

RAPPORTAGE  
betreffende

**DOOR GROND HORIZONTAAL BELASTE  
PALEN  
CASE NO-RECESS**

Opdrachtnummer: 1006-0088-000

Klant: : CUR Bouw & Infra  
: Gouda

Opdrachtgever : GeoDelft  
Postbus  
2600 AB DELFT

Projectleider : ir. F.J.M. Hoefsloot

Opgesteld door : ir. F.J.M. Hoefsloot  
Principal Consultant  
Ir. I. Cherqaoui  
Geotechnisch Adviseur

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	7 mei 2008	Definitief	

FILE: 1006-0088-000.R02 No-recess.doc Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden van de V.O.T.B. van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten.

## INHOUDSOPGAVE

Blz.

<b>1. ALGEMENE TOELICHTING</b>	<b>1</b>
<b>2. NO- RECESS (I. CHERQAOU)</b>	<b>2</b>
2.1. Inleiding	2
2.2. Geometrie proefvak HW 1	3
2.3. Plaxis modellering	8
2.3.1. Grondmodellen	10
2.3.2. Soft Soil model	11
2.3.3. Hardening Soil model	13
2.4. IJsseldijk – Loof tabellen	16
2.4.1. Loof	17
2.4.2. IJsseldijk	18
2.5. Vergelijking van berekeningen met metingen	18
2.6. Evaluatie van de resultaten	20
2.7. Conclusies en aanbevelingen	25
2.8. Handleiding voor bepalen van horizontale grondverplaatsingen in Plaxis 2D	26
<b>3. NO-RECESS CASE (R. SERVAIS)</b>	<b>29</b>
3.1. Inleiding	29
3.2. Geometrie proefvlak HW1	30
3.3. Bodemopbouw en grondeigenschappen	33
3.4. 1-dimensionale SSC, a,b,c-Isotachenmodel en Koppejan simulatie	38
3.5. 2-Dimensionale SSC simulatie	39
3.5.1. Profiel 'oost'	39
3.5.2. Profiel 'noord'	50
3.6. Invloed parameters	55
3.7. Conclusie	57
<b>4. AANVULLENDE ANALYSES EN EVALUATIE</b>	<b>59</b>
4.1. Inleiding	59
4.2. Grondmodel en -parameters	59
4.3. Berekeningsstrategie	60
4.4. Berekeningen en evaluatie	62
4.4.1. Berekeningen	62
4.4.2. Evaluatie	64
<b>5. VALIDATIE BEPALING HORIZONTALE GRONDVERVORMING - NO-RECESS-CASE</b>	<b>66</b>
5.1. Geometrie proefvlak HW1	66
5.2. Bodemopbouw en grondeigenschappen	68
5.3. Grondmodel en -parameters	70
5.4. Oriënterende berekeningen	71
5.5. Berekeningsresultaten	72

APPENDIX

1

BIJLAGEN

2-1 t/m 4-10

## 1. ALGEMENE TOELICHTING

Op 25 oktober 2006 ontving Fugro Ingenieursbureau B.V. te Leidschendam van GeoDelft te Delft, namens CUR Bouw & Infra te GOUDA, de opdracht voor het uitvoeren van een studie en het opstellen van onderdelen voor het CUR-rapport: "Door grond horizontaal belaste palen".

In dit rapport zijn de cases opgenomen met betrekking tot validatie van bestaande modellen voor het bepalen van de horizontale grondvervorming. Het betreft de case NO-RECESS waaraan 2 afstudeerders, afzonderlijk, bij Fugro Ingenieursbureau hebben gewerkt. Het gaat om het afstudeerwerk van I. Cherqaoui en R. Servais.

Naar aanleiding van beide afstudeerwerken is een aanvullende analyse opgesteld en gegeven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 tenslotte is de samenvatting gegeven van de NO-RECESS-case in een zodanige vorm dat deze opgenomen kan worden in de CUR-aanbeveling.

## 2. NO- RECESS (I. CHERQAOUJ)

### 2.1. Inleiding

De in hoofdstuk 2 beschreven rekenmodellen zijn gevalideerd aan de hand van de praktijkproef, die in het kader van het No-Recess onderzoek is uitgevoerd.

De No-Recess “New Options for Rapid and Easy Construction of Embankments on Soft Soils” proeftuin betreft een (demonstratie-) onderzoek naar, voor Nederlandse begrippen, niet conventionele funderingswijzen voor aardebanen voor rail- en weginfrastructuur. In deze proef zijn geen palen geïnstalleerd. In het programma van eisen zijn grenzen gesteld aan de bouwtijd en de restzetting:

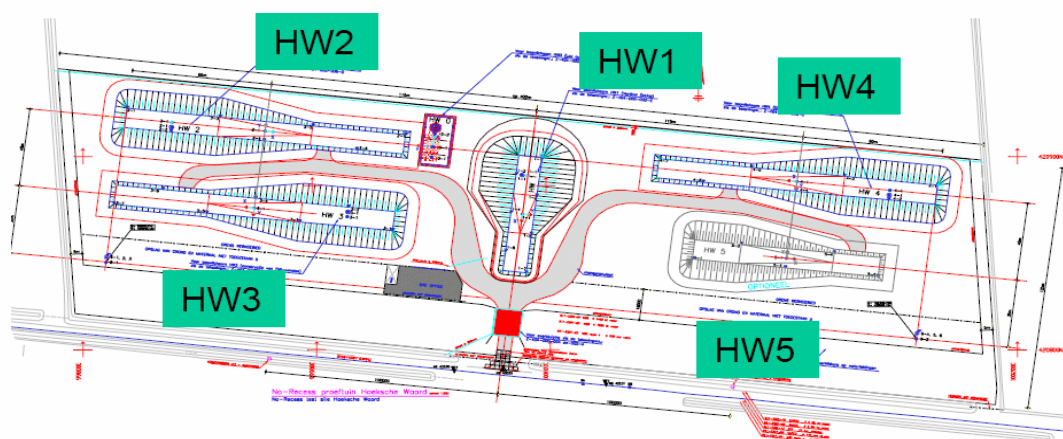
- Korte bouw tijden: minder dan 1,5 jaar
- Kleine restzettingen: minder dan 3 cm
- Minimalisatie bouwrisico's
- Minimalisatie van het overschot op de grondbalans
- Voldoende stijf gedrag van de baan bij dynamische belastingen
- Minimalisatie schade bij aanleg van (spoor)wegverbredingen.

In januari 1998 is gestart met het bouwrijp maken van het No-Recess proefterrein in de Hoeksche Waard. Negen maanden later waren er 5 testbanen gerealiseerd (Figuur 2-1):

- Verticale drains met aardebaan (HW1 conventioneel, bedoeld als referentie)
- Gestabiliseerde grondkolommen met aardebaan (HW2)
- Gestabiliseerde grondwanden met aardebaan (HW3)
- Geotextiel ommantelde zandkolommen met aardebaan (HW4)
- Houten palen en AuGeo palen met een baan van gestabiliseerde vrijkomende grond (HW5)

Bij de No-Recess proef zijn uitgebreid metingen uitgevoerd van zettingen, verticale en horizontale verplaatsingen in de ondergrond, waterspanningsmetingen en grondrukdrukmetingen. De metingen zijn in juni 2000 beëindigd.

Figuur 2-1: Bovenaanzicht proefterrein





Alle banen hebben de vorm van een oprit met een laag gedeelte van 1 meter boven maaiveld en een hoog gedeelte dat 5 meter boven het maaiveld ligt. Aan het einde van het hoge gedeelte is een denkbeeldige aansluiting op een kunstwerk gedacht met een beoogde restzetting van 0 cm.

In het kader van dit onderzoek worden de gemeten horizontale grondverplaatsingen van HW1 gebruikt voor de validatie van de volgende modellen: Van IJsseldijk - Loof tabellen en Plaxis 2D. Vijf hellingmeters (INCP) zijn toegepast om horizontale deformaties te meten bij de teen en 5 m daar buiten. Fugro Ingenieursbureau heeft deze metingen uitgevoerd.

## 2.2. Geometrie proefvak HW 1

### *Aardebaan en grondprofiel*

De ondergrond bestaat uit een samendrukbare laag van 9 m van klei en veen op het Holocene zandpakket. De ontwerpkenmerken zijn vermeld in Tabel 2-1.

Tabel 2-1: *Ontwerpkenmerken HW1*

Variabele	Lage aardebaan	Hoge aardebaan
Zettingscompensatie + extra overhoogte	1,8 m zand gedurende 1 jaar	2,5 m zand gedurende 1 jaar
Netto ophoging	1 m zand	5 m zand
Verticale drains (h.o.h)	1 m driehoekig grid	1 m driehoekig grid
Max. diepte drain	1 m boven zandlaag	1 m boven zandlaag

De baan is grotendeels volgens het ontwerp gerealiseerd. De verticale drains zijn toegepast tot 3 m buiten de teen van de baan. De toegepaste zettingscompensatie voor de hoge baan is 2,6 m en voor de lage baan 1,2 m (Figuur 2-4). Er is geen extra overhoogte aangebracht voor de hoge baan, wel voor de lage baan met dikte 0,6 a 0,7 m. Uit ontwerpberekeningen bleek, dat de gestelde restzettingseis van 0,03 m na 2 jaar na aanbrengen van de baan alleen voor de lage ophoging kan worden gehaald.

In Tabel 2-2 is het grondprofiel gegeven volgens een uitgebreid grondonderzoek (bijlage 2-1). De grondwaterstand is gelijk aan NAP -1,7 m.

Tabel 2-2: *Grondlaagbeschrijving HW1*

Grondsoort	Diepte in [m] t.o.v. NAP
	<b>volgens uitgebreid onderzoek</b>
Klei (siltig)	-0,8 tot -1,9
Zand	-1,0 tot -2,8
Veen	-1,8 tot -6,8
Klei (organisch)	-5,0 tot -8,5
Veen	-8,0 tot -9,7

### *Zettingen*

De voorspelling van de eindzetting na 30 jaren is opgenomen in Tabel 2-3.

Tabel 2-3: Voorspelde eindzettingen en gemeten zettingen

Positie	Voorspelde eindzetting hoge baan [m]	Voorspelde eindzetting lage baan [m]	Meting na 800 dagen hoge baan [m]
Midden van de baan	2,6	1,2	2,09
Kruinlijn langs talud	2,5	1,1	2,05
Midden van het langs talud	1,9	0,8	-
Teen van het langs talud	0,5	0,4	0,24
2 m uit de teen langs talud	0,2	0,1	-
5 m uit de teen langs talud	0,1	0,1	-

Verwacht werd dat 80 % van de eindzetting van de hoge baan na 6 maanden zou worden bereikt. Dat is ter plaatse van het midden van de hoge baan: 2,1 m.

De zakbaken (SETP) zijn geplaatst om de verticale verplaatsingen van het oorspronkelijke maaiveld te meten. De hoge baan is in 130 dagen op een hoogte van 7,4 m gebracht. Op 250 dagen na start ophogen is een zetting gemeten van 1,95 m midden onder de baan (SETP 1-7). Op 800 dagen is de gemeten zetting 2,09 m onder de hoge baan. Ter plaatse van de kruinlijn van de hoge baan is na 800 dagen een zetting gemeten van 2,05 m (SETP 1-4). Aan de teen is dat 0,24 m (SETP 1-6). De lage baan is in 100 dagen op een hoogte van 2,6 m gebracht. 400 Dagen na start ophogen is een zetting gemeten van 0,6 m (SETP 1-14).

De gemeten zettingen zijn onder de hoge baan 10 - 20 % minder dan de voorspelde zettingen; onder de lage baan is dat verschil een stuk groter. In het No-Recess rapport is aangegeven dat er een werkvloer aangebracht was voordat de metingen waren gestart. Door deze werkvloer zijn zettingen opgetreden, die niet zijn gemeten en naar verwachting in de orde van 0,1 m hebben bedragen. Samen met de gemeten zettingen is op basis van ervaring een prognose gemaakt van de restzettingen, deze is vermeld in Tabel 2-4.

Tabel 2-4: Prognose restzetting

Tijdsperiode na aanvang ophoging	Restzetting hoge baan [m]	Restzetting lage baan [m]
300 – 10.000 dagen	0,20 – 0,29	0,05 – 0,11
600 – 10.000 dagen	0,11 – 0,20	0,03 – 0,09
700 – 10.000 dagen	0,10 – 0,19	0,02 – 0,08

#### Horizontale grondverplaatsingen

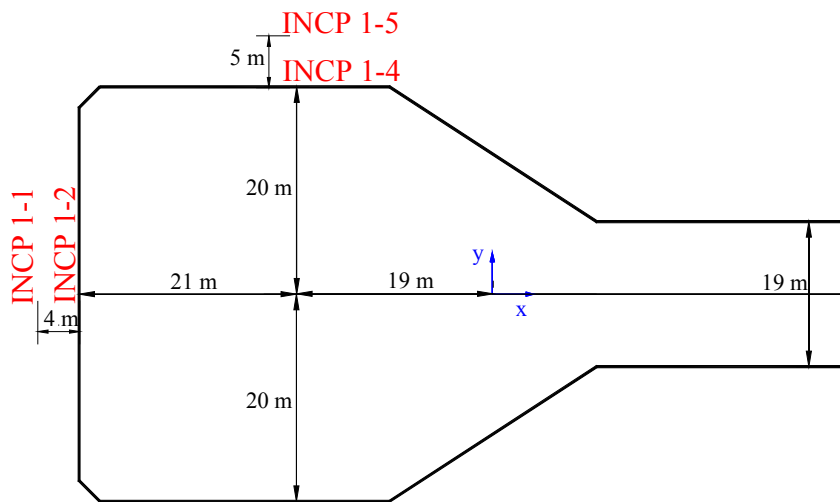
In Tabel 2-5 zijn de horizontale vervormingen gegeven naast de hoge baan na 853 dagen vanaf start ophogen. Gezocht is naar de maximale horizontale vervorming. De diepte waarop deze is gemeten is in de tabel opgenomen. In Figuur 2-2 is de ligging van de hellingmeetbuizen gegeven. De meetbuis (1-3) was buiten gebruik en is verder niet beschouwd.

In bijlage 2-7 t/m 2-10 zijn de horizontale grondverplaatsingen van de hoge aardebaan gegeven als functie van de tijd. In de meeste metingen nemen de horizontale vervormingen consequent toe in de tijd. Dat betekent dat bij sommige metingen de vervormingen afnemen in de tijd (variërend tussen 1 à 10 mm), dit kan liggen aan meetafwijkingen (bijlage 2-14).

Tabel 2-5: Horizontale vervormingen na 853 dagen

Positie	Diepte t.o.v. NAP [m]	Horizontale verplaatsing [mm]
4 m uit koptalud (1-1)	-4,3	92
Teen koptalud (1-2)	-4,8	250
Teen langstalud (1-4)	-4,3	306
5 m uit langstalud (1-5)	-3,6	173

Figuur 2-2: Ligging van de hellingmeetbuizen

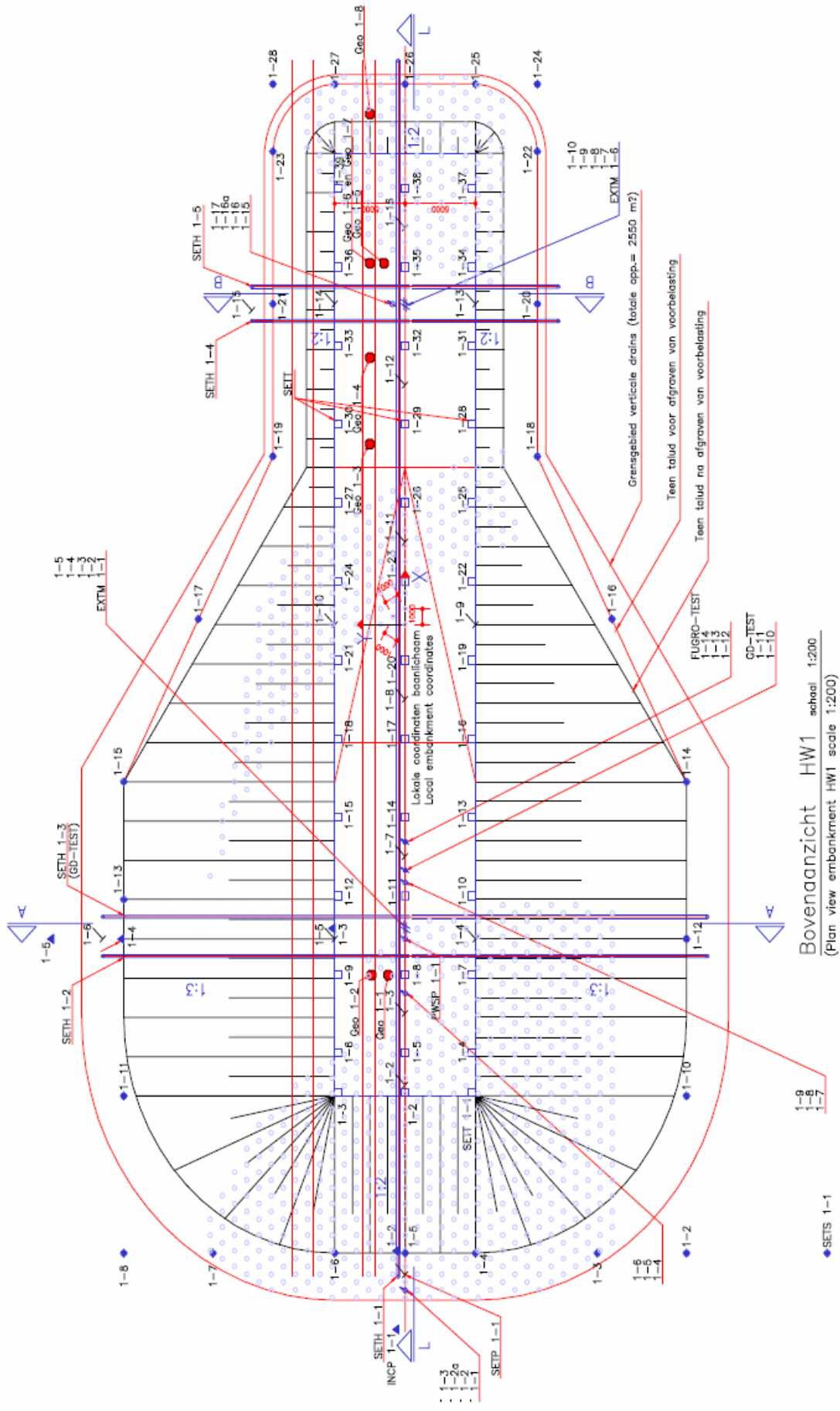


De wateroverspanningen ten gevolge van de ophoging zijn voor een groot deel verdwenen op ca. 400 dagen na start ophogen (bijlage 2-4 en 2-5). Dit betekent dat het primaire deel van de zettingen dan vrijwel is opgetreden en dat alleen nog secundaire zettingen te verwachten zijn.

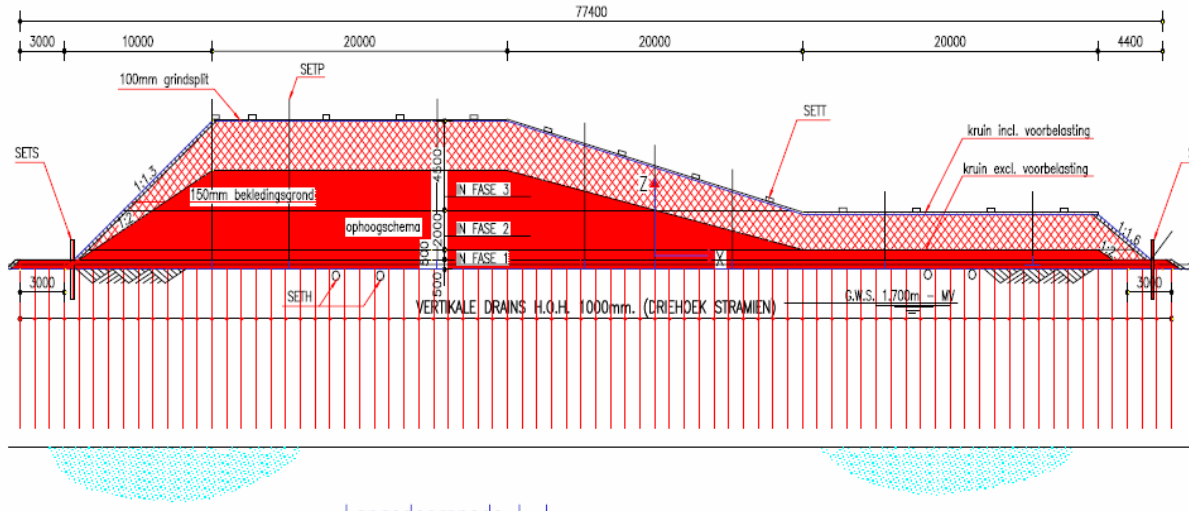
In bijlage 2-4 en 2-5 is ook te zien dat de wateroverspanning tussen 400 en 800 dagen weer toeneemt. Dit kan veroorzaakt worden door schuifvervormingen aangezien de zettingen niet te veel toenemen in deze periode.

In Figuur 2-3 is een plattegrond van HW1 aangegeven met de gebruikte meetinstrumenten en in de onderstaande figuren zijn langs- en dwarsdoorsneden gegeven van de hoge en lage aardebaan. In Figuur 2-4 t/m Figuur 2-6 zijn doorsneden gegeven.

Figuur 2-3: HW1 plattegrond met verticale drain



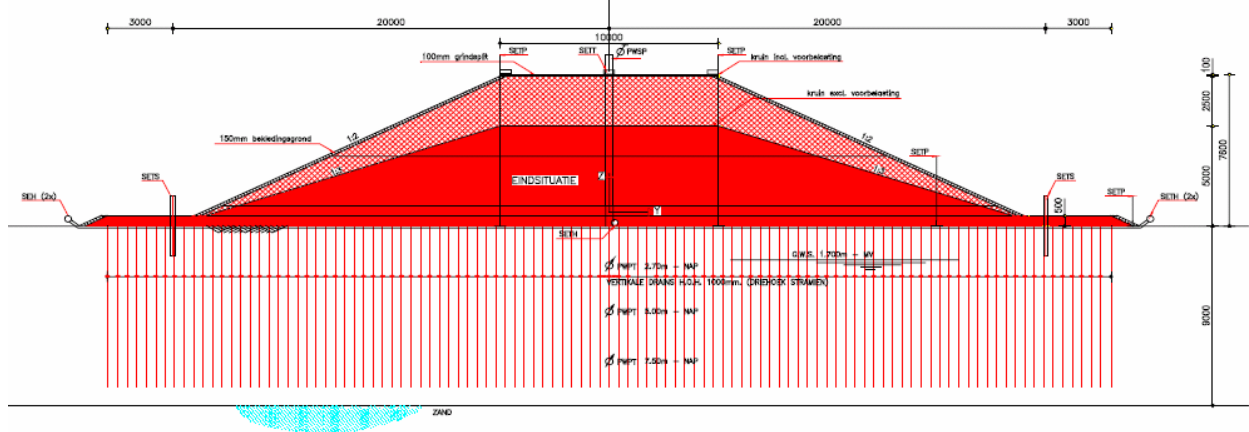
Figuur 2-4: HW1 langsdoorsnede met hoog en laag gedeelte (x-richting)



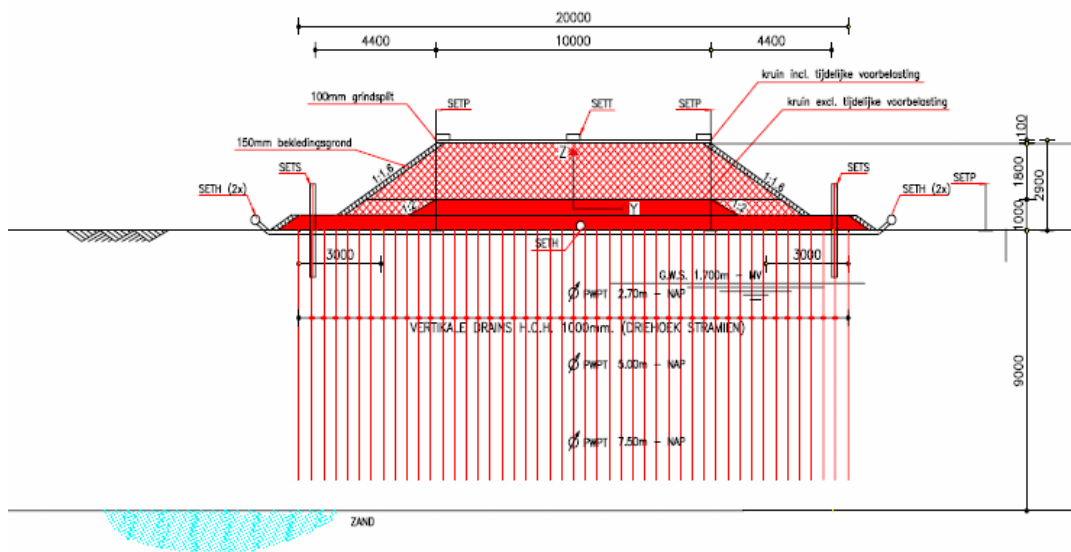
Langsdoorsnede L-L

(longitudinal section embankment HW1 scale 1:200 preloading and surcharge included)

Figuur 2-5: HW1 dwarsdoorsnede hoge aardebaan (y-richting)



Figuur 2-6: HW1 dwarsdoorsnede lage aardebaan



### 2.3. Plaxis modellering

In de berekeningen wordt de hoge aardebaan gemodelleerd waar de hellingmeetbuizen geïnstalleerd zijn (Figuur 2-2). Deze wordt met een *axiaalsymmetrische* schematisering gemodelleerd (Figuur 2-8) met Soft Soil en Hardening Soil modellen. Voor het model is een straal van 80 m gekozen gelijk aan 9 keer de dikte van de slappe lagen (ca. 9 m). De onderkant van het model wordt op 5 m onder het slappe lagenpakket in de zandlaag gekozen.

In het model wordt gekeken naar de “eindsituatie” d.w.z dat de berekeningen gedraineerd worden uitgevoerd. Er worden geen drains geïnstalleerd en de permeabiliteit van de bodemlagen is niet van toepassing ( $k_x = k_y = 0$  m/dag). Met “eindsituatie” wordt bedoeld eind van de consolidatieperiode. Zoals in paragraaf 0 vermeld, zijn de wateroverspanningen voor een groot deel verdwenen na 400 dagen.

Het grondprofiel wordt bepaald volgens sonderingen DKMP 1-1 t/m 1-3 (bijlage 2-1). Deze laatste zijn op de hoge aardebaan uitgevoerd (bijlage 2-2). In bijlage 2-8 is te zien dat de horizontale grondverplaatsingen bij INCP 1-2 aan het maaiveld veel kleiner (zelfs negatief) zijn dan bij INCP 1-4 (bijlage 2-9). De oorzaak kan liggen aan de dikte van de topzandlaag. Er worden dus twee varianten voor het grondprofiel aangenomen; “Variant 1” met een dikte van de bovenzandlaag van 0,6 m en “variant 2” met een dikte van 1 m (Tabel 2-6 en Figuur 2-7). De berekeningen met “Variant 1” worden vergeleken met metingen uit INCP 1-4 en 1-5, en met “Variant 2” met metingen uit INCP 1-1 en 1-2.

Tabel 2-6: Grondprofiel hoge aardebaan (dieptes in [m] t.o.v. NAP)

Grondsoort	Variant 1	Variant 2
Klei (siltig)	-0,8	-0,8
Zand	-1,1	-1,1
Veen (1)	-1,7	-2,1
Klei (organisch)	-6,4	-6,4
Veen (2)	-8,3	-8,3
Zand	-9,5	-9,5

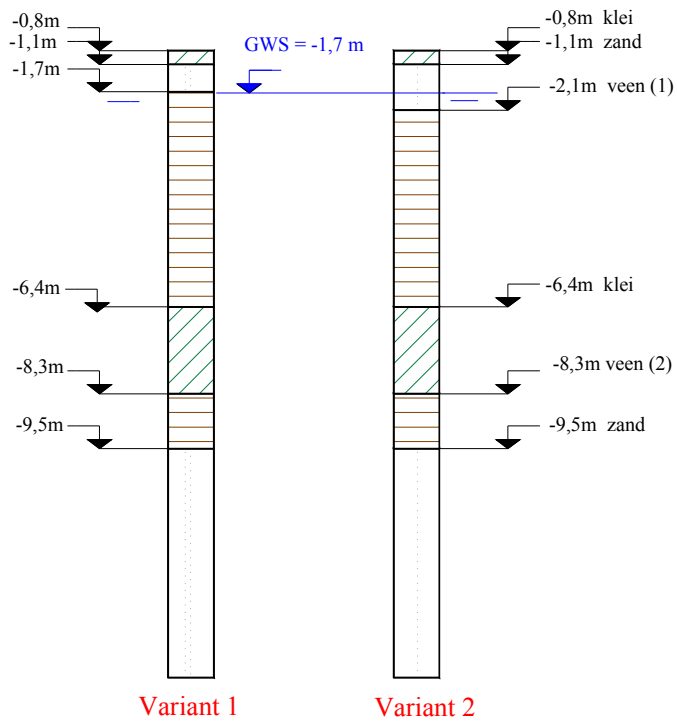
De consolidatieperiode is ingeschat met behulp van de methode Casagrande (bijlage 2-6). Deze bedraagt ca. 400 dagen met een zetting van 2,03 m voor “variant 1”, bepaald uit SETP 1-7 (bijlage 2-5)

Indien de berekende zettingen goed overeen komen met de gemeten zettingen, kan aangenomen worden dat de berekende horizontale grondvervormingen vergeleken kunnen worden met de gemeten horizontale grondvervormingen. In dit geval (eind consolidatieperiode) worden de berekeningen met metingen op dag 403 vergeleken.

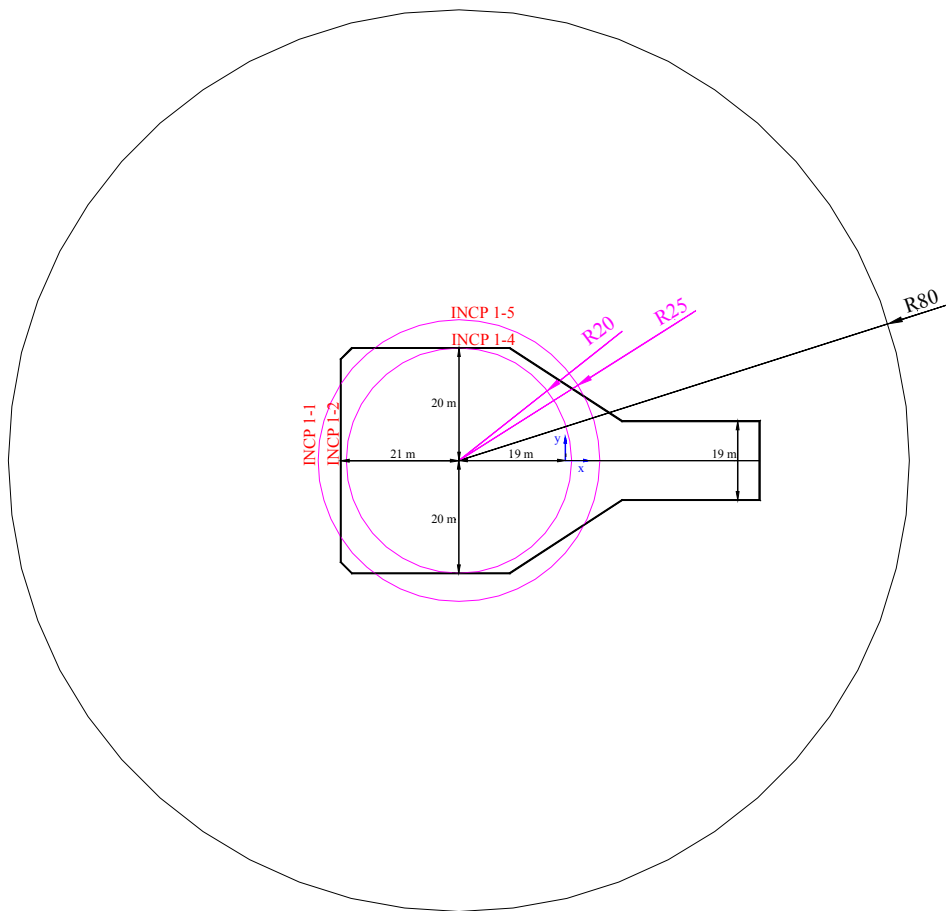
Voor “variant 2” wordt dezelfde consolidatieperiode aangenomen met een zetting gelijk aan 1,95 m (SETP 1-3).

Gezien de grote mate van vervorming wordt een UPDATED MESH gebruikt om de situatie beter te modelleren. Zonder UM treedt er overigens een soort bezwijkmechanisme op. De UM-procedure heeft een stabiliserende werking op het rekenproces. Updated-water-pressure-procedure is ook toegepast om onderwaterzakken te simuleren.

Figuur 2-7: Grondprofielen (dieptes t.o.v NAP)



Figuur 2-8: Axiaalsymmetrische schematisatie



### 2.3.1. Grondmodellen

De validatie is uitgevoerd in 2 varianten voor het grondmodel in de slappe klei- en veenlagen; het Soft Soil-model (SS) en het Hardening Soil-model (HS).

De zandophoging wordt gemodelleerd met Mohr Coulomb (MC) met een toenemende stijfheid met de diepte. Gebleken is dat toepassing van het MC-model voor de zandophoging leidt tot een stabielere rekenproces. De diepe zandlaag is gemodelleerd met het HS-model. Dit leidt tot de volgende varianten:

#### Soft Soil-variant

- Zandophoging MC-model
- Slappe lagen SS-model
- Diepe zandlagen HS-model

#### Hardening Soil-variant

- Zandophoging MC-model
- Slappe lagen HS-model
- Diepe zandlagen HS-model



In paragraaf 2.3.2 en 2.3.3 is een toelichting gegeven op de keuze van de parameters.

### 2.3.2. Soft Soil model

In Tabel 2-8 zijn de invoerparameters gegeven van het Soft Soil model (SS), de zandlagen worden met Hardening Soil (HS) gemodelleerd en de invoerparameters staan in Tabel 2-10. De zandophoging wordt gemodelleerd met Mohr Coulomb (MC) met een toenemende stijfheid met de diepte (Tabel 2-7). De ophoging wordt in fasen gebracht.

Tabel 2-7: MC-model invoerparameters

Grondsoort	Mat. model	$\gamma_d$ [kN/ m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/ m <sup>3</sup> ]	$E_{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$\nu$	$c_{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]	$E_{incr}$ [kN/m <sup>2</sup> /m]	$y_{ref}$ [m]
Zandophoging	MC	18	20	5000	0,3	1	32,5	2,5	1000	7

Tabel 2-8: SS-model invoerparameters

Grondsoort	Materiaal model	$\gamma_d$ [kN/ m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/ m <sup>3</sup> ]	$\lambda^*$	$\kappa^*$	$\lambda^*/\kappa^*$	$c'$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu_{ur}$	$K_0^{NC}$
Klei (toplaag)	SS	15	15	0,1	0,033	3	1	22,5	0	0,15	0,617
Zand	HS	18	20	-	-	-	1	32,5	2,5	0,2	0,463
Veen (1)	SS	11,2	11,2	0,20	0,08	2,4	3,7	17,9	0	0,15	0,693
Klei (organisch)	SS	13,9	13,9	0,15	0,09	1,7	0,6	22,3	0	0,15	0,621
Veen (2)	SS	12,2	12,2	0,22	0,07	3,2	5,5	19,3	0	0,15	0,669
Zand (bodemiaag)	HS	19	21	-	-	-	1	34	4	0,2	0,441

De grondparameters van de slappe lagen (m.u.v de toplaag) zijn bepaald aan de hand van de uitgevoerde triaxiaal- en samendrukkingsproeven. Voor elke parameter is een gemiddelde waarde uit de proefverzameling berekend. Uit triaxiaalproeven (CU) volgen  $c'$  en  $\phi'$  en uit samendrukkingsproeven  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$ . In bijlage 2-11 is een overzicht van de proefresultaten gegeven. Het volumieke gewicht is zowel bij triaxiaal- als samendrukkingsproeven bepaald. Ook hiervan is een gemiddelde waarde berekend.

Voor het bepalen van  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$  zijn twee methodes gehanteerd.

- $\lambda^* = \frac{1}{C_p}$  en  $\kappa^* \approx \frac{2}{C_p}$  (met Koppejan parameters)
- $\lambda^* = b$  en  $\kappa^* \approx 2a$  (met a-b-c isotachenmodel parameters)

$\lambda^*$  = Samendrukkingsindex, bepaalt de stijfheid van het materiaal bij primaire belasting

$\kappa^*$  = Zwellingsindex, bepaalt de stijfheid van het materiaal bij ontlasting en herbelasting (elastisch gedrag)

Volgens de Plaxis-handleiding geldt de verhouding  $\frac{\lambda^*}{\kappa^*} = 3 - 7$  voor een Soft Soil-model. Er wordt gekozen voor methode 2 omdat de parameterbepaling voor het isotachenmodel theoretisch beter aansluit op het Soft Soil-model in combinatie met de Updated-Mesh-procedure. Tevens geeft deze methode een betere verhouding van  $\frac{\lambda^*}{\kappa^*}$  dan methode 1 (Tabel 2-9).

Tabel 2-9: Verhouding  $\lambda^*/\kappa^*$  volgens methode 1 en 2

Grondsoort	$\lambda^*/\kappa^*$ (1)	$\lambda^*/\kappa^*$ (2)
Veen (1)	1,6	2,4
Klei (organisch)	1,1	1,7
Veen (2)	2	3,2

De parameters van de andere grondlagen (ophoging, zandlagen en klei toplaag) zijn m.b.v. tabel 1 NEN 6740-2005, Plaxis-handleiding en sonderingen bepaald. Voor de kleilaag (toplaag) is gekozen voor slap, zwak zandige klei en voor de zandlaag schoon matig vast zand.

Voor de dilatantiehoek ( $\psi$ ) is gekozen:

- $\psi = 0$  voor klei en veen
- $\psi = \varphi - 30^\circ$  voor zand

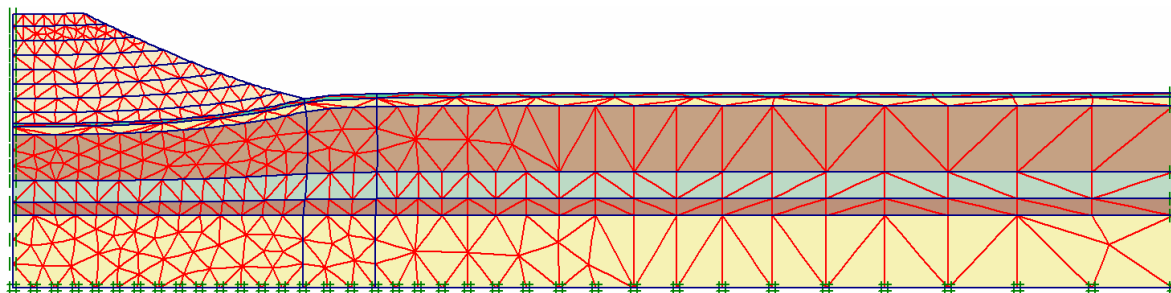
De waarde van de dwarscontractiecoëfficiënt ( $v_{ur}$ ) ligt volgens Plaxis-handleiding tussen 0,1 en 0,2. Voor een SS-model is een waarde van 0,15 gebruikelijk.

De waarde van  $K_0^{NC}$  wordt bepaald met de formule van Jaky :  $K_0^{NC} = 1 - \sin \varphi$

De berekeningen zijn uitgevoerd met een OCR = 1,0.

Voor het grondprofiel van “variant 1” zijn de volgende resultaten gevonden:

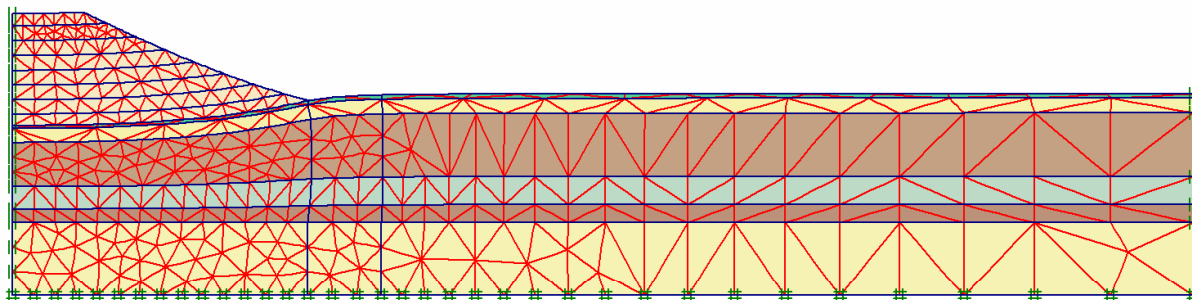
Max. zetting [m]	Max. horizontale grondverpl. aan de teen [mm]	Max. horizontale grondverpl. 5 m uit de teen [mm]
2,49	323 op NAP – 5,4 m	113 op NAP – 4,9 m



Deformed Mesh  
Extreme total displacement 2,49 m  
(displacements at true scale)

Voor het grondprofiel van “variant 2” zijn de volgende resultaten gevonden:

Max. zetting [m]	Max. horizontale grondverpl. aan de teen [mm]	Max. horizontale grondverpl. 5 m uit de teen [mm]
2,21	282 op NAP – 5,2 m	103 op NAP – 5,1 m



**Deformed Mesh**  
Extreme total displacement 2,22 m  
(displacements at true scale)

### 2.3.3. Hardening Soil model

In Tabel 2-10 zijn de invoerparameters gegeven van het HS-model. De zandophoging wordt gemodelleerd met MC met een toenemende stijfheid met de diepte (Tabel 2-7).

Tabel 2-10: HS-model invoerparameters

Grondsoort	$\gamma_d$ [kN/ m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/ m <sup>3</sup> ]	$E_{50}^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$E_{oed}^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$E_{ur}^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	m	$C^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]	$v_{ur}$	$p^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$K_0^{NC}$
Klei (toplaag)	15	15	2000	1000	6.000	1	1	22,5	0	0,2	100	0,617
Zand	18	20	30.000	30.000	90.000	½	1	32,5	2,5	0,2	100	0,463
Veen (1)	11,2	11,2	600	499	1440	1	3,7	17,9	0	0,2	100	0,693
Klei (organisch)	13,9	13,9	1150	646	2300	1	0,6	22,3	0	0,2	100	0,621
Veen (2)	12,2	12,2	900	458	2880	1	5,5	19,3	0	0,2	100	0,669
Zand (bodemlaag)	19	21	35.000	35.000	105.000	½	1	34	4	0,2	100	0,441

De grondparameters van de slappe lagen (m.u.v de toplaag) zijn bepaald aan de hand van de uitgevoerde triaxiaal- en samendrukkingsproeven. Voor elke parameter is een gemiddelde waarde uit de proefverzameling berekend. Uit triaxiaalproeven (CU) worden  $c'$ ,  $\phi'$ ,  $E_{50;undr}$  en  $E_{50}^{ref}$  bepaald en uit samendrukkingsproeven  $E_{oed}^{ref}$ . In bijlage 2-11 is een overzicht van de proefresultaten gegeven. De parameters van de andere grondlagen (ophoging, zandlagen en klei toplaag) zijn m.b.v tabel 1 NEN 6740-2005, Plaxis-handleiding en sonderingen bepaald. Voor de kleilaag (toplaag) is gekozen voor slap, zwak zandige klei en voor de zandlaag schoon matig vast zand.

De  $E_{oed}^{ref}$  waarden worden bepaald met:

$$E_{oed}^{ref} = \frac{p^{ref}}{\lambda^*}$$

In het HS-model geldt  $E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{\sigma_1'}{p^{ref}} \right)^m$  met  $m = 1$  voor klei- en veenlagen.

De  $E_{50}^{ref}$  waarden worden als volgt bepaald:

Uit tabel 28 van de CUR-rapport 2003-7 is het volgende verband gegeven tussen  $E_{50;undr}$  en  $E_{50;dr}$ :

$$E_{50;dr} = \frac{(1 + \nu)}{(1 + \nu_{undr})} E_{50;undr} = f \cdot E_{50;undr}$$

De keuze van de factor  $f$  is moeilijk en de waarden uit de CUR-rapport 2003-7 lopen uiteen;  $0,25 < f < 0,7$ . Er wordt in dit geval aangenomen dat  $f = 0,3$ .

Volgens de Plaxis-handleiding geldt de volgende formule voor een standaard gedraineerde triaxiaalproef waaruit de  $E_{50}^{ref}$  bepaald kan worden:

$$E_{50;dr} = E_{50}^{ref} \left( \frac{c' \cos \varphi' + \sigma_3' \sin \varphi'}{c' \cos \varphi' + p^{ref} \sin \varphi'} \right)^m$$

Om aan betere waarden van  $E_{50;dr}$  te komen kunnen deze momenteel in de nieuwe versie van Plaxis 2D, versie 8.3, eenvoudig bepaald worden uit (CD) triaxiaalproeven.

Voor de klei- en veenlagen zijn de volgende verhoudingen over het algemeen waargenomen: (vuistregel)

De  $E_{50}^{ref} \approx 2 E_{oed}^{ref}$  en  $E_{ur}^{ref} = 3 E_{50}^{ref}$ .

De verhouding  $\frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}}$  wordt bij voorkeur gelijk gesteld aan de verhouding  $\frac{\lambda^*}{\kappa^*}$  in Tabel 2-8.

Door het programma Plaxis wordt de volgende verhouding gesuggereerd  $\frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} \geq 2$ ; dit betekent dat voor de kleilaag (organisch) deze verhouding gelijk wordt gesteld aan 2 i.p.v. 1,7 (Tabel 2-11).

Tabel 2-11: Bepaling van  $E_{ur}^{ref}$  waarden

Grondsoort	$\frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}}$
Veen (1)	2,4
Klei (organisch)	2
Veen (2)	3,2

Uit de proefresultaten volgt voor veen  $E_{50}^{ref} \approx 5 E_{oed}^{ref}$  en voor klei  $E_{50}^{ref} \approx 13 E_{oed}^{ref}$ . Deze verhoudingen zijn veel groter dan die in de bovengenoemde vuistregel. Vanwege rekenproces redenen van het programma Plaxis kunnen de verhoudingen uit de

proefresultaten tussen  $E_{50}^{ref}$  en  $E_{oed}^{ref}$  niet gehandhaafd worden. Uit het programma Plaxis wordt de volgende marge gesuggereerd voor deze verhouding  $1,1 \leq \frac{E_{50}^{ref}}{E_{oed}^{ref}} \leq 2$ .

In dit geval wordt prioriteit aan de parameter  $E_{oed}^{ref}$  gegeven. Getracht is de  $E_{oed}^{ref}$  waarde vast te houden (zoals in bijlage 2-11 bepaald) en de  $E_{50}^{ref}$  te verlagen (Tabel 2-10).

Er zijn triaxiaalproeven in Plaxis gesimuleerd om na te gaan of de bepaalde  $E_{50}^{ref}$  waarden in bijlage 2-11 correct zijn. Uit deze proeven wordt de  $E_{50;undr}$  bepaald en vergeleken met de waarden in bijlage 2-11. In bijlage 2-15 en 2-16 zijn de  $q' - \varepsilon_1$  grafieken weergegeven voor een klei- en een veenmonster. Hieruit is te concluderen dat de  $E_{50}^{ref}$  zoals bepaald in bijlage 2-11 betere resultaten geeft maar vanwege de beperking van het programma wordt de prioriteit aan  $E_{oed}^{ref}$  gegeven en wordt  $E_{50}^{ref}$  verlaagd zoals eerder vermeld.

In de Plaxis-handleiding is aangegeven dat voor zandlagen volgende verhoudingen over het algemeen zijn waargenomen: (vuistregel)

De  $E_{50}^{ref} = E_{oed}^{ref}$  en  $E_{ur}^{ref} = 3 E_{50}^{ref}$ .

Voor slappe grond wordt een waarde van  $m = 1$  aanbevolen en voor zand  $m = 0,5$ .

Voor de dilatantiehoek ( $\psi$ ) is gekozen:

- $\psi = 0$  voor klei en veen
- $\psi = \varphi - 30^\circ$  voor zand

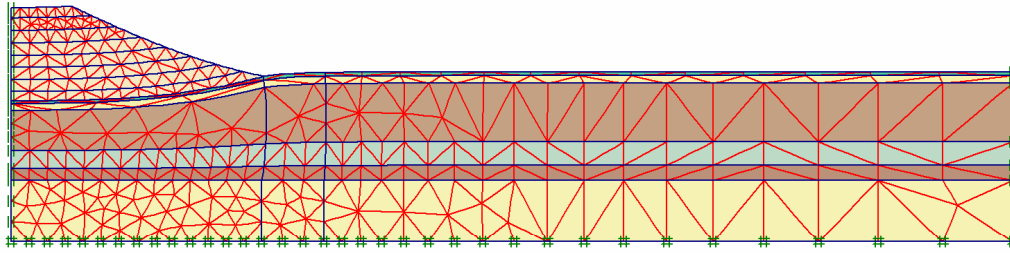
Voor de dwarscontractiecoëfficiënt ( $v_{ur}$ ) wordt in de Plaxis-handleiding een waarde van 0,2 voorgesteld.

De waarde van  $K_0^{NC}$  wordt bepaald met de formule van Jaky :  $K_0^{NC} = 1 - \sin \varphi$

De berekeningen zijn uitgevoerd met een OCR = 1,0.

Voor het grondprofiel van "variant 1" zijn de volgende resultaten gevonden:

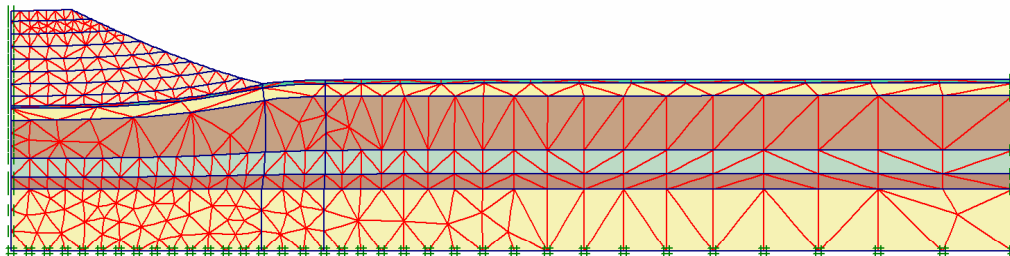
Max. zetting [m]	Max. horizontale grondverpl. aan de teen [mm]	Max. horizontale grondverpl. 5 m uit de teen [mm]
2,47	378 op NAP – 5,8 m	155 op NAP – 5,0 m



**Deformed Mesh**  
Extreme total displacement 2,47 m  
(displacements at true scale)

Voor het grondprofiel van “variant 2” zijn de volgende resultaten gevonden:

Max. zetting [m]	Max. horizontale grondverpl. aan de teen [mm]	Max. horizontale grondverpl. 5 m uit de teen [mm]
2,20	275 op NAP – 6,7 m	127 op NAP – 5,0 m



**Deformed Mesh**  
Extreme total displacement 2,20 m  
(displacements at true scale)

## 2.4. IJsseldijk – Loof tabellen

Meestal is het niet duidelijk of het een IJsseldijk of een Loof geval betreft en dit heeft consequenties voor de resultaten. De beschouwde situatie lijkt meer op een Loof geval met de aanwezigheid van de zandlaag. Hieronder worden de beperkingen van deze methode genoemd:

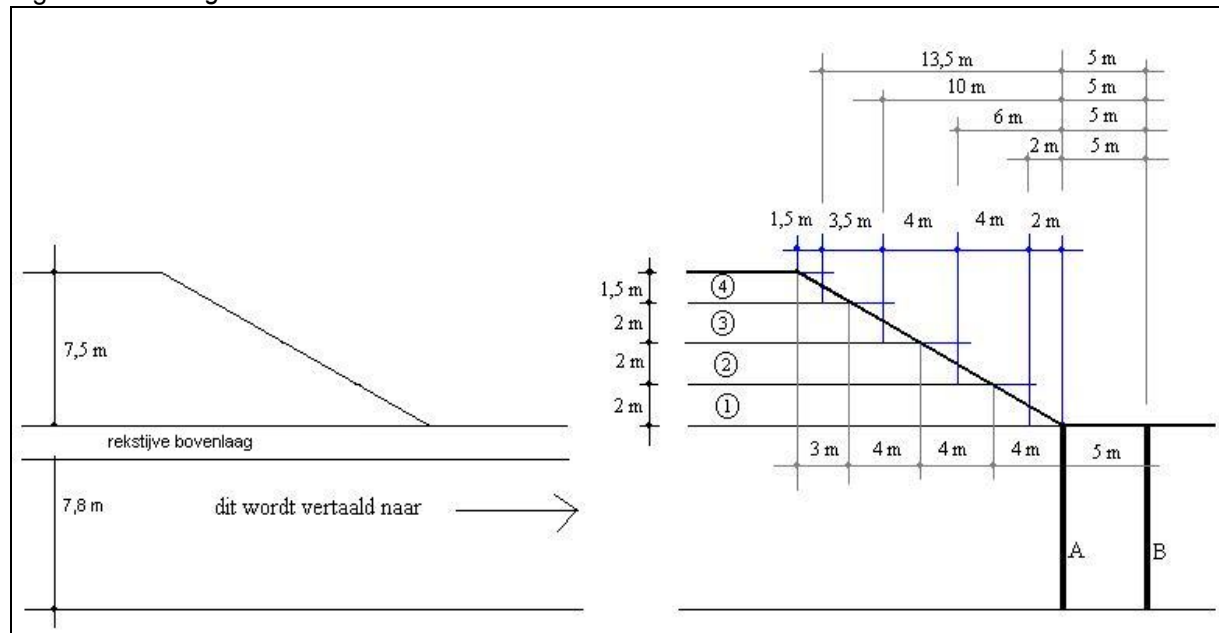
- Lineair elastisch grondgedrag
- De slappe grondlagen worden geschematiseerd als één homogeen isotrope laag
- De dwarscontractiecoëfficiënt ( $\nu$ ) is 0,5 (volumevast materiaal)
- Uniform gelijkmatig verdeelde bovenbelasting.

Deze methode wordt alleen voor het grondprofiel met “Variant 1” toegepast. Er wordt eerst een Loof geval uitgewerkt en daarna worden voor een IJsseldijk geval alleen de resultaten gepresenteerd.

## 2.4.1. Loof

Voor de rekestijve bovenlaag wordt de eerste kleilaag (toplaag) en de zandlaag genomen. Deze heeft een dikte van 0,9 m voor een grondprofiel van variant 1. De dikte van de slappe grondlaag is 7,8 m. Om gebruik te maken van de Loof-tabel wordt de doorsnede als volgt geschematiseerd (bijlage 2-12).

Figuur 2-9: Loof geval doorsnede



A = aan de teen van de ophoging.  
B = 5 m uit de teen.

$x = t / h$	1	2	3	4
A	2 / 7,8	6 / 7,8	10 / 7,8	13,5 / 7,8
B	7 / 7,8	11 / 7,8	15 / 7,8	18,5 / 7,8
q [kN/ m <sup>2</sup> ]	36	36	36	27

De elasticiteitsmodulus van de slappe lagen wordt volgens de volgende formule bepaald:

$$E = 1,25 \frac{p \cdot h}{z} = 1,25 \frac{135 \cdot 7,8}{2,13} = 618 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{zand} \cdot h_{ophoging} = 18 \cdot 7,5 = 135 \text{ kN/m}^2 \text{ (belasting)}$$

h = 7,8 m (slappe laagdikte)

z = 2,13 m (gemeten zetting), zie uitleg bij Tabel 2-14

Om de berekende horizontale grondverplaatsingen later met de metingen te kunnen vergelijken is in bovenstaande formule de eindzetting (2,13 m) ingevuld. In Tabel 2-12 zijn de horizontale grondverplaatsingen gegeven voor een terrasbelasting. De volledige uitwerking is gegeven in bijlage 2-12.

Tabel 2-12: Horizontale grondverplaatsingen bepaald m.b.v. Loof-tabel

Diepte in [m] t.o.v NAP	y (Loof tabel)	Hor. grondverpl. aan de teen [mm]	Hor. grondverpl. 5 m uit de teen [mm]
-1,7	0	0	0
-3,26	0,2	105	31
-4,82	0,4	160	51
-6,38	0,6	<b>162</b>	<b>52</b>
-7,94	0,8	108	35
-9,5	1	0	0

Uit bovenstaande tabel is te zien dat de horizontale grondverplaatsingen onderschat worden met Loof tabellen in vergelijking tot de metingen.

#### 2.4.2. IJsseldijk

Op een vergelijkbare wijze is het IJsseldijk geval uitgewerkt. De dikte van de slappe grondlaag is gelijk aan 8,7 m. In Tabel 2-13 zijn de resultaten gepresenteerd voor een terrasbelasting. De volledige uitwerking is gegeven in bijlage 2-13.

Tabel 2-13: Horizontale grondverplaatsingen bepaald m.b.v. IJsseldijk-tabel

Diepte in [m] t.o.v NAP	y (IJsseldijk tabel)	Hor. grondverpl. aan de teen [mm]	Hor. grondverpl. 5 m uit de teen [mm]
-0,8	0	<b>515</b>	<b>378</b>
-2,54	0,2	507	345
-4,28	0,4	456	296
-6,02	0,6	356	223
-7,76	0,8	205	123
-9,5	1	0	0

Uit bovenstaande tabel is te zien dat de horizontale grondverplaatsingen overschat worden met IJsseldijk tabellen in vergelijking tot de metingen.

#### 2.5. Vergelijking van berekeningen met metingen

In Tabel 2-14 zijn de (geschatte) zettingen, eind consolidatieperiode op dag 400, naast de berekende zettingen met SS- en HS-model gegeven. Een werkvloer was aangebracht voordat de metingen gestart waren. Hierdoor zijn niet gemeten zettingen opgetreden, geschat in de orde van 0,1 m. Deze waarde wordt opgeteld bij de zettingen bepaald in paragraaf 2.3.

Tabel 2-14: Vergelijking van berekende zettingen met gemeten zettingen (eind consolidatieperiode)

	Zetting [m]
Variant 1 (meting)	<b>2,13</b>
SS 1	2,49
HS 1	2,47
Variant 2 (meting)	<b>2,05</b>
SS 2	2,21
HS 2	2,20



Uit Tabel 2-14 is te zien dat de berekende zettingen van “Variant 1” en “Variant 2” met 16 % resp. 8 % groter zijn dan de metingen. Een verklaring voor het verschil tussen de metingen en de berekeningen kan liggen aan de spreiding van de parameters. Aangenomen kan worden dat de berekende horizontale grondverplaatsingen ook 8 à 16 % overschat zijn.

Om de berekende horizontale grondverplaatsingen met de metingen te kunnen vergelijken worden de stijfheidsparameters ( $E$ ,  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$ ) van “Variant 1” en “Variant 2” met de factoren 1,16 resp. 1,08 aangepast. De  $E$ -moduli van HS-model worden vermenigvuldigd met de bijbehorende factor en de  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$  van SS-model worden gedeeld door de factor. In Tabel 2-15 zijn de (aangepaste) invoerparameters van “Variant 1” gegeven. Op dezelfde manier worden de parameters van “Variant 2” bepaald.

Tabel 2-15: Aangepaste invoerparameters van SS- en HS-model voor “Variant 1”

Grondsoort	SS-model		HS-model		
	$\lambda^*$ [-]	$\kappa^*$ [-]	$E_{50}^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$E_{oed}^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$E_{ur}^{ref}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]
Klei (toplaag)	0,086	0,028	2330	1164	6990
Zand	-	-	35.000	35.000	105.000
Veen (1)	0,172	0,069	700	580	1680
Klei (organisch)	0,129	0,077	1340	754	2680
Veen (2)	0,189	0,060	1050	533	3360
Zand (bodemiaag)	-	-	40.000	40.000	120.000

In Tabel 2-16 zijn de (aangepaste) berekeningen en de metingen gegeven. De berekende zettingen zijn nagenoeg gelijk aan de metingen, binnen een marge van 2 à 5 %.

In paragraaf 0 zijn grafieken gegeven van de metingen en de berekende horizontale grondverplaatsingen over de hele diepte.

Tabel 2-16: Vergelijking van Plaxis resultaten met metingen (eind consolidatieperiode)

	Zetting [m]	Max. hor. grondverpl. aan de teen [mm]	Afwijking %	Max. hor. grondverpl. 5 m uit de teen [mm]	Afwijking %
Variant 1	<b>2,13</b>	<b>293</b> op NAP -3,7 m	-	<b>167</b> op NAP -3,6 m	-
SS 1	2,24	298 op NAP -5,3 m	+ 2	108 op NAP -4,9 m	- 35
HS 1	2,24	349 op NAP -5,8 m	+ 19	143 op NAP -5,0 m	- 14
Variant 2	<b>2,05</b>	<b>244</b> op NAP -4,8 m	-	<b>84</b> op NAP -4,3 m	-
SS 2	2,10	267 op NAP -5,4 m	+ 9	99 op NAP -5,1 m	+ 18
HS 2	2,10	262 op NAP -6,8 m	+ 7	123 op NAP -5,1 m	+ 46

In Tabel 2-17 worden de resultaten van IJsseldijk-Loof tabellen met Plaxis-berekeningen en met de metingen vergeleken. Hierbij dient vermeld te worden dat in Plaxis Plane Strain is gemodelleerd, zodanig dat de resultaten met IJsseldijk-Loof tabellen vergeleken kunnen worden.

Tabel 2-17: *Vergelijking van IJsseldijk–Loof resultaten met Plaxis en metingen (eind consolidatieperiode)*

	<b>Zetting [m]</b>	<b>Max. hor. grondverpl. aan de teen [mm]</b>	<b>Afwijking %</b>	<b>Max. hor. grondverpl. 5 m uit de teen [mm]</b>	<b>Afwijking %</b>
Variant 1	<b>2,13</b>	<b>293</b> op NAP –3,7 m	-	<b>167</b> op NAP –3,6 m	-
SS 1 (Pl.Strain)	2,24	468 op NAP –3,8 m	+ 60	221 op NAP –3,5 m	+ 32
HS 1 (Pl.Strain)	2,24	550 op NAP –5,9 m	+ 88	312 op NAP –3,4 m	+ 87
Loof		162 op NAP –6,4 m	– 45	52 op NAP –6,4 m	– 69
IJsseldijk		515 op NAP –0,8 m	+ 76	378 op NAP –0,8 m	+126

In Tabel 2-18 zijn relevante waarden gegeven van zettingen en horizontale grondverplaatsingen op verschillende periodes. De bovenstaande berekeningen zijn gedaan voor de eerste rij van deze tabel; einde consolidatie periode. In de tweede rij staan de gegevens van de laatste meting op dag 853 en in de derde rij zijn zettingen en horizontale grondverplaatsingen op dag 10.000 geëxtrapoleerd, zie bijlage 2-5 en 2-7 t/m 2-10. Opvallend is dat de verhouding, op verschillende periodes, van de horizontale en verticale verplaatsingen gelijk blijft.

Er zouden extra berekeningen gedaan kunnen worden voor de laatste twee rijen.

- Voor de laatste metingen op dag 853 gelden de volgende verhoudingen t.o.v. einde consolidatieperiode:  
 Zettingen → 3 %  
 Hor.grondverpl. → 7 %
- Voor de extrapolatie op dag 10.000 gelden de volgende verhoudingen t.o.v. einde consolidatieperiode:  
 Zettingen → 12 %  
 Hor.grondverpl. → 19 %

Om deze berekeningen te kunnen uitvoeren moeten de stijfheidparameters aangepast worden t.o.v. einde consolidatieperiode met de verhoudingen 3 en 12 % zoals eerder gedaan in Tabel 2-15.

Tabel 2-18: *Relevante gegevens voor verdere berekeningen*

	<b>Dag</b>	<b>Zetting [m]</b>	<b>Max. hor. verpl [mm]</b>	<b>Verhouding [%] Zetting/max.hor.verpl</b>
<b>Einde consolidatie</b>	400	2,13	285	13,4
<b>Laatste meting</b>	853	2,19	306	14
<b>Extrapolatie dag 10.000</b>	10.000	2,38	340	14

## 2.6. Evaluatie van de resultaten

### *Plaxis*

De stijfheidsparameters van de materiaalmodellen SS en HS zijn aan de hand van de uitgevoerde triaxiaal- en samendrukkingsproeven bepaald. Hierbij dient vermeld te worden dat de invoerparameters geen kruip bevatten. De Plaxis-berekeningen zijn met de metingen

op dag 400 (eind consolidatieperiode) vergeleken. Eind van deze periode is een deel van de kruip ook opgetreden. Dat betekent dat de metingen, met kruip, vergeleken worden met berekeningen zonder kruip. Het is van tevoren bekend dat de berekende grondverplaatsingen enigszins onderschat worden.

De resultaten van Plaxis, met een axiaalsymmetrisch model, worden met de metingen vergeleken. Het SS-model geeft in drie gevallen een overschatting van de maximale horizontale grondverplaatsingen tussen 2 en 18 %. Voor het geval van "Variant 1", 5 m uit de teen, geeft dit integendeel een onderschatting van 35 %.

Het HS-model geeft in drie gevallen een overschatting tussen 7 en 46 %. Ook hier geldt een onderschatting van "Variant 1", 5 m uit de teen, met 14 %.

Een reden waarom HS-model grotere horizontale grondverplaatsingen geeft dan SS-model kan liggen aan de (hogere) waarde van de dwarscontractiecoëfficiënt ( $v_{ur}$ ). Er wordt aanbevolen om de berekeningen van HS-model met een  $v_{ur}$  van 0,15 uit te voeren en de resultaten daarvan te evalueren.

Uit bovengenoemde afwijkingen blijkt dat in drie gevallen van de vier SS-model betere resultaten geeft dan HS-model. Onduidelijk is echter waarom bij "variant 1" 5 m uit de teen, de maximale horizontale grondvervormingen onderschat worden. In dit geval geeft HS-model betere resultaten.

De bovengenoemde afwijkingpercentages gelden alleen voor de maximale grondvervormingen. Het verloop van de horizontale grondverplaatsingen zowel bij SS- als HS-model komt over het algemeen goed overeen met de metingen. In de beschouwde situatie geeft SS-model een beter verloop dan HS.

"Variant 2" (grondprofiel met een dikkere zandlaag) geeft betere resultaten dan "Variant 1", waarschijnlijk lijkt deze meer op de werkelijkheid. In bijlage 2-1 is ook te zien dat in twee van de drie sonderingen de zandlaag wat dikker is.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat SS- en HS-model een realistisch beeld kunnen geven van de horizontale grondverplaatsingen mits de berekende zettingen gekalibreerd worden met de gemeten zettingen.

### *IJsseldijk–Loof tabellen*

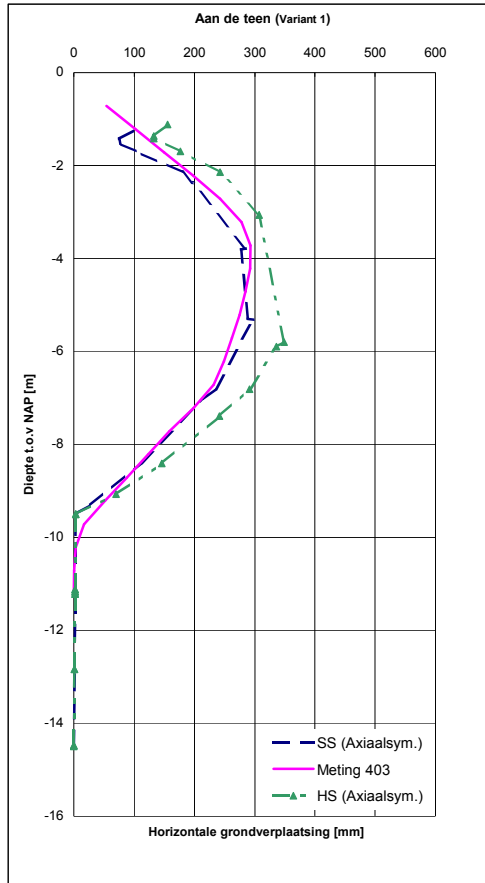
De resultaten van IJsseldijk–Loof tabellen worden aan de metingen getoetst. Om deze resultaten ook met Plaxis te kunnen vergelijken wordt het model plane strain gesimuleerd. Bij de methode IJsseldijk–Loof is de gemeten zetting in de formule van E-modulus ingevuld, dat betekent dat de berekende horizontale vervormingen rechtstreeks vergeleken kunnen worden met de metingen.

Looftabel geeft resultaten die 45 à 70 % lager zijn dan de metingen en IJsseldijktabel geeft waarden die 75 à 125 % hoger zijn. Zoals in paragraaf 2.4 vermeld, lijkt de beschouwde situatie meer op een Loofgeval. Aan de resultaten is te zien dat Loof beter scoort dan IJsseldijk en het verloop van de horizontale grondvervormingen is beter.

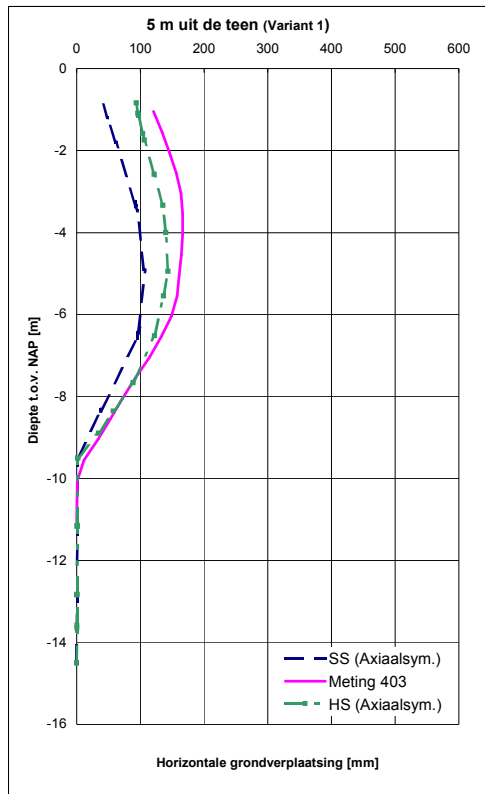
De resultaten van Plaxis met een plane strain model zijn aanzienlijk groter dan met een axiaal symmetrisch model. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de beschouwde situatie absoluut niet plane strain gemodelleerd mag worden en dat de methode IJsseldijk–Loof hier niet geschikt voor is.

Voor een grondprofiel van "variant 1"

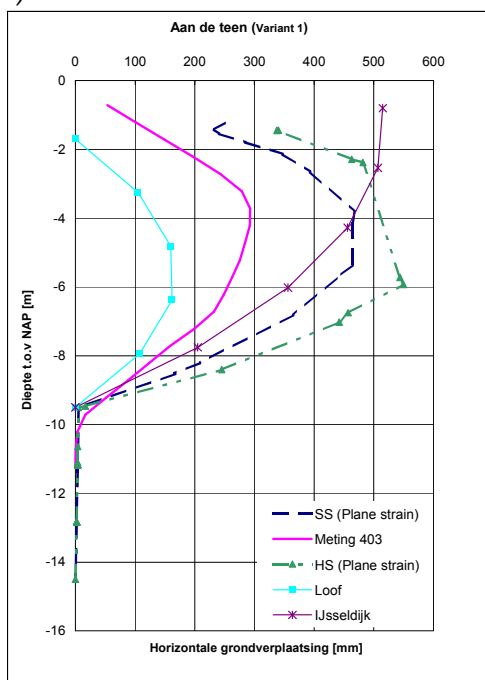
Figuur 2-10: Horizontale grondverplaatsingen uit Plaxis aan de teen (Variant 1)



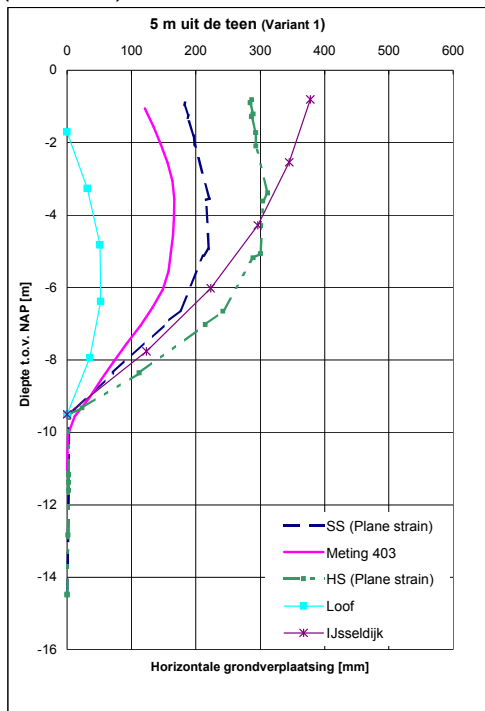
Figuur 2-11: Horizontale grondverplaatsingen uit Plaxis 5 m uit de teen (Variant 1)



Figuur 2-12: Horizontale grondverplaatsingen uit IJsseldijk-Looftabellen en Plaxis aan de teen (Variant 1)

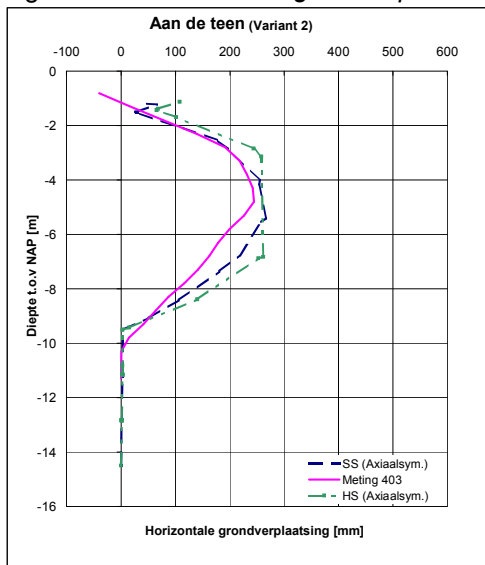


Figuur 2-13: Horizontale grondverplaatsingen uit IJsseldijk-Loof tabellen en Plaxis 5 m uit de teen (Variant 1)

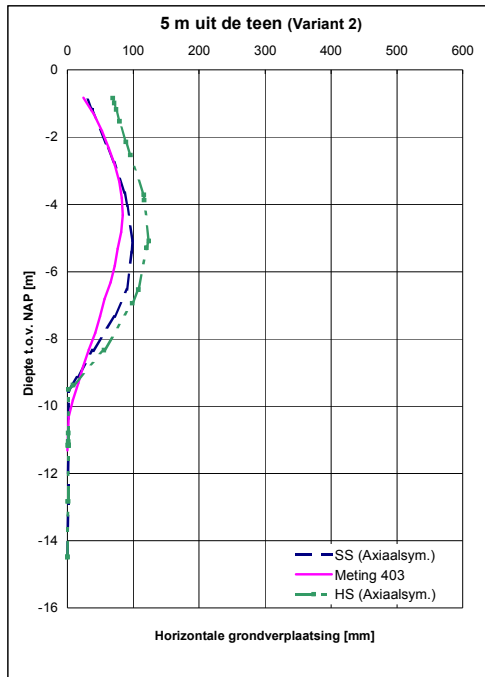


Voor een grondprofiel van “variant 2”

Figuur 2-14: Horizontale grondverplaatsingen uit Plaxis aan de teen (Variant 2)



Figuur 2-15: Horizontale grondverplaatsingen uit Plaxis 5 m uit de teen (Variant 2)



## 2.7. Conclusies en aanbevelingen

Indien verticale belastingen op het maaiveld worden aangebracht ontstaan in weinig draagkrachtige gronden naast verticale verplaatsingen ook horizontale grondverplaatsingen. Bestaande en nieuwe palen in de omgeving ondervinden hierdoor horizontale belastingen. In het kader van dit onderzoek is naar de horizontale grondverplaatsingen en naar de grondpaal interactie gekeken. Dit heeft tot onderstaande conclusies en aanbevelingen geleid.

### *Horizontale grondverplaatsingen:*

De horizontale grondverplaatsingen kunnen bepaald worden aan de hand van verschillende methoden. Hiervoor zijn twee methoden gebruikt, namelijk de IJsseldijk – Loof tabellen en EEM Plaxis 2D. Er wordt van uitgegaan dat Plaxis 2D de beste resultaten geeft mits gebruik wordt gemaakt van een geavanceerd materiaalmodel. Aan de hand van de praktijkmeting “No-Recess”, waarin geen paal geïnstalleerd is geweest, heeft een evaluatie van deze twee methoden plaats gevonden.

- De Loof tabel geeft horizontale grondverplaatsingen die 45 à 70 % lager zijn dan de metingen en de IJsseldijktabel geeft waarden die 75 à 125 % hoger zijn. Er dient wel vermeld te worden dat de beschouwde situatie meer op een Loofgeval lijkt. Echter is naar de resultaten van IJsseldijk gekeken omdat het meestal niet duidelijk is of het een IJsseldijk- of een Loofgeval betreft hetgeen grote consequenties kan hebben voor de resultaten. Bovendien is het bepalen van een E-modulus voor de slappe lagen moeilijk. De geometrie van de HW1 baan van de No-Recess proef ziet er axiaalsymmetrisch uit waaruit geconcludeerd kan worden dat de situatie absoluut niet Plane Strain gemodelleerd mag worden en dat de methode IJsseldijk–Loof hier niet geschikt voor is.
- In Plaxis 2D is gebruik gemaakt van de materiaalmodellen Soft Soil en Hardening Soil. De invoerparameters zijn aan de hand van samendrukkings- en triaxiaalproeven

bepaald. Deze parameters bevatten geen kruip. De Plaxis-berekeningen zijn met de metingen op dag 400 (eind consolidatieperiode) vergeleken. Eind van deze periode is een deel van de kruip ook opgetreden. Dat betekent dat de metingen, met kruip, vergeleken worden met berekeningen zonder kruip. Het is van tevoren bekend dat de berekende grondverplaatsingen enigszins onderschat worden. In eerste instantie worden de berekende zettingen met de gemeten zettingen gekalibreerd. De berekeningen zijn 8 à 16 % hoger uitgekomen. Een verklaring voor dit verschil kan liggen aan de spreiding van de bepaalde parameters. Vervolgens wordt aangenomen dat de berekende horizontale grondvervormingen vergeleken kunnen worden met de metingen. De stijfheidsparameters ( $E$ ,  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$ ) zijn met de bijbehorende factor aangepast hetgeen tot bevredigende resultaten heeft geleid. Het verloop van de horizontale grondverplaatsingen zowel bij SS- als HS-model komt over het algemeen goed overeen met de metingen. In de beschouwde situatie geeft SS- ietwat betere resultaten dan HS-model. Dit komt vermoedelijk door de hoge waarde van de dwarscontractiecoëfficiënt ( $v_{ur}$ ) in het HS-model. Er wordt aanbevolen om HS-model berekeningen uit te voeren met een  $v_{ur}$  gelijk aan 0,15 om de invloed hiervan te onderzoeken. Een andere reden zou kunnen liggen aan de beperking van het HS-model. De stijfheidsparameters van de slappe grond kunnen niet altijd correct ingevoerd worden. Uit deze validatie kan geconcludeerd worden dat SS- en HS-model een realistisch beeld kunnen geven van de horizontale grondverplaatsingen mits de berekende zettingen gekalibreerd worden met de gemeten zettingen. Bij een predictie kan de berekende zetting in Plaxis gefit worden aan de resultaten van zettingsberekeningen uitgevoerd met b.v. Koppejan. Er wordt aanbevolen om het aandeel van de kruip te verdisconteren in de primaire samendrukkings-parameters.

## 2.8. Handleiding voor bepalen van horizontale grondverplaatsingen in Plaxis 2D

In deze paragraaf worden de stappen genoemd die gevolgd dienen te worden om de horizontale grondverplaatsingen, als gevolg van een ophoging, in Plaxis 2D te bepalen. Afhankelijk van de geometrie, kan plane strain of axiaalsymmetrisch gemodelleerd worden. De afmetingen van het model moeten zodanig gekozen worden dat de modelranden geen invloed hebben op de resultaten. Voor het bepalen van de benodigde grondparameters voor de materiaalmodellen in EEM-berekeningen zijn voornamelijk voor de hogere orde materiaalmodellen geen richtlijnen. Voor de bepaling van de modelparameters voor geavanceerde materiaalmodellen zijn veelal specifieke proeven (triaxiaal- en samendrukkingproeven) nodig en dient tevens een omrekening plaats te vinden van proefresultaat naar modelparameter. Veelal zijn niet alle proeven voorhanden of bestaan er geen directe relaties en is het gebruik van correlaties nodig; het uitvoeren van additionele laboratoriumproeven is dan ook aan te bevelen. Alle in een EEM-berekening te gebruiken sterkte- en stijfheidsparameters betreffen effectieve waarden. Parameters die met ongedraineerde laboratoriumproeven zijn bepaald moeten omgerekend worden naar effectieve gedraineerde parameters.

De zandlagen worden met HS-model gemodelleerd en de slappe klei- en veenlagen kunnen zowel met HS- als SS-model. De (zand)ophoging wordt gemodelleerd met MC-model met een toenemende stijfheid met de diepte. Dit laatste leidt tot een stabielere rekenproces.

Een Updated-Mesh-procedure wordt aanbevolen indien er sprake is van grote mate van vervorming om de situatie beter te modelleren. De UM-procedure heeft een stabiliserende werking op het rekenproces. Aanbevolen wordt om de Updated-water-pressure-procedure toe te passen om onderwaterzakken te simuleren.



De parameter  $K_0^{NC}$  wordt bepaald met de formule van Jaky :  $K_0^{NC} = 1 - \sin \varphi$  en de berekeningen worden uitgevoerd met een OCR = 1,0.

*Soft Soil model:*

Uit de triaxiaalproeven volgen  $c'$  en  $\varphi'$  en uit de samendrukkingsproeven  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$ . Volgens de Plaxis-handleiding geldt de verhouding  $\frac{\lambda^*}{\kappa^*} = 3 - 7$  voor een Soft Soil-model. De parameters  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$  kunnen op basis van de abc-isotachenmodel parameters bepaald worden;  $\lambda^* = b$  en  $\kappa^* \approx 2a$ . De parameterbepaling voor het isotachenmodel sluit theoretisch goed aan op het Soft Soil-model in combinatie met de Updated-Mesh-procedure. In de bepaalde parameters  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$  wordt geen rekening gehouden met kruip. Dat betekent dat de berekeningen de werkelijkheid onderschatten. Is men geïnteresseerd in het kruipgedrag op een bepaald tijdstip dan dient het aandeel daarvan bepaald te worden en in de parameters te worden verdisconteerd. De parameters  $\lambda^*$  en  $\kappa^*$  worden met het bepaalde percentage verhoogd om de grond slapper te krijgen.

De waarde van de dwarscontractiecoëfficiënt ( $v_{ur}$ ) ligt tussen 0,1 en 0,2. Voor een SS-model is een waarde van 0,15 gebruikelijk.

*Hardening Soil model:*

Uit de triaxiaalproeven worden  $c'$ ,  $\varphi'$  en  $E_{50,undr}$  of  $E_{50,dr}$  bepaald en uit de samendrukkingsproeven  $E_{oed}^{ref}$ .

De  $E_{oed}^{ref}$  waarden voor slappe grond wordt bepaald met:  $E_{oed}^{ref} = \frac{p^{ref}}{\lambda^*}$  en voor zandlagen geldt:

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{\sigma_1'}{p^{ref}} \right)^m \text{ met } m = 0,5.$$

De  $E_{50}^{ref}$  waarden worden als volgt bepaald:

Volgens de Plaxis-handleiding geldt de volgende formule voor een standaard gedraineerde triaxiaalproef:

$$E_{50,dr} = E_{50}^{ref} \left( \frac{c' \cos \varphi' + \sigma_3' \sin \varphi'}{c' \cos \varphi' + p^{ref} \sin \varphi'} \right)^m$$

Om aan correcte waarden van  $E_{50,dr}$  te komen kunnen deze in de nieuwe versie van Plaxis 2D, versie 8.3, eenvoudig bepaald worden.

Het model kan met de verhouding  $E_{50}^{ref} / E_{oed}^{ref}$  mogelijk niet goed mee omgaan. In een dergelijke situatie wordt de maatgevende parameter vastgehouden en de minder maatgevende parameter verhoogd of verlaagd.  $E_{oed}^{ref}$  is maatgevend in situaties van primaire samendrukking (compressie) en  $E_{50}^{ref}$  is maatgevend in situaties waarbij voornamelijk deviatorische spanningsontwikkeling optreedt (stabiliteitsproblemen).

Voor klei- en veenlagen wordt uit het programma Plaxis de volgende marge gesuggereerd voor de verhouding  $1,1 \leq \frac{E_{50}^{ref}}{E_{oed}^{ref}} \leq 2$ . Als vuistregel geldt voor klei- en veenlagen  $E_{50}^{ref} \approx 2 E_{oed}^{ref}$  en voor zandlagen  $E_{50}^{ref} = E_{oed}^{ref}$ .

De verhouding  $\frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}}$  voor de klei- en veenlagen wordt bij voorkeur gelijk gesteld aan de verhouding  $\frac{\lambda^*}{\kappa^*}$  van het Soft Soil model anders geldt als vuistregel  $E_{ur}^{ref} = 3 E_{50}^{ref}$ . Deze laatste verhouding geldt ook voor zandlagen.

Door het programma Plaxis wordt de volgende verhouding gesuggereerd  $\frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} \geq 2$ .

Voor de dwarscontractiecoëfficiënt ( $v_{ur}$ ) wordt in de Plaxis-handleiding een waarde van 0,2 voorgesteld.

### 3. NO-RECESS CASE (R. SERVAIS)

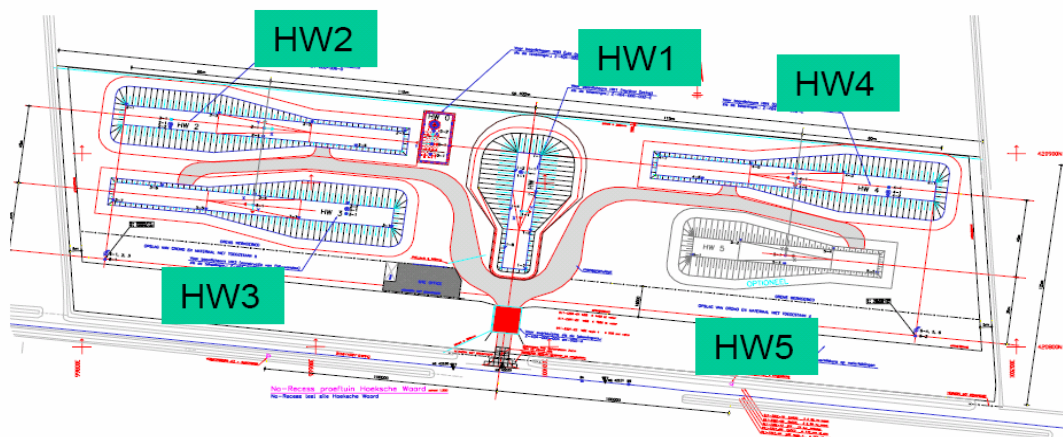
#### 3.1. Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is het SSC model beschreven en gevalideerd a.d.h.v. verschillende deelonderzoeken. In de praktijk komt het er echter op neer dat eindige elementen berekeningen veelvuldig gebruikt worden om voorspellingen te maken m.b.t. vervormingen, spanningen, grondwaterstromingen etc. op daarvoor aangewezen locaties. Om het SSC model te valideren op praktijk situaties is ervoor gekozen één aardebaan van de No-Recess case (New Options for Rapid and Easy Construction of Embankments on Soft Soils) te simuleren. Onderzoeksvraag 5, *het model valideren aan 2-dimensionale grondvervormingen. Dit zal gebeuren a.d.h.v. een triaxiaalproef en een case study*, wordt daarmee afgerond. Verder zal onderzoeksvraag 2, *verificatie van de gevonden oorzaken bij onderzoeksvraag 1 a.d.h.v. samendrukkingsproeven en bestaande projecten*, afgerond worden. De gevonden oorzaken van de verschillen tussen de verticale vervorming van het SSC- en a,b,c-Isotachenmodel wordt hier geverifieerd a.d.h.v een bestaand project, de No-Recess case.

De No-Recess case betreft een (demonstratie-) onderzoek naar, voor Nederlandse begrippen niet conventionele funderingswijzen voor aardebanen van rail- en weginfrastructuur. Het bouwrijpmaken hiervan is gestart in januari 1998 in Hoeksche Waard en negen maanden later waren 5 aardebanen gerealiseerd (Figuur 3-1). Aardebaan HW1 is bedoeld als referentie baan, terwijl de overige banen aangebracht zijn ter validatie van de verschillende funderingswijzen die t.p.v. de banen zijn aangebracht. In deze studie wordt verder alleen gekeken naar HW1.

Tijdens de proef zijn metingen verricht op: verticale en horizontale grondverplaatsingen, waterspanningen en gronddrukken. De metingen zijn in juni 2000 gestopt.

Figuur 3-1: *bovenaanzicht proefterrein No-Recess case*



In de hierop volgende paragrafen zal eerst de geometrie van proefvak HW1 worden beschreven, waarna de grondopbouw met grondeigenschappen wordt beschreven. Voordat de 2D simulatie gemaakt wordt, worden er met MSettle (a,b,c-Isotachenmodel) en Plaxis (SSC) 1D berekeningen gemaakt. Eerder in het afstudeeronderzoek is aangetoond dat bij een samendrukkingsproef de resultaten van het a,b,c-Isotachenmodel en het SSC model bij constante K-waarden met elkaar overeen moeten komen. A.d.h.v. deze case wordt getoetst

of bij een meerlagensysteem, waarbij consolidatie een grote rol speelt, het a,b,c-Isotachenmodel en het SSC model nog steeds dezelfde resultaten geven.

De 2D simulatie zal vervolgens verricht worden a.d.h.v. axisymmetrische en plane strain consolidatieberekeningen. Er is gekozen voor zowel axisymmetrische als plane strain berekeningen, omdat de geometrie niet gezien kan worden als een 100% nauwkeurige axisymmetrische of 100% nauwkeurige plane strain weergave. T.g.v. spreiding, dempen axisymmetrische berekeningen vervormingen en spanningen sneller uit dan plane strain berekeningen.

Naast deze berekeningen wordt een gedraineerde berekening uitgevoerd om de invloed van ongedraineerd gedrag bij de consolidatieberekening te onderzoeken. Verder wordt er gevarieerd met parameters, om de invloed van verschillende parameters zoals deze in paragraaf 3.3 zijn beschreven te toetsen.

### 3.2. Geometrie proefvlak HW1

In deze paragraaf wordt de geometrie beschreven zoals deze ook voor de modellering toegepast wordt. De gegeven dimensies van de ophoging zijn de gerealiseerde dimensies en kunnen daarmee afwijken van de ontwerp dimensies.

De geometrie van de aardebaan HW1 is gebaseerd op de grondopbouw en het programma van eisen. In dit programma zijn de volgende grenzen gesteld aan de bouwtijd en restzetting:

- Korte bouw tijden: minder dan 1,5 jaar
- Kleine restzettingen: minder dan 3 cm
- Minimalisatie bouwriscico's
- Minimalisatie van het overschot op de grondbalans
- Voldoende stijf gedrag van de baan bij dynamische belasting
- Minimalisatie schade bij aanleg van (spoor)wegverbredingen

Dit in combinatie met de voorkennis van de ondergrond heeft geresulteerd in de in Tabel 3-1 opgenomen ophoog en drainage gegevens.

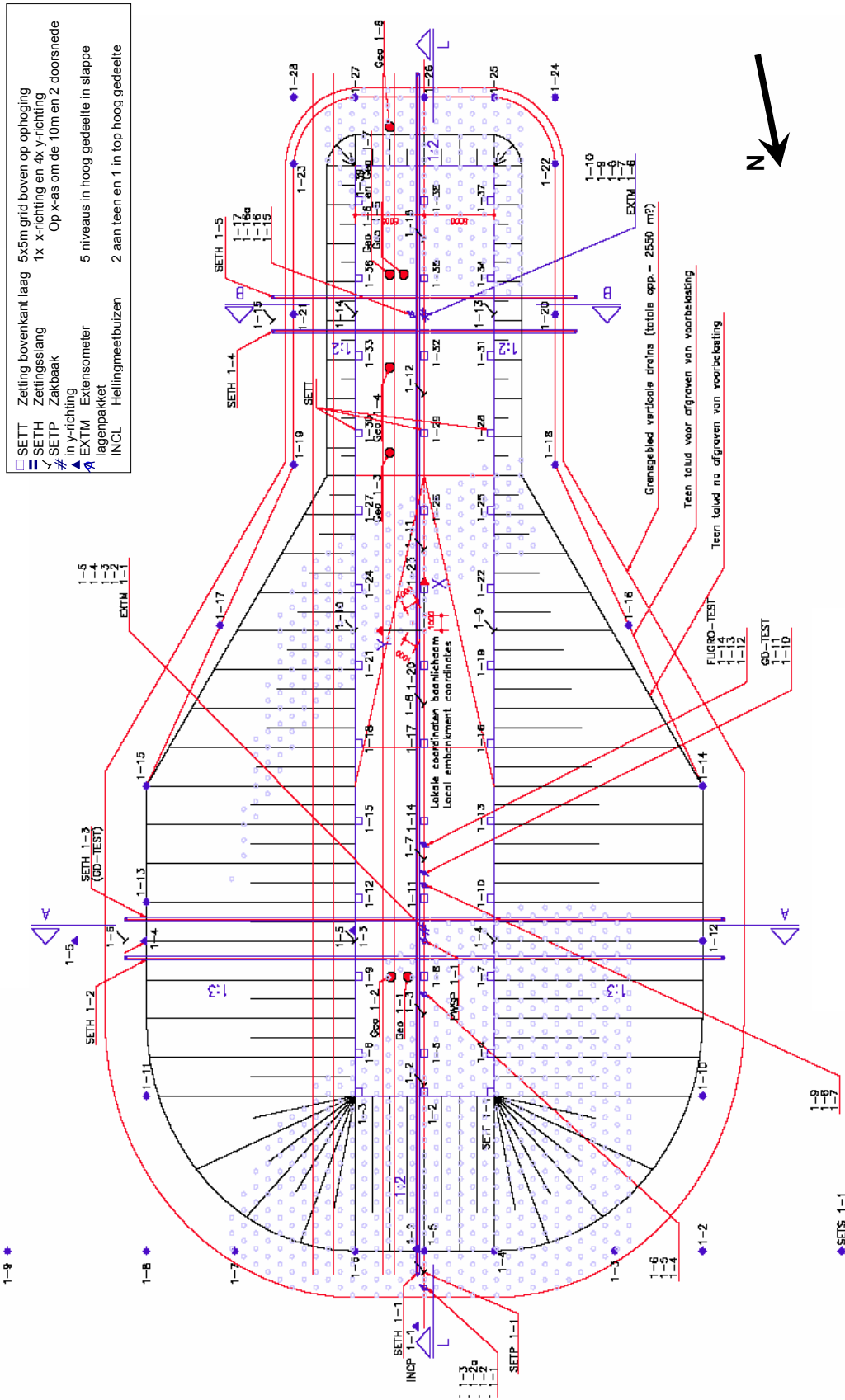
Tabel 3-1: ophoog en drainage gegevens aardebaan HW1, No-Recess case

	Lage aardebaan	Hoge aardebaan	
Netto ophoging	1	5	[m]
Bruto ophoging	1,2	7,5	[m]
Extra overhoogte	0,4	0,3	[m]
Weg verbetering (grindsplit)	0,1	0,1	[m]
h.o.h. verticale drains	1	1	[m]
Max. diepte drains	1	1	[m boven pleistoceen zand]
Geometrie verticale drains	driehoeksverband	driehoeksverband	

De hoge en lage aardebanen zijn respectievelijk in 130 en 100 dagen op hoogte gebracht. Na ongeveer 330 dagen is de extra overhoogte op de lage aardebaan verwijderd. Na 380 dagen is 0,3 meter (ophoog)zand van de hoge aardebaan verwijderd.

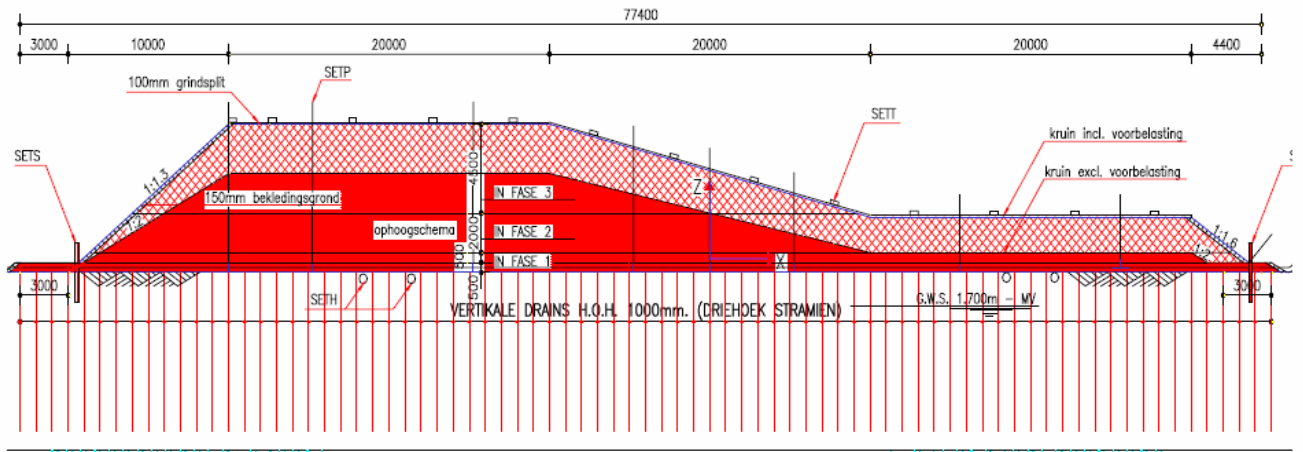
Een bovenaanzicht van HW1 met locaties van monitoringssystemen is gegeven in Figuur 3-2. Verder zijn Figuur 3-3 t/m Figuur 3-5 langs- en dwarsdoorsneden gegeven.

Figuur 3-2: plattegrond met monitoringslocaties HW1



- SETT Zetting bovenkant laag 5x5m grid boven op ophoging
- SETH Zettingsslang 1x x-richting en 4x y-richting
- SETP Zakbaak Op x-as om de 10m en 2 doorsnede
- in y-richting
- ▲ EXTIM Extensometer 5 niveaus in hoog gedeelte in slappe
- lagenpakket
- INCL Hellingmeetbuizen 2 aan teen en 1 in top hoog gedeelte

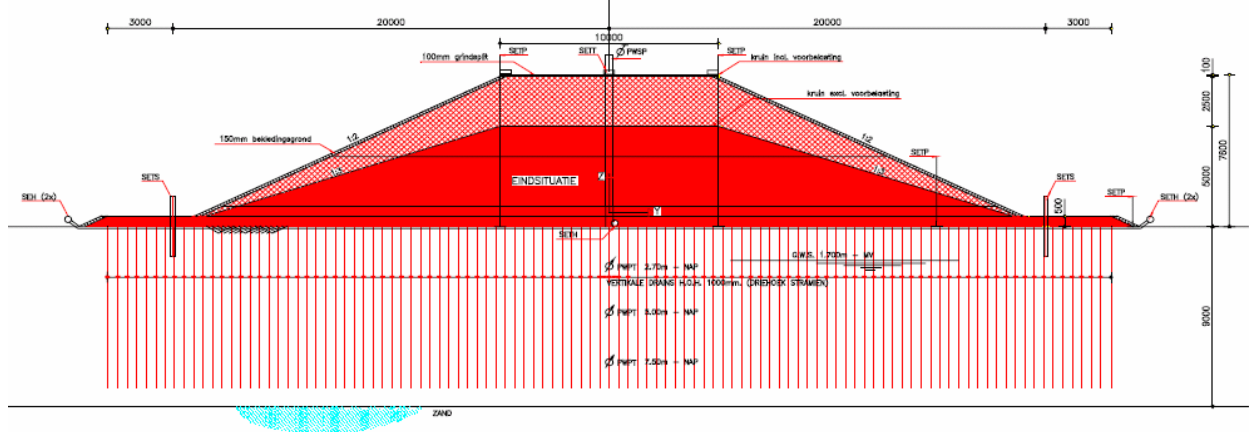
Figuur 3-3: HW1 langsdoorsnede (L) met hoog en laag gedeelte (x-richting)



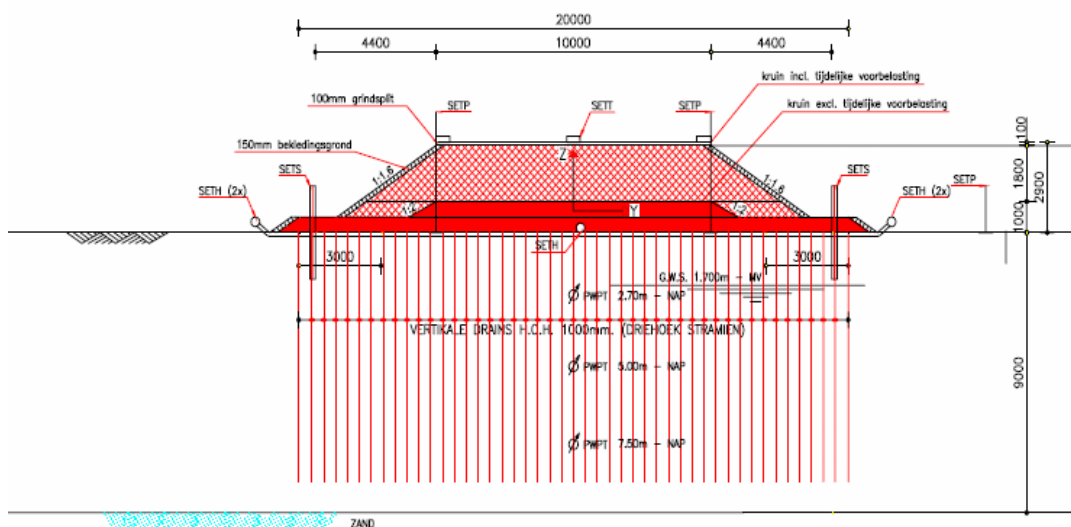
Langsdoorsnede L-L

(longitudinal section embankment HW1 scale 1:200 preloading and surcharge included)

Figuur 3-4: HW1 dwarsdoorsnede (A) hoge aardebaan (y-richting)



Figuur 3-5: HW1 dwarsdoorsnede (B) lage aardebaan (y-richting)



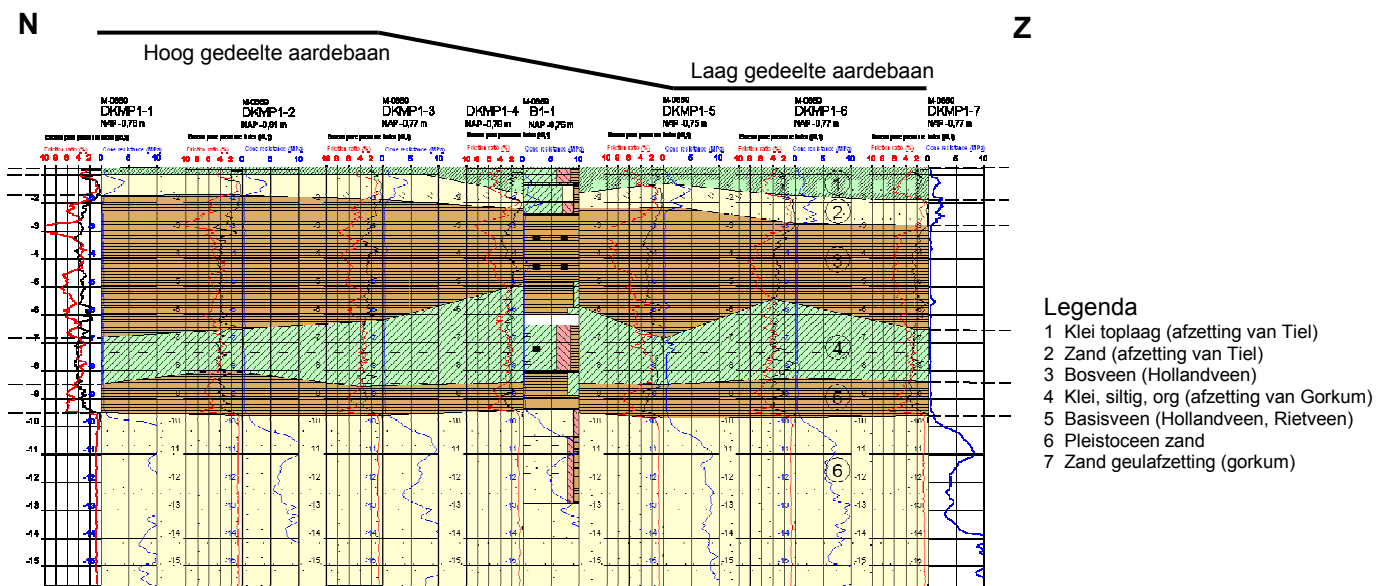
### 3.3. Bodemopbouw en grondeigenschappen

Voor het bepalen van de bodemopbouw en grondeigenschappen zijn de beschikbare gegevens over het gehele terrein gebruikt. De modellering van de aardebaan is gebaseerd op het hoge gedeelte. Dit omdat aan de teen en 5 meter uit de teen van de hoge aardebaan metingen zijn gedaan m.b.t. horizontale vervormingen. De horizontale vervormingen zijn gemeten aan de noord- en oostkant van de ophoging. De bodemopbouw zoals deze gehanteerd wordt bij de modellering zal daarom gebaseerd worden op de grondopbouw zoals deze t.p.v. horizontale metingen aan de teen van de hoge aardebaan wordt verwacht.

Als eerste zal de grondopbouw voor HW1 worden beschreven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de door Fugro in 1998 gerealiseerde grondprofielen onder de verschillende aardebanen (zie bijlage 3-2). De locaties van sonderingen en boringen zijn terug te vinden in bijlage 3-1.

In Figuur 3-6 en Figuur 3-7 zijn respectievelijk de noord-zuid en west-oost georiënteerde grondprofielen gegeven.

Figuur 3-6: *grondprofiel HW1 noord-zuid georiënteerd, inclusief locatie aardebaan*

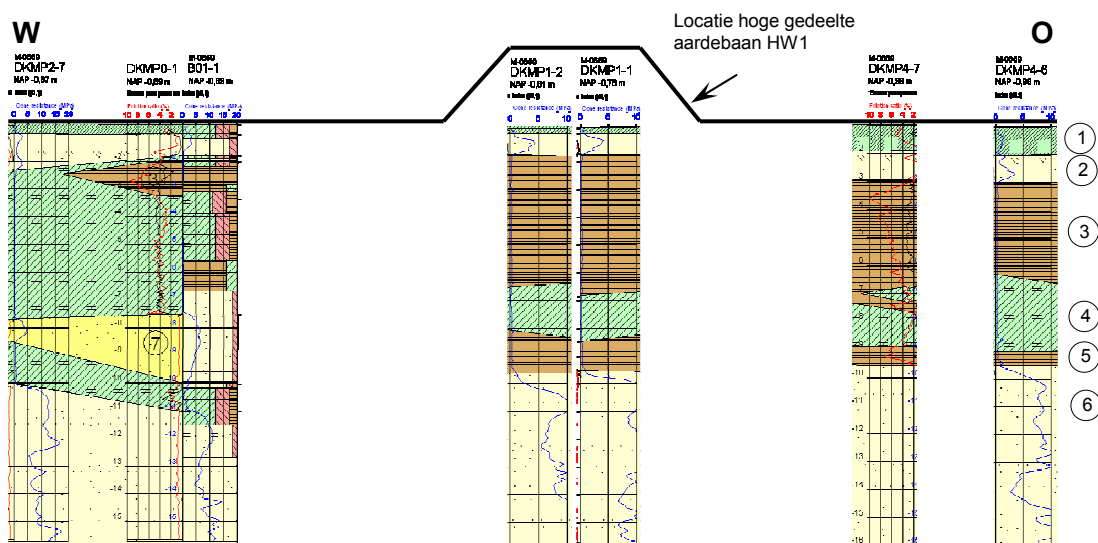


#### Interpretatie Figuur 3-6:

- De veenlagen (3 en 5) en siltige organische kleilaag (4) fluctueren vooral in het zuidelijke gedeelte in dikte. Onder het hoge gedeelte van de aardebaan is de fluctuatie te verwaarlozen. Verder in deze paragraaf zal blijken dat de samendrukkingsparameters van de Bosveen, Basisveen en Klei (siltig, organisch) in beperkte mate van elkaar verschillen. Bij de modellering wordt niet verwacht dat de fluctuatie significante invloed heeft op vervormingen. Heterogeniteit / anisotroop gedrag zou ervoor kunnen zorgen dat de horizontale grondeigenschappen van de twee lagen significantere verschillen geven, waardoor de metingen wel invloed ondervinden van de fluctuatie in de twee lagen.
- De dikte van de toplagen t.p.v. de teen van de ophoging zijn helaas niet bekend.
- De bovenkant van het Pleistocene zand bevindt zich op NAP -9,7m en is constant over de lengte van het profiel.

- Het maaiveld ligt op NAP -0,8m en is constant over de lengte van het profiel.

Figuur 3-7: *grondprofiel HW1 west-oost georiënteerd inclusief locatie aardebaan*



Interpretatie Figuur 3-7:

- Ook in dit profiel is fluctuatie te zien in de veenlagen (3 en 5) en siltige organische klei laag (4). Tevens nemen de toplagen (klei en zand) naar het oosten in dikte toe.
- In het westelijke deel van het profiel wordt duidelijk een zandgeul aangetroffen. Onder de zandgeul bevinden zich weer slappe lagen en het lijkt daarmee uit te sluiten dat het hier en rivierduin betreft. Bij het bestuderen van alle andere sonderingen en boringen blijkt het dat deze zandgeul alleen t.p.v. boring 01-1, sonderingen 0-1 en 2-7 wordt aangetroffen. Deze boring en sonderingen liggen zoals dat ook uit het grondprofiel blijkt dicht bij elkaar. Geologisch gezien komen zandgeulen in deze streek geregeld voor en hebben normaliter een langwerpige vorm. Het lijkt daarmee niet onwaarschijnlijk dat de geul zich doorzet in het beproefde gebied, maar net niet getraceerd is door de andere boringen en sonderingen. De zandinsluiting bevindt zich aan de andere kant van de aardebaan dan de metingen op horizontale vervormingen. Zettings slang gegevens (zie ook bijlage 3-8) tonen niet aan dat de ophoging aan de westkant significant meer zakt dan aan de oostkant. De invloed van de zandgeul op de zettingen en vervormingen wordt daarom verwaarloosd (voor het gedimensioneerde gebied).
- De bovenkant van het pleistocene zand bevindt zich op NAP -9,7m en is behalve ter plaatse van de zandgeul constant over de lengte van het profiel.
- Het maaiveld loopt naar het oosten enigszins af, maar dit is verwaarloosbaar. Ter plaatse van de aardebaan ligt het maaiveld op NAP -0,8m.

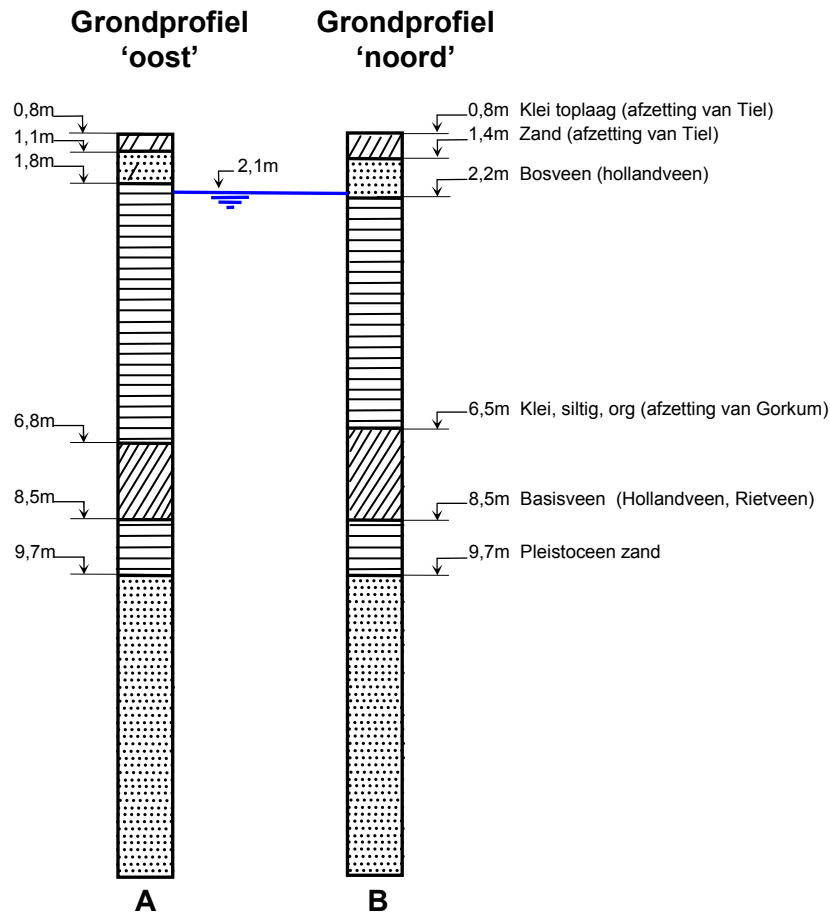
Naast deze interpretaties is een blik geworpen op de gemeten horizontale vervormingen (zie ook bijlage 3-9). De horizontale vervormingen aan het maaiveld zijn aan de noordkant van de ophoging (INCP 1-1 en 1-2) aanzienlijk kleiner dan aan de oostkant van de ophoging (INCP



1-4 en 1-5). De oorzaak hiervan kan de dikte van de 'stijve' toplagen (klei toplaag en zand) zijn. Er is er daarom voor gekozen de toplagen aan de noordkant dikker te modelleren dan aan de oostkant.

Op basis van de bovenstaande interpretaties is voor de simulatie aan de oostkant van de hoge aardebaan gekozen voor de het grondprofiel 'oost' weergegeven in Figuur 3-8A. Voor de simulatie van de horizontale vervormingen aan de noordkant van de aardebaan is gekozen voor de dimensionering zoals deze is weergegeven in Figuur 3-8B. Het voornaamste verschil van de twee profielen is het verschil in de dikte van de toplagen.

Figuur 3-8.: grondprofielen 'oost' en 'noord' met bijbehorende laagscheidingen in m-NAP



Er is ervoor gekozen een geometrie aan te nemen met horizontale homogeniteit. De gemodelleerde lagen zijn horizontaal en consistent over de as van de berekening.

Voor de simulatie worden de klei- en veenlagen gemodelleerd met het SSC model. In Tabel 3-2 zijn de invoerparameters opgenomen. Voor de parameter bepaling wordt verwezen naar bijlage 3-3 (OCR sterkte en samendrukbaarheid), 3-4 (k-waarde) en 3-5 (volumieke gewichten).

Tabel 3-2: invoerparameters SSC model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$	$\gamma_d$	$c'$	$\phi' (2\%)$	$\phi' (5\%)$	$\psi$	$v_{ur}$	$\kappa^*=a$	$\lambda^*=b$	$\mu^*=c$	$\lambda^*/\kappa^*$	$\lambda^*-\kappa^*/\mu^*$	$K_0$ en $K_0^{nc} (2\%)$	$K_0$ en $K_0^{nc} (5\%)$	$M (2\%)$	$M (5\%)$	$k_{yy}$ (zonder drainage)	$k_{yy}$ (met drainage)	$k_{xx}$	$OCR_{yy}$
	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[°]	[°]	[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m/d]	[m/d]	[m/d]	[-]
Klei toplaag	17,58	13,52	1	22,5	22,5	0	0,15	0,025	0,100	0,0039	4,00	19,23	0,617	0,617	1,23	1,23	4,83E-04	2,42E-02	4,83E-04	1,30
Bosveen	10,9	3,26	1	18	27,5	0	0,15	0,036	0,208	0,0117	5,71	14,64	0,691	0,538	1,07	1,49	2,90E-03	1,45E-01	5,80E-03	1,40
Klei (silt,org)	13,91	7,29	1	23	33	0	0,15	0,047	0,152	0,0074	3,25	14,26	0,609	0,455	1,22	1,68	4,83E-04	2,42E-02	4,83E-04	1,47
Basisveen	11,79	4,58	1	19	29,5	0	0,15	0,034	0,218	0,0102	6,43	18,06	0,674	0,508	1,12	1,59	1,95E-03	-	3,90E-03	1,96

Opmerkingen Tabel 3-2:

- Zoals reeds opgemerkt in paragraaf 4.5 van het afstudeerwerk (simulatie triaxiaalproef), is het bij de uitgevoerde triaxiaalproeven niet mogelijk iets zinnigs te zeggen over de anisotropie. De samendrukkingsparameters zijn bepaald in verticale richting.
- Op de klei toplaag zijn geen proeven verricht. De parameters van deze laag zijn bepaald a.d.h.v. tabel 1 NEN 6740-2005, sonderingen en volumieke gewichtsbepalingen. Op basis hiervan is gekozen deze laag aan te nemen als een slappe laag met classificatie klei zwak zandig.
- Voor de cohesie is in eerste instantie 1 kN/m<sup>2</sup> aangehouden. Dit omdat zoals meerdere malen eerder besproken, de cohesie klein moet zijn t.o.v. het spanningsniveau.
- Voor OCR<sub>yy</sub> is aangenomen dat deze het gevolg is van aging en niet het gevolg van ontlasten. Dit omdat de locatie niet bereikt is door ijs uit de ijstijd en er geen aantoonbare grondwaterstand verlagingen hebben plaatsgevonden. Dit laatste is bepaald a.d.h.v. de samendrukkingsparameters, sonderingen en boringen. A.d.h.v. sonderingen kan een grondprofiel worden gemaakt. Als de grondwaterstand in het verleden gedurende lange periode significant lager is geweest dan kan dit uitdroging tot gevolg hebben. Vooral voor kleilagen betekent dit dat de conusweerstand aanzienlijk hoger is dan verwacht wordt in klei (q<sub>c</sub> = 0,5 – 2 kPa). De grondwaterstand ligt momenteel in of net beneden de klei toplaag. T.g.v. capillaire werking en neerslag zal deze kleilaag niet uitdrogen. Als in het verleden droge perioden zijn aangebroken waardoor zowel de grondwaterstand lager is en de neerslag minder, dan kan deze laag uitgedroogd zijn. Dit zorgt voor een structuurverandering waardoor de conusweerstand hoger is dan in klei wordt verwacht. De klei toplaag heeft echter geen hoge conusweerstand (q<sub>c</sub> < 2 kPa).
- Aangezien is aangenomen dat de OCR<sub>yy</sub> is ontstaan t.g.v. aging is K<sub>0</sub> gelijk gekozen aan K<sub>0</sub><sup>nc</sup>. De horizontale spanning in een overgeconsolideerde spanningstoestand t.g.v. aging is gelijk aan de horizontale spanning in een normaalgeconsolideerde spanningstoestand (zie hiervoor ook paragraaf 3.3.1.3 van het afstudeerwerk).
- De waarde van de v<sub>ur</sub> ligt normaliter tussen 0,1 en 0,25. In eerste instantie is voor alle lagen 0,15 aangehouden. Bij een K<sub>0</sub>-waarde gelijk aan K<sub>0</sub><sup>nc</sup>, wordt verwacht dat de invloed van deze parameter verwaarloosbaar is. Herbelasten vanuit een overgeconsolideerde beginsituatie verloopt dan nagenoeg volgens de K<sub>0</sub><sup>nc</sup>-lijn. Tevens resulteert het verwijderen van de overhoogte in kleine mate van overconsolidatie.
- De zwelcoëfficiënt (κ\*) is gelijk aan de uit de samendrukkingsproef bepaalde a parameter. Dit omdat is aangenomen dat de overconsolidatie het gevolg is van aging. K<sub>0</sub> is constant en gelijk aan K<sub>0</sub><sup>nc</sup>. κ\* is dan gelijk aan a.
- Voor de lagen met verticale drains, is de verticale permeabiliteit omgerekend om het effect van de drainage in rekening te brengen. Voor een verdere toelichting wordt verwezen naar bijlage 3-4. De horizontale permeabiliteit is voor de kleilagen gelijk aan de verticale permeabiliteit zonder drainage. Voor de veenlagen is deze gelijk aan 2 maal de verticale permeabiliteit zonder drainage.

- Normaliter wordt  $K_0^{nc}$  in de praktijk bepaald met de vuistregel  $K_0^{nc} = 1 - \sin \varphi$  (vuistregel van Jaky). In de tabel is  $\varphi$  bepaald bij twee verticale rek niveaus (2 en 5 %) bij de triaxiaalproef. Hieruit volgen beduidend verschillende waarden voor  $\varphi$ . Indien de vuistregel van Jaky wordt gehanteerd volgen vervolgens verschillende waarden voor  $K_0^{nc}$ . De keuze voor  $K_0^{nc}$  is maatgevend voor de numerieke waarde van M. Zoals eerder beschreven is M een belangrijke modelparameter, welke maatgevend is voor de vervormingen in verschillende richtingen. Aangezien de vuistregel van Jaky geen wetmatigheid is en  $\varphi$  niet constant is tijdens een triaxiaalproef, is het aan te raden  $K_0^{nc}$ -waarden op een andere manier te bepalen welke de werkelijkheid beter benaderd.

Realistische  $K_0^{nc}$ -waarden volgen uit een  $K_0$ -c.r.s. proeven. Op basis van ervaringen bij Geodelft volgen voor veen en klei respectievelijk  $K_0^{nc}$ -waarden tussen 0,3 - 0,4 en 0,4 - 0,5. Dit zijn aanzienlijk lagere waarden dan op basis van de vuistregel van Jaky bij  $\varphi$ -waarden bepaald bij 2 en 5% verticale rek wordt verwacht. De berekeningen worden daarom gebaseerd op realistische  $K_0^{nc}$ -waarden (0,4 voor alle slappe lagen). Daarnaast zal een variant worden doorgerekend waarbij de  $K_0^{nc}$ -waarden worden bepaald met de vuistregel van Jaky bij  $\varphi$ -waarden bepaald bij 2% rek. De invloed van  $M(K_0^{nc})$  wordt zodoende weergegeven.

De berekening met een  $K_0^{nc}$ -waarde van 0,4 is gecombineerd met een  $\varphi$  horende bij 5% verticale rek. Berekeningen met een  $\varphi$  horende bij 2% verticale rek resulteerden in plastische punten in de initiële toestand. De initiële spanningsverhouding ( $K_0 = K_0^{nc}$ ) bevindt zich buiten de Mohr-Coulomb bezwijkomhullende, hetgeen nooit het geval kan zijn. Het wordt daarom aangeraden bij vervormingsgerichte berekeningen een  $\varphi$  te kiezen die ervoor zorgt dat een normaal geconsolideerd spanningspad volgens  $K_0^{nc}$  ruim binnen de Mohr-Coulomb bezwijkomhullende ligt.

De zandlagen zijn gemodelleerd met het HS Model (Tabel 3-3). Dit omdat kruip bij dergelijke grondsoorten verwaarloosbaar is en daarom moeilijk te modelleren is met het SSC model. De ophoging is gemodelleerd met het MC model (Tabel 3-4). De parameters van de zandlagen en ophoging zijn overgenomen uit literatuur. Niettemin is het gedrag van deze lagen tijdens de berekening in de gaten gehouden.

Tabel 3-3: invoerparameters HS model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu_{ur}$ [-]	$E_{s0}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{oed}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{ur}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	m	$p_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_0$ [-]	$K_0^{nc}$ [-]
Zand	20	18	1	32,5	2,5	0,15	30000	30000	90000	0,5	100	0,46	0,46
Pleistoceen zand	21	19	1	34	4	0,15	35000	35000	105000	0,5	100	0,44	0,44

Tabel 3-4: invoerparameters MC model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu$ [-]	$E_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{incr}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Y_{ref}$ [m]
Zand (oph)	20	18	1	32,5	2,5	0,32	5000	1000	7

Voor de zandlagen is de dilatantiehoek ( $\psi$ ) bepaald a.d.h.v. de vuistregel:  $\psi = \varphi - 30^\circ$ . Voor de dilatantiehoek van veen en klei wordt  $0^\circ$  aangehouden.

### 3.4. 1-dimensionale SSC, a,b,c-Isotachenmodel en Koppejan simulatie

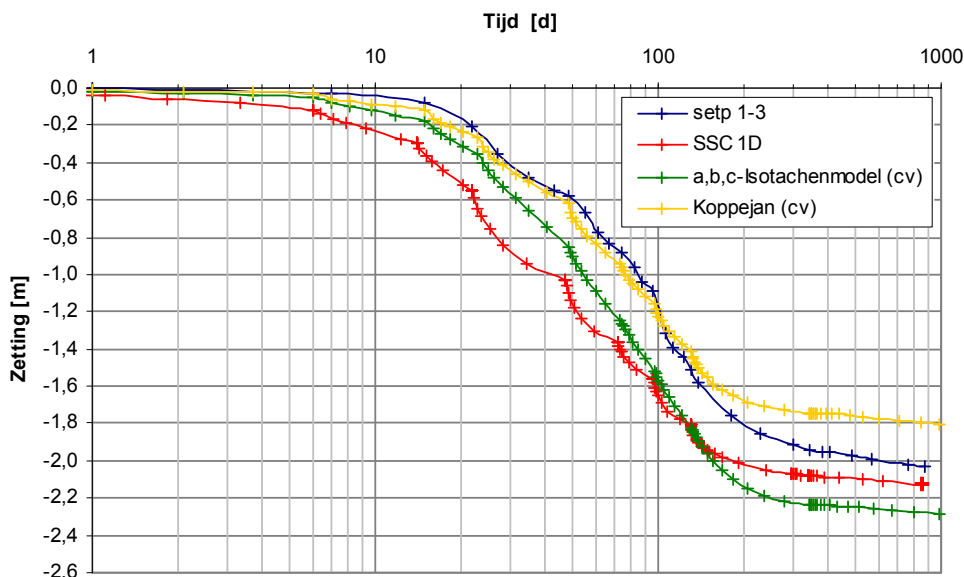
In Plaxis is met het SSC model een 1-dimensionale berekening gemaakt om deze vervolgens te vergelijken met een MSettle a,b,c-Isotachen en Koppejan berekening. Voorafgaande aan de berekening dient opgemerkt te worden dat de MSettle berekeningen zijn gemaakt m.b.v. de  $c_v$ -waarde i.p.v. de  $k$ -waarde. Een berekening met permeabiliteit ( $k$ ) werd om onbekende redenen afgebroken tijdens het rekenproces. Verder dient er rekening mee gehouden te worden dat MSettle onderwaterzakken van grondlagen niet in rekening brengt. Plaxis neemt onderwaterzakken van grondlagen wel in rekening, indien gerekend wordt met Updated Waterpressures. Kleine verschillen tussen de twee modellen kunnen om deze redenen verwacht worden.

In MSettle is gerekend met de optie submerging (onderwaterzakken van de belasting). De samendrukkingsparameters van de slappe lagen zijn voor de a,b,c-Isotachenberekening gehanteerd zoals deze in *Tabel 3-2* zijn opgenomen. Voor de Koppejan berekening zijn de parameters rechtstreeks bepaald uit de samendrukkingsproeven (bijlage 3-3). De zandlagen zijn gedraineerde lagen (optie: drained) en voor de samendrukkingsparameters zijn bij de a,b,c-Isotachenberekening de laagst mogelijke waarden ingevoerd (in de orde van  $1 \cdot 10^{-6}$ ). De gedraineerde slappe lagen (klei toplaag, Bosveen en klei siltig organisch) hebben een  $c_v$ -waarde van  $4,3 \cdot 10^{-1}$  m/d en de Basisveenlaag heeft een  $c_v$ -waarde van  $2,09 \cdot 10^{-2}$  m/d (bijlage 3-4). Voor de SSC berekening zijn de parameters aangehouden zoals deze in *Tabel 3-2* tot en met

*Tabel 3-4* zijn opgenomen. Voor de hoek van inwendige wrijving met 'bijbehorende'  $K_0$ ,  $K_0^{nc}$  en  $M$  zijn de waarden aangehouden die bepaald zijn bij 2% verticale rek. Niettemin maakt het voor een 1-dimensionale berekening niet veel uit welke waarden voor deze parameters worden gehanteerd.

In *Figuur 3-9* zijn de meetresultaten van zakbaak 1-3 (midden hoge gedeelte ophoging), SSC, a,b,c-Isotachen en Koppejan berekening weergegeven.

*Figuur 3-9: 1D berekening met de meetresultaten, SSC en a,b,c-Isotachen- en Koppejan model, No-Recess case*



### Interpretatie Figuur 3-9:

In paragraaf 3.4 en 4.4 van het afstudeerwerk is aangetoond dat bij 1D samendrukking de resultaten van een a,b,c-Isotachen- en SSC berekening met constante K-waarden met elkaar overeenkomen. In deze case is  $K_0$  gelijk aan  $K_0^{nc}$  (K is constant). Op basis hiervan worden geen verschillen verwacht tussen de twee modellen. Toch wijken de SSC en a,b,c-Isotachen resultaten noemenswaardig van elkaar af. Dit verschil is niet te verklaren door het verschil in rekenen met k of  $c_v$ -waarden of het onderwaterzakken van de grondlagen (hetgeen niet in rekening wordt genomen bij de MSettle berekening). De oorzaak hiervan is het op een andere wijze in rekening brengen van het onderwaterzakken van belastingen in de vorm van grondlagen (bij de samendrukkingsproef speelt onderwaterzakken geen rol). In Plaxis is onderwaterzakken opgenomen in het iteratieproces, waardoor onderwaterzakken correct in rekening wordt genomen. MSettle gaat uit van de eindzetting. Bij het aanbrengen van de eerste belastingstap wordt een correctie voor het onderwaterzakken toegepast weke uitgaat van de eindzetting. De spanningsverhoging wordt daardoor onderschat. Geodelft is momenteel bezig dit te verbeteren en het onderwaterzakken op te nemen in het iteratieproces. Onderwaterzakken van grondlagen wordt dan ook in rekening genomen.

Naast het verschil tussen de verschillende modellen kan opgemerkt worden dat beide modellen de zetting overschatten. Verder onderschatten beide modellen de kruiptak (helling aan het einde van de metingen).

De Koppejan modellering geeft duidelijk weer dat met dit vertrouwde zettingsmodel de zetting aan het begin van de gefaseerde ophoging beter ingeschat wordt dan berekeningen met het a,b,c-Isotachen- en het SSC model. De eindzetting en kruiptak worden echter ietwat onderschat. Later in paragraaf 3.5.1.2 zal de SSC berekening gefit worden aan de meetdata.

## **3.5. 2-Dimensionale SSC simulatie**

In deze paragraaf wordt het SSC model gevalideerd m.b.t. 2 dimensionale vervormingen. In eerste instantie zal het profiel 'oost' gesimuleerd worden. Bij de simulatie worden verschillende varianten doorgerekend, waarbij in wordt gegaan op de gevoeligheid van verschillende parameters. Tot slot wordt een variant doorgerekend waarbij het tijd-zettingsverloop gefit wordt.

Na de simulatie van profiel 'oost' wordt profiel 'noord' doorgerekend met verschillende varianten.

### **3.5.1. Profiel 'oost'**

De verschillende varianten van profiel 'oost' zijn onderverdeeld in 2 basis varianten, 6 parameter gevoeligheids varianten en een variant die gemaakt is om het tijd-zettingsverloop en de horizontale vervormingen te fitten. In *Tabel 3-5* zijn de varianten opgenomen en is een korte beschrijving gegeven. Bij de basis varianten wordt gerekend met de realistische  $K_0^{nc}$ -waarden van 0,4, hierbij wordt gevarieerd met een axisymmetrische en plane strain berekening. Bij de parameter gevoeligheidsvarianten worden berekeningen gemaakt met de  $K_0^{nc}$ -waarden bepaald met de vuistregel van Jaky horende bij een  $\phi$  bepaald bij 2% verticale rek (zoals dit tot op heden in de praktijk vaak gedaan wordt). Met deze varianten wordt de invloed van de  $K_0^{nc}$ -afhankelijke M parameter weerspiegeld. Verder worden een gedraineerde berekening gemaakt en zal gerekend worden met een permeabiliteit die 15 maal kleiner is dan de permeabiliteit zoals opgenomen in *Tabel 3-2*. Tot slot wordt een berekening gemaakt met de default  $k_0$ -waarde en een berekening met een OCR van 1 (voor alle lagen).

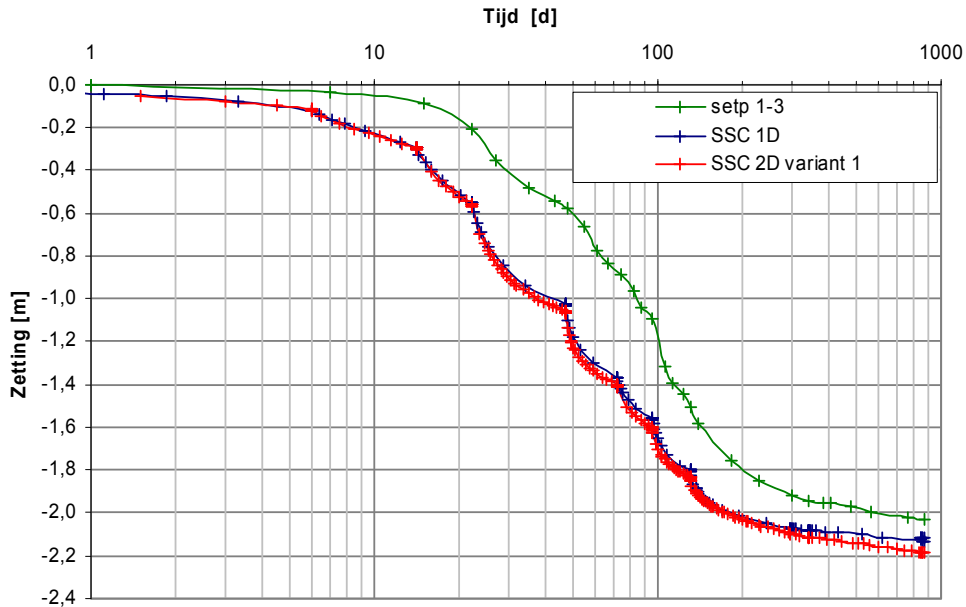
Naast de verschillende varianten wordt ingegaan op de zettingen bij een 1- en 2-dimensionale berekeningen.

Tabel 3-5: varianten profiel 'oost' No-Recess case

Variant		Beschrijving
Basis	1	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	2	Axisymmetrische consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
Parameter gevoeligheid	3	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ en $K_0^{nc}$ zijn bepaald bij 2% verticale rek, de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	4	Axisymmetrische consolidatie berekening, $\varphi$ en $K_0^{nc}$ zijn bepaald bij 2% verticale rek, de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	5	Gedraineerde plane strain berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	6	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , de doorlatendheid ( $k$ ) is 15 keer zo klein (de $k$ -waarden zijn nu gelijk aan de $k$ -waarden welke rechtstreeks volgen uit de samendrukkingsproeven), de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	7	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , OCR t.g.v. ontlasten: voor de $K_0$ wordt default waarde gehanteerd, de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	8	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , de OCR is voor alle lagen 1, de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
Fit	9	Plain strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,65$ , $OCR=3,5$ , $\lambda^* = 1,35$ maal $\lambda^*$ (uit proeven), $\mu^* = 1,2 \mu^*$ (uit proeven), de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.

### 3.5.1.1. Vergelijking tijd-zettingsverloop 1D en 2D SSC berekening

Figuur 3-10: *tijd-zettingsverloop midden top ophoging meetresultaten, SSC 1D en 2D berekening, No-Recess case*



Het tijd-zettingsverloop van variant 1 (2-dimensionaal) in het midden van de top van de ophoging is vergeleken met de 1-dimensionale SSC berekening en de meetresultaten. De 2-dimensionale berekening is een plane strain consolidatieberekening met een  $K_0^{nc}$ -waarde van 0,4. Een gedraineerde of axisymmetrische berekening geeft een vergelijkbaar tijd-zettingsverloop. Daarnaast is een berekening gemaakt met het Soft Soil model, welke tot  $t = 144$  dagen een overeenkomend tijd-zettingsverloop geeft.

#### Interpretatie Figuur 3-10:

- Naast de 1D berekening overschat ook de 2D berekening de zetting in het begin van de gefaseerde ophoging significant. Later zal het tijd-zettingsverloop gefit worden (variant 9). Hieruit volgt welke parameters anders gekozen hadden moeten worden om het tijd-zettingsverloop correct te simuleren.
- De afwijkingen tussen de 1D en 2D berekening tijdens het aanbrengen van de gefaseerde ophoging is te verwaarlozen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in dit geval het 'positieve' effect van belasting spreiding wordt opgeheven door het 'negatieve' effect van horizontale vervorming op de verticale stijfheid.
- De kruiptak laat een noemenswaardig verschil zien. De 1D berekening heeft een minder steile kruiptak dan de 2D berekening (na 10000 dagen is het verschil 0,1 meter). De kruiptak van de 2D berekening komt beter overeen met de kruiptak van de meetresultaten. Hieruit volgt dat de ontwikkeling van de verticale kruip significant beïnvloed wordt door de horizontale kruip.

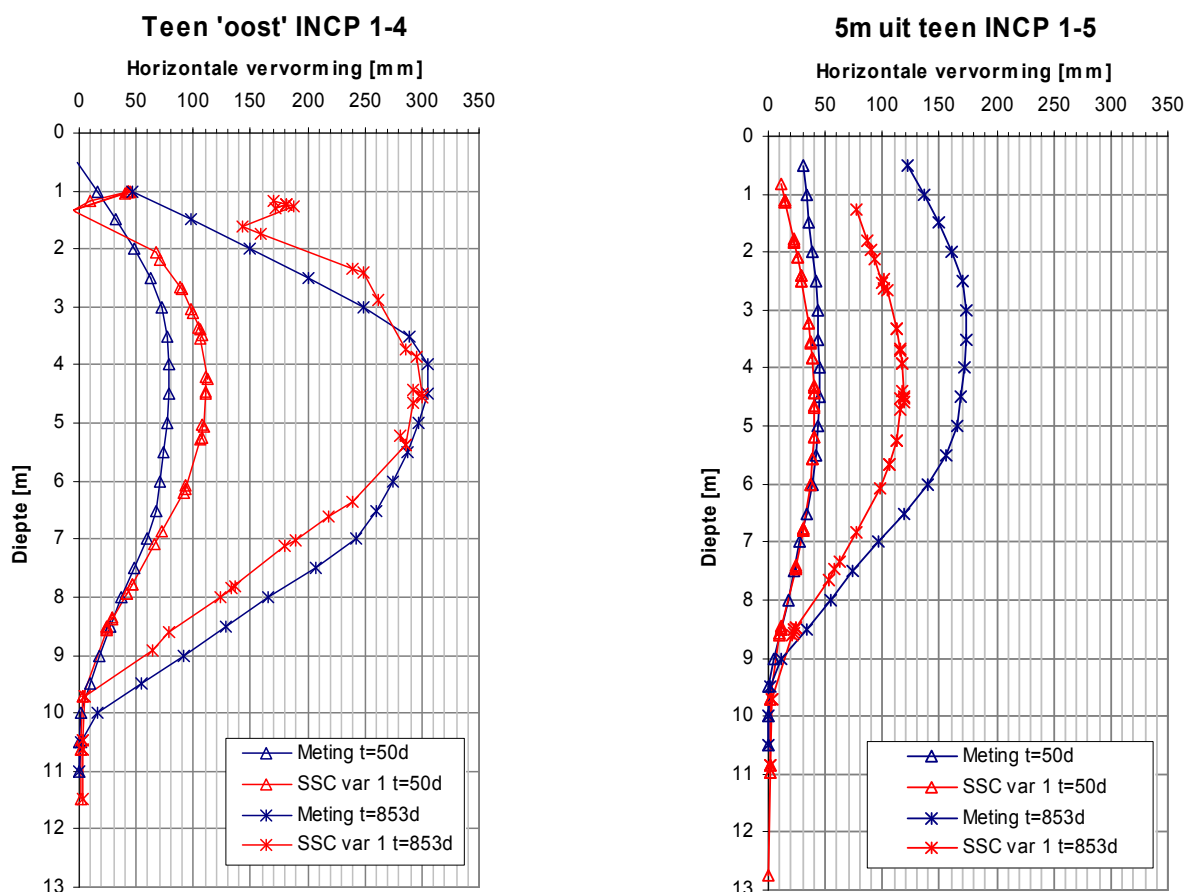
- Een 2D gedraineerde plane strain berekening met een  $K_0^{nc}$  van 0,4 (niet weergegeven in de figuur) geeft een vergelijkbaar tijd-zettingsverloop als de consolidatieberekening. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de slappe lagen snel genoeg draineren om instabiliteit t.g.v. ongedraineerd gedrag in de 'consolidatie' fase tegen te gaan. Daarnaast heeft de ongedraineerde stijfheid t.g.v. de snelle consolidatieperiode, nauwelijks invloed op de zetting.

### 3.5.1.2. 2-dimensionale varianten

In Tabel 3-6 en Tabel 3-7 zijn de resultaten van berekeningen en metingen voor respectievelijk de zetting en horizontale vervorming van de verschillende varianten opgenomen. De zettingen zijn bepaald aan de rand van de bovenkant van de ophoging (kruinrand) en 1,3 meter uit de teen. De horizontale vervormingen zijn bepaald aan de teen en 5 meter uit de teen.

Om een indicatie te krijgen van de horizontale vervorming als functie van de diepte is dit in Figuur 3-11, voor de meetresultaten en variant 1, uitgezet voor 50 en 853 dagen na de start realisatie ophoging.

Figuur 3-11: horizontale vervorming als functie van de diepte profiel 'oost', variant 1 en meetresultaten





Interpretatie Figuur 3-11:

- De SSC variant 1 overschat de horizontale vervorming aan het maaiveld t.p.v. de teen. De oorzaak hiervan is plastisch gedrag en is moeilijk te vermijden. Op de overige horizontale vervormingen heeft dit een te verwaarlozen invloed.
- De SSC berekening geeft een overeenkomend verloop van de horizontale vervorming in de diepte als de gemeten vervorming. De dikte van het totale slappe lagenpakket en de onderlinge eigenschappen tussen de verschillende lagen lijken daarmee correct gekozen.

Tabel 3-6: zettingsresultaten profiel 'oost', metingen en berekeningen

	Zetting [m]										Verhouding 295d / 869d			
	kruinrand (SETP 1-5)					1,3m uit teen (SETP 1-6)					kruinrand	1,3m uit teen		
	50d	137d (eind aanbr oph)	295d (eind cons)	869d	50d	137d (eind aanbr oph)	295d (eind cons)	869d	50d	137d (eind aanbr oph)				
<b>Basis</b>														
<b>Parameter gevoeligheid</b>	1	<b>Veld meting</b>												
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain												
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; axisymmetrische												
		consolidatie; $\varphi_{(2\%)}; K_0^{nc} (2\%);$ plane strain												
		consolidatie; $\varphi_{(2\%)}; K_0^{nc} (2\%);$ axisymmetrisch												
		gedraineerde; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain												
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain; k=15 x kleiner												
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain; $K_0$ default												
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain; OCR=1												
<b>Fit</b>		-0,48	-1,19	-2,02	-1,81	-1,94	-1,81	-1,94	-0,27	-0,03	-0,01	-0,01	1,07	1,00

Tabel 3-7: resultaten horizontale vervormingen profiel 'oost', metingen en berekeningen

	Maximale horizontale verplaatsing [m] met bijbehorende diepte [m-NAP]																				
	Teen (INCL1-4)									5m uit teen (INCL1-5)											
	50d	144d (eind aanbrengen oph)	295d (eind cons)	853d	50d	144d (eind aanbrengen oph)	295d (eind cons)	853d	50d	144d (eind aanbrengen oph)	295d (eind cons)	853d	50d	144d	295d	853d	50d	144d	295d		
<b>Basis</b>																					
<b>Parameter gevoeligheid</b>		<b>Variant</b>																			
		<b>Veld meting</b>																			
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain																			
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; axisymmetrische																			
		consolidatie; $\varphi_{(2\%)}; K_0^{nc} (2\%);$ plane strain																			
		consolidatie; $\varphi_{(2\%)}; K_0^{nc} (2\%);$ axisymmetrisch																			
		gedraineerde; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain																			
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain; k=15 x kleiner																			
		consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain; $K_0$ default																			
	consolidatie; $\varphi_{(5\%)}; K_0^{nc} = -0,4$ ; plane strain; OCR=1																				
<b>Fit</b>		0,08 (3,8)	0,26 (3,6)	0,29 (3,8)	0,31 (3,8)	0,05 (3,5)	0,12 (3,8)	0,16 (3,7)	0,17 (3,8)	0,16 (3,7)	0,17 (3,8)	0,17 (3,8)	1,6	2,2	1,8	1,8	1,6	2,2	1,8	1,07	1,06
		0,11 (4,5)	0,24 (4,4)	0,27 (4,4)	0,30 (4,4)	0,04 (4,7)	0,09 (4,6)	0,11 (4,4)	0,12 (4,4)	0,11 (4,4)	0,12 (4,4)	0,12 (4,4)	2,8	2,7	2,5	2,5	1,11	2,5	2,5	1,11	1,09
		0,09 (4,5)	0,17 (4,4)	0,19 (4,4)	0,21 (4,5)	0,03 (5,0)	0,05 (4,8)	0,06 (4,7)	0,07 (4,6)	0,06 (4,7)	0,07 (4,6)	0,07 (4,6)	3,0	3,4	3,2	3,0	1,11	3,0	3,4	1,11	1,17
		0,18 (4,2)	0,43 (4,3)	0,51 (3,9)	0,56 (4,1)	0,06 (3,0)	0,16 (2,2)	0,21 (1,2)	0,25 (1,1)	0,21 (1,2)	0,25 (1,1)	0,25 (1,1)	3,0	2,7	2,4	2,2	1,10	2,4	2,2	1,10	1,19
		0,14 (4,1)	0,28 (4,5)	0,33 (4,2)	0,38 (4,3)	0,04 (3,8)	0,08 (3,5)	0,09 (3,8)	0,11 (3,6)	0,09 (3,8)	0,11 (3,6)	0,11 (3,6)	3,5	3,5	3,7	3,5	1,15	3,5	3,7	1,15	1,22
		0,11 (4,4)	0,23 (4,4)	0,26 (4,4)	0,29 (4,4)	0,04 (4,7)	0,10 (4,6)	0,11 (4,5)	0,12 (4,5)	0,11 (4,5)	0,12 (4,5)	0,12 (4,5)	2,8	2,3	2,4	2,4	1,12	2,4	2,4	1,12	1,09
		0,17 (3,9)	0,37 (3,9)	0,41 (3,5)	0,45 (3,8)	0,10 (0,8)	0,13 (2,4)	0,14 (2,3)	0,15 (2,5)	0,14 (2,3)	0,15 (2,5)	0,15 (2,5)	1,7	2,8	2,9	3,0	1,10	2,9	3,0	1,10	1,07
		0,10 (4,1)	0,23 (4,3)	0,26 (4,2)	0,28 (4,4)	0,03 (4,7)	0,07 (4,3)	0,09 (4,3)	0,11 (4,3)	0,09 (4,3)	0,11 (4,3)	0,11 (4,3)	3,3	3,3	2,9	2,5	1,08	2,9	2,5	1,08	1,22
		0,14 (4,6)	0,29 (4,6)	0,33 (4,6)	0,36 (4,6)	0,05 (5,0)	0,11 (4,8)	0,14 (4,6)	0,16 (4,2)	0,14 (4,6)	0,16 (4,2)	0,16 (4,2)	2,8	2,6	2,4	2,3	1,09	2,4	2,4	1,09	1,14
		0,06 (4,3)	0,25 (3,8)	0,29 (3,5)	0,32 (3,5)	0,03 (3,4)	0,14 (2,3)	0,17 (2,3)	0,18 (4,3)	0,17 (2,3)	0,18 (4,3)	0,18 (4,3)	2,0	1,8	1,7	1,8	1,10	1,7	1,8	1,10	1,06

### Opmerking tabellen:

De verhouding 295d / 853d of 295d / 869d geeft een indicatie van het kruipaandeel. Na 295 dagen is de consolidatie beëindigd (zie hiervoor ook bijlage 3-7 en op t = 853 / 869 dagen is de laatste meting verricht.

### Algemene interpretatie Tabel 3-6 en Tabel 3-7:

- Behalve variant 9 overschat elke andere variant de zetting aan de kruinrand. Vooral bij t = 50 dagen is dit verschil procentueel gezien erg groot (overschatting van ongeveer 200%). Dit is in overeenstemming met Figuur 3-10, waarbij de zetting in het midden van de kruin is uitgezet als functie van de tijd.
- De zetting 1,3 meter uit de teen is verschillend bij de verschillende varianten. De zetting wordt sterk beïnvloed door plastische gedrag. De bovenste klei- en zandlagen hebben de neiging zich plastisch te gedragen. De mate van dit plastisch gedrag is bepalend voor de zetting van het maaiveld. In extreme gevallen kan zwel ontstaan (variant 6). Daarnaast heeft squeezing invloed op de verticale vervorming naast de ophoging. De zetting aan de rand van een ophoging is meestal in de orde van decimeters en daarmee klein voor zettingen. Doordat de zetting op deze locaties moeilijk te berekenen is, vanwege de bovenstaande factoren, is een nauwkeurige bepaling van deze zetting niet eenvoudig.
- De verhouding tussen de horizontale vervorming aan de teen en 5 meter uit de teen komen bij de plane strain berekeningen beter overeen met de meetresultaten dan voor de axisymmetrische berekeningen. Vergelijk hiervoor variant 1 met 2 en variant 3 met 4. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een plane strain berekening bij de beschreven geometrie de beste resultaten geeft als het gaat om de spreiding van de spanningen en daarmee ook vervormingen in het gebied van interesse.
- De verhouding tussen de zetting t.p.v. de kruinrand op t = 295 en 869 dagen is bij alle varianten in de orde grote van de gemeten verhouding. Het verticale kruipaandeel wordt daardoor door alle varianten redelijkerwijs benaderd.
- De diepten van de gemeten maximale horizontale vervormingen, volgend uit de berekeningen, komen redelijk overeen met de gemeten diepten.

### **Basis en parameter gevoeligheidsvarianten**

#### Interpretatie basisvarianten 1 en 2 (plane strain en axisymmetrische berekening met $K_0^{nc}=0,4$ ):

- De basis varianten verschillen van elkaar m.b.t. de geometrie. Variant 1 is een plane strain berekening en variant 2 is een axisymmetrische berekening. Bij de algemene interpretatie is reeds geconcludeerd dat een plane strain berekening bij de beschouwde geometrie de beste resultaten geeft m.b.t. de spreiding van spanningen en daarmee ook vervormingen, in het gebied van interesse. Daarnaast komen de individuele horizontale vervormingsresultaten van de plane strain berekening (variant 1) beduidend beter overeen met de meetresultaten dan de resultaten van de axisymmetrische berekening. Niettemin dient opgemerkt te worden dat de berekende horizontale vervormingen 5 meter uit de teen achter blijven op de gemeten waarden. De horizontale vervorming aan de teen komt daarentegen bijna exact overeen met de gemeten waarden.

- De horizontale kruip wordt door beide varianten goed benaderd.

De plane strain modellering geeft een beduidend beter beeld van de horizontale vervormingen dan de axisymmetrische modellering.

Interpretatie parameter gevoeligheidsvarianten 3 en 4 (plane strain en axisymmetrische berekening met een  $K_0^{nc}$ -waarde horende bij een  $\phi$  bepaald bij 2% verticale rek):

Er dient hierbij opgemerkt te worden dat het verschil in de sterkteparameter  $\phi$  (bepaald bij 2 of 5% verticale rek) in dit geval een te verwaarlozen invloed heeft op de vervormingen. De vervormingsverschillen tussen deze varianten en variant 1 en 2 zijn het gevolg van verschillen in  $M(K_0^{nc})$ -waarden.

- Variant 3 overschat de horizontale verplaatsing zowel aan de teen als 5 meter uit de teen. De oorzaak hiervan zit in een te hoge  $K_0^{nc}$ -waarde (gemiddeld 0,65) en daarmee een te lage M-waarde. Zoals eerder aangetoond is M bepalend voor de verhouding horizontale / verticale vervorming.
- Variant 4 overschat de horizontale vervorming aan de teen en onderschat de horizontale vervorming 5 meter uit de teen. De spanningen en daarmee vervormingen spreiding zich te snel vanwege de axisymmetrische modellering.
- De grotere horizontale vervormingen reduceren de verticale stijfheid. De zetting t.p.v. de rand van de ophoging wordt daardoor meer overschat dan bij de basisvarianten.
- De horizontale kruip wordt door beide varianten overschat.

De relatief hoge  $K_0^{nc}$ -waarden en daarmee lage M-waarden resulteert in slechte resultaten voor de zettingen en horizontale vervormingen.

Interpretatie parameter gevoeligheidsvariant 5 (als variant 1 maar dan gedraineerd, consolidatieproces is niet in beschouwing genomen):

- De zettingen en vervormingen komen overeen met de zettingen en horizontale vervormingen van variant 1. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het consolidatieproces bij variant 1 voldoende snel verloopt. De ongedraineerde stijfheid is dus niet maatgevend voor de zettingen en horizontale vervormingen.

Interpretatie parameter gevoeligheidsvariant 6 (als variant 1 maar met een 15 maal kleinere k-waarde):

- Doordat de ongedraineerde stijfheid noemenswaardige invloed krijgt op de vervormingen, zijn de horizontale vervormingen groter dan bij variant 1.
- De grotere horizontale vervormingen reduceren de verticale stijfheid t.o.v. variant 1. De zetting onder de ophoging is hierdoor groter.
- De zetting 1,3 meter uit de teen is bij  $t = 50$  en 144 dagen positief (zwell). De oorzaak hiervan is plastisch gedrag.

Interpretatie parameter gevoeligheidsvariant 7 (als variant 1 maar met een default  $K_0$ -waarde):

- Het verschil in de zettingen en vervormingen van deze variant en variant 1 is te verwaarlozen. Het in paragraaf 3.3.1.3 van het afstudeerwerk beschreven verschil tussen een initiële overgeconsolideerde spanningsconditie t.g.v. aging of ontlasten heeft vrijwel geen invloed op de zettingen en horizontale vervormingen. Daarbij dient opgemerkt te worden dat bij een hogere OCR, grotere  $K_0^{nc}$ -waarde en/of meer invloed van ongedraineerd gedrag de verschillen groter worden. Niettemin dient bij een correcte berekening de zwelcoëfficiënt  $\kappa^*$  bij een niet constante K-waarde (hetgeen het geval is bij een default aanname voor  $K_0$ ), berekend te worden volgens vergelijking 77.

$$\kappa^* = \frac{(1 - \nu_{ur})(1 + 2K)}{(1 + \nu_{ur})} a \text{ (indien K niet constant is)}$$

Vergelijking 77

Het directe rekaandeel neemt dan toe, waardoor de verschillen kleiner worden.

De keuze van het rekenen met een default  $K_0$ -waarde of een aangepaste  $K_0^{nc}$ -waarde heeft weinig invloed op zettingen en vervormingen. Bij een groot aandeel van de ongedraineerde stijfheid op de vervormingen kan de invloed significant toenemen.

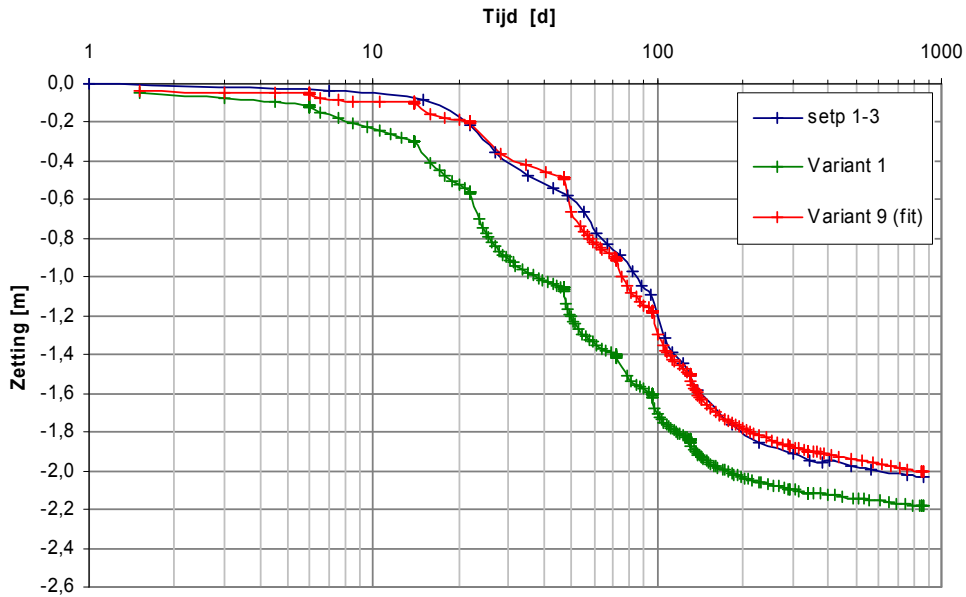
Interpretatie parameter gevoeligheidsvariant 8 (als variant 1 maar de OCR is voor alle lagen 1):

- Alle zettingen en horizontale vervormingen zijn logischerwijs groter dan bij variant 1.
- De verhouding tussen de horizontale vervorming aan de teen en 5 meter uit de teen komen nagenoeg overeen met de verhoudingen van variant 1. De OCR heeft daarmee geen invloed op de spreiding. Bij variant 9 zal blijken dat een hoge OCR wel invloed heeft op de spreiding.

**Variant 9 (fitten van het tijd-zettingsverloop en horizontale vervorming)**

Voorafgaande aan de interpretatie van variant 9 wordt het gefitte tijd-zettingsverloop weergegeven. Daarnaast wordt beschreven waarom ervoor is gekozen de OCR,  $\lambda^*$ ,  $\mu^*$  en  $K_0^{nc}$  aan te passen om tot het resultaat te komen. In Figuur 3-12 zijn de meetresultaten van zakbaak 1-3, variant 1 en variant 9 (fit) weergegeven.

Figuur 3-12: gefitte tijd-zettingsverloop profiel 'oost' (variant 9)



Om ervoor te zorgen dat het tijd-zettingsverloop beter aansluit bij de gemeten zettingen is er in eerste instantie voor gekozen de OCR te verhogen. Dit omdat de zetting in het begin overschat wordt. Een hogere OCR zorgt er vooral voor dat de zetting in het begin gereduceerd wordt.

Om bij 50 dagen de zetting van de fit overeen te laten komen met de meetresultaten dient de zetting met 0,5 meter gereduceerd te worden. Dit zal er echter voor zorgen dat de eindzetting en kruiptak onderschat worden. Om een correctie aan te brengen voor de onderschatting m.b.t. de kruiptak en de eindzetting is ervoor gekozen de samendrukkingcoëfficiënt ( $\lambda^*$ ) en de seculaire rekcoëfficiënt ( $\mu^*$ ) te verhogen. Door deze parameters te verhogen wordt het tijd-zettingsverloop gefit. De horizontale vervorming wordt dan echter onderschat. Om dit te corrigeren wordt de  $K_0^{nc}$ -waarde verhoogd. Tot slot volgt dit tot de in Tabel 3-8 opgenomen parameters. De parameters wijken sterk af van de werkelijkheid. Een andere mogelijkheid m.b.t. het fitten van het tijd-zettingverloop is echter niet gevonden.

Tabel 3-8: aangepaste parameters t.b.v. fit profiel 'oost' (variant 9)

Grondsoort	$\lambda^*$ [-]	$\mu^*$ [-]	$K_0$ en $K_0^{nc}$ [-]	M [-]	$OCR_{yy}$ [-]
Klei top laag	0,135	0,0047	0,65	1,14	3,5
Bosveen	0,280	0,0140	0,65	1,18	3,5
Klei (siltig,org)	0,206	0,0089	0,65	1,11	3,5
Basisveen	0,294	0,0122	0,65	1,19	3,5

Interpretatie Tabel 3-6 en

Tabel 3-7 parameter gevoeligheidsvariant 9 (fitten van het tijd zettingsverloop en horizontale vervorming):

- De zettingen aan de kruinrand komen bijna exact overeen met de gemeten zettingen. Daarentegen worden de zettingen 1,3 meter uit de teen sterk onderschat.
- De horizontale vervorming komt op beide locaties bijna exact overeen met de gemeten waarden. De verhoudingen tussen de horizontale vervorming aan de teen en 5 meter uit de teen komen daarmee ook overeen.

- De verhouding tussen de horizontale vervorming aan de teen en 5 meter uit de teen komt goed overeen met de verhoudingen uit de meetresultaten.
- Het kruipaandeel van de zettingen komt slecht overeen met de metingen. Daarentegen komt het kruipaandeel van de horizontale vervormingen goed overeen met het kruipaandeel volgend uit de meetresultaten.

### **Conclusie**

De resultaten van variant 1 t/m 4 laten duidelijk zien dat de horizontale vervormingen aan de oostkant van de ophoging het beste gemodelleerd kunnen worden met een plane strain berekening. Verder geven deze varianten weer dat de keuze van een realistische  $K_0^{nc}$ -waarde van 0,4 het horizontale vervormingsgedrag beter benadert dan de hoge waarden die volgen uit de vuistregel van Jaky.

Variant 5 geeft duidelijk weer dat een consolidatie berekening hier achteraf gezien niet nodig was. Ongedraineerd gedrag bij variant 1 heeft geen significante invloed op de vervormingen. Het tijd-zettingsverloop van de varianten 1 t/m 8 is niet in overeenstemming met de gemeten zettingen. Hoge 'onrealistische' OCR en  $K_0^{nc}$ -waarde zijn nodig om het tijd-zettingsverloop in combinatie met de horizontale vervorming te fitten. Aanbevelingen m.b.t. een betere parameterkeuze worden daarom achterwege gelaten.

### 3.5.2. Profiel 'noord'

Voor de simulatie van profiel 'noord' is ervoor gekozen 4 varianten door te rekenen. Het betreffen twee axisymmetrische en twee plane strain berekeningen. In *Tabel 3-9* zijn deze varianten opgenomen en beschreven.

*Tabel 3-9: varianten profiel 'noord'*

	Variant	Beschrijving
Basis	1	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	2	Axisymmetrische consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,4$ , de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
	2	Axisymmetrische consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,6$ , de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.
Fit	4	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc}=0,55$ , OCR=2,9, $\lambda^* = 1,4$ maal $\lambda^*$ (uit proeven), $\mu^* = 1,2$ $\mu^*$ (uit proeven), de rest van de modelparameters zijn aangehouden zoals opgenomen in de parameter tabellen.

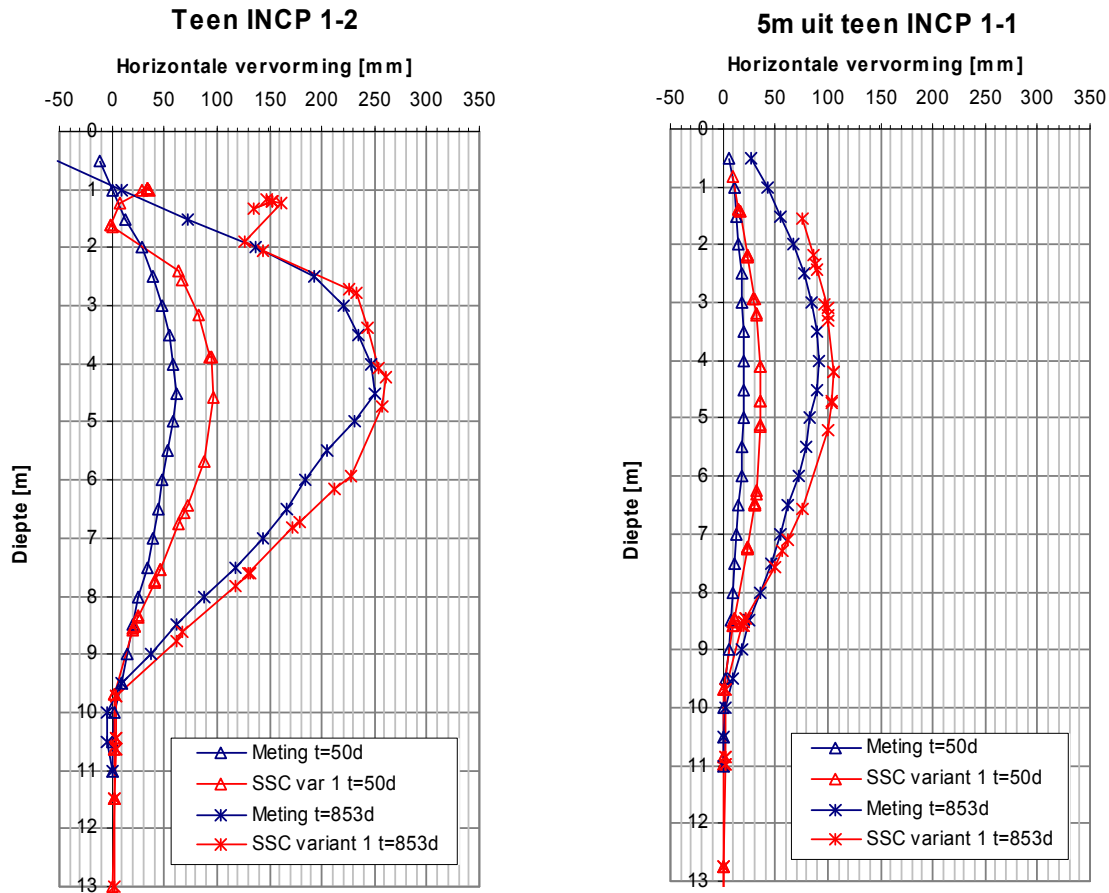
In *Tabel 3-6* en

*Tabel 3-7* zijn de resultaten van berekeningen en metingen voor respectievelijk de zettingen en horizontale vervormingen van de verschillende varianten opgenomen. De zettingen zijn bepaald aan de rand van de bovenkant van de ophoging (kruinrand) en 1,3 meter uit de teen. De horizontale vervormingen zijn bepaald aan de teen en 5 meter uit de teen.



Om een indicatie te krijgen van de horizontale vervorming als functie van de diepte is dit in Figuur 3-13, voor de meetresultaten en variant 1, uitgezet voor 50 en 853 dagen.

Figuur 3-13: *horizontale vervorming als functie van de diepte profiel 'noord', variant 1 en meetresultaten*



Interpretatie Figuur 3-13:

- Overeenkomend met de horizontale vervorming aan de oostkant van de ophoging overschat de SSC variant 1 'noord' de horizontale vervorming aan het maaiveld t.p.v. de teen. De oorzaak hiervan is plastisch gedrag en is moeilijk te vermijden. Op de overige horizontale vervormingen heeft dit een te verwaarlozen invloed.
- Ook weer overeenkomend met de horizontale vervorming aan de oostkant geeft de SSC berekening een overeenkomend verloop van de horizontale vervorming in de diepte als de gemeten vervorming. De dikte van het totale slappe lagenpakket en de onderlinge eigenschappen tussen de verschillende lagen lijken daarmee correct gekozen.

Variant	Zetting [m]									
	kruinrand (SETP 1-2)					1,3m uit teen (SETP 1-1)				
	50d	137d (eind aanbr. oph.)	295d (eind cons)	869d	50d	137d (eind aanbr. oph.)	295d (eind cons)	869d	kruin rand	1,3m uit teen
<b>1</b>	<b>-0,49</b>	<b>-1,36</b>	<b>-1,67</b>	<b>-1,79</b>	<b>-0,05</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,20</b>	<b>-0,25</b>	<b>1,07</b>	<b>1,25</b>
<b>consolidatie; <math>\phi_{(5\%)}; K_0^{nc}=0,4</math>; plane strain</b>	-0,96	-1,73	-1,91	-2,00	-0,11	-0,21	-0,26	-0,31	1,05	1,19
<b>2</b>	<b>-0,98</b>	<b>-1,67</b>	<b>-1,84</b>	<b>-1,96</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,19</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,27</b>	<b>1,07</b>	<b>1,23</b>
<b>consolidatie; <math>\phi_{(5\%)}; K_0^{nc}=0,4</math>; axisymmetrisch</b>	-1,03	-1,79	-2,00	-2,14	-0,11	-0,19	-0,23	-0,26	1,07	1,13
<b>3</b>	<b>-1,03</b>	<b>-1,79</b>	<b>-2,00</b>	<b>-2,14</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,19</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,26</b>	<b>1,07</b>	<b>1,13</b>
<b>consolidatie; <math>\phi_{(5\%)}; K_0^{nc}=0,6</math>; axisymmetrisch</b>	-0,54	-1,51	-1,75	-1,86	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	1,06	1,00
<b>4</b>	<b>-0,54</b>	<b>-1,51</b>	<b>-1,75</b>	<b>-1,86</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,04</b>	<b>-0,04</b>	<b>1,06</b>	<b>1,00</b>
<b>fit</b>	<b>fit tijd-zettings verloop; <math>K_0^{nc}=0,55</math>; OCR=2,9; <math>\lambda^*</math> en <math>\mu^*</math> resp 1,4x en 1,2x groter</b>									

Tabel 3-10: zettingsresultaten profiel 'noord', metingen en berekeningen

Variant	Maximale horizontale verplaatsing [m] met bijbehorende diepte [m-NAP]											
	Teen (INCL1-2)						5m uit teen (INCL1-1)					
	50d	144d (eind aanbrengen oph.)	295d (eind cons)	853d	50d	144d (eind aanbrengen oph.)	295d (eind cons)	853d	50d	144d	295d	853d
<b>1</b>	<b>0,06 (4,4)</b>	<b>0,20 (4,6)</b>	<b>0,23 (4,8)</b>	<b>0,25 (4,7)</b>	<b>0,02 (4,1)</b>	<b>0,07 (4,1)</b>	<b>0,08 (4,1)</b>	<b>0,09 (4,2)</b>	<b>3,0</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>
<b>consolidatie; <math>\phi_{(5\%)}; K_0^{nc}=0,4</math>; plane strain</b>	0,10 (4,5)	0,21 (4,4)	0,24 (4,0)	0,26 (4,1)	0,04 (4,5)	0,09 (4,4)	0,09 (4,3)	0,11 (4,0)	2,9	2,3	2,7	2,4
<b>2</b>	<b>0,08 (4,5)</b>	<b>0,15 (4,3)</b>	<b>0,17 (4,4)</b>	<b>0,18 (4,3)</b>	<b>0,03 (4,9)</b>	<b>0,05 (4,6)</b>	<b>0,05 (4,7)</b>	<b>0,06 (4,6)</b>	<b>2,7</b>	<b>3,0</b>	<b>3,4</b>	<b>3,0</b>
<b>consolidatie; <math>\phi_{(5\%)}; K_0^{nc}=0,4</math>; axisymmetrisch</b>	0,10 (4,7)	0,20 (4,2)	0,24 (4,4)	0,27 (4,2)	0,03 (4,5)	0,06 (4,2)	0,08 (4,0)	0,09 (4,1)	3,3	3,3	3,0	3,0
<b>3</b>	<b>0,10 (4,7)</b>	<b>0,20 (4,2)</b>	<b>0,24 (4,4)</b>	<b>0,27 (4,2)</b>	<b>0,03 (4,5)</b>	<b>0,06 (4,2)</b>	<b>0,08 (4,0)</b>	<b>0,09 (4,1)</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>
<b>consolidatie; <math>\phi_{(5\%)}; K_0^{nc}=0,6</math>; axisymmetrisch</b>	0,06 (4,5)	0,18 (3,8)	0,21 (3,8)	0,22 (2,7)	0,03 (2,7)	0,09 (3,6)	0,11 (3,1)	0,11 (3,0)	2,0	2,0	1,9	2,0
<b>4</b>	<b>0,06 (4,5)</b>	<b>0,18 (3,8)</b>	<b>0,21 (3,8)</b>	<b>0,22 (2,7)</b>	<b>0,03 (2,7)</b>	<b>0,09 (3,6)</b>	<b>0,11 (3,1)</b>	<b>0,11 (3,0)</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>
<b>fit</b>	<b>fit tijd-zettings verloop; <math>K_0^{nc}=0,55</math>; OCR=2,9; <math>\lambda^*</math> en <math>\mu^*</math> resp 1,4x en 1,2x groter</b>											

Tabel 3-11: resultaten horizontale vervormingen profiel 'noord', metingen en berekeningen

Opmerking tabellen:

De verhouding 295d / 853d of 295d / 869d geeft een indicatie van het kruipaandeel. Na 295 dagen is de consolidatie beëindigd (zie hiervoor ook bijlage 3-7 en op t = 853 / 869 dagen is de laatste meting verricht.

## **Basis varianten**

### Interpretatie basisvarianten 1 en 2 (plane strain en axisymmetrische berekening met $K_0^{nc}=0,4$ ):

- De horizontale vervormingen komen bij de plane strain modellering beter overeen met de meetresultaten dan bij de axisymmetrische modellering. De axisymmetrische geometrie onderschat de vervormingen.
- De verhouding tussen de horizontale vervorming aan de teen en 5 meter uit de teen komen zowel bij de plane strain als de axisymmetrische berekeningen redelijk overeen met de meetresultaten. Hieruit kan geconcludeerd worden de spreiding van de spanningen en daarmee ook de vervormingen door beide berekeningen redelijkerwijs benaderd worden. De plane strain modellering onderschat de spreiding en de axisymmetrische modellering overschat de spreiding.
- De verticale kruiptak wordt door beide varianten goed ingeschat
- De horizontale kruiptak wordt door beide varianten redelijk ingeschat.

Op basis van de verhouding horizontale vervorming aan de teen en 5 meter uit de teen kan niet geconcludeerd worden of een axisymmetrische of plane strain berekeningen de werkelijkheid beter benaderd. De individuele horizontale vervorming worden door de plane strain berekening correct ingeschat terwijl axisymmetrische modellering deze onderschat. Door de  $K_0^{nc}$  bij de axisymmetrische modellering te verhogen zullen de vervormingen toenemen. Er is bij variant 3 onderzocht bij welke  $K_0^{nc}$ -waarde de horizontale vervormingen overeenkomen met de gemeten vervormingen. De  $K_0^{nc}$ -waarde van 0,6 geeft overeenkomstige horizontale vervormingen. Deze waarde is aan de lage kant t.o.v. realistische  $K_0^{nc}$ -waarden.

### Interpretatie basisvariant 3 (Als variant 2 maar dan met een $K_0^{nc}$ -waarde van 0,6):

- De horizontale vervormingen sluiten goed aan bij de metingresultaten.
- De verhoudingen tussen de horizontale vervorming aan de teen en 5 meter uit de teen komt goed overeen met de gemeten verhouding.
- De verticale vervorming aan de kruinrand wordt door deze variant het meeste overschat.

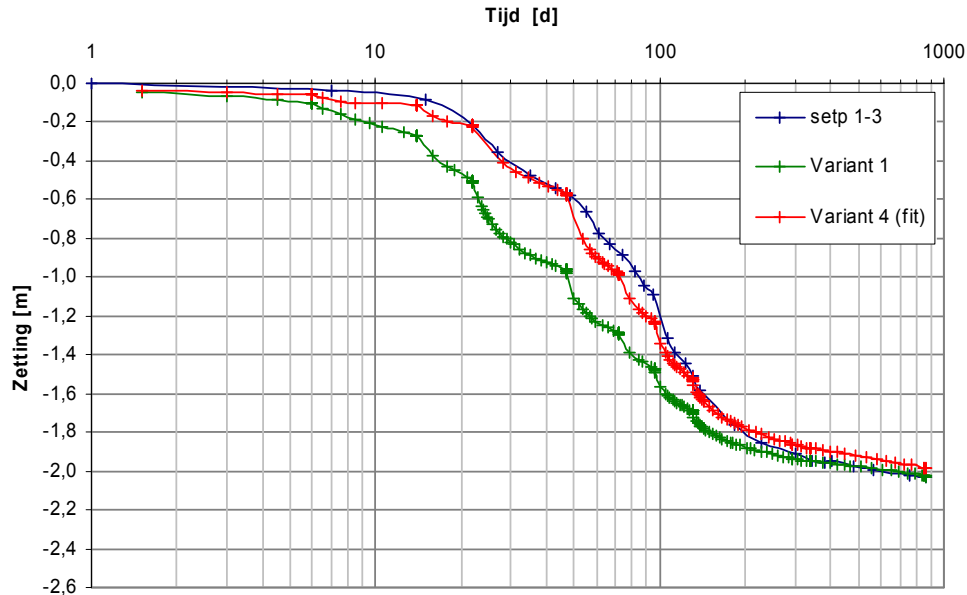
De keuze van een axisymmetrische modellering bij een niet volledig axisymmetrische geometrie, met realistische  $K_0^{nc}$ -waarde, leidt tot een onderschatting van de vervormingen. De keuze van  $K_0^{nc}$  in combinatie met axisymmetrische of plane strain berekening dient goed overwogen te worden.

Lage  $K_0^{nc}$ -waarde, in combinatie met een axisymmetrische modellering van een niet volledig axisymmetrische geometrie, onderschatten de horizontale vervormingen.

### Variant 4 (fitten van het tijd-zettingsverloop en horizontale vervorming)

Voorafgaande aan de interpretatie van variant 4 wordt het gefitte tijd-zettingsverloop weergegeven (Figuur 3-14). Bij deze fit zijn dezelfde parameters aangepast als bij de fit van profiel 'oost' (variant 9). Bij een berekening met dezelfde parameters werden de zettingen en horizontale vervormingen onderschat.

Figuur 3-14: gefitte tijd-zettingsverloop profiel 'noord' (variant 4)



Dit resultaat is tot stand gekomen door de parameters te hanteren zoals opgenomen in Tabel 3-12.

Tabel 3-12: aangepaste modelparameters t.b.v. fit profiel 'noord' (variant 4)

Grondsoort	$\lambda^*$ [-]	$\mu^*$ [-]	$K_0$ en $K_0^{nc}$ [-]	$M$ [-]	$OCR_{yy}$ [-]
Klei toplaag	0,140	0,0047	0,55	1,41	2,9
Bosveen	0,291	0,0140	0,55	1,45	2,9
Klei (siltig,org)	0,213	0,0089	0,55	1,38	2,9
Basisveen	0,305	0,0122	0,55	1,46	2,9

De zetting wordt bij variant 1 (noord) iets minder overschat dan bij variant 1 (oost). Dit komt doordat bij profiel 'noord' de 'stijve' toplagen, dikker zijn, dan bij profiel 'oost'. De toename van de OCR hoeft daardoor minder groot te zijn dan bij het fitten van profiel 'oost'. Door de lagere OCR neemt de horizontale stijfheid minder toe,  $K_0^{nc}$  hoeft daarom minder aangepast te worden.

### Interpretatie variant 4:

- De zettingen t.p.v. de kruinrand komen goed overeen met de metingen. De zettingen 1,3 meter uit de teen worden daarentegen sterk onderschat.
- De horizontale vervormingen sluiten redelijk goed aan bij de metingen. De horizontale vervorming bij 50 dagen wordt beduidend beter ingeschat dan bij de andere varianten.

- De verhoudingen tussen de horizontale vervormingen aan de teen en 5 meter uit de teen zijn kleiner dan de verhoudingen volgend uit de metingresultaten. De plane strain modellering onderschat in dit geval de spreiding.

### Conclusie

De resultaten van variant 1 en 2 laten duidelijk zien dat de horizontale vervormingen aan de noordkant van de ophoging het beste gemodelleerd kunnen worden met een plane strain berekening. Daarnaast dient opgemerkt te worden dat zowel de axisymmetrische als plane strain modellering de spreiding redelijk inschatten.

Het tijd-zettingsverloop van de varianten 1 t/m 3 is niet in overeenstemming met de gemeten zettingen. Overeenkomend met profiel 'oost' is een 'onrealistisch' hoge OCR nodig om het tijd-zettingsverloop te fitten. Daarnaast wijkt de aangepaste  $K_0^{nc}$ -waarde af van de realistische waarden. Aanbevelingen m.b.t. een betere parameterkeuze worden daarom achterwege gelaten.

### 3.6. Invloed parameters

In deze paragraaf is in tabelvorm weergegevens welke parameters significante invloed hebben op de verschillende vervormingen.

In Tabel 3-13 is de invloed van parameters op de vervormingen weergegeven waarbij ongedraineerd gedrag te verwaarlozen is. Variant 1 van profiel 'oost' is hierbij gehandhaafd als basis berekening, t.o.v. deze variant zijn de parameters aangepast. Er zijn daarnaast berekeningen gemaakt waarbij parameters zijn aangepast t.o.v. variant 6 van profiel 'oost'.

Bij deze variant heeft ongedraineerd gedrag significante invloed op de vervormingen. In Tabel 3-14 is de invloed van parameters op vervormingen weergegevens, waarbij ongedraineerd gedrag significante invloed heeft op de vervormingen.

A.d.h.v. de tabellen met opmerkingen is het voor de ingenieurspraktijk eenvoudig te achterhalen welke parameter significante invloed heeft op welke resultaten. De resultaten zijn opgesplitst in horizontale vervorming (vooral aan de teen van de ophoging), zetting (onder ophoging), verhouding horizontale / verticale vervorming, verticale kruip en horizontale kruip. Voor het achterhalen van de invloed op de kruip is gekeken tot 10000 dagen na het aanbrengen van de ophoging.

Tabel 3-13: invloed parameters op verschillende resultaten, waarbij ongedraineerd gedrag geen invloed heeft op de vervormingen

Invoer parameter	Horizontale vervorming	Zetting (onder ophoging)	Verhouding hor/vert vervorming	Verticale kruip	Horizontale kruip
afname $k$	toename	toename	toename	-	-
afname $\varphi$	toename	-	toename	-	-
toename $\varphi$	-	-	-	-	-
toename $\kappa$ *	toename	-	toename	-	-
toename $\lambda$ *	toename	toename	afname	-	-
toename $\mu$ *	toename	toename	toename	toename	toename
toename $K_0^{nc}$ (afname $M$ )	toename	toename	toename	toename	toename
toename OCR of POP	afname	afname	afname	afname	afname
toename $k_0$	-	-	-	-	-

Opmerkingen Tabel 3-13:

Veranderingen in  $\kappa^*$  en  $\lambda^*$  hebben invloed op M. Indien de verhoudingen tussen de samendrukkingsparameters realistisch zijn is de invloed van  $\kappa^*$  en  $\lambda^*$  op M te verwaarlozen. Bij het realiseren van deze tabel zijn de verhoudingen te allen tijde realistisch (ook na verandering van verschillende parameters). Zodoende wordt alleen de invloed van de betreffende parameter in rekening genomen en niet de invloed van M.

- Afname k: Zoals eerder opgemerkt heeft ongedraineerd gedrag geen invloed op de resultaten van variant 1, profiel 'oost'. Indien k afneemt krijgt ongedraineerd gedrag invloed op de vervormingen, zoals weergegeven in de tabel.
- Toename  $\varphi$ : Een toename van  $\varphi$  heeft geen gevolgen voor de vervormingen. Plastische punten zijn niet dominerend voor de vervormingen van variant 1.
- Toename  $\kappa^*$ : Een toename van  $\kappa^*$  heeft vrijwel geen invloed op zetting onder de ophoging, omdat de grensspanning onder de ophoging in sterke mate overschreden wordt. Onder de ophoging is het aandeel spanningsafhankelijke seculaire rek op de totale rek vele malen groter dan het aandeel directe rek. Indien de grensspanning in mindere mate overschreden wordt (doordat de OCR hoger is of de spanningstoename kleiner) resulteert dit bij een toename van  $\kappa^*$  in significant meer zetting.  
Voor de horizontale vervormingen aan weerszijde van de teen geldt daarentegen dat deze voornamelijk optreden in een overgeconsolideerde toestand. Een toename van de directe rek parameter ( $\kappa^*$ ) resulteert daarmee in een toename van de vervorming.
- Toename  $\lambda^*$ : Een toename van  $\lambda^*$  resulteert in een grotere procentuele toename in zetting dan in horizontale vervorming. De verhouding horizontale / verticale vervorming neemt af. De oorzaak hiervan is de mate van het overschrijden van de grensspanning. onder de ophoging wordt de grensspanning in sterke mate overschreden. Aan weerszijde van de ophoging is deze overschrijding gering. Het aandeel spanningsafhankelijke seculaire rek ( $\lambda^*$ ) is groter voor de zetting dan voor de horizontale vervorming. Een toename van  $\lambda^*$  resulteert daardoor in een afname van de horizontale / verticale vervormingsverhouding.
- Toename OCR: Kleine toe- of afnamen van de OCR of POP hebben geen gevolg voor de verticale en horizontale kruip. De spanningsverhoging wist de geschiedenis volledig uit waardoor de OCR na belastingen geen invloed meer heeft op de vervormingen. Indien de OCR in een dergelijke mate verhoogd wordt dat de initiële OCR ook na belastingen nog invloed heeft dan resulteert dit in een afname van de kruip, hetgeen in de tabel is weergegeven.
- $K_0$ : Bij de mate van overconsolidatie in deze berekening wijkt een default  $K_0$ -waarde beperkt af van  $K_0^{nc}$ . Er treden daardoor geen significante veranderingen op in vervormingen tussen een berekening met een default  $K_0$ -waarde en een  $K_0$ -waarde die gelijk zijn aan  $K_0^{nc}$ . Bij hoge mate van overconsolidatie kan  $K_0$  significante invloed krijgen op vooral de horizontale vervormingen.

Tabel 3-14: invloed parameters op verschillende resultaten, waarbij ongedraineerd gedrag significante invloed heeft op de vervormingen

Invoer parameter	Horizontale vervorming	Zetting (onder ophoging)	Verhouding hor/vert vervorming	Verticale kruip	Horizontale kruip
toename $k$	afname	afname	afname	-	-
toename $\varphi$	afname	-	afname	-	-
toename $\kappa^*$	toename	-	toename	-	-
toename $\lambda^*$	toename	toename	afname	-	-
toename $\mu^*$	toename	toename	toename	toename	toename
toename $K_0^{nc}$ (afname M)	toename	toename	toename	toename	toename
toename OCR of POP	afname	afname	afname	afname	afname
toename $K_0$	afname	-	afname	-	toename
toename $v_{ur}$	toename	-	toename	-	-

### Opmerkingen Tabel 3-14:

De tabel komt in grote lijnen overeen met Tabel 3-13. Verschillen tussen de tabellen bevinden zich bij de invloed van  $\varphi$ ,  $K_0$  en  $v_{ur}$ . Wanneer ongedraineerd gedrag significante invloed heeft op de vervormingen neemt de invloed van  $\varphi$ ,  $K_0$  en  $v_{ur}$  toe. Hierbij dient opgemerkt te worden dat  $v_{ur}$  alleen invloed heeft indien  $K_0$  niet gelijk is aan  $K_0^{nc}$ . De invloed van  $v_{ur}$  zoals weergegeven in de tabel is dan ook geldig indien  $K_0$  niet gelijk is aan  $K_0^{nc}$ .

### 3.7. Conclusie

Uit beide modelleringen (profiel 'oost' en 'noord') volgt dat de realistische  $K_0^{nc}$ -waarden in combinatie met een plane strain berekening de gemeten horizontale vervormingen het beste benaderen. Bij modelleringen dient goed overwogen te worden of er axisymmetrisch of plane strain gerekend wordt, vooral bij geometrisch niet volledige axisymmetrische of plain strain situaties. Uit deze case volgt dat de vervormingen tot 5m uit de teen van de ophoging, bij realistische  $K_0^{nc}$ -waarden, het beste benaderd wordt door plane strain berekeningen (de rechte zijden van het hoge gedeelte van de terp zijn 18 en 10 meter). Verder van de teen wordt verwacht dat de axisymmetrische modellering de werkelijkheid beter benadert. Naarmate de afstand tot de teen toeneemt, neemt de horizontale vervorming af en zullen de absolute verschillen tussen een plane strain en axisymmetrische berekening afnemen. Niettemin neemt het procentuele verschil tussen een plane strain en axisymmetrische modellering neemt toe naarmate de afstand tot de teen toeneemt. De afstand van het punt van interesse tot de teen, in combinatie met de lengte van de rechte zijde van een terp, is bepalend voor de keuze tussen plane strain of axisymmetrisch.

Het verschil in bodemopbouw tussen profiel 'oost' en 'noord' resulteert bij profiel noord in stijver gedrag vanwege de dikkere 'stijve' toplagen (klei toplaag en zand). De keuze m.b.t. de verschillen in toplagen tussen de twee profielen lijkt hier correct gekozen. Profiel 'noord' geeft zoals ook volgt uit de metingen kleinere zettingen en horizontale vervormingen.

Het tijd-zettingsverloop wordt niet goed benaderd door het SSC model. In dit geval wordt de zetting aan het einde van de gefaseerde ophoging redelijk goed ingeschat. De zetting aan het begin wordt echter aanzienlijk overschat. Niettemin lijkt de verhouding horizontale over verticale vervorming redelijk overeen te komen met de gemeten verhoudingen.

Om het tijd-zettingsverloop en vervolgens de horizontale vervorming bij beide profielen te fitten aan de gemeten zettingen dienen de OCR,  $K_0^{nc}$ ,  $\lambda^*$  en  $\mu^*$  verhoogd te worden. Dit resulteert in parameters die de werkelijkheid slecht benaderen. Aanbevelingen m.b.t. een betere parameterkeuze worden daarom achterwege gelaten.

Er wordt aanbevolen om naast een SSC berekening een berekening te maken met een vertrouwd zettingsmodel. De berekening met een vertrouwd zettingsmodel geeft een beter (vertrouwer) inzicht in het tijd-zettingsverloop. Zodoende volgt of de SSC berekening de zetting op het tijdstip van interesse correct inschat. Indien dit niet het geval is dient overwogen te worden in hoeverre de horizontale vervormingen volgend uit de SSC berekening overeen zullen komen met de werkelijkheid.



## 4. AANVULLENDE ANALYSES EN EVALUATIE

### 4.1. Inleiding

Beide gepresenteerde afstudeerwerken hebben een redelijke tot goede overeenstemming laten zien tussen berekeningen en metingen. Duidelijk is geworden dat een gedraineerde berekening de mogelijkheid van een tijdelijke beperkte stabiliteit door wateroverspanningen niet onderkent en dat deze de horizontale grondvervorming sterk kan beïnvloeden. Het verdient dus zondermeer de voorkeur om een ongedraineerde berekening inclusief consolidatie uit te voeren. Bij voorkeur wordt een materiaalmodel gekozen waarin kruip wordt gemodelleerd.

R. Servais heeft na gereedkomen van het afstudeerwerk gevonden dat er onjuistheden zijn geslopen in de keuze/afleiding van de doorlatendheid van de bodem. Tevens is de commissie van mening dat parameters niet gefit moeten worden op basis van de waarnemingen achteraf maar dat parameters de "best guess" moeten geven op basis van het uitgevoerde grondonderzoek. Om deze redenen zijn aanvullende berekeningen gemaakt.

### 4.2. Grondmodel en -parameters

Voor de berekeningen is de keuze gemaakt om met tijdsafhankelijke effecten zoals consolidatie en kruip te rekenen. Voor de simulatie worden de klei- en veenlagen gemodelleerd met het SSC-model en de zandlagen met het HS-model. Voor het ophoogzand is het MC-model gebruikt. De berekeningen zijn ongedraineerd met consolidatie uitgevoerd. In onderstaande tabellen zijn de invoerparameters gegeven.

Tabel 4-1: invoerparameters SSC model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kPa]	$\gamma_d$ [kPa]	$c'_{(5\%)}$ [kPa]	$\phi'_{(5\%)}$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu_{ur}$ [-]	$\kappa^*=a$ [-]	$\lambda^*=b$ [-]	$\mu^*=c$ [-]	$K_0$ en $K_0^{nc}$ (CRS) [-]	$K_0$ en $K_0^{nc}$ (5%) [-]	$M_{(5\%)}$ [-]	$k_{yy}$ (zonder drainage) [m/d]	$k_{yy}$ (met drainage) [m/d]	$k_{xx}$ [m/d]	$OCR_{yy}$ [-]
Klei top laag	17,58	13,52	4,0	22,5	0	0,15	0,025	0,100	0,0039	0,45	0,617	1,23	3,22E-05	1,61E-03	3,22E-05	1,30
Bosveen	10,9	3,26	9,5	27,5	0	0,15	0,036	0,208	0,0117	0,40	0,538	1,49	1,93E-04	9,65E-03	3,86E-04	1,40
Klei (silt,org)	13,91	7,29	4,0	33	0	0,15	0,047	0,152	0,0074	0,45	0,455	1,68	3,22E-05	1,61E-03	3,22E-05	1,47
Basisveen	11,79	4,58	7,6	29,5	0	0,15	0,034	0,218	0,0102	0,40	0,508	1,59	1,30E-04	-	2,60E-04	1,96

Tabel 4-2: invoerparameters HS model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu_{ur}$ [-]	$E_{50}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{oed}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{ur}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$m$ [-]	$p_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_0$ [-]	$K_0^{nc}$ [-]
Zand	20	18	1	32,5	2,5	0,15	30000	30000	90000	0,5	100	0,46	0,46
Pleistoceen zand	21	19	1	34	4	0,15	35000	35000	105000	0,5	100	0,44	0,44

Tabel 4-3: invoerparameters MC model, No-Recess case

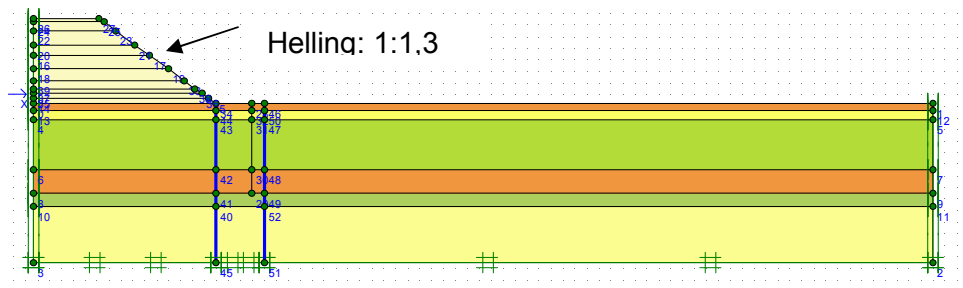
Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu$ [-]	$E_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{incr}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_{ref}$ [m]
Zand (oph)	20	18	1	35	5	0,30	5000	1000	7

De grondparameters zijn uit de proeven op basis van 5% rek bepaald hetgeen gebruikelijk is voor stabiliteitsanalyses.

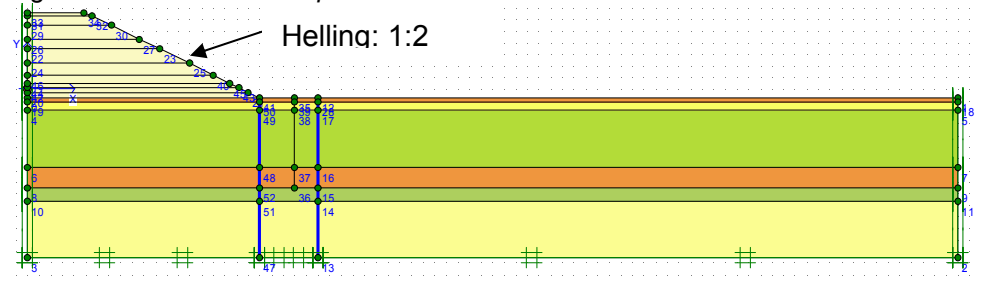
De grondprofielen zijn gelijk aan Figuur 3-8 van [R.Servais] aangehouden. De twee grondprofielen zijn zowel axiaal symmetrisch als plane strain gemodelleerd met de bijbehorende hellingen. Bij profiel "Noord" hoort een initiële taludhelling van 1:1,3 en bij profiel "Oost" 1:2 (Figuur 4-1 en Figuur 4-2); de eindhellingen bedragen respectievelijk 1:2 en 1:3. In de Plaxisberekening wordt gebruik gemaakt van de updated-mesh- en updated waterpressures-procedures waarmee tevens de verandering van de taludhelling ten gevolge van de zetting wordt bepaald. De grondwaterstand is bij de berekeningen 0,4 m hoger aangenomen dan op Figuur 3-8 [R.Servais]. Volgens de Waterstaatskaart ligt het polderpeil

op NAP -1,94 m, de evaluatie No-Recess HW1 (jan.2001) geeft een eindstijghoogte van NAP -1,3 m en volgens de figuren in het No-Recess rapport ligt de grondwaterstand op NAP -2,5 m. Op basis hiervan wordt een grondwaterstand gelijk aan NAP -1,7 m aangenomen. Voor de grondlagen onder de ophoging zijn de verticale drains in rekening gebracht door middel van een equivalente (verhoogde)  $c_v$ -waarde.

Figuur 4-1: Schematisatie profiel Noord



Figuur 4-2: Schematisatie profiel Oost



De gemiddelde doorlatendheid  $k_{yy}$  en de  $c_v$ -waarde zijn bepaald aan de hand van de Taylor en Cassagrande methode zoals aangegeven op bijlage 3-4 [R.Servais]. Deze werd vervolgens ten onrechte met een factor 15 vermenigvuldigd op basis van een gefitte Plaxisberekening aan een MSettle-berekening. Later bleek dat dit onjuist is. De correcte waarde van de doorlatendheid  $k_{yy}$  is in Tabel 4-1 gepresenteerd. De equivalente verticale consolidatiecoëfficiënt is berekend met onderstaande vergelijking (CUR 162 par. 5.8.1).

$$c_{v;eq} = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n h_i \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\sqrt{c_{v;i}}} \right]^2}$$

Met deze  $c_{v;eq}$  wordt dezelfde hydrodynamische periode berekend als met de  $c_v$ -waarden horende bij iedere afzonderlijke laag. De  $c_{v;eq}$  is in dit geval  $8,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{d}$ . Vervolgens is met deze  $c_{v;eq}$  een  $c_{v;eq;dr}$  berekend die de verticale drainage in rekening brengt. Tussen  $c_{v;eq;dr}$  en  $c_{v;eq}$  zit een factor 50. Voor de bosveen- en basisveenlagen is aangenomen dat de horizontale permeabiliteit ( $k_{xx}$ ) 2 maal zo groot is als de verticale permeabiliteit ( $k_{yy}$ ).

### 4.3. Berekeningsstrategie

Uit het afstudeerwerk van R. Servais zijn de volgende conclusies van belang:

- bezwijken en ongedraineerd gedrag hebben grote invloed op de horizontale vervorming
- voor de keuze van de normaal geconsolideerde neutrale gronddrukcoëfficiënt geldt:

1. SSC-model default-waarde  $M = \frac{6 \sin \varphi}{3 - \sin \varphi}$  en  $M \approx 3,0 - 2,8 K_0^{NC}$  en  $K_0^{NC} = \frac{3,0 - M}{2,8}$
2. Jaky:  $K_0^{NC} = 1 - \sin \varphi$
3.  $K_0$ -CRS proeven:   veen:  $K_0^{NC} = 0,3 \text{ à } 0,4$   
                                   klei:  $K_0^{NC} = 0,4 \text{ à } 0,5$

Tabel 4-4

$\varphi$	SSC default M	SSC default $K_0^{NC}$	Jaky $K_0^{NC}$
15.0	0.57	0.87	0.74
17.5	0.67	0.83	0.70
20.0	0.77	0.80	0.66
22.5	0.88	0.76	0.62
25.0	0.98	0.72	0.58
27.5	1.09	0.68	0.54
30.0	1.20	0.64	0.50
32.5	1.31	0.60	0.46
35.0	1.42	0.56	0.43

- hoe groter  $K_0^{NC}$  hoe groter de horizontale vervorming
- De keuze van de cohesie heeft invloed op de vorm van de vloeicontour en bepaalt hierdoor mede de verhouding tussen horizontale en verticale vervorming (Appendix 1, R. Servais)

Voor het bepalen van horizontale grondvervormingen bij door grond horizontaal belaste palen wordt de volgende strategie voorgesteld:

**A** Bepaal de stabiliteitsfactor door middel van een (PLAXIS-)berekening met:

- $c = 1$  kPa ( of een op een andere wijze bepaalde ondergrenswaarde van de cohesie)
- $\varphi$  bij 5 % rek
- $K_0^{NC} = 1 - \sin \varphi$

De op deze wijze berekende horizontale vervorming is vermoedelijk een bovengrens.

**B** Indien de stabiliteit voldoende is verzekerd wordt de beste schatting van de horizontale vervorming bepaald met een tweede berekening met:

- veen:  $K_0^{NC} = 0,3 \text{ à } 0,4$  en klei:  $K_0^{NC} = 0,4 \text{ à } 0,5$
- $c$  en  $\varphi$  bij 2 à 5 % rek

Het is mogelijk dat bij het genereren van de initiële spanningen plasticiteit optreedt omdat bij een relatief lage  $K_0^{NC}$  het Mohr-Coulomb-criterium wordt overschreden. Kies dan waarden van  $c$  en  $\varphi$  bij een grotere rek (tot 5 %). Controleer of dit rekniveau daadwerkelijk wordt bereikt in de slappe lagen.

Treedt nog steeds plasticiteit op tijdens genereren van de initiële spanningen, kies dan een hogere  $K_0^{NC}$  in de wetenschap dat horizontale vervormingen worden overschat. Bij een

keuze van  $K_0^{NC} = 1 - \sin \varphi$  vallen de initiële spanningspunten in normaal en overgeconsolideerde toestand altijd binnen het Mohr-Coulomb-criterium. Bij keuze van  $K_0^{NC} \leq \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$  (bij  $c = 0$ ) vallen de initiële spanningspunten op of buiten het MC-criterium.

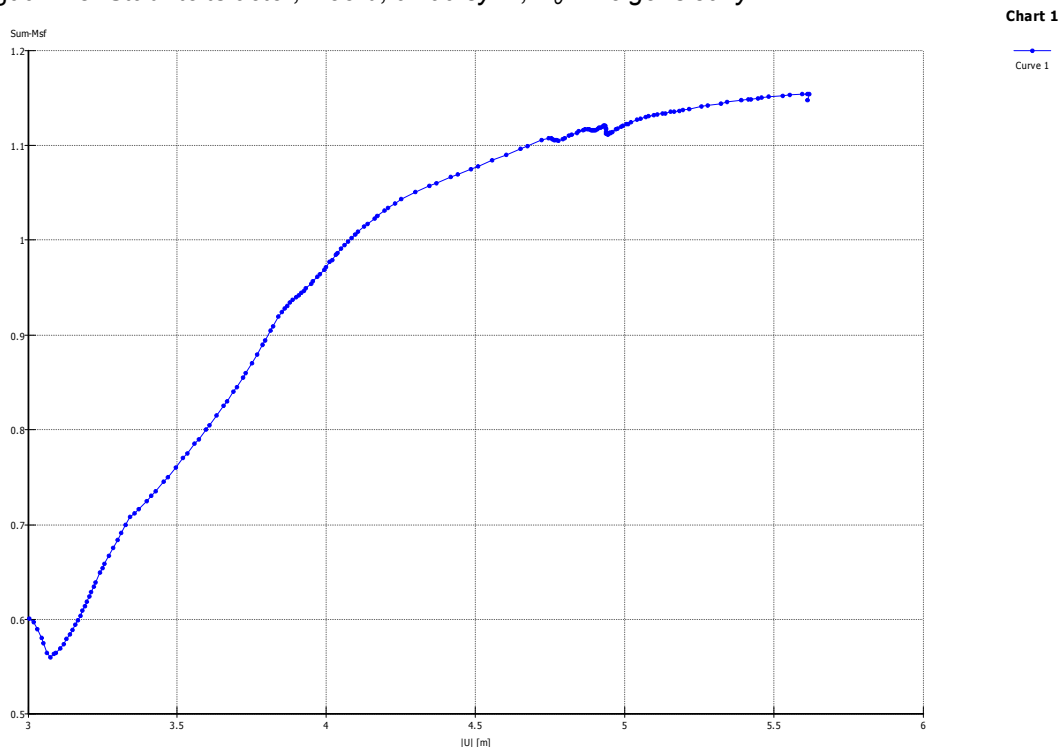
**C** Indien de stabiliteit onvoldoende verzekerd is kan geen betere schatting van de horizontale grondvervorming worden gekregen.

#### 4.4. Berekeningen en evaluatie

##### 4.4.1. Berekeningen

De stabiliteitsfactor is met een  $\varphi$ -c reductie berekening uitgevoerd en bedraagt 1,15 zie Figuur 4-3. De berekening was niet mogelijk in combinatie met updated-mesh en updated-water-pressures.

Figuur 4-3: Stabiliteitsfactor; Noord, axiaalsym.,  $K_0^{NC}$  volgens Jaky

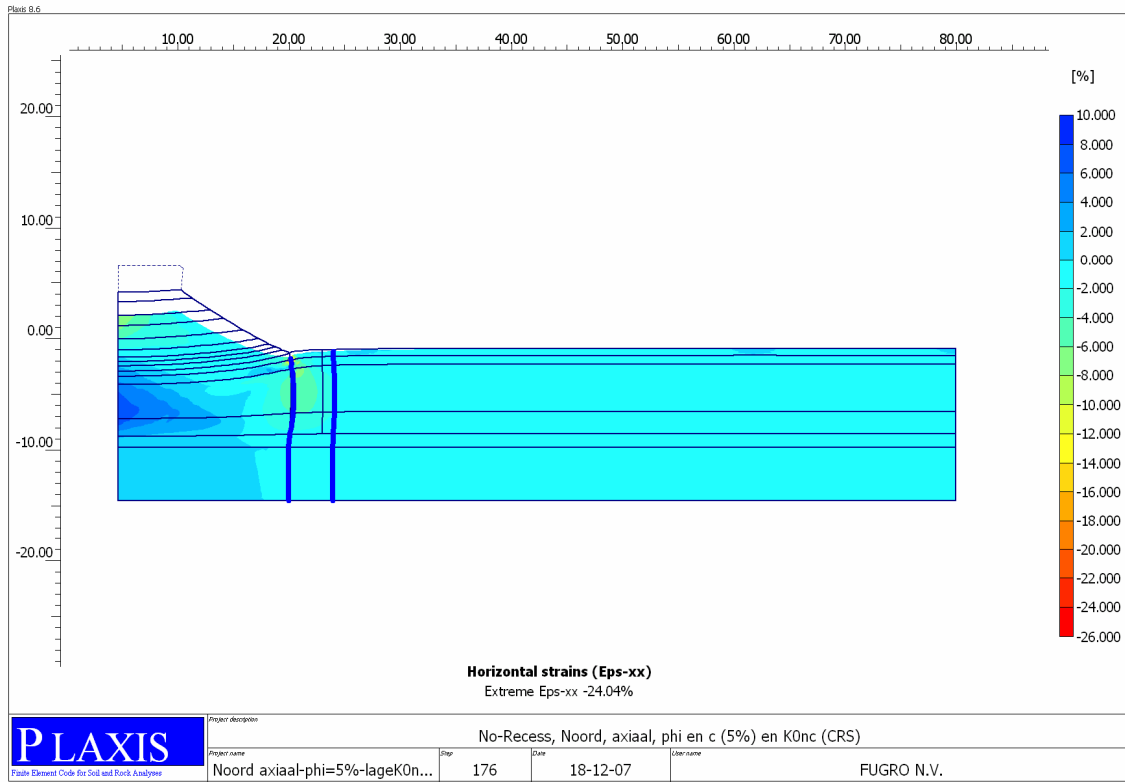


De stabiliteit is voldoende verzekerd en er zijn berekeningen uitgevoerd volgens stap B met:  $K_0^{NC} = 0,4$  voor veen en  $K_0^{NC} = 0,45$  voor klei.

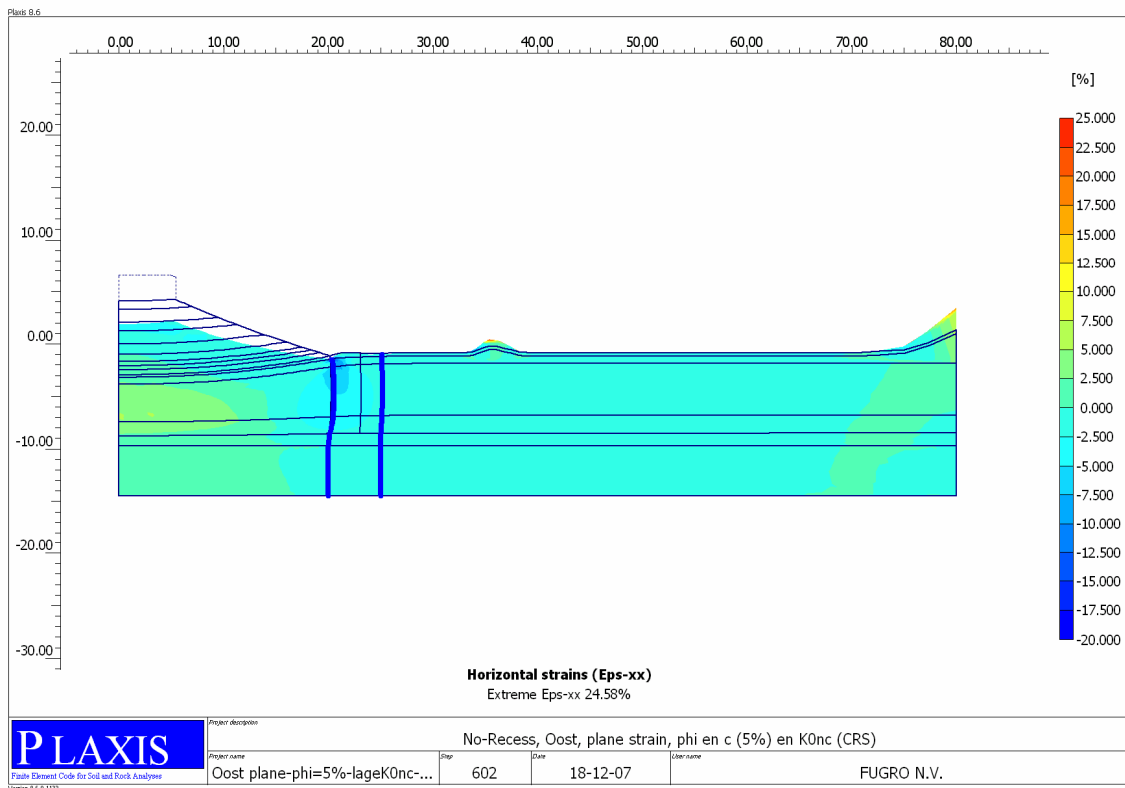
Berekeningen met  $\varphi$  en  $c$  op basis van 2 % rek en lage  $K_0^{NC}$ -waarden (CRS-proeven) leiden bij het genereren van de initiële spanningen tot plasticiteit. Er worden dus berekeningen met parameters op basis van 5 % rek uitgevoerd.

Het bereikte rekniveau in de slappe lagen is in Figuur 4-4 en Figuur 4-5 gepresenteerd. Bij beide profielen wordt inderdaad het rekniveau van 5 % bereikt zodat de keuze van  $c$  en  $\varphi$  bij 5 % rek is gerechtvaardigd.

Figuur 4-4: rekniveau, profiel Noord



Figuur 4-5: rekniveau, profiel Oost



In Tabel 4-5 zijn vier berekeningsvarianten gepresenteerd. Deze varianten zijn voor zowel het Noord- als Oost-profiel toegepast.

Tabel 4-5: Berekeningsvarianten voor Noord- en Oost-profiel

Variant	Beschrijving
1	Axiaalsymmetrische consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $c=1$ en $K_0^{nc}$ volgens Jaky
2	Axiaalsymmetrische consolidatie berekening, $\varphi$ en $c$ zijn bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc} = 0,4$ à $0,45$
3	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ is bepaald bij 5% verticale rek, $c=1$ en $K_0^{nc}$ volgens Jaky
4	Plane strain consolidatie berekening, $\varphi$ en $c$ zijn bepaald bij 5% verticale rek, $K_0^{nc} = 0,4$ à $0,45$

#### 4.4.2. Evaluatie

Voor de evaluatie zijn de resultaten van de Plaxisberekeningen naast de metingen van dag 50, dag 295 en dag 853 gezet. Deze zijn in onderstaande tabellen en grafieken gepresenteerd.

##### Profiel Noord

De berekende zettingen zijn getoetst aan de metingen. Het is natuurlijk gewenst dat het rekenmodel deze parameter goed voorspelt. Met  $\varphi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{nc}$ -waarde (variant 2 en 4) komen metingen en berekeningen goed overeen zowel met een axiaalsymmetrisch als met een Plane strain model (bijlage 5-1, 5-6 en 5-7).

De berekeningen met een lage cohesiewaarde ( $c=1$ ) en  $K_0^{nc}$  volgens Jaky geven een bovengrens van de horizontale grondverplaatsingen zoals verwacht (stap A); zie grafieken van het noordelijke profiel (variant 1 en 3, bijlage 5-1, 5-6 en 5-7).

De berekeningen met  $\varphi$  en  $c$  op basis van 5% rek en een lage  $K_0^{nc}$ -waarde (CRS) met een Plane strain modellering geven over het algemeen een overschatting aan de horizontale grondverplaatsingen aan de teen en 4 m uit de teen (variant 4). Een axiaalsymmetrisch model geeft de beste resultaten voor het profiel Noord. Het kruipeffect wordt tevens goed in rekening gebracht (variant 2).

In bijlage 5-2 is de maximale horizontale grondverplaatsing gegeven met de bijbehorende diepte. De verplaatsingen aan de teen van de ophoging worden in de bovenlagen overschat maar het verloop over de diepte sluit goed aan bij de metingen.

##### Profiel Oost

De gemeten zettingen komen goed overeen met berekeningen met  $\varphi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{nc}$ -waarde (variant 2 en 4) zowel met axiaalsymmetrisch als met Plane strain model (bijlage 5-3, 5-8 en 5-9).

De berekeningen met een lage cohesiewaarde ( $c=1$ ) en  $K_0^{nc}$  volgens Jaky geven, net als bij profiel Noord een bovengrens van de horizontale grondverplaatsingen zoals verwacht (stap A); zie grafieken van het oostelijke profiel (variant 1 en 3, bijlage 5-3).

De berekeningen met  $\varphi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{nc}$  waarde (CRS) met een axiaalsymmetrisch model geven een onderschatting aan de horizontale grondverplaatsingen zowel aan de teen als 5 m uit de teen (variant 2, bijlage 5-3). Een Plane strain model geeft

goede resultaten aan de teen van de ophoging en bij 5 m uit de teen sluiten de horizontale grondverplaatsingen goed aan bij de metingen op dag 50 maar het kruipeffect (dag 295 en 853) wordt sterk onderschat (variant 4, bijlage 5-3 en 5-9).

**Conclusie:**

De berekeningen dienen met  $\phi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{NC}$ -waarde (CRS) uitgevoerd te worden. Voor het noordelijke profiel geeft een axiaalsymmetrisch model (variant 2) goede resultaten, hetgeen op basis van de geometrie ook het meest logisch lijkt. De berekende zettingen en horizontale grondverplaatsingen komen goed overeen met de metingen. Het kruipeffect wordt ook goed benaderd. Het oostelijke profiel geeft goede resultaten met een Plane strain model aan de teen van de ophoging (variant 4). Hier wordt op basis van de geometrie ook verwacht dat het Plane strain model beter presteert dan het axiaalsymmetrisch model. De berekende vervormingen sluiten minder goed aan bij 5 m uit de teen met name op dag 295 en dag 853. De oorzaak hiervan is echter onduidelijk.

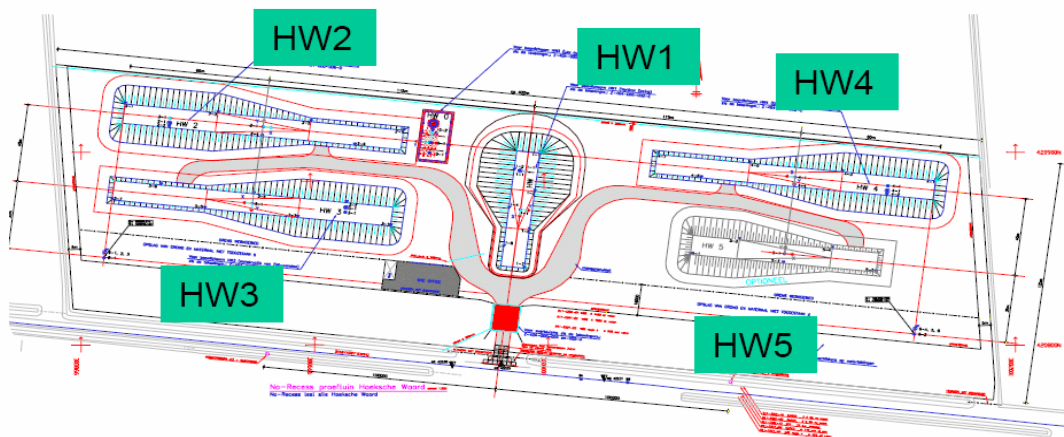
In bijlage 5-10 zijn de horizontale grondverplaatsingen gegeven als functie van  $\log-t$  op een gekozen diepte NAP -4,3 m waar de verplaatsingen maximaal zijn. Uit de grafiek blijkt dat consolidatie en kruip goed benaderd zijn behalve bij profiel Oost 5 m uit de teen.

## 5. VALIDATIE BEPALING HORIZONTALE GRONDVERVORMING - NO-RECESS-CASE

De No-Recess case betreft een (demonstratie-) onderzoek naar, voor Nederlandse begrippen, niet conventionele funderingswijzen voor aardebanen van rail- en weginfrastructuur. Het bouwrijpmaken hiervan is gestart in januari 1998 in de Hoeksche Waard en negen maanden later waren 5 aardebanen gerealiseerd (Figuur 5-1). Aardebaan HW1 is bedoeld als referentie baan, terwijl de overige banen aangebracht zijn ter validatie van de verschillende funderingswijzen die t.p.v. de banen zijn aangebracht. In deze case-studie wordt verder alleen gekeken naar HW1.

Tijdens de proef zijn metingen verricht aan verticale en horizontale grondverplaatsingen, waterspanningen en gronddrukken. De metingen zijn in juni 2000 beëindigd.

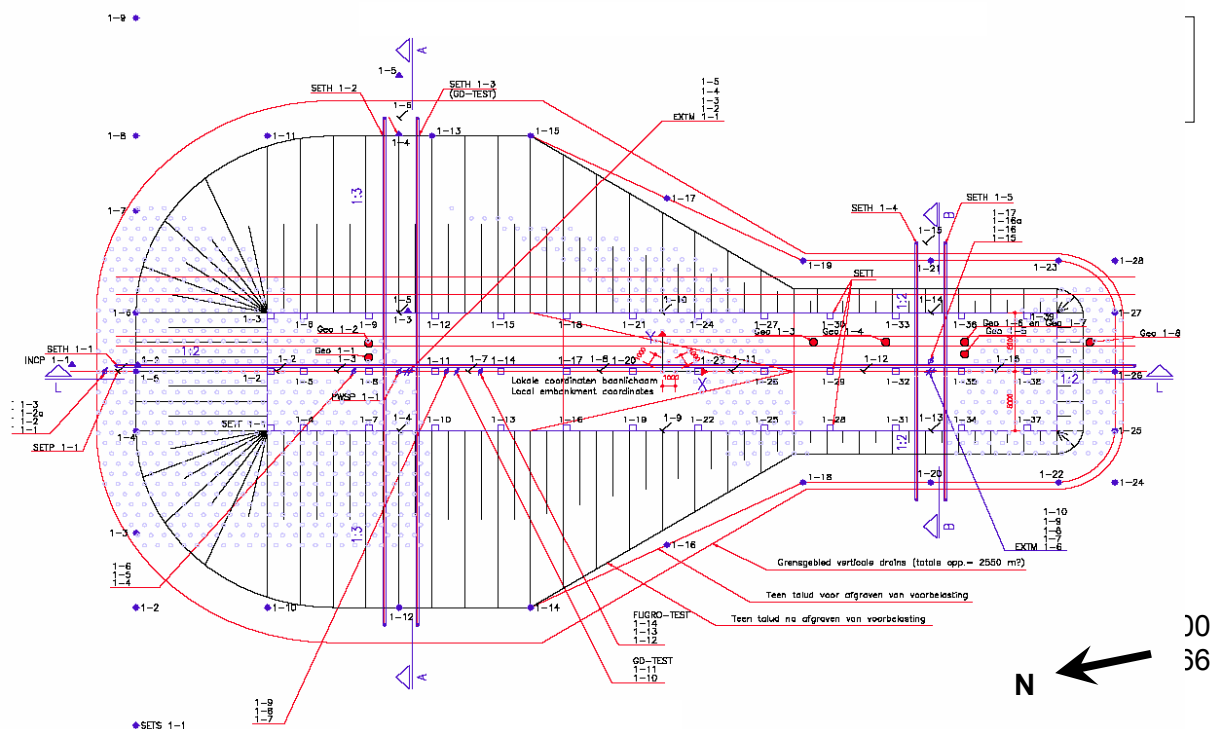
Figuur 5-1: bovenaanzicht proefterrein No-Recess case



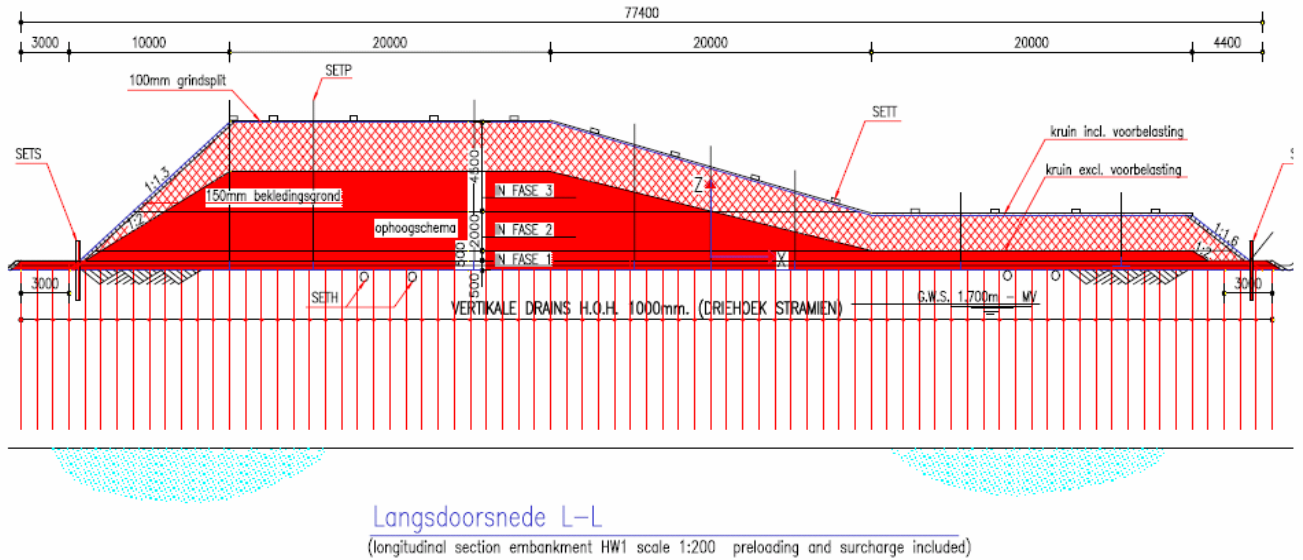
### 5.1. Geometrie proefvlak HW1

Een bovenaanzicht van HW1 met locaties van monitoringssystemen is gegeven in Figuur 5-2. Verder zijn in Figuur 5-3 t/m Figuur 5-5 langs- en dwarsdoorsneden gegeven.

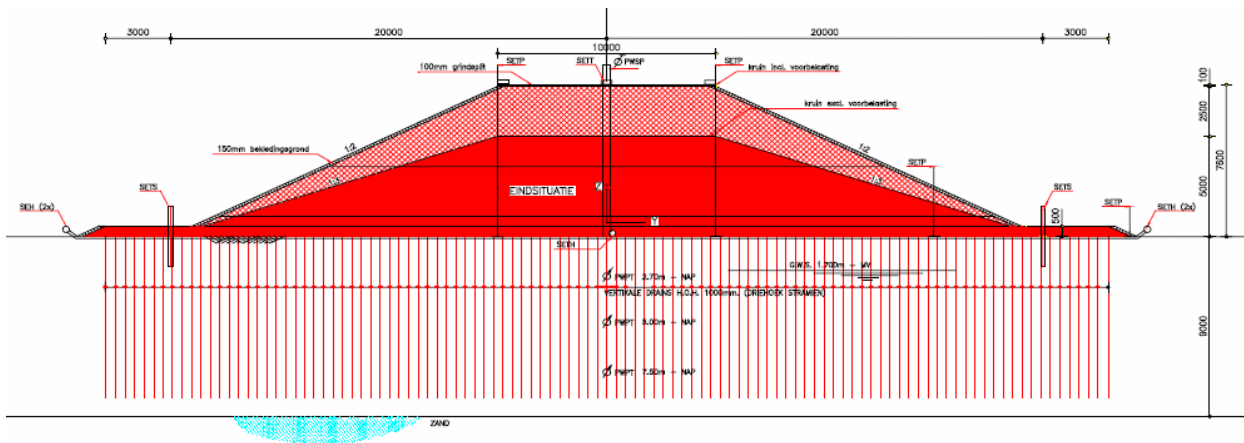
Figuur 5-2: plattegrond met monitoringslocaties HW1



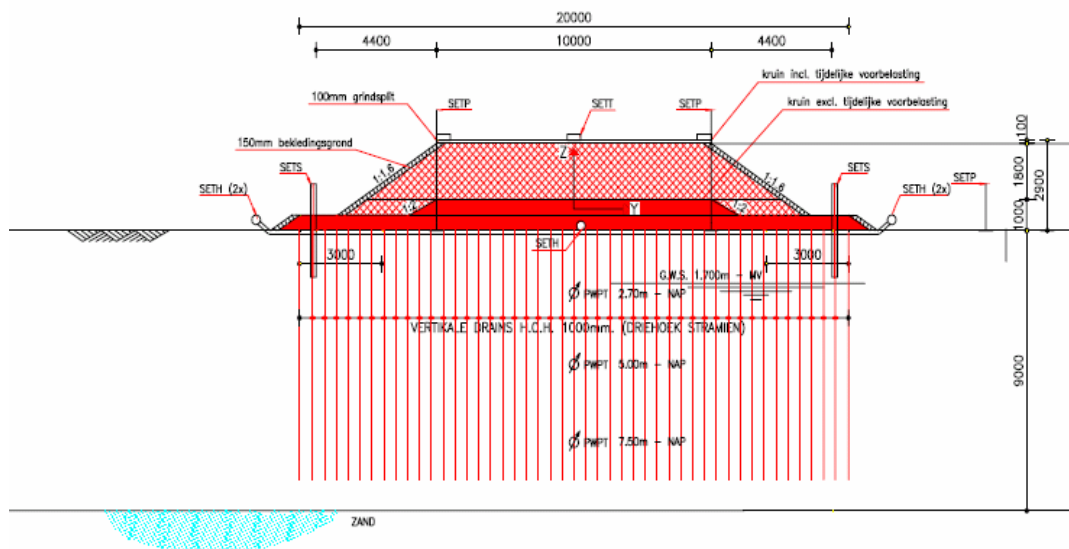




Figuur 5-4: HW1 dwarsdoorsnede (A) hoge aardebaan (y-richting)



Figuur 5-5: HW1 dwarsdoorsnede (B) lage aardebaan (y-richting)



In Tabel 5-1 zijn de belangrijkste ontwerpparameters voor de ophoging gegeven.

Tabel 5-1: Ontwerp aardebaan HW1, No-Recess case

		Lage aardebaan	Hoge aardebaan
Netto ophoging	m	1,0	5,0
Bruto ophoging	m	1,2	7,5
Extra overhoogte	m	0,4	0,3
Weg verbetering (grindsplit)	m	0,1	0,1

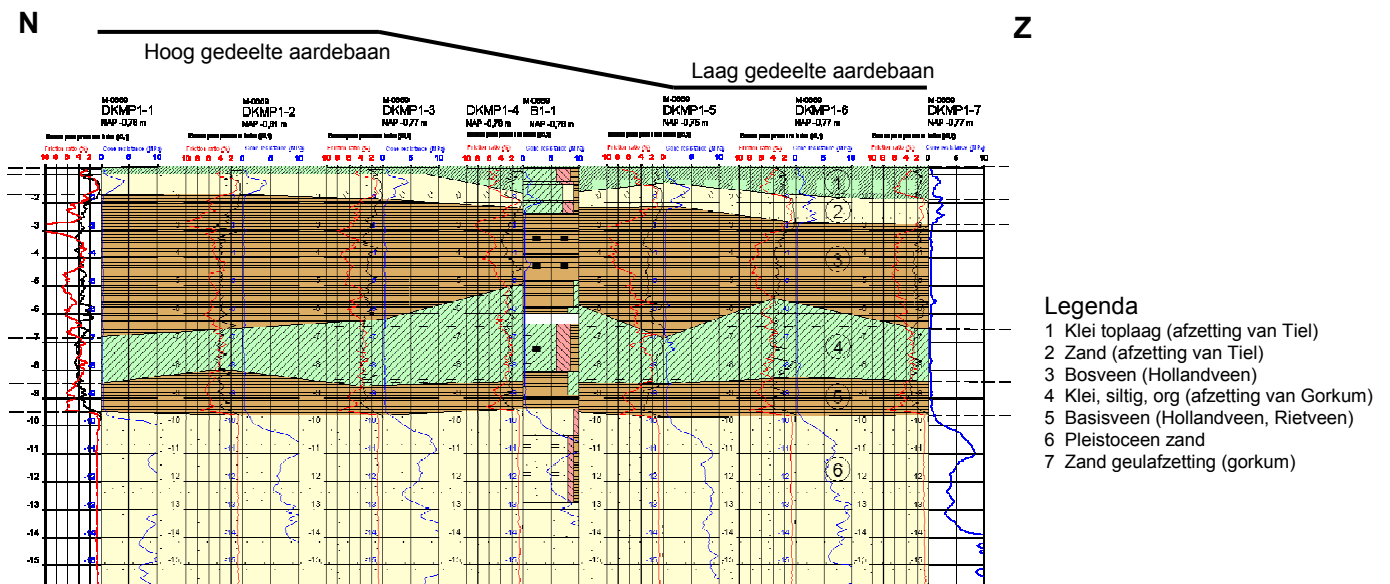
Voor het versnellen van de consolidatie zijn verticale drains in driehoeksverband, h.o.h. 1,0 m, geplaatst tot 1,0 m boven de pleistocene zandlaag.

De hoge en lage aardebanen zijn respectievelijk in 130 en 100 dagen op hoogte gebracht. Na ongeveer 330 dagen is de extra overhoogte op de lage aardebaan verwijderd. Na 380 dagen is 0,3 meter (ophoog)zand van de hoge aardebaan verwijderd.

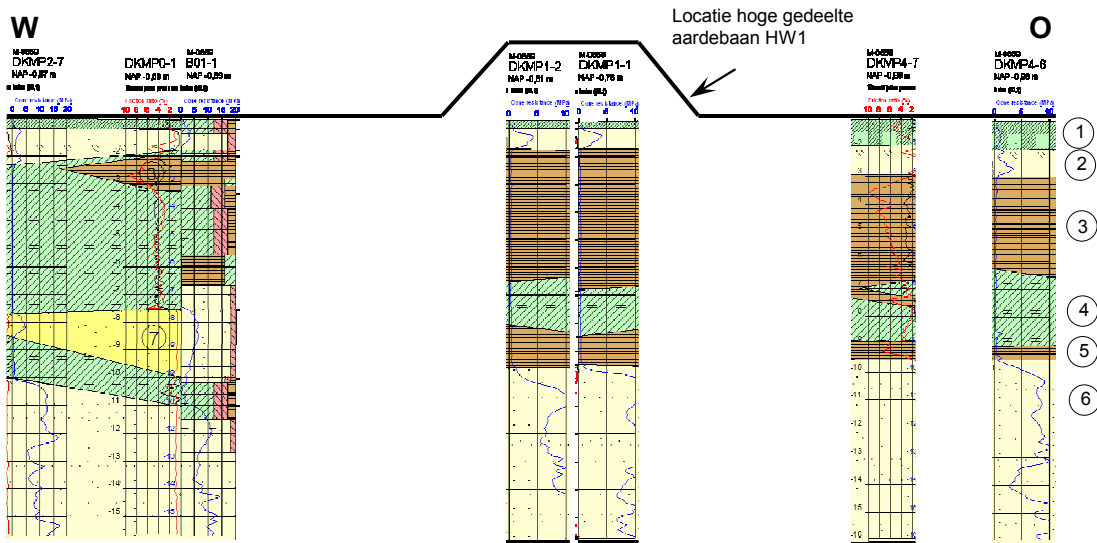
## 5.2. Bodemopbouw en grondeigenschappen

In Figuur 5-6 en Figuur 5-7 zijn respectievelijk de noord-zuid en west-oost georiënteerde grondprofielen gegeven.

Figuur 5-6: grondprofiel HW1 noord-zuid georiënteerd, inclusief locatie aardebaan



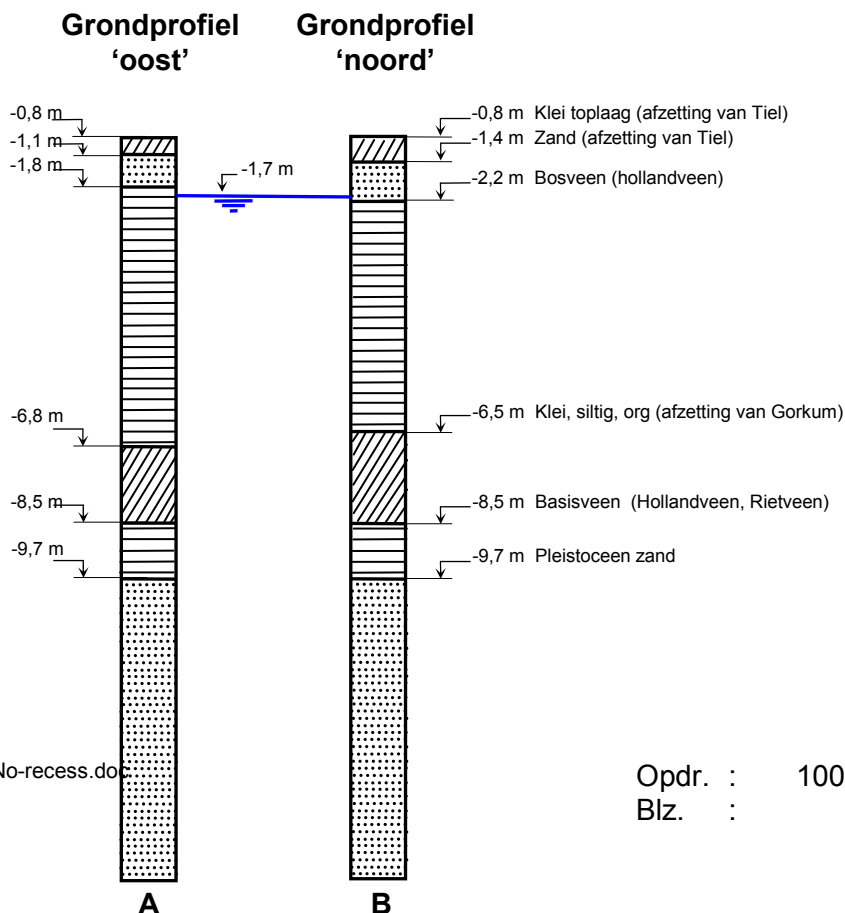
Figuur 5-7: grondprofiel HW1 west-oost georiënteerd inclusief locatie aardebaan



De horizontale vervormingen aan het maaiveld zijn aan de noordkant van de ophoging (INCP 1-1 en 1-2) aanzienlijk kleiner dan aan de oostkant van de ophoging (INCP 1-4 en 1-5). De oorzaak hiervan kan de dikte van de 'stijve' toplagen (klei toplaag en zand) zijn. Daarom is ervoor gekozen de toplagen aan de noordkant dikker te modelleren dan aan de oostkant.

Op basis van de bovenstaande interpretaties is voor de simulatie aan de oost- en noordkant van de hoge aardebaan gekozen voor de grondprofielen weergegeven in Figuur 5-8. Het voornaamste verschil van de twee profielen is het verschil in de dikte van de toplagen.

Figuur 5-8: grondprofielen 'oost' en 'noord' met bijbehorende laagscheidingen in m+NAP



### 5.3. Grondmodel en -parameters

Voor de berekeningen is de keuze gemaakt om met tijdsafhankelijke effecten zoals consolidatie en kruip te rekenen. Voor de simulatie worden de klei- en veenlagen gemodelleerd met het SSC-model en de zandlagen met het HS-model. Voor het ophoogzand is het MC-model gebruikt. De berekeningen zijn ongedraineerd met consolidatie uitgevoerd. In onderstaande tabellen zijn de invoerparameters gegeven.

Tabel 5-2: invoerparameters SSC model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kPa]	$\gamma_d$ [kPa]	$c'_{(5\%)}$ [kPa]	$\phi'_{(5\%)}$ [°]	$\psi$ [°]	$v_{ur}$ [-]	$\kappa^*=a$ [-]	$\lambda^*=b$ [-]	$\mu^*=c$ [-]	$K_0$ en $K_0^{nc}$ (CRS) [-]	$K_0$ en $K_0^{nc}$ (5%) [-]	$M_{(5\%)}$ [-]	$k_{yy}$ (zonder drainage) [m/d]	$k_{yy}$ (met drainage) [m/d]	$k_{xx}$ [m/d]	$OCR_{\gamma\gamma}$ [-]
Klei toplaag	17,58	13,52	4,0	22,5	0	0,15	0,025	0,100	0,0039	0,45	0,617	1,23	3,22E-05	1,61E-03	3,22E-05	1,30
Bosveen	10,9	3,26	9,5	27,5	0	0,15	0,036	0,208	0,0117	0,40	0,538	1,49	1,93E-04	9,65E-03	3,86E-04	1,40
Klei (silt,org)	13,91	7,29	4,0	33	0	0,15	0,047	0,152	0,0074	0,45	0,455	1,68	3,22E-05	1,61E-03	3,22E-05	1,47
Basisveen	11,79	4,58	7,6	29,5	0	0,15	0,034	0,218	0,0102	0,40	0,508	1,59	1,30E-04	-	2,60E-04	1,96

Tabel 5-3: invoerparameters HS model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]	$v_{ur}$ [-]	$E_{50}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{oed}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{ur}^{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$m$ [-]	$p_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_0$ [-]	$K_0^{nc}$ [-]
Zand	20	18	1	32,5	2,5	0,15	30000	30000	90000	0,5	100	0,46	0,46
Pleistoceen zand	21	19	1	34	4	0,15	35000	35000	105000	0,5	100	0,44	0,44

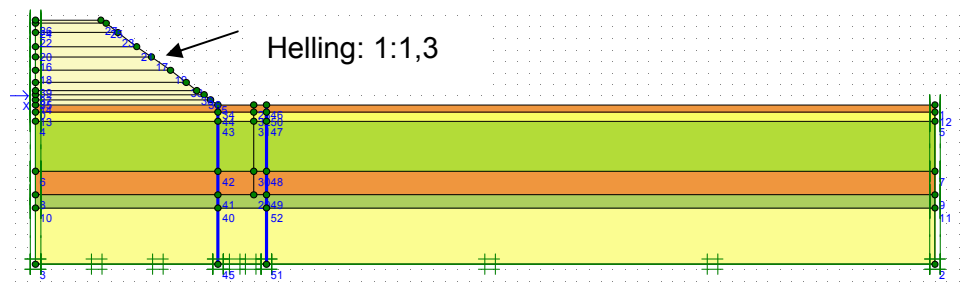
Tabel 5-4: invoerparameters MC model, No-Recess case

Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]	$v$ [-]	$E_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{incr}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_{ref}$ [m]
Zand (oph)	20	18	1	35	5	0,30	5000	1000	7

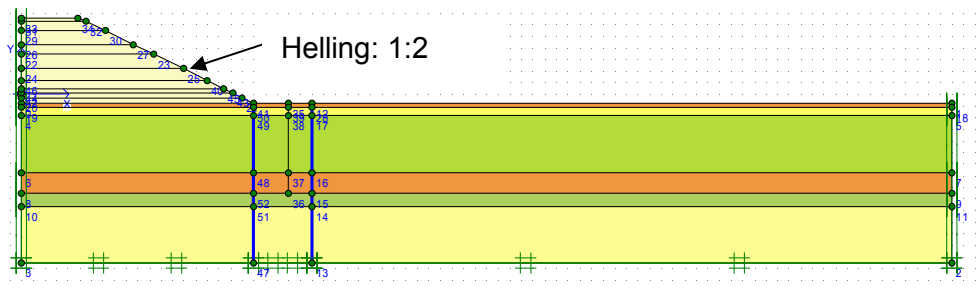
De sterkteparameters van de grond zijn uit de proeven op basis van 5% rek bepaald hetgeen gebruikelijk is voor stabiliteitsanalyses.

Bij profiel "Noord" hoort een initiële taludhelling van 1:1,3 en bij profiel "Oost" 1:2 (Figuur 5-9 en Figuur 5-10); de eindhellingen bedragen respectievelijk 1:2 en 1:3. In de Plaxisberekening wordt gebruik gemaakt van de updated-mesh- en updated waterpressures-procedures waarmee tevens de verandering van de taludhelling ten gevolge van de zetting wordt bepaald. Voor de grondlagen onder de ophoging zijn de verticale drains in rekening gebracht door middel van een equivalente (verhoogde)  $c_v$ -waarde.

Figuur 5-9: Schematisatie profiel Noord



Figuur 5-10: Schematisatie profiel Oost



## 5.5. Berekeningsresultaten

Voor de evaluatie zijn de resultaten van de Plaxisberekeningen naast de metingen van dag 50, dag 295 en dag 853 gezet. Deze zijn in onderstaande tabellen en grafieken gepresenteerd. Voor beide profielen zijn vier varianten berekend op basis van combinaties van keuzen voor  $K_0^{NC}$  en plane strain of axiaal-symmetrisch.

### Verticale vervorming

#### Profiel Noord

De berekende zettingen zijn getoetst aan de metingen. Het is natuurlijk gewenst dat het rekenmodel deze parameter goed voorspelt. Met  $\varphi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{NC}$ -waarde (variant 2 en 4) komen metingen en berekeningen goed overeen zowel met een axiaalsymmetrisch als met een Plane strain model (Tabel 5-5).

Tabel 5-5: zettingsresultaten profiel 'noord', metingen en berekeningen

Variant	Model	$K_0^{nc}$	Zetting [m]							
			kruinrand (SETP 1-2)				1,3m uit teen (SETP 1-1)			
			50d	137d	295d	869d	50d	137d	295d	869d
1	Axiaal	1-sin $\varphi$	-0.87	-1.92	-2.28	-2.44	-0.03	-0.04	-0.11	-0.17
2	Axiaal	0,4-0,45	-0.63	-1.48	-1.79	-1.96	-0.06	-0.13	-0.21	-0.29
3	Plane Str.	1-sin $\varphi$	-0.78	-1.90	-2.26	-2.39	0.00	0.00	-0.10	-0.11
4	Plane Str.	0,4-0,45	-0.57	-1.47	-1.83	-1.97	-0.04	-0.11	-0.22	-0.30
Veldmeting			-0.49	-1.36	-1.67	-1.79	-0.05	-0.14	-0.20	-0.25

#### Profiel Oost

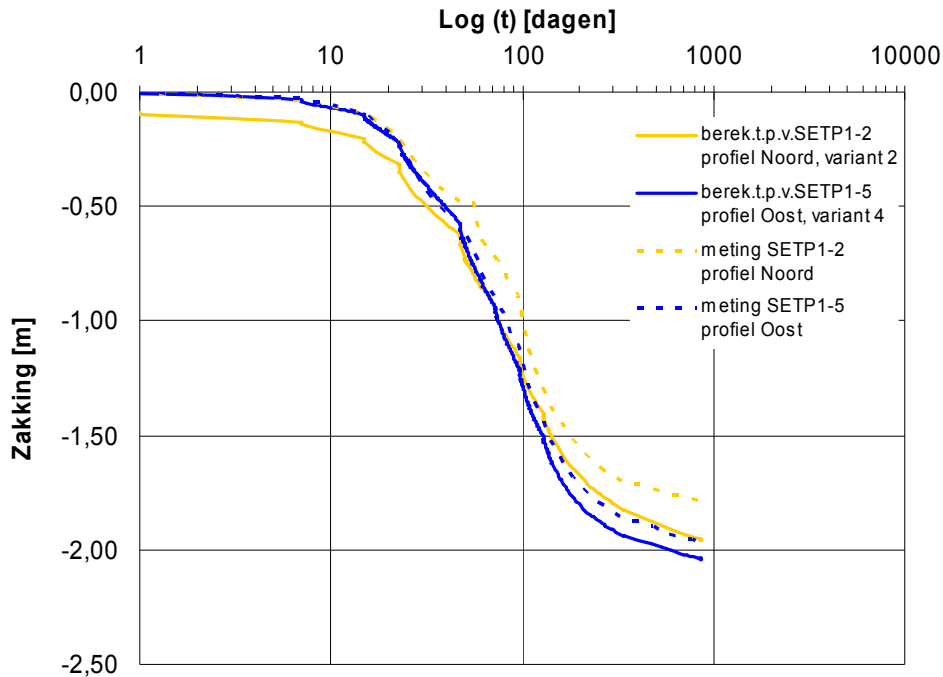
De gemeten zettingen komen goed overeen met berekeningen met  $\varphi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{NC}$ -waarde (variant 2 en 4) zowel met axiaalsymmetrisch als met Plane strain model (Tabel 5-6).

Tabel 5-6: zettingsresultaten profiel 'oost', metingen en berekeningen

Variant	Model	$K_0^{nc}$	Zetting [m]							
			kruinrand (SETP 1-5)				1,3m uit teen (SETP 1-6)			
			50d	137d	295d	869d	50d	137d	295d	869d
1	Axiaal	1-sin $\varphi$	-0.84	-2.09	-2.45	-2.61	0.00	-0.01	-0.07	-0.12
2	Axiaal	0,4-0,45	-0.61	-1.57	-1.88	-2.06	-0.03	-0.10	-0.18	-0.25
3	Plane Str.	1-sin $\varphi$	-0.79	-2.05	-2.39	-2.50	0.00	0.00	-0.01	-0.06
4	Plane Str.	0,4-0,45	-0.58	-1.58	-1.91	-2.04	-0.03	-0.11	-0.21	-0.28
Veldmeting			-0.58	-1.52	-1.84	-1.96	-0.05	-0.14	-0.20	-0.25

In Figuur 5-11 zijn berekende en gemeten verticale vervormingen grafisch weergegeven.

Figuur 5-11: Verticale zetting



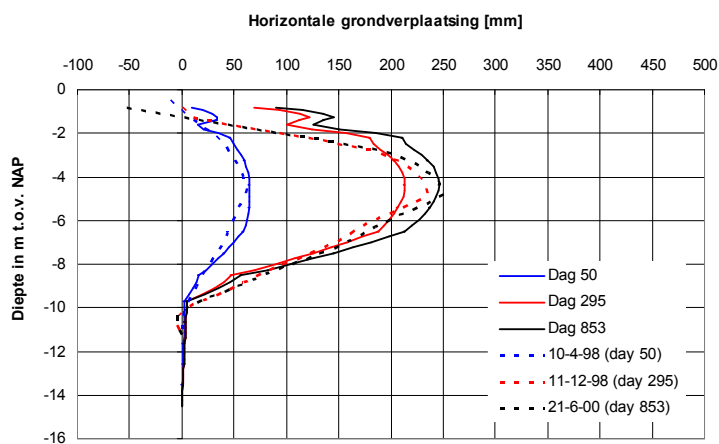
## Horizontale vervorming

### Profiel Noord

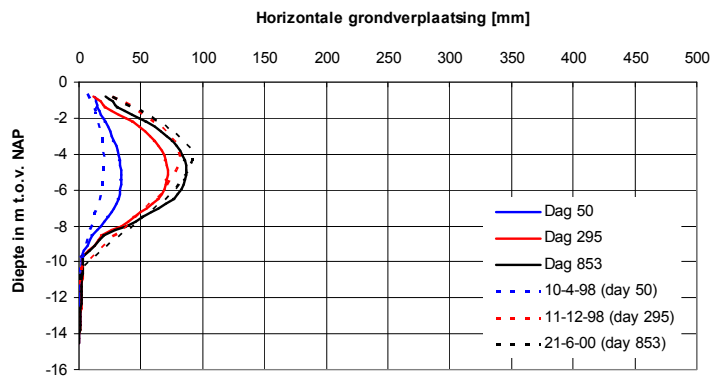
De berekeningen met een lage cohesiewaarde ( $c=1$  kPa) en  $K_0^{NC}$  volgens Jaky ( $1-\sin\phi$ ) geven een bovengrens van de horizontale grondverplaatsingen zoals verwacht (stap A).

De berekeningen met  $\phi$  en  $c$  op basis van 5% rek en een lage  $K_0^{NC}$ -waarde (CRS) met een Plane strain modellering geven over het algemeen een overschatting van de horizontale grondverplaatsingen aan de teen en 4 m uit de teen (variant 4). Een axiaalsymmetrisch model geeft de beste resultaten voor het profiel Noord. Het kruipeffect wordt tevens goed in rekening gebracht (variant 2). De resultaten aan de teen van het talud en 4 m uit de teen van deze variant zijn in respectievelijk *Figuur 5-12* en *Figuur 5-13* gegeven.

Figuur 5-12 : Profiel Noord, variant 2; teen talud



Figuur 5-13 : Profiel Noord, variant 2; 4 m uit teen talud

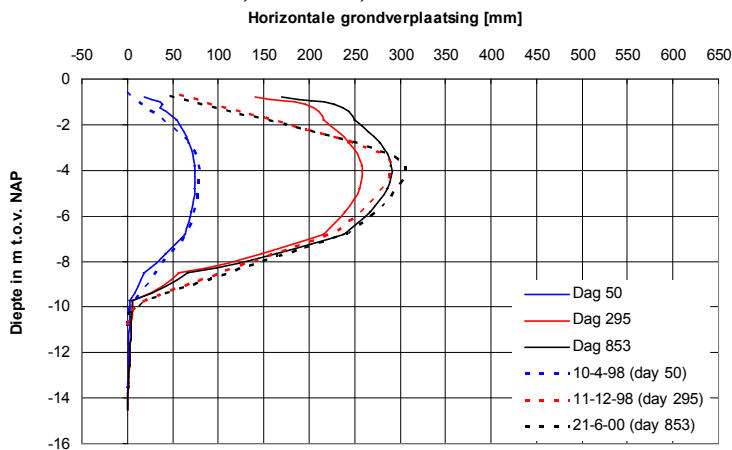


### Profiel Oost

De berekeningen met een lage cohesiewaarde ( $c=1$  kPa) en  $K_0^{NC}$  volgens Jaky ( $1-\sin\phi$ ) geven, net als bij profiel Noord, een bovengrens van de horizontale grondverplaatsingen zoals verwacht (stap A).

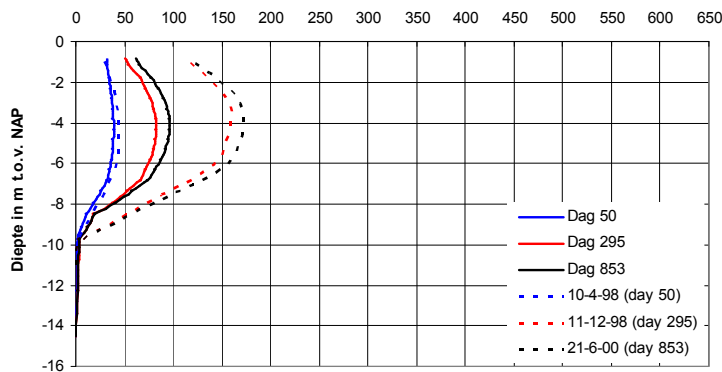
De berekeningen met  $\phi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{NC}$  waarde (CRS) met een axiaalsymmetrisch model geven een onderschatting van de horizontale grondverplaatsingen zowel aan de teen als 5 m uit de teen (variant 2). Een Plane strain model geeft goede resultaten aan de teen van de ophoging en bij 5 m uit de teen sluiten de horizontale grondverplaatsingen goed aan bij de metingen op dag 50 maar het kruipeffect (dag 295 en 853) wordt sterk onderschat (variant 4). De resultaten aan de teen van het talud en 5 m uit de teen van deze variant zijn in respectievelijk *Figuur 5-14* en *Figuur 5-15* gegeven.

Figuur 5-14: Profiel Oost, variant 4; teen talud





Figuur 5-15: *Profiel Oost, variant 4; 5 m uit teen talud*  
 Horizontale grondverplaatsing [mm]

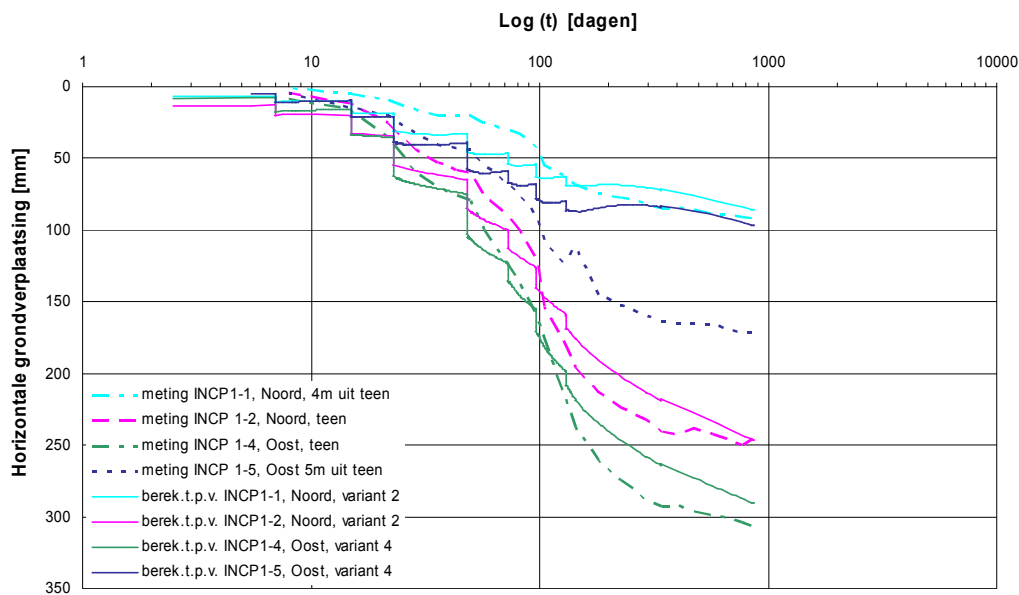


**Conclusie:**

De berekeningen dienen met  $\phi$  en  $c$  op basis van 5 % rek en een lage  $K_0^{NC}$ -waarde (CRS) uitgevoerd te worden. Voor het noordelijke profiel geeft een axiaalsymmetrisch model (variant 2) goede resultaten, hetgeen op basis van de geometrie ook het meest logisch lijkt. De berekende zettingen en horizontale grondverplaatsingen komen goed overeen met de metingen. Het kruipeffect wordt ook goed benaderd. Het oostelijke profiel geeft goede resultaten met een Plane strain model aan de teen van de ophoging (variant 4). Hier wordt op basis van de geometrie ook verwacht dat het Plane strain model beter presteert dan het axiaalsymmetrisch model. De berekende vervormingen op 5 m uit de teen sluiten minder goed aan met name op dag 295 en dag 853. De oorzaak hiervan is onduidelijk.

In *Figuur 5-16* zijn de horizontale grondverplaatsingen gegeven als functie van  $\log-t$  op een gekozen diepte NAP -4,3 m waar de verplaatsingen maximaal zijn. Uit de grafiek blijkt dat consolidatie en kruip goed benaderd zijn behalve bij profiel Oost 5 m uit de teen.

Figuur 5-16; *Berekende en gemeten horizontale vervormingen in de tijd*



## APPENDIX 1 (bij hoofdstuk 3)

### Toelichting invloed cohesie op vorm vloeicontour (nog te publiceren, R. Servais)

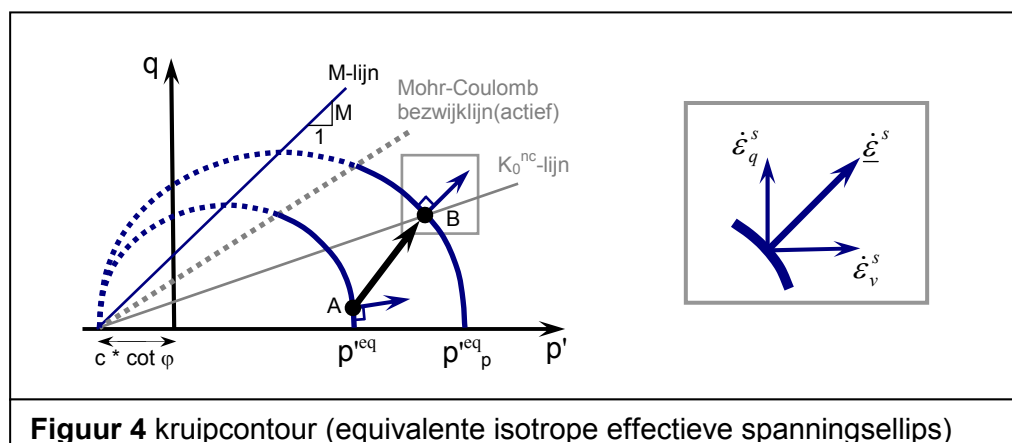
#### Equivalente isotrope effectieve spanningsellips

In *figuur 4* is een spanningspad (AB) weergegeven waarbij de initiële spanning overgeconsolideerd en de eindspanning normaal geconsolideerd is. Voor beide spanningspunten is de bijbehorende lijn van gelijke equivalente isotrope effectieve spanning geplot (de equivalente isotrope effectieve spanningsellips). De ellips door  $p^{eq}_p$  wordt ook wel de kruipcontour genoemd. De steilheid van de ellipsen is afhankelijk van de  $K_0^{nc}$ -afhankelijke M parameter. Loodrecht op de kruipcontour staat de totale seculaire reksnelheid ( $\dot{\epsilon}^s$ ).

De totale seculaire reksnelheid kan opgesplitst worden in een deviatorische ( $\dot{\epsilon}_q^s$ ) en volumieke ( $\dot{\epsilon}_v^s$ ) component, zie ook *figuur 4*.  $M(K_0^{nc})$  is daarmee bepalend voor de verhouding deviatorische over volumieke reksnelheid (X). Bij afnemende waarde voor M neemt de steilheid van de kruipcontour af waardoor X toeneemt. De verhouding X kan berekend worden met *vergelijking 15* [4].  $M(K_0^{nc})$  heeft daarnaast invloed op het spanningspad; hier wordt in dit artikel niet verder op ingegaan.

$$X = \frac{\dot{\epsilon}_q^s}{\dot{\epsilon}_v^s} = \frac{2 \frac{q}{p'}}{M^2 - \left(\frac{q}{p'}\right)^2} \quad (\text{geldig voor } c = 0) \quad (15)$$

Bij meerdimensionale vervormingen t.g.v. een niet uniforme maaiveldbelasting heeft een afname van  $M(K_0^{nc})$  tot gevolg dat X toeneemt. Hierdoor nemen vooral de horizontale vervormingen toe. Correcte keuze van de grootte van  $M(K_0^{nc})$  is daarmee noodzakelijk. De veelgebruikte vuistregel van Jaky ( $K_0^{nc} = 1 - \sin \varphi$ ) in het SSC model geeft in eendimensionale samendrukking al betere  $K_0$ -waarden dan het gebruik van  $M = (6 * \sin \varphi) / (3 - \sin \varphi)$  zoals in het modified Cam-Clay model, maar met name voor veen is het aan te bevelen  $K_0^{nc}$  uit  $K_0$ -C.R.S. proeven te halen, die veelal realistischer (lager) zijn. In de No-Recess case (verderop in dit artikel behandeld) komt de invloed van  $M(K_0^{nc})$  op de berekende vervormingen aan bod.

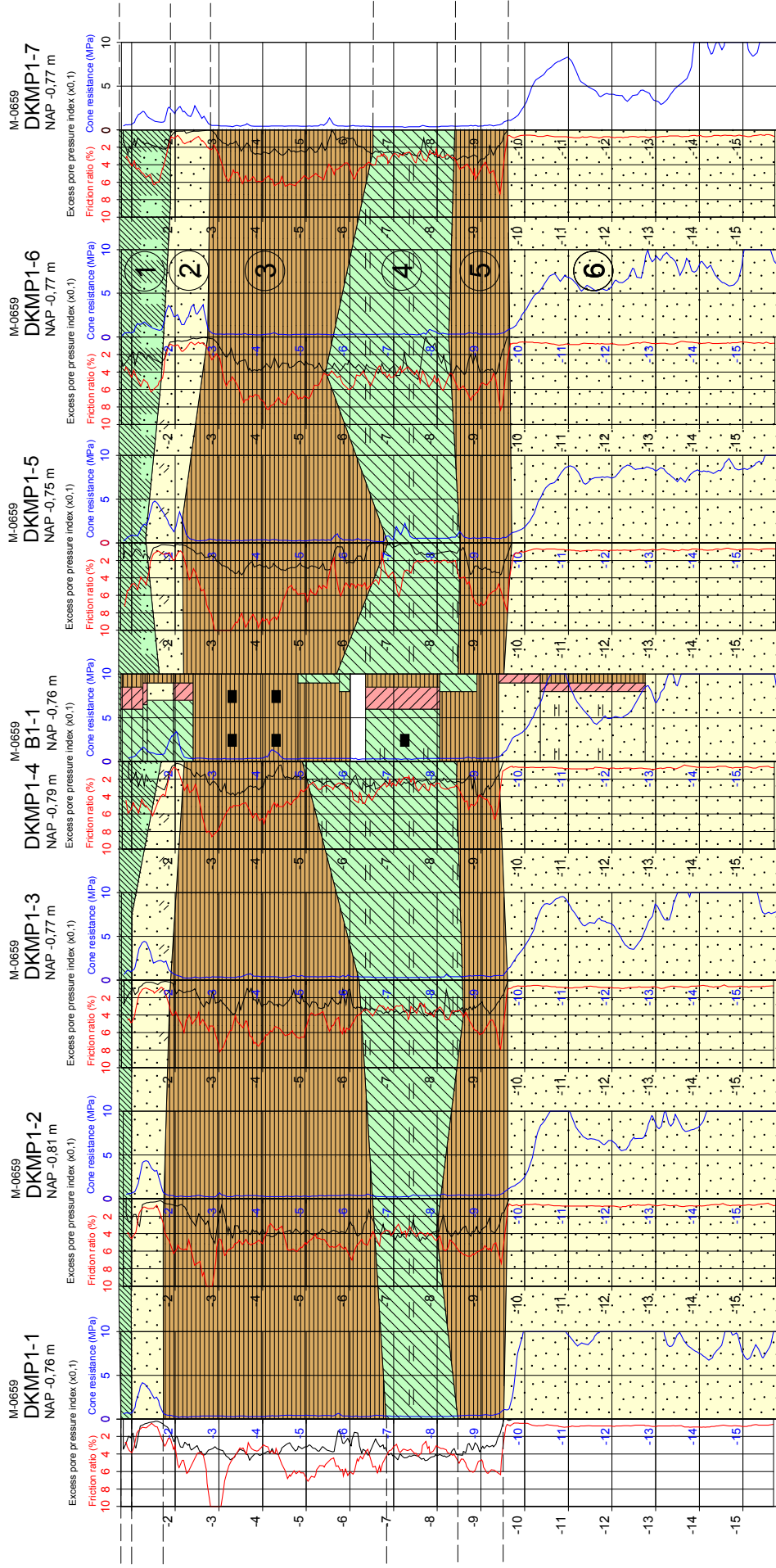


**Figuur 4** kruipcontour (equivalente isotrope effectieve spanningsellips)

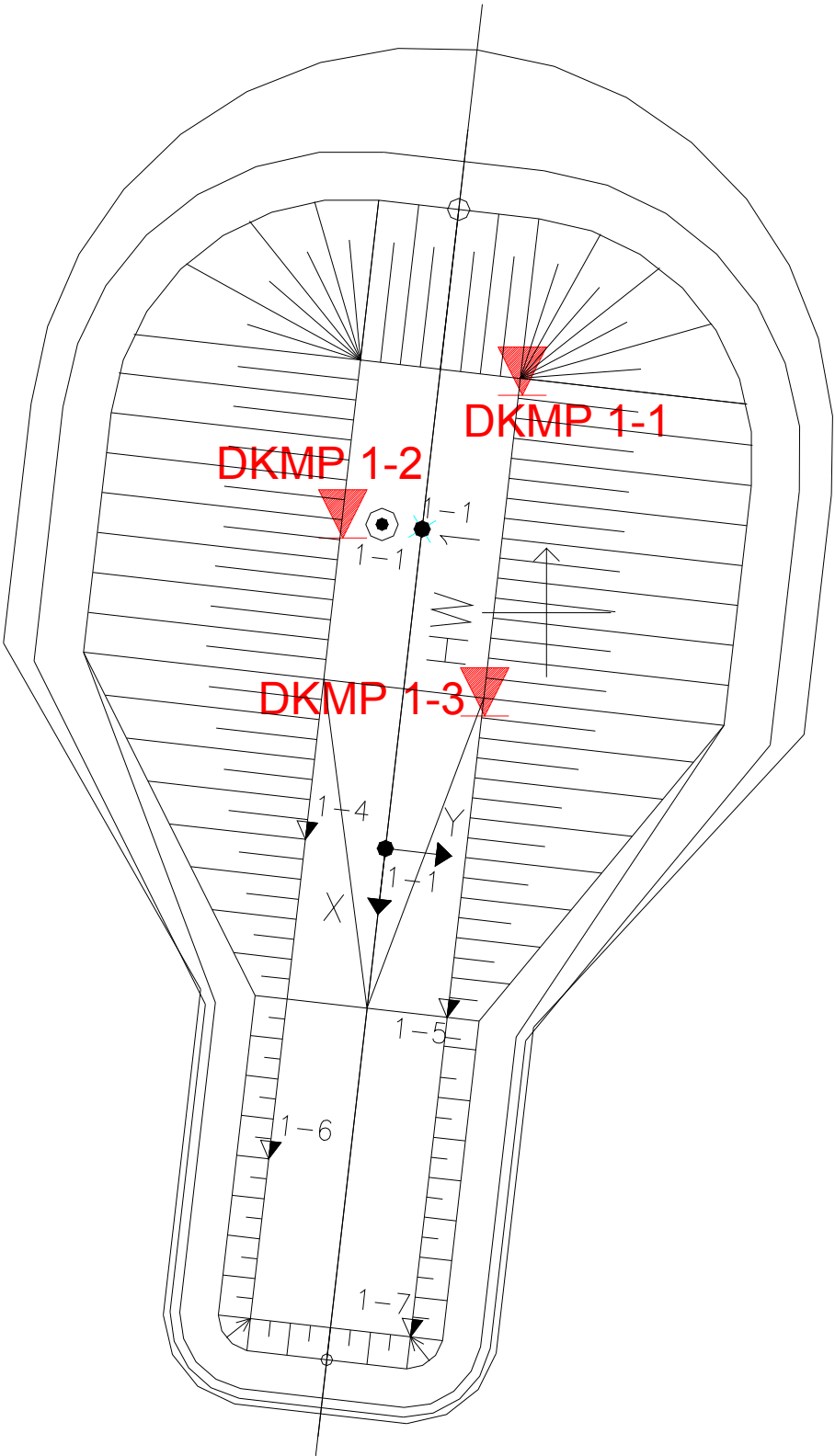
Verder is, zoals ook weergegeven in *figuur 4*, het Mohr-Coulomb bezwijkcriterium in het SSC model opgenomen. Dit in tegenstelling tot het Modified Cam-Clay model waarin de M-lijn de bezwijklijn is en M dus naast de stijfheidsverhouding ( $\dot{\epsilon}_q^s / \dot{\epsilon}_v^s$ ) ook bepalend is voor de sterkte.

In *figuur 4* is ook gevisualiseerd op welke manier de sterkte parameter  $c$  (cohesie) invloed heeft op de stijfheid: de kruipcontour verschuift, hetgeen invloed kan hebben op de seculaire reksnelheidsrichting. Daarom wordt aangeraden de cohesie bij SSC berekeningen klein te kiezen t.o.v. het spanningspad.

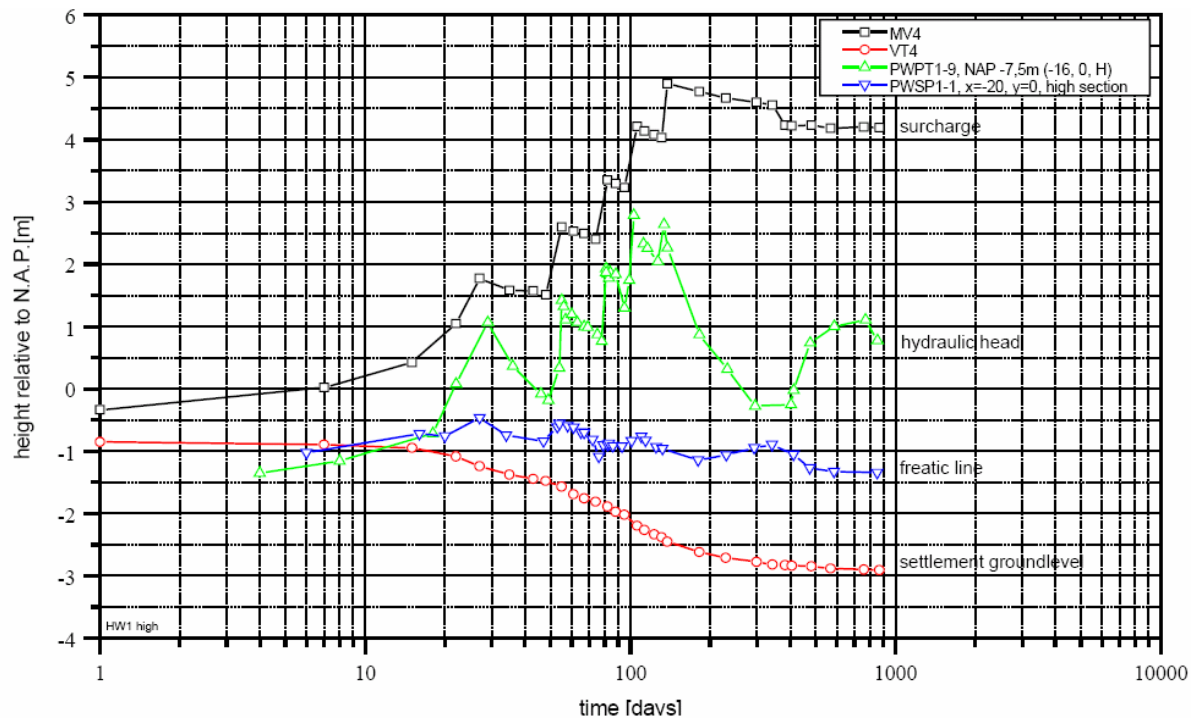
# Bijlage 2-1: Sonderingen en grondbooringen HW1



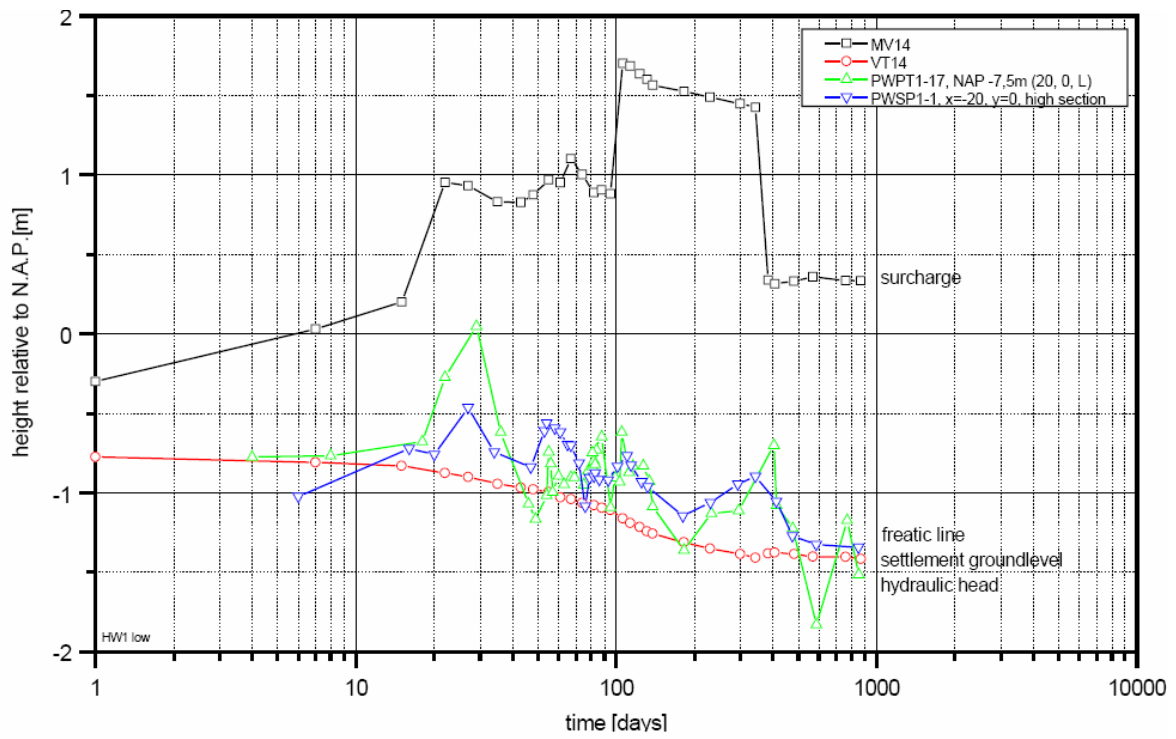
Bijlage 2-2: Locatie sonderingen in het hoge gedeelte



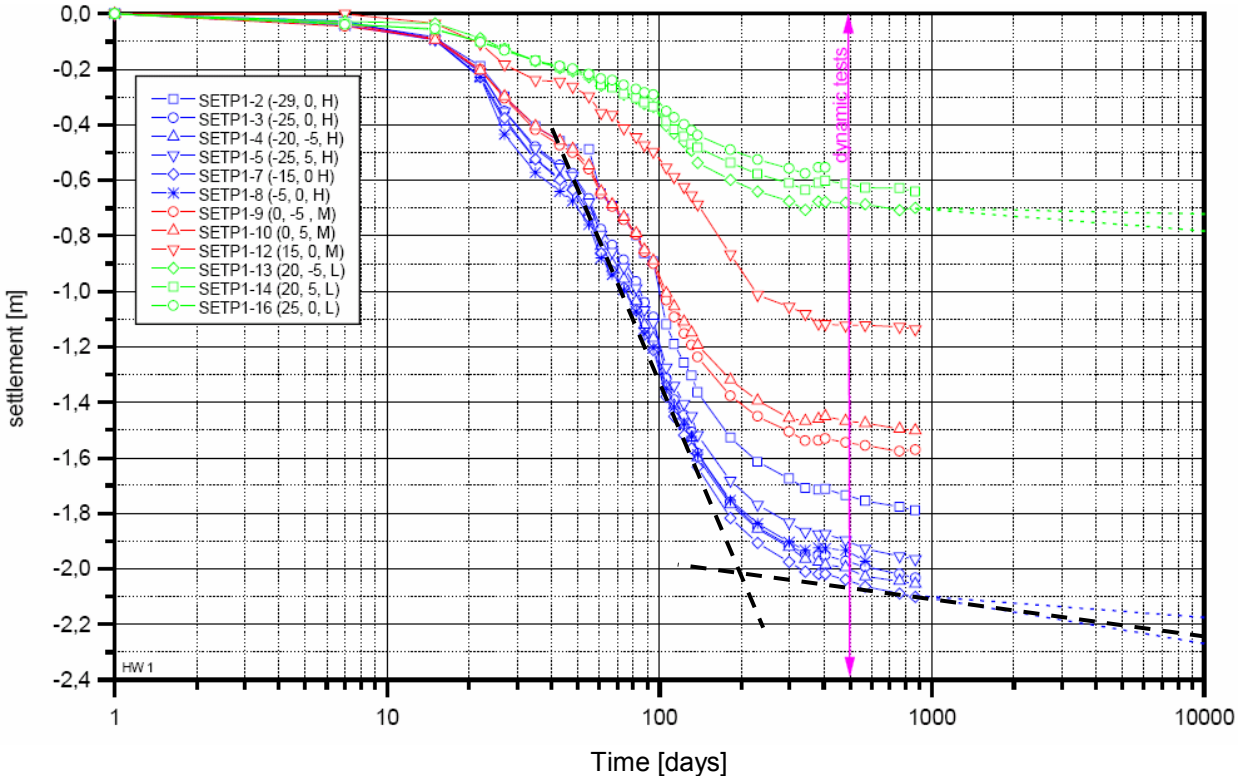
Bijlage 2-3: HW1 hoge aardebaan aanleghoogte(MV 4), maaiveldzakking(VT 4), wateroverspanning (PWPT 1-9) en grondwaterstand (PWSP 1-1)



Bijlage 2-4: HW1 lage aardebaan aanleghoogte(MV 14), maaiveldzakking(VT 14), wateroverspanning (PWPT 1-17) en grondwaterstand (PWSP 1-1)

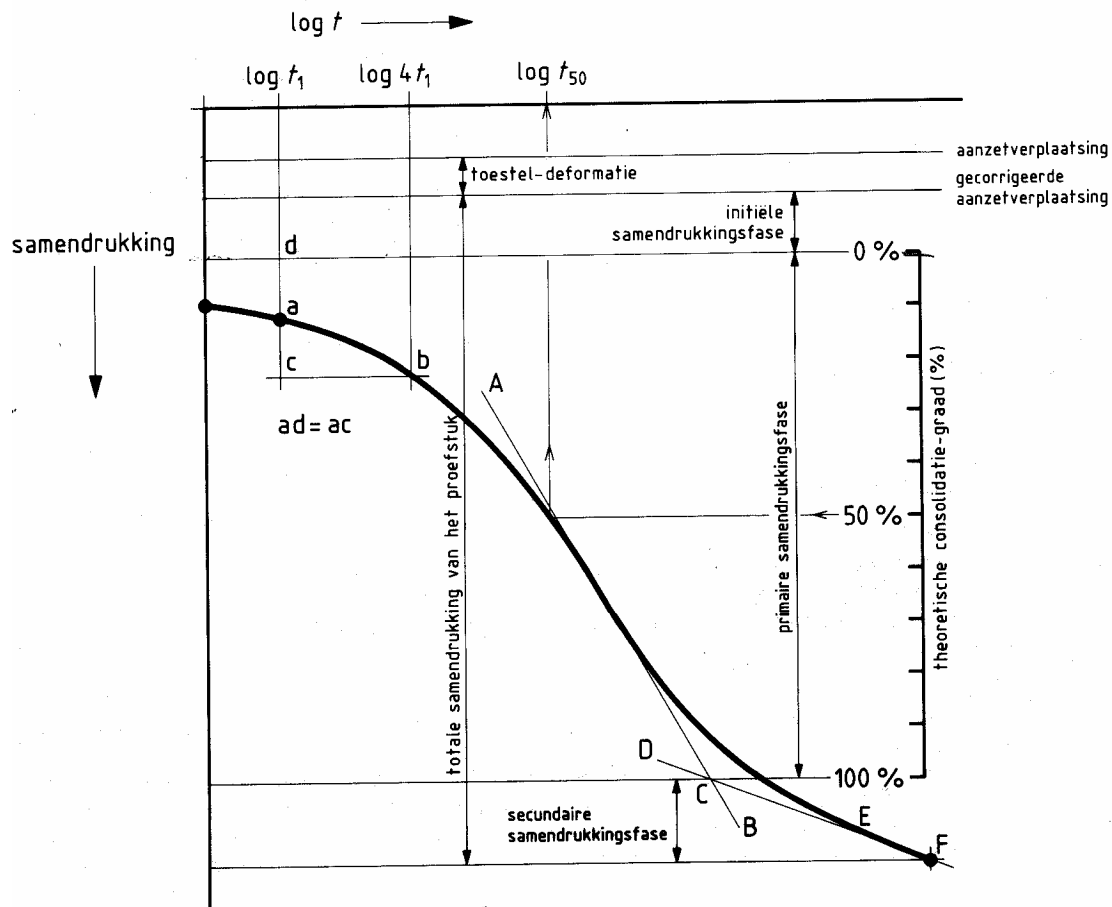


Bijlage 2-5: HW1 maaiveldzakking als functie van log-tijd





## Bijlage 2-6: Methode Casagrande

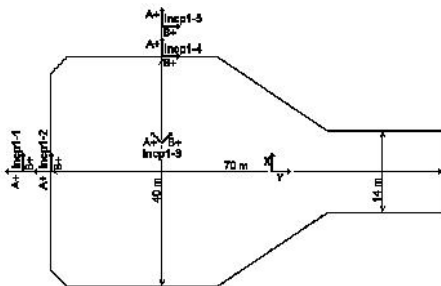
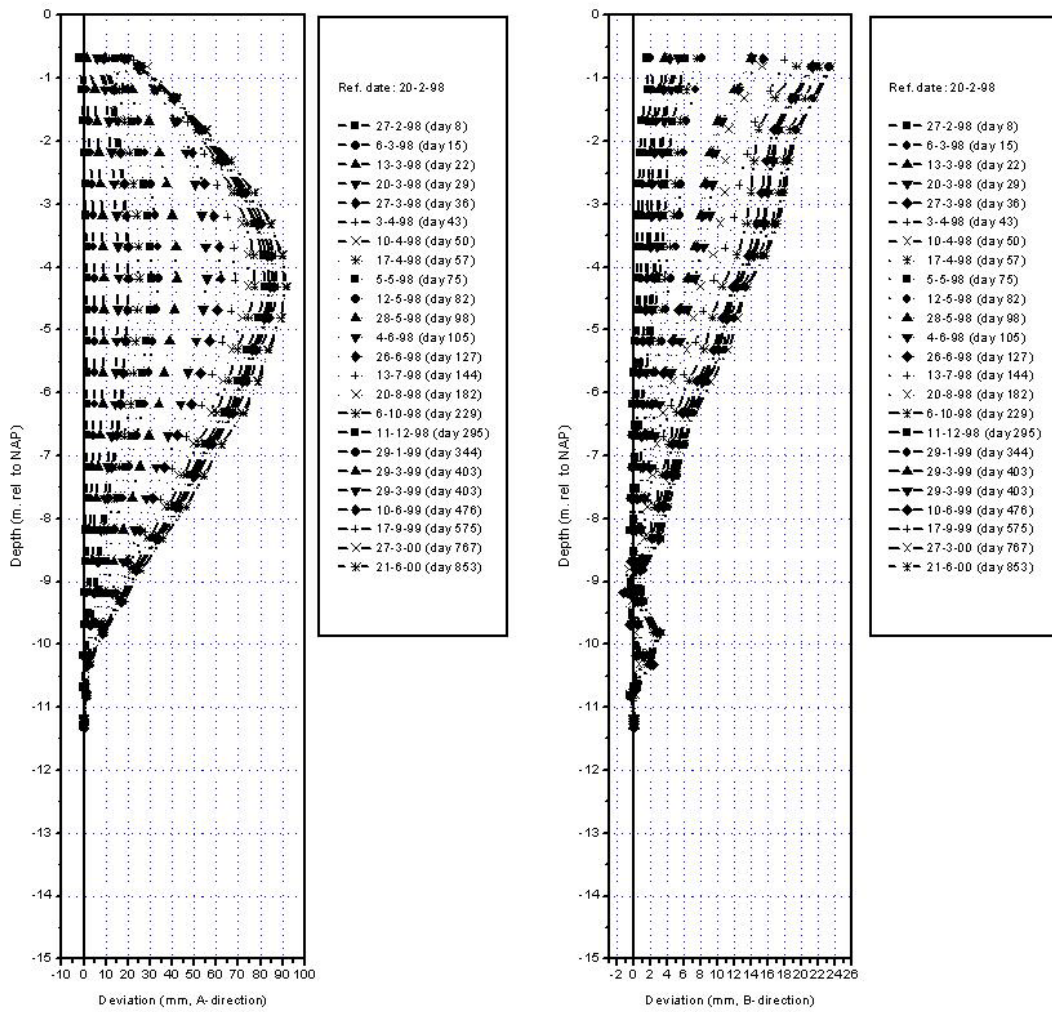


Trek een rechte lijn (AB) die door zoveel mogelijk samendrukking-tijdpunten gaat en die de geringste hellingshoek met de ordinaat (samendrukkings-as) maakt (de lijn AB moet dus door het buigpunt van de kromme gaan).

Trek een tweede rechte lijn (DEF) rakend aan het gedeelte van de samendrukkingstijd kromme, waarvan de helling constant is.

Bepaal het snijpunt van de twee verkregen rechte lijnen (AB en DEF). Dit snijpunt (C) is de samendrukking waarbij het proefstuk volledig, dat wil zeggen voor 100 %, is geconsolideerd.

Bijlage 2-7: HW1 horizontale verplaatsing hoge aardebaan als functie van de tijd INCP1-1



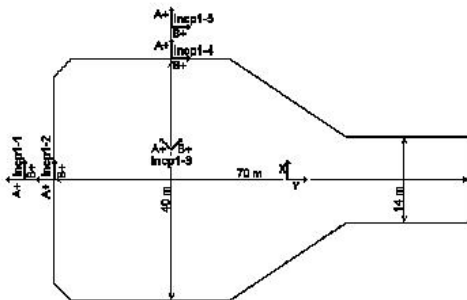
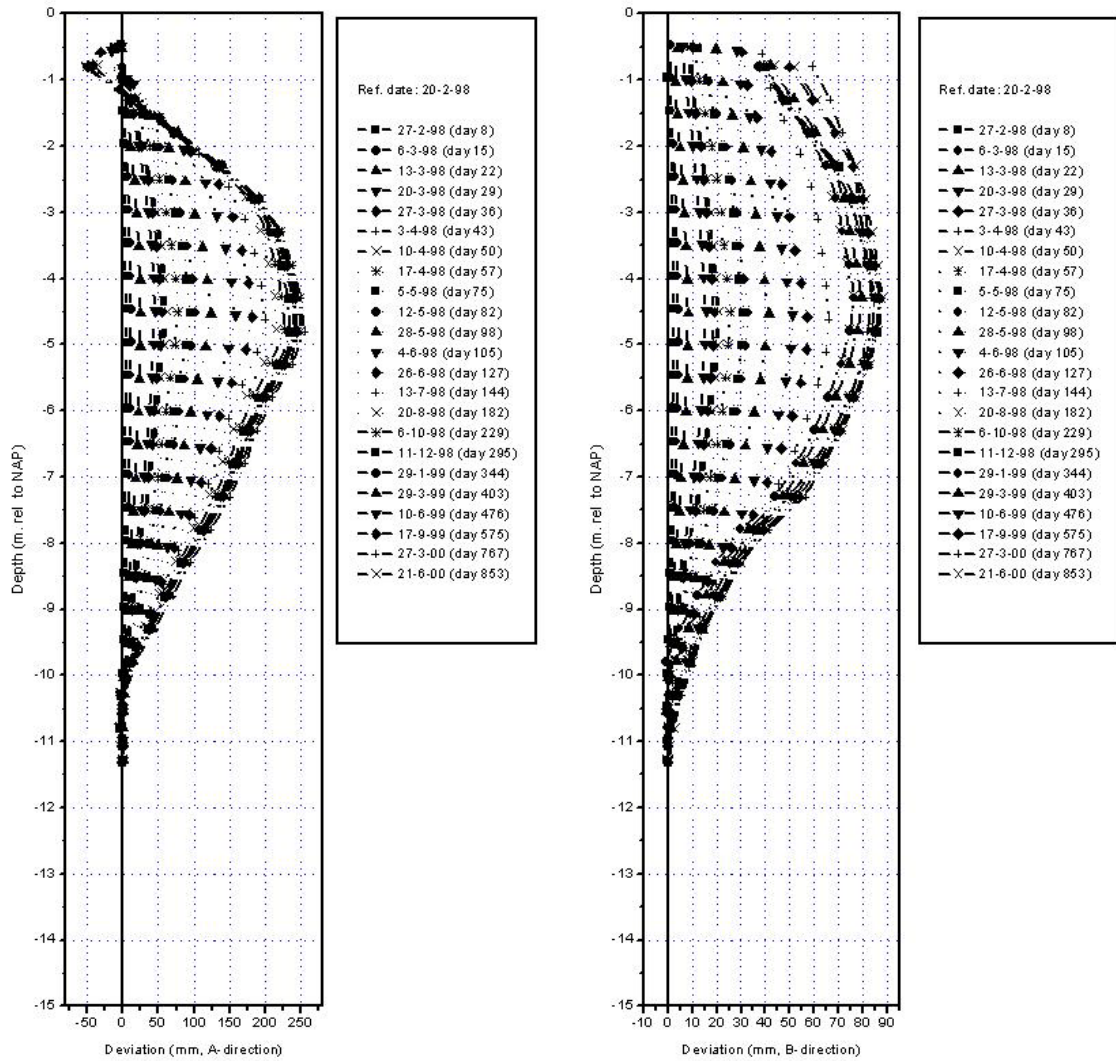
Inclinometer xy position (local, m): -44, 0, high section

**INCLINOMETERS**

N0-RECESS TEST SITE HOEKSCHIE WAARD, HW1  
HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
Supp.:

Bijlage 2-8: HW1 horizontale verplaatsing hoge aardebaan als functie van de tijd INCP1-2



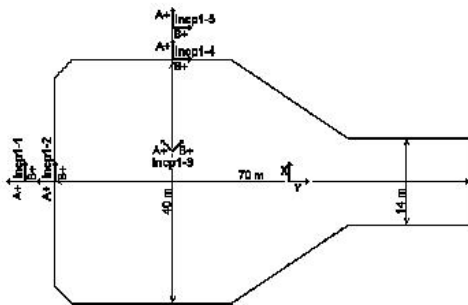
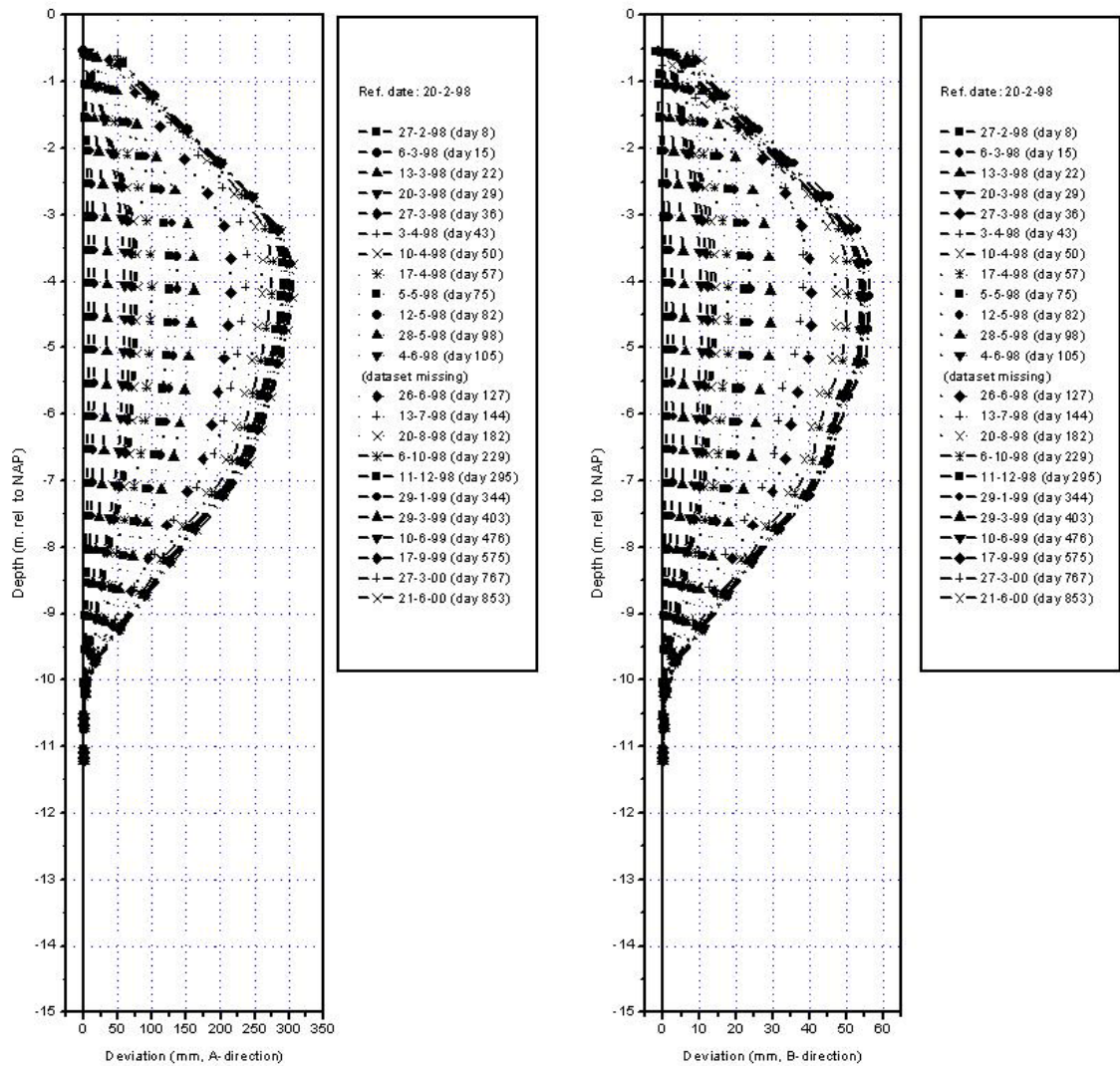
Inclinometer xy position (local, m): -40, 0, high section

**INCLINOMETERS**

NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHÉ WAARD, HW1  
 HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
 Supp.:

Bijlage 2-9: HW1 horizontale verplaatsing hoge aardebaan als functie van de tijd INCP1-4



Inclinometer xy position (local, m): -19, 20, high section

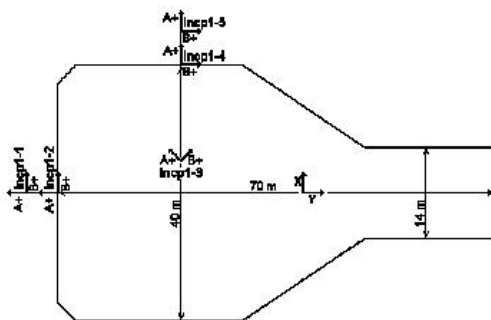
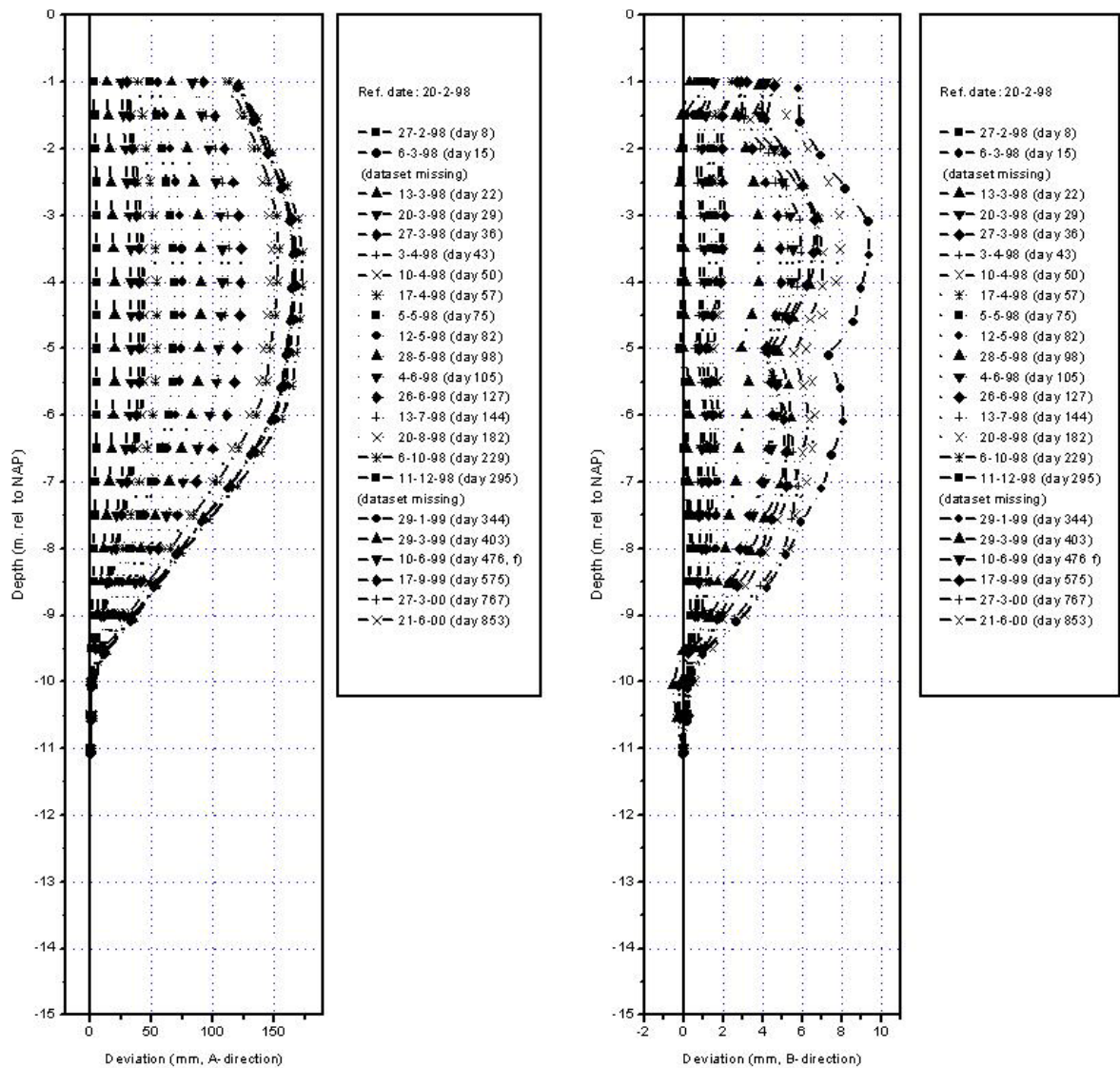
**INCLINOMETERS**

NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHE WAARD, HW1  
 HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
 Supp.:



Bijlage 2-10: HW1 horizontale verplaatsing hoge aardebaan als functie van de tijd INCP1-5



Inclinometer xy position (local, m): -19, 25, high section

**INCLINOMETERS**

NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHÉ WAARD, HW1  
 HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
 Supp.:

Bijlage 2-11: Parameterbepaling

6 boringen

18 triaxiaalproeven "CU" (3 per boring)  
 19 samendrukkingsproeven (3 per boring) (1 extra bij boring 3)

Borehole / sample	Diepte [m NAP]	Grondsoort	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E_{umdr,50}$ [MPa]	$p'_c$ [kPa]	Cp		Cs		Cp'		Cs'		a-b-c isotachenmodel			$\sigma'_3$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
									Cp1	Cs1	Cp2	Cs2	a	b	c	$\lambda^* = 2a$	$\lambda^* = 1/Cp'$	$\kappa^* = 2/Cp$	$E_{dr,50}$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$E_{oed,ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
B0-1/4	-2.24	veen	9	15	15	0		45.4	47.4	361.5	17.4	159.2	0.06	0.002							
B0-1/15	-6.39	veen	5.4	12.4	12.4	7	19	76.1	13	123.6	9.7	133.9	0.16	0.007							
B1-1/8	-3.81	veen	2.4	10.4	10.4	3	20	35.2	17.2	133.4	6.3	79.7	0.22	0.010							
B1-1/13	-5.66	veen	3.7	11.1	11.1	0	23	45.9	18.2	110.5	6.3	130.7	0.22	0.009							
B3-1/5	-2.64	veen	3.4	11.2	11.2	6	16	39	11.3	199.5	8.4	80	0.17	0.005							
B3-1/16	-7.09	veen	4.7	12.4	12.4	9	21	70.1	15.5	108.5	5.9	70.3	0.28	0.014							
B3-1/21	-9.09	veen	5.4	12.5	12.5	10	15	119.9	23.7	194.9	6.8	59.8	0.19	0.005							
B4-1/9	-4.25	veen	2.6	10.5	10.5	1	15	59.2	46.4	356.7	5.9	35.5	0.20	0.005							
B4-1/13	-5.8	veen	3	10.8	10.8	6	21	60.8	35.3	264.7	6.6	45.7	0.18	0.005							
B4-1/18	-7.9	veen	4.6	11.8	11.8	5	19	81.3	36.5	290.9	6.3	54.7	0.19	0.004							
B5-1/8	-4	veen	1.7	10	10	1	19	44.5	14.2	70.4	5.9	72.2	0.26	0.011							
B5-1/13	-6	veen	2.7	10.2	10.2	1	19														
		veen (1)	3.1	10.8	10.8	3.7	17.9		22.23	179.83	7.01	82.53	0.20	0.007							499
		veen (2)	4.9	12.2	12.2	5.5	19.3		25.23	198.10	6.33	61.60	0.22	0.007							458
B0-1/9	-4.09	klei	7.7	14.6	14.6	0	19	48.5	23.9	155.5	8.4	93.1	0.16	0.007							
B1-1/18	-7.86	klei	6.1	12.9	12.9	7	14	49.9	12.1	98.7	10.2	579.1	0.09	0.007							
B2-1/8	-4.04	klei	5.9	12.9	12.9	3	20	39.4	33.8	184.2	7.3	96.9	0.17	0.007							
B2-1/13	-6.14	klei	8.1	14.4	14.4	0	23	65.3	25.3	132.6	12.7	152.3	0.04	0.10							
B2-1/18	-7.99	klei	8	14.5	14.5	6	21	75.7	17.2	110.3	10.2	144.6	0.05	0.006							
B3-1/11	-5.04	klei	7.3	14.1	14.1	5	19	59.2	15.9	214.4	10.3	131.3	0.07	0.014							
B5-1/18	-7.9	klei	4.3	11.9	11.9	1	19	61.4	19.5	110.1	6	68.4	0.23	0.010							
		klei (org)	6.8	13.6	13.6	0.6	22.3		21.1	143.7	9.3	180.8	0.15	0.007							646
<b>Triaxiaalproeven</b>																					
B0-1/15	-6.59	veen	5.8	13.2	13.2	0	19	3.1													
B1-1/9	-3.96	veen	3.2	11.5	11.5	7	14	1.6													
B1-1/13	-5.86	veen	4.4	12.1	12.1	3	20	0.7													
B3-1/5	-2.54	veen	3.7	11.5	11.5	0	23	1.4													
B3-1/16	-6.99	veen	5.5	12.5	12.5	6	16	2.3													
B3-1/21	-9.19	veen	5.8	12.9	12.9	9	21	2													
B4-1/9	-4.55	veen	2.5	10.9	10.9	10	15	1.1													
B4-1/12	-5.55	veen	3.2	11.1	11.1	1	15	0.5													
B4-1/18	-8.05	veen	5.1	12.3	12.3	6	21	2.6													
B5-1/13	-5.9	veen	3.6	11.4	11.4	5	19	2.3													
B5-1/18	-8.05	veen	3.3	10.9	10.9	1	19	0.8													
		veen (1)	3.8	11.7	11.7	3.7	17.9	1.53													9.1
		veen (2)	4.9	12.2	12.2	5.5	19.3	1.93													14.9
B0-1/4	-2.04	klei	10.4	15.7	15.7	0	26	7.2													
B0-1/9	-3.99	klei	7.5	14.2	14.2	0	18	4.5													
B1-1/18	-7.86	klei	6	13	13	1	19	4.1													
B2-1/8	-3.89	klei	5.1	12.6	12.6	1	23	2.1													
B2-1/13	-6.19	klei	7.5	14.3	14.3	1	24	3.6													
B2-1/18	-8.14	klei	7.8	14.6	14.6	1	25	2.5													
B3-1/11	-5.14	klei	7.7	14.3	14.3	0	21	2.7													
		klei (org)	7.4	14.1	14.1	0.6	22.3	3.8													12.3

De invoerparameters:

veen (1)	
veen (2)	
klei (org)	

11.2	3.7	17.9
12.2	5.5	19.3
13.9	0.6	22.3

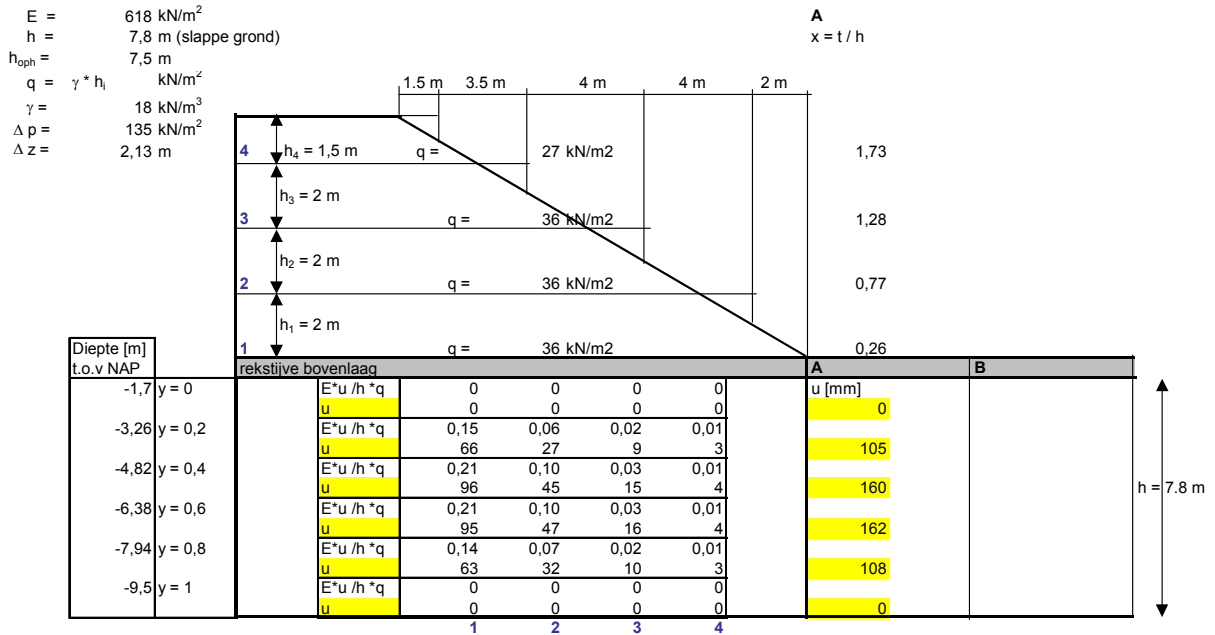
0.20	0.08	2.4
0.22	0.07	3.2
0.15	0.09	1.7

2485	499
2185	458
8451	646

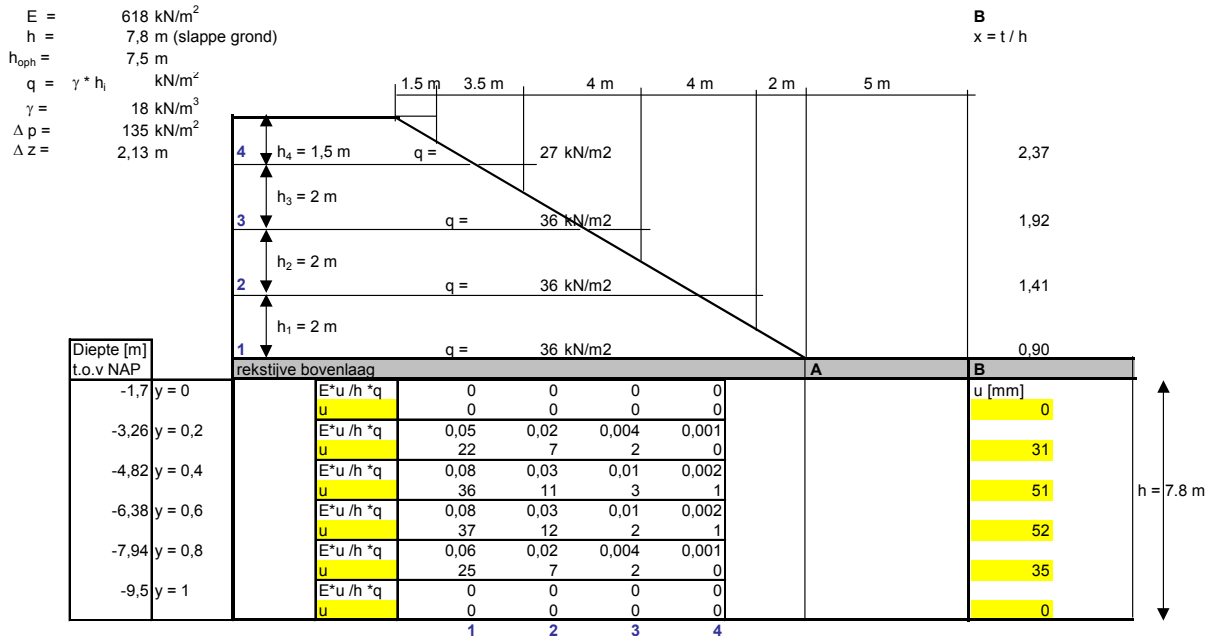
NB: i.v.m grote afwijking t.o.v. gemiddelde waarden is het monster B0-1/4 (samendrukkingsproef) niet meegenomen in de parameterbepaling  
 B5-1/8 monster is gebruikt alleen voor het bepalen van  $\gamma_{grond}$   
 veenlagen onder NAP - 7,0 m vallen onder veen (2)

## Bijlage 2-12: Loof geval berekeningen

Aan de teen:



5 m uit de teen:

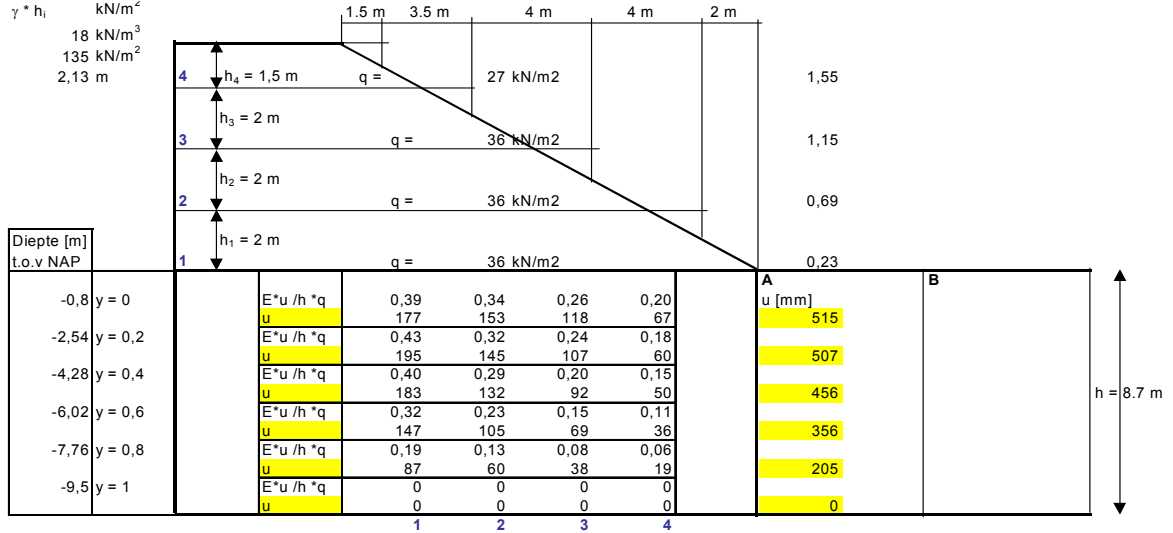


## Bijlage 2-13: IJsseldijk geval berekeningen

Aan de teen:

$E = 689 \text{ kN/m}^2$   
 $h = 8,7 \text{ m (slappe grond)}$   
 $h_{\text{oph}} = 7,5 \text{ m}$   
 $q = \gamma * h_i \text{ kN/m}^2$   
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$   
 $\Delta p = 135 \text{ kN/m}^2$   
 $\Delta z = 2,13 \text{ m}$

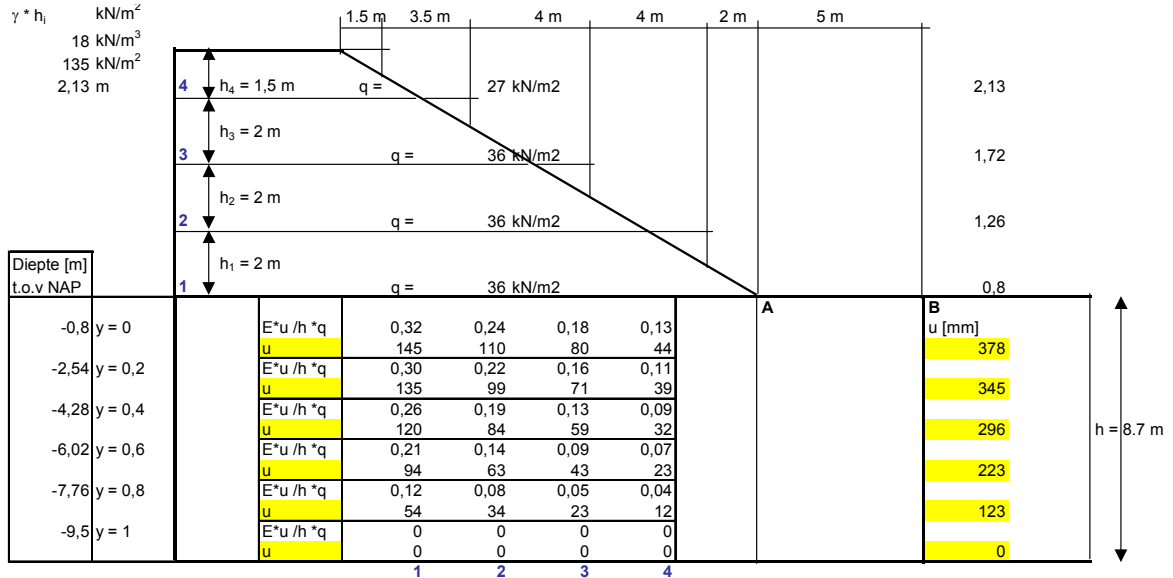
$A$   
 $x = t / h$



5m uit de teen:

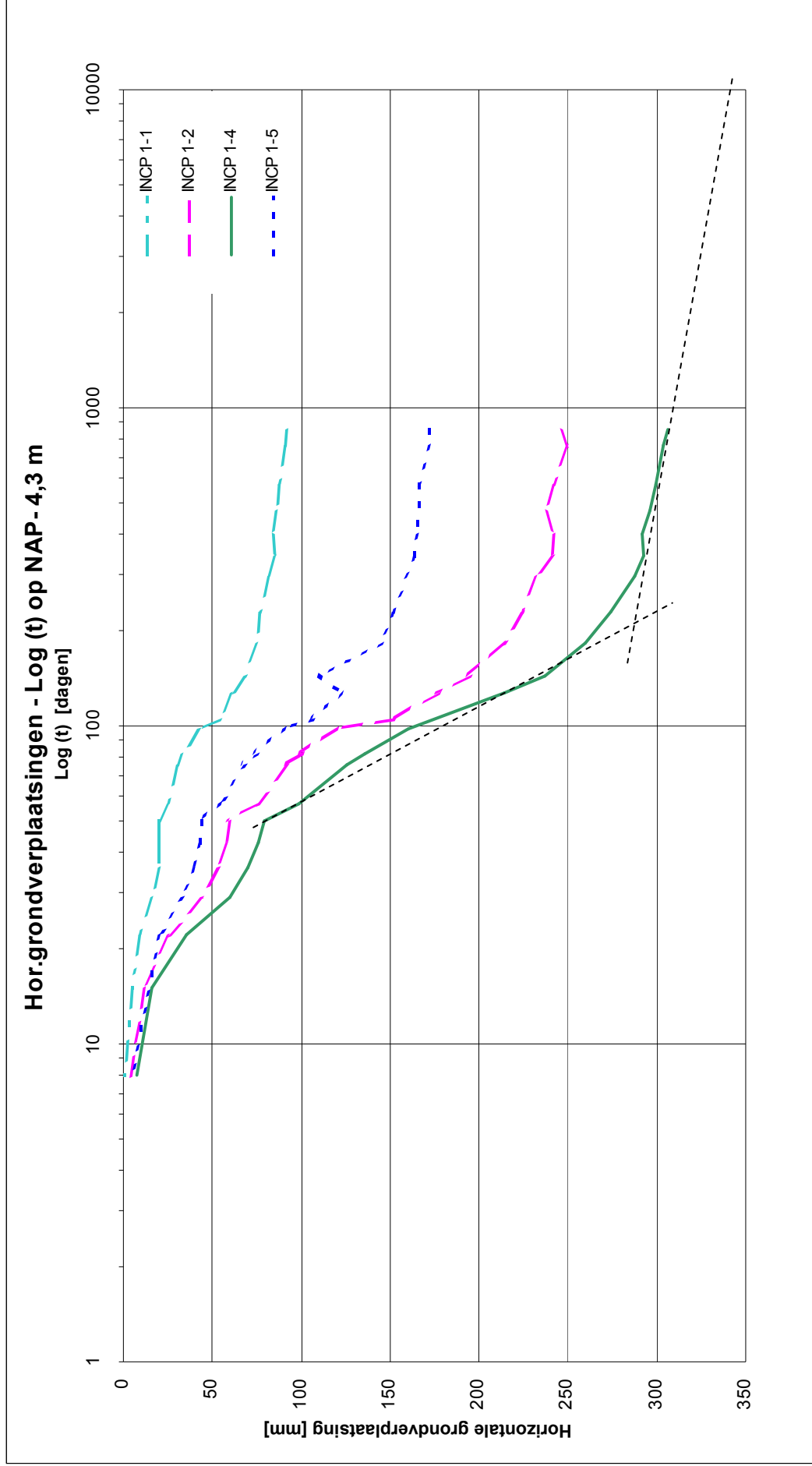
$E = 689 \text{ kN/m}^2$   
 $h = 8,7 \text{ m (slappe grond)}$   
 $h_{\text{oph}} = 7,5 \text{ m}$   
 $q = \gamma * h_i \text{ kN/m}^2$   
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$   
 $\Delta p = 135 \text{ kN/m}^2$   
 $\Delta z = 2,13 \text{ m}$

$B$   
 $x = t / h$



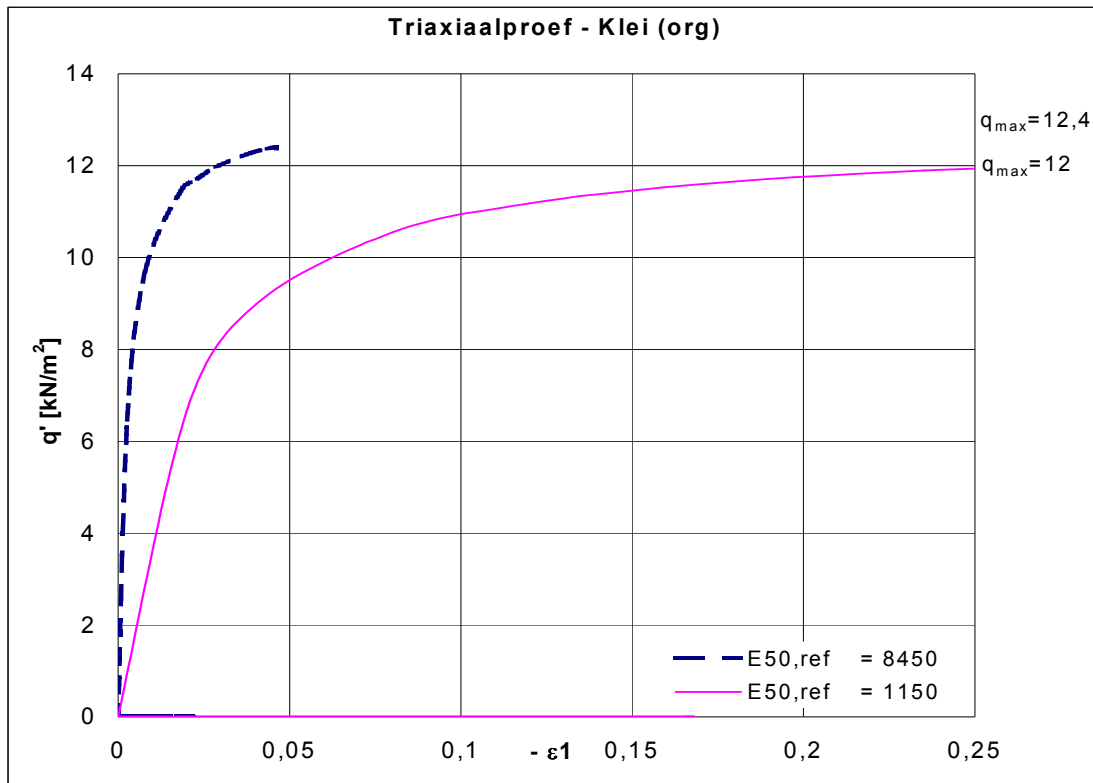


Bijlage 2-14: Horizontale grondverplaatsingen als functie van log-tijd op NAP - 4,3 m



## Bijlage 2-15: Plaxis-triaxiaalproef

Klei monster B0-1/9; triaxiaalproef uitgevoerd met een consolidatiespanning van 16 kPa.



De  $E_{50,undr}$  wordt bepaald voor twee verschillende waarden van  $E_{50}^{ref}$  :

1. zoals bepaald in Bijlage

$$E_{50}^{ref} = 8450 \text{ kPa}$$

$$E_{oed}^{ref} = 5450 \text{ kPa (deze waarde is een Plaxis-suggestie met een } \frac{E_{50}^{ref}}{E_{oed}^{ref}} \approx 1,55)$$

$$E_{ur}^{ref} = 16900 \text{ kPa } (=2E_{50}^{ref})$$

$$E_{50,undr} = \frac{\frac{q_{max}}{2}}{\epsilon_1} = \frac{6,2}{2,42 \cdot 10^{-3}} = 2,6 \text{ MPa } < 4,5 \text{ MPa ( uit Bijlage )}$$

2. zoals bepaald in Tabel 5-10 van het rapport

$$E_{50}^{ref} = 1150 \text{ kPa}$$

$$E_{oed}^{ref} = 646 \text{ kPa}$$

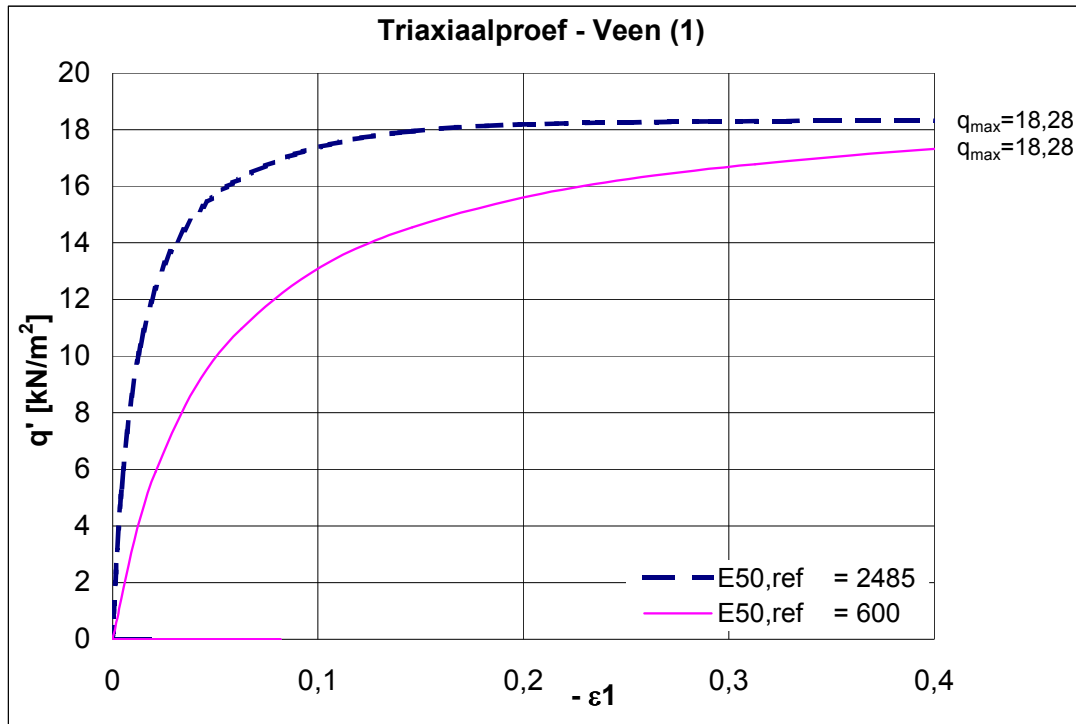
$$E_{ur}^{ref} = 2300 \text{ kPa } (=2E_{50}^{ref})$$

$$E_{50,undr} = \frac{\frac{q_{max}}{2}}{\epsilon_1} = \frac{6}{0,019} = 0,3 \text{ MPa } << 4,5 \text{ MPa}$$

Uit bovenstaande berekeningen is te zien dat de  $E_{50}^{ref}$  bepaald in Bijlage 2-11 betere resultaten van  $E_{50,undr}$  geeft.

Bijlage 2-16: Plaxis-triaxiaalproef

Veen monster B5-1/13; triaxiaalproef uitgevoerd met een consolidatiespanning van 18 kPa.



De  $E_{50,undr}$  wordt bepaald voor twee verschillende waarden van  $E_{50}^{ref}$  :

1. zoals bepaald in Bijlage

$$E_{50}^{ref} = 2485 \text{ kPa}$$

$$E_{oed}^{ref} = 2220 \text{ kPa} \quad (\text{deze waarde is een Plaxis-suggestie met een } \frac{E_{50}^{ref}}{E_{oed}^{ref}} \approx 1,12)$$

$$E_{ur}^{ref} = 6460 \text{ kPa} (=2,6E_{50}^{ref})$$

$$E_{50,undr} = \frac{\frac{q_{max}}{2}}{\varepsilon_1} = \frac{9,14}{0,012} = 0,76 \text{ MPa} < 2,3 \text{ MPa (uit Bijlage)}$$

2. zoals bepaald in Tabel 5-10 van het rapport

$$E_{50}^{ref} = 600 \text{ kPa}$$

$$E_{oed}^{ref} = 499 \text{ kPa}$$

$$E_{ur}^{ref} = 1440 \text{ kPa} (=2,4E_{50}^{ref})$$

$$E_{50,undr} = \frac{\frac{q_{max}}{2}}{\varepsilon_1} = \frac{9,14}{0,048} = 0,19 \text{ MPa} < 2,3 \text{ MPa}$$

Uit bovenstaande berekeningen is te zien dat de  $E_{50}^{ref}$  bepaald in Bijlage 2-11 betere resultaten van  $E_{50,undr}$  geeft





Bijlage 3-3: OCR, sterkte- en samendrukkingsparameter bepaling

Triaxiaalproeven	Boring/ monster	Diepte [m-NAP]	Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ] bij verschillende axiale rekken						$\phi'$ [°] bij verschillende axiale rekken									
						0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	3,0%	4,0%	6,0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%	
						Rekenwaarde						Rekenwaarde									
Bosveen	B0-1/15	-6,59	PEAT very clayey grey/black	13,2	5,8	1	0	0	0	0	0	10	13	16	19						
	B1-1/19	-3,96	PEAT highly organic wood fragments	11,5	3,2	3	5	6	7	9		6	10	12	14	16					
	B1-1/13	-5,86	PEAT very clayey brown	12,1	4,4	2	3	3	3	5	6	7	10	14	17	20	24	27	30	32	
	B3-1/15	-2,54	PEAT slightly clayey wood fragments	11,5	3,7	0	0	0	0	0		11	16	20	23						
	B4-1/19	-4,55	PEAT highly organic wood fragments	10,9	2,5	6	8	9	10	12	14	15	5	9	12	15	19	22	25	30	
	B4-1/12	-5,55	PEAT highly organic wood fragments	11,1	3,2	1	1	1	1	3	4	4	8	11	14	15	19	21			
	B5-1/13	-5,9	PEAT slightly clayey wood fragments	11,4	3,6	3	4	4	5	6	8	8	10	14	17	19	23	27			
	Gemiddelde						2,29	3,14	3,29	3,71	7,00	8,00	11,00	12,43	15,43	17,86	20,20	24,25	27,50	31,00	
	Rekenwaarde						1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	8,57	12,43	15,43	17,86	20,20	24,25	27,50	31,00
	Klei (siltig, org)	B0-1/14	-2,04	CLAY extremely silty moderately organic	15,7	10,4	1	0	0	0	0		20	24	26	28					
		B0-1/19	-3,99	CLAY extremely silty moderately organic	14,2	7,5	0	0	0	0	0		12	16	18	19					
		B1-1/18	-7,86	CLAY extremely silty moderately organic	13	6	1	1	1	1	1		12	16	19	22					
		B2-1/18	-3,89	CLAY extremely silty very organic	12,6	5,1	1	1	1	1	2		13	18	21	23	27				
B2-1/13		-6,19	CLAY extremely silty	14,3	7,5	1	1	1	1	1		15	20	24	27						
B2-1/18		-8,14	CLAY extremely silty very organic	14,6	7,8	2	2	2	2	3		14	19	23	25	29	31	33			
B3-1/11		-5,14	CLAY extremely silty moderately organic	14,3	7,7	0	0	0	0	0		14	19	21	24						
Gemiddelde						0,83	0,83	0,83	0,50	2,00	3,00	3,00	13,33	18,00	21,00	23,33	28,00	31,00	33,00		
Rekenwaarde						1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	13,33	18,00	21,00	23,33	28,00	31,00	33,00		
Basisveen		B3-1/16	-6,99	PEAT slightly clayey brown	12,5	5,5	5	6	6	6	7	8	7	9	13	16	19	22	24		
		B3-1/21	-9,19	PEAT highly organic brown/black	12,9	5,8	8	8	8	9	10	11	11	12	18	21	26	30	33	36	
		B4-1/18	-8,05	PEAT slightly clayey black	12,3	5,1	4	5	6	6	8	9	9	14	18	21	26	30	32	32	
		B5-1/18	-8,05	PEAT slightly clayey brown/grey	10,9	3,3	0	1	1	1	2	3	4	11	14	17	19	23	26	29	31
	Gemiddelde						4,25	5,00	5,25	5,50	6,75	7,75	7,50	12,25	16,50	19,25	23,50	27,00	29,50	33,50	
Rekenwaarde						1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	8,25	12,25	16,50	19,25	23,50	27,00	29,50	33,50	

Samendrukkingsproeven	Boring/ monster	Diepte [m-NAP]	Grondsoort	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\kappa^* = a$	$\lambda^* = b$	$\mu^* = c$	Cp	Cs	Cp'	Cs'	OCR <sub>vy</sub>		$\kappa^* = \frac{\lambda^* - \mu^*}{1 - \mu^*}$	$\mu^*$	
													Iso	NEN			
													Rekenwaarde				
Bosveen	B0-1/14	2,24	PEAT highly organic wood fragments brown	15	9	0,0160	0,0646	0,0033	15,3	96,6	10,2	97,5	1,26	1,12	4,04	14,73	
	B0-1/15	6,39	PEAT very clayey black with clay layers	12,4	5,4	0,0770	0,1560	0,0076	28,5	347,4	6,7	61,9	1,37	1,42	2,03	10,39	
	B1-1/18	3,81	PEAT brown highly organic wood fragments brown	10,4	2,4	0,0361	0,2224	0,0125	27,4	176,8	6,9	82,8	1,60	1,73	6,16	14,90	
	B1-1/13	5,66	PEAT slightly clayey wood fragments brown/grey	11,1	3,7	0,0391	0,2222	0,0108	18,3	171,3	9,0	87,4	1,93	1,97	5,68	16,95	
	B3-1/15	2,64	PEAT slightly clayey wood fragments brown	11,2	3,4	0,0601	0,1702	0,0076	35,3	264,7	6,6	45,7	1,19	1,53	2,83	14,49	
	B4-1/19	4,25	PEAT highly organic wood fragments brown	10,5	2,6	0,0175	0,1950	0,0140	36,4	137,6	4,8	39,6	1,66	1,66	11,14	12,68	
	B4-1/13	5,80	PEAT highly organic wood fragments brown	10,8	3	0,0206	0,1797	0,0119	23,5	133,9	6,0	63,1	1,58	1,53	8,72	13,37	
	B5-1/18	4,00	PEAT highly organic wood fragments brown	10	1,7	-	-	-	28,2	143,2	7,2	68,3	1,32	1,10	5,68	15,92	
	B5-1/13	6,00	PEAT slightly clayey wood fragments brown	10,2	2,7	0,0452	0,2569	0,0133	28,2	143,2	7,2	68,3	1,32	1,10	5,68	15,92	
	Gemiddelde						0,0364	0,2077	0,0117	28,2	143,2	7,2	68,3	1,49	1,31	5,70	14,66
	Rekenwaarde						0,0364	0,2077	0,0117	28,2	143,2	7,2	68,3	1,40	1,40	5,70	14,66
	Klei (siltig, org)	B0-1/19	4,09	CLAY extremely silty moderately organic peat traces	14,6	7,7	0,0380	0,1392	0,0078	36,3	207,8	9,2	71,2	1,10	1,13	3,66	12,97
		B1-1/18	7,86	CLAY extremely silty moderately organic peat traces wood	12,9	6,1	0,0882	0,1533	0,0070	62,0	430,5	8,6	66,4	1,78	1,39	1,74	9,30
B2-1/18		4,04	CLAY extremely very organic peat traces brown/grey	12,9	5,9	0,0173	0,1711	0,0077	25,3	132,6	12,7	152,3	1,37	1,30	9,89	19,97	
B2-1/13		6,14	CLAY extremely silty moderately organic brown	14,4	8,1	0,0400	0,1005	0,0056	23,2	123,1	10,8	95,0	1,42	1,25	2,87	13,56	
B2-1/18		7,99	CLAY extremely silty very organic peat traces grey/brown	14,5	8	0,0464	0,1332	0,0064	15,9	214,4	10,3	131,3	2,00	1,89	2,06	14,00	
B3-1/11	5,04	CLAY extremely silty moderately organic grey	14,1	7,3	0,0671	0,1385	0,0051	0,0121				1,58	1,41	7,39	16,52		
B5-1/18	7,90	CLAY extremely silty very organic with traces of peat	11,9	4,3	0,0313	0,2312	0,0121	25,2	169,5	10,3	77,5	1,54	1,40	3,25	14,29		
Gemiddelde						0,0469	0,1524	0,0074	25,2	169,5	10,3	77,5	1,47	1,47	3,25	14,29	
Rekenwaarde						0,0469	0,1524	0,0074	25,2	169,5	10,3	77,5	1,47	1,47	3,25	14,29	
Basisveen	B3-1/16	7,09	PEAT slightly clayey brown	12,4	4,7	0,0461	0,2794	0,0122	23,6	113,0	6,2	47,1	2,07	1,79	6,06	19,12	
	B3-1/21	9,09	PEAT highly organic brown/black	12,5	5,4	0,0330	0,1880	0,0083	23,7	194,9	6,8	59,8	2,59	2,50	5,70	18,67	
	B4-1/18	7,90	PEAT slightly clayey black	11,8	4,6	0,0225	0,1870	0,0100	36,5	290,9	6,3	54,7	2,02	1,98	8,31	16,45	
	Gemiddelde						0,0339	0,2181	0,0102	27,9	154,0	6,4	53,9	2,04	1,89	6,44	18,12
Rekenwaarde						0,0339	0,2181	0,0102	27,9	154,0	6,4	53,9	1,96	1,96	6,44	18,12	

rood  
groen  
extrapolatie  
interpolatie  
Niet meegenomen in het gemiddelde vanwege sterke afwijkingen m.b.t. de andere meetwaarde en / of onduidelijkheid over grondsoort.

### Bijlage 3-4: Bepaling k-waarde

In de onderstaande tabel zijn op basis van samendrukkingsproef resultaten de gemiddelde  $k_{xx}$ ,  $k_{yy}$  en  $c_v$ -waarden voor de verschillende lagen berekend. Hierbij is gekeken naar de belastingstappen waarbij de effectieve spanningen overeenkomen met de effectieve spanningen onder de ophoging, zoals die verwacht worden na het aanbrengen van de ophoging ( $110 \text{ kN/m}^2$ ). In de tabel zijn de verticale effectieve spanningen welke horen bij de verschillende stappen opgenomen. De berekening van deze waarden is gedaan a.d.h.v het spreadsheet Oedometer\_v1.17b. De waarden zijn daarbij zowel bepaald a.d.h.v de methoden Taylor en Cassagrande.

	Boring/ monster	Verticale spanning [kN/m <sup>2</sup> ]	c <sub>v</sub> -waarde		k <sub>yy</sub> -waarde		k <sub>xx</sub> -waarde [m/d]		
			Cassagrande [m <sup>2</sup> /d]	Taylor [m <sup>2</sup> /d]	Cassagrande [m/d]	Taylor [m/d]			
Bosveen	B01-15	63	1,73E-03	3,54E-03	3,31E-05	5,18E-05			
		126	1,73E-03	2,94E-03	1,88E-05	2,51E-05			
	B11-8	65	7,78E-03	2,07E-02	1,99E-04	3,72E-04			
		130	3,46E-03	7,60E-03	6,51E-05	1,04E-04			
	B11-13	79	6,91E-03	1,99E-02	1,39E-04	2,68E-04			
	B31-5	122	1,81E-03	8,04E-03	2,98E-05	8,21E-03			
	B41-13	79		5,18E-02		3,37E-04			
	B51-8	83	1,12E-02	2,16E-02	2,59E-04	3,72E-04			
	B51-13	90	1,04E-02	3,89E-02	2,51E-04	5,62E-04			
	Gemiddelde			5,63E-03	1,94E-02	1,24E-04		2,61E-04	
Gem (tussen Cassagrande en Taylor)			1,25E-02		1,93E-04		3,86E-04		
Klei (siltig, org)	B01-9	83	1,64E-03	2,94E-03	2,46E-05	3,54E-05			
	B11-18	112	1,90E-03	4,75E-03	2,63E-05	4,67E-05			
	B21-8	122	1,47E-03	3,02E-03	2,57E-05	3,89E-05			
	B21-13	90		5,88E-03		2,85E-05			
		67	5,18E-03	7,69E-03	5,79E-05	7,08E-05			
	B21-18	133		4,49E-03		2,85E-05			
		94	2,25E-03	5,36E-03	2,85E-05	5,10E-05			
	Gemiddelde			1,81E-03	4,41E-03	2,63E-05		3,82E-05	
	Gem (tussen Cassagrande en Taylor)			3,11E-03		3,22E-05		3,22E-05	
	Basisveen	B31-16	65		3,54E-04			3,54E-04	
130			1,21E-02	1,21E-02	1,39E-04	1,30E-04			
B31-21		76	1,30E-02	5,36E-02	9,76E-05	2,68E-04			
		151		3,28E-02		1,12E-04			
B41-18		97		6,05E-02		2,76E-04			
B51-18		112	2,07E-03	4,32E-03	3,67E-05	5,62E-05			
Gemiddelde			9,04E-03	3,27E-02	9,12E-05	1,68E-04			
Gem (tussen Cassagrande en Taylor)			2,09E-02		1,30E-04		2,60E-04		

Niet meegenomen bij de gemiddelde waarden i.v.m. grote afwijking t.o.v. de gemiddelden

Voor de Bos- en Basis veenlagen is aangenomen dat de horizontale permeabiliteit ( $k_{xx}$ ) 2 maal zo groot is dan de verticale permeabiliteit ( $k_{yy}$ ).

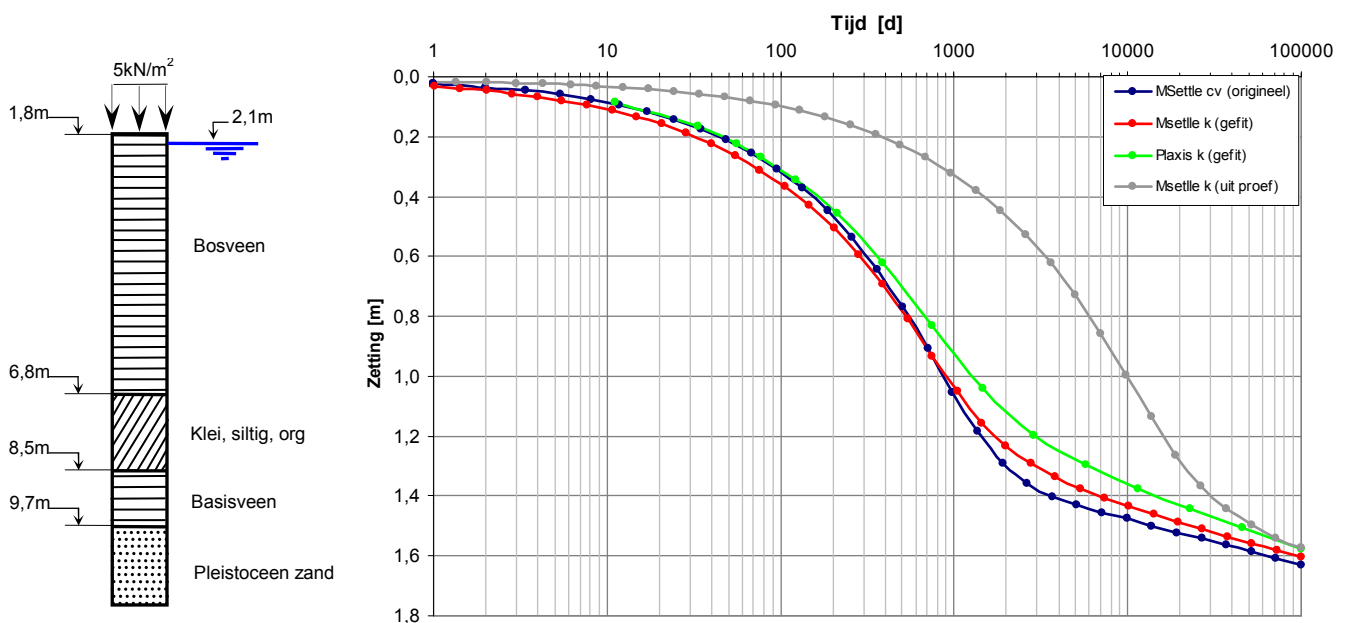
A.d.h.v. de berekeningen met de  $c_v$  en  $k_{yy}$ -waarden (zie bovenstaande tabel), volgde dat de consolidatieperiode met de  $k_{yy}$ -waarden overschat wordt. De reden hiervan is onbekend. Het spreadsheet berekent  $k_{yy}$  op basis van de onderstaande vergelijking,

$$k_{yy} = \gamma_w * m_v * c_v$$

In deze vergelijking wordt  $m_v$  bepaald a.d.h.v. de onderstaande vergelijking. Hierbij staat  $\Delta h$  voor de hoogte verandering in de betreffende trap.  $h_\infty$  staat voor de hoogte aan het einde van de consolidatieperiode.

$$m_v = \frac{\Delta h}{h_\infty \cdot \Delta \sigma'_{yy}}$$

Vooraf de bepaling van de  $m_v$ -waarde is een grove benadering van de werkelijkheid. Daarom is ervoor gekozen de consolidatieperiode aan te houden zoals deze volgt uit de  $c_v$ -waarden. De  $k_{yy}$ -waarden zullen nu verhoogd worden totdat de consolidatieperiode overeenkomt met de consolidatieperiode volgend uit de  $c_v$ -waarden. Het verhogen van de  $k_{yy}$ -waarden is gedaan a.d.h.v. MSettle berekeningen op grondprofiel 'oost' met OCR-waarden van 1. In eerste instantie is een berekening gemaakt met de  $c_v$ -waarden. Vervolgens zijn de  $k_{yy}$ -waarden van de verschillende lagen, zoals deze volgen uit de samendrukkingsproef met factoren vermenigvuldigt totdat de tijd-zettingscurven gelijke consolidatieperioden geven. Er is gerekend met een belastingsverhoging van  $5\text{kN/m}^2$ , deze belasting vangt aan op de Bosveenlaag. De klei toplaag en zandlaag zijn niet meegenomen in deze berekening. In de onderstaande figuur is de geometrie weergegeven. Tevens is ernaast de tijd-zettings grafiek weergegeven.





In de grafiek is het zettingsverloop van een MSettle berekening met de  $c_v$ -waarden weergegeven (blauwe curve). Daarnaast is de curve weergegeven met de  $k_{yy}$ -waarden zoals deze berekend zijn in de samendrukkingsproef (grijze curve). In MSettle en Plaxis zijn vervolgens de  $k_{yy}$ -waarden uit de proef vermenigvuldigd met 15. Het resultaat hiervan is voor de MSettle berekening weergegeven met de rode curve. Voor de Plaxis berekening is het resultaat weergegeven met de groene curve.

De curve van de MSettle en Plaxis berekening met de gefitte  $k_{yy}$ -waarden geeft nagenoeg dezelfde consolidatieperiode als de MSettle berekening met de  $c_v$ -waarden. De nieuwe  $k_{yy}$ -waarden en  $k_{xx}$ -waarden zijn opgenomen in de onderstaande tabel. De waarden zijn allen vermenigvuldigd met een factor 15 t.o.v. de waarden volgend uit de samendrukkingsproef.

	<b><math>k_{yy}</math>-waarde</b>	<b><math>k_{xx}</math>-waarde</b>
	<b>[m/d]</b>	<b>[m/d]</b>
Bosveen	2,90E-03	5,79E-03
Klei siltig org	4,83E-04	4,83E-04
Basisveen	1,95E-03	3,90E-03

Bij de No-Recess case zijn verticale drains toegepast. Aangezien er naast plane strain, axisymmetrische berekeningen zijn gemaakt is ervoor gekozen de verticale permeabiliteit aan te passen i.p.v. de optie drains in Plaxis. Het is namelijk de vraag welke h.o.h. afstand tussen de drains gehanteerd moet worden bij axisymmetrische berekeningen. Door de verticale permeabiliteit aan te passen wordt het effect van de verticale drainage in rekening worden genomen. Er wordt zodoende een equivalente verticale permeabiliteit bepaald.

### **Bepaling equivalente verticale permeabiliteit**

Voor de bepaling van de equivalente verticale permeabiliteit is ervoor gekozen gebruik te maken van het spreadsheet verticale drains + ophoogschema. Dit spreadsheet bepaald een equivalente  $c_v$ -waarde ( $c_{v,eq}$ ) voor een aaneengesloten 'slappe' lagen pakket. In eerste instantie wordt voor de aaneengesloten lagen (in dit geval de lagen: Bosveen, klei siltig org en Basisveen) een  $c_{v,eq}$  bepaald. Deze  $c_{v,eq}$  wordt berekend a.d.h.v. Vergelijking 1 (vergelijking 5.28 uit CUR 162).

$$c_{v,eq} = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n h_i \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\sqrt{c_{v,i}}} \right]^2}$$

Vergelijking 1

Met deze  $c_{v,eq}$  wordt dezelfde hydrodynamische periode berekend als met de  $c_v$ -waarden horende bij iedere afzonderlijke laag. De  $c_{v,eq}$  is in dit geval  $8,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{d}$ .

Vervolgens wordt met deze  $c_{v,eq}$  een  $c_{v,eq,dr}$  berekend die de verticale drainage in rekening neemt. Dit gebeurt op een ietwat ingewikkeldere manier dan de berekening van  $c_{v,eq}$ . Hier wordt dan ook niet verder op ingegaan. De benodigde informatie / parameters voor het gebruik van het spreadsheet zijn hieronder opgesomd:

$c_h = 2 * c_{v,eq}$   
 h.o.h. drains = 1 m  
 Drain diameter = 0.064 m  
 Driehoekverband

Hieruit volgt een  $c_{v,eq;dr}$  van  $4,29 * 10^{-1}$  m/d.

Tussen  $c_{v,eq;dr}$  en  $c_{v,eq}$  zit een factor 50. Deze factor wordt gebruikt om de  $k_{yy}$ -waarden van de Bosveen, klei siltig organisch en Basisveen lagen te bepalen. De correcte  $k_{yy}$ -waarden worden vermenigvuldigd met dezelfde factor. De  $k_{yy}$ - en  $k_{xx}$ -waarden voor de lagen met en zonder drains zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

		<b><math>k_{yy}</math>-waarde</b>	<b><math>k_{xx}</math>-waarde</b>
		<b>[m/d]</b>	<b>[m/d]</b>
Zonder drainage	Klei toplaag	4,83E-04	4,83E-04
	Bosveen	2,90E-03	5,79E-03
	Klei siltig org	4,83E-04	4,83E-04
	Basisveen	1,95E-03	3,90E-03
Met drainage	Klei toplaag	2,42E-02	4,83E-04
	Bosveen	1,45E-01	5,79E-03
	Klei siltig org	2,42E-02	4,83E-04

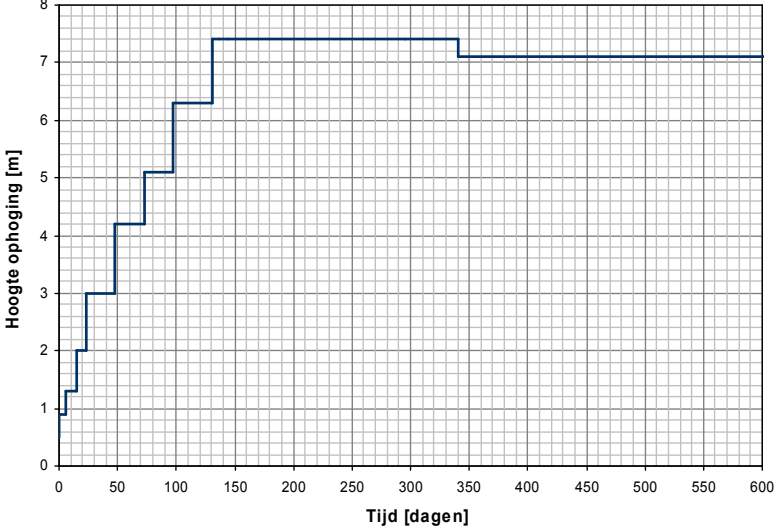
Voor de  $k_{yy}$ - en  $k_{xx}$ -waarden klei toplaag, zijn dezelfde waarden aangehouden als voor de klei siltig organische laag. MSettle en Plaxis berekeningen met  $c_{v,eq;dr}$  geeft nagenoeg dezelfde resultaten als berekeningen met de  $k_{yy}$ -waarden. De drains bevinden zich tenminste 1 meter boven het Pleistocene zand. De Basisveenlaag met zijn dikte van 1,2 meter wordt daarom als ongedraineerd beschouwd.

Bijlage 3-5: Volumieke gewichtsbepaling

Boring	Klei toplaag		Bosveen		Klei (siltig, organisch)		Basisveen	
	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]
B0			13,2	5,8	15,7	10,4		
			12,4	5,4	14,2	7,5		
			15	9	14,6	7,7		
			13,2	5,8	14,2	7,5		
B1	18	14,4	10,5	2,6	12,2	5,6	12,6	5,6
	17	13,5	10,5	3,3	14,6	7,7	11	3,4
			9,9	3	12,9	6,1		
			10,8	3,5	13	6		
			10,4	2,4				
			11,1	3,7				
			11,5	3,2				
			12,1	4,4				
B2	17,7	14,8	10	2	13,7	7,8	10	3
					13,9	7,7		
					14,1	7,7		
					14,3	7,5		
					14,7	9,5		
					12,9	5,9		
					14,4	8,1		
					14,5	8		
					12,6	5,1		
					14,3	7,5		
				14,6	7,8			
B3	17,2	11,9	10,7	3,3	14,8	8,4	11,4	4,4
			11,3	4,7	14,1	7,6	11,1	4,6
					14,9	9	12,4	4,7
			11,2	3,4	14,1	7,3	12,5	5,4
			11,5	3,7	14,3	7,7	12,5	5,5
						12,9	5,8	
B4	19	15,5	9,7	1,8			12,7	5,4
	13,7	7,1	10,8	3			11,8	4,6
			12,4	5,1			12,3	5,1
			11,8	4,5				
			10,5	2,6				
			10,8	3				
			10,9	2,5				
		11,1	3,2					
B5	19,3	15,8	9,4	1,9	11,9	4,3	11,8	4,3
			10,2	2,7			10,9	3,3
			12,2	4,3				
			10	1,7				
			10,2	2,7				
			11,4	3,6				
<b>Gemiddelde</b>	<b>17,58</b>	<b>13,52</b>	<b>10,90</b>	<b>3,26</b>	<b>13,91</b>	<b>7,29</b>	<b>11,79</b>	<b>4,58</b>

Niet meegenomen in het gemiddelde vanwege sterke afwijkingen

Bijlage 3-6: Ophoogschema

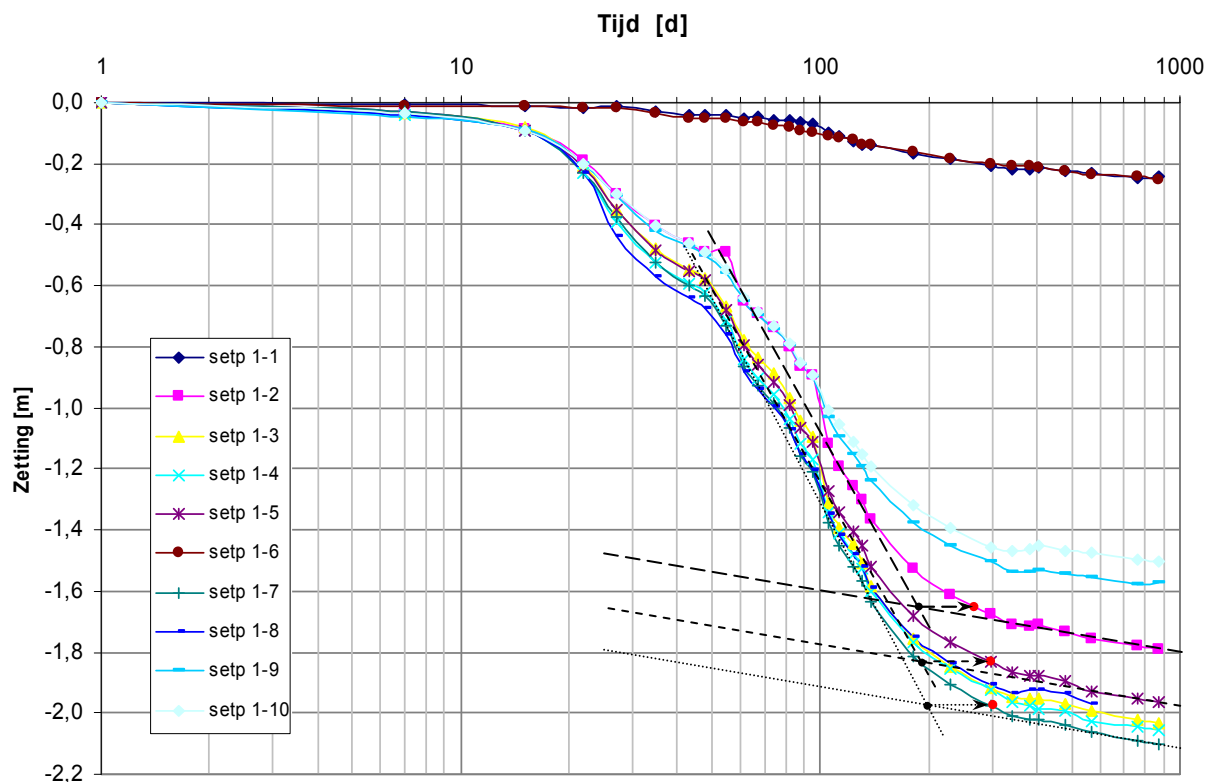


### Bijlage 3-7: Bepaling einde consolidatie en consolidatieperiode

Het einde van de consolidatie is bepaald a.d.h.v. de methode van Cassagrande.

#### **Einde consolidatie**

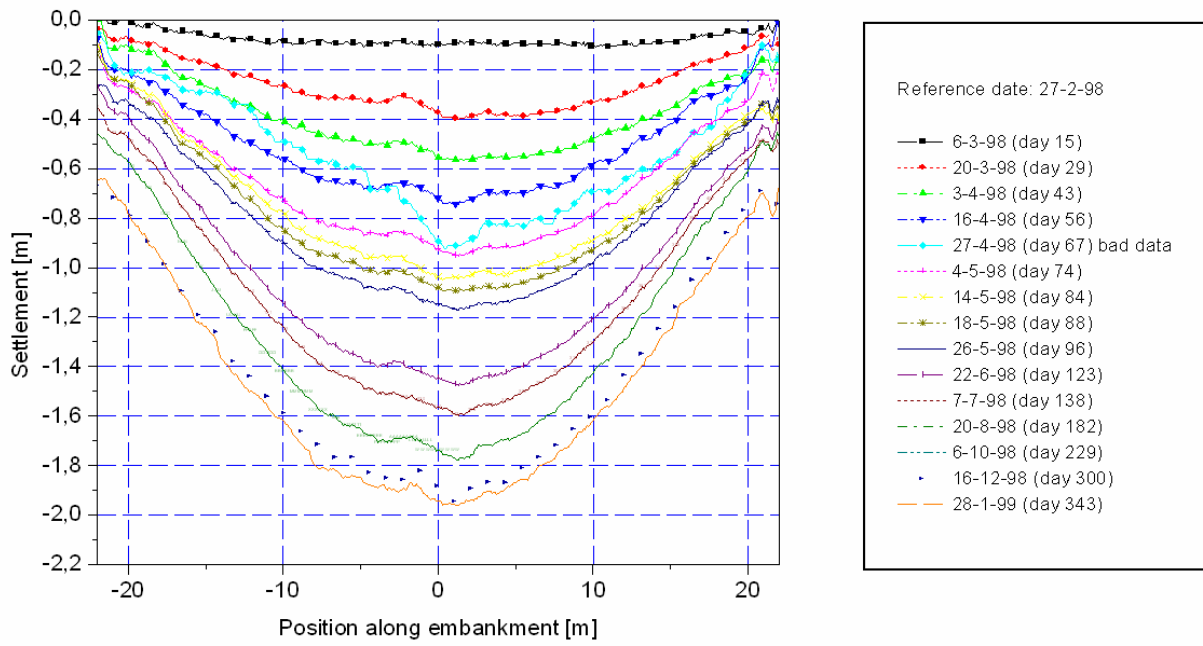
In de onderstaande figuur is de bepaling van het einde van de consolidatie grafisch weergegeven voor zakbaak (setp) 1-2, 1-5 en 1-7.



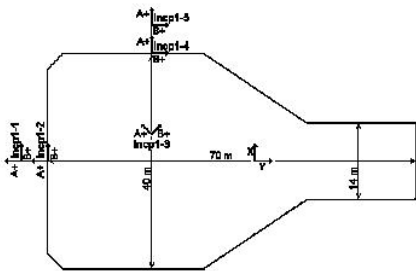
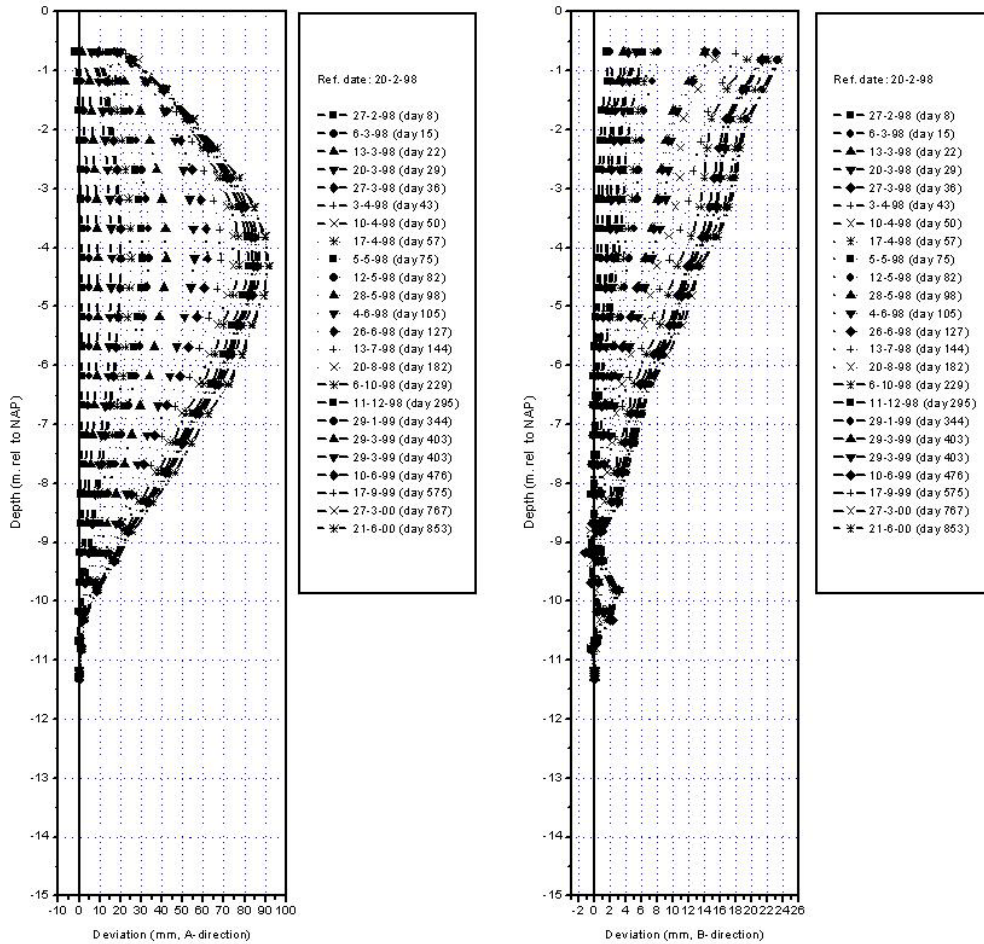
De hellingen van de kruiplijnen komen allen overeen met de te verwachte helling op basis van de gemiddelde waarde voor de seculaire rekcoëfficiënt ( $\mu^*$ ). Deze is 0,0103.

Het einde van de consolidatie volgend uit de zakbaak metingen van zakbaak 1-2, 1-5 en 1-7 zijn respectievelijk 250, 295 en 300 dagen. De eind consolidatie gemiddelden bevinden zich over alle zakbaken rond de 295 dagen.

Bijlage 3-8: Zettingslang (seth 1.2)



Bijlage 3-9: Horizontale vervormingen hoge aardebaan HW1 als functie van de tijd  
**INCP1-1**



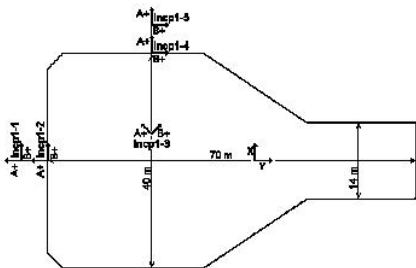
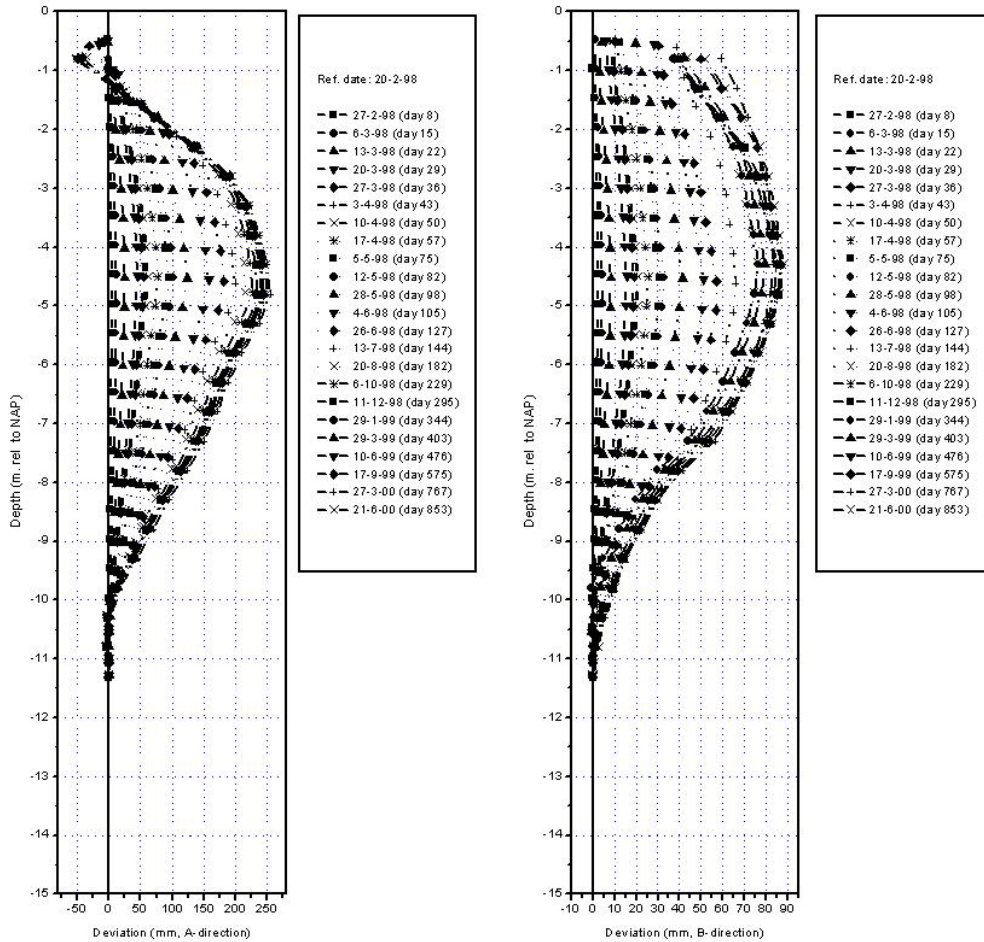
Inclinometer xy position (local, m): -44, 0, high section

**INCLINOMETERS**

NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHÉ WAARD, HW1  
 HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
 Supp.:

Bijlage 3-10: Horizontale vervormingen hoge aardebaan HW1 als functie van de tijd  
**INCP1-2**



Inclinometer xy position (local, m): -40, 0, high section

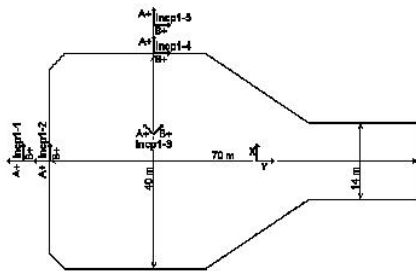
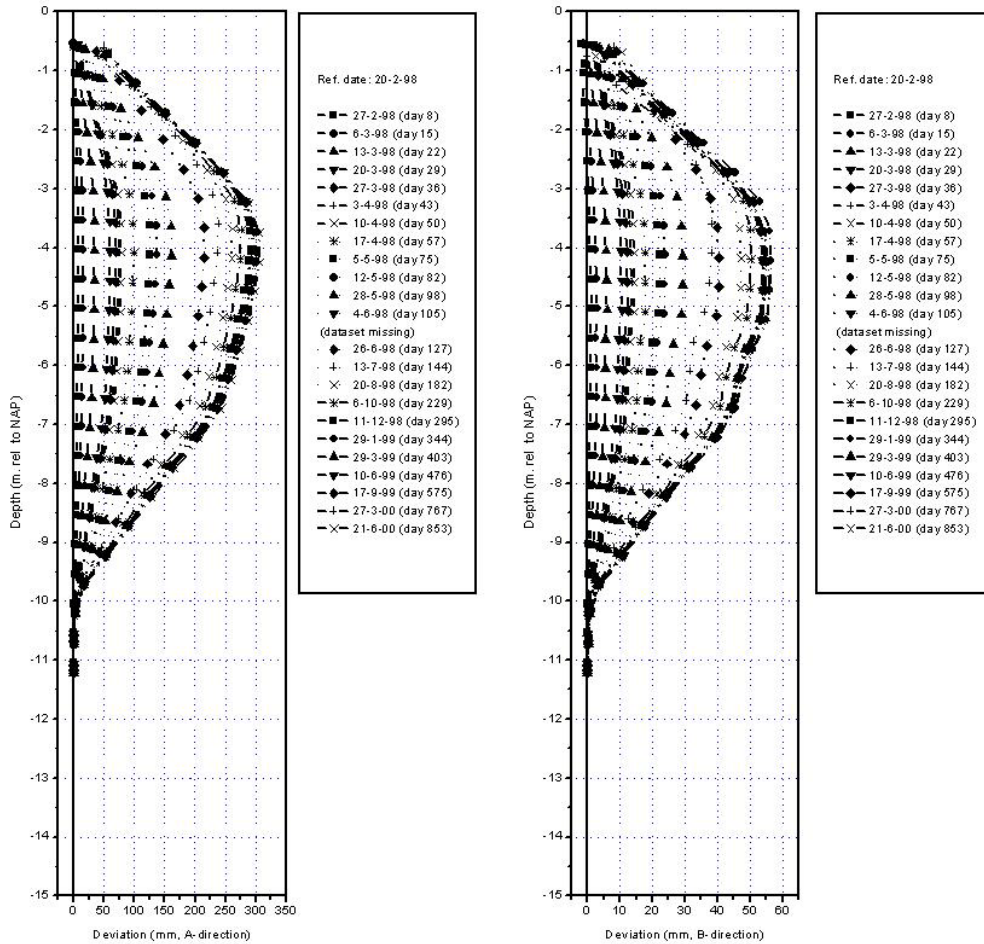
**INCLINOMETERS**

NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHÉ WAARD, HW1  
 HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
 Supp.:



Bijlage 3-11: Horizontale vervormingen hoge aardebaan HW1 als functie van de tijd  
**INCP1-4**



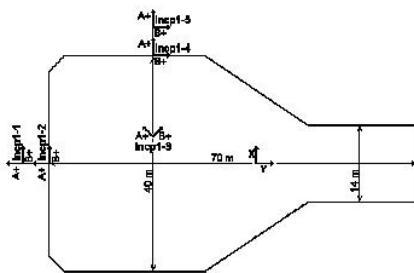
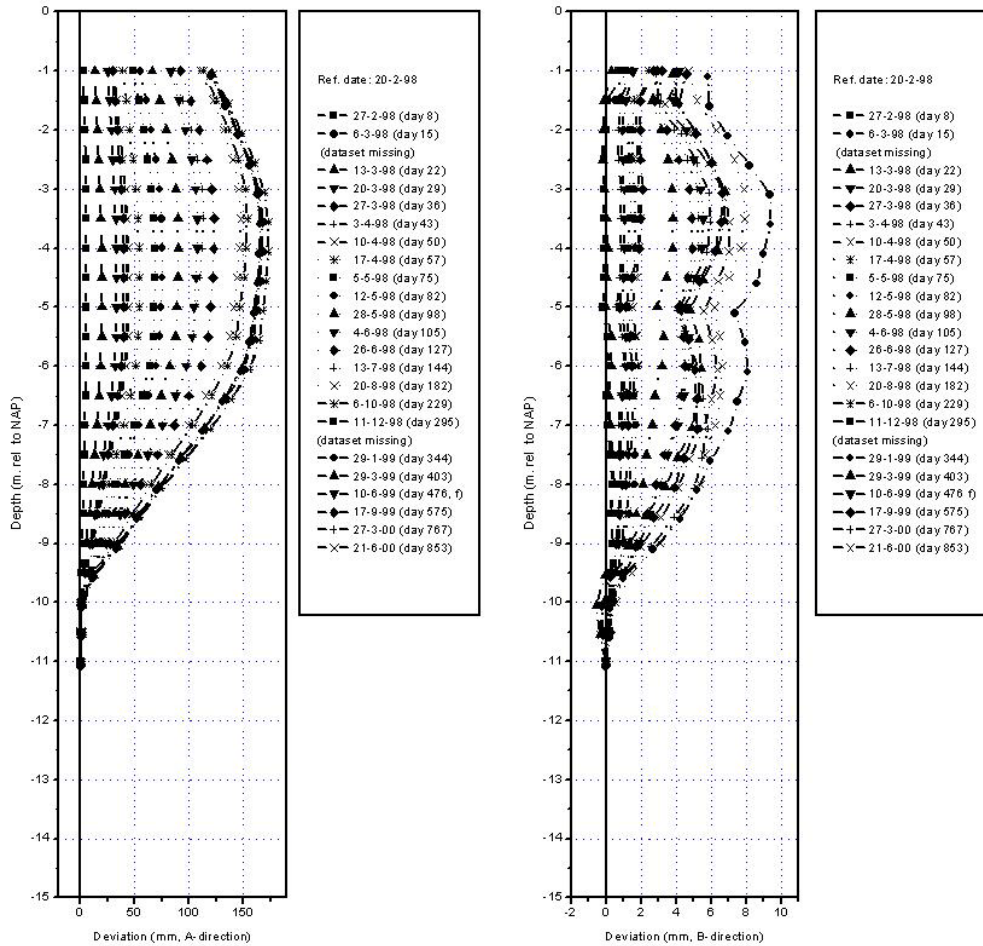
Inclinometer xy position (local, m): -19, 20, high section

**INCLINOMETERS**

NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHÉ WAARD, HW1  
 HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
 Supp.:

Bijlage 3-12: Horizontale vervormingen hoge aardebaan HW1 als functie van de tijd  
**INCP1-5**



Inclinometer xy position (local, m): -19, 25, high section

**INCLINOMETERS**

NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHE WAARD, HW1  
 HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Proj.: N-0515  
 Supp.:



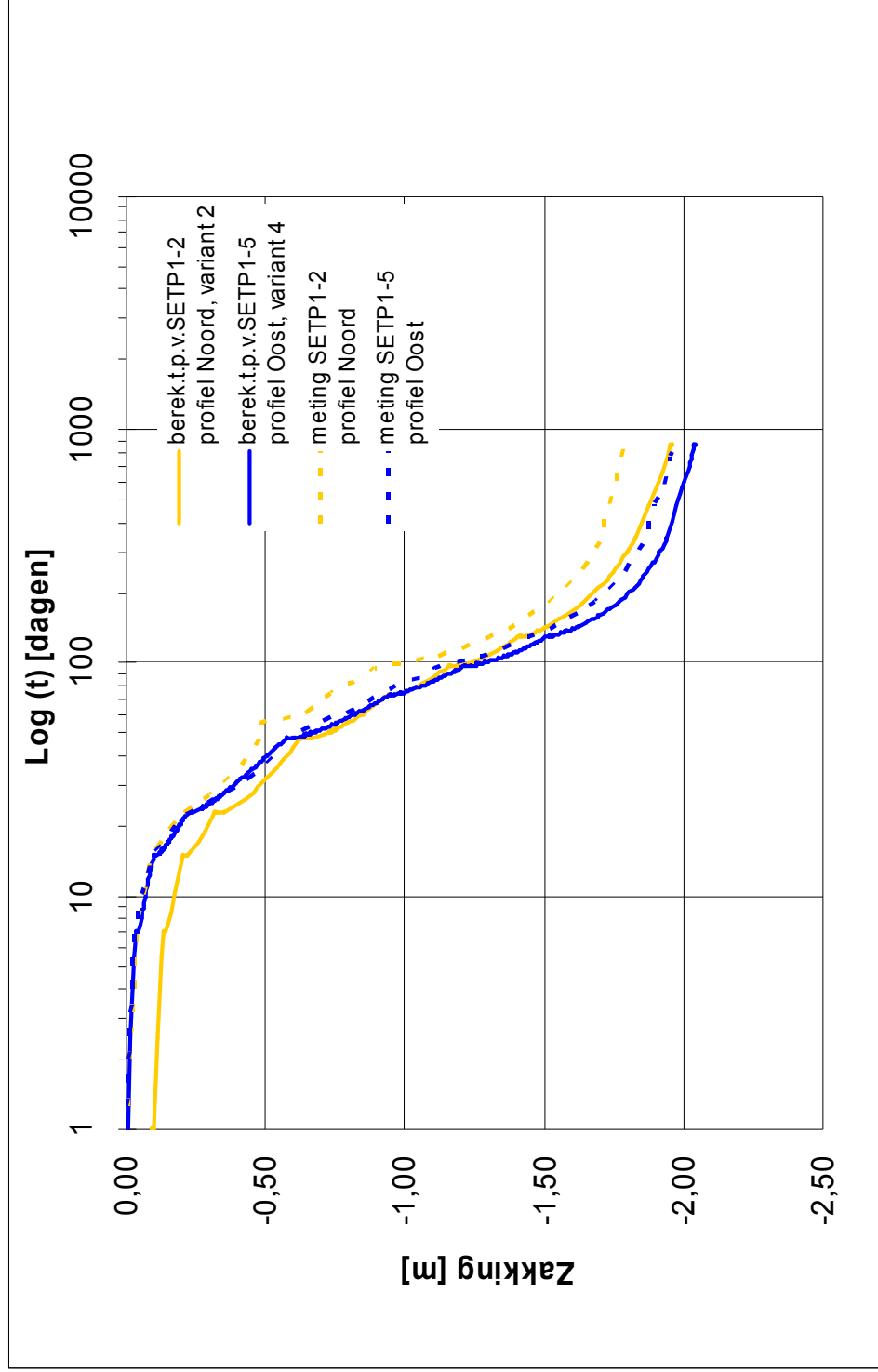
Bijlage 4-3: zettingsresultaten profiel 'oost', metingen en berekeningen

Zetting [m]		Verhouding 295d / 869d		Gemiddeld percentage t.o.v. variant 1 [%]	
(SETP 1-5)		1,3m uit teen (SETP 1-6)		kruinrand 1,3m uit teen	
295d (eind cons)	869d	50d	137d (eind aanbr oph)	295d (eind cons)	869d
-1.84	-1.96	-0.05	-0.14	-0.20	-0.25
-2.45	-2.61	0.00	-0.01	-0.07	-0.12
-1.88	-2.06	-0.03	-0.10	-0.18	-0.25
-2.39	-2.50	0.00	0.00	-0.01	-0.06
-1.91	-2.04	-0.03	-0.11	-0.21	-0.28

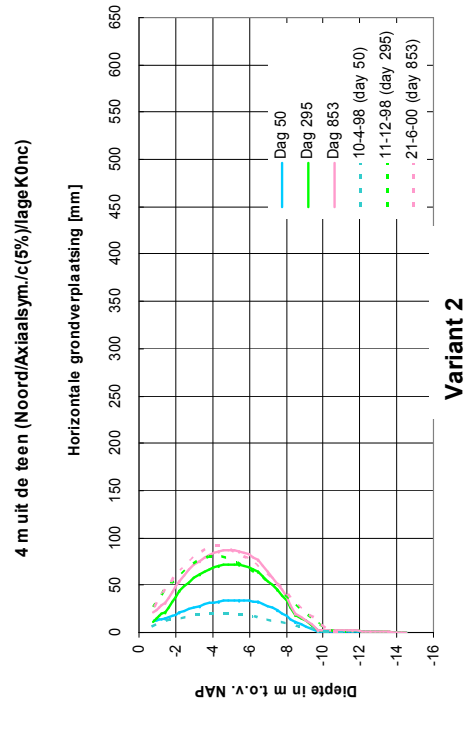
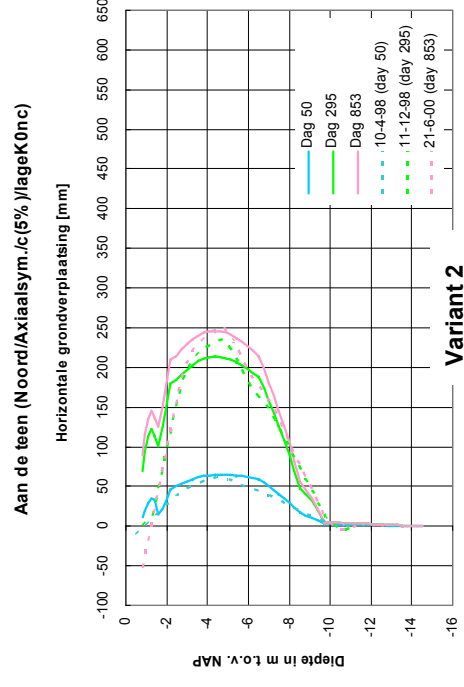
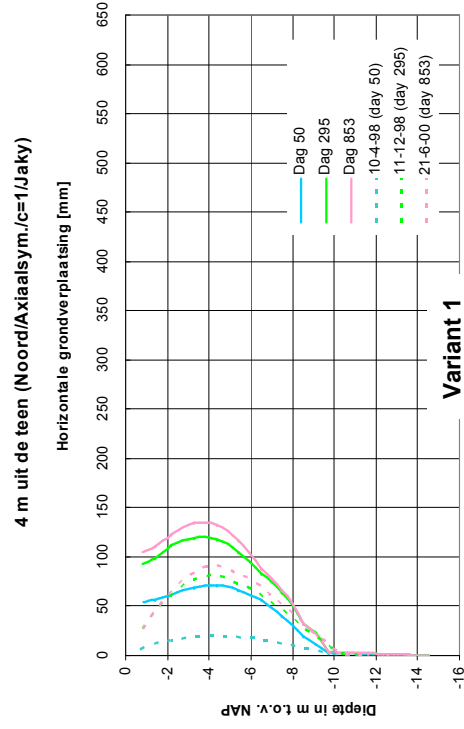
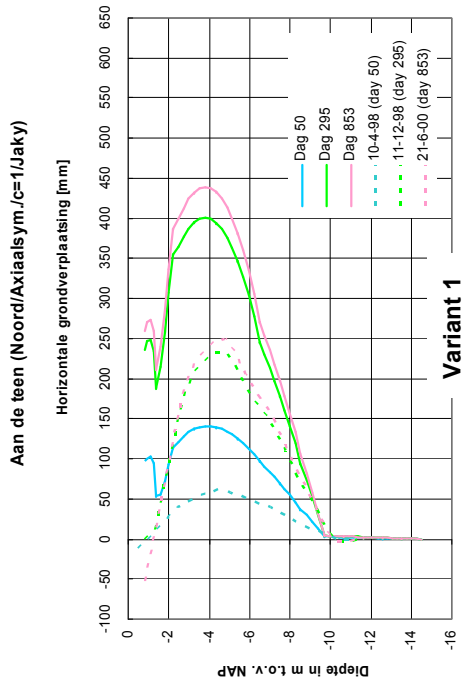
Bijlage 4-4: resultaten horizontale grondvervormingen profiel 'oost', metingen en berekeningen

Maximale horizontale verplaatsing [m] met bijbehorende diepte [m-NAP]											
Teen (INCL1-4)											
50d		144d (eind aanbrengen oph)		295d (eind cons)		853d		50d		144d (eind aanbrengen oph)	
verpl	diepte	verpl	diepte	verpl	diepte	verpl	diepte	verpl	diepte	verpl	diepte
<b>Variant</b>											
<b>Veldmeting</b>											
1	consolidatie; $\varphi_{(s\%)}$ ; $c=1$ ; $K_0^{nc}=1$ -sin $\varphi$ ; axisym.										
2	consolidatie; $\varphi$ en $c_{(s\%)}$ ; $K_0^{nc}=0,4-0,45$ ; axisym.										
3	consolidatie; $\varphi_{(s\%)}$ ; $c=1$ ; $K_0^{nc}=1$ -sin $\varphi$ ; pl. strain										
4	consolidatie; $\varphi$ en $c_{(s\%)}$ ; $K_0^{nc}=0,4-0,45$ ; pl. strain										
0,08		(4,1)		0,24		(3,6)		0,29		(3,7)	
0,15		(3,6)		0,31		(3,6)		0,35		(3,6)	
0,06		(4,6)		0,14		(4,3)		0,16		(4,3)	
0,22		(3,6)		0,49		(3,6)		0,55		(3,3)	
0,08		(4,3)		0,22		(4,3)		0,26		(4,1)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,3)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,04		(4,5)		0,11		(3,5)		0,16		(3,6)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)		0,10		(1,8)		0,10		(1,8)	
0,03		(4,8)		0,05		(4,8)		0,04		(4,8)	
0,13		(0,8)		0,21		(0,8)		0,20		(0,8)	
0,04		(4,3)		0,09		(4,4)		0,08		(4,3)	
0,07		(1,1)									

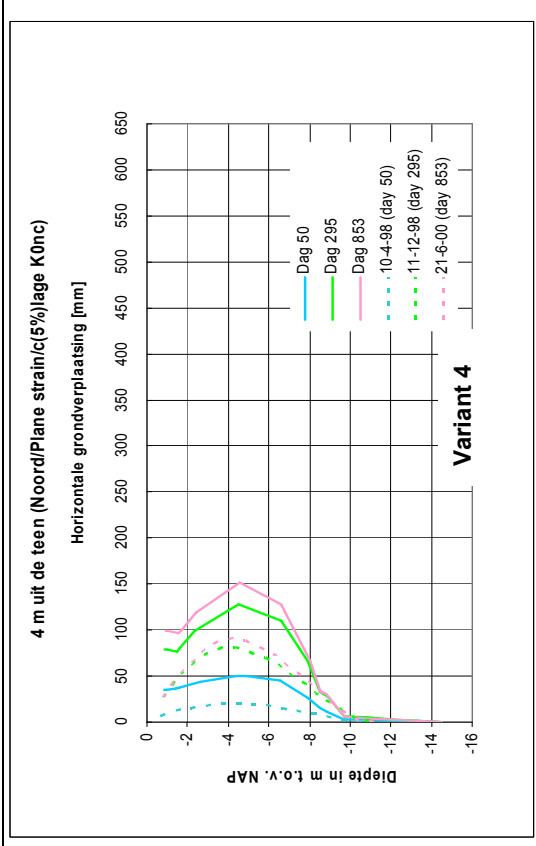
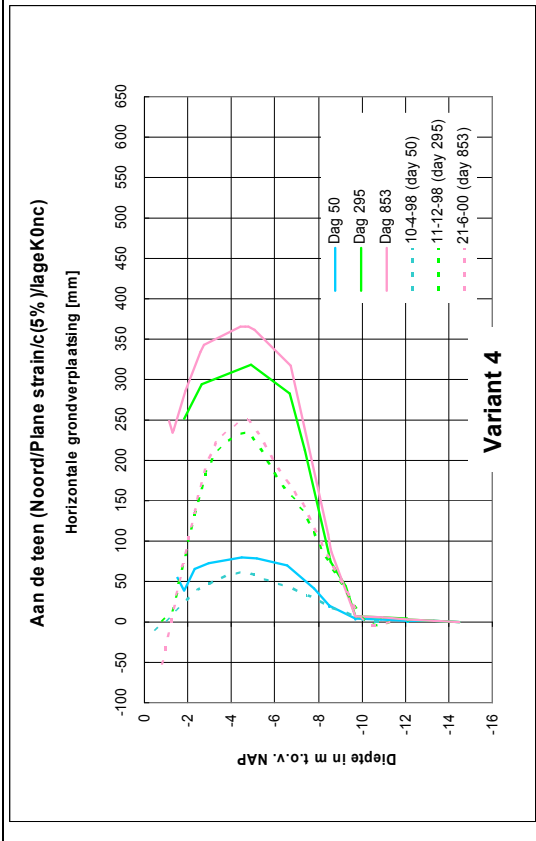
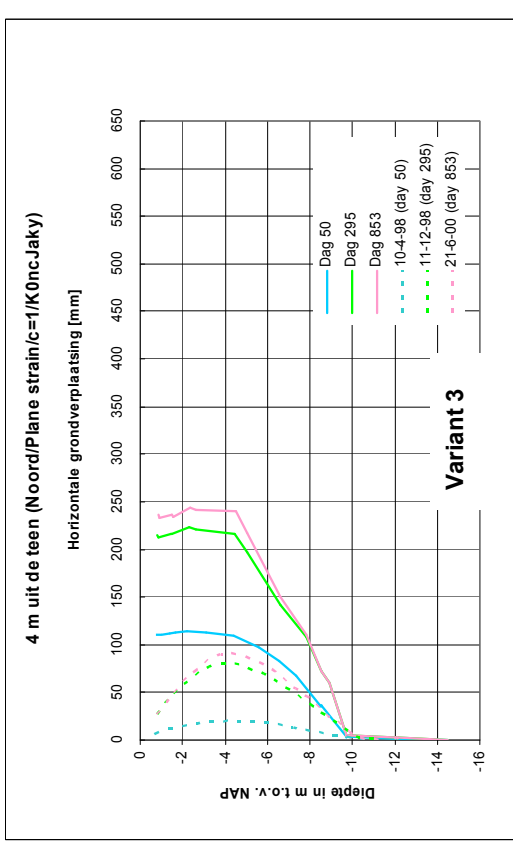
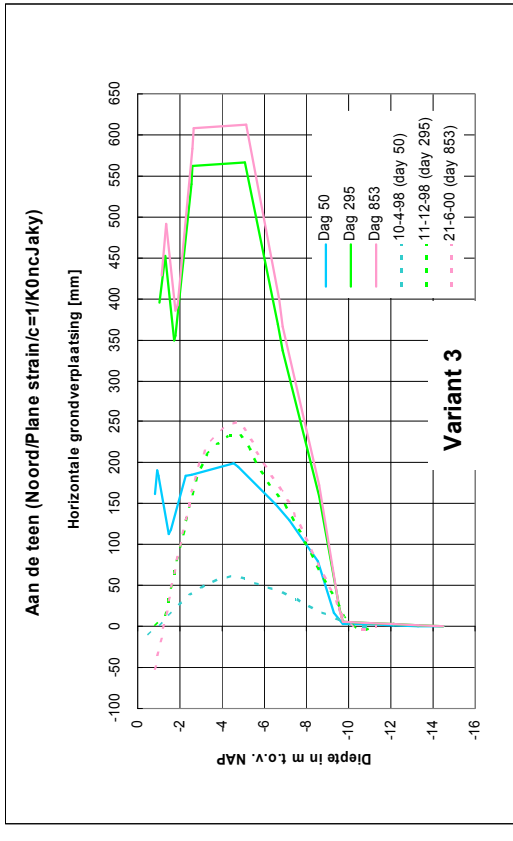
Bijlage 4-5: gemeten en berekende zettingen t.p.v. kruinrand



## Bijlage 4-6 Profiel Noord

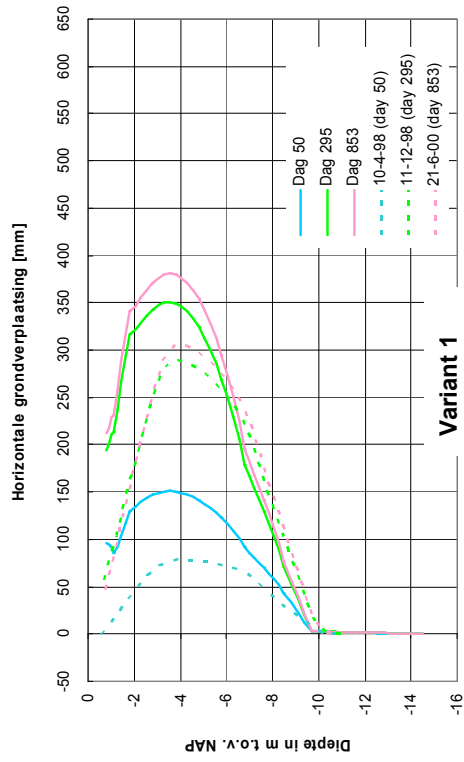


## Bijlage 4-7 Profiel Noord

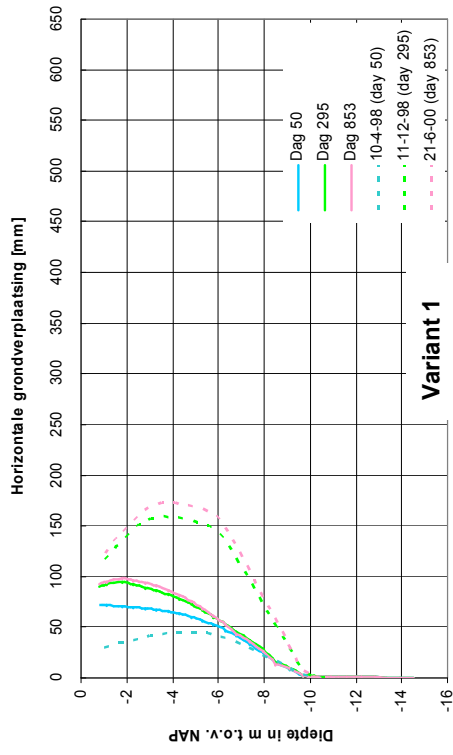


## Bijlage 4-8 Profiel Oost

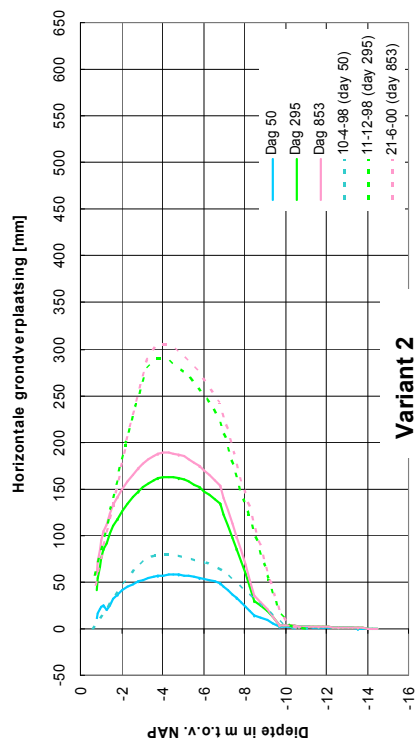
Aan de teen (Oost/Axiaalsym./c=1/K0ncJaky)



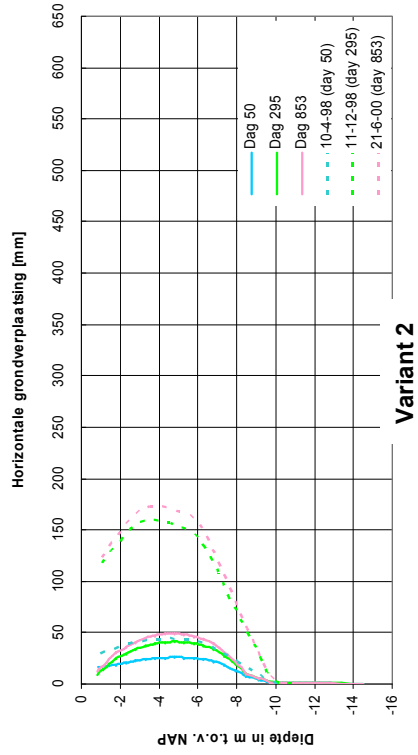
5 m uit de teen (Oost/Axiaalsym./c=1/K0ncJaky)



Aan de teen (Oost/Axiaalsym./c(5%)/legeK0nc)

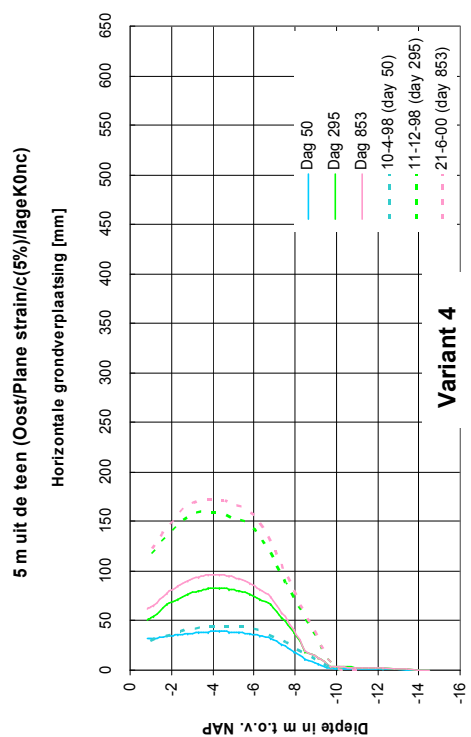
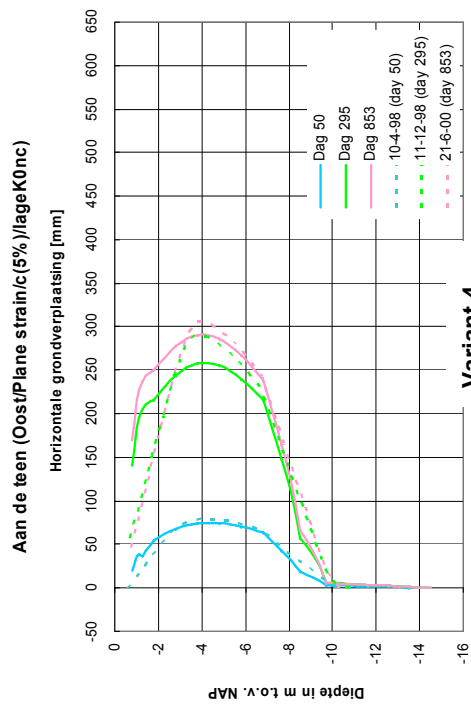
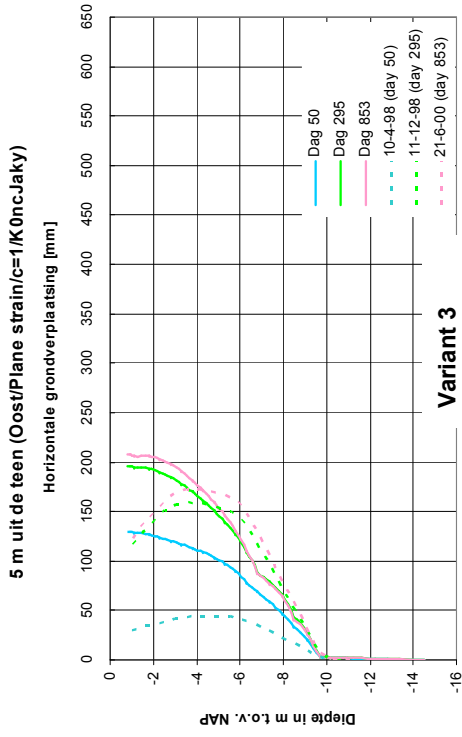
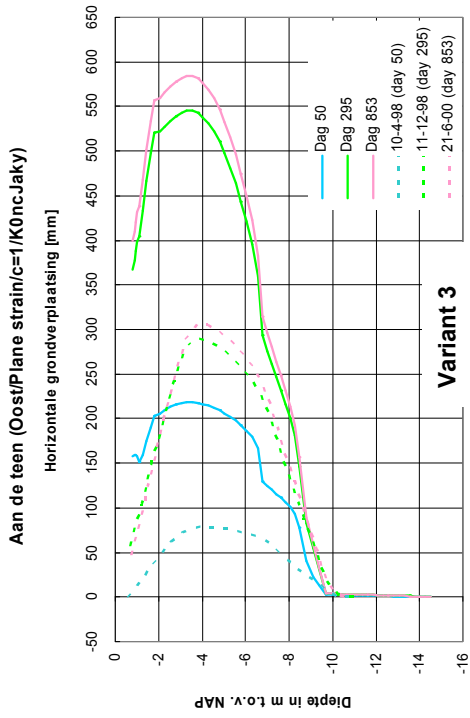


5 m uit de teen (Oost/Axiaalsym./c(5%)/legeK0nc)





## Bijlage 4-9 Profiel Oost



Bijlage 4-10: gemeten en berekende horizontale grondverplaatsingen op NAP-4,3 m

