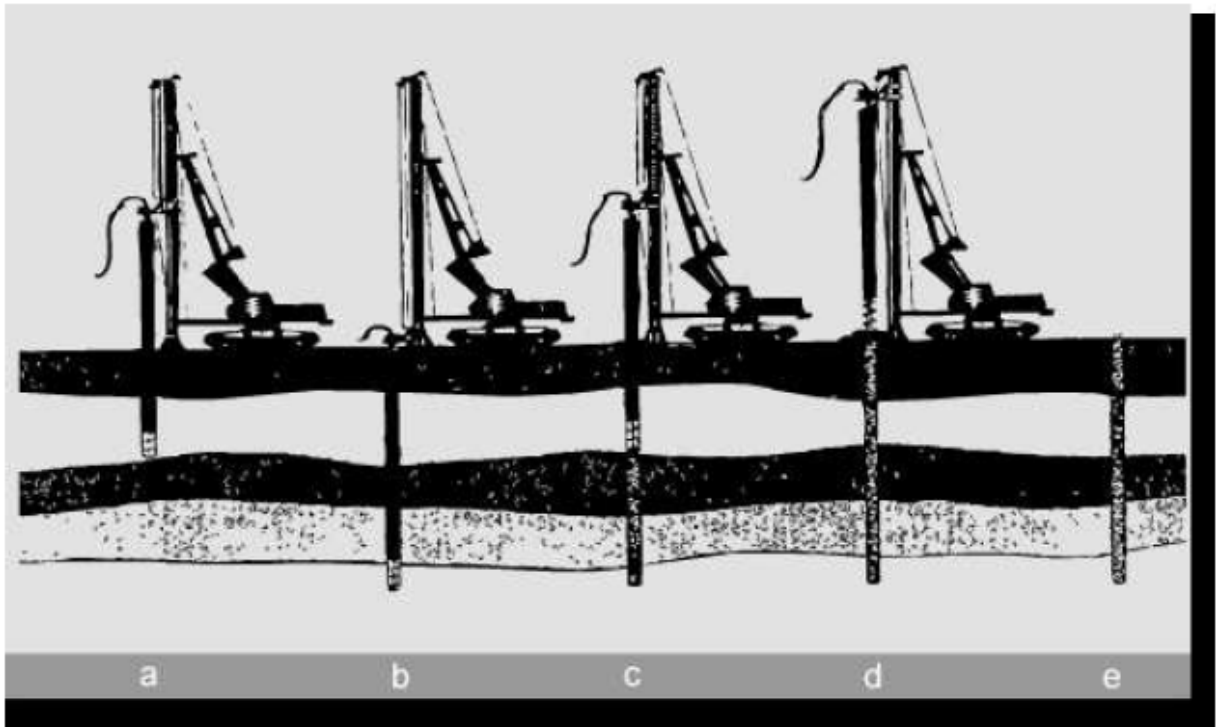
## 4.1 Een aantal opties voor diepfunderen

Voor het aanbrengen van funderingspalen op grote diepte zijn een aantal opties mogelijk. Deze zijn in het verleden toegepast onder diverse hoge gebouwen in Amsterdam. De meest methodes zijn grondverwijderend een enkele grondverdringend. De volgende methoden zijn nader beschreven:

- Gekoppelde prefab betonpaal: Recent zijn een aantal proefpalen geslagen aan de noordoever van het IJ door Van t'Hek uit Zuidoostbeemster. De palen bestaan uit twee delen van elk 30 meter. De werkwijze is simpel: Eerst wordt het eerste deel ingeheid, dan wordt het tweede deel aan het eerste deel gekoppeld en vervolgens ook ingeheid. Op deze manier is een funderingspaal van 60 meter aangebracht, in de meeste gevallen voldoende om door de Eemklei heen te funderen. Voor het aanbrengen van een standaardfundering is de prefab betonpaal (vaak) de goedkoopste oplossing, naar verwachting zal dat voor een diepfundering ook gelden. Het nadeel van deze oplossing is het geluidsniveau en de trillingen die het veroorzaakt, met name de trillingen kunnen schade veroorzaken aan de omliggende bebouwing terwijl het doel van een diepfundering juist het voorkomen daarvan is,
- Vibropaal: Het aanbrengen van een Vibropaal gaat in een aantal stappen. Als eerste wordt een stalen buis de grond ingeheid met een hydraulisch heiblok of trilblok. De buis is aan de onderzijde afgedicht door een schoen met een rubberen afdichtring zodat geen grond en/of water in de stalen buis kan dringen. Zodra de buis de gewenste inheidiepte heeft bereikt wordt als eerste een wapening aangebracht om vervolgens de buis te vullen met beton. Als de buis is gevuld is met beton wordt deze uit de grond getrild door een mantelvibrator op de paalkop te plaatsen waarbij de schoen achterblijft aan de onderzijde van de juist gevormde paal. Op deze manier kunnen funderingspalen tot een diepte van ca. 40 meter beneden maaiveld aangebracht worden. Bij grotere dieptes gaat men eerst tot ca. 40 meter beneden maaiveld om vervolgens een buis van de resterende lengte op de reeds aangebrachte buis te lassen en deze vervolgens op de gewenste diepte te heien. Net als de gekoppelde prefab betonpaal heeft deze methode als nadeel het geluidsniveau en trillingen.
- Schroefboorpaal/Avegaarpaal: Het aanbrengen van een Schroefboorpaal bestaat uit het inboren van een grondboor met een holle kern. Zodra de boor de gewenste diepte heeft bereikt wordt de boor terug getrokken en via de holle kern van de boor wordt de ontstaande ruimte gelijktijdig opgevuld met beton. Nadat de boor volledig is teruggetrokken uit de grond wordt een betonwapening in het met beton gevulde boorgat aangebracht. Deze methode is

trillingvrij uit te voeren en daarom geschikt in oude binnenstedelijke gebieden. De maximale diepte is echter beperkt tot ca. 32m onder maaiveld

Figuur 4.1: Zijaanzicht aanbrengen boorpalen (Bron: De Groot Funderingstechnieken).



- **Tubexpaal:** Een Tubexpaal is een stalen buispaal die als een schroef de grond indraait wordt. De paal bestaat uit een stalen buis met een boorkop aan de onderzijde met een diameter die groter is dan de diameter van de buispaal. Door middel van rotatie van de buis en druk op de buis wordt de paal de grond ingeboord met behulp van een boortafel. Tijdens het aanbrengen van de paal kan via de boorkop onder druk een groutmengsel geïnjecteerd worden tussen de ruimte die ontstaan is tussen het verschil in diameter tussen de boorkop en de buispaal. Door een groutinjectie mee aan te brengen tijdens het boorproces wordt de stijfheid van de paal vergroot. In principe is het dieptebereik van dit paaltipe oneindig en is een minimale werkhoogte van ca. 3,50 meter vereist, na het inbrengen van 3,50 meter wordt een nieuw buissegment van 3,50 meter op het reeds aangebrachte segment gelast en na herhaling van deze handeling wordt de paal uiteindelijk op de vereiste diepte aangebracht. Nadat de vereiste diepte is bereikt wordt de buis op gewenste hoogte afgebrand en voorzien van wapening en beton. Deze methode heeft als voordeel dat het trillingsvrij en geluidsarm wordt aangebracht, een groot voordeel bij belendende (trillingsgevoelige) bebouwing. Een nadeel is dat de stalen buis in de grond achterblijft, aangezien staal een hoge kostprijs heeft is dit een kostbare methode, zeker in combinatie met groutinjectie.
- **MT palen:** MT staat voor Micro Tunneling, een zeer specialistische manier om een fundering op dieper gelegen draagkrachtige grondlagen aan te brengen. Deze methode maakt gebruik van stalen buispalen die met behulp van een kleine tunnelboormachine op diepte gebracht worden. Deze techniek is relatief nieuw en is succesvol toegepast bij het aanbrengen van funderingspalen onder de tunnelbuis van de Noord/Zuidlijn onder het Centraal Station van Amsterdam. Vanwege de diameter van de boormachine is de minimale paaldiameter 600mm. Het voordeel van deze methode is dat het trillingsvrij en geluidsarm is. Tevens kan gewerkt worden bij een werkhoogte van 1,80 meter zoals heeft plaats gevonden onder het Centraal Station. In principe is het dieptebereik van dit paaltipe oneindig en na het inbrengen van 1,80 meter wordt een nieuw buissegment van 1,80 meter op het reeds aangebrachte segment gekoppeld door middel van een boutverbinding en na herhaling van

deze handeling wordt de paal uiteindelijk op de vereiste diepte aangebracht. Een nadeel van deze methode is dat de stalen buis in de ondergrond achterblijft en daardoor duur is, dit wordt versterkt door de hoge operationele kosten van de boormachines.

- **Diepwanden:** Diepwanden kunnen een optie zijn voor het aanbrengen van een fundering in dieper gelegen dragende lagen om hoogbouw te kunnen funderen. Bij deze methode wordt met een speciale knijper een sleuf gegraven tot op gewenste diepte. Om inkalving van de sleuf te voorkomen wordt de sleuf tijdens het ontgraven opgevuld met bentonietklei. Vervolgens wordt wapening aangebracht in de sleuf en wordt de sleuf van onder af aangevuld met beton. Het beton is zwaarder dan de bentonietklei waardoor deze uit de sleuf gedreven wordt en opgevangen wordt om na reiniging weer hergebruikt te kunnen worden. Een voordeel van deze methode is dat het aanbrengen trillingsarm plaatsvindt. Een nadeel is het ruimtebeslag, het aanbrengen van diepwanden gebeurt met een grote draadkraan en cementmixers moeten bij de sleuf kunnen komen om deze op te vullen met beton. Ook zullen voorzieningen aanwezig moeten zijn voor het aanbrengen en opvangen van de bentonietklei en voldoende ruimte om de aan te brengen wapening op te slaan.

In onderstaande tabel staan de beschreven funderingsmethoden op een rijtje en staat de richtprijs per strekkende meter vermeld, deze prijzen zijn verstrekt door diverse aannemersbedrijven na telefonisch contact met de calculatoren.

*Figuur 4.2: Tabel met verschillende funderingsmethodes met richtprijzen per strekkende meter.*

| Type funderingspaal         | Aanbrengmethode   | Richtprijs per m <sup>1</sup> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Gekoppelde prefab betonpaal | Grondverdringend  | € 80,-                        |
| Vibropaal                   | Grondverdringend  | € 70,-                        |
| Schroefboor/Avegaarpaal     | Grondverwijderend | € 26,-                        |
| Tubex paal                  | Grondverdringend  | € 350,-                       |
| MT paal                     | Grondverwijderend | Niet bekend                   |
| Diepwanden                  | Grondverwijderend | € 300/360 per m <sup>2</sup>  |

## 4.2 Conclusies en aanbevelingen

Na het afronden van de eindrapportage kunnen een aantal conclusies getrokken worden die het over de uitkomsten van de metingen en berekeningen. Als eerste kan worden opgemerkt dat over de uitkomsten van de metingen in sommige gevallen enige twijfel is ontstaan. Met name de uitkomsten van de metingen aan woontoren Sky Dome zijn zeer onbevredigend. Zo onbevredigend dat van deze gegevens geen gebruik is gemaakt bij dit onderzoek. Het zou kunnen zijn dat de meting verkeerd is uitgevoerd maar het zou ook kunnen zijn dat tijdens de uitvoering alsnog is besloten om een fundering aan te brengen op een dieper gelegen zandlaag en het gebouw ca. 10 cm hoger aan te brengen dan wat in archiefstukken te vinden is. De oorzaak van deze verschillen valt niet meer te achterhalen omdat de tekeningen die zich in het archief bevinden zijn afgegeven bij de aanvraag van de bouwvergunning en dat in de praktijk geen “as-build” tekeningen worden vervaardigd van het uiteindelijke opgeleverde gebouw met hoogtematen in NAP.

Het zelfde kan gezegd worden over de woontoren aan de Staalmeesterslaan, via Dinoloket zijn sonderingen beschikbaar maar deze zijn tot onvoldoende diepte uitgevoerd terwijl volgens de modelviewer van dat zelfde Dinoloket wel degelijk Eemklei aanwezig is onder de woontorens maar dieper dan de sonderingen reiken. De opgegeven laagdiktes van de Eemklei in Dinoloket zijn niet vastgesteld door middel van boringen en/of sonderingen en daardoor minder betrouwbaar. Dit kan de uitkomsten van de berekeningen beïnvloeden alhoewel dat in dit geval wel mee lijkt te vallen.

Wil men toekomstig onderzoek naar Eemklei makkelijker maken dan is het een aanbeveling om tijdens de bouw van een hoog gebouw al te beginnen met monitoren door meetbouten aan te brengen in de fundering. Dit kan een schat aan informatie opleveren aan zettingsgedrag van hoogbouw. Dit geldt zowel voor hoogbouw die in de tweede dragende zandlaag is gefundeerd als voor hoogbouw die in de derde dragende zandlaag is gefundeerd.

Wat betreft de uitkomsten qua zettingen kan geconcludeerd worden dat de zettingen van zowel de Wolkenkrabber als de Staalmeesterslaan na correcties van NAP bouten en de aftrek van standaardzettingen als gevolg van gebouwbelasting op een fundering redelijk laag uit vallen. De voornaamste oorzaak lijkt te komen uit een geringer gebouwgewicht en een dunner pakket Eemklei dan bij de woontoren Sky Dome. Dat de berekende zettingen voor Sky Dome zo hoog uitvallen is een combinatie van het gebouwgewicht en de laagdikte van de Eemklei. Door de gebouwbelasting in Excel te halveren zal de berekende zetting ook halveren. Door de belasting per vierkante meter van Sky Dome ( $354,75 \text{ kN/m}^2$ ) gelijk te stellen aan die van Staalmeesterslaan ( $154 \text{ kN/m}^2$ ) dan blijkt dat als gevolg van het dikkere pakket Eemklei de berekende zetting 296 mm groter uitvalt bij Sky Dome bij het gebruik van dezelfde parameterset.

Het is daarom aan te bevelen om in alle gebieden die volgens de toekomstvisie van de gemeente Amsterdam zijn aangewezen om hoogbouw toe te passen, zorgvuldig bodemonderzoek uit te voeren waarbij diepsonderen een vast onderdeel van uit dient te maken. Met name langs de noordelijke- en zuidelijke IJ-oeveren komen zeer dikke pakketten Eemklei voor die zorgvuldig getoetst moeten worden op zettingsgevoeligheid. Wat betreft de hoogbouwzone langs de Ringweg A10 zuid kan gezegd worden dat de Eemkleilaag hier het dunst is van alle hoogbouwzones. Van de hoogbouwzone Ringweg A10 oost kan gezegd worden dat de dikte van de Eemkleilaag in noordelijke richting naar het IJ toeneemt. Van de hoogbouwzone langs de Ringweg A10 west kan gezegd worden dat de Eemklei zich (voornamelijk) bevindt tussen de Haarlemmerweg en de Lelylaan en sterk in dikte varieert. Onderstaande tabel geeft het globale voorkomen van Eemklei weer onder de hoogbouwzones in Amsterdam.

*Figuur 4.2: Tabel met globale diktes en dieptes Eemklei onder de hoogbouwzones in Amsterdam.*

| Locatie hoogbouwzone       | Eemklei in ondergrond | Bovenzijde Eemklei | Laagdikte Eemklei |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Langs de IJ-oeveren</b> | ja                    | Ca. 30m -NAP       | 20 tot 30m        |
| <b>Ringweg A10 west</b>    | Lokaal aanwezig       | Variabel           | Variabel          |
| <b>Ringweg A10 zuid</b>    | ja                    | 15 à 20m -NAP      | 5 tot 8m          |
| <b>Ringweg A10 oost</b>    | ja                    | 15 à 20m -NAP      | 8 tot 15m         |

Op basis van het grondonderzoek en de belastingen als gevolg van de aan te brengen bebouwing kunnen de te verwachten zettingen vooraf bepaald worden. Op basis van de uitkomsten kan dan bepaald worden of het noodzakelijk, zinvol of niet nodig blijkt om een fundering aan te brengen in de derde dragende zandlaag. Indien de te verwachten zettingen gering blijken te zijn en er is geen belendende bebouwing aanwezig, kan overwogen worden om het gebouw met overhoogte aan te leggen waarna het door zetting in de tijd naar de beoogde hoogte zakt. Een overweging kan ook zijn om in twijfelgevallen het gebouw uit te voeren met een geringer aantal bouwlagen waardoor het gewicht per vierkante meter afneemt waardoor een (kostbare) fundering in de derde dragende zandlaag niet nodig blijkt. Dit laatste is iets wat in de praktijk al gebeurt.

## Samenvatting

Deze rapportage is het afstudeerverslag van Casper Frank, studentnummer 0828366, en maakt deel uit van de afstudeeropdracht van de Hogeschool Rotterdam. De onderzoeksvraag die beantwoord moest worden is afkomstig van de heer IR. M.J. Profittlich, afdelingshoofd geo-advies bij Fugro GeoServices te Amsterdam, en luidt als volgt:

*“Beschrijf de zettingsgedrag van de Eemkleilaag in Amsterdam onder belasting van hoogbouw en geef een aantal opties voor het funderen op de derde zandlaag.”*

Om deze vraag te beantwoorden is eerst navraag bij collegae gedaan of zij bekend zijn met Eemklei en of hen gevallen bekend zijn waarbij Eemklei een rol speelde bij het uitbrengen van een funderingsadvies. Na deze vragenronde werd duidelijk hoe het vraagstuk aangepakt moet worden. Tevens werd gewezen op de dataviewer van Dinoloket (<https://www.dinoloket.nl/modelviewer-web/>), een handig hulpmiddel bij het zoeken naar data over de ondergrond op elke willekeurige plek in Nederland. Tevens is door de heer Profittlich het rapport “Hoogbouw in Amsterdam” overhandigd ([https://www.google.nl/webhp?sourceid=chrome-instant&rlz=1C1OPRB\\_nNL535NL586&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=hoogbouw%20in%20amsterdam](https://www.google.nl/webhp?sourceid=chrome-instant&rlz=1C1OPRB_nNL535NL586&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=hoogbouw%20in%20amsterdam)), een document waarin de toekomstvisie van de gemeente Amsterdam te vinden is ten aanzien van hoogbouw in Amsterdam, en een verwijzing naar een pagina waar de hoge gebouwen van Amsterdam te vinden zijn (<http://skyscraperpage.com/diagrams/?cityID=572>). Op basis van deze gegevens is de bestaande hoogbouw geïnventariseerd en is geconcludeerd dat hoogbouw in Amsterdam vanaf eind jaren 90 een vlucht heeft genomen en dat de techniek voor het funderen op grotere dieptes daarbij werd toegepast. Het is dus aannemelijk dat hoge gebouwen vanaf eind jaren 90 op een dussdanige manier zijn gefundeerd dat zettingen veroorzaakt door Eemklei geen rol meer spelen. Om iets te kunnen zeggen over zettingen in Eemklei is daarom specifiek gezocht naar gebouwen van voor eind jaren 90. Een voorwaarde daarbij is dat de gebouwen divers in hoogte zijn en dat de laagdikte van de Eemklei onder de gebouwen ook divers moet zijn. Uiteindelijk zijn drie gebouwen geselecteerd om nader te onderzoeken, te weten de Wolkenkrabber, woontoren aan de Staalmeesterslaan en de woontoren Sky Dome.

Van de drie gebouwen moesten nu een aantal zaken inzichtelijk worden gemaakt die noodzakelijk zijn om iets te kunnen zeggen over zettingen als gevolg van Eemklei:

- Gebouwgewicht en afmetingen, op te vragen bij het Amsterdamse bouwarchief,
- Inheidiepte in de tweede dragende zandlaag, op te vragen bij het Amsterdamse bouwarchief,
- Aanleghoogte gebouw ten opzichte van NAP, op te vragen bij het Amsterdamse bouwarchief,
- Het bepalen van de huidige hoogte van het gebouw ten opzichte van NAP door het uitvoeren van een doorgaande waterpassing,
- De dikte en hoogteligging van de Eemklei onder de geselecteerde gebouwen.

Het Amsterdamse bouwarchief is volgens afspraak te bezoeken en tegen betaling kunnen kopieën van archiefstukken verkregen worden. Van de geselecteerde gebouwen waren de benodigde gegevens voorhanden behalve een diepsondering van de woontoren aan de Staalmeesterslaan. De gegevens over de Eemkleilaag onder dit hoge gebouw zijn uiteindelijk gegenereerd met behulp van de dataviewer van Dinoloket.

Vervolgens zijn de uitkomsten van de doorgaande waterpassingen vergeleken met de aanleghoogtes van de gebouwen. Tijdens dit vergelijk is nauwkeurig gekeken of het referentievlak van waaruit gemeten wordt, het NAP, in de tijd mogelijk een correctie heeft ondergaan. Nadat bleek dat dit het

geval was is deze correctie meegenomen in de uitkomsten van de metingen om zodoende tot een nauwkeuriger meetresultaat te komen. Tevens is rekening gehouden het feit dat een fundering, nadat de belasting is aangebracht, ook gaat zetten. Hiervoor is voor elk gebouw 15mm aangehouden.

Vervolgens is gekeken naar parameters van Eemklei om zodoende iets te kunnen zeggen over de zettingsgevoeligheid. Deze moeten komen uit laboratoriumproeven op Eemklei uit het verleden op andere locaties. Dit blijkt lastig te zijn omdat grondmonsters van Eemklei afkomstig zijn van diepe boringen. Aangezien het uitvoeren van diepe boringen een dure aangelegenheid is, waren slechts parameters voorhanden van twee boringen met laboratoriumproeven. Van deze parameters is vervolgens het gemiddelde bepaald en statistisch de boven en ondergrens bepaald. Tevens is besloten om Eemklei niet als een homogene laag te beschouwen. De aanleiding hiervoor is dat er nogal wat verschillen in de parameters zitten in relatie tot de diepte. Als gevolg hiervan heeft tevens een studie plaatsgevonden naar de ontstaansgeschiedenis van Eemklei in relatie tot de ontstaansgeschiedenis van de ondergrond van Nederland en Amsterdam in het bijzonder.

Zodra alle parameters vastgesteld zijn kan worden begonnen met het opstellen van rekenmodellen in Excel om de theoretische zetting in de tijd van de geselecteerde gebouwen te bepalen en deze te vergelijken met de meetresultaten. De formule die gebruikt is om de theoretische zettingen te bepalen is de formule van Koppejan:

$$\frac{\Delta h}{h_0} = \left[ \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log(t) \right] * \ln \left( \frac{Pg}{\phi'0} \right) + \left[ \frac{1}{C'_p} + \frac{1}{C'_s} * \log(t) \right] * \ln \left( \frac{\phi'_l}{Pg} \right)$$

Hierbij is er vanuit gegaan dat de onderzijde van een paalfundering zich gedraagt als een vlaklast en vandaaruit de belasting afgeeft op de ondergrond. De reden om de zettingen eerst in Excel door te rekenen is dat deze berekeningen thuis uitgevoerd kunnen worden en dat bij wijziging van parameters de verschillen in de resultaten van de zettingsberekening direct zichtbaar zijn. Op deze manier kunnen de parameters dusdanig worden aangepast om de resultaten van de berekening op gelijke hoogte te brengen met de uitkomsten van de doorgaande waterpassing. Door de parameters die gevonden zijn in Excel in te voeren in D-settle zit de uitkomst van de D-settle berekening al redelijk dichtbij de uitkomst van de doorgaande waterpassing. Door de parameters verder te “fitten” kunnen de uitkomsten van de D-settle berekening gelijk gesteld worden aan de uitkomsten van de doorgaande waterpassing.

Tevens is een inventarisatie gemaakt van funderingsmethoden die geschikt zijn voor het aanbrengen van funderingen op grotere dieptes. Hierbij is gekeken naar de methode van aanbrengen, voor- en nadelen onder bepaalde omstandigheden en de kosten. Deze gegevens zijn verzameld via internet en het telefonisch benaderen van aannemersbedrijven die dergelijke funderingen aanbrengen

Als alle gegevens bekend zijn kan er gekeken worden naar de resultaten van het onderzoek en kunnen conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden gedaan. De belangrijkste conclusies zijn:

- Er kunnen wijzigingen aangebracht zijn aan de hoogtematen tijdens de uitvoering. Dit is niet terug te vinden omdat de tekeningen die in het bouwarchief te vinden zijn deel uitmaakten van de aanvraag van een bouwvergunning die voor de start van de uitvoering is ingediend,
- De grootte van de zettingen is afhankelijk van het bouwgewicht en de dikte van de Eemkleilaag, het is daarom niet altijd noodzakelijk om een fundering aan te leggen die door de Eemklei heen gaat.

De belangrijkste aanbevelingen zijn:

- Breng een meetbout aan in de fundering van een hoog gebouw in aanbouw en meet deze volgens een meetschema in: Tijdens de bouw en na de oplevering frequent en daarna minder frequent. De meeste zettingen zullen voordoen tijdens en vijf jaar na de bouw, dit kan een schat aan informatie opleveren,
- Onder vrijwel alle hoogbouwzones in Amsterdam bevindt zich Eemklei, het is daarom noodzakelijk om altijd onderzoek te doen naar Eemklei. Op basis van dit onderzoek kan gekeken worden of het noodzakelijk is om een diepfundering aan te brengen of dat het ontwerp aangepast kan worden zodat een kostbare diepfundering niet nodig is, een kosten baten analyse.

## **Bijlage 1: Een beknopte geschiedenis van het ontstaan van de Nederlandse ondergrond en de bodemopbouw onder Amsterdam**

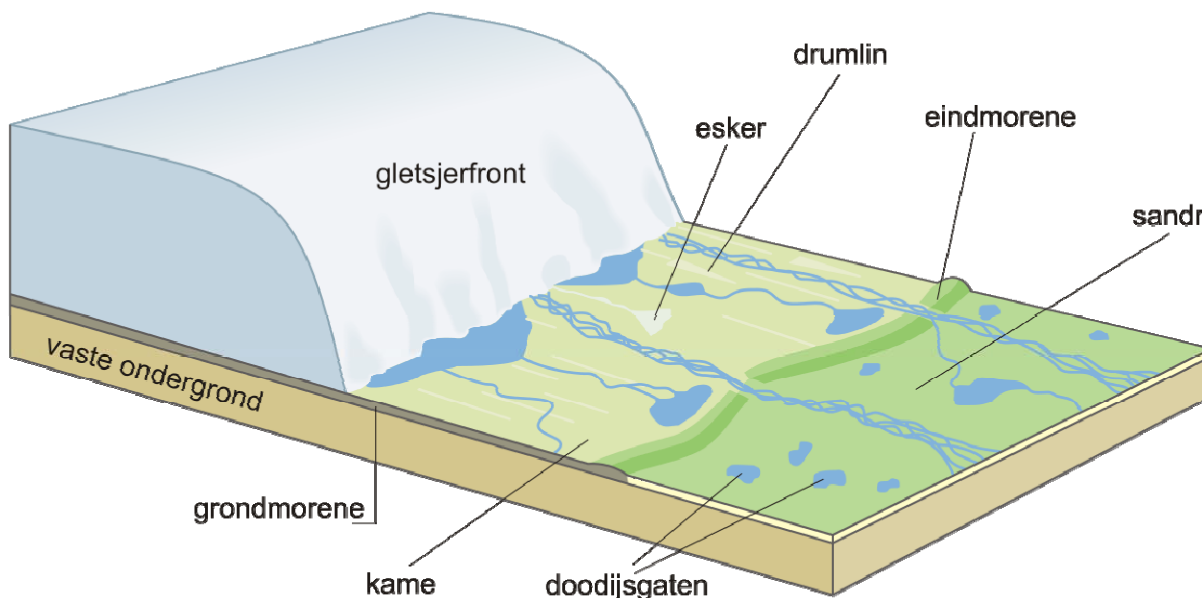
## Een beknopte geschiedenis van het ontstaan van de Nederlandse ondergrond (bron: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Ontstaan\\_van\\_de\\_Nederlandse\\_ondergrond](http://nl.wikipedia.org/wiki/Ontstaan_van_de_Nederlandse_ondergrond))

Het ontstaan van de Nederlandse ondergrond maakt deel uit van het ontstaan van de Aarde. Het is complexe opeenvolging van tijden van gebergte- en bekkenvorming, van erosie en sedimentatie in en rondom Nederland, evoluerend onder invloed van tektoniek en wisselingen in klimaat en zeespiegelstand. Het Nederlandse landschap zoals we dat nu kennen is grotendeels gevormd in de laatste 150.000 jaar, door de twee laatste glaciale uit het Pleistoceen en het Holoceen, het huidige geologische tijdvak wat 11700 jaar geleden is ingegaan. Deze twee geologische tijdvakken worden nader beschreven omdat in deze twee periodes de ondergrond van Nederland gevormd hebben.

### *Het Pleistoceen: De voorlaatste glaciaal*

Tijdens het Pleistoceen hebben er in totaal vier ijstijden, of beter gezegd glaciale, in Nederland plaatsgevonden. Van de eerste twee glaciale zijn weinig sporen en invloeden terug te vinden en worden daarom buitenbeschouwing gelaten. Tijdens de voorlaatste glaciaal (Saale- of Riss-glaciaal) bereikte het landijs uit Scandinavië Nederland. Dit gebeurde aan het eind van dit tijdvak (het Saalien), ruwweg tussen 150.000 en 126.000 jaar geleden. De landijsbedekking heeft vele sporen achtergelaten. Bij landijs vinden we vooral morenes (met zwerfstenen), stuwwallen, puinzandwaaiers en glaciaal bekkens. Deze structuren komen in noordelijk en midden Nederland veel voor, onder andere de Hondsrug, en de heuvels Lemelerberg, Sallandse Heuvelrug, Friezenberg, Markelose Berg, Lochemerberg, Hettenheuvel, en de heuvels van Montferland.

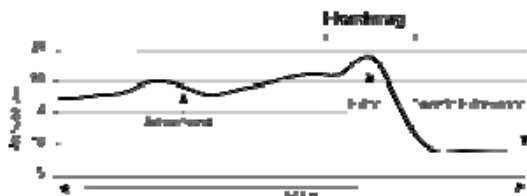
*Schets van zich terugtrekkend landijs met grondmorene, in Nederland beter bekend als keileem, en een eindmorene, en een door landijs gevormde heuvelrug (Bron: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Morene#mediaviewer/File:Retceding\\_glacier-nl.svg](http://nl.wikipedia.org/wiki/Morene#mediaviewer/File:Retceding_glacier-nl.svg)).*



Gletsjers en landijs vervoeren puin dat onderweg wordt meegevoerd door de verplaatsing van de ijskappen. Na het afsmelten van het ijs vormt dit een grondmorene. In Nederland is deze grondmorene beter bekend als keileem en is dit het meest karakteristieke afsmeltingsproduct van de voorlaatste ijsbedekking. In dit keileem bevinden zich soms zeer grote zwerfstenen (soms door de mens tot Hunebedden opgestapeld). Een relatief klein deel van het door het landijs afgezette materiaal komt uit Scandinavië. Een groot deel betreft eerder door rivieren en de zee afgezet

materiaal uit Noord Nederland, de Noordzee en Duitsland. Een mooi voorbeeld van een eindmorene is in Drenthe te vinden, de 70 km lange Hondsrug. Keileem treft men aan in heel Noord Nederland: op Texel, in de Waddenzee, in Friesland, in Groningen, in Drenthe en in aangrenzend Noord-Duitsland.

*Doorsnede van de Hondsrug in Drenthe, een door landijs gevormde heuvelrug. De ijskap lag aan de rechterzijde (Bron: <http://www.toerisme.nl/wiki/Afbeelding:Dwarsdoorsnede.png>).*



Vaak stuwde de schuivende ijsmassa lagen bevroren ondergrond op tot stuwwallen. Voorbeelden van zulke structuren zijn de Utrechtse Heuvelrug, de Veluwe, de Sallandse Heuvelrug, de heuvelrug van Nijmegen-Kleef-Xanten en verder tot aan Düsseldorf (Duitsland). Keileem komt alleen lokaal voor in de stuwwallen. Een belangrijk verschil tussen een morene-wal en een stuwwal is het materiaal waar uit ze bestaan. Morene-wallen bestaan uit los door het ijs getransporteerd materiaal (de leem en de keien uit de keileem). Stuwwallen bestaan uit bloksgewijs opgestuwde oudere grondlagen, die wat vervormd, geplooid en verplaatst zijn, maar verder nog zoals ze veel eerder werden afgezet. Aan de lagen is duidelijk te zien dat dit oorspronkelijk horizontaal afgezet is geweest, en aan de plooiingsstructuren en vorm van de heuvels kunnen de richtingen van ijslobben aan de rand van de ijskap afgeleid worden. Tussen de hoogste stuwwallen liggen soms tot ruim honderd meter diep uitgeslepen dalen. Deze dalen zijn direct na hun vorming opgevuld met afsmeltingsproducten en rivier-, kust- en windafzettingen. Tegenwoordig zijn deze voormalige dalen nog steeds herkenbaar als topografische laagtes zoals de IJsselvallei.

Tijdens deze periode hebben zich een aantal lithostratigrafische formaties gevormd in de ondergrond van Amsterdam, te weten:

- Diverse stuwwallen,
- De formatie van Urk,
- De formatie van Drenthe.

### *Het Pleistoceen: De interglaciaal Eemien*

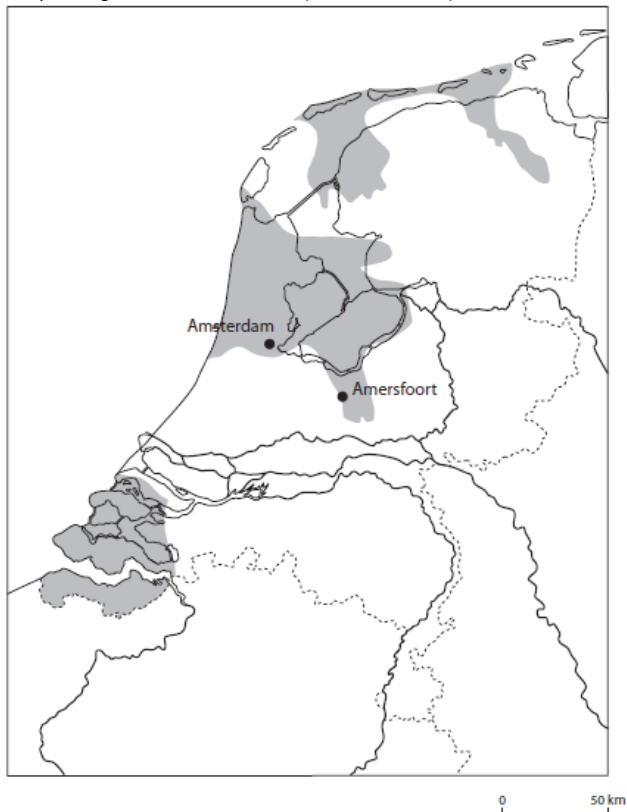
De periode tussen de voorlaatste en de laatste glaciaal wordt aangeduid als het interglaciaal en is ook bekend onder de naam Eemien. Deze periode vond plaats tussen 126.000 en 116.000 jaar geleden. Het klimaat in deze periode is vergelijkbaar met het klimaat nu al was het destijds een paar graden warmer. Als gevolg van de hogere temperaturen smolten de gletsjers en ontdooide de bodem waardoor de door het landijs gevormde stuwwallen deels erodeerden als gevolg van het wegspoelende smeltwater, de uit dit proces ontstaande bodemlagen worden fluvioglaciale afzettingen genoemd. Een bijkomend effect van de temperatuurstijging was een zeespiegelstijging die tot gevolg had dat delen van Nederland onder water kwamen te staan. In deze delen heeft zich een zogenaamde mariene bodemlaag gevormd die gevormd is door de zee, de Eemkleilaag. Na een zeespiegeldaling aan het eind van het Eemien hebben zich nog twee bodemlagen gevormd bovenop de Eemkleilaag door rivier- en windafzettingen, te weten de formatie van Kreftenheye en de formatie van Boxtel. Tijdens deze periode hebben zich een aantal lithostratigrafische formaties gevormd in de ondergrond van Amsterdam, te weten:

- De Eemkleilaag,
- De formatie van Kreftenheye,

- De formatie van Boxtel.

Deze lithostratigrafische formaties zijn in deze periode afgezet in de ondergrond van Amsterdam bovenop de lagen die genoemd zijn in paragraaf 3.0.1.

*Verspreiding Eemklei in Nederland (Bron: Dino Ioket).*



### ***Het Pleistoceen: Het laatste glaciaal Weichselien***

Tijdens het laatste glaciaal is Nederland niet met landijs bedekt geweest, het zuidelijkste landijs is niet verder gekomen dan in de huidige Duitse deelstaat Sleeswijk-Holstein. Tevens was er landijs aanwezig op de Britse eilanden. Als gevolg van deze ijsvorming daalde de zeespiegel net aanzienlijk met zo'n 110 meter. Hierdoor kwam Nederland helemaal droog te liggen net als een groot deel van de Noordzee. Door de aanwezigheid van ijskappen op de Britse eilanden werden de Atlantische invloeden op het klimaat in Nederland aanzienlijk getemperd en kon door Oostelijke invloeden zodoende een poolwoestijnklimaat ontstaan, een zogenaamd toendra-klimaat met weinig vegetatie. Als gevolg van de zeespiegeldaling kwam de eerder gevormde Eemkleilaag droog te liggen en is daardoor in gaan klinken. In deze periode hebben zich door wisselende rivierlopen zandafzettingen op de Eemklei gevormd waaronder de Formatie van Kreftenheye. Door de tijdens het toendra-klimaat aanwezige poolwinden hebben zich eveneens dekzandafzettingen gevormd op de Eemkleilaag zoals de Formatie van Boxtel. De vorming van deze lagen is al begonnen aan het einde van de voorgaande periode, het interglaciaal Eemien.

### ***Het Holoceen: Van 11.700 jaar geleden tot heden***

Het Holoceen is de huidige geologische tijdperk en begon zo'n 11.700 jaar geleden. Het wordt gezien als een warm interglaciaal. Al aan het einde van het Weichselienglaciaal steeg de temperatuur en begon de zeespiegel weer te stijgen om het huidige niveau zo'n 6000 jaar geleden te bereiken. Deze zeespiegelstijging werd veroorzaakt door het smelten van de ijskappen van Europa, Groenland, Noord Amerika en Antarctica. De zeespiegelstijging werd nog eens versneld door de zogenaamde

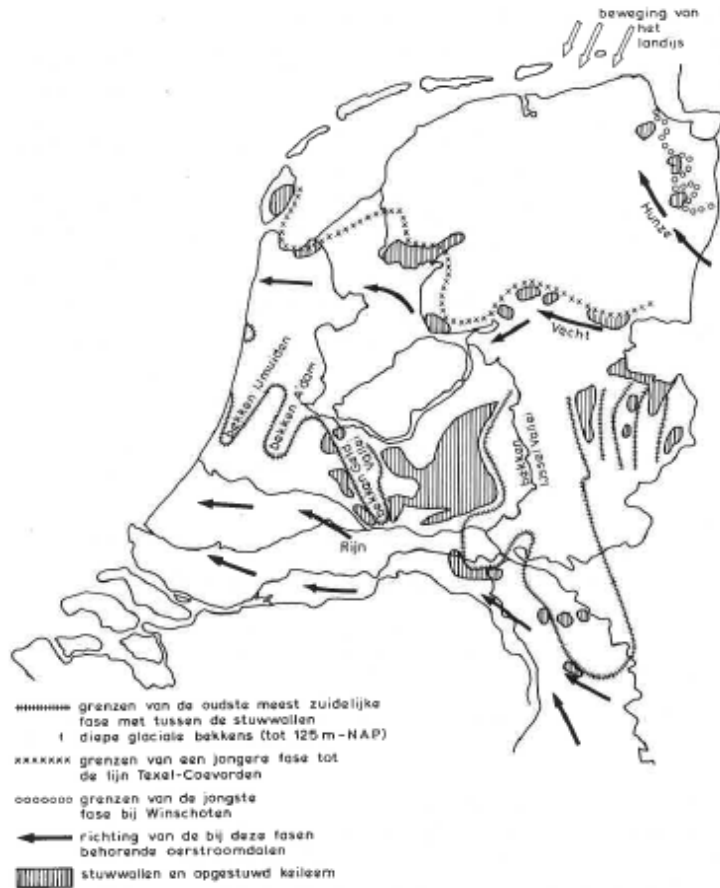
glacio-isostatische bodemdaling (Bron: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Postglaciale\\_bodembeweging](http://nl.wikipedia.org/wiki/Postglaciale_bodembeweging)). Dit houdt in dat door het gewicht van de 3 à 4 km dikke ijskap in Scandinavië de aardkorst aldaar ingedrukt werd in de vloeibare aardmantel. Door het smelten van de ijskap nam de belasting op de aardkorst weer af waardoor de aardkorst weer omhoog gedrukt werd door de vloeibare aardmantel. Doordat het scharnierpunt van deze beweging in Denemarken ligt, was het gevolg van dit proces dat de bodem ten zuiden van Denemarken juist begon te dalen. Deze daling werd in de Noordzee nog eens versterkt door het gewicht van het inmiddels aanwezige zeewater, de zogenaamde hydro-isostatische bodemdaling.

De vorming van de Formaties van Boxtel en Kreftenheye ging tijdens het begin van het Holoceen door. De loop van de rivieren veranderde door toegenomen vegetatie en een meer gelijkmatig debiet. Het sediment werd kleiner en het karakter van de waterstromen veranderde van vlechtend naar diep insnijdend meanderend. Als gevolg van deze veranderende riviereigenschappen en de zeespiegelstijging kon de zee na verloop van tijd dieper landinwaarts binnendringen. Als gevolg van de binnendringende zee liep het noordelijke binnenland onder water en erodeerden de aanwezige stuwallen om de aanwezige laagtes vervolgens op te vullen. Langs de Hollandse kust met z'n vele zeegaten vormden zich nu strandwallen waarachter een groot wadden- en kweldergebied ontstond dat verantwoordelijk is voor diverse kleiafzettingen. Als gevolg van de zeespiegelstijging trad er een grondwaterstijging op zodat er verder landinwaarts veen werd gevormd, het zogenaamde Basisveen. Als gevolg van de ondiepe Noordzeebodem werd veel zand naar de kust getransporteerd waardoor na verloop van tijd de Hollandse kust zich sloot. Als gevolg van de afsluiting van de zeegaten ontstond een groot binnenmeer achter de kustlijn waarin veenvorming optrad. Door later menselijk handelen als terpen- en dijkbouw en grootschalige turf- en veenwinning heeft Nederland zijn uiteindelijke vorm gekregen.

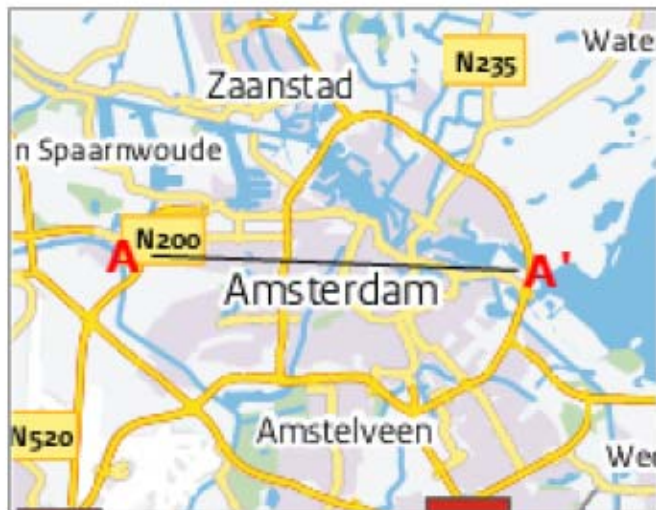
### *Amsterdamse bodemopbouw*

Om de ondergrond van Amsterdam te beschrijven moet er gericht gekeken worden naar in de voorgaande paragrafen genoemde periodes en de daarin gevormde afzettingen met betrekking tot de regio Amsterdam. Zoals figuur 3.4 laat zien is er tijdens het voorlaatste glaciaal een bekken gevormd in de ondergrond van Amsterdam. In dit bekken lag een puntige gletsjer die aan de voor- en weerszijden stuwallen heeft opgeworpen. Onder de gletsjer heeft zich lokaal keileem gevormd. Na het smelten van de gletsjer zijn de bevroren stuwallen ontdooid en als gevolg daarvan deels geërodeerd. Dit heeft een laag in het onderste deel van het bekken van Amsterdam gevormd, de Formatie van Drenthe. Na een zeespiegelstijging in het interglaciaal kwam het bekken van Amsterdam onder water te staan en kon door de zee over een langere periode de Eemformatie afgezet worden. Als gevolg van het laatste glaciaal begon de zeespiegel weer te dalen. Als gevolg van deze zeespiegeldaling kwam het bekken met de daarin gevormde Formatie van Drenthe en de Eemformatie droog te liggen. In deze periode is de Eemformatie ingeklonken en zijn er zandafzettingen door wind- en rivierwater gevormd op de Eemformatie, de Formaties van Boxtel en Kreftenheye. Tegen het einde van het laatste glaciaal steeg de zeespiegel weer tot op het huidige niveau. In het daaropvolgende Holoceen is een groot wadden- en kweldergebied ontstaan boven op de eerder gevormde formaties. Dit wadden- en kweldergebied heeft een kleilaag gevormd op de formaties van Boxtel en Kreftenheye. Nadat de Hollandse kustlijn was gesloten als gevolg van zandaanvoer vanuit de ondiepe Noordzee is er een groot binnenmeer ontstaan boven Amsterdam en wijde omgeving. Door de ontstane plantengroei in dit meer heeft er uiteindelijk veenvorming kunnen plaatsvinden.

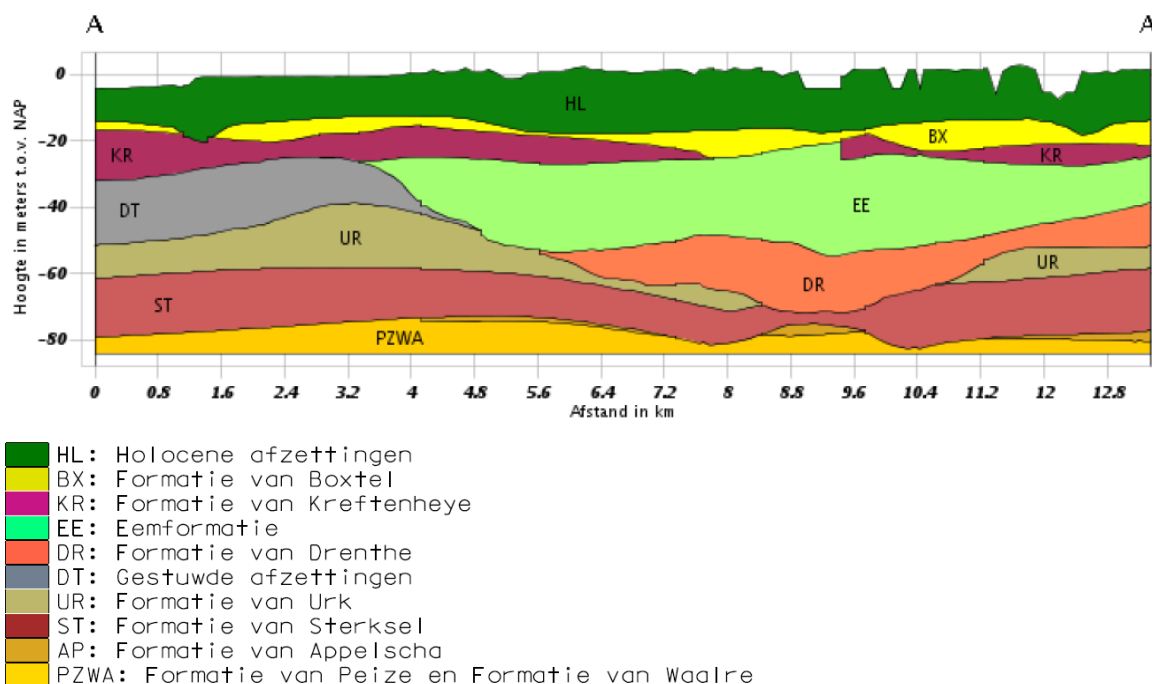
Nederland tijdens het Saalien (Bron: "Bodemkunde", door dr. ir. S.F. Kuipers, 15<sup>e</sup> druk, 1984, Educaboek).



Bovenaanzicht willekeurige doorsnede van de ondergrond van Amsterdam (Bron: <https://www.dinoloket.nl/modelviewer-web/>).



Willekeurige doorsnede tot 84 m. diepte van de ondergrond van Amsterdam met legenda (Bron: <https://www.dinoloket.nl/modelviewer-web/>).



Uit figuur 3.6 en de voorgaande paragrafen is duidelijk geworden hoe en wanneer de afzettingen onder Amsterdam zich gevormd hebben. De oudste en diepst gelegen afzettingen bestaan uit zandlagen die gevormd zijn in eerdere periodes van het Pleistoceen. Deze lagen beschikken over voldoende draagkracht om zware gebouwen en constructies op te kunnen funderen. Deze lagen worden tezamen in Amsterdam aangeduid als de derde dragende zandlaag. Boven de derde zandlaag ligt als eerste de Formatie van Drenthe, een laag die is afgezet door smeltwater en sediment afkomstig van de omliggende stuwwallen tijdens het begin van het Eemien interglaciaal. Deze laag kent een geringe zettingsgevoeligheid. Op de Formatie van Drenthe komt plaatselijk de Laag van Harting voor, net als de Formatie van Drenthe kent deze laag een geringe zettingsgevoeligheid. Op de Laag van Harting ligt de Eemformatie, beter bekend als de Eemklei(laag). Eemklei is een zogenaamde mariene afzetting die voor een groot gedeelte uit kleiig materiaal bestaat. Daardoor is deze laag zettingsgevoelig. Als gevolg van het droogvallen van de Eemkleilaag tijdens het laatste glaciaal is deze gaan inklinken wat geleid heeft een verhoogde waterspanning in de laag. Tijdens het laatste glaciaal hebben zich op de Eemformatie zandafzettingen gevormd door rivieren en wind. Afhankelijk van de locatie bevindt zich tussen deze lagen een kleilaag waardoor men spreekt over de eerste en de tweede dragende zandlaag. De tweede dragende zandlaag heeft voldoende draagkracht om de meeste gangbare bebouwing te dragen terwijl de eerste dragende zandlaag dat niet heeft. Ondanks dat is de oude binnenstad van Amsterdam overigens gefundeerd op de eerste dragende zandlaag met houten paalfunderingen. De reden daarvan is de beperkte lengte van houten palen. Door het geringe gewicht van de aangebrachte bebouwing bleek de eerste dragende zandlaag sterk genoeg.

In figuur 3.7 staat de bodemopbouw van Amsterdam in tabelvorm weergegeven. Omdat de diktes van de genoemde lagen sterk varieert en sommige lagen plaatselijk niet voorkomen zijn deze buiten beschouwing gelaten.

*Bodemopbouw van Amsterdam in tabelvorm weergegeven, de oudste laag onder en de jongste laag boven.*

| <b>Geologische benaming</b>  | <b>Hoofdbestanddelen</b> | <b>Zettingsgevoelig</b> |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Holoceen                     | Klei- en veenlagen       | Ja                      |
| Formatie van Kreftenheye     | Zand                     | Nee                     |
| Formatie van Boxtel          | Zand                     | Nee                     |
| Eemformatie                  | Voornamelijk klei        | ja                      |
| Laag van Harting             | Schelpen en zand         | gering                  |
| Formatie van Drenthe         | Voornamelijk zand        | gering                  |
| Gestuwde afzettingen         | Zand en keileem          | Nee                     |
| Formatie van Urk             | Zand                     | Nee                     |
| Formatie van Sterksel        | Zand                     | Nee                     |
| Formatie van Appelscha       | Zand                     | Nee                     |
| Formatie van Peize en Waalre | Zand                     | Nee                     |

## **Bijlage 2: Een beknopte geschiedenis van hoogbouw in Amsterdam en de toekomstvisie ten aanzien van hoogbouw in Amsterdam in relatie tot de ondergrond**

## Een beknopte geschiedenis van hoogbouw in Amsterdam

De geschiedenis van hoogbouw in Amsterdam gaat terug tot in de zeventiende eeuw. In die periode werden onder andere het Paleis op de Dam (ca. 30 m hoog, exclusief koepeltoren) en de toren van de Westerkerk (ca. 85 m) voltooid. In dezelfde periode is de grachtengordel gerealiseerd met een hoogte van ca. 15 á 20 m. Daarna zijn er vooral vanaf de tweede helft van de negentiende eeuw tot aan het begin van de tweede wereldoorlog diverse stadsuitbreidingen gerealiseerd. Binnen deze stadsuitbreidingen is er nauwelijks noemenswaardige hoogbouw toegepast. In het centrum van Amsterdam zijn wel enkele hoge gebouwen gebouwd die boven de bestaande bebouwing uitrezen. Denk hierbij aan de Bijenkorf, de Beurs van Berlage en het gebouw van de Nederlandse Handelsmaatschappij aan de Vijzelstraat, allen met een hoogte van ca. 30 á 35 meter. Ook zijn er vele silo's en pakhuizen van deze hoogte langs het IJ gebouwd maar veel van deze constructies zijn inmiddels al weer afgebroken. In 1935 werd aan de Vrijheidslaan in "Plan Zuid" van H.P. Berlage, het eerste moderne hoogbouwproject van de stad opgeleverd, het 12-Verdiepingenhuys, in de volksmond beter bekend als "De Wolkenkrabber", naar het ontwerp van architect J.F. Staal. Het gebouw telt twaalf verdiepingen en is ruim 40 meter hoog. Verder op in dit rapport zal dit bouwwerk nog nader beschreven worden omdat er zich in de jaren '90 problemen hebben voorgedaan met de fundering wat tot schade en overlast heeft geleid aan de belendende bebouwing.

*Het 12-Verdiepingenhuys of "De Wolkenkrabber", met op de voorgrond een standbeeld van H.P. Berlage (Bron: <http://nl.wikipedia.org/wiki/12-verdiepingenhuys>).*



Na de tweede wereldoorlog was er grote behoefte aan woonruimte. Om aan deze vraag te kunnen voldoen werden in de jaren 50 de zogenaamde Westelijke Tuinsteden gerealiseerd en maakten deel uit van het Algemeen Uitbreidingsplan (AUP 1935). Deze liggen in het uiterste westen van de stad ten westen van de ringweg A10. In de oorspronkelijke opzet van deze wijken is de maximale hoogte ongeveer 4 bouwlagen wat neerkomt op een hoogte van ca. 15 meter. In de jaren 60 en 70 zijn hoge galerijflats gebouwd, vooral in de nieuwere delen van Slotervaart en Osdorp. later in de jaren '00 zijn in het kader van de stadsvernieuwing nog meer hogere gebouwen bijgebouwd.

Het Algemeen Uitbreidingsplan van Amsterdam in 1935 (Bron: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Algemeen\\_Uitbreidingsplan](http://nl.wikipedia.org/wiki/Algemeen_Uitbreidingsplan)).



Jaren '50 flats aan de Burgemeester de Vlugtlaan, Amsterdam Sloterveer, architect Arthur Staal (Bron: <http://www.nicenieuwwest.nl/2012/01/17/wie-wat-waar/>).



Ook de wijken Buitenveldert en Amsterdam Noord kennen een vergelijkbare geschiedenis. Vooral Amsterdam Noord kent een groot gedeelte vooroorlogse bouw maar vanaf eind jaren 60, begin jaren 70 is men hier ook op grote schaal gaan bouwen. Hierdoor vindt men in deze wijken een wat hogere bebouwing, tot ca. 40 meter, dan in de oorspronkelijke bebouwing van de Westelijke Tuinsteden. Het meest in het oog springend is de Molenwijk in Amsterdam Noord, de flatgebouwen staan hier als molenwieken gegroepeerd en de Molenwijk kan beschouwd worden als de voorloper van de bebouwing in de Bijlmermeerpolder.

Luchtfoto van de Molenwijk in Amsterdam Noord, de flats staan gegroepeerd als molenwieken (Bron: <http://molenwijk.wordpress.com/2011/09/24/geschiedenis-molenwijk-1/>).



De meest in het oog springende naoorlogse stadsuitbreiding van Amsterdam wat betreft hoogbouw is de Bijlmermeerpolder, gelegen in het stadsdeel Amsterdam Zuidoost. Kenmerkend voor de Bijlmer zijn de flats van 10 verdiepingen die gebouwd zijn in een honingraatstructuur met daar tussen veel groen. Deze wijk is ontworpen als modelwijk voor de “moderne mens”, echter, de wijk heeft nooit de aantrekkingskracht gehad die de ontwerpers voor ogen hadden. Door het eenzijdige woningaanbod en het gebrek aan voorzieningen had deze wijk te weinig aantrekkingskracht. Bovendien kozen mensen eerder voor een nieuwe eengezinswoning met tuin dan voor een ruime galerijflat met als gevolg dat binnen tien jaar de verpaupering al toesloeg. Iets wat de wijk een slecht imago opleverde. Tijdens de grote herinrichting waarmee begonnen werd na de Bijlmerramp van 1992, zijn een groot deel van de kenmerkende flats (deels) gesloopt.

Luchtfoto van de Bijlmermeerpolder begin jaren '70



Na de mislukking van de grootschalige hoogbouw in de Bijlmermeerpolder heeft er een lange tijd een taboe gerust op hoogbouw in het algemeen, en niet alleen in Amsterdam. In de jaren 70 en 80 verrezen vooral veel eengezinswoningen op de begaande grond met een tuin. Vanaf de jaren 90 werd het idee geboren van de zogenaamde “compacte stad”. Dit houdt in dat de bebouwing in de stad verdicht wordt met als doel dat mensen zo lang mogelijk in de stad blijven wonen in plaats van dat men gaan verkassen naar groeikernen buiten de stad. De hoogte van deze compacte stadsbebouwing

is zo rond de 30 meter en is in de begin jaren 90 geïntroduceerd. Vanaf dit moment werd hoogbouw (weer) beschouwd als een nieuw soort stedelijkheid.

*Voorbeeld van de "Compacte Stad", nieuwe hoogbouw in de praktijk op het Java Eiland in Amsterdam. Bouwhoogte ca. 30 m. (foto: Soeters Van Eldonk architecten).*



Tegelijk met het idee van hoogbouw in de vorm van de compacte stad, ontstond ook de behoefte van bedrijven om zich te manifesteren met hoogbouw. Dit kwam vooral tot uiting in de omgeving van station Sloterdijk, langs de A10 en in Amsterdam Zuidoost. Daarom nemen de bouwhoogtes van vooral kantoorgebouwen vanaf de jaren 90 toe, met name die van kantoren rond de knooppunten van het openbaar vervoer met als hoogste toren de Rembrandttoren uit 1995 bij het Amstelstation (135 m.).

*Hoogste gebouw van Amsterdam: De Rembrandttoren, 135 m. (Bron: [http://www.skylinecity.info/amsterdam/gebouwen/rembrandt\\_toren\\_rec.htm](http://www.skylinecity.info/amsterdam/gebouwen/rembrandt_toren_rec.htm)).*



## Toekomstvisie ten aanzien van hoogbouw in Amsterdam

In het rapport "Hoogbouw in Amsterdam" uitgegeven door de Dienst Ruimtelijke Ordening van de gemeente Amsterdam, juni 2011, wordt de toekomstvisie ten aanzien van hoogbouw in Amsterdam voor het jaar 2040 uiteen gezet. Allereerst moet worden vastgesteld wat precies onder hoogbouw verstaan wordt. Dit is een begrip wat per stad of regio verschilt. Amsterdam kan in dat opzicht als

een “platte stad” gezien worden, de bouwhoogte is in het historische centrum gemiddeld 15 meter. Bij de stedelijke ontwikkeling van de laatste decennia is de gemiddelde bouwhoogte toegenomen tot 30 meter. Enkele locaties waar dit tot uiting komt, zijn bijvoorbeeld te vinden aan de Wibautstraat en langs het IJ.

*De Wibautstraat in Amsterdam, gezien vanaf het Rhijnspoorplein (Bron:Google Maps).*



Aan de hand van de criteria die gesteld worden aan nieuw te realiseren hoogbouw in Amsterdam kan de stad in twee delen opgesplitst worden: Te weten de grachtengordel en het omringende buffergebied en de gebieden daar buiten.

Daarom hanteert de gemeente Amsterdam ten aanzien van hoogbouw de volgende definitie:

*Onder hoogbouw in Amsterdam wordt verstaan gebouwen vanaf 30 meter hoogte of tweemaal de hoogte in hun directe omgeving en onder middel-hoogbouw wordt verstaan gebouwen van 22,5 meter tot 30 meter hoogte of 25% hoger dan hun directe omgeving.*

De criteria voor de grachtengordel en het buffergebied zijn afkomstig van beleidsmakers en stedenbouwkundigen van de gemeente en ingegeven door een internationaal erkende organisatie, namelijk UNESCO. De grachtengordel van Amsterdam maakt sinds 1 augustus 2010 deel uit van de werelderfgoedlijst van UNESCO. Dit brengt met zich mee dat de grachtengordel en het zogenaamde buffergebied als beschermd gebied zijn aangemerkt. Dit betekent echter niet dat de gemeente Amsterdam geen hoogbouw mag toepassen binnen de grachtengordel en het buffergebied. Eén van de hoogbouwzones is zelfs gelegen binnen het buffergebied, te weten de IJ-oeveren. Buiten de grachtengordel en het buffergebied zijn zones aangewezen om hoogbouw toe te passen hetgeen in onderstaande figuur geïllustreerd wordt.

Overzichtskaart van de toekomstvisie t.a.v. hoogbouw in Amsterdam. In de paars aangegeven zone langs de infrastructuurbundel in de nabijheid van OV knooppunten, in de geel aangegeven IJ-oeveren in de vorm van hoogteaccenten, de rode sterren zijn suggesties voor locaties.



In de bovenstaande figuur wordt duidelijk dat de zones die de gemeente Amsterdam heeft aangewezen om hoogbouw toe te passen zich bevinden langs de infrastructuurbundel spoor/metro/ringweg A10 en langs de IJ-oeveren. In de paarsgekleurde zone langs de infrastructuurbundel is het vooral de bedoeling dat hoogbouw ontwikkeld wordt in de nabijheid van ov-knooppunten bij de trein/metrostations Sloterdijk, Lelylaan, Zuid-WTC en het Amstelstation. Langs de IJ-oeveren is het vooral de bedoeling dat hier en daar hoogteaccenten aangebracht worden. De rode sterren op de kaart zijn suggesties voor eventuele locaties.

## De ondergrond van Amsterdam in relatie tot de toekomstvisie

Aan de hand van de plattegrond van figuur 2.8 moet eerst gekeken worden waar de Eemklei zich bevindt onder de aangegeven zones die zijn aangewezen voor het toepassen van hoogbouw in Amsterdam. Voor het bepalen van de locatie, de dikte en de hoogte van de bovenzijde en de onderzijde van de Eemklei is gebruik gemaakt van de website <http://www.dinoloket.nl/modelviewer-web/>.

Op deze website kunnen boringen worden geraadpleegd en kunnen dwarsdoorsneden van de ondergrond gemaakt worden. Alle gegevens die hier getoond worden zijn op basis van geologische eenheden en niet op basis van geotechnische eenheden. Uit deze gegevens is echter wel duidelijk waar Eemklei voorkomt en waar niet. Daarom is dit een prima hulpmiddel bij dit onderzoek. Om het één en ander inzichtelijk te maken en het overzicht te behouden zijn de hoogbouwzones in vier delen geknipt, te weten:

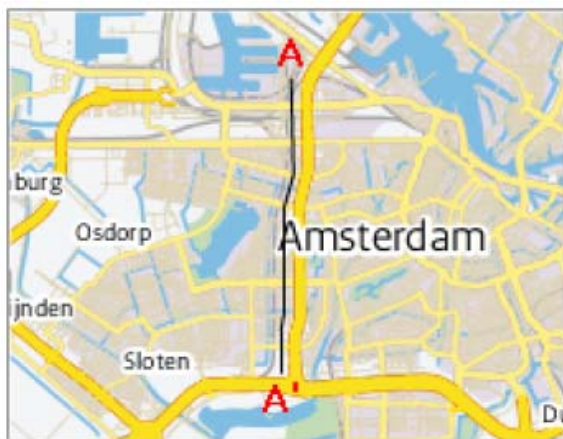
- De Westelijke zone tussen het ringspoor en de A10 vanaf Sloterdijk tot aan knooppunt de Nieuwe Meer,
- De Zuidas langs de A10 vanaf knooppunt de Nieuwe Meer tot aan de Amstel,
- De Oostelijke zone tussen knooppunt Amstel en knooppunt Watergraafmeer,
- De Noordelijke en Zuidelijke IJ-oeveren.

In de volgende paragrafen worden deze zones nader bekeken.

### *De Westelijke zone vanaf Sloterdijk tot aan knooppunt De Nieuwe Meer*

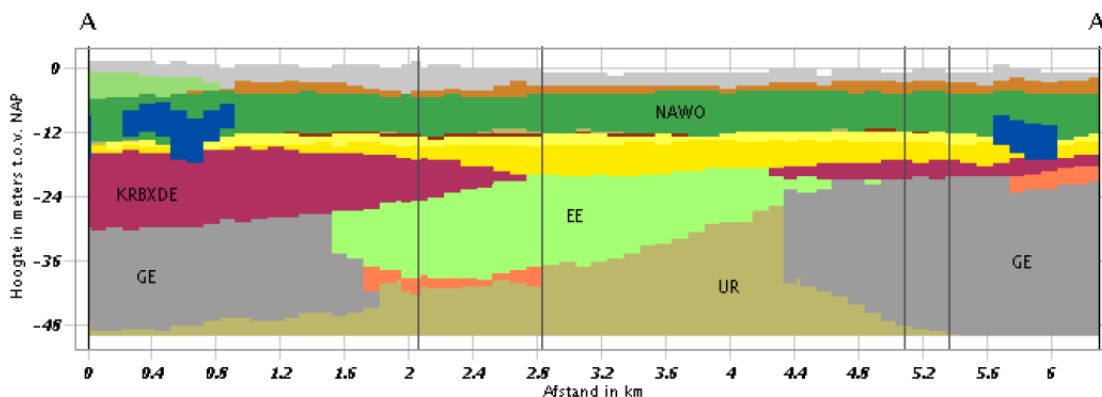
Voor het bepalen van de ondergrond van de Westelijke zone tussen Amsterdam Sloterdijk en knooppunt De Nieuwe Meer is een lijn getrokken in de modelviewer van dinoloket tussen het ringspoor en de A10. In deze zone bevinden zich de ov-knooppunten Sloterdijk en Lelylaan, twee locaties die zijn aangewezen voor het toepassen van hoogbouw. De lijn staat weergegeven in onderstaande figuur:

*Bovenaanzicht doorsnede Westelijke zone vanaf Sloterdijk tot aan knooppunt De Nieuwe Meer.*



De ondergrond ziet er ter plaatse van de getrokken lijn uit als in figuur 3.18:

*Doorsnede van de Westelijke zone vanaf Sloterdijk tot aan knooppunt De Nieuwe Meer.*



In de bovenstaande figuur is de Eemklei in het lichtgroen aangegeven en aangemerkt met de code EE. De zwarte dwarsstrepen geven de knikken weer in de lijn in het bovenaanzicht. Uit de bovenstaande figuur blijkt dat hier plaatselijk Eemklei voorkomt in de ondergrond. Opvallend is dat er geen Eemklei voorkomt onder de ov-knooppunten Sloterdijk en Lelylaan.

### *De Zuidas langs de A10 vanaf knooppunt de Nieuwe Meer tot aan de Amstel*

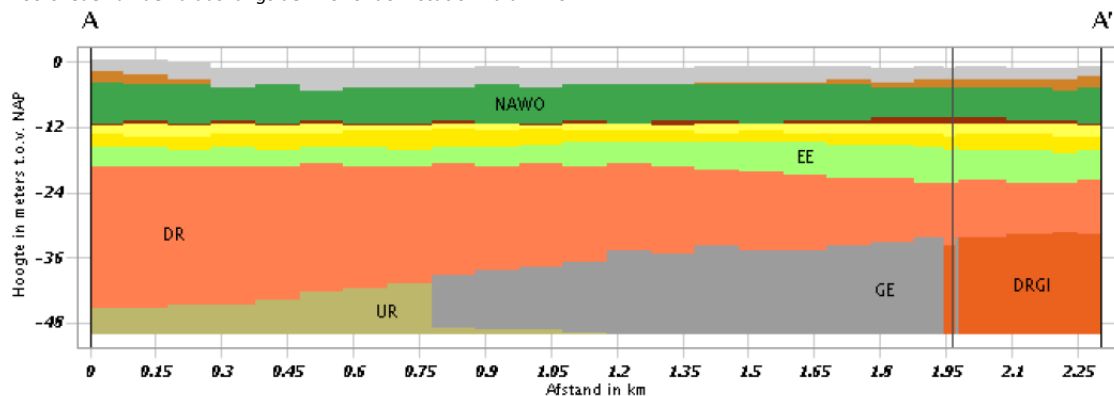
Voor het bepalen van de ondergrond van de Zuidas langs de A10 rondom station Zuid-WTC is tevens een lijn getrokken in de modelviewer van dinoloket tussen de Nieuwe Meer en de Amstel:

Bovenaanzicht doorsnede Zuidas langs de A10 rondom station Zuid-WTC.



De ondergrond ziet er ter plaatse van de getrokken lijn uit als in figuur 3.20:

Doorsnede van de Zuidas langs de A10 rondom station Zuid-WTC.

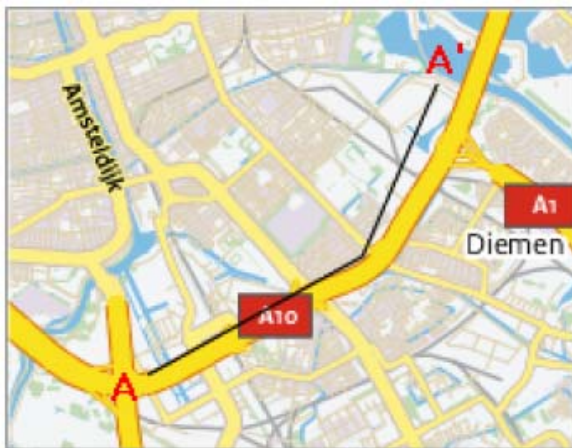


In de bovenstaande figuur is de Eemklei in het lichtgroen aangegeven en aangemerkt met de code EE. De zwarte dwarsstrepen geven de knikken weer in de lijn in het bovenaanzicht. Uit de bovenstaande figuur blijkt dat hier Eemklei voorkomt in de ondergrond met een redelijk constante dikte. In vergelijking met andere zones is de laagdikte hier kleiner. Onder de Eemklei bevindt zich echter wel een (plaatselijk) dikke laag van de formatie van Drenthe, een laag die redelijk zettingsgevoelig is (zie tabel 3.7). De formatie van Drenthe is in licht oranje aangegeven en aangemerkt met de code DR.

### *De Oostelijke zone tussen knooppunt Amstel en knooppunt Watergraafsmeer*

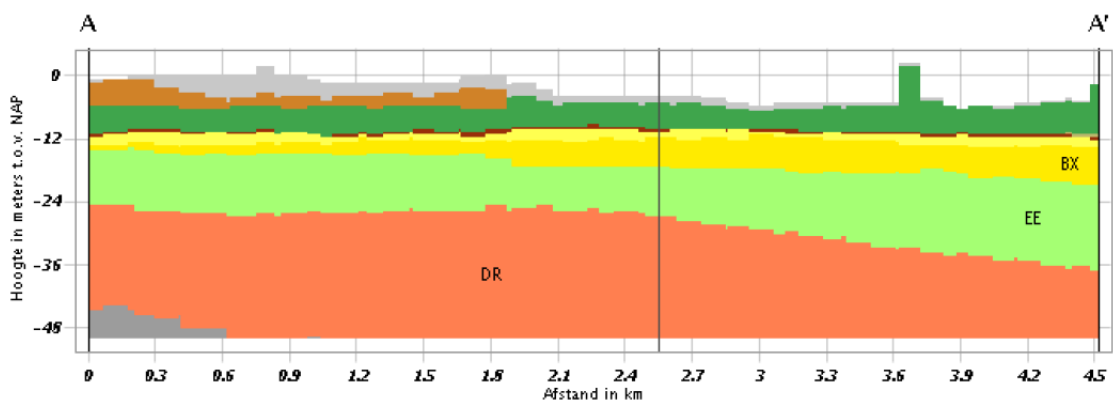
Voor het bepalen van de ondergrond van de Oostelijke zone tussen knooppunt Amstel en knooppunt Watergraafsmeer is tevens een lijn getrokken in de modelviewer van dinoloket tussen de Nieuwe Meer en de Amstel:

Bovenaanzicht doorsnede Oostelijke zone tussen knooppunt Amstel en knooppunt Watergraafsmeer.



De ondergrond ziet er ter plaatse van de getrokken lijn uit als in figuur 3.22:

Doorsnede van de Oostelijke zone tussen knooppunt Amstel en knooppunt Watergraafsmeer.



In de bovenstaande figuur is de Eemklei in het lichtgroen aangegeven en aangemerkt met de code EE. De zwarte dwarsstrepen geven de knikken weer in de lijn in het bovenaanzicht. Uit de bovenstaande figuur blijkt dat hier Eemklei voorkomt in de ondergrond met een variabele dikte. In vergelijking met andere zones is de laagdikte hier kleiner. Onder de Eemklei bevindt zich echter wel een (plaatselijk) dikke laag van de formatie van Drenthe, een laag die redelijk zettingsgevoelig is (zie tabel 3.7). De formatie van Drenthe is in licht oranje aangegeven en aangemerkt met de code DR.

### Langs de Noordelijke en Zuidelijke IJ-oeveren

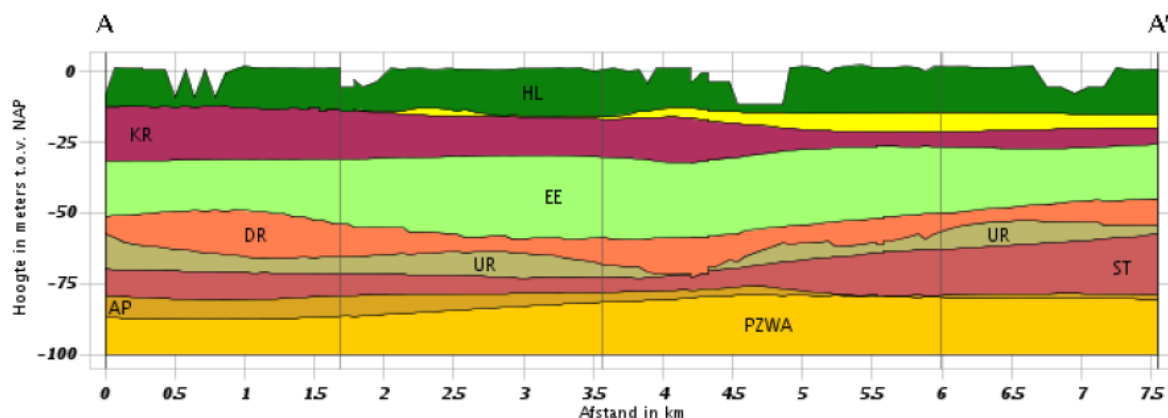
Voor het bepalen van de ondergrond en langs Noordelijke en Zuidelijke IJ-oeveren is tevens een willekeurige lijn getrokken in de modelviewer van dinoloket tussen de Coenhavens en het Zeeburgereiland:

*Bovenaanzicht doorsnede langs de Noordelijke en Zuidelijke IJ-oeveren.*



De ondergrond ziet er ter plaatse van de getrokken lijn uit als in figuur 3.24:

*Doorsnede Langs de Noordelijke en Zuidelijke IJ-oeveren.*



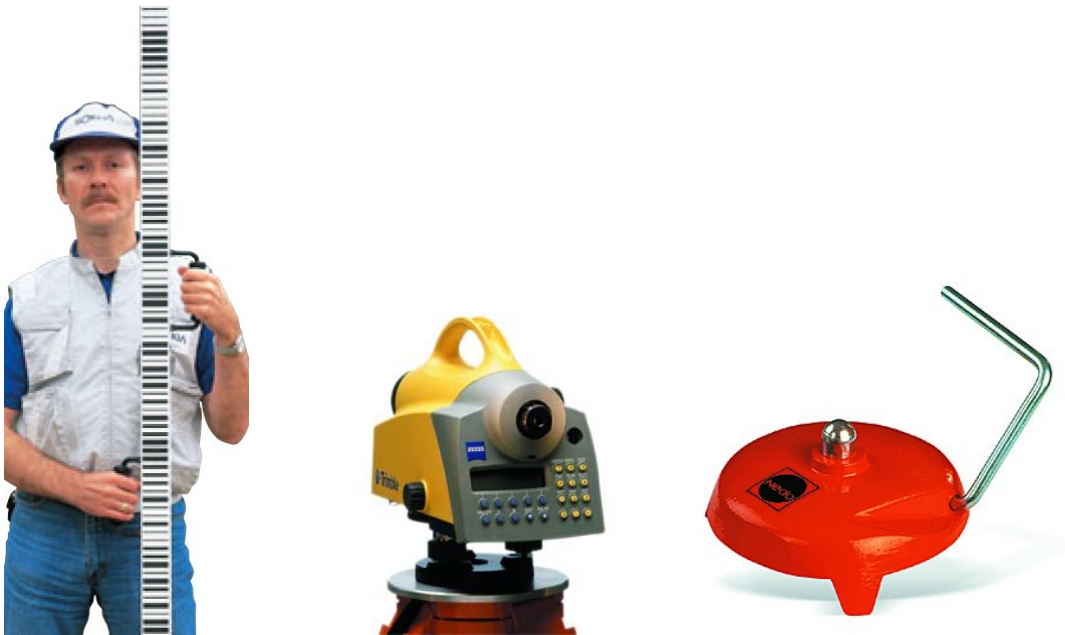
In de bovenstaande figuur is de Eemklei in het lichtgroen aangegeven en aangemerkt met de code EE. De zwarte dwarsstrepen geven de knikken weer in de lijn in het bovenaanzicht. Uit de bovenstaande figuur blijkt dat hier Eemklei voorkomt in de ondergrond met een variabele dikte. In vergelijking met andere zones is de laagdikte hier groter.

## **Bijlage 3: Voorbeeld doorgaande waterpassing**

## Voorbeeld doorgaande waterpassing

Een doorgaande waterpassing is een hoogtemeting tussen twee peilmerken waarvan de NAP hoogtes bekend zijn. Om een doorgaande waterpassing uit te kunnen voeren heeft men een (digitaal) waterpastoestel nodig en een baak en een straatpot. In het volgende fictieve voorbeeld wordt gebruik gemaakt van een analoog waterpastoestel.

*Digitaal waterpasinstrument met bijbehorende baak en straatpot.*



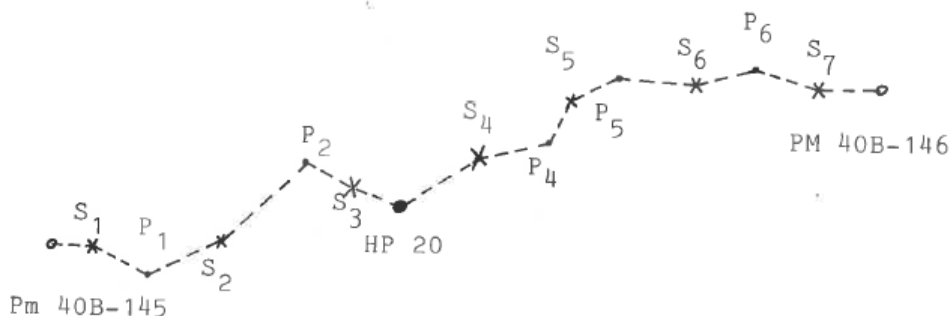
Op het traject tussen twee punten kan op een willekeurige positie een hulppunt aangebracht worden om van daaruit een object in hoogte bekend te maken of uit te zetten. Een traject kan bijvoorbeeld zijn tussen de fictieve peilmerken PM 40B-145 en PM 40B-146 zoals weergegeven is in figuur 4.6. Ergens langs dit traject moet een hoogtemeting plaatsvinden en daarom wordt hulppunt HP 20 aangebracht om van daar uit in een later stadium een hoogtemeting of uitzetwerk uit te voeren.

*Traject doorgaande waterpassing tussen PM 40B-145 en PM 40B-146.*



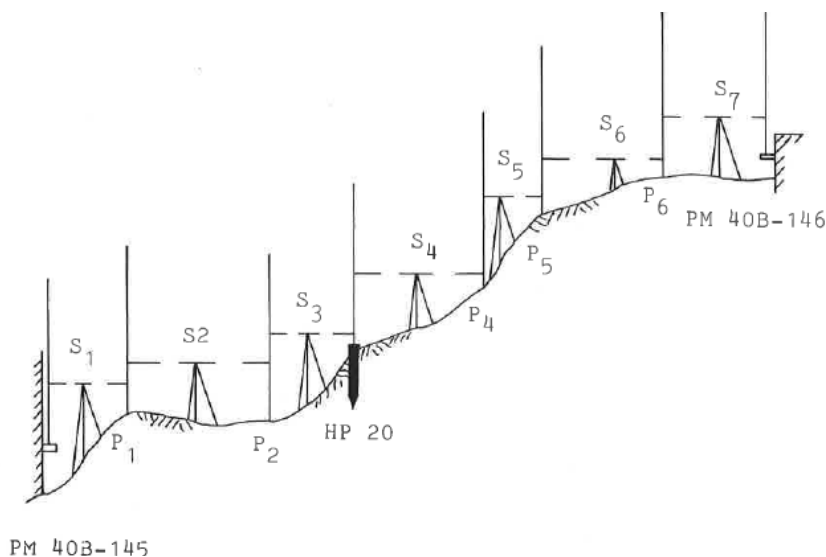
Omdat de afstand tussen twee peilmerken dusdanig groot is, kan het hulppunt niet in één keer ingemeten worden. Dit houdt in dat het traject in meerdere slagen uitgevoerd moet worden. In het fictieve voorbeeld wordt het traject tussen PM 40B-145 en PM 40B-146 uitgevoerd in zeven slagen waarbij tussen de derde en de vierde slag hulppunt 20 aangebracht wordt.

*Bovenaanzicht traject doorgaande waterpassing tussen PM 40B-145 en PM 40B-146 met slagen.*



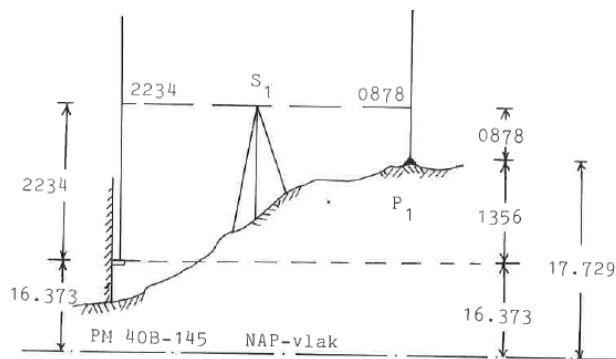
Omdat in het terrein hoogteverschillen bestaan is de bovenstaande situatie in een zijaanzicht weergegeven in onderstaande figuur:

*Zijaanzicht traject doorgaande waterpassing tussen PM 40B-145 en PM 40B-146 met slagen.*



Als eerste wordt het waterpastoestel geplaatst en horizontaal gesteld en wordt de baak op PM 40B-145 geplaatst. Vervolgens wordt het waterpastoestel op de baak gericht en afgelezen. Deze aflezing heet de achterbaak. Vervolgens wordt de straatpot aan de andere zijde van het waterpastoestel gelegd op een afstand die min of meer gelijk is aan de afstand tussen het waterpastoestel en het peilmerk. Dit doet men om meetfouten te voorkomen als gevolg van een verkeerd afgesteld toestel. Vervolgens plaats men de baak op de straatpot en wordt het waterpastoestel op de baak gericht en afgelezen. Deze aflezing heet de voorbaak, de voorbaak en de achterbaak samen noemt men een slag. Ter verduidelijking is het één en ander weergegeven in onderstaande figuur.

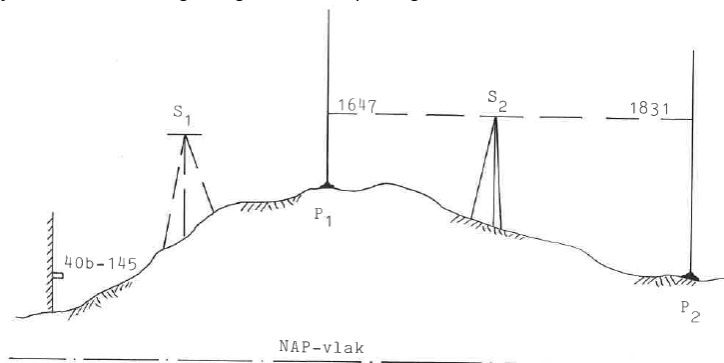
Zijaanzicht eerste slag doorgaande waterpassing tussen PM 40B-145 en PM 40B-146.



De NAP hoogte van PM 40B-145 is in dit voorbeeld 16,373 meter boven NAP en de achterbaak is 2,234 meter. De hoogte van de horizontale vizierlijn van het waterpasoestel ligt nu op  $16,373 + 2,235 = 18,607$  boven NAP. De aflezing van de voorbaak is vervolgens 0,878 meter. Om de hoogte van  $P_1$  te bepalen wordt de voorbaak van de vizierlijnhoogte afgetrokken. De hoogte van  $P_1$  is dan  $18,607 - 0,878 = 17,729$  boven NAP.

Vervolgens wordt het waterpasoestel verplaatst achter de straatpot en de baak en horizontaal gesteld. daarna wordt het waterpasoestel op de baak gericht en afgelezen: De straatpot en de baak blijven op dezelfde plaats staan en de aflezing is weer een achterbaak, zie onderstaande figuur.

Zijaanzicht tweede slag doorgaande waterpassing tussen PM 40B-145 en PM 40B-146.



De NAP hoogte van  $P_1$  is in dit voorbeeld bepaald op 17,729 meter boven NAP en de achterbaak is 1,647 meter. De hoogte van de horizontale vizierlijn van het waterpasoestel ligt nu op  $17,729 + 1,647 = 19,376$  boven NAP. De aflezing van de voorbaak is vervolgens 1,831 meter. Om de hoogte van  $P_2$  te bepalen wordt de voorbaak van de vizierlijnhoogte afgetrokken. De hoogte van  $P_2$  is dan  $19,376 - 1,831 = 17,545$  boven NAP.

Vervolgens wordt het waterpasoestel weer verplaatst achter de straatpot en de baak en horizontaal gesteld en worden dezelfde stappen herhaald tot dat het hulppunt wordt aangebracht. Een hulppunt is een tijdelijk peilmerk dat voldoende stabiel moet zijn voor de periode dat men er gebruik van maakt. In een slappe ondergrond plaatst men doorgaans een piket en in een open of een gesloten verharding slaat men asfaltspijker.

Middelen om een hulppunt aan te brengen: Links een piket in een slappe ondergrond en rechts een asfaltspijker in een gesloten verharding.

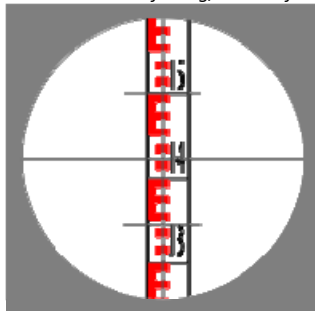


Het hulppunt wordt ingemeten alsof het een straatpot is. Na dat het hulppunt is ingemeten wordt de meting vervolgd tot aan de eindbout PM 40B-146. Als de meting is afgesloten wordt gecontroleerd of de gemeten eindhoogte overeen komt met de hoogtegegevens die bekend zijn van PM 40B-146. Indien dit niet het geval is spreekt men van een sluitfout en moet de meting worden gecorrigeerd. Allereerst moet de maximale sluitfout bepaald worden, deze is:

$$F_{\max} = 6\sqrt{L}$$

Waarbij L de afgelegde afstand in kilometers is. Per baakaflezing wordt de afstand bepaald tussen het waterpastoestel en de baak, dit doet men door de bovendraadaflezing van de onderdraadaflezing af te trekken. De uitkomst hiervan is de afstand in decimeters. In onderstaande figuur is een baakaflezing weergegeven.

*Voorbeeld baakaflezing, is niet afkomstig uit voorbeeldmeting.*



De afstand tussen de baak en het waterpastoestel is in dit voorbeeld  $1500 - 1345 = 155$  decimeter = 15,5 meter.

De afstanden tussen het waterpastoestel en de baak worden genoteerd op het onderstaande waterpasformulier in kolom 7 en 8 zoals weergegeven in onderstaande figuur. In dit voorbeeld is de totaal afgelegde afstand 0,5088 kilometer. De maximale sluitfout is dan:

$$F_{\max} = 6\sqrt{0,5088} = 4,2\text{mm}$$

De sluitfout is in dit voorbeeld 3 millimeter en valt daarmee binnen de foutmarge van 4,2 millimeter. Indien de sluitfout groter uitvalt moet de meting opnieuw uitgevoerd worden.

Om de sluitfout te corrigeren wordt de afstand van 5088 decimeter door 3 millimeter gedeeld:  $5088 / 3 = 1696$

Dit betekent dat bij elke 170 meter 1 millimeter opgeteld moet worden bij de bepaalde hoogte. De afstand vanaf PM 40B-145 tot aan hulppunt 20 is 214,5 meter, de correctie op hulppunt 20 is dan:  $214,5 / 170 = 1,3$  millimeter

De gecorrigeerde hoogte van hulppunt 20 is nu  $19,905 + 0,0013 = 19,906$  meter boven NAP.

*Ingevuld waterpasformulier fictieve waterpassing, de hier vermelde eerste en tweede rekencontrole zijn buiten beschouwing gelaten omdat tijdens de metingen gebruik wordt gemaakt van een digitaal waterpastoestel en deze controles dan niet plaats vinden. Een vereffening wordt wel uitgevoerd met een digitaal waterpastoestel.*

[illegible]

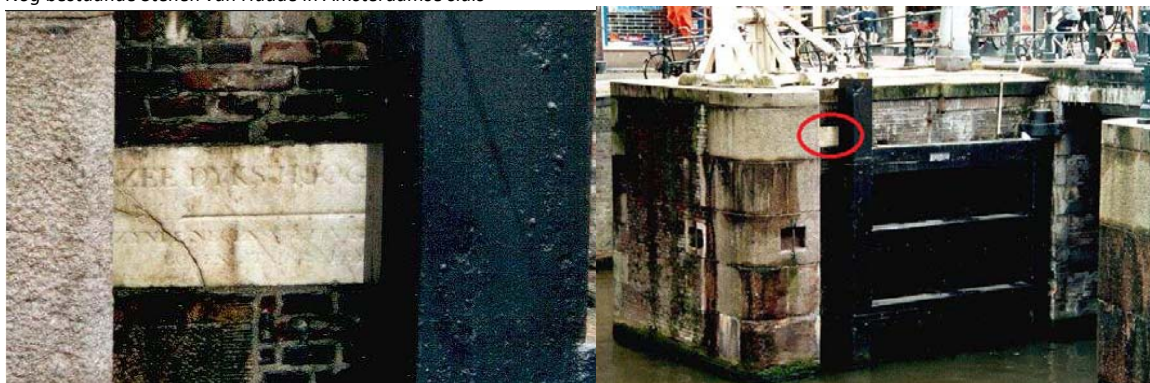
Uit voorgaande gegevens blijkt dat men er verstandig aan doet om het traject tussen twee peilmerken zo kort mogelijk dient te houden teneinde de sluitfout en de daar mee gepaard gaande vereffening zo klein mogelijk te houden.

## **Bijlage 4: Beknopte geschiedenis van het Amsterdams Peil en het Normaal Amsterdams Peil en correctie op NAP-bouten**

## Beknopte geschiedenis van het Amsterdams Peil en het Normaal Amsterdams Peil

Het huidige Normaal Amsterdams Peil (NAP) is een referentievlak waar vanaf hoogteverschillen in het terrein bepaald worden of de aanleghoogtes van nieuw te realiseren bouwwerken of kunstwerken worden aangegeven. Als basis voor een referentievlak is in het verleden in Nederland altijd een bepaalde zeewaterstand aangehouden. Omdat het Noorden en Westen van Nederland uit laagland bestaat wat direct aan de invloed van de zee blootstaat ging men vooral uit van de zeewaterstanden met het oog op overstromingen. Vanuit dit oogpunt bepaalde men de hoogteligging van het achterland en kon men van daaruit de hoogte bepalen van aan te leggen dijklichamen om het achterland te beschermen tegen overstromingen. Al vanaf de middeleeuwen worden zeewaterhoogtes in Nederland gemeten en werden de referentiehoogtes lokaal bepaald en gebruikt. Het oudste bekende peil van Nederland stamt uit 1552 en is vastgesteld in Hattum aan de voormalige Zuiderzee. In deze periode hebben in Amsterdam ook aan het IJ, destijds een zeearm van de voormalige Zuiderzee, metingen van zeewaterstanden plaatsgevonden. Pas in 1674 is het Stadspeil als referentievlak in Amsterdam vastgesteld en als peilmerk gebruikte men geen peilbout maar een "Stadspeylsteen". Omdat het Stadspeil ook buiten Amsterdam werd gebruikt kreeg het al snel de naam Amsterdams Peil (AP). Na een serieuze overstroming in 1675 gaf de toenmalige burgemeester en wiskundige Hudde de opdracht om een zeewering met acht sluizen op te werpen om Amsterdam te beschermen tegen toekomstige overstromingen. Deze zeewering kwam in 1682 gereed. De hoogte van deze zeewering werd vastgelegd ten opzichte van het Amsterdams Peil door het aanbrengen van acht witmarmeren stenen in de aangebrachte sluizen, de zogenaamde stenen van Hudde. In deze stenen was een horizontale groef aangebracht op Zeedijkshoogte, volgens het destijds geldende systeem van eenheden 9 voet en 5 duim boven AP. In het huidige metrische systeem is dat 2.676 m boven AP.

*Nog bestaande Stenen van Hudde in Amsterdamse sluis*



Uit dagelijkse metingen bij de Haarlemmersluis in de jaren 1683-1684 bleek het Amsterdams Peil nagenoeg samen te vallen met het gemiddelde vloedpeil van het IJ, dus niet met het gemiddelde zeeniveau zoals vaak gedacht wordt. Uit de metingen bleek dat het gemiddelde vloedpeil 1,8 mm lager was dan het Amsterdams peil. Naar alle waarschijnlijkheid was het Amsterdams Peil bedoeld om de gemiddelde vloedhoogte op het IJ aan te geven. Aangezien alle acht witmarmeren stenen van Hudde op de zelfde hoogte waren aangebracht in acht verschillende sluizen was het AP hiermee gefixeerd en vastgesteld op 9 voet en 5 duim beneden het merk in de stenen van Hudde.

In de loop van de achttiende eeuw is het AP vanuit Amsterdam overgebracht naar andere plaatsen in het land en daar vastgelegd door middel van peilschalen en merkstenen. Uiteindelijk is in 1818 bij koninklijk besluit bepaald dat het AP voortaan als referentievlak voor heel Nederland is. Tijdens de

eerste verspreiding van het AP naar andere plaatsen in Nederland is niet altijd gebruik gemaakt van het beste meetapparaat. Ook waren de aangebrachte peilschalen en merkstenen niet voldoende gezeurd. Dat bleek toen in de jaren 1875-1885 de eerste controlemeting werd uitgevoerd. Als basis van de eerste controlemeting werden de vijf nog overgebleven Huddestenen in Amsterdam gebruikt. Uit de meetgegevens bleek dat een aantal peilschalen en merkstenen niet meer op de aanvankelijke hoogte in AP lagen. Als gevolg hiervan zijn ter plekke nieuwe of verbeterde peilmaken aangebracht en vanaf 1891 is de naam Amsterdams Peil (AP) veranderd in Normaal Amsterdams Peil (NAP). Dit betekend alleen een naamswijziging van het referentievlak, de hoogte van het referentievlak is ongewijzigd gebleven.

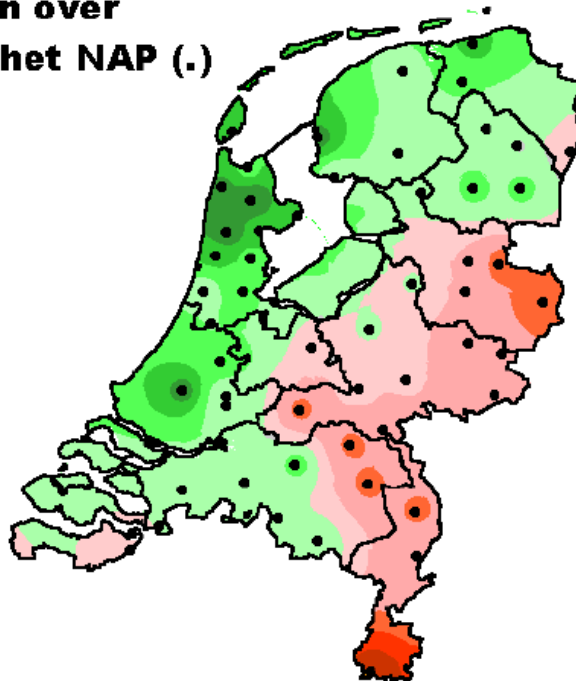
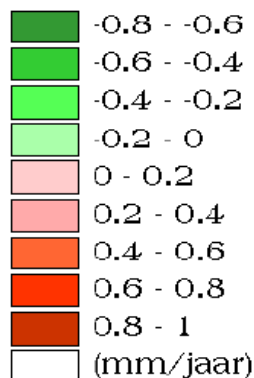
### *Correctie 2005 op het Normaal Amsterdams Peil (NAP)*

In 2005 heeft er voor het eerst sinds 1925 een correctiemeting plaatsgevonden op het meetboutennetwerk van het NAP. De aanleiding hiervoor was dat is gebleken dat de aardkorst onder Nederland in beweging is. Als gevolg hiervan ontstaan in de ondergrond verticale bewegingen die verstoringen in het meetboutennetwerk tot gevolg hebben. Buiten dat kunnen meetbouts ook nog verstoord raken als zich onder de objecten waarin ze zijn aangebracht een klei- en/of veenpakket bevindt, dit wordt overigens nu buiten beschouwing gelaten omdat dit per bout verschilt. De gevolgen van de beweging van de aardkorst kunnen een bodemdaling van maximaal 80 mm per 100 jaar bedragen en een bodemstijging van 100 mm. Dit is verschilt per locatie in Nederland.

*Bodemdaling of bodemstijging in Nederland in mm per jaar. Om de bodemdaling of -stijging per 100 jaar te bepalen dienen de opgegeven waarden met 100 vermenigvuldigd te worden.*

#### **Vertikale bewegingen Pleistoceen**

#### **bepaald uit waterpassingen over ondergrondse merken van het NAP (.)**



RWS Meetkundige Dienst 1997

Grofweg kan gesteld worden dat de bouten waarvan gebruik is gemaakt voor dit onderzoek zo'n 2 cm zijn gezakt in 100 jaar.

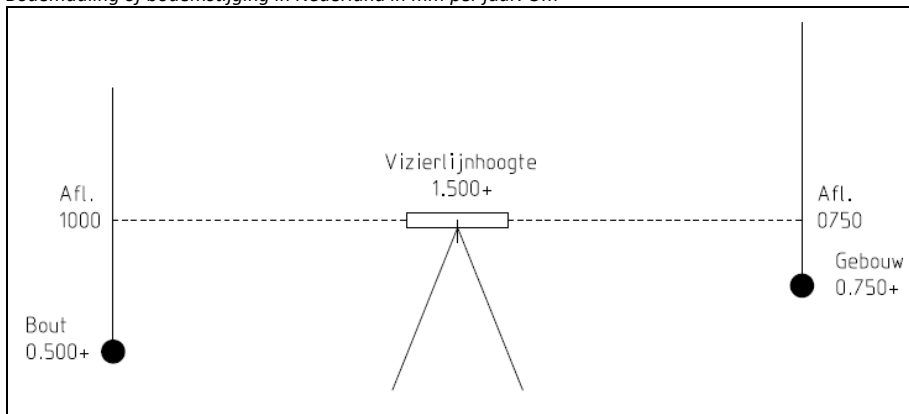


Het betreft de volgende bladen en correcties:

- 25 BZ2: -0.0188
- 25 EZ1: -0.0187
- 25 DN2: -0.0176
- 25 GN1: -0.0170

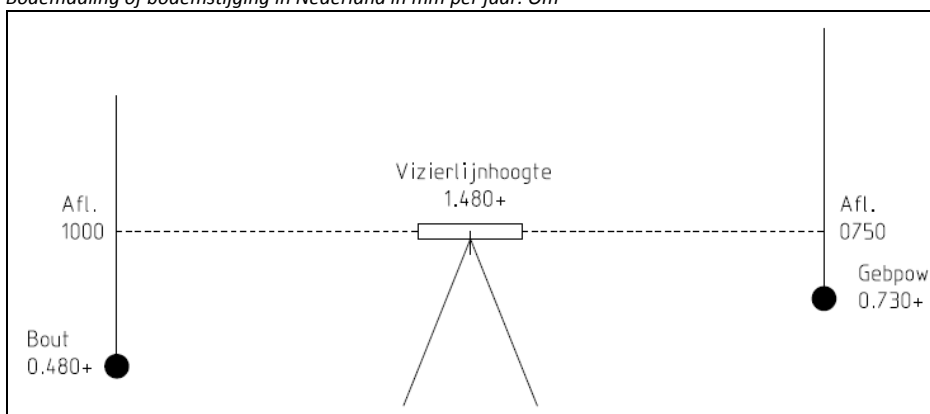
Dit is een zeer belangrijk gegeven voor dit onderzoek. Bij het bepalen van de aanleghoogtes van de geselecteerde gebouwen is destijds gebruik gemaakt van de toen geldende NAP hoogtes. Indien men een gebouw heeft aangelegd op een hoogte van 0.75 m + NAP dan is de situatie zoals weergegeven in onderstaande figuur.

*Bodemdaling of bodemstijging in Nederland in mm per jaar. Om*



Stel dat men de bouthoogte opnieuw heeft vastgesteld en de bouthoogte twee centimeter naar beneden heeft bijgesteld. Als men na de correctie het gebouw opnieuw gaat inmeten dan lijkt het alsof het gebouw twee centimeter is gezakt ten opzichte van de aanleghoogte. Dit is niet juist en leidt verkeerde conclusies, om tot een betere bepaling van de zettingen te komen dient ook de oorspronkelijke aanleghoogte met twee centimeter verlaagd te worden.

*Bodemdaling of bodemstijging in Nederland in mm per jaar. Om*



## **Bijlage 5: Vaststellen parameters**

## Bijlage 5: Vaststellen parameters

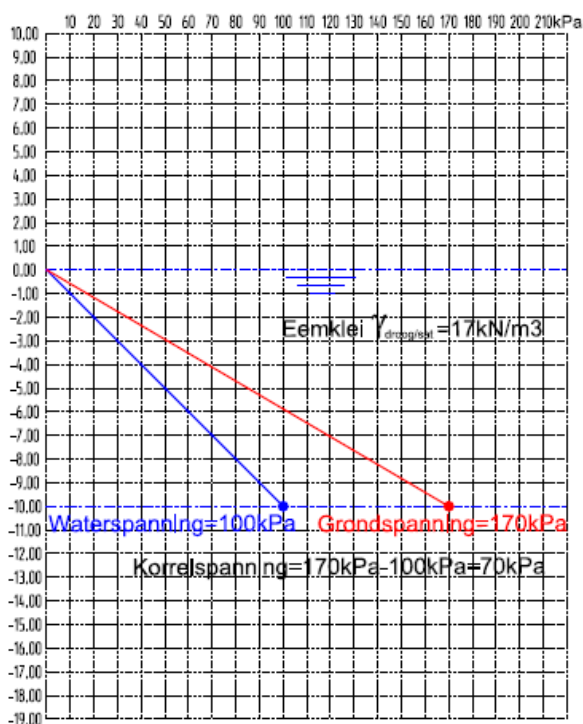
### 3.0.1 Verhoogde grensspanning als gevolg van gedaalde grondwaterstand

Voor het vaststellen van de parameters is gebruik gemaakt van twee boringen in Amsterdam waarbij op verschillende dieptes monsters zijn genomen van de Eemklei en waar men vervolgens samendrukkingsproeven op heeft uitgevoerd. Als boringen worden uitgevoerd om onderzoek naar de geotechnische eigenschappen van grondlagen te doen bestaat het risico dat de grond verstoort raakt tijdens het boren. Dit geldt met name voor een verhoogde grensspanning als gevolg van voorbelasting. Bij Eemklei is in een ver verleden sprake geweest van voorbelasting als gevolg van het droogvallen van de Noordzee tijdens het laatste glaciaal. De Eemklei is gevormd tijdens het interglaciaal door de zee. Door het droogvallen van de Eemklei is de waterspanning uit het materiaal verdwenen waardoor de korrelspanning toeneemt, immers:

$$\text{Korrelspanning} = \text{grondspanning} - \text{waterspanning}$$

Dit betekent dat door het wegvallen van de waterspanning de korrelspanning toeneemt en uiteindelijk gelijk is aan de grondspanning. Door dit proces in het materiaal is er sprake van een voorbelasting waardoor de grensspanning is verhoogd. In de onderstaande grafieken wordt het een en ander verder verduidelijkt.

Grafiek situatie aan het eind van het interglaciaal met een (grond)waterstand gelijk aan het maaiveld (links) en de grafiek situatie tijdens het begin van het laatste glaciaal waarbij de zeespiegel 100 m. is gedaald (rechts). Hierbij is uitgegaan van een situatie waarbij een pakket van 10 meter Eemklei is afgezet tijdens het interglaciaal.



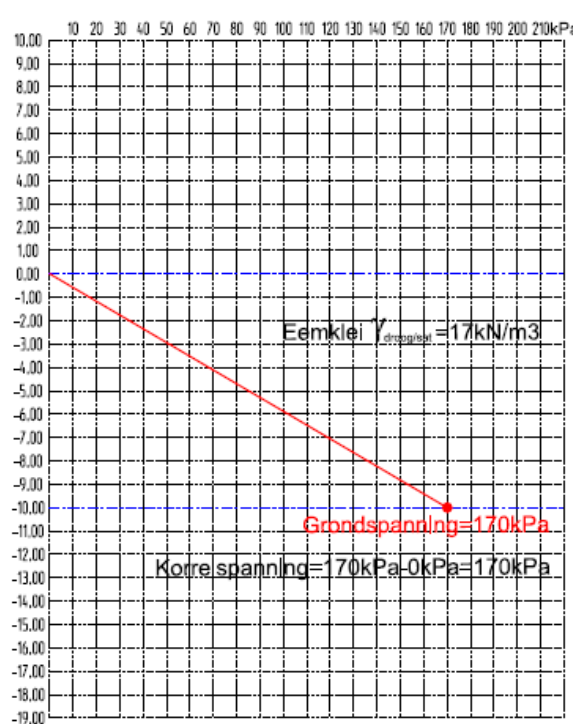
Situatie tijdens het interglaciaal

— Grondspanning

— Waterspanning

Korrelspanning = Grondspanning - Waterspanning

Korrelspanning = 170 kPa - 100 kPa = 70 kPa



Situatie aan het begin van het laatste glaciaal

— Grondspanning

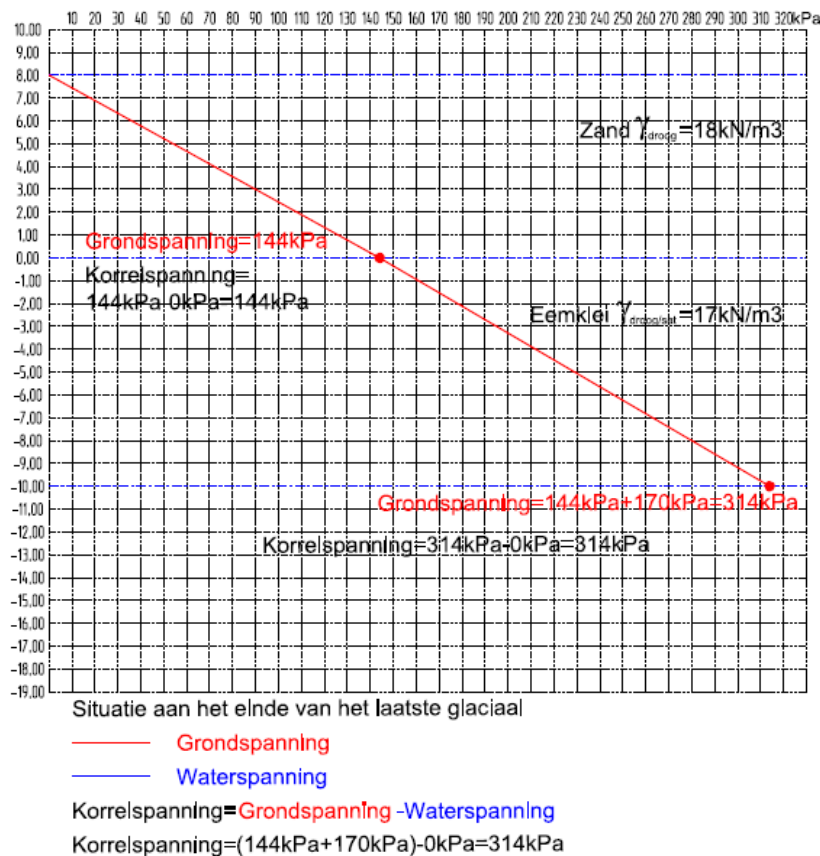
— Waterspanning

Korrelspanning = Grondspanning - Waterspanning

Korrelspanning = 170 kPa - 0 kPa = 170 kPa

Tijdens het interglaciaal hebben zich tevens een aantal zandlagen gevormd op de Eemklei waardoor de korrelspanning verder is toegenomen. Deze zandlagen zijn in Amsterdam beter bekend als de eerste en de tweede dragende zandlaag.

Grafiek van de situatie met de zandafzetting gevormd tijdens het laatste glaciaal. Hierbij is uitgegaan van een situatie waarbij een pakket van 10 meter Eemklei is afgezet tijdens het interglaciaal en een zandafzetting van 8 meter tijdens de laatste glaciaal.

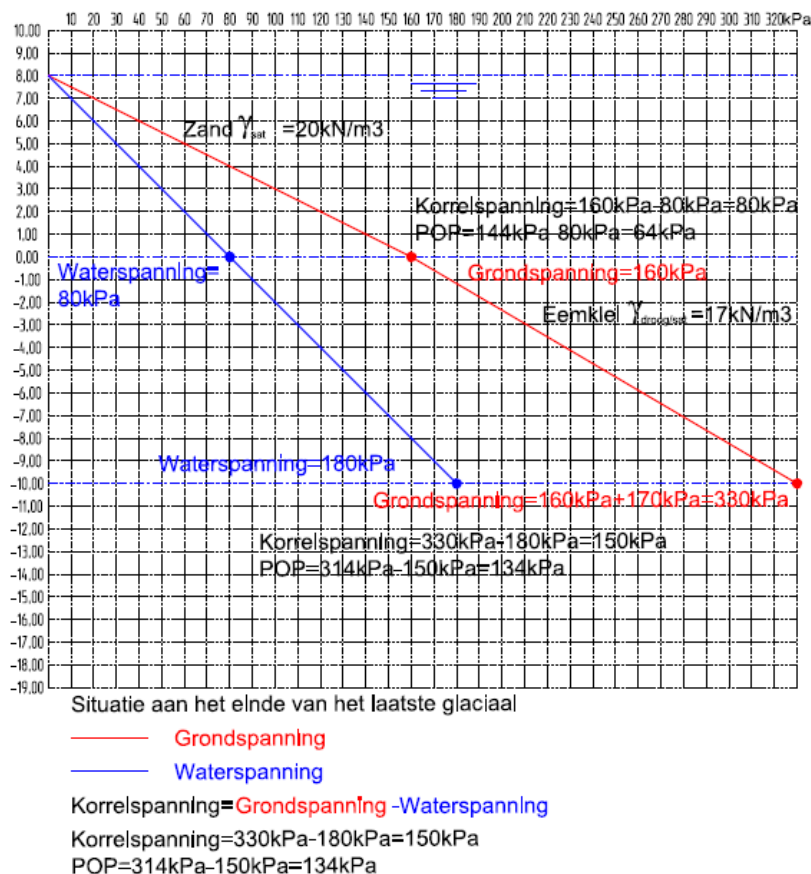


Nadat het laatste glaciaal ten einde was gekomen, smolten de ijskappen die zich op Scandinavië en de Britse eilanden hadden gevormd. Dit had tot gevolg dat de zeespiegel steeg tot het huidige niveau en dat de Eemklei en de zandlaag onder water kwamen te staan. Als gevolg hiervan ontstond opnieuw waterspanning in de Eemklei waardoor de korrelspanning weer afnam. Indien een samendrukbare laag in het verleden is belast door een object of te maken heeft gehad met een verlaagde grondwaterstand waardoor de korrelspanning is verhoogd geweest, dan keert de samendrukbare laag **niet** in de oorspronkelijke staat terug als de korrelspanning weer in oorspronkelijke staat wordt teruggebracht. Met andere woorden: Indien een samendrukbare laag ooit belast is geweest, dan blijven de gevolgen daarvan altijd meetbaar. Het verschil tussen de oorspronkelijke korrelspanning en de verhoogde grensspanning wordt aangeduid met POP. Dit is een afkorting van een Engelse term en staat voor:

#### Preburden overpressure

Vrijelijk vertaald betekent dit de spanningsverhoging als gevolg van voorbelasting. Dit is een belangrijk gegeven in het bepalen van zettingen in samendrukbare lagen waarbij sprake is geweest van voorbelasting. In onderstaande figuur staat grafisch weergegeven wat dat voor gevolgen heeft voor de eerder gegeven voorbeelden.

Grafiek met een weergave van de situatie wanneer de grondwaterstand gelijk is gekomen met de nieuwe maaiveldhoogte. Om de POP inzichtelijk te maken wordt de korrelspanning van de voorgaande figuur verminderd met de korrelspanning uit onderstaande figuur.



De POP wordt dus bepaald door de verhoogde korrelspanning als gevolg van voorbelasting te verminderen met de huidige korrelspanning. De pop loopt theoretisch recht evenredig op met de diepte, bovenin de samendrukbare laag is de POP in dit geval 64 kPa en onderin de samendrukbare laag is de POP 134 kPa. De POP is een belangrijk gegeven in zettingsberekeningen, in een later stadium zal duidelijk worden waarom.

### 5.0.2 Vaststellen parameters grondlagen

Voor het vaststellen van de parameters van Eemklei is gebruikgemaakt van een tweetal boringen met laboratoriumproeven welke afkomstig zijn uit het archief van Fugro. Via internet zijn geen gegevens te achterhalen betreffende Eemklei. Tevens is informatie opgevraagd bij het IBA (Ingenieursbureau Amsterdam) over Eemklei met betrekking tot de aanleg van de Noord-Zuidlijn. Dit heeft geen boringen met laboratoriumproeven opgeleverd maar wel een belangrijke parameter die noodzakelijk is bij een handmatige zettingsberekening, namelijk de afschuifhoek van Eemklei. De boringen die afkomstig zijn uit het archief van Fugro In onderstaande tabel staat meer over de boringen weergegeven.

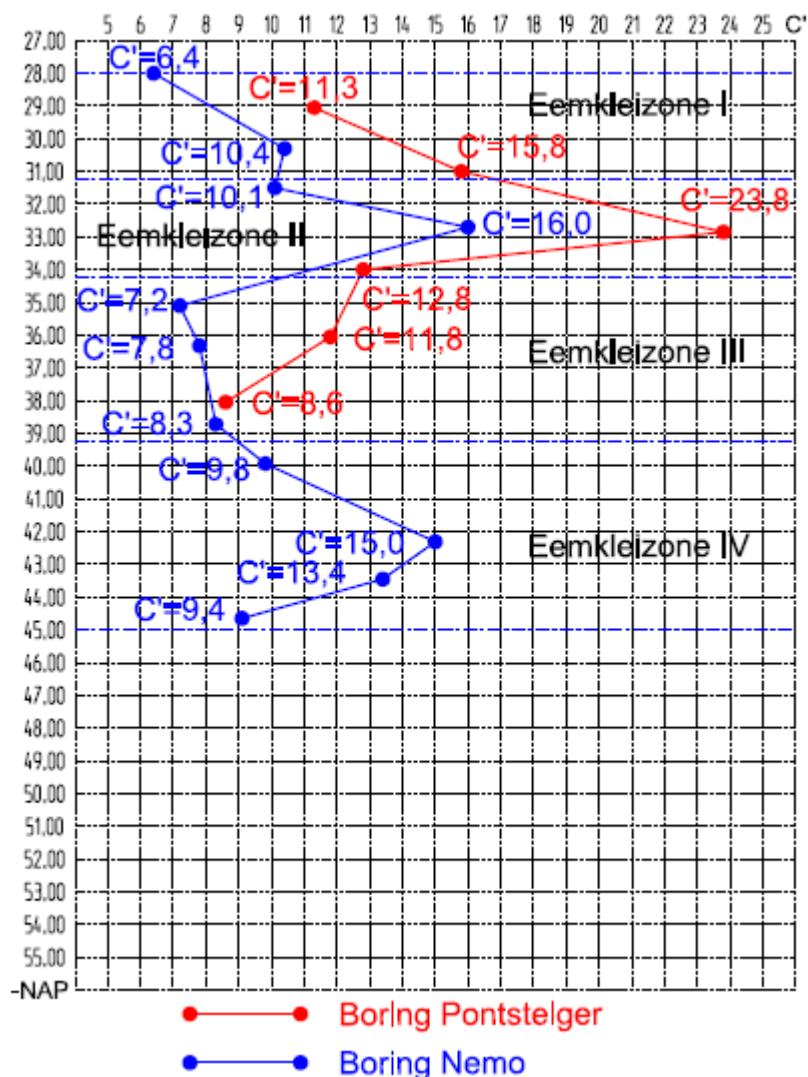
Algemene data aangaande geraadpleegde boringen.

| Locatie        | Van -NAP | Tot -NAP | Aantal monsters |
|----------------|----------|----------|-----------------|
| Pontsteiger    | -29.05   | -38.05   | 6               |
| Nemo/IJ-tunnel | -28.00   | -44.65   | 11              |

Na bestudering van alle beschikbare gegevens wordt duidelijk dat Eemklei geen homogene grondsoort is. Daarom is gekozen om de Eemklei in vier horizontale lagen onder te verdelen.

Afhankelijk van de locatie kunnen zich drie of vier lagen Eemklei onder één van de gekozen gebouwen bevinden. Het uitgangspunt hierbij is dat de bovenste laag als laatste is gevormd, de op één na bovenste als één na laatste is gevormd enz. Dit betekent dat de bovenste laag in ieder geval onder elke locatie aanwezig is. Om tot een onderverdeling te komen is van alle monsters de  $C'$ -waarde bepaald. Deze waarde geeft de stijfheid aan van de Eemklei na de grensspanning. Deze  $c'$ -waarden zijn uitgezet en onderverdeeld in vier zones zoals grafisch weergegeven in onderstaande figuur.

Grafische weergave  $c'$ -waarden en zones in de Eemkleilaag.



Vervolgens is van de parameters die uit de laboratoriumproeven zijn bepaald, wat de gemiddelde waarde is en wat de statistische onder- en bovengrens is per laag. Dit gebeurt door de bovenste en de onderste 5% van de waarden uit te sluiten zodat deze de uitslag van de berekeningen niet in positieve of negatieve zin kunnen beïnvloeden. Dit gebeurt in een aantal stappen. Als eerste wordt de standaardafwijking  $S$  bepaald middels de volgende formule:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{gem})^2}{n-1}}$$

Vervolgens moet  $X_{gem}$  bepaald worden door de gemiddelde waarde van een parameter uit te rekenen. Daarna moet elke bepaalde parameter verminderd worden met  $X_{gem}$  en de uitkomst daarvan in het kwadraat genomen worden. Alle uitkomsten hiervan worden bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal parameters minus één. Vervolgens wordt de wortel getrokken uit deze som en standaardafwijking  $S$  is bekend.

Vervolgens wordt de statistische boven- en ondergrens van elke parameter bepaald met de volgende formule:

$$X_{gem} \pm t \cdot s \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}$$

De enige onbekende in deze formule is de waarde  $t$ , deze wordt bepaald uit onderstaande tabel:

| n-1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 20   | $\infty$ |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| t   | 6,31 | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,89 | 1,86 | 1,83 | 1,81 | 1,72 | 1,64     |

De uitkomsten van de parameters  $C_p$ ,  $C_s$ ,  $C'_p$ ,  $C'_s$  en  $C'$  zijn volgens bovenstaande methode bepaald, voor de grensspanning en de volumieke massa is de gemiddelde waarde per zone aangehouden. Dit is bewust gedaan omdat de grensspanning recht evenredig oploopt met de diepte en daardoor geen spreiding in de proeven kent en de afwijkingen in volumieke massa van Eemklei qua diepte nauwelijks verschillen. De parameters van de Eemklei staan per zone weergegeven in de onderstaande figuur.

*Uitkomsten van de gemiddelde parameters ende statistische boven- en ondergrenzen.*

| Parameter        | $C_p$  | $C_s$   | $C'_p$ | $C'_s$ | $C'$  | $P_g$ | $\gamma_{sat}$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] |
|------------------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|----------------------------------------|
| <b>Zone I:</b>   |        |         |        |        |       |       |                                        |
| $Z_{n,v}$ laag   | 57,35  | 272,89  | 15,54  | 33,76  | 6,43  | 265   | 17,1                                   |
| $Z_{n,v}$ gem    | 85,01  | 557,15  | 20,21  | 102,24 | 10,97 | 265   | 17,1                                   |
| $Z_{n,v}$ hoog   | 112,67 | 841,41  | 24,88  | 170,71 | 15,51 | 265   | 17,1                                   |
| <b>Zone II:</b>  |        |         |        |        |       |       |                                        |
| $Z_{n,v}$ laag   | 52,83  | 382,30  | 19,89  | 11,76  | 8,71  | 300   | 17,7                                   |
| $Z_{n,v}$ gem    | 87,60  | 687,23  | 26,07  | 183,86 | 15,67 | 300   | 17,7                                   |
| $Z_{n,v}$ hoog   | 122,37 | 992,17  | 32,26  | 355,97 | 22,62 | 300   | 17,7                                   |
| <b>Zone III:</b> |        |         |        |        |       |       |                                        |
| $Z_{n,v}$ laag   | 53,14  | 359,56  | 15,55  | 48,15  | 7,03  | 318   | 17,6                                   |
| $Z_{n,v}$ gem    | 106,37 | 807,34  | 17,56  | 71,99  | 8,73  | 318   | 17,6                                   |
| $Z_{n,v}$ hoog   | 159,59 | 1255,12 | 19,58  | 95,83  | 10,43 | 318   | 17,6                                   |
| <b>Zone IV:</b>  |        |         |        |        |       |       |                                        |
| $Z_{n,v}$ laag   | 64,84  | 64,12   | 18,95  | 60,99  | 8,46  | 361   | 17,7                                   |
| $Z_{n,v}$ gem    | 112,69 | 1071,97 | 25,11  | 89,35  | 11,81 | 361   | 17,7                                   |
| $Z_{n,v}$ hoog   | 160,55 | 2208,06 | 31,27  | 117,72 | 15,16 | 361   | 17,7                                   |

## **Bijlage 6: Uitkomsten parameters in Excel**

Rekenblad zettingen Eemklei

Object: Grondmonsters NEMO

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.  
In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.  
Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en op blad drie de zettingen per zettingsgevoelige laag.

|                                                                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Naam object:                                                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
| Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
| Gebruikte sondering                                                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
| Maaiveldhoogte                                                              |        | 1,00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
| Grondwaterstand t.o.v. NAP                                                  |        | -1,00  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
| Onderkant fundering t.o.v. NAP                                              |        | -18,50 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
| Monsternummer:                                                              | A2526  | A2553  | A2582  | A2681  | A2611  | A2665  | A2585  | A2384  | A2578  | A2623  | A2544  | A2545  | A2564  | A2639  | A2608  | A2411  | Totaal | Gemiddeld |
| Diepte t.o.v. NAP                                                           | -28,00 | -30,30 | -31,50 | -32,70 | 35,10  | 36,32  | -38,72 | -39,92 | -42,31 | -43,45 | -44,64 | -47,10 | -48,25 | -50,65 | -52,05 | -54,25 |        |           |
| 1/Cp                                                                        | 0,0095 | 0,0095 | 0,0080 | 0,0110 | 0,0098 | 0,0069 | 0,0056 | 0,0060 | 0,0084 | 0,0108 | 0,0138 | 0,04   | 0,0063 | 0,0054 | 0,0135 | 0,0132 | 0,1777 | 0,0111    |
| 1/Cs                                                                        | 0,0025 | 0,0011 | 0,0010 | 0,0013 | 0,0013 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0012 | 0,0020 | 0,0022 | 0,0007 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0018 | 0,0009 | 0,0205 | 0,0013    |
| 1/C'p                                                                       | 0,0682 | 0,0470 | 0,0482 | 0,0334 | 0,0628 | 0,0566 | 0,0531 | 0,0460 | 0,0322 | 0,0359 | 0,0505 | 0,0269 | 0,0253 | 0,0232 | 0,0429 | 0,0412 | 0,6934 | 0,0433    |
| 1/C's                                                                       | 0,0222 | 0,0123 | 0,0126 | 0,0073 | 0,0191 | 0,0179 | 0,0170 | 0,0141 | 0,0086 | 0,0097 | 0,0149 | 0,0059 | 0,0048 | 0,0045 | 0,0074 | 0,0049 | 0,1832 | 0,0115    |

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{gem.})^2}{n-1}} \text{ en } v = S/X_{gem.} \text{ en } n=16, n-1=15$$

|                                                  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |      |
|--------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|------|
| Monsternummer:                                   | A2526    | A2553    | A2582    | A2681    | A2611    | A2665    | A2585    | A2384    | A2578    | A2623    | A2544    | A2545    | A2564    | A2639    | A2608    | A2411    | s     | v    |
| Diepte t.o.v. NAP                                | -28,00   | -30,30   | -31,50   | -32,70   | 35,10    | 36,32    | -38,72   | -39,92   | -42,31   | -43,45   | -44,64   | -47,10   | -48,25   | -50,65   | -52,05   | -54,25   |       |      |
| (1/Cp-1/Cp <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup>   | 0,000003 | 0,000003 | 0,000010 | 0,000000 | 0,000002 | 0,000018 | 0,000030 | 0,000026 | 0,000007 | 0,000000 | 0,000007 | 0,000835 | 0,000023 | 0,000033 | 0,000006 | 0,000004 | 0,008 | 0,74 |
| (1/Cs-1/Cs <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup>   | 0,000001 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000001 | 0,000000 | 0,000001 | 0,000001 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,001 | 0,45 |
| (1/C'p-1/C'p <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup> | 0,000618 | 0,000013 | 0,000024 | 0,000099 | 0,000379 | 0,000176 | 0,000095 | 0,000007 | 0,000124 | 0,000055 | 0,000051 | 0,000270 | 0,000325 | 0,000406 | 0,000000 | 0,000005 | 0,013 | 0,31 |
| (1/C's-1/C's <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup> | 0,000116 | 0,000001 | 0,000001 | 0,000017 | 0,000059 | 0,000042 | 0,000031 | 0,000007 | 0,000008 | 0,000003 | 0,000012 | 0,000031 | 0,000044 | 0,000048 | 0,000016 | 0,000043 | 0,006 | 0,49 |

Rep – waarde(5%) = X<sub>gem.</sub> ± t \* s  $\frac{1}{\sqrt{n}}$   
Waarbij t wordt bepaald met onderstaande tabel

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n-1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 20   | ∞    |
| t   | 6,31 | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,89 | 1,86 | 1,83 | 1,81 | 1,72 | 1,64 |

|           |                       |                      |                       |
|-----------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Parameter | Z <sub>n;v laag</sub> | Z <sub>n;v gem</sub> | Z <sub>n;v hoog</sub> |
| Cp        | 0,0075                | 0,0111               | 0,0147                |
| Cs        | 0,0010                | 0,0013               | 0,0015                |
| C'p       | 0,0375                | 0,0433               | 0,0492                |
| C's       | 0,0090                | 0,0115               | 0,0139                |
| Pg        | #VERW!                | #VERW!               | #VERW!                |

|                   |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |           |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----------|
| Monsternummer:    | A2526  | A2553  | A2582  | A2681  | A2611 | A2565  | A2585  | A2384  | A2578  | A2623  | A2544  | A2545  | A2564  | A2639  | A2608  | A2411  | Totaal   | Gemiddeld |
| Diepte t.o.v. NAP | -28,00 | -30,30 | -31,50 | -32,70 | 35,10 | 36,32  | -38,72 | -39,92 | -42,31 | -43,45 | -44,64 | -47,10 | -48,25 | -50,65 | -52,05 | -54,25 |          |           |
| Cp                | 105,3  | 105,3  | 125,0  | 90,9   | 102,0 | 144,9  | 178,6  | 166,7  | 119,0  | 92,6   | 72,5   | 25,0   | 158,7  | 185,2  | 74,1   | 75,8   | 1821,49  | 113,84    |
| Cs                | 400,0  | 909,1  | 1000,0 | 769,2  | 769,2 | 1111,1 | 1428,6 | 2500,0 | 833,3  | 500,0  | 454,5  | 1428,6 | 769,2  | 833,3  | 555,6  | 1111,1 | 15372,92 | 960,81    |
| C'p               | 14,7   | 21,3   | 20,7   | 29,9   | 15,9  | 17,7   | 18,8   | 21,7   | 31,1   | 27,9   | 19,8   | 37,2   | 39,5   | 43,1   | 23,3   | 24,3   | 406,89   | 25,43     |
| C's               | 45,0   | 81,3   | 79,4   | 137,0  | 52,4  | 55,9   | 58,8   | 70,9   | 116,3  | 103,1  | 67,1   | 169,5  | 208,3  | 222,2  | 135,1  | 204,1  | 1806,41  | 112,90    |
| Pg                | 230    | 258    | 266    | 299    | 289   | 299    | 325    | 348    | 357    | 359    | 379    | 355    | 387    | 404    | 443    | 436    | 5434,00  | 339,63    |
| C'                | 6,4    | 10,4   | 10,1   | 16,0   | 7,2   | 7,8    | 8,3    | 9,8    | 15,0   | 13,4   | 9,1    | 19,8   | 22,5   | 24,3   | 13,8   | 16,4   |          |           |

Rekenblad zettingen Eemklei

Object: Grondmonsters Pontsteiger

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden. In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object. Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en op blad drie de z

|                                                                             |        |        |        |        |        |        |         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Naam object: Wolkenkrabber                                                  |        |        |        |        |        |        |         |        |
| Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag |        |        |        |        |        |        |         |        |
| Gebruikte sondering                                                         |        |        |        |        |        |        |         |        |
| Maaiveldhoogte                                                              |        | 1,00   |        |        |        |        |         |        |
| Grondwaterstand t.o.v. NAP                                                  |        | -1,00  |        |        |        |        |         |        |
| Onderkant fundering t.o.v. NAP                                              |        | -18,50 |        |        |        |        |         |        |
| Grondsoort: Eemklei                                                         |        | -18,50 |        |        |        |        |         |        |
| Monsternummer:                                                              | 12     | 14     | 16     | 17     | 19     | 21     | Totaal  | Gem.   |
| Diepte t.o.v. NAP                                                           | -29,05 | -31,00 | -32,85 | -34,00 | -36,05 | -38,05 |         |        |
| Cp                                                                          | 68     | 61,5   | 53,3   | 81,2   | 60,4   | 45,9   | 370,30  | 61,72  |
| Cs                                                                          | 523,2  | 396,3  | 390,9  | 588,8  | 437,9  | 289,9  | 2627,00 | 437,83 |
| C'p                                                                         | 20,8   | 24,1   | 31,2   | 22,4   | 20,3   | 15,1   | 133,90  | 22,32  |
| C's                                                                         | 99,9   | 182,7  | 400,6  | 118,5  | 112,1  | 80,8   | 994,60  | 165,77 |
| C'                                                                          | 11,3   | 15,8   | 23,8   | 12,8   | 11,8   | 8,6    |         |        |
| Pg                                                                          | 278    | 295    | 312    | 323    | 338    | 341    | 1887,00 | 314,50 |

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{gem.})^2}{n-1}}$$
 en  $v = S/X_{gem.}$  en  $n=6, n-1=5$

|                                              |         |         |          |          |         |          |        |      |
|----------------------------------------------|---------|---------|----------|----------|---------|----------|--------|------|
| Monsternummer:                               | 12      | 14      | 16       | 17       | 19      | 21       | s      | v    |
| Diepte t.o.v. NAP                            | -29,05  | -31,00  | -32,85   | -34,00   | -36,05  | -38,05   |        |      |
| (Cp-Cp <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup>   | 39,48   | 0,05    | 70,84    | 379,60   | 1,73    | 250,17   | 12,18  | 0,20 |
| (Cs-Cs <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup>   | 7287,47 | 1725,02 | 2202,74  | 22790,93 | 0,00    | 21884,27 | 105,73 | 0,24 |
| (C'p-C'p <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup> | 2,30    | 3,18    | 78,91    | 0,01     | 4,07    | 52,08    | 5,30   | 0,24 |
| (C's-C's <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup> | 4338,42 | 286,74  | 55146,69 | 2234,14  | 2880,11 | 7219,33  | 120,09 | 0,72 |
| (Pg-Pg <sub>gemiddeld</sub> ) <sup>2</sup>   | 1332,25 | 380,25  | 6,25     | 72,25    | 552,25  | 702,25   | 24,68  | 0,08 |

$$Rep - waarde(5\%) = X_{gem.} \pm t * s * \frac{1}{\sqrt{n}}$$
  
Waarbij t wordt bepaald met onderstaande tabel

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n-1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 20   | ∞    |
| t   | 6,31 | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,89 | 1,86 | 1,83 | 1,81 | 1,72 | 1,64 |

|           |                       |                      |                       |    |      |      |      |
|-----------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----|------|------|------|
| Parameter | Z <sub>n;v laag</sub> | Z <sub>n;v gem</sub> | Z <sub>n;v hoog</sub> |    | laag | gem  | hoog |
| Cp        | 51,72                 | 61,72                | 71,71                 | C  | 32,5 | 39,5 | 46,4 |
| Cs        | 351,08                | 437,83               | 524,59                |    |      |      |      |
| C'p       | 17,97                 | 22,32                | 26,67                 | C' | 8,7  | 14,5 | 19,0 |
| C's       | 67,23                 | 165,77               | 264,31                |    |      |      |      |
| Pg        | 314,50                | 314,50               | 314,50                |    |      |      |      |

Rekenblad zettingen Eemklei

Object: Parameters zone I

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bev  
In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.  
Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en o

|                                                                             |        |        |        |        |         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Naam object: Sky Dome                                                       |        |        |        |        |         |        |
| Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag |        |        |        |        |         |        |
| Gebruikte sondering                                                         |        |        |        |        |         |        |
| Maaiveldhoogte                                                              |        | 1,00   |        |        |         |        |
| Grondwaterstand t.o.v. NAP                                                  |        | -1,00  |        |        |         |        |
| Onderkant fundering t.o.v. NAP                                              |        | -18,50 |        |        |         |        |
| Zone I                                                                      |        |        |        |        |         |        |
| Diepte van/tot NAP                                                          | -28,00 | -31,00 |        |        |         |        |
| Monsternummer:                                                              | A2526  | 12     | A2553  | 14     | Totaal  | Gem.   |
| Diepte t.o.v. NAP                                                           | -28,00 | -29,05 | -30,30 | -31,00 |         |        |
| Cp                                                                          | 105,3  | 68,0   | 105,3  | 61,5   | 340,03  | 85,01  |
| Cs                                                                          | 400,0  | 523,2  | 909,1  | 396,3  | 2228,59 | 557,15 |
| C'p                                                                         | 14,7   | 20,8   | 21,3   | 24,1   | 80,84   | 20,21  |
| C's                                                                         | 45,0   | 99,9   | 81,3   | 182,7  | 408,95  | 102,24 |
| Pg                                                                          | 230    | 278    | 258    | 295    | 1061    | 265    |
| C'                                                                          | 6,4    | 11,3   | 10,4   | 15,8   | 43,89   | 10,97  |
| γsat [kN/m³]                                                                | 16,6   | 17,8   | 15,4   | 18,6   | 68,40   | 17,10  |

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - Xgem.)^2}{n-1}}$$
 en  $v = S/Xgem.$  en  $n=4, n-1=3$

|                                  |         |        |        |         |        |      |
|----------------------------------|---------|--------|--------|---------|--------|------|
| Zone 1, Monsternummer:           | A2526   | 12     | A2553  | 14      | s      | v    |
| Diepte t.o.v. NAP                | -28,00  | -29,05 | -30,30 | -31,00  |        |      |
| (Cp-Cp <sub>gemiddeld</sub> )²   | 410,33  | 289,22 | 410,33 | 552,56  | 23,54  | 0,28 |
| (Cs-Cs <sub>gemiddeld</sub> )²   | 24695   | 1152   | 123864 | 25872   | 241,93 | 0,43 |
| (C'p-C'p <sub>gemiddeld</sub> )² | 30,77   | 0,35   | 1,14   | 15,13   | 3,97   | 0,20 |
| (C's-C's <sub>gemiddeld</sub> )² | 3270,86 | 5,46   | 438,30 | 6474,38 | 58,28  | 0,57 |
| (C'-C' <sub>gemiddeld</sub> )²   | 21,19   | 0,14   | 0,33   | 23,08   | 3,86   | 0,35 |

$$Rep - waarde(5\%) = Xgem. \pm t * s \frac{1}{\sqrt{n}}$$
  
Waarbij t wordt bepaald met onderstaande tabel

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n-1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 20   | ∞    |
| t   | 6,31 | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,89 | 1,86 | 1,83 | 1,81 | 1,72 | 1,64 |

|              |                       |                      |                       |
|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Parameter    | Z <sub>n;v laag</sub> | Z <sub>n;v gem</sub> | Z <sub>n;v hoog</sub> |
| Cp           | 57,35                 | 85,01                | 112,67                |
| Cs           | 272,89                | 557,15               | 841,41                |
| C'p          | 15,54                 | 20,21                | 24,88                 |
| C's          | 33,76                 | 102,24               | 170,71                |
| Pg           | 265                   | 265                  | 265                   |
| C'           | 6,43                  | 10,97                | 15,51                 |
| γsat [kN/m³] | 17,10                 | 17,10                | 17,10                 |

Rekenblad zettingen Eemklei

Object: 

Parameters zone II

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bev  
In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.  
Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en o

|                                                                             |  |        |        |        |        |         |
|-----------------------------------------------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|---------|
| Naam object: Sky Dome                                                       |  |        |        |        |        |         |
| Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag |  |        |        |        |        |         |
| Gebruikte sondering                                                         |  |        |        |        |        |         |
| Maaiveldhoogte                                                              |  | 1,00   |        |        |        |         |
| Grondwaterstand t.o.v. NAP                                                  |  | -1,00  |        |        |        |         |
| Onderkant fundering t.o.v. NAP                                              |  | -18,50 |        |        |        |         |
| Zone II                                                                     |  |        |        |        |        |         |
| Diepte van/tot NAP                                                          |  | -31,00 | -34,50 |        |        |         |
| Monsternummer:                                                              |  | A2582  | A2681  | 16     | 17     | Totaal  |
| Diepte t.o.v. NAP                                                           |  | -31,50 | -32,70 | -32,85 | -34,00 | Gem.    |
| Cp                                                                          |  | 125,0  | 90,9   | 53,3   | 81,2   | 350,41  |
| Cs                                                                          |  | 1000,0 | 769,2  | 390,9  | 588,8  | 2748,93 |
| C'p                                                                         |  | 20,7   | 29,9   | 31,2   | 22,4   | 104,29  |
| C's                                                                         |  | 79,4   | 137,0  | 400,6  | 118,5  | 735,45  |
| Pg                                                                          |  | 266    | 299    | 312    | 323    | 1200,00 |
| C'                                                                          |  | 10,1   | 16,0   | 23,8   | 12,8   | 62,66   |
| γsat [kN/m³]                                                                |  | 16,1   | 17,1   | 18,7   | 18,7   | 70,60   |
|                                                                             |  |        |        |        |        | 17,65   |

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - X_{gem.})^2}{n-1}}$$

en  $v = S/X_{gem.}$  en  $n=4, n-1=3$

|                                  |          |         |          |         |        |      |
|----------------------------------|----------|---------|----------|---------|--------|------|
| Monsternummer:                   | A2582    | A2681   | 16       | 17      | s      | v    |
| Diepte t.o.v. NAP                | -31,50   | -32,70  | -32,85   | -34,00  |        |      |
| (Cp-Cp <sub>gemiddeld</sub> )²   | 1398,59  | 10,94   | 1176,65  | 40,99   | 29,59  | 0,34 |
| (Cs-Cs <sub>gemiddeld</sub> )²   | 97823    | 6724    | 87813    | 9689    | 259,52 | 0,38 |
| (C'p-C'p <sub>gemiddeld</sub> )² | 28,35    | 14,96   | 26,30    | 13,48   | 5,26   | 0,20 |
| (C's-C's <sub>gemiddeld</sub> )² | 10919,78 | 2197,41 | 46974,99 | 4272,30 | 146,47 | 0,80 |
| (C'-C' <sub>gemiddeld</sub> )²   | 30,51    | 0,10    | 66,00    | 8,47    | 5,92   | 0,38 |

$$Rep - waarde(5\%) = X_{gem.} \pm t * s \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Waarbij t wordt bepaald met onderstaande tabel

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n-1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 20   | ∞    |
| t   | 6,31 | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,89 | 1,86 | 1,83 | 1,81 | 1,72 | 1,64 |

|              |                       |                      |                       |
|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Parameter    | Z <sub>n;v laag</sub> | Z <sub>n;v gem</sub> | Z <sub>n;v hoog</sub> |
| Cp           | 52,83                 | 87,60                | 122,37                |
| Cs           | 382,30                | 687,23               | 992,17                |
| C'p          | 19,89                 | 26,07                | 32,26                 |
| C's          | 11,76                 | 183,86               | 355,97                |
| Pg           | 300,00                | 300,00               | 300,00                |
| C'           | 8,71                  | 15,67                | 22,62                 |
| γsat [kN/m³] | 17,65                 | 17,65                | 17,65                 |

Rekenblad zettingen Eemklei

Object: Parameters zone III

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden. In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object. Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en op blad drie

|                                                                             |       |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Naam object: Sky Dome                                                       |       |        |        |        |        |        |        |
| Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag |       |        |        |        |        |        |        |
| Gebruikte sondering                                                         |       |        |        |        |        |        |        |
| Maaiveldhoogte                                                              |       | 1,00   |        |        |        |        |        |
| Grondwaterstand t.o.v. NAP                                                  |       | -1,00  |        |        |        |        |        |
| Onderkant fundering t.o.v. NAP                                              |       | -18,50 |        |        |        |        |        |
| Zone II                                                                     |       |        |        |        |        |        |        |
| Diepte van/tot NAP                                                          |       | -34,50 | -39,50 |        |        |        |        |
| Monsternummer:                                                              | A2611 | 19     | A2565  | 21     | A2585  | Totaal | Gem.   |
| Diepte t.o.v. NAP                                                           |       | -35,10 | -36,05 | -36,32 | -38,05 | -38,72 |        |
| Cp                                                                          | 102,0 | 60,4   | 144,9  | 45,9   | 178,6  | 531,8  | 106,37 |
| Cs                                                                          | 769,2 | 437,9  | 1111,1 | 289,9  | 1428,6 | 4036,7 | 807,34 |
| C'p                                                                         | 15,9  | 20,3   | 17,7   | 15,1   | 18,8   | 87,8   | 17,56  |
| C's                                                                         | 52,4  | 112,1  | 55,9   | 80,8   | 58,8   | 359,9  | 71,99  |
| Pg                                                                          | 289   | 338    | 299    | 341    | 325    | 1592   | 318    |
| C'                                                                          | 7,2   | 11,8   | 7,8    | 8,6    | 8,3    | 43,66  | 8,7    |
| γsat [kN/m³]                                                                | 16,6  | 18,8   | 16,9   | 18,8   | 16,9   | 88,00  | 17,6   |

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - X_{gem.})^2}{n-1}}$$
 en  $v = S/X_{gem.}$  en  $n=5, n-1=4$

|                                  |       |        |         |         |         |         |        |
|----------------------------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Monsternummer:                   | A2611 | 19     | A2565   | 21      | A2585   | s       | v      |
| Diepte t.o.v. NAP                |       | -35,10 | -36,05  | -36,32  | -38,05  | -38,72  |        |
| (Cp-Cp <sub>gemiddeld</sub> )²   |       | 18,72  | 2113,05 | 1486,84 | 3656,37 | 5213,34 | 55,88  |
| (Cs-Cs <sub>gemiddeld</sub> )²   |       | 1453   | 136488  | 92275   | 267747  | 385925  | 470,08 |
| (C'p-C'p <sub>gemiddeld</sub> )² |       | 2,69   | 7,48    | 0,01    | 6,08    | 1,61    | 2,11   |
| (C's-C's <sub>gemiddeld</sub> )² |       | 385,46 | 1608,88 | 259,96  | 77,63   | 173,33  | 25,03  |
| (C'-C' <sub>gemiddeld</sub> )²   |       | 2,39   | 9,25    | 0,87    | 0,01    | 0,22    | 1,78   |

$$Rep - waarde(5\%) = X_{gem.} \pm t * s \frac{1}{\sqrt{n}}$$
  
Waarbij t wordt bepaald met onderstaande tabel

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n-1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 20   | ∞    |
| t   | 6,31 | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,89 | 1,86 | 1,83 | 1,81 | 1,72 | 1,64 |

|              |                       |                      |                       |
|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Parameter    | Z <sub>n;v laag</sub> | Z <sub>n;v gem</sub> | Z <sub>n;v hoog</sub> |
| Cp           | 53,14                 | 106,37               | 159,59                |
| Cs           | 359,56                | 807,34               | 1255,12               |
| C'p          | 15,55                 | 17,56                | 19,58                 |
| C's          | 48,15                 | 71,99                | 95,83                 |
| Pg           | 318,40                | 318,40               | 318,40                |
| C'           | 7,03                  | 8,73                 | 10,43                 |
| γsat [kN/m³] | 17,60                 | 17,60                | 17,60                 |

Rekenblad zettingen Eemklei

Object: Parameters zone IV

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bev  
In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.  
Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en o

|                                                                             |        |        |        |        |         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Naam object: Sky Dome                                                       |        |        |        |        |         |        |
| Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag |        |        |        |        |         |        |
| Gebruikte sondering                                                         |        |        |        |        |         |        |
| Maaiveldhoogte                                                              |        | 1,00   |        |        |         |        |
| Grondwaterstand t.o.v. NAP                                                  |        | -1,00  |        |        |         |        |
| Onderkant fundering t.o.v. NAP                                              |        | -18,50 |        |        |         |        |
| Zone II                                                                     |        |        |        |        |         |        |
| Diepte van/tot NAP                                                          |        | -34,50 | -45,00 |        |         |        |
| Monsternummer:                                                              | A2384  | A2578  | A2623  | A2544  | Totaal  | Gem.   |
| Diepte t.o.v. NAP                                                           | -39,92 | -42,31 | -43,45 | -44,64 |         |        |
| Cp                                                                          | 166,7  | 119,0  | 92,6   | 72,5   | 450,77  | 112,7  |
| Cs                                                                          | 2500,0 | 833,3  | 500,0  | 454,5  | 4287,88 | 1072,0 |
| C'p                                                                         | 21,7   | 31,1   | 27,9   | 19,8   | 100,45  | 25,1   |
| C's                                                                         | 70,9   | 116,3  | 103,1  | 67,1   | 357,41  | 89,4   |
| Pg                                                                          | 348,0  | 357,0  | 359,0  | 379,0  | 1443,00 | 360,8  |
| C'                                                                          | 9,8    | 15,0   | 13,4   | 9,1    | 47,25   | 11,8   |
| γsat [kN/m³]                                                                | 16,1   | 17,1   | 18,7   | 18,7   | 70,6    | 17,7   |

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - X_{gem.})^2}{n-1}}$$
 en  $v = S/X_{gem.}$  en  $n=4, n-1=3$

|                                  |         |        |        |         |        |      |
|----------------------------------|---------|--------|--------|---------|--------|------|
| Monsternummer:                   | A2384   | A2578  | A2623  | A2544   | s      | v    |
| Diepte t.o.v. NAP                | -39,92  | -42,31 | -43,45 | -44,64  |        |      |
| (Cp-Cp <sub>gemiddeld</sub> )²   | 2913,19 | 40,39  | 404,01 | 1618,36 | 40,73  | 0,36 |
| (Cs-Cs <sub>gemiddeld</sub> )²   | 2039271 | 56947  | 327149 | 381213  | 966,88 | 0,90 |
| (C'p-C'p <sub>gemiddeld</sub> )² | 11,38   | 35,32  | 7,52   | 28,21   | 5,24   | 0,21 |
| (C's-C's <sub>gemiddeld</sub> )² | 339,66  | 725,07 | 188,81 | 494,52  | 24,14  | 0,27 |
| (C'-C' <sub>gemiddeld</sub> )²   | 4,19    | 10,26  | 2,48   | 7,45    | 2,85   | 0,24 |

$$Rep - waarde(5\%) = X_{gem.} \pm t * s \frac{1}{\sqrt{n}}$$
  
Waarbij t wordt bepaald met onderstaande tabel

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n-1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 20   | ∞    |
| t   | 6,31 | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,89 | 1,86 | 1,83 | 1,81 | 1,72 | 1,64 |

|              |                       |                      |                       |
|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Parameter    | Z <sub>n;v laag</sub> | Z <sub>n;v gem</sub> | Z <sub>n;v hoog</sub> |
| Cp           | 64,84                 | 112,69               | 160,55                |
| Cs           | -64,12                | 1071,97              | 2208,06               |
| C'p          | 18,95                 | 25,11                | 31,27                 |
| C's          | 60,99                 | 89,35                | 117,72                |
| Pg           | 360,75                | 360,75               | 360,75                |
| C'           | 8,46                  | 11,81                | 15,16                 |
| γsat [kN/m³] | 17,65                 | 17,65                | 17,65                 |

## **Bijlage 7: Uitkomsten zettingsberekeningen Wolkenkrabber**

## Rekenblad zettingen Eemklei

Object:

Wolkenkrabber

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.

In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.

Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en op blad drie de zettingen per zettingsgevoelige laag.

| Naam object: Wolkenkrabber                                                  |           |           |           |                                     |                                       |                                       |                         |                                         |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag |           |           |           |                                     |                                       |                                       |                         |                                         |                                     |
| Gebruikte sondering                                                         |           |           |           |                                     |                                       |                                       |                         |                                         |                                     |
| Maaiveldhoogte                                                              |           | 1,00      |           |                                     |                                       |                                       |                         |                                         |                                     |
| Grondwaterstand t.o.v. NAP                                                  |           | -1,00     |           |                                     |                                       |                                       |                         |                                         |                                     |
| Onderkant fundering t.o.v. NAP                                              |           | -13,00    |           |                                     |                                       |                                       |                         |                                         |                                     |
| Grondsoort                                                                  | van m NAP | tot m NAP | Laagdikte | $\gamma_{rep}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\gamma_{water}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\gamma_{d,eff}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\sigma'_{v;z;d}$ [kPa] | $\sigma'_{v;z;d}$ [kPa] onderzijde laag | $\sigma'_{v;z;d}$ [kPa] midden laag |
| Zand, droog                                                                 | 1,00      | -1,00     | 2,00      | 18                                  | 0                                     | 18                                    | 36                      | 36                                      | 18                                  |
| Zand, nat                                                                   | -1,00     | -3,50     | 2,50      | 20                                  | 10                                    | 10                                    | 25                      | 61                                      | 49                                  |
| Veen, nat                                                                   | -3,50     | -5,50     | 2,00      | 11                                  | 10                                    | 1                                     | 2                       | 63                                      | 62                                  |
| Klei, nat                                                                   | -5,50     | -10,00    | 4,50      | 14                                  | 10                                    | 4                                     | 18                      | 81                                      | 72                                  |
| Veen, nat                                                                   | -10,00    | -11,00    | 1,00      | 11                                  | 10                                    | 1                                     | 1                       | 82                                      | 82                                  |
| Zand, nat                                                                   | -11,00    | -19,00    | 8,00      | 20                                  | 10                                    | 10                                    | 80                      | 162                                     | 122                                 |
| Eemklei zone I                                                              | -19,00    | -21,00    | 2,00      | 17,1                                | 10                                    | 7,1                                   | 14,2                    | 176,2                                   | 169                                 |
| Eemklei zone II                                                             | -21,00    | -23,00    | 2,00      | 17,7                                | 10                                    | 7,7                                   | 15,4                    | 191,6                                   | 184                                 |
| Eemklei zone III                                                            | -23,00    | -26,00    | 3,00      | 17,6                                | 10                                    | 7,6                                   | 22,8                    | 214,4                                   | 203                                 |

## Rekenblad zettingen Eemklei

Object:

Wolkenkrabber

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.

In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.

horizontaal en op gelijke diepgang te houden.

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Naam object: Wolkenkrabber         |                         |
| Afmeting breedte object            | 16,00 m                 |
| Afmeting lengte object             | 25,00 m                 |
| Oppervlakte object                 | 400,00 m <sup>2</sup>   |
| Gewicht object inclusief fundering | 63800 kN                |
| Belasting per vierkante meter      | 159,5 kN/m <sup>2</sup> |

|                          | Laagdikte<br>m | Afschuifhoek<br>$\phi'$ [°] | Resulterende breedte<br>m | Resulterende lengte<br>m | Resultierend oppervlak<br>m <sup>2</sup> | Resulterende druk<br>kN/m <sup>2</sup> |
|--------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| Onderzijde laag 1        | 6,00           | 30,00                       | 22,928                    | 31,928                   | 732,056                                  | 87                                     |
| Midden zone I, Eemklei   | 2,00           | 33,50                       | 24,252                    | 33,252                   | 806,426                                  | 79                                     |
| Midden zone II, Eemklei  | 2,00           | 33,50                       | 26,900                    | 35,900                   | 965,680                                  | 66                                     |
| Midden zone III, Eemklei | 3,00           | 33,50                       | 30,209                    | 39,209                   | 1184,461                                 | 54                                     |

Object: **Wolkenkrabber**
$$\frac{\Delta h}{h_0} = \left[ \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log(t) \right] * \ln\left(\frac{P_g}{P_{g'0}}\right) + \left[ \frac{1}{C_{p'}} + \frac{1}{C_{s'}} * \log(t) \right] * \ln\left(\frac{P_{g'i}}{P_g}\right)$$
$$\Delta h = \text{Zetting maaiveld}$$

| Zone I                | Cp    | 1/Cp | Cs    | 1/Cs  | t in dagen | log(t) | Pg  | 6'0 | ln(pg/6'0) | C'p  | 1/C'p | C's   | 1/C's | t in dagen | log(t) | 6'i | Pg  | ln(6'i/Pg) | h0   | hΔ/h0 | hΔ    |
|-----------------------|-------|------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|
| Z <sub>n,v</sub> laag | 57,3  | 0,02 | 272,9 | 0,004 | 29200      | 4,465  | 265 | 169 | 0,38       | 15,5 | 0,06  | 33,8  | 0,030 | 29200      | 4,465  | 248 | 265 | 0,00       | 3,00 | 0,01  | 0,039 |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 85,0  | 0,01 | 557,1 | 0,002 | 29200      | 4,465  | 265 | 169 | 0,38       | 20,2 | 0,05  | 102,2 | 0,010 | 29200      | 4,465  | 248 | 265 | 0,00       | 3,00 | 0,01  | 0,023 |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 112,7 | 0,01 | 841,4 | 0,001 | 29200      | 4,465  | 265 | 169 | 0,38       | 24,9 | 0,04  | 170,7 | 0,006 | 29200      | 4,465  | 248 | 265 | 0,00       | 3,00 | 0,01  | 0,016 |

| Zone II               | Cp    | 1/Cp | Cs    | 1/Cs  | t in dagen | log(t) | Pg  | 6'0 | ln(pg/6'0) | C'p  | 1/C'p | C's   | 1/C's | t in dagen | log(t) | 6'i | Pg  | ln(6'i/Pg) | h0   | hΔ/h0 | hΔ    |
|-----------------------|-------|------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|
| Z <sub>n,v</sub> laag | 52,8  | 0,02 | 382,3 | 0,003 | 29200      | 4,465  | 300 | 184 | 0,31       | 19,9 | 0,05  | 11,8  | 0,085 | 29200      | 4,465  | 250 | 300 | 0,00       | 3,50 | 0,01  | 0,033 |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 87,6  | 0,01 | 687,2 | 0,001 | 29200      | 4,465  | 300 | 184 | 0,31       | 26,1 | 0,04  | 183,9 | 0,005 | 29200      | 4,465  | 250 | 300 | 0,00       | 3,50 | 0,01  | 0,019 |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 122,4 | 0,01 | 992,2 | 0,001 | 29200      | 4,465  | 300 | 184 | 0,31       | 32,3 | 0,03  | 356,0 | 0,003 | 29200      | 4,465  | 250 | 300 | 0,00       | 3,50 | 0,00  | 0,014 |

| Zone III              | Cp    | 1/Cp | Cs     | 1/Cs  | t in dagen | log(t) | Pg  | 6°0 | ln(pg/6°0) | C'p  | 1/C'p | C's  | 1/C's | t in dagen | log(t) | 6°i | Pg  | ln(6°i/Pg) | h0   | hΔ/h0 | hΔ    |
|-----------------------|-------|------|--------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|
| Z <sub>n,v</sub> laag | 53,1  | 0,02 | 359,6  | 0,003 | 29200      | 4,465  | 318 | 203 | 0,24       | 15,6 | 0,06  | 48,1 | 0,021 | 29200      | 4,465  | 257 | 318 | 0,00       | 5,00 | 0,01  | 0,037 |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 106,4 | 0,01 | 807,3  | 0,001 | 29200      | 4,465  | 318 | 203 | 0,24       | 17,6 | 0,06  | 72,0 | 0,014 | 29200      | 4,465  | 257 | 318 | 0,00       | 5,00 | 0,00  | 0,018 |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 159,6 | 0,01 | 1255,1 | 0,001 | 29200      | 4,465  | 318 | 203 | 0,24       | 19,6 | 0,05  | 95,8 | 0,010 | 29200      | 4,465  | 257 | 318 | 0,00       | 5,00 | 0,00  | 0,012 |

[illegible]

## **Report for D-Settlement 14.1**

Settlement Calculations  
Developed by Deltares

Company: Fugro

Date of report: 5-2-2015

Time of report: 17:36:16

Date of calculation: 5-2-2015

Time of calculation: 17:35:54

Filename: F:\D-settle\Wolkenkrabber\Wolkenkrabber\_fitten

## 1 Table of Contents

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1 Table of Contents                                   | 2  |
| 2 Echo of the Input                                   | 3  |
| 2.1 Layer Boundaries                                  | 3  |
| 2.2 PL Lines                                          | 3  |
| 2.3 General Data                                      | 3  |
| 2.4 Soil Profiles                                     | 3  |
| 2.5 Soil Properties                                   | 4  |
| 2.6 Rectangular Loads                                 | 4  |
| 2.7 Verticals                                         | 5  |
| 3 Results per Vertical                                | 6  |
| 3.1 Results for Vertical 1 (X = 37,50 m; Z = 50,00 m) | 6  |
| 3.2 Results for Vertical 2 (X = 50,00 m; Z = 50,00 m) | 7  |
| 3.3 Results for Vertical 3 (X = 62,50 m; Z = 50,00 m) | 9  |
| 4 Settlements                                         | 12 |
| 4.1 Settlements                                       | 12 |
| 4.2 Residual Times                                    | 12 |

## 2 Echo of the Input

### 2.1 Layer Boundaries

| Boundary number | Co-ordinates [m] |         |  |  |  |
|-----------------|------------------|---------|--|--|--|
| 9 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 9 - Y -         | 1,000            | 1,000   |  |  |  |
| 8 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 8 - Y -         | -3,500           | -3,500  |  |  |  |
| 7 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 7 - Y -         | -5,500           | -5,500  |  |  |  |
| 6 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 6 - Y -         | -10,000          | -10,000 |  |  |  |
| 5 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 5 - Y -         | -11,000          | -11,000 |  |  |  |
| 4 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 4 - Y -         | -19,000          | -19,000 |  |  |  |
| 3 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 3 - Y -         | -21,000          | -21,000 |  |  |  |
| 2 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 2 - Y -         | -23,000          | -23,000 |  |  |  |
| 1 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 1 - Y -         | -26,000          | -26,000 |  |  |  |
| 0 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 0 - Y -         | -50,000          | -50,000 |  |  |  |

### 2.2 PL Lines

| PL line number | Co-ordinates [m] |         |  |  |  |
|----------------|------------------|---------|--|--|--|
| 1 - X -        | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 1 - Y -        | -1,000           | -1,000  |  |  |  |

### 2.3 General Data

|                                        |                                                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Soil model:                            | Koppejan                                            |
| Consolidation model:                   | Terzaghi                                            |
| Strain model:                          | Linear                                              |
| Groundwater level:                     | Initial determined by PL-line number 1              |
| Unit weight of water:                  | 9,81 [kN/m³]                                        |
| Dispersion conditions layer boundaries |                                                     |
| - Top:                                 | drained                                             |
| - Bottom:                              | drained                                             |
| Stress distribution                    |                                                     |
| - Soil:                                | Boussinesq                                          |
| - Loads:                               | Simulate                                            |
| End of consolidation:                  | 10000,00 [days]                                     |
| No maintain profile                    |                                                     |
| Pc (initial):                          | Variable parallel to the initial effective stress   |
| Pc (per step):                         | Automatic increased to the final effective stresses |
| With imaginary surface:                | determined by layerboundary number 5                |
| Load column width:                     | 1,00 [m]                                            |
| No submerging                          |                                                     |
| Load column width                      |                                                     |
| - Non-Uniform Loads :                  | 1,00 [m]                                            |
| - Trapezoidal Loads :                  | 1,00 [m]                                            |

### 2.4 Soil Profiles

| Layer number | Material name | PL-line top | PL-line bottom |
|--------------|---------------|-------------|----------------|
| 9            | Sand          | 1           | 1              |
| 8            | Peat          | 1           | 1              |
| 7            | Medium Clay   | 1           | 1              |
| 6            | Peat          | 1           | 1              |

| Layer number | Material name | PL-line top | PL-line bottom |
|--------------|---------------|-------------|----------------|
| 5            | Sand          | 1           | 1              |
| 4            | Eemklei1      | 1           | 1              |
| 3            | Eemklei2      | 1           | 1              |
| 2            | Eemklei3      | 1           | 1              |
| 1            | Sand          | 1           | 1              |

## 2.5 Soil Properties

| Layer number | Drained | Unit weight         |                   |
|--------------|---------|---------------------|-------------------|
|              |         | Unsaturated [kN/m³] | Saturated [kN/m³] |
| 9            | Yes     | 18,00               | 20,00             |
| 8            | No      | 11,00               | 11,00             |
| 7            | No      | 14,00               | 14,00             |
| 6            | No      | 11,00               | 11,00             |
| 5            | Yes     | 18,00               | 20,00             |
| 4            | No      | 17,10               | 17,10             |
| 3            | No      | 17,70               | 17,70             |
| 2            | No      | 17,60               | 17,60             |
| 1            | Yes     | 18,00               | 20,00             |

| Layer number | Vert. consolid. coefficient Cv [m²/s] |
|--------------|---------------------------------------|
| 9            | -                                     |
| 8            | 1,00E+01                              |
| 7            | 1,00E-07                              |
| 6            | 1,00E+01                              |
| 5            | -                                     |
| 4            | 1,00E+01                              |
| 3            | 1,00E+01                              |
| 2            | 1,00E+01                              |
| 1            | -                                     |

| Layer number | Precons. pressure [kN/m²] | POP [kN/m²] | OCR [-] |
|--------------|---------------------------|-------------|---------|
| 9            | -                         | -           | 1,30    |
| 8            | -                         | -           | 1,00    |
| 7            | -                         | -           | 1,00    |
| 6            | -                         | -           | 1,00    |
| 5            | -                         | -           | 1,30    |
| 4            | -                         | 96,00       | -       |
| 3            | -                         | 116,00      | -       |
| 2            | -                         | 115,00      | -       |
| 1            | -                         | -           | 1,30    |

| Layer number | Primary compr. coeff. |          | Secular compr. coef. |          | Swell constants |          |
|--------------|-----------------------|----------|----------------------|----------|-----------------|----------|
|              | Cp [-]                | Cp' [-]  | Cs [-]               | Cs' [-]  | Ap [-]          | As [-]   |
| 9            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99             | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 8            | 1,50E+01              | 7,50E+00 | 6,00E+01             | 3,00E+01 | 1,50E+01        | 3,00E+01 |
| 7            | 7,50E+01              | 1,50E+02 | 3,00E+03             | 1,50E+03 | 7,50E+01        | 1,50E+03 |
| 6            | 1,50E+01              | 7,50E+00 | 6,00E+01             | 3,00E+01 | 1,50E+01        | 3,00E+01 |
| 5            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99             | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 4            | 8,00E+01              | 2,02E+01 | 5,57E+02             | 1,02E+02 | 1,00E+00        | 1,00E+00 |
| 3            | 8,50E+01              | 2,61E+01 | 6,87E+02             | 1,84E+02 | 1,00E+00        | 1,00E+00 |
| 2            | 9,00E+01              | 1,76E+01 | 8,07E+02             | 7,20E+01 | 1,00E+00        | 1,00E+00 |
| 1            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99             | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |

## 2.6 Rectangular Loads

| Load number | Time [days] | Magnitude [kN/m²] | Dimension    |              | Center |        |       | Shape factor [-] |
|-------------|-------------|-------------------|--------------|--------------|--------|--------|-------|------------------|
|             |             |                   | Width(x) [m] | Width(z) [m] | X [m]  | Y [m]  | Z [m] |                  |
| 1           | 0           | 159,50            | 25,00        | 16,00        | 50,00  | -13,00 | 50,00 | 1,00             |

**2.7 Verticals**

| Vertical number | X co-ordinates [m] |        |        |  |  |
|-----------------|--------------------|--------|--------|--|--|
| 1 - 3           | 37,500             | 50,000 | 62,500 |  |  |

### 3 Results per Vertical

#### 3.1 Results for Vertical 1 (X = 37,50 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| 1,00         | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| 0,90         | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| 0,80         | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| 0,70         | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| 0,60         | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| 0,50         | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| 0,40         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| 0,30         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| 0,20         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| 0,10         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| 0,00         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         |
| -1,00        | 36,000                          | 0,000                           | 36,000                         | 36,367                          | 0,367                           | 36,000                         |
| -1,25        | 41,000                          | 2,453                           | 38,548                         | 41,367                          | 2,820                           | 38,548                         |
| -1,90        | 54,000                          | 8,829                           | 45,171                         | 54,367                          | 9,196                           | 45,171                         |
| -2,90        | 74,000                          | 18,639                          | 55,361                         | 74,367                          | 19,006                          | 55,361                         |
| -3,50        | 86,000                          | 24,525                          | 61,475                         | 86,367                          | 24,892                          | 61,475                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -3,50        | 86,000                          | 24,525                          | 61,475                         | 86,367                          | 24,892                          | 61,475                         |
| -4,50        | 97,000                          | 34,335                          | 62,665                         | 97,367                          | 34,702                          | 62,665                         |
| -5,50        | 108,000                         | 44,145                          | 63,855                         | 108,367                         | 44,512                          | 63,855                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -5,50        | 108,000                         | 44,145                          | 63,855                         | 108,367                         | 44,512                          | 63,855                         |
| -6,35        | 119,900                         | 52,484                          | 67,417                         | 120,267                         | 52,851                          | 67,417                         |
| -7,35        | 133,900                         | 62,294                          | 71,607                         | 134,267                         | 62,661                          | 71,607                         |
| -7,75        | 139,500                         | 66,218                          | 73,283                         | 139,867                         | 66,585                          | 73,283                         |
| -8,40        | 148,600                         | 72,594                          | 76,006                         | 148,967                         | 72,961                          | 76,006                         |
| -9,40        | 162,600                         | 82,404                          | 80,196                         | 162,967                         | 82,771                          | 80,196                         |
| -10,00       | 171,000                         | 88,290                          | 82,710                         | 171,367                         | 88,657                          | 82,710                         |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -10,00       | 171,000                         | 88,290                          | 82,710                         | 171,367                         | 88,657                          | 82,710                         |
| -10,50       | 176,500                         | 93,195                          | 83,305                         | 176,867                         | 93,562                          | 83,305                         |
| -10,60       | 177,600                         | 94,176                          | 83,424                         | 177,967                         | 94,543                          | 83,424                         |
| -10,70       | 178,700                         | 95,157                          | 83,543                         | 179,067                         | 95,524                          | 83,543                         |
| -10,80       | 179,800                         | 96,138                          | 83,662                         | 180,167                         | 96,505                          | 83,662                         |
| -10,90       | 180,900                         | 97,119                          | 83,781                         | 181,267                         | 97,486                          | 83,781                         |
| -11,00       | 182,000                         | 98,100                          | 83,900                         | 182,367                         | 98,467                          | 83,900                         |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -11,00       | 181,765                         | 98,100                          | 83,665                         | 182,132                         | 98,467                          | 83,665                         |
| -11,10       | 183,757                         | 99,081                          | 84,676                         | 184,124                         | 99,448                          | 84,676                         |
| -11,20       | 185,750                         | 100,062                         | 85,688                         | 186,117                         | 100,429                         | 85,688                         |
| -11,30       | 187,742                         | 101,043                         | 86,699                         | 188,109                         | 101,410                         | 86,699                         |
| -11,40       | 189,734                         | 102,024                         | 87,710                         | 190,101                         | 102,391                         | 87,710                         |
| -11,50       | 191,726                         | 103,005                         | 88,721                         | 192,093                         | 103,372                         | 88,721                         |
| -12,30       | 207,656                         | 110,853                         | 96,803                         | 208,024                         | 111,220                         | 96,803                         |
| -13,30       | 227,554                         | 120,663                         | 106,891                        | 230,711                         | 121,030                         | 106,891                        |
| -14,30       | 247,433                         | 130,473                         | 116,960                        | 250,590                         | 130,840                         | 116,960                        |
| -15,00       | 261,338                         | 137,340                         | 123,998                        | 264,495                         | 137,707                         | 123,998                        |
| -16,00       | 281,185                         | 147,150                         | 134,035                        | 284,342                         | 147,517                         | 134,035                        |
| -17,00       | 301,011                         | 156,960                         | 144,051                        | 304,189                         | 157,327                         | 144,051                        |
| -18,00       | 320,818                         | 166,770                         | 154,048                        | 324,036                         | 167,137                         | 154,048                        |
| -19,00       | 340,603                         | 176,580                         | 164,023                        | 343,883                         | 176,947                         | 164,023                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -19,00       | 340,604                         | 176,580                         | 164,024                        | 343,884                         | 176,947                         | 164,024                        |
| -20,00       | 357,469                         | 186,390                         | 171,079                        | 360,739                         | 186,752                         | 171,079                        |
| -21,00       | 374,313                         | 196,200                         | 178,113                        | 377,593                         | 196,562                         | 178,113                        |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -21,00       | 374,313                         | 196,200                         | 178,113                        | 444,929                         | 196,430                         | 248,499                        |
| -22,00       | 391,737                         | 206,010                         | 185,727                        | 459,536                         | 206,184                         | 253,351                        |
| -23,00       | 409,142                         | 215,820                         | 193,322                        | 474,045                         | 215,943                         | 258,102                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -23,00       | 409,142                         | 215,820                         | 193,322                        | 474,045                         | 215,943                         | 258,102                        |
| -24,50       | 435,063                         | 230,535                         | 204,528                        | 495,645                         | 230,593                         | 265,052                        |
| -26,00       | 460,942                         | 245,250                         | 215,692                        | 517,360                         | 245,250                         | 272,110                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -26,00       | 460,942                         | 245,250                         | 215,692                        | 517,360                         | 245,250                         | 272,110                        |
| -28,00       | 500,188                         | 264,870                         | 235,318                        | 551,502                         | 264,870                         | 286,632                        |
| -30,00       | 539,372                         | 284,490                         | 254,882                        | 586,064                         | 284,490                         | 301,574                        |
| -32,00       | 578,502                         | 304,110                         | 274,392                        | 621,044                         | 304,110                         | 316,934                        |
| -34,00       | 617,584                         | 323,730                         | 293,854                        | 656,414                         | 323,730                         | 332,684                        |
| -36,00       | 656,626                         | 343,350                         | 313,276                        | 692,137                         | 343,350                         | 348,787                        |
| -38,00       | 695,635                         | 362,970                         | 332,665                        | 728,175                         | 362,970                         | 365,205                        |
| -42,00       | 773,580                         | 402,210                         | 371,370                        | 801,065                         | 402,210                         | 398,855                        |
| -47,00       | 870,932                         | 451,260                         | 419,672                        | 893,435                         | 451,260                         | 442,175                        |
| -50,00       | 929,330                         | 480,690                         | 448,640                        | 949,403                         | 480,690                         | 468,713                        |

| Layer number | Swelling       |                  | Settlement b. Sp. |                               | Settlement a. Sp. |                               |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
|              | Primary<br>[m] | Secondary<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] |
| 9            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 8            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 7            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 6            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 5            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 4            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0089            | 0,0013                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 3            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0073            | 0,0009                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 2            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0087            | 0,0010                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 1            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| Total        | 0,0000         | 0,0000           | 0,0248            | 0,0031                        | 0,0000            | 0,0000                        |

| Depth       |           | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                               |                              | Percentage of original layer height [%] |
|-------------|-----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| From<br>[m] | To<br>[m] |              | Primary<br>[m]                | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | After<br>10000 [days]<br>[m] |                                         |
| 1,00        | -3,50     | 9            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -3,50       | -5,50     | 8            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -5,50       | -10,00    | 7            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -10,00      | -11,00    | 6            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -11,00      | -19,00    | 5            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -19,00      | -21,00    | 4            | 0,0089                        | 0,0013                        | 0,0140                       | 0,70                                    |
| -21,00      | -23,00    | 3            | 0,0073                        | 0,0009                        | 0,0109                       | 0,55                                    |
| -23,00      | -26,00    | 2            | 0,0087                        | 0,0010                        | 0,0125                       | 0,42                                    |
| -26,00      | -50,00    | 1            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| Total       |           |              | 0,0248                        | 0,0031                        | 0,0374                       |                                         |

### 3.2 Results for Vertical 2 (X = 50,00 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| 1,00         | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| 0,90         | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| 0,80         | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| 0,70         | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| 0,60         | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| 0,50         | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| 0,40         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| 0,30         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| 0,20         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| 0,10         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| 0,00         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         |
| -1,00        | 36,000                          | 0,000                           | 36,000                         | 36,903                          | 0,903                           | 36,000                         |
| -1,25        | 41,000                          | 2,453                           | 38,548                         | 41,903                          | 3,356                           | 38,548                         |
| -1,90        | 54,000                          | 8,829                           | 45,171                         | 54,903                          | 9,732                           | 45,171                         |
| -2,90        | 74,000                          | 18,639                          | 55,361                         | 74,903                          | 19,542                          | 55,361                         |
| -3,50        | 86,000                          | 24,525                          | 61,475                         | 86,903                          | 25,428                          | 61,475                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -3,50        | 86,000                          | 24,525                          | 61,475                         | 86,904                          | 25,429                          | 61,475                         |
| -4,50        | 97,000                          | 34,335                          | 62,665                         | 97,903                          | 35,238                          | 62,665                         |
| -5,50        | 108,000                         | 44,145                          | 63,855                         | 108,903                         | 45,048                          | 63,855                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -5,50        | 108,000                         | 44,145                          | 63,855                         | 108,904                         | 45,049                          | 63,855                         |
| -6,35        | 119,900                         | 52,484                          | 67,417                         | 120,803                         | 53,387                          | 67,417                         |
| -7,35        | 133,900                         | 62,294                          | 71,607                         | 134,803                         | 63,197                          | 71,607                         |
| -7,75        | 139,500                         | 66,218                          | 73,283                         | 140,403                         | 67,121                          | 73,283                         |
| -8,40        | 148,600                         | 72,594                          | 76,006                         | 149,503                         | 73,497                          | 76,006                         |
| -9,40        | 162,600                         | 82,404                          | 80,196                         | 163,503                         | 83,307                          | 80,196                         |
| -10,00       | 171,000                         | 88,290                          | 82,710                         | 171,903                         | 89,193                          | 82,710                         |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -10,00       | 171,000                         | 88,290                          | 82,710                         | 171,904                         | 89,194                          | 82,710                         |
| -10,50       | 176,500                         | 93,195                          | 83,305                         | 177,403                         | 94,098                          | 83,305                         |
| -10,60       | 177,600                         | 94,176                          | 83,424                         | 178,503                         | 95,079                          | 83,424                         |
| -10,70       | 178,700                         | 95,157                          | 83,543                         | 179,603                         | 96,060                          | 83,543                         |
| -10,80       | 179,800                         | 96,138                          | 83,662                         | 180,703                         | 97,041                          | 83,662                         |
| -10,90       | 180,900                         | 97,119                          | 83,781                         | 181,803                         | 98,022                          | 83,781                         |
| -11,00       | 182,000                         | 98,100                          | 83,900                         | 182,903                         | 99,003                          | 83,900                         |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -11,00       | 181,833                         | 98,100                          | 83,733                         | 182,736                         | 99,004                          | 83,733                         |
| -11,10       | 183,827                         | 99,081                          | 84,746                         | 184,731                         | 99,984                          | 84,746                         |
| -11,20       | 185,822                         | 100,062                         | 85,760                         | 186,725                         | 100,965                         | 85,760                         |
| -11,30       | 187,816                         | 101,043                         | 86,773                         | 188,720                         | 101,946                         | 86,773                         |
| -11,40       | 189,811                         | 102,024                         | 87,787                         | 190,714                         | 102,927                         | 87,787                         |
| -11,50       | 191,805                         | 103,005                         | 88,800                         | 192,708                         | 103,908                         | 88,800                         |
| -12,30       | 207,754                         | 110,853                         | 96,901                         | 208,658                         | 111,756                         | 96,901                         |
| -13,30       | 227,679                         | 120,663                         | 107,016                        | 228,603                         | 121,566                         | 107,016                        |
| -14,30       | 247,591                         | 130,473                         | 117,118                        | 248,503                         | 131,376                         | 117,118                        |
| -15,00       | 261,520                         | 137,340                         | 124,180                        | 262,403                         | 138,243                         | 124,180                        |
| -16,00       | 281,406                         | 147,150                         | 134,256                        | 282,303                         | 148,053                         | 134,256                        |
| -17,00       | 301,275                         | 156,960                         | 144,315                        | 302,203                         | 157,863                         | 144,315                        |
| -18,00       | 321,128                         | 166,770                         | 154,358                        | 322,103                         | 167,673                         | 154,358                        |
| -19,00       | 340,964                         | 176,580                         | 164,384                        | 341,003                         | 177,483                         | 164,384                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -19,00       | 340,964                         | 176,580                         | 164,384                        | 341,003                         | 177,484                         | 164,384                        |
| -20,00       | 357,882                         | 186,390                         | 171,492                        | 358,903                         | 187,054                         | 171,492                        |
| -21,00       | 374,782                         | 196,200                         | 178,582                        | 376,803                         | 196,647                         | 178,582                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -21,00       | 374,782                         | 196,200                         | 178,582                        | 376,803                         | 196,647                         | 178,582                        |
| -22,00       | 392,264                         | 206,010                         | 186,254                        | 394,703                         | 206,337                         | 186,254                        |
| -23,00       | 409,729                         | 215,820                         | 193,909                        | 412,603                         | 216,044                         | 193,909                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -23,00       | 409,729                         | 215,820                         | 193,909                        | 412,603                         | 216,044                         | 193,909                        |
| -24,50       | 435,741                         | 230,535                         | 205,206                        | 438,603                         | 230,633                         | 205,206                        |
| -26,00       | 461,714                         | 245,250                         | 216,464                        | 464,603                         | 245,250                         | 216,464                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -26,00       | 461,714                         | 245,250                         | 216,464                        | 464,603                         | 245,250                         | 216,464                        |
| -28,00       | 501,085                         | 264,870                         | 236,215                        | 504,003                         | 264,870                         | 236,215                        |
| -30,00       | 540,390                         | 284,490                         | 255,900                        | 543,003                         | 284,490                         | 255,900                        |
| -32,00       | 579,634                         | 304,110                         | 275,524                        | 582,003                         | 304,110                         | 275,524                        |
| -34,00       | 618,823                         | 323,730                         | 295,093                        | 621,003                         | 323,730                         | 295,093                        |
| -36,00       | 657,961                         | 343,350                         | 314,611                        | 660,003                         | 343,350                         | 314,611                        |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -38,00       | 697,055                         | 362,970                         | 334,085                        | 745,023                         | 362,970                         | 382,053                        |
| -42,00       | 775,133                         | 402,210                         | 372,923                        | 813,365                         | 402,210                         | 411,155                        |
| -47,00       | 872,584                         | 451,260                         | 421,324                        | 902,079                         | 451,260                         | 450,819                        |
| -50,00       | 931,009                         | 480,690                         | 450,319                        | 956,554                         | 480,690                         | 475,864                        |

| Layer number | Swelling       |                  | Settlement b. Sp. |                               | Settlement a. Sp. |                               |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
|              | Primary<br>[m] | Secondary<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] |
| 9            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 8            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 7            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 6            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 5            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 4            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0111            | 0,0016                        | 0,0162            | 0,0032                        |
| 3            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0114            | 0,0014                        | 0,0036            | 0,0005                        |
| 2            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0145            | 0,0016                        | 0,0009            | 0,0002                        |
| 1            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| Total        | 0,0000         | 0,0000           | 0,0370            | 0,0046                        | 0,0208            | 0,0040                        |

| Depth       |           | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                               |                              | Percentage of original layer height [%] |
|-------------|-----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| From<br>[m] | To<br>[m] |              | Primary<br>[m]                | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | After<br>10000 [days]<br>[m] |                                         |
| 1,00        | -3,50     | 9            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -3,50       | -5,50     | 8            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -5,50       | -10,00    | 7            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -10,00      | -11,00    | 6            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -11,00      | -19,00    | 5            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -19,00      | -21,00    | 4            | 0,0273                        | 0,0048                        | 0,0465                       | 2,33                                    |
| -21,00      | -23,00    | 3            | 0,0150                        | 0,0019                        | 0,0228                       | 1,14                                    |
| -23,00      | -26,00    | 2            | 0,0154                        | 0,0018                        | 0,0228                       | 0,76                                    |
| -26,00      | -50,00    | 1            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| Total       |           |              | 0,0578                        | 0,0086                        | 0,0921                       |                                         |

### 3.3 Results for Vertical 3 (X = 62,50 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| 1,00         | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| 0,90         | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| 0,80         | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| 0,70         | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| 0,60         | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| 0,50         | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| 0,40         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| 0,30         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| 0,20         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| 0,10         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| 0,00         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         |
| -1,00        | 36,000                          | 0,000                           | 36,000                         | 36,367                          | 0,367                           | 36,000                         |
| -1,25        | 41,000                          | 2,453                           | 38,548                         | 41,367                          | 2,820                           | 38,548                         |
| -1,90        | 54,000                          | 8,829                           | 45,171                         | 54,367                          | 9,196                           | 45,171                         |
| -2,90        | 74,000                          | 18,639                          | 55,361                         | 74,367                          | 19,006                          | 55,361                         |
| -3,50        | 86,000                          | 24,525                          | 61,475                         | 86,367                          | 24,892                          | 61,475                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -3,50        | 86,000                          | 24,525                          | 61,475                         | 86,367                          | 24,892                          | 61,475                         |
| -4,50        | 97,000                          | 34,335                          | 62,665                         | 97,367                          | 34,702                          | 62,665                         |
| -5,50        | 108,000                         | 44,145                          | 63,855                         | 108,367                         | 44,512                          | 63,855                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -5,50        | 108,000                         | 44,145                          | 63,855                         | 108,367                         | 44,512                          | 63,855                         |
| -6,35        | 119,900                         | 52,484                          | 67,417                         | 120,267                         | 52,851                          | 67,417                         |
| -7,35        | 133,900                         | 62,294                          | 71,607                         | 134,267                         | 62,661                          | 71,607                         |
| -7,75        | 139,500                         | 66,218                          | 73,283                         | 139,867                         | 66,585                          | 73,283                         |
| -8,40        | 148,600                         | 72,594                          | 76,006                         | 148,967                         | 72,961                          | 76,006                         |
| -9,40        | 162,600                         | 82,404                          | 80,196                         | 162,967                         | 82,771                          | 80,196                         |
| -10,00       | 171,000                         | 88,290                          | 82,710                         | 171,367                         | 88,657                          | 82,710                         |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -10,00       | 171,000                         | 88,290                          | 82,710                         | 171,367                         | 88,657                          | 82,710                         |
| -10,50       | 176,500                         | 93,195                          | 83,305                         | 176,867                         | 93,562                          | 83,305                         |
| -10,60       | 177,600                         | 94,176                          | 83,424                         | 177,967                         | 94,543                          | 83,424                         |
| -10,70       | 178,700                         | 95,157                          | 83,543                         | 179,067                         | 95,524                          | 83,543                         |
| -10,80       | 179,800                         | 96,138                          | 83,662                         | 180,167                         | 96,505                          | 83,662                         |
| -10,90       | 180,900                         | 97,119                          | 83,781                         | 181,267                         | 97,486                          | 83,781                         |
| -11,00       | 182,000                         | 98,100                          | 83,900                         | 182,367                         | 98,467                          | 83,900                         |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -11,00       | 181,765                         | 98,100                          | 83,665                         | 182,132                         | 98,467                          | 83,665                         |
| -11,10       | 183,757                         | 99,081                          | 84,676                         | 184,124                         | 99,448                          | 84,676                         |
| -11,20       | 185,750                         | 100,062                         | 85,688                         | 186,117                         | 100,429                         | 85,688                         |
| -11,30       | 187,742                         | 101,043                         | 86,699                         | 188,109                         | 101,410                         | 86,699                         |
| -11,40       | 189,734                         | 102,024                         | 87,710                         | 190,101                         | 102,391                         | 87,710                         |
| -11,50       | 191,726                         | 103,005                         | 88,721                         | 192,093                         | 103,372                         | 88,721                         |
| -12,30       | 207,656                         | 110,853                         | 96,803                         | 208,024                         | 111,220                         | 96,803                         |
| -13,30       | 227,554                         | 120,663                         | 106,891                        | 307,671                         | 121,030                         | 186,641                        |
| -14,30       | 247,433                         | 130,473                         | 116,960                        | 327,530                         | 130,840                         | 196,690                        |
| -15,00       | 261,338                         | 137,340                         | 123,998                        | 341,349                         | 137,707                         | 203,642                        |
| -16,00       | 281,185                         | 147,150                         | 134,035                        | 360,825                         | 147,517                         | 213,307                        |
| -17,00       | 301,011                         | 156,960                         | 144,051                        | 379,835                         | 157,327                         | 222,507                        |
| -18,00       | 320,818                         | 166,770                         | 154,048                        | 398,293                         | 167,137                         | 231,156                        |
| -19,00       | 340,603                         | 176,580                         | 164,023                        | 416,219                         | 176,947                         | 239,272                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -19,00       | 340,604                         | 176,580                         | 164,024                        | 416,219                         | 176,947                         | 239,272                        |
| -20,00       | 357,469                         | 186,390                         | 171,079                        | 430,732                         | 186,686                         | 244,046                        |
| -21,00       | 374,313                         | 196,200                         | 178,113                        | 444,929                         | 196,430                         | 248,499                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -21,00       | 374,313                         | 196,200                         | 178,113                        | 444,929                         | 196,430                         | 248,499                        |
| -22,00       | 391,737                         | 206,010                         | 185,727                        | 459,536                         | 206,184                         | 253,351                        |
| -23,00       | 409,142                         | 215,820                         | 193,322                        | 474,045                         | 215,943                         | 258,102                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -23,00       | 409,142                         | 215,820                         | 193,322                        | 474,045                         | 215,943                         | 258,102                        |
| -24,50       | 435,063                         | 230,535                         | 204,528                        | 495,645                         | 230,593                         | 265,052                        |
| -26,00       | 460,942                         | 245,250                         | 215,692                        | 517,360                         | 245,250                         | 272,110                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -26,00       | 460,942                         | 245,250                         | 215,692                        | 517,360                         | 245,250                         | 272,110                        |
| -28,00       | 500,188                         | 264,870                         | 235,318                        | 551,502                         | 264,870                         | 286,632                        |
| -30,00       | 539,372                         | 284,490                         | 254,882                        | 586,064                         | 284,490                         | 301,574                        |
| -32,00       | 578,502                         | 304,110                         | 274,392                        | 621,044                         | 304,110                         | 316,934                        |
| -34,00       | 617,584                         | 323,730                         | 293,854                        | 656,414                         | 323,730                         | 332,684                        |
| -36,00       | 656,626                         | 343,350                         | 313,276                        | 692,137                         | 343,350                         | 348,787                        |
| -38,00       | 695,635                         | 362,970                         | 332,665                        | 728,175                         | 362,970                         | 365,205                        |
| -42,00       | 773,580                         | 402,210                         | 371,370                        | 801,065                         | 402,210                         | 398,855                        |
| -47,00       | 870,932                         | 451,260                         | 419,672                        | 893,435                         | 451,260                         | 442,175                        |
| -50,00       | 929,330                         | 480,690                         | 448,640                        | 949,403                         | 480,690                         | 468,713                        |

| Layer number | Swelling       |                  | Settlement b. Sp. |                               | Settlement a. Sp. |                               |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
|              | Primary<br>[m] | Secondary<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] |
| 9            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 8            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 7            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 6            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 5            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 4            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0089            | 0,0013                        | 0,0000            | 0,0000                        |

| Layer number | Swelling |           | Settlement b. Sp. |                     | Settlement a. Sp. |                     |
|--------------|----------|-----------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|              | Primary  | Secondary | Primary           | Secondary 10 [days] | Primary           | Secondary 10 [days] |
|              | [m]      | [m]       | [m]               | [m]                 | [m]               | [m]                 |
| 3            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0073            | 0,0009              | 0,0000            | 0,0000              |
| 2            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0087            | 0,0010              | 0,0000            | 0,0000              |
| 1            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| Total        | 0,0000   | 0,0000    | 0,0248            | 0,0031              | 0,0000            | 0,0000              |

| Depth  |        | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                     |                    | Percentage of original layer height [%] |
|--------|--------|--------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| From   | To     |              | Primary                       | Secondary 10 [days] | After 10000 [days] |                                         |
| [m]    | [m]    |              | [m]                           | [m]                 | [m]                |                                         |
| 1,00   | -3,50  | 9            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -3,50  | -5,50  | 8            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -5,50  | -10,00 | 7            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -10,00 | -11,00 | 6            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -11,00 | -19,00 | 5            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -19,00 | -21,00 | 4            | 0,0089                        | 0,0013              | 0,0140             | 0,70                                    |
| -21,00 | -23,00 | 3            | 0,0073                        | 0,0009              | 0,0109             | 0,55                                    |
| -23,00 | -26,00 | 2            | 0,0087                        | 0,0010              | 0,0125             | 0,42                                    |
| -26,00 | -50,00 | 1            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| Total  |        |              | 0,0248                        | 0,0031              | 0,0374             |                                         |

## 4 Settlements

### 4.1 Settlements

| Vertical number | X co-ordinate [m] | Z co-ordinate [m] | Surface level [m] | Settlement [m] |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 1               | 37,50             | 50,00             | 1,00              | 0,037          |
| 2               | 50,00             | 50,00             | 1,00              | 0,092          |
| 3               | 62,50             | 50,00             | 1,00              | 0,037          |

### 4.2 Residual Times

| Vertical number | Time [days] | Settlement [m] | Part of final settlement [%] | Residual settlements [m] |
|-----------------|-------------|----------------|------------------------------|--------------------------|
| 1               | 180         | 0,032          | 85,335                       | 0,005                    |
|                 | 270         | 0,032          | 86,809                       | 0,005                    |
|                 | 365         | 0,033          | 87,906                       | 0,005                    |
|                 | 3650        | 0,036          | 96,300                       | 0,001                    |
|                 | 10000       | 0,037          | 100,000                      | 0,000                    |
| 2               | 180         | 0,077          | 83,746                       | 0,015                    |
|                 | 270         | 0,079          | 85,380                       | 0,013                    |
|                 | 365         | 0,080          | 86,596                       | 0,012                    |
|                 | 3650        | 0,088          | 95,899                       | 0,004                    |
|                 | 10000       | 0,092          | 100,000                      | 0,000                    |
| 3               | 180         | 0,032          | 85,335                       | 0,005                    |
|                 | 270         | 0,032          | 86,809                       | 0,005                    |
|                 | 365         | 0,033          | 87,906                       | 0,005                    |
|                 | 3650        | 0,036          | 96,300                       | 0,001                    |
|                 | 10000       | 0,037          | 100,000                      | 0,000                    |

**End of Report**

## **Bijlage 8: Uitkomsten zettingsberekeningen Staalmeesterslaan**

## Rekenblad zettingen Eemklei

Object:

Staalmeesterslaan1

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.

In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.

Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en op blad drie de zettingen per zettingsgevoelige laag.

Naam object: Staalmeesterslaan

Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag

Gebruikte sondering

Maaiveldhoogte

1,00

Grondwaterstand t.o.v. NAP

-1,00

Onderkant fundering t.o.v. NAP

-18,50

| Grondsoort      | van m NAP | tot m NAP | Laagdikte | $\gamma_{\text{rep}}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\gamma_{\text{water}}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\gamma_{\text{d,eff}}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\sigma'_{\text{v};z;d}$ [kPa] | $\sigma'_{\text{v};z;d}$ [kPa] onderzijde laag | $\sigma'_{\text{v};z;d}$ [kPa] midden laag |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Zand, droog     | -1,00     | -2,00     | 1,00      | 18                                         | 0                                            | 18                                           | 18                             | 18                                             | 9                                          |
| Zand, nat       | -3,00     | -3,00     | 0,00      | 20                                         | 10                                           | 10                                           | 0                              | 18                                             | 18                                         |
| Veen, nat       | -3,00     | -4,00     | 1,00      | 11                                         | 10                                           | 1                                            | 1                              | 19                                             | 19                                         |
| Klei, nat       | -4,00     | -11,00    | 7,00      | 14                                         | 10                                           | 4                                            | 28                             | 47                                             | 33                                         |
| Zand, nat       | -11,00    | -17,00    | 6,00      | 20                                         | 10                                           | 10                                           | 60                             | 107                                            | 77                                         |
| Klei, nat       | -17,00    | -18,00    | 1,00      | 14                                         | 10                                           | 4                                            | 4                              | 111                                            | 109                                        |
| Zand, nat       | -18,00    | -20,40    | 2,40      | 20                                         | 10                                           | 10                                           | 24                             | 135                                            | 123                                        |
| Eemklei zone I  | -20,40    | -23,40    | 3,00      | 17,7                                       | 10                                           | 7,7                                          | 23,1                           | 158,1                                          | 147                                        |
| Eemklei zone II | -23,40    | -24,40    | 1,00      | 17,1                                       | 10                                           | 7,1                                          | 7,1                            | 165,2                                          | 162                                        |

## Rekenblad zettingen Eemklei

Object:

Staalmeesterslaan1

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.  
In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.  
horizontaal en op gelijke diepgang te houden.

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Naam object: Staalmeesterslaan     |                         |
| Afmeting breedte object            | 26,00 m                 |
| Afmeting lengte object             | 28,00 m                 |
| Oppervlakte object                 | 728,00 m <sup>2</sup>   |
| Gewicht object inclusief fundering | 112112 kN               |
| Belasting per vierkante meter      | 154,0 kN/m <sup>2</sup> |

|                         | Laagdikte<br>m | Afschuifhoek<br>$\phi'$ [°] | Resulterende breedte<br>m | Resulterende lengte<br>m | Resultierend oppervlak<br>m <sup>2</sup> | Resulterende druk<br>kN/m <sup>2</sup> |
|-------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| Onderzijde laag 1       | 1,90           | 30,00                       | 28,194                    | 30,194                   | 851,286                                  | 132                                    |
| Midden zone I, Eemklei  | 3,00           | 35,00                       | 30,295                    | 32,295                   | 978,349                                  | 115                                    |
| Midden zone II, Eemklei | 1,00           | 35,00                       | 33,095                    | 35,095                   | 1161,495                                 | 97                                     |

## Rekenblad zettingen Eemklei

Object: **Staalmeesterslaan**

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.

In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.

horizontaal en op gelijke diepgang te houden.

$$\frac{\Delta h}{h_0} = \left[ \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log(t) \right] * \ln\left(\frac{P_g}{\epsilon'_{i0}}\right) + \left[ \frac{1}{C'_p} + \frac{1}{C'_s} * \log(t) \right] * \ln\left(\frac{\epsilon'_i}{P_g}\right)$$

Waarin:

$$\Delta h = \text{Zetting maaiveld}$$

$h_0$  = Oorspronkelijke laagdikte

$C_p$  = Primaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning

Cs = Secundaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning

C'p = Primaire samendrukkingsconstante na de grensspanning

C's = Secundaire samendrukkingsconstante na de grensspanning

t = Tijdstip na aanbrengen van de belasting in dagen

$\sigma'_0$  = Korrelspanning voor belasting in kN/m<sup>2</sup>

$\sigma_i$  = Korrelspanning na belasting in kN/m<sup>2</sup>

$P_g$  = Grensspanning

| Zone I                | Cp    | 1/Cp | Cs    | 1/Cs  | t in dagen | log(t) | Pg  | 6'0 | ln(pg/6'0) | C'p  | 1/C'p | C's   | 1/C's | t in dagen | log(t) | 6'i | Pg  | ln(6'i/Pg) | h0   | hΔ/h0 | hΔ    |
|-----------------------|-------|------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|
| Z <sub>n,v</sub> laag | 57,3  | 0,02 | 272,9 | 0,004 | 14600      | 4,164  | 265 | 123 | 0,66       | 15,5 | 0,06  | 33,8  | 0,030 | 14600      | 4,164  | 238 | 265 | 0,00       | 3,00 | 0,02  | 0,065 |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 85,0  | 0,01 | 557,1 | 0,002 | 14600      | 4,164  | 265 | 123 | 0,66       | 20,2 | 0,05  | 102,2 | 0,010 | 14600      | 4,164  | 238 | 265 | 0,00       | 3,00 | 0,01  | 0,038 |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 112,7 | 0,01 | 841,4 | 0,001 | 14600      | 4,164  | 265 | 123 | 0,66       | 24,9 | 0,04  | 170,7 | 0,006 | 14600      | 4,164  | 238 | 265 | 0,00       | 3,00 | 0,01  | 0,027 |

| Zone II               | Cp    | 1/Cp | Cs    | 1/Cs  | t in dagen | log(t) | Pg  | 6°  | ln(pg/6°) | C'p  | 1/C'p | C's   | 1/C's | t in dagen | log(t) | 6'i | Pg  | ln(6'i/Pg) | h0   | hΔ/h0 | hΔ    |
|-----------------------|-------|------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|-----------|------|-------|-------|-------|------------|--------|-----|-----|------------|------|-------|-------|
| Z <sub>n,v</sub> laag | 52,8  | 0,02 | 382,3 | 0,003 | 14600      | 4,164  | 300 | 147 | 0,51      | 19,9 | 0,05  | 11,8  | 0,085 | 14600      | 4,164  | 243 | 300 | 0,00       | 1,00 | 0,02  | 0,015 |
| Z <sub>n,v</sub> gem  | 87,6  | 0,01 | 687,2 | 0,001 | 14600      | 4,164  | 300 | 147 | 0,51      | 26,1 | 0,04  | 183,9 | 0,005 | 14600      | 4,164  | 243 | 300 | 0,00       | 1,00 | 0,01  | 0,009 |
| Z <sub>n,v</sub> hoog | 122,4 | 0,01 | 992,2 | 0,001 | 14600      | 4,164  | 300 | 147 | 0,51      | 32,3 | 0,03  | 356,0 | 0,003 | 14600      | 4,164  | 243 | 300 | 0,00       | 1,00 | 0,01  | 0,006 |

## Na fitten

[illegible]

## Report for D-Settlement 14.1

Settlement Calculations  
Developed by Deltares

Company: Fugro

Date of report: 5-2-2015

Time of report: 17:29:38

Date of calculation: 5-2-2015

Time of calculation: 17:29:08

Filename: F:\D-settle\Staalmeesterslaan\Staalmeesterslaan\_fitten

## 1 Table of Contents

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1 Table of Contents                                   | 2  |
| 2 Echo of the Input                                   | 3  |
| 2.1 Layer Boundaries                                  | 3  |
| 2.2 PL Lines                                          | 3  |
| 2.3 General Data                                      | 3  |
| 2.4 Soil Profiles                                     | 3  |
| 2.5 Soil Properties                                   | 4  |
| 2.6 Rectangular Loads                                 | 4  |
| 2.7 Verticals                                         | 5  |
| 3 Results per Vertical                                | 6  |
| 3.1 Results for Vertical 1 (X = 36,00 m; Z = 50,00 m) | 6  |
| 3.2 Results for Vertical 2 (X = 50,00 m; Z = 50,00 m) | 7  |
| 3.3 Results for Vertical 3 (X = 64,00 m; Z = 50,00 m) | 9  |
| 4 Settlements                                         | 12 |
| 4.1 Settlements                                       | 12 |
| 4.2 Residual Times                                    | 12 |

## 2 Echo of the Input

### 2.1 Layer Boundaries

| Boundary number | Co-ordinates [m] |         |  |  |  |
|-----------------|------------------|---------|--|--|--|
| 9 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 9 - Y -         | -1,000           | -1,000  |  |  |  |
| 8 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 8 - Y -         | -3,000           | -3,000  |  |  |  |
| 7 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 7 - Y -         | -4,000           | -4,000  |  |  |  |
| 6 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 6 - Y -         | -11,000          | -11,000 |  |  |  |
| 5 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 5 - Y -         | -17,000          | -17,000 |  |  |  |
| 4 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 4 - Y -         | -18,000          | -18,000 |  |  |  |
| 3 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 3 - Y -         | -20,400          | -20,400 |  |  |  |
| 2 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 2 - Y -         | -23,400          | -23,400 |  |  |  |
| 1 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 1 - Y -         | -24,400          | -24,400 |  |  |  |
| 0 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 0 - Y -         | -50,000          | -50,000 |  |  |  |

### 2.2 PL Lines

| PL line number | Co-ordinates [m] |         |  |  |  |
|----------------|------------------|---------|--|--|--|
| 1 - X -        | 0,000            | 100,000 |  |  |  |
| 1 - Y -        | -2,000           | -2,000  |  |  |  |

### 2.3 General Data

|                                        |                                                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Soil model:                            | Koppejan                                            |
| Consolidation model:                   | Terzaghi                                            |
| Strain model:                          | Linear                                              |
| Groundwater level:                     | Initial determined by PL-line number 1              |
| Unit weight of water:                  | 9,81 [kN/m³]                                        |
| Dispersion conditions layer boundaries |                                                     |
| - Top:                                 | drained                                             |
| - Bottom:                              | drained                                             |
| Stress distribution                    |                                                     |
| - Soil:                                | Boussinesq                                          |
| - Loads:                               | Simulate                                            |
| End of consolidation:                  | 10000,00 [days]                                     |
| No maintain profile                    |                                                     |
| Pc (initial):                          | Variable parallel to the initial effective stress   |
| Pc (per step):                         | Automatic increased to the final effective stresses |
| With imaginary surface:                | determined by layerboundary number 6                |
| Load column width:                     | 1,00 [m]                                            |
| No submerging                          |                                                     |
| Load column width                      |                                                     |
| - Non-Uniform Loads :                  | 1,00 [m]                                            |
| - Trapezoidal Loads :                  | 1,00 [m]                                            |

### 2.4 Soil Profiles

| Layer number | Material name | PL-line top | PL-line bottom |
|--------------|---------------|-------------|----------------|
| 9            | Sand          | 1           | 1              |
| 8            | Peat          | 1           | 1              |
| 7            | Medium Clay   | 1           | 1              |
| 6            | Sand          | 1           | 1              |

| Layer number | Material name | PL-line top | PL-line bottom |
|--------------|---------------|-------------|----------------|
| 5            | Medium Clay   | 1           | 1              |
| 4            | Sand          | 1           | 1              |
| 3            | Eemklei1      | 1           | 1              |
| 2            | Eemklei2      | 1           | 1              |
| 1            | Sand          | 1           | 1              |

## 2.5 Soil Properties

| Layer number | Drained | Unit weight                      |                                |
|--------------|---------|----------------------------------|--------------------------------|
|              |         | Unsaturated [kN/m <sup>3</sup> ] | Saturated [kN/m <sup>3</sup> ] |
| 9            | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |
| 8            | No      | 11,00                            | 11,00                          |
| 7            | No      | 14,00                            | 14,00                          |
| 6            | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |
| 5            | No      | 14,00                            | 14,00                          |
| 4            | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |
| 3            | No      | 17,70                            | 17,70                          |
| 2            | No      | 17,10                            | 17,10                          |
| 1            | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |

| Layer number | Vert. consolid. coefficient Cv [m <sup>2</sup> /s] |
|--------------|----------------------------------------------------|
| 9            | -                                                  |
| 8            | 1,00E+01                                           |
| 7            | 1,00E-07                                           |
| 6            | -                                                  |
| 5            | 1,00E-07                                           |
| 4            | -                                                  |
| 3            | 8,00E+01                                           |
| 2            | 8,00E+01                                           |
| 1            | -                                                  |

| Layer number | Precons. pressure [kN/m <sup>2</sup> ] | POP [kN/m <sup>2</sup> ] | OCR [-] |
|--------------|----------------------------------------|--------------------------|---------|
| 9            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 8            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 7            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 6            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 5            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 4            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 3            | -                                      | 142,00                   | -       |
| 2            | -                                      | 153,00                   | -       |
| 1            | -                                      | -                        | 1,00    |

| Layer number | Primary compr. coeff. |          | Secular compr. coef. |          | Swell constants |          |
|--------------|-----------------------|----------|----------------------|----------|-----------------|----------|
|              | Cp [-]                | Cp' [-]  | Cs [-]               | Cs' [-]  | Ap [-]          | As [-]   |
| 9            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99             | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 8            | 1,50E+01              | 7,50E+00 | 6,00E+01             | 3,00E+01 | 1,50E+01        | 3,00E+01 |
| 7            | 7,50E+01              | 1,50E+02 | 3,00E+03             | 1,50E+03 | 7,50E+01        | 1,50E+03 |
| 6            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99             | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 5            | 7,50E+01              | 1,50E+02 | 3,00E+03             | 1,50E+03 | 7,50E+01        | 1,50E+03 |
| 4            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99             | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 3            | 8,00E+01              | 2,49E+01 | 8,41E+02             | 1,71E+02 | 8,00E+01        | 1,71E+02 |
| 2            | 9,00E+01              | 3,23E+01 | 9,92E+02             | 3,56E+02 | 9,00E+01        | 3,56E+02 |
| 1            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99             | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |

## 2.6 Rectangular Loads

| Load number | Time [days] | Magnitude [kN/m <sup>2</sup> ] | Dimension    |              | Center |        |       | Shape factor [-] |
|-------------|-------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------|--------|-------|------------------|
|             |             |                                | Width(x) [m] | Width(z) [m] | X [m]  | Y [m]  | Z [m] |                  |
| 1           | 0           | 154,00                         | 28,00        | 26,00        | 50,00  | -18,50 | 50,00 | 1,00             |

**2.7 Verticals**

| Vertical number | X co-ordinates [m] |        |        |  |  |
|-----------------|--------------------|--------|--------|--|--|
| 1 - 3           | 36,000             | 50,000 | 64,000 |  |  |

### 3 Results per Vertical

#### 3.1 Results for Vertical 1 (X = 36,00 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -1,00        | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| -1,10        | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| -1,20        | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| -1,30        | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| -1,40        | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| -1,50        | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| -1,60        | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| -1,70        | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| -1,80        | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| -1,90        | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| -2,00        | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,254                          | 0,254                           | 18,000                         |
| -3,00        | 38,000                          | 9,810                           | 28,190                         | 38,254                          | 10,064                          | 28,190                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -3,00        | 38,000                          | 9,810                           | 28,190                         | 38,254                          | 10,064                          | 28,190                         |
| -3,50        | 43,500                          | 14,715                          | 28,785                         | 43,754                          | 14,969                          | 28,785                         |
| -4,00        | 49,000                          | 19,620                          | 29,380                         | 49,254                          | 19,874                          | 29,380                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -4,00        | 49,000                          | 19,620                          | 29,380                         | 49,254                          | 19,874                          | 29,380                         |
| -4,80        | 60,200                          | 27,468                          | 32,732                         | 60,454                          | 27,722                          | 32,732                         |
| -5,80        | 74,200                          | 37,278                          | 36,922                         | 74,454                          | 37,532                          | 36,922                         |
| -6,80        | 88,200                          | 47,088                          | 41,112                         | 88,454                          | 47,342                          | 41,112                         |
| -7,50        | 98,000                          | 53,955                          | 44,045                         | 98,254                          | 54,209                          | 44,045                         |
| -8,20        | 107,800                         | 60,822                          | 46,978                         | 108,054                         | 61,076                          | 46,978                         |
| -9,20        | 121,800                         | 70,632                          | 51,168                         | 122,054                         | 70,886                          | 51,168                         |
| -10,20       | 135,800                         | 80,442                          | 55,358                         | 136,054                         | 80,696                          | 55,358                         |
| -10,60       | 141,400                         | 84,366                          | 57,034                         | 141,654                         | 84,620                          | 57,034                         |
| -10,70       | 142,800                         | 85,347                          | 57,453                         | 143,054                         | 85,601                          | 57,453                         |
| -10,80       | 144,200                         | 86,328                          | 57,872                         | 144,454                         | 86,582                          | 57,872                         |
| -10,90       | 145,600                         | 87,309                          | 58,291                         | 145,854                         | 87,563                          | 58,291                         |
| -11,00       | 147,000                         | 88,290                          | 58,710                         | 147,254                         | 88,544                          | 58,710                         |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -11,00       | 146,900                         | 88,290                          | 58,610                         | 147,154                         | 88,544                          | 58,610                         |
| -11,10       | 148,896                         | 89,271                          | 59,625                         | 149,150                         | 89,525                          | 59,625                         |
| -11,20       | 150,892                         | 90,252                          | 60,640                         | 151,147                         | 90,506                          | 60,640                         |
| -11,30       | 152,889                         | 91,233                          | 61,656                         | 153,143                         | 91,487                          | 61,656                         |
| -11,40       | 154,885                         | 92,214                          | 62,671                         | 155,139                         | 92,468                          | 62,671                         |
| -11,50       | 156,880                         | 93,195                          | 63,685                         | 157,135                         | 93,449                          | 63,685                         |
| -12,40       | 174,839                         | 102,024                         | 72,815                         | 175,093                         | 102,278                         | 72,815                         |
| -13,40       | 194,783                         | 111,834                         | 82,949                         | 195,037                         | 112,088                         | 82,949                         |
| -14,00       | 206,743                         | 117,720                         | 89,023                         | 206,997                         | 117,974                         | 89,023                         |
| -15,00       | 226,667                         | 127,530                         | 99,137                         | 226,921                         | 127,784                         | 99,137                         |
| -16,00       | 246,578                         | 137,340                         | 109,238                        | 246,832                         | 137,594                         | 109,238                        |
| -17,00       | 266,474                         | 147,150                         | 119,324                        | 266,729                         | 147,404                         | 119,324                        |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -17,00       | 266,474                         | 147,150                         | 119,324                        | 266,729                         | 147,404                         | 119,324                        |
| -17,50       | 273,417                         | 152,055                         | 121,362                        | 273,671                         | 152,309                         | 121,362                        |
| -18,00       | 280,356                         | 156,960                         | 123,396                        | 280,611                         | 157,214                         | 123,396                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -18,00       | 280,357                         | 156,960                         | 123,396                        | 280,611                         | 157,214                         | 123,396                        |
| -18,60       | 292,279                         | 162,846                         | 129,433                        | 369,533                         | 163,100                         | 206,433                        |
| -19,20       | 304,195                         | 168,732                         | 135,463                        | 381,449                         | 168,986                         | 212,463                        |
| -19,80       | 316,107                         | 174,618                         | 141,489                        | 393,358                         | 174,872                         | 218,486                        |
| -20,40       | 328,012                         | 180,504                         | 147,508                        | 405,254                         | 180,758                         | 224,495                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -20,40       | 328,013                         | 180,504                         | 147,509                        | 405,254                         | 180,758                         | 224,495                        |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -21,90       | 354,304                         | 195,219                         | 159,085                        | 431,330                         | 195,370                         | 235,960                        |
| -23,40       | 380,561                         | 209,934                         | 170,627                        | 457,134                         | 209,988                         | 247,147                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -23,40       | 380,561                         | 209,934                         | 170,627                        | 457,135                         | 209,988                         | 247,147                        |
| -23,90       | 389,007                         | 214,839                         | 174,168                        | 465,354                         | 214,866                         | 250,489                        |
| -24,40       | 397,448                         | 219,744                         | 177,704                        | 473,524                         | 219,744                         | 253,780                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -24,40       | 397,449                         | 219,744                         | 177,705                        | 473,525                         | 219,744                         | 253,780                        |
| -26,40       | 436,982                         | 239,364                         | 197,618                        | 511,572                         | 239,364                         | 272,208                        |
| -28,40       | 476,464                         | 258,984                         | 217,480                        | 548,771                         | 258,984                         | 289,787                        |
| -30,40       | 515,900                         | 278,604                         | 237,296                        | 585,275                         | 278,604                         | 306,671                        |
| -32,40       | 555,295                         | 298,224                         | 257,071                        | 621,304                         | 298,224                         | 323,080                        |
| -34,40       | 594,655                         | 317,844                         | 276,811                        | 657,068                         | 317,844                         | 339,224                        |
| -36,40       | 633,985                         | 337,464                         | 296,521                        | 692,732                         | 337,464                         | 355,268                        |
| -37,20       | 649,710                         | 345,312                         | 304,398                        | 706,997                         | 345,312                         | 361,685                        |
| -41,40       | 732,216                         | 386,514                         | 345,702                        | 782,136                         | 386,514                         | 395,622                        |
| -46,40       | 830,366                         | 435,564                         | 394,802                        | 872,509                         | 435,564                         | 436,945                        |
| -50,00       | 901,017                         | 470,880                         | 430,137                        | 938,321                         | 470,880                         | 467,441                        |

| Layer number | Swelling |           | Settlement b. Sp. |                     | Settlement a. Sp. |                     |
|--------------|----------|-----------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|              | Primary  | Secondary | Primary           | Secondary 10 [days] | Primary           | Secondary 10 [days] |
|              | [m]      | [m]       | [m]               | [m]                 | [m]               | [m]                 |
| 9            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 8            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 7            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 6            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 5            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 4            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 3            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0148            | 0,0014              | 0,0000            | 0,0000              |
| 2            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0040            | 0,0004              | 0,0000            | 0,0000              |
| 1            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| Total        | 0,0000   | 0,0000    | 0,0188            | 0,0018              | 0,0000            | 0,0000              |

| Depth  |        | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                     |                    | Percentage of original layer height [%] |
|--------|--------|--------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| From   | To     |              | Primary                       | Secondary 10 [days] | After 10000 [days] |                                         |
| [m]    | [m]    |              | [m]                           | [m]                 | [m]                |                                         |
| -1,00  | -3,00  | 9            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -3,00  | -4,00  | 8            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -4,00  | -11,00 | 7            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -11,00 | -17,00 | 6            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -17,00 | -18,00 | 5            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -18,00 | -20,40 | 4            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -20,40 | -23,40 | 3            | 0,0148                        | 0,0014              | 0,0204             | 0,68                                    |
| -23,40 | -24,40 | 2            | 0,0040                        | 0,0004              | 0,0055             | 0,55                                    |
| -24,40 | -50,00 | 1            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| Total  |        |              | 0,0188                        | 0,0018              | 0,0259             |                                         |

### 3.2 Results for Vertical 2 (X = 50,00 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -1,00        | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| -1,10        | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| -1,20        | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| -1,30        | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| -1,40        | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| -1,50        | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| -1,60        | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -1,70        | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| -1,80        | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| -1,90        | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| -2,00        | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,486                          | 0,486                           | 18,000                         |
| -3,00        | 38,000                          | 9,810                           | 28,190                         | 38,486                          | 10,296                          | 28,190                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -3,00        | 38,000                          | 9,810                           | 28,190                         | 38,486                          | 10,296                          | 28,190                         |
| -3,50        | 43,500                          | 14,715                          | 28,785                         | 43,986                          | 15,201                          | 28,785                         |
| -4,00        | 49,000                          | 19,620                          | 29,380                         | 49,486                          | 20,106                          | 29,380                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -4,00        | 49,000                          | 19,620                          | 29,380                         | 49,486                          | 20,106                          | 29,380                         |
| -4,80        | 60,200                          | 27,468                          | 32,732                         | 60,686                          | 27,954                          | 32,732                         |
| -5,80        | 74,200                          | 37,278                          | 36,922                         | 74,686                          | 37,764                          | 36,922                         |
| -6,80        | 88,200                          | 47,088                          | 41,112                         | 88,686                          | 47,574                          | 41,112                         |
| -7,50        | 98,000                          | 53,955                          | 44,045                         | 98,486                          | 54,441                          | 44,045                         |
| -8,20        | 107,800                         | 60,822                          | 46,978                         | 108,286                         | 61,308                          | 46,978                         |
| -9,20        | 121,800                         | 70,632                          | 51,168                         | 122,286                         | 71,118                          | 51,168                         |
| -10,20       | 135,800                         | 80,442                          | 55,358                         | 136,286                         | 80,928                          | 55,358                         |
| -10,60       | 141,400                         | 84,366                          | 57,034                         | 141,886                         | 84,852                          | 57,034                         |
| -10,70       | 142,800                         | 85,347                          | 57,453                         | 143,286                         | 85,833                          | 57,453                         |
| -10,80       | 144,200                         | 86,328                          | 57,872                         | 144,686                         | 86,814                          | 57,872                         |
| -10,90       | 145,600                         | 87,309                          | 58,291                         | 146,086                         | 87,795                          | 58,291                         |
| -11,00       | 147,000                         | 88,290                          | 58,710                         | 147,486                         | 88,776                          | 58,710                         |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -11,00       | 146,935                         | 88,290                          | 58,645                         | 147,422                         | 88,776                          | 58,645                         |
| -11,10       | 148,933                         | 89,271                          | 59,662                         | 149,419                         | 89,757                          | 59,662                         |
| -11,20       | 150,930                         | 90,252                          | 60,678                         | 151,416                         | 90,738                          | 60,678                         |
| -11,30       | 152,928                         | 91,233                          | 61,695                         | 153,414                         | 91,719                          | 61,695                         |
| -11,40       | 154,925                         | 92,214                          | 62,711                         | 155,411                         | 92,700                          | 62,711                         |
| -11,50       | 156,922                         | 93,195                          | 63,727                         | 157,409                         | 93,681                          | 63,727                         |
| -12,40       | 174,895                         | 102,024                         | 72,871                         | 175,381                         | 102,510                         | 72,871                         |
| -13,40       | 194,857                         | 111,834                         | 83,023                         | 195,344                         | 112,320                         | 83,023                         |
| -14,00       | 206,831                         | 117,720                         | 89,111                         | 207,317                         | 118,206                         | 89,111                         |
| -15,00       | 226,779                         | 127,530                         | 99,249                         | 227,266                         | 128,016                         | 99,249                         |
| -16,00       | 246,718                         | 137,340                         | 109,378                        | 247,205                         | 137,826                         | 109,378                        |
| -17,00       | 266,647                         | 147,150                         | 119,497                        | 267,133                         | 147,636                         | 119,497                        |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -17,00       | 266,647                         | 147,150                         | 119,497                        | 267,133                         | 147,636                         | 119,497                        |
| -17,50       | 273,607                         | 152,055                         | 121,552                        | 274,093                         | 152,541                         | 121,552                        |
| -18,00       | 280,565                         | 156,960                         | 123,605                        | 281,051                         | 157,446                         | 123,605                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -18,00       | 280,565                         | 156,960                         | 123,605                        | 281,051                         | 157,446                         | 123,605                        |
| -18,60       | 292,510                         | 162,846                         | 129,664                        | 446,996                         | 163,332                         | 283,664                        |
| -19,20       | 304,451                         | 168,732                         | 135,719                        | 458,937                         | 169,218                         | 289,718                        |
| -19,80       | 316,388                         | 174,618                         | 141,770                        | 470,865                         | 175,104                         | 295,761                        |
| -20,40       | 328,320                         | 180,504                         | 147,816                        | 482,766                         | 180,990                         | 301,775                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -20,40       | 328,321                         | 180,504                         | 147,816                        | 482,766                         | 180,990                         | 301,775                        |
| -21,90       | 354,682                         | 195,219                         | 159,463                        | 508,575                         | 195,502                         | 313,072                        |
| -23,40       | 381,016                         | 209,934                         | 171,082                        | 533,599                         | 210,027                         | 323,572                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -23,40       | 381,016                         | 209,934                         | 171,082                        | 533,599                         | 210,027                         | 323,572                        |
| -23,90       | 389,488                         | 214,839                         | 174,649                        | 541,402                         | 214,885                         | 326,517                        |
| -24,40       | 397,956                         | 219,744                         | 178,212                        | 549,057                         | 219,744                         | 329,313                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -24,40       | 397,956                         | 219,744                         | 178,212                        | 549,057                         | 219,744                         | 329,313                        |
| -26,40       | 437,598                         | 239,364                         | 198,234                        | 584,076                         | 239,364                         | 344,712                        |
| -28,40       | 477,191                         | 258,984                         | 218,207                        | 616,665                         | 258,984                         | 357,681                        |
| -30,40       | 516,736                         | 278,604                         | 238,132                        | 647,407                         | 278,604                         | 368,803                        |
| -32,40       | 556,237                         | 298,224                         | 258,013                        | 677,094                         | 298,224                         | 378,870                        |
| -34,40       | 595,696                         | 317,844                         | 277,852                        | 706,442                         | 317,844                         | 388,598                        |
| -36,40       | 635,117                         | 337,464                         | 297,653                        | 735,981                         | 337,464                         | 398,517                        |
| -37,20       | 650,875                         | 345,312                         | 305,563                        | 747,931                         | 345,312                         | 402,619                        |
| -41,40       | 733,529                         | 386,514                         | 347,015                        | 812,472                         | 386,514                         | 425,958                        |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -46,40       | 831,794                         | 435,564                         | 396,230                        | 893,657                         | 435,564                         | 458,093                        |
| -50,00       | 902,488                         | 470,880                         | 431,608                        | 954,757                         | 470,880                         | 483,877                        |

| Layer number | Swelling |           | Settlement b. Sp. |                        | Settlement a. Sp. |                        |
|--------------|----------|-----------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
|              | Primary  | Secondary | Primary           | Secondary<br>10 [days] | Primary           | Secondary<br>10 [days] |
|              | [m]      | [m]       | [m]               | [m]                    | [m]               | [m]                    |
| 9            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 8            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 7            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 6            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 5            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 4            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 3            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0239            | 0,0023                 | 0,0045            | 0,0007                 |
| 2            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0070            | 0,0006                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 1            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| Total        | 0,0000   | 0,0000    | 0,0309            | 0,0029                 | 0,0045            | 0,0007                 |

| Depth       |           | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                               |                              | Percentage of original layer height [%] |
|-------------|-----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| From<br>[m] | To<br>[m] |              | Primary<br>[m]                | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | After<br>10000 [days]<br>[m] |                                         |
| -1,00       | -3,00     | 9            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -3,00       | -4,00     | 8            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -4,00       | -11,00    | 7            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -11,00      | -17,00    | 6            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -17,00      | -18,00    | 5            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -18,00      | -20,40    | 4            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -20,40      | -23,40    | 3            | 0,0284                        | 0,0029                        | 0,0401                       | 1,34                                    |
| -23,40      | -24,40    | 2            | 0,0070                        | 0,0006                        | 0,0095                       | 0,95                                    |
| -24,40      | -50,00    | 1            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| Total       |           |              | 0,0353                        | 0,0036                        | 0,0496                       |                                         |

### 3.3 Results for Vertical 3 (X = 64,00 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -1,00        | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| -1,10        | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| -1,20        | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| -1,30        | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| -1,40        | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| -1,50        | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| -1,60        | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| -1,70        | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| -1,80        | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| -1,90        | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| -2,00        | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,254                          | 0,254                           | 18,000                         |
| -3,00        | 38,000                          | 9,810                           | 28,190                         | 38,254                          | 10,064                          | 28,190                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -3,00        | 38,000                          | 9,810                           | 28,190                         | 38,254                          | 10,064                          | 28,190                         |
| -3,50        | 43,500                          | 14,715                          | 28,785                         | 43,754                          | 14,969                          | 28,785                         |
| -4,00        | 49,000                          | 19,620                          | 29,380                         | 49,254                          | 19,874                          | 29,380                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -4,00        | 49,000                          | 19,620                          | 29,380                         | 49,254                          | 19,874                          | 29,380                         |
| -4,80        | 60,200                          | 27,468                          | 32,732                         | 60,454                          | 27,722                          | 32,732                         |
| -5,80        | 74,200                          | 37,278                          | 36,922                         | 74,454                          | 37,532                          | 36,922                         |
| -6,80        | 88,200                          | 47,088                          | 41,112                         | 88,454                          | 47,342                          | 41,112                         |
| -7,50        | 98,000                          | 53,955                          | 44,045                         | 98,254                          | 54,209                          | 44,045                         |
| -8,20        | 107,800                         | 60,822                          | 46,978                         | 108,054                         | 61,076                          | 46,978                         |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -9,20        | 121,800                         | 70,632                          | 51,168                         | 122,054                         | 70,886                          | 51,168                         |
| -10,20       | 135,800                         | 80,442                          | 55,358                         | 136,054                         | 80,696                          | 55,358                         |
| -10,60       | 141,400                         | 84,366                          | 57,034                         | 141,654                         | 84,620                          | 57,034                         |
| -10,70       | 142,800                         | 85,347                          | 57,453                         | 143,054                         | 85,601                          | 57,453                         |
| -10,80       | 144,200                         | 86,328                          | 57,872                         | 144,454                         | 86,582                          | 57,872                         |
| -10,90       | 145,600                         | 87,309                          | 58,291                         | 145,854                         | 87,563                          | 58,291                         |
| -11,00       | 147,000                         | 88,290                          | 58,710                         | 147,254                         | 88,544                          | 58,710                         |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -11,00       | 146,900                         | 88,290                          | 58,610                         | 147,154                         | 88,544                          | 58,610                         |
| -11,10       | 148,896                         | 89,271                          | 59,625                         | 149,150                         | 89,525                          | 59,625                         |
| -11,20       | 150,892                         | 90,252                          | 60,640                         | 151,147                         | 90,506                          | 60,640                         |
| -11,30       | 152,889                         | 91,233                          | 61,656                         | 153,143                         | 91,487                          | 61,656                         |
| -11,40       | 154,885                         | 92,214                          | 62,671                         | 155,139                         | 92,468                          | 62,671                         |
| -11,50       | 156,880                         | 93,195                          | 63,685                         | 157,135                         | 93,449                          | 63,685                         |
| -12,40       | 174,839                         | 102,024                         | 72,815                         | 175,093                         | 102,278                         | 72,815                         |
| -13,40       | 194,783                         | 111,834                         | 82,949                         | 195,037                         | 112,088                         | 82,949                         |
| -14,00       | 206,743                         | 117,720                         | 89,023                         | 206,997                         | 117,974                         | 89,023                         |
| -15,00       | 226,667                         | 127,530                         | 99,137                         | 226,921                         | 127,784                         | 99,137                         |
| -16,00       | 246,578                         | 137,340                         | 109,238                        | 246,832                         | 137,594                         | 109,238                        |
| -17,00       | 266,474                         | 147,150                         | 119,324                        | 266,729                         | 147,404                         | 119,324                        |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -17,00       | 266,474                         | 147,150                         | 119,324                        | 266,729                         | 147,404                         | 119,324                        |
| -17,50       | 273,417                         | 152,055                         | 121,362                        | 273,671                         | 152,309                         | 121,362                        |
| -18,00       | 280,356                         | 156,960                         | 123,396                        | 280,611                         | 157,214                         | 123,396                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -18,00       | 280,357                         | 156,960                         | 123,396                        | 280,611                         | 157,214                         | 123,396                        |
| -18,60       | 292,279                         | 162,846                         | 129,433                        | 369,533                         | 163,100                         | 206,433                        |
| -19,20       | 304,195                         | 168,732                         | 135,463                        | 381,449                         | 168,986                         | 212,463                        |
| -19,80       | 316,107                         | 174,618                         | 141,489                        | 393,358                         | 174,872                         | 218,486                        |
| -20,40       | 328,012                         | 180,504                         | 147,508                        | 405,254                         | 180,758                         | 224,495                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -20,40       | 328,013                         | 180,504                         | 147,509                        | 405,254                         | 180,758                         | 224,495                        |
| -21,90       | 354,304                         | 195,219                         | 159,085                        | 431,330                         | 195,370                         | 235,960                        |
| -23,40       | 380,561                         | 209,934                         | 170,627                        | 457,134                         | 209,988                         | 247,147                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -23,40       | 380,561                         | 209,934                         | 170,627                        | 457,135                         | 209,988                         | 247,147                        |
| -23,90       | 389,007                         | 214,839                         | 174,168                        | 465,354                         | 214,866                         | 250,489                        |
| -24,40       | 397,448                         | 219,744                         | 177,704                        | 473,524                         | 219,744                         | 253,780                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -24,40       | 397,449                         | 219,744                         | 177,705                        | 473,525                         | 219,744                         | 253,780                        |
| -26,40       | 436,982                         | 239,364                         | 197,618                        | 511,572                         | 239,364                         | 272,208                        |
| -28,40       | 476,464                         | 258,984                         | 217,480                        | 548,771                         | 258,984                         | 289,787                        |
| -30,40       | 515,900                         | 278,604                         | 237,296                        | 585,275                         | 278,604                         | 306,671                        |
| -32,40       | 555,295                         | 298,224                         | 257,071                        | 621,304                         | 298,224                         | 323,080                        |
| -34,40       | 594,655                         | 317,844                         | 276,811                        | 657,068                         | 317,844                         | 339,224                        |
| -36,40       | 633,985                         | 337,464                         | 296,521                        | 692,732                         | 337,464                         | 355,268                        |
| -37,20       | 649,710                         | 345,312                         | 304,398                        | 706,997                         | 345,312                         | 361,685                        |
| -41,40       | 732,216                         | 386,514                         | 345,702                        | 782,136                         | 386,514                         | 395,622                        |
| -46,40       | 830,366                         | 435,564                         | 394,802                        | 872,509                         | 435,564                         | 436,945                        |
| -50,00       | 901,017                         | 470,880                         | 430,137                        | 938,321                         | 470,880                         | 467,441                        |

| Layer number | Swelling |           | Settlement b. Sp. |                     | Settlement a. Sp. |                     |
|--------------|----------|-----------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|              | Primary  | Secondary | Primary           | Secondary 10 [days] | Primary           | Secondary 10 [days] |
|              | [m]      | [m]       | [m]               | [m]                 | [m]               | [m]                 |
| 9            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 8            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 7            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 6            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 5            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 4            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |
| 3            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0148            | 0,0014              | 0,0000            | 0,0000              |
| 2            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0040            | 0,0004              | 0,0000            | 0,0000              |
| 1            | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000              | 0,0000            | 0,0000              |

| Layer number | Swelling |           | Settlement b. Sp. |                     | Settlement a. Sp. |                     |
|--------------|----------|-----------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|              | Primary  | Secondary | Primary           | Secondary 10 [days] | Primary           | Secondary 10 [days] |
|              | [m]      | [m]       | [m]               | [m]                 | [m]               | [m]                 |
| Total        | 0,0000   | 0,0000    | 0,0188            | 0,0018              | 0,0000            | 0,0000              |

| Depth  |        | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                     |                    | Percentage of original layer height [%] |
|--------|--------|--------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| From   | To     |              | Primary                       | Secondary 10 [days] | After 10000 [days] |                                         |
| [m]    | [m]    |              | [m]                           | [m]                 | [m]                |                                         |
| -1,00  | -3,00  | 9            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -3,00  | -4,00  | 8            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -4,00  | -11,00 | 7            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -11,00 | -17,00 | 6            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -17,00 | -18,00 | 5            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -18,00 | -20,40 | 4            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| -20,40 | -23,40 | 3            | 0,0148                        | 0,0014              | 0,0204             | 0,68                                    |
| -23,40 | -24,40 | 2            | 0,0040                        | 0,0004              | 0,0055             | 0,55                                    |
| -24,40 | -50,00 | 1            | 0,0000                        | 0,0000              | 0,0000             | 0,00                                    |
| Total  |        |              | 0,0188                        | 0,0018              | 0,0259             |                                         |

## 4 Settlements

### 4.1 Settlements

| Vertical number | X co-ordinate [m] | Z co-ordinate [m] | Surface level [m] | Settlement [m] |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 1               | 36,00             | 50,00             | -1,00             | 0,026          |
| 2               | 50,00             | 50,00             | -1,00             | 0,050          |
| 3               | 64,00             | 50,00             | -1,00             | 0,026          |

### 4.2 Residual Times

| Vertical number | Time [days] | Settlement [m] | Part of final settlement [%] | Residual settlements [m] |
|-----------------|-------------|----------------|------------------------------|--------------------------|
| 1               | 180         | 0,023          | 88,062                       | 0,003                    |
|                 | 270         | 0,023          | 89,262                       | 0,003                    |
|                 | 365         | 0,023          | 90,155                       | 0,003                    |
|                 | 3650        | 0,025          | 96,988                       | 0,001                    |
|                 | 10000       | 0,026          | 100,000                      | 0,000                    |
| 2               | 180         | 0,043          | 87,476                       | 0,006                    |
|                 | 270         | 0,044          | 88,735                       | 0,006                    |
|                 | 365         | 0,044          | 89,672                       | 0,005                    |
|                 | 3650        | 0,048          | 96,840                       | 0,002                    |
|                 | 10000       | 0,050          | 100,000                      | 0,000                    |
| 3               | 180         | 0,023          | 88,062                       | 0,003                    |
|                 | 270         | 0,023          | 89,262                       | 0,003                    |
|                 | 365         | 0,023          | 90,155                       | 0,003                    |
|                 | 3650        | 0,025          | 96,988                       | 0,001                    |
|                 | 10000       | 0,026          | 100,000                      | 0,000                    |

**End of Report**

## **Bijlage 9: Uitkomsten zettingsberekeningen Sky Dome**

## Rekenblad zettingen Eemklei

Object:

Sky Dome

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.

In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.

Op blad een wordt de korrelspanning bepaald, op blad twee de spreiding van de aangebrachte belasting en op blad drie de zettingen per zettingsgevoelige laag.

Naam object: Sky Dome

Bepaling grond-, water- en korrelspanningen tot onderkant dragende zandlaag

Gebruikte sondering

Maaiveldhoogte

1,00

Grondwaterstand t.o.v. NAP

-1,00

Onderkant fundering t.o.v. NAP

-19,50

| Grondsoort       | van m NAP | tot m NAP | Laagdikte | $\gamma_{rep}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\gamma_{water}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\gamma_{d,eff}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\sigma'_{v;z;d}$ [kPa] | $\sigma'_{v;z;d}$ [kPa] onderzijde laag | $\sigma'_{v;z;d}$ [kPa] midden laag |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Zand, droog      | 1,00      | -1,00     | 2,00      | 18                                  | 0                                     | 18                                    | 36                      | 36                                      | 18                                  |
| Zand, nat        | -1,00     | -2,50     | 1,50      | 20                                  | 10                                    | 10                                    | 15                      | 51                                      | 44                                  |
| Klei, nat        | -2,50     | -4,50     | 2,00      | 14                                  | 10                                    | 4                                     | 8                       | 59                                      | 55                                  |
| Zand, nat        | -4,50     | -7,50     | 3,00      | 20                                  | 10                                    | 10                                    | 30                      | 89                                      | 74                                  |
| Klei, nat        | -7,50     | -12,50    | 5,00      | 14                                  | 10                                    | 4                                     | 20                      | 109                                     | 99                                  |
| Zand, nat        | -12,50    | -14,00    | 1,50      | 20                                  | 10                                    | 10                                    | 15                      | 124                                     | 117                                 |
| Zand, nat        | -14,00    | -17,00    | 3,00      | 20                                  | 10                                    | 10                                    | 30                      | 154                                     | 139                                 |
| Zand, nat        | -17,00    | -25,00    | 8,00      | 20                                  | 10                                    | 10                                    | 80                      | 234                                     | 194                                 |
| Eemklei zone I   | -25,00    | -28,00    | 3,00      | 17,1                                | 10                                    | 7,1                                   | 21                      | 255,3                                   | 245                                 |
| Eemklei zone II  | -28,00    | -31,50    | 3,50      | 17,7                                | 10                                    | 7,7                                   | 27                      | 282,25                                  | 269                                 |
| Eemklei zone III | -31,50    | -36,50    | 5,00      | 17,6                                | 10                                    | 7,6                                   | 38                      | 320,25                                  | 301                                 |
| Eemklei zone IV  | -36,50    | -40,50    | 4,00      | 17,7                                | 10                                    | 7,7                                   | 31                      | 351,05                                  | 336                                 |

## Rekenblad zettingen Eemklei

Object:

Sky Dome

Dit spreadsheet berekend de zettingen van zettingsgevoelige lagen die zich onder de dragende zandlaag bevinden.  
In de dragende zandlaag is de fundering aangebracht van het desbetreffende object.  
horizontaal en op gelijke diepgang te houden.

|                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Naam object: Sky Dome              |                          |
| Afmeting breedte object            | 17,50 m                  |
| Afmeting lengte object             | 31,50 m                  |
| Oppervlakte object                 | 551,25 m <sup>2</sup>    |
| Gewicht object inclusief fundering | 196660 kN                |
| Belasting per vierkante meter      | 356,75 kN/m <sup>2</sup> |

|                          | Laagdikte<br>m | Afschuifhoek<br>$\phi'$ [°] | Resulterende breedte<br>m | Resulterende lengte<br>m | Resultierend oppervlak<br>m <sup>2</sup> | Resulterende druk<br>kN/m <sup>2</sup> |
|--------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| Onderzijde laag 1        | 5,50           | 30,00                       | 23,851                    | 37,851                   | 902,775                                  | 218                                    |
| Midden zone I, Eemklei   | 3,00           | 33,50                       | 25,837                    | 39,837                   | 1029,236                                 | 191                                    |
| Midden zone II, Eemklei  | 3,50           | 33,50                       | 30,139                    | 44,139                   | 1330,288                                 | 148                                    |
| Midden zone III, Eemklei | 5,00           | 33,50                       | 35,765                    | 49,765                   | 1779,828                                 | 110                                    |
| Midden zone IV, Eemklei  | 4,00           | 33,50                       | 41,722                    | 55,722                   | 2324,810                                 | 85                                     |

Object: **Sky Dome**

$$\frac{\Delta h}{h_0} = \left[ \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log(t) \right] * \ln\left(\frac{P_g}{P_g'}\right) + \left[ \frac{1}{C_{p'}} + \frac{1}{C_{s'}} * \log(t) \right] * \ln\left(\frac{P_g'}{P_g}\right)$$

$P_g$  = Grensspanning

[illegible]

## **Report for D-Settlement 14.1**

Settlement Calculations  
Developed by Deltares

|                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| Company:             | Fugro                         |
| Date of report:      | 30-1-2015                     |
| Time of report:      | 15:29:50                      |
| Date of calculation: | 30-1-2015                     |
| Time of calculation: | 15:29:20                      |
| Filename:            | F:\D-settle\Sky Dome\Sky Dome |

## 1 Table of Contents

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1 Table of Contents                                   | 2  |
| 2 Echo of the Input                                   | 3  |
| 2.1 Layer Boundaries                                  | 3  |
| 2.2 PL Lines                                          | 3  |
| 2.3 General Data                                      | 3  |
| 2.4 Soil Profiles                                     | 3  |
| 2.5 Soil Properties                                   | 4  |
| 2.6 Rectangular Loads                                 | 5  |
| 2.7 Verticals                                         | 5  |
| 3 Results per Vertical                                | 6  |
| 3.1 Results for Vertical 1 (X = 34,25 m; Z = 50,00 m) | 6  |
| 3.2 Results for Vertical 2 (X = 50,00 m; Z = 50,00 m) | 7  |
| 3.3 Results for Vertical 3 (X = 65,75 m; Z = 50,00 m) | 9  |
| 4 Settlements                                         | 12 |
| 4.1 Settlements                                       | 12 |
| 4.2 Residual Times                                    | 12 |

## 2 Echo of the Input

### 2.1 Layer Boundaries

| Boundary number | Co-ordinates [m] |         |  |  |
|-----------------|------------------|---------|--|--|
| 10 - X -        | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 10 - Y -        | 1,000            | 1,000   |  |  |
| 9 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 9 - Y -         | -2,500           | -2,500  |  |  |
| 8 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 8 - Y -         | -4,500           | -4,500  |  |  |
| 7 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 7 - Y -         | -7,500           | -7,500  |  |  |
| 6 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 6 - Y -         | -12,500          | -12,500 |  |  |
| 5 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 5 - Y -         | -25,000          | -25,000 |  |  |
| 4 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 4 - Y -         | -28,000          | -28,000 |  |  |
| 3 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 3 - Y -         | -31,500          | -31,500 |  |  |
| 2 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 2 - Y -         | -36,000          | -36,000 |  |  |
| 1 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 1 - Y -         | -40,500          | -40,500 |  |  |
| 0 - X -         | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 0 - Y -         | -50,000          | -50,000 |  |  |

### 2.2 PL Lines

| PL line number | Co-ordinates [m] |         |  |  |
|----------------|------------------|---------|--|--|
| 1 - X -        | 0,000            | 100,000 |  |  |
| 1 - Y -        | -1,000           | -1,000  |  |  |

### 2.3 General Data

|                                        |                                                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Soil model:                            | Koppejan                                            |
| Consolidation model:                   | Terzaghi                                            |
| Strain model:                          | Linear                                              |
| Groundwater level:                     | Initial determined by PL-line number 1              |
| Unit weight of water:                  | 9,81 [kN/m³]                                        |
| Dispersion conditions layer boundaries |                                                     |
| - Top:                                 | drained                                             |
| - Bottom:                              | drained                                             |
| Stress distribution                    |                                                     |
| - Soil:                                | Boussinesq                                          |
| - Loads:                               | Simulate                                            |
| End of consolidation:                  | 10000,00 [days]                                     |
| No maintain profile                    |                                                     |
| Pc (initial):                          | Variable parallel to the initial effective stress   |
| Pc (per step):                         | Automatic increased to the final effective stresses |
| With imaginary surface:                | determined by layerboundary number 6                |
| Load column width:                     | 1,00 [m]                                            |
| No submerging                          |                                                     |
| Load column width                      |                                                     |
| - Non-Uniform Loads :                  | 1,00 [m]                                            |
| - Trapezoidal Loads :                  | 1,00 [m]                                            |

### 2.4 Soil Profiles

| Layer number | Material name | PL-line top | PL-line bottom |
|--------------|---------------|-------------|----------------|
| 10           | Sand          | 1           | 1              |
| 9            | Medium Clay   | 1           | 1              |

| Layer number | Material name | PL-line top | PL-line bottom |
|--------------|---------------|-------------|----------------|
| 8            | Sand          | 1           | 1              |
| 7            | Medium Clay   | 1           | 1              |
| 6            | Sand          | 1           | 1              |
| 5            | Eemklei1      | 1           | 1              |
| 4            | Eemklei2      | 1           | 1              |
| 3            | Eemklei3      | 1           | 1              |
| 2            | Eemklei4      | 1           | 1              |
| 1            | Sand          | 1           | 1              |

## 2.5 Soil Properties

| Layer number | Drained | Unit weight                      |                                |
|--------------|---------|----------------------------------|--------------------------------|
|              |         | Unsaturated [kN/m <sup>3</sup> ] | Saturated [kN/m <sup>3</sup> ] |
| 10           | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |
| 9            | No      | 14,00                            | 14,00                          |
| 8            | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |
| 7            | No      | 14,00                            | 14,00                          |
| 6            | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |
| 5            | No      | 17,10                            | 17,10                          |
| 4            | No      | 17,70                            | 17,70                          |
| 3            | No      | 17,60                            | 17,60                          |
| 2            | No      | 17,70                            | 17,70                          |
| 1            | Yes     | 18,00                            | 20,00                          |

| Layer number | Vert. consolid. coefficient Cv [m <sup>2</sup> /s] |
|--------------|----------------------------------------------------|
| 10           | -                                                  |
| 9            | 1,00E-07                                           |
| 8            | -                                                  |
| 7            | 1,00E-07                                           |
| 6            | -                                                  |
| 5            | 8,00E-08                                           |
| 4            | 8,00E-08                                           |
| 3            | 8,00E-08                                           |
| 2            | 8,00E-08                                           |
| 1            | -                                                  |

| Layer number | Precons. pressure [kN/m <sup>2</sup> ] | POP [kN/m <sup>2</sup> ] | OCR [-] |
|--------------|----------------------------------------|--------------------------|---------|
| 10           | -                                      | -                        | 1,30    |
| 9            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 8            | -                                      | -                        | 1,30    |
| 7            | -                                      | -                        | 1,00    |
| 6            | -                                      | -                        | 1,30    |
| 5            | -                                      | 20,00                    | -       |
| 4            | -                                      | 31,00                    | -       |
| 3            | -                                      | 17,00                    | -       |
| 2            | -                                      | 25,00                    | -       |
| 1            | -                                      | -                        | 1,30    |

| Layer number | Primary compr. coeff. |          | Secular compr. coeff. |          | Swell constants |          |
|--------------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------|----------|
|              | Cp [-]                | Cp' [-]  | Cs [-]                | Cs' [-]  | Ap [-]          | As [-]   |
| 10           | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 9            | 7,50E+01              | 1,50E+02 | 3,00E+03              | 1,50E+03 | 7,50E+01        | 1,50E+03 |
| 8            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 7            | 7,50E+01              | 1,50E+02 | 3,00E+03              | 1,50E+03 | 7,50E+01        | 1,50E+03 |
| 6            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |
| 5            | 1,13E+02              | 2,49E+01 | 8,41E+02              | 1,71E+02 | 1,13E+02        | 1,71E+02 |
| 4            | 1,22E+02              | 3,23E+01 | 9,92E+02              | 3,56E+02 | 1,22E+02        | 3,56E+02 |
| 3            | 1,60E+02              | 1,96E+01 | 1,26E+03              | 9,58E+01 | 1,60E+02        | 9,58E+01 |
| 2            | 1,61E+02              | 3,13E+01 | 2,21E+03              | 1,18E+02 | 1,61E+02        | 1,18E+02 |
| 1            | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99              | 1,00E+99 | 1,00E+99        | 1,00E+99 |

## 2.6 Rectangular Loads

| Load number | Time<br>[days] | Magnitude<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Dimension       |                 | Center   |          |          | Shape factor<br>[-] |
|-------------|----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------|----------|----------|---------------------|
|             |                |                                   | Width(x)<br>[m] | Width(z)<br>[m] | X<br>[m] | Y<br>[m] | Z<br>[m] |                     |
| 1           | 0              | 356,75                            | 31,50           | 17,50           | 50,00    | -19,50   | 50,00    | 1,00                |

## 2.7 Verticals

| Vertical number | X co-ordinates [m] |        |        |  |  |
|-----------------|--------------------|--------|--------|--|--|
| 1 - 3           | 34,250             | 50,000 | 65,750 |  |  |

### 3 Results per Vertical

#### 3.1 Results for Vertical 1 (X = 34,25 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 10     |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| 1,00         | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| 0,90         | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| 0,80         | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| 0,70         | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| 0,60         | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| 0,50         | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| 0,40         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| 0,30         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| 0,20         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| 0,10         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| 0,00         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         |
| -0,75        | 31,500                          | 0,000                           | 31,500                         | 32,214                          | 0,714                           | 31,500                         |
| -1,00        | 36,000                          | 0,000                           | 36,000                         | 39,167                          | 3,167                           | 36,000                         |
| -1,70        | 50,000                          | 6,867                           | 43,133                         | 53,167                          | 10,034                          | 43,133                         |
| -2,50        | 66,000                          | 14,715                          | 51,285                         | 69,167                          | 17,882                          | 51,285                         |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -2,50        | 66,000                          | 14,715                          | 51,285                         | 69,167                          | 17,882                          | 51,285                         |
| -3,50        | 80,000                          | 24,525                          | 55,475                         | 83,167                          | 27,692                          | 55,475                         |
| -4,50        | 94,000                          | 34,335                          | 59,665                         | 97,167                          | 37,502                          | 59,665                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -4,50        | 94,000                          | 34,335                          | 59,665                         | 97,167                          | 37,502                          | 59,665                         |
| -5,30        | 110,000                         | 42,183                          | 67,817                         | 113,167                         | 45,350                          | 67,817                         |
| -6,00        | 124,000                         | 49,050                          | 74,950                         | 127,167                         | 52,217                          | 74,950                         |
| -6,70        | 138,000                         | 55,917                          | 82,083                         | 141,167                         | 59,084                          | 82,083                         |
| -7,50        | 154,000                         | 63,765                          | 90,235                         | 157,167                         | 66,932                          | 90,235                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -7,50        | 154,000                         | 63,765                          | 90,235                         | 157,167                         | 66,932                          | 90,235                         |
| -8,40        | 166,600                         | 72,594                          | 94,006                         | 169,767                         | 75,761                          | 94,006                         |
| -9,40        | 180,600                         | 82,404                          | 98,196                         | 183,767                         | 85,571                          | 98,196                         |
| -10,00       | 189,000                         | 88,290                          | 100,710                        | 192,167                         | 91,457                          | 100,710                        |
| -10,70       | 198,800                         | 95,157                          | 103,643                        | 201,967                         | 98,324                          | 103,643                        |
| -11,70       | 212,800                         | 104,967                         | 107,833                        | 215,967                         | 108,134                         | 107,833                        |
| -12,10       | 218,400                         | 108,891                         | 109,509                        | 221,567                         | 112,058                         | 109,509                        |
| -12,20       | 219,800                         | 109,872                         | 109,928                        | 222,967                         | 113,039                         | 109,928                        |
| -12,30       | 221,200                         | 110,853                         | 110,347                        | 224,367                         | 114,020                         | 110,347                        |
| -12,40       | 222,600                         | 111,834                         | 110,766                        | 225,767                         | 115,001                         | 110,766                        |
| -12,50       | 224,000                         | 112,815                         | 111,185                        | 227,167                         | 115,982                         | 111,185                        |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -12,50       | 223,521                         | 112,815                         | 110,706                        | 226,688                         | 115,982                         | 110,706                        |
| -12,60       | 225,508                         | 113,796                         | 111,712                        | 228,675                         | 116,963                         | 111,712                        |
| -12,70       | 227,495                         | 114,777                         | 112,718                        | 230,661                         | 117,944                         | 112,718                        |
| -12,80       | 229,481                         | 115,758                         | 113,723                        | 232,648                         | 118,925                         | 113,723                        |
| -12,90       | 231,467                         | 116,739                         | 114,728                        | 234,634                         | 119,906                         | 114,728                        |
| -13,00       | 233,453                         | 117,720                         | 115,733                        | 236,620                         | 120,887                         | 115,733                        |
| -13,75       | 248,340                         | 125,078                         | 123,262                        | 251,507                         | 128,244                         | 123,262                        |
| -14,75       | 268,166                         | 134,887                         | 133,278                        | 271,333                         | 138,054                         | 133,278                        |
| -15,75       | 287,965                         | 144,698                         | 143,267                        | 291,131                         | 147,864                         | 143,267                        |
| -16,75       | 307,735                         | 154,508                         | 153,228                        | 310,902                         | 157,674                         | 153,228                        |
| -17,75       | 327,477                         | 164,318                         | 163,160                        | 330,644                         | 167,484                         | 163,160                        |
| -18,75       | 347,189                         | 174,128                         | 173,062                        | 350,356                         | 177,294                         | 173,062                        |
| -20,20       | 375,720                         | 188,352                         | 187,368                        | 557,259                         | 191,519                         | 365,740                        |
| -22,20       | 414,972                         | 207,972                         | 207,000                        | 595,992                         | 211,139                         | 384,853                        |
| -24,20       | 454,114                         | 227,592                         | 226,522                        | 632,003                         | 230,759                         | 401,244                        |
| -25,00       | 469,741                         | 235,440                         | 234,301                        | 645,290                         | 238,607                         | 406,684                        |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -25,00       | 469,741                         | 235,440                         | 234,301                        | 645,290                         | 238,607                         | 406,684                        |
| -26,50       | 494,649                         | 250,155                         | 244,494                        | 663,801                         | 252,893                         | 410,907                        |
| -28,00       | 519,506                         | 264,870                         | 254,636                        | 680,739                         | 267,208                         | 413,531                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -28,00       | 519,506                         | 264,870                         | 254,636                        | 680,739                         | 267,208                         | 413,531                        |
| -29,75       | 549,497                         | 282,038                         | 267,459                        | 700,658                         | 284,107                         | 416,551                        |
| -31,50       | 579,431                         | 299,205                         | 280,226                        | 720,280                         | 301,032                         | 419,247                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -31,50       | 579,432                         | 299,205                         | 280,227                        | 720,280                         | 301,032                         | 419,247                        |
| -32,65       | 598,961                         | 310,487                         | 288,474                        | 732,984                         | 311,969                         | 421,015                        |
| -33,75       | 617,624                         | 321,278                         | 296,346                        | 745,348                         | 322,452                         | 422,896                        |
| -34,90       | 637,118                         | 332,559                         | 304,559                        | 758,547                         | 333,433                         | 425,114                        |
| -36,00       | 655,751                         | 343,350                         | 312,401                        | 771,458                         | 343,955                         | 427,502                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -36,00       | 655,751                         | 343,350                         | 312,401                        | 771,458                         | 343,955                         | 427,502                        |
| -37,15       | 675,334                         | 354,632                         | 320,702                        | 785,467                         | 355,065                         | 430,402                        |
| -38,25       | 694,054                         | 365,423                         | 328,632                        | 799,154                         | 365,703                         | 433,451                        |
| -40,50       | 732,321                         | 387,495                         | 344,826                        | 827,982                         | 387,495                         | 440,487                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -40,50       | 732,321                         | 387,495                         | 344,826                        | 827,982                         | 387,495                         | 440,487                        |
| -45,25       | 823,962                         | 434,093                         | 389,869                        | 903,467                         | 434,093                         | 469,375                        |
| -50,00       | 915,580                         | 480,690                         | 434,890                        | 982,348                         | 480,690                         | 501,658                        |

| Layer number | Swelling       |                  | Settlement b. Sp. |                               | Settlement a. Sp. |                               |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
|              | Primary<br>[m] | Secondary<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] |
| 10           | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 9            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 8            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 7            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 6            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 5            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0021            | 0,0003                        | 0,0530            | 0,0077                        |
| 4            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0031            | 0,0004                        | 0,0361            | 0,0033                        |
| 3            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0016            | 0,0002                        | 0,0690            | 0,0141                        |
| 2            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0021            | 0,0001                        | 0,0294            | 0,0078                        |
| 1            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| Total        | 0,0000         | 0,0000           | 0,0089            | 0,0010                        | 0,1875            | 0,0329                        |

| Depth       |           | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                               |                              | Percentage of original layer height [%] |
|-------------|-----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| From<br>[m] | To<br>[m] |              | Primary<br>[m]                | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | After<br>10000 [days]<br>[m] |                                         |
| 1,00        | -2,50     | 10           | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -2,50       | -4,50     | 9            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -4,50       | -7,50     | 8            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -7,50       | -12,50    | 7            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -12,50      | -25,00    | 6            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -25,00      | -28,00    | 5            | 0,0551                        | 0,0080                        | 0,0845                       | 2,82                                    |
| -28,00      | -31,50    | 4            | 0,0393                        | 0,0037                        | 0,0521                       | 1,49                                    |
| -31,50      | -36,00    | 3            | 0,0706                        | 0,0143                        | 0,1246                       | 2,77                                    |
| -36,00      | -40,50    | 2            | 0,0314                        | 0,0079                        | 0,0617                       | 1,37                                    |
| -40,50      | -50,00    | 1            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| Total       |           |              | 0,1964                        | 0,0339                        | 0,3228                       |                                         |

### 3.2 Results for Vertical 2 (X = 50,00 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 10     |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| 1,00         | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| 0,90         | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| 0,80         | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| 0,70         | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| 0,60         | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| 0,50         | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| 0,40         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| 0,30         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| 0,20         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| 0,10         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| 0,00         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         |
| -0,75        | 31,500                          | 0,000                           | 31,500                         | 34,621                          | 3,121                           | 31,500                         |
| -1,00        | 36,000                          | 0,000                           | 36,000                         | 41,574                          | 5,574                           | 36,000                         |
| -1,70        | 50,000                          | 6,867                           | 43,133                         | 55,574                          | 12,441                          | 43,133                         |
| -2,50        | 66,000                          | 14,715                          | 51,285                         | 71,574                          | 20,289                          | 51,285                         |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -2,50        | 66,000                          | 14,715                          | 51,285                         | 71,574                          | 20,289                          | 51,285                         |
| -3,50        | 80,000                          | 24,525                          | 55,475                         | 85,574                          | 30,099                          | 55,475                         |
| -4,50        | 94,000                          | 34,335                          | 59,665                         | 99,574                          | 39,909                          | 59,665                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -4,50        | 94,000                          | 34,335                          | 59,665                         | 99,574                          | 39,909                          | 59,665                         |
| -5,30        | 110,000                         | 42,183                          | 67,817                         | 115,574                         | 47,757                          | 67,817                         |
| -6,00        | 124,000                         | 49,050                          | 74,950                         | 129,574                         | 54,624                          | 74,950                         |
| -6,70        | 138,000                         | 55,917                          | 82,083                         | 143,574                         | 61,491                          | 82,083                         |
| -7,50        | 154,000                         | 63,765                          | 90,235                         | 159,574                         | 69,339                          | 90,235                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -7,50        | 154,000                         | 63,765                          | 90,235                         | 159,574                         | 69,339                          | 90,235                         |
| -8,40        | 166,600                         | 72,594                          | 94,006                         | 172,174                         | 78,168                          | 94,006                         |
| -9,40        | 180,600                         | 82,404                          | 98,196                         | 186,174                         | 87,978                          | 98,196                         |
| -10,00       | 189,000                         | 88,290                          | 100,710                        | 194,574                         | 93,864                          | 100,710                        |
| -10,70       | 198,800                         | 95,157                          | 103,643                        | 204,374                         | 100,731                         | 103,643                        |
| -11,70       | 212,800                         | 104,967                         | 107,833                        | 218,374                         | 110,541                         | 107,833                        |
| -12,10       | 218,400                         | 108,891                         | 109,509                        | 223,974                         | 114,465                         | 109,509                        |
| -12,20       | 219,800                         | 109,872                         | 109,928                        | 225,374                         | 115,446                         | 109,928                        |
| -12,30       | 221,200                         | 110,853                         | 110,347                        | 226,774                         | 116,427                         | 110,347                        |
| -12,40       | 222,600                         | 111,834                         | 110,766                        | 228,174                         | 117,408                         | 110,766                        |
| -12,50       | 224,000                         | 112,815                         | 111,185                        | 229,574                         | 118,389                         | 111,185                        |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -12,50       | 223,717                         | 112,815                         | 110,901                        | 229,290                         | 118,389                         | 110,901                        |
| -12,60       | 225,708                         | 113,796                         | 111,912                        | 231,282                         | 119,370                         | 111,912                        |
| -12,70       | 227,700                         | 114,777                         | 112,923                        | 233,274                         | 120,351                         | 112,923                        |
| -12,80       | 229,692                         | 115,758                         | 113,934                        | 235,266                         | 121,332                         | 113,934                        |
| -12,90       | 231,683                         | 116,739                         | 114,944                        | 237,257                         | 122,313                         | 114,944                        |
| -13,00       | 233,675                         | 117,720                         | 115,955                        | 239,249                         | 123,294                         | 115,955                        |
| -13,75       | 248,605                         | 125,078                         | 123,528                        | 254,179                         | 130,651                         | 123,528                        |
| -14,75       | 268,497                         | 134,887                         | 133,610                        | 274,071                         | 140,461                         | 133,610                        |
| -15,75       | 288,371                         | 144,698                         | 143,673                        | 293,945                         | 150,271                         | 143,673                        |
| -16,75       | 308,225                         | 154,508                         | 153,717                        | 313,799                         | 160,081                         | 153,717                        |
| -17,75       | 328,058                         | 164,318                         | 163,741                        | 333,632                         | 169,891                         | 163,741                        |
| -18,75       | 347,870                         | 174,128                         | 173,743                        | 353,444                         | 179,701                         | 173,743                        |
| -20,20       | 376,558                         | 188,352                         | 188,206                        | 378,876                         | 193,926                         | 188,206                        |
| -22,20       | 416,047                         | 207,972                         | 208,075                        | 418,308                         | 213,546                         | 208,075                        |
| -24,20       | 455,443                         | 227,592                         | 227,851                        | 457,740                         | 233,166                         | 227,851                        |
| -25,00       | 471,175                         | 235,440                         | 235,735                        | 473,472                         | 241,014                         | 235,735                        |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -25,00       | 471,175                         | 235,440                         | 235,735                        | 473,472                         | 241,014                         | 235,735                        |
| -26,50       | 496,281                         | 250,155                         | 246,126                        | 498,578                         | 254,992                         | 246,126                        |
| -28,00       | 521,337                         | 264,870                         | 256,467                        | 523,634                         | 269,013                         | 256,467                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -28,00       | 521,337                         | 264,870                         | 256,467                        | 523,634                         | 269,013                         | 256,467                        |
| -29,75       | 551,555                         | 282,038                         | 269,518                        | 553,690                         | 285,700                         | 269,518                        |
| -31,50       | 581,709                         | 299,205                         | 282,504                        | 583,746                         | 302,431                         | 282,504                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -31,50       | 581,710                         | 299,205                         | 282,504                        | 583,747                         | 302,432                         | 282,504                        |
| -32,65       | 601,377                         | 310,487                         | 290,890                        | 603,803                         | 313,108                         | 290,890                        |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -33,75       | 620,165                         | 321,278                         | 298,888                        | 860,136                         | 323,358                         | 536,778                        |
| -34,90       | 639,785                         | 332,559                         | 307,226                        | 864,790                         | 334,113                         | 530,677                        |
| -36,00       | 658,531                         | 343,350                         | 315,181                        | 869,904                         | 344,435                         | 525,469                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -36,00       | 658,531                         | 343,350                         | 315,181                        | 869,904                         | 344,435                         | 525,469                        |
| -37,15       | 678,223                         | 354,632                         | 323,592                        | 876,266                         | 355,406                         | 520,860                        |
| -38,25       | 697,042                         | 365,423                         | 331,619                        | 883,090                         | 365,923                         | 517,167                        |
| -40,50       | 735,484                         | 387,495                         | 347,989                        | 899,287                         | 387,495                         | 511,792                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -40,50       | 735,484                         | 387,495                         | 347,989                        | 899,287                         | 387,495                         | 511,792                        |
| -45,25       | 827,387                         | 434,093                         | 393,294                        | 954,275                         | 434,093                         | 520,183                        |
| -50,00       | 919,131                         | 480,690                         | 438,441                        | 1018,961                        | 480,690                         | 538,271                        |

| Layer number | Swelling       |                  | Settlement b. Sp. |                               | Settlement a. Sp. |                               |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
|              | Primary<br>[m] | Secondary<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | Primary<br>[m]    | Secondary<br>10 [days]<br>[m] |
| 10           | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 9            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 8            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 7            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 6            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| 5            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0021            | 0,0003                        | 0,0930            | 0,0135                        |
| 4            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0031            | 0,0004                        | 0,0676            | 0,0061                        |
| 3            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0016            | 0,0002                        | 0,1220            | 0,0250                        |
| 2            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0020            | 0,0001                        | 0,0537            | 0,0142                        |
| 1            | 0,0000         | 0,0000           | 0,0000            | 0,0000                        | 0,0000            | 0,0000                        |
| Total        | 0,0000         | 0,0000           | 0,0088            | 0,0010                        | 0,3362            | 0,0589                        |

| Depth       |           | Layer number | Total settlement (100% cons.) |                               |                              | Percentage of original layer height [%] |
|-------------|-----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| From<br>[m] | To<br>[m] |              | Primary<br>[m]                | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | After<br>10000 [days]<br>[m] |                                         |
| 1,00        | -2,50     | 10           | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -2,50       | -4,50     | 9            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -4,50       | -7,50     | 8            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -7,50       | -12,50    | 7            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -12,50      | -25,00    | 6            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| -25,00      | -28,00    | 5            | 0,0951                        | 0,0138                        | 0,1459                       | 4,86                                    |
| -28,00      | -31,50    | 4            | 0,0707                        | 0,0065                        | 0,0934                       | 2,67                                    |
| -31,50      | -36,00    | 3            | 0,1235                        | 0,0252                        | 0,2183                       | 4,85                                    |
| -36,00      | -40,50    | 2            | 0,0557                        | 0,0144                        | 0,1106                       | 2,46                                    |
| -40,50      | -50,00    | 1            | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                    |
| Total       |           |              | 0,3450                        | 0,0599                        | 0,5682                       |                                         |

### 3.3 Results for Vertical 3 (X = 65,75 m; Z = 50,00 m)

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Layer 10     |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| 1,00         | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          | 0,001                           | 0,000                           | 0,001                          |
| 0,90         | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          | 1,800                           | 0,000                           | 1,800                          |
| 0,80         | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          | 3,600                           | 0,000                           | 3,600                          |
| 0,70         | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          | 5,400                           | 0,000                           | 5,400                          |
| 0,60         | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          | 7,200                           | 0,000                           | 7,200                          |
| 0,50         | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          | 9,000                           | 0,000                           | 9,000                          |
| 0,40         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         | 10,800                          | 0,000                           | 10,800                         |
| 0,30         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         | 12,600                          | 0,000                           | 12,600                         |
| 0,20         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         | 14,400                          | 0,000                           | 14,400                         |
| 0,10         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         | 16,200                          | 0,000                           | 16,200                         |
| 0,00         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         | 18,000                          | 0,000                           | 18,000                         |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -0,75        | 31,500                          | 0,000                           | 31,500                         | 32,214                          | 0,714                           | 31,500                         |
| -1,00        | 36,000                          | 0,000                           | 36,000                         | 39,167                          | 3,167                           | 36,000                         |
| -1,70        | 50,000                          | 6,867                           | 43,133                         | 53,167                          | 10,034                          | 43,133                         |
| -2,50        | 66,000                          | 14,715                          | 51,285                         | 69,167                          | 17,882                          | 51,285                         |
| Layer 9      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -2,50        | 66,000                          | 14,715                          | 51,285                         | 69,167                          | 17,882                          | 51,285                         |
| -3,50        | 80,000                          | 24,525                          | 55,475                         | 83,167                          | 27,692                          | 55,475                         |
| -4,50        | 94,000                          | 34,335                          | 59,665                         | 97,167                          | 37,502                          | 59,665                         |
| Layer 8      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -4,50        | 94,000                          | 34,335                          | 59,665                         | 97,167                          | 37,502                          | 59,665                         |
| -5,30        | 110,000                         | 42,183                          | 67,817                         | 113,167                         | 45,350                          | 67,817                         |
| -6,00        | 124,000                         | 49,050                          | 74,950                         | 127,167                         | 52,217                          | 74,950                         |
| -6,70        | 138,000                         | 55,917                          | 82,083                         | 141,167                         | 59,084                          | 82,083                         |
| -7,50        | 154,000                         | 63,765                          | 90,235                         | 157,167                         | 66,932                          | 90,235                         |
| Layer 7      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -7,50        | 154,000                         | 63,765                          | 90,235                         | 157,167                         | 66,932                          | 90,235                         |
| -8,40        | 166,600                         | 72,594                          | 94,006                         | 169,767                         | 75,761                          | 94,006                         |
| -9,40        | 180,600                         | 82,404                          | 98,196                         | 183,767                         | 85,571                          | 98,196                         |
| -10,00       | 189,000                         | 88,290                          | 100,710                        | 192,167                         | 91,457                          | 100,710                        |
| -10,70       | 198,800                         | 95,157                          | 103,643                        | 201,967                         | 98,324                          | 103,643                        |
| -11,70       | 212,800                         | 104,967                         | 107,833                        | 215,967                         | 108,134                         | 107,833                        |
| -12,10       | 218,400                         | 108,891                         | 109,509                        | 221,567                         | 112,058                         | 109,509                        |
| -12,20       | 219,800                         | 109,872                         | 109,928                        | 222,967                         | 113,039                         | 109,928                        |
| -12,30       | 221,200                         | 110,853                         | 110,347                        | 224,367                         | 114,020                         | 110,347                        |
| -12,40       | 222,600                         | 111,834                         | 110,766                        | 225,767                         | 115,001                         | 110,766                        |
| -12,50       | 224,000                         | 112,815                         | 111,185                        | 227,167                         | 115,982                         | 111,185                        |
| Layer 6      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -12,50       | 223,521                         | 112,815                         | 110,706                        | 226,688                         | 115,982                         | 110,706                        |
| -12,60       | 225,508                         | 113,796                         | 111,712                        | 228,675                         | 116,963                         | 111,712                        |
| -12,70       | 227,495                         | 114,777                         | 112,718                        | 230,661                         | 117,944                         | 112,718                        |
| -12,80       | 229,481                         | 115,758                         | 113,723                        | 232,648                         | 118,925                         | 113,723                        |
| -12,90       | 231,467                         | 116,739                         | 114,728                        | 234,634                         | 119,906                         | 114,728                        |
| -13,00       | 233,453                         | 117,720                         | 115,733                        | 236,620                         | 120,887                         | 115,733                        |
| -13,75       | 248,340                         | 125,078                         | 123,262                        | 251,507                         | 128,244                         | 123,262                        |
| -14,75       | 268,166                         | 134,887                         | 133,278                        | 271,333                         | 138,054                         | 133,278                        |
| -15,75       | 287,965                         | 144,698                         | 143,267                        | 291,131                         | 147,864                         | 143,267                        |
| -16,75       | 307,735                         | 154,508                         | 153,228                        | 310,902                         | 157,674                         | 153,228                        |
| -17,75       | 327,477                         | 164,318                         | 163,160                        | 330,644                         | 167,484                         | 163,160                        |
| -18,75       | 347,189                         | 174,128                         | 173,062                        | 350,356                         | 177,294                         | 173,062                        |
| -20,20       | 375,720                         | 188,352                         | 187,368                        | 557,259                         | 191,519                         | 365,740                        |
| -22,20       | 414,972                         | 207,972                         | 207,000                        | 595,992                         | 211,139                         | 384,853                        |
| -24,20       | 454,114                         | 227,592                         | 226,522                        | 632,003                         | 230,759                         | 401,244                        |
| -25,00       | 469,741                         | 235,440                         | 234,301                        | 645,290                         | 238,607                         | 406,684                        |
| Layer 5      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -25,00       | 469,741                         | 235,440                         | 234,301                        | 645,290                         | 238,607                         | 406,684                        |
| -26,50       | 494,649                         | 250,155                         | 244,494                        | 663,801                         | 252,893                         | 410,907                        |
| -28,00       | 519,506                         | 264,870                         | 254,636                        | 680,739                         | 267,208                         | 413,531                        |
| Layer 4      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -28,00       | 519,506                         | 264,870                         | 254,636                        | 680,739                         | 267,208                         | 413,531                        |
| -29,75       | 549,497                         | 282,038                         | 267,459                        | 700,658                         | 284,107                         | 416,551                        |
| -31,50       | 579,431                         | 299,205                         | 280,226                        | 720,280                         | 301,032                         | 419,247                        |
| Layer 3      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -31,50       | 579,432                         | 299,205                         | 280,227                        | 720,280                         | 301,032                         | 419,247                        |
| -32,65       | 598,961                         | 310,487                         | 288,474                        | 732,984                         | 311,969                         | 421,015                        |
| -33,75       | 617,624                         | 321,278                         | 296,346                        | 745,348                         | 322,452                         | 422,896                        |
| -34,90       | 637,118                         | 332,559                         | 304,559                        | 758,547                         | 333,433                         | 425,114                        |
| -36,00       | 655,751                         | 343,350                         | 312,401                        | 771,458                         | 343,955                         | 427,502                        |
| Layer 2      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -36,00       | 655,751                         | 343,350                         | 312,401                        | 771,458                         | 343,955                         | 427,502                        |
| -37,15       | 675,334                         | 354,632                         | 320,702                        | 785,467                         | 355,065                         | 430,402                        |
| -38,25       | 694,054                         | 365,423                         | 328,632                        | 799,154                         | 365,703                         | 433,451                        |
| -40,50       | 732,321                         | 387,495                         | 344,826                        | 827,982                         | 387,495                         | 440,487                        |
| Layer 1      |                                 |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
| -40,50       | 732,321                         | 387,495                         | 344,826                        | 827,982                         | 387,495                         | 440,487                        |

| Depth<br>[m] | Initial stress                  |                                 |                                | Final stress                    |                                 |                                |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|              | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-total<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-water<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | S-eff.<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| -45,25       | 823,962                         | 434,093                         | 389,869                        | 903,467                         | 434,093                         | 469,375                        |
| -50,00       | 915,580                         | 480,690                         | 434,890                        | 982,348                         | 480,690                         | 501,658                        |

| Layer<br>number | Swelling |           | Settlement b. Sp. |                        | Settlement a. Sp. |                        |
|-----------------|----------|-----------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
|                 | Primary  | Secondary | Primary           | Secondary<br>10 [days] | Primary           | Secondary<br>10 [days] |
|                 | [m]      | [m]       | [m]               | [m]                    | [m]               | [m]                    |
| 10              | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 9               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 8               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 7               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 6               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| 5               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0021            | 0,0003                 | 0,0530            | 0,0077                 |
| 4               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0031            | 0,0004                 | 0,0361            | 0,0033                 |
| 3               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0016            | 0,0002                 | 0,0690            | 0,0141                 |
| 2               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0021            | 0,0001                 | 0,0294            | 0,0078                 |
| 1               | 0,0000   | 0,0000    | 0,0000            | 0,0000                 | 0,0000            | 0,0000                 |
| Total           | 0,0000   | 0,0000    | 0,0089            | 0,0010                 | 0,1875            | 0,0329                 |

| Depth       |           | Layer<br>number | Total settlement (100% cons.) |                               |                              | Percentage<br>of original<br>layer height<br>[%] |
|-------------|-----------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|
| From<br>[m] | To<br>[m] |                 | Primary<br>[m]                | Secondary<br>10 [days]<br>[m] | After<br>10000 [days]<br>[m] |                                                  |
| 1,00        | -2,50     | 10              | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                             |
| -2,50       | -4,50     | 9               | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                             |
| -4,50       | -7,50     | 8               | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                             |
| -7,50       | -12,50    | 7               | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                             |
| -12,50      | -25,00    | 6               | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                             |
| -25,00      | -28,00    | 5               | 0,0551                        | 0,0080                        | 0,0845                       | 2,82                                             |
| -28,00      | -31,50    | 4               | 0,0393                        | 0,0037                        | 0,0521                       | 1,49                                             |
| -31,50      | -36,00    | 3               | 0,0706                        | 0,0143                        | 0,1246                       | 2,77                                             |
| -36,00      | -40,50    | 2               | 0,0314                        | 0,0079                        | 0,0617                       | 1,37                                             |
| -40,50      | -50,00    | 1               | 0,0000                        | 0,0000                        | 0,0000                       | 0,00                                             |
| Total       |           |                 | 0,1964                        | 0,0339                        | 0,3228                       |                                                  |

## 4 Settlements

### 4.1 Settlements

| Vertical number | X co-ordinate [m] | Z co-ordinate [m] | Surface level [m] | Settlement [m] |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 1               | 34,25             | 50,00             | 1,00              | 0,323          |
| 2               | 50,00             | 50,00             | 1,00              | 0,568          |
| 3               | 65,75             | 50,00             | 1,00              | 0,323          |

### 4.2 Residual Times

| Vertical number | Time [days] | Settlement [m] | Part of final settlement [%] | Residual settlements [m] |
|-----------------|-------------|----------------|------------------------------|--------------------------|
| 1               | 180         | 0,108          | 33,565                       | 0,214                    |
|                 | 270         | 0,121          | 37,626                       | 0,201                    |
|                 | 365         | 0,132          | 40,965                       | 0,191                    |
|                 | 3650        | 0,260          | 80,646                       | 0,062                    |
|                 | 6570        | 0,301          | 93,211                       | 0,022                    |
| 2               | 180         | 0,191          | 33,609                       | 0,377                    |
|                 | 270         | 0,214          | 37,671                       | 0,354                    |
|                 | 365         | 0,233          | 41,009                       | 0,335                    |
|                 | 3650        | 0,458          | 80,662                       | 0,110                    |
|                 | 6570        | 0,530          | 93,215                       | 0,039                    |
| 3               | 180         | 0,108          | 33,565                       | 0,214                    |
|                 | 270         | 0,121          | 37,626                       | 0,201                    |
|                 | 365         | 0,132          | 40,965                       | 0,191                    |
|                 | 3650        | 0,260          | 80,646                       | 0,062                    |
|                 | 6570        | 0,301          | 93,211                       | 0,022                    |

**End of Report**