

MASTER

Door grond horizontaal belaste palen

Wouters, Tim G.

Award date:
2002

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

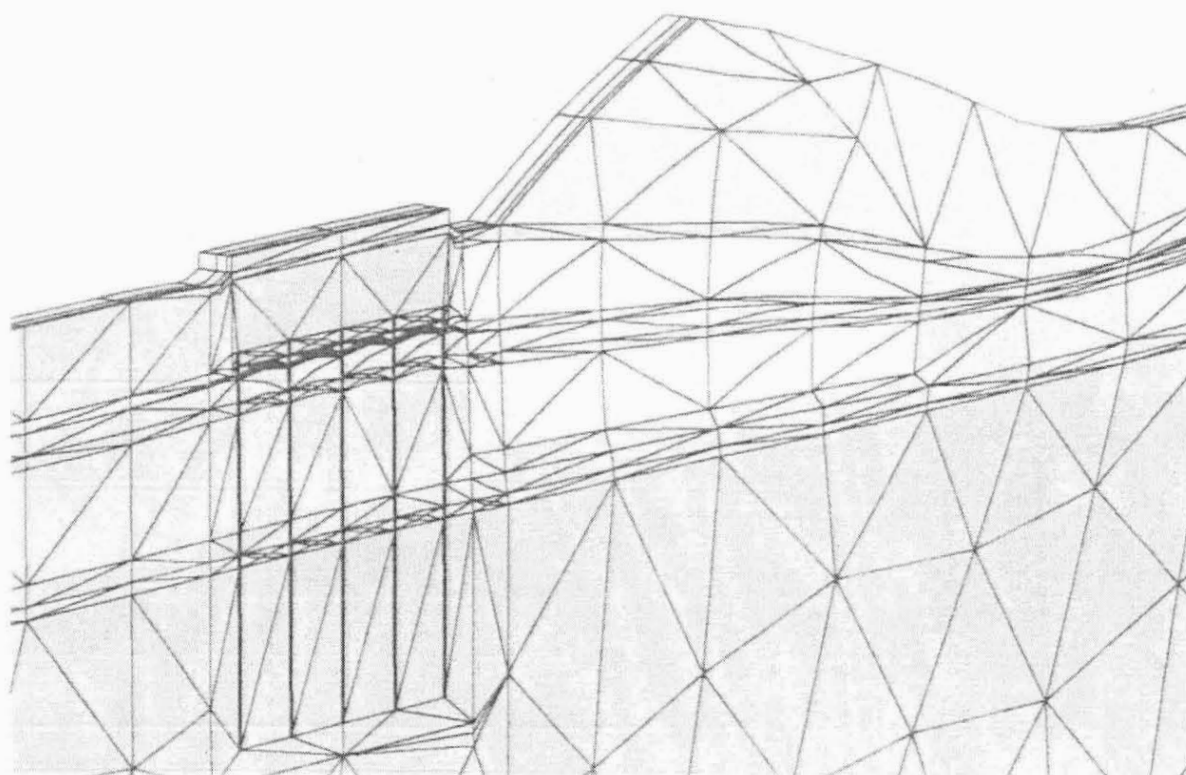
General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

Afstudeeronderzoek

Door Grond Horizontaal Belaste Palen



Deel 1: RAPPORT

Afstudeeronderzoek

Door Grond Horizontaal Belaste Palen

Auteur: Ing. T.G. Wouters

Studentnummer: 460837

Universiteit: Technische Universiteit Eindhoven
Faculteit Bouwkunde
Capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen

Begeleidingscommissie: Prof. Dr. Ir. J.G.M. Kerstens voorzitter
Ir. H.J. Fijneman TU/e
Ir. F.J.M. Hoefsloot Fugro

Datum van publicatie: 25 februari 2002

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerverslag welke is geschreven ter afronding van de studie Bouwkunde aan de Technische Universiteit te Eindhoven. De afstudeerrichting is Constructief Ontwerpen. Het afstudeerproject is uitgevoerd bij Fugro Ingenieursbureau B.V. te Leidschendam, bij de Adviesafdeling Geotechniek.

Het afstudeerproject is mogelijk gemaakt met de medewerking van een aantal mensen. In het bijzonder wil ik mijn afstudeercommissie bedanken. Dankzij de kritische instelling van en de motiverende gesprekken met mijn begeleiders is dit verslag geworden zoals het nu is. Van de Universiteit Eindhoven zijn dat prof. dr. ir. J.G.M. Kerstens en ir. H.J. Fijneman. De begeleiding vanuit Fugro Ingenieursbureau lag in handen van ir. F.J.M. Hoefsloot.

Daarnaast wil ik mijn ouders bedanken voor hun onvoorwaardelijke steun en vertrouwen in mij gedurende mijn afstudeerperiode en gedurende mijn gehele studieperiode aan de Technische Universiteit.

De persoon die ik speciaal wil bedanken, is mijn vriendin Inez. Zonder haar steun in (met name) moeilijke perioden en haar grenzeloze vertrouwen in mij, had dit afstudeerverslag niet gerealiseerd kunnen worden in de vorm zoals dit nu voor u ligt.

Degene die ik ook een woord van dank verschuldigd ben, zijn mijn (studie)vrienden en collega's. Telkens als ik het even niet meer zag zitten, wisten zij mij weer te motiveren om door te zetten.

Als laatste wil ik iedereen bedanken die, op welke wijze dan ook, vindt dat hij of zij een bijdrage heeft geleverd aan de totstandkoming van dit afstudeerverslag.

Tim Wouters

Geleen, 25 - 02 - 2002

Samenvatting

Indien verticale belastingen op het maaiveld worden aangebracht, ontstaan in niet draagkrachtige ondergronden verticale en horizontale grondverplaatsingen. Voorbeelden waar dit optreedt, zijn o.a. ophogingen en ingravingen. De aanwezige palen zullen door de horizontale grondverplaatsingen worden belast, waardoor momenten en dwarskrachten in de paal ontstaan. De belasting op de paal ontstaat doordat de paal, die stijver is dan de grond, de vervorming van de grond slechts gedeeltelijk volgt. In het onderzoek is getracht om de praktijkkennis op een hoger niveau te brengen, d.m.v. het opstellen van een handleiding waarin verschillende (bestaande) rekenmethodieken zijn vergeleken met elkaar. Het betreft hier een 2-laags model dat geanalyseerd is. Er is een aantal analyses uitgevoerd: een oriënterende analyse, een standaard analyse en een zeer uitgebreide analyse.

Uit de oriënterende analyse (de handberekeningsmethode Begemann–De Leeuw) blijkt dat de berekende momenten en verplaatsingen te hoog zijn. Dit is te wijten aan de wijze van schematiseren van de grond en de paal.

Uit de standaard uitgebreide analyse (elastisch ondersteund liggermodel MSHEET en PLAXIS 2D) blijkt dat met MSHEET grotere momenten gevonden worden en met PLAXIS kleinere in vergelijking met PLAXIS 3D. De oorzaak van de afwijkende resultaten met MSHEET ligt aan twee zaken; de schelpfactor en de beddingsconstante. Deze twee spelen een belangrijke rol in de veer karakteristiek. De reden waarom PLAXIS 2D afwijkt, is omdat met dit programma een wandberekening wordt uitgevoerd en dus niet geschikt is voor het berekenen van palen. In een 2D-berekening is de paalverplaatsing gelijk aan de grondverplaatsing, waardoor of de grondverplaatsing wordt onderschat of de paalverplaatsing wordt overschat.

Wat betreft de zeer uitgebreide analyse (PLAXIS 3D) kan geconcludeerd worden dat met PLAXIS 3D goede resultaten verkregen worden, maar dat er nog meer gevalideerd moet worden met dit EEM-pakket.

Daarnaast is aan de hand van een proefmeting onderzocht welk grondmodel de horizontale grondverplaatsing het best beschrijft. Uit het onderzoek is gebleken dat het Soft Soil Creep model de gemeten horizontale grondverplaatsingen het beste beschrijft, maar men moet beseffen dat grondmodellen altijd een benadering vormen van de werkelijkheid.

INHOUD

	Blz.
Voorwoord	II
Samenvatting	III
Inhoudsopgave	IV
Inleiding	1
Hoofdstuk 1: Probleemdefinitie	
§1.1 Inleiding	3
§1.2 Probleemstelling	3
§1.3 Problematiek	5
§1.4 Praktijkproblematiek	6
§1.5 Afstudeermogelijkheden	7
§1.5.1 Wat kan er onderzocht worden?	7
§1.5.2 Wat zal er onderzocht worden?	7
Hoofdstuk 2: Doelstelling	9
Hoofdstuk 3: Methode ter bepaling van de horizontale grondverplaatsing	
§3.1 Inleiding	11
§3.2 Korte samenvatting Begemann–De Leeuw	11
§3.3 Methode IJsseldijk-Loof (elastisch)	12
§3.4 Vergelijking tabellen IJsseldijk-Loof en PLAXIS (zie stroomschema)	13
§3.4.1 Inleiding	13
§3.4.2 Methode IJsseldijk	13
§3.5 Soft Soil berekening	15
§3.5.1 Inleiding	15
§3.5.2 Vergelijking Soft Soil model en Mohr-Coulomb model	18
§3.6 Conclusie	19
§3.6.1 Algemeen	19

§3.6.2	Meerwaarde EEM t.o.v. de tabellen	20
§3.6.3	Aanbevelingen	21

Hoofdstuk 4: Modelleren in PLAXIS 3D

§4.1	Inleiding	23
§4.2	De redenen voor 3D rekenen	23
§4.3	De aanpak van 3D rekenen in PLAXIS	23
§4.4	Volgorde van uitgevoerde berekeningen	25
§4.4.1	Inleiding	25
§4.4.2	Berekening 1: Vergelijking 2D en 3D	25
§4.4.3	Berekening 2: Modelleren volledig model	26
§4.4.4	Berekening 3: Modelleren half model	26
§4.4.5	Berekening 4: Modelleren half model	27
§4.4.6	Berekening 5: Balkelement versus “volume-element”	29

Hoofdstuk 5: Vergelijking 3D model met bestaande rekenmethodieken

§5.1	Inleiding	33
§5.2	Eenvoudig model	33
§5.3	Handberekeningsmethode	34
§5.3.1	Horizontale grondverplaatsing	35
§5.3.2	Interactie tussen paal en grond volgens Begemann-De Leeuw	36
§5.3.3	Grondlijn-paallijn	37
§5.3.4	Interactie	37
§5.4	Elastisch ondersteund liggermodel	38
§5.4.1	Inleiding	38
§5.4.2	Opgelegde grondverplaatsing	38
§5.4.3	MSHEET (file <i>run2</i>)	39
§5.4.3.1	Grondgegevens	39
§5.4.3.2	Damwand (paal)gegevens	40
§5.4.4	Elastisch ondersteund liggermodel met een bovenbelasting (file <i>run3</i>)	41
§5.5	EEM PLAXIS 2D	41

§5.5.1	Wand als balkelement (file <i>run4d</i>)	42
§5.5.2	Wand als “volume-element” (file <i>run5a</i>)	43
§5.6	EEM PLAXIS 3D	43
§5.6.1	Paal als balkelement (file <i>run6</i>)	43
§5.6.2	Paal als “volume-element” (file <i>run7</i>)	44
§5.7	Resultaten van de vergelijking	44

Hoofdstuk 6: MSHEET versus PLAXIS 3D

§6.1	Inleiding	52
§6.2	Oorzaken	52
§6.3	De beddingsconstante	53
§6.3.1	Algemeen	53
§6.3.2	De bepaling van de beddingsconstante in PLAXIS 3D	53
§6.4	Bepaling van de schelffactor in PLAXIS 3D	55
§6.4.1	Wat is de schelffactor?	55
§6.4.2	Hoe kan de schelffactor bepaald worden met PLAXIS 3D?	57
§6.5	Momenten en verplaatsingen bij een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$	57
§6.5.1	De beddingsconstante	57
§6.5.2	De schelffactor	58
§6.5.3	Conclusie	61
§6.6	Waarom is PLAXIS 3D beter geschikt voor paalberekeningen dan MSHEET?	61

Hoofdstuk 7: NO RECESS proeftuin

§7.1	Inleiding	64
§7.2	NO-RECESS	64
§7.3	De doorsnede	66
§7.4	Conclusie	70

Hoofdstuk 8: Conclusies en aanbevelingen

§8.1	Inleiding	71
§8.2	Conclusies en aanbevelingen	71

§8.3	Extra aanbevelingen voor verder onderzoek	76
§8.4	Handleiding voor PLAXIS 3D	77
	Literatuurlijst	79
	Bijlagen zie deel II	

Inleiding

De belangrijkste functie van de funderingspaal is het overbrengen van de, op de paalkop werkende, belastingen naar een draagkrachtige laag in de ondergrond. Het ontwerp van de constructie en de fundering is meestal zodanig dat deze belastingen voornamelijk normaalkrachten in de paal veroorzaken.

Naast het feit dat de paal belast wordt door verticale belastingen kunnen ook belastingen vanuit de grond op de paal aangrijpen. Deze belastingen ontstaan wanneer de grond in de omgeving van de paal gaat vervormen. De paal is een relatief stijf element en zal daardoor belastingen naar zich toetrekken. Verticale vervormingen van de grond zullen leiden tot schuifkrachten langs de paal (positieve en negatieve kleeft), terwijl horizontale vervormingen leiden tot dwarskrachten en momenten. Door deze belastingen zouden de palen kunnen gaan scheuren, hetgeen uiteraard ongewenst is. Horizontale vervormingen van de grond ontstaan door het aanbrengen van belastingen op het maaiveld of door ontgravingen.

Het onderzoek zal zich richten op horizontaal belaste palen en met name het onderwerp “door grond horizontaal belaste betonnen palen.”

HOOFDSTUK 1

Hoofdstuk 1: Probleemdefinitie

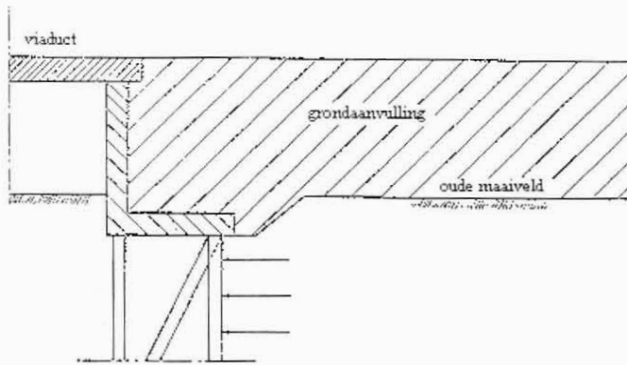
§1.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het probleem van door grond horizontaal belaste palen uiteen gezet. Als eerste komt in §1.2 de probleemstelling aan de orde. Vervolgens wordt in §1.3 de problematiek van door grond horizontaal belaste palen kort besproken, bestaande uit drie deelproblemen. In §1.4 wordt in het kort besproken waar de praktijk tegenaan loopt en als laatste wordt in §1.5 aangegeven wat tijdens het afstuderen onderzocht zal worden.

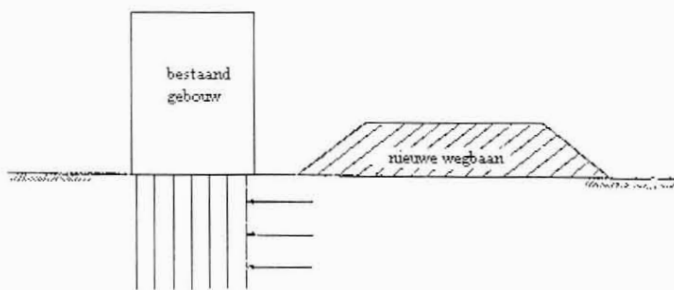
§1.2. Probleemstelling

In gebieden waar de bovenste grondlagen uit niet draagkrachtige en samendrukbare materialen zoals veen en klei bestaan, worden ten behoeve van het overbrengen van funderingsbelastingen naar de diepere draagkrachtige lagen veelal verticaal (axiaal) belaste palen toegepast. De primaire taak van een funderingspaal is hierbij het overbrengen van een verticale (axiale) kracht. Indien een paal in of nabij een ophoging (of ontgraving) staat op dezelfde niet draagkrachtige ondergrond, kan door horizontale deformatie van de grond of de ophoging ook buiging van de paal ontstaan. In de praktijk wordt dan gesproken over 'door grond horizontaal (lateraal) belaste palen', vandaar de titel van dit afstudeerrapport. Bij het ontwerp van de fundering (bijv. voor een diep gefundeerd landhoofd) dient terdege rekening te worden gehouden met de momenten, voortkomend uit de opgelegde uitbuiging van de paal. Als voorbeelden van door grond horizontaal belaste palen kunnen genoemd worden:

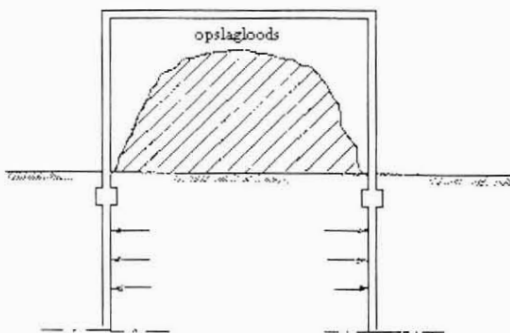
- Palen nabij de teen van een weglichaam;
- Palen onder een keermuur;
- Palen onder een huis, waarnaast een bouwput wordt gegraven;
- Palen voor een nieuw te bouwen viaduct, die geheid worden op het moment dat de ondergrond nog volop in beweging is;
- Grondaanvulling achter landhoofd van het viaduct (figuur 1.1 en 1.4a);
- Nieuwe wegbaan langs bestaande bebouwing (figuur 1.2);
- Zware opslag op het maaiveld (figuur 1.3);
- Bij een ingraving (figuur 1.4b en 1.4c).



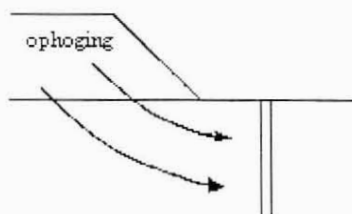
Figuur 1.1: Grondaanvulling achter landhoofd van het viaduct.



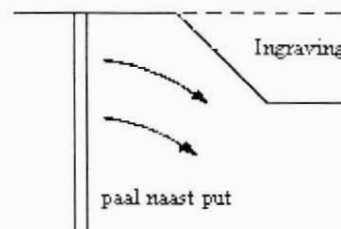
Figuur 1.2: Nieuwe wegbaan langs bestaande bebouwing.



Figuur 1.3: Zware opslag op het maaiveld.



Figuur 1.4a: Ophoging.



Figuur 1.4b + 1.4c: Ingraving.

De belasting op de paal ontstaat doordat de paal, die stijver is dan de grond, de vervorming van de grond slechts gedeeltelijk zal volgen. Anders gezegd, de paal houdt de horizontale beweging van de grond gedeeltelijk tegen, waardoor de paal door de grond wordt belast.

Voor de benadering van het mechanisme van door grond horizontaal belaste palen is een aantal berekeningswijzen beschikbaar:

- Handberekening op basis van methode Begemann – De Leeuw (ref. 20 en 21 en zie H3);
- Computerprogramma op basis van damwandanalogie (zoals MSHEET en MHORPILE, ref. 5 en 11);
- Computerprogramma op basis van eindige – elementenmethode (zoals PLAXIS, ref. 2 en 6).

§1.3. Problematiek

De problematiek bij door grond horizontaal belaste palen wordt door drie, min of meer, op zichzelf staande aspecten bepaald:

1. De grootte van de horizontale grondverplaatsing;
2. De krachten op de paal t.g.v. de grondverplaatsing;
3. De interactie tussen de paal en de grond.

Ad 1.

Voor het berekenen van de grondverplaatsingen zijn een aantal methodieken beschikbaar:

- Tabellen van IJsseldijk–Loof (analytische oplossingen voor eenvoudige gevallen);
- Eindige elementen modellen in 2D of 3D (bijvoorbeeld PLAXIS 2D of 3D).

Ad 2.

De krachten op de paal t.g.v. de grondverplaatsing wordt in de meeste gevallen bepaald op basis van een veer karakteristiek welke één of meerdere takken heeft:

- Elastische tak, welke wordt beschreven door de beddingsconstante;
- Maximale grondweerstand. Hiervoor zijn verschillende bepalingsmethoden mogelijk, waaronder o.a.:
 - Schelpfactor¹ x passieve horizontale gronddruk;
 - Brinch Hansen (ref. 29);
 - Leusink–Wenz (ref. 19 en 28);
 - Ito–Matsui (ref. 19 en 28);

¹ De schelpfactor bepaalt het gedeelte van de horizontale grondbelasting, die op de paal werkt.

- Matlock–Reese (ref. 23);
- Volledige beschrijving d.m.v. een grondmodel in een 2D of een 3D EEM – pakket.

Ad 3.

De interactie tussen paal en grond kan op meerdere manieren worden bepaald:

- Methode volgens grondlijn-paallijn (zie H5);
- Elastisch ondersteunde liggermodel;
- Een 2D of 3D EEM – pakket m.b.v. interface-elementen (bijv. PLAXIS 2D of 3D).

§1.4. **Praktijkproblematiek**

In de praktijk is er “onduidelijkheid” over hoe het probleem aangepakt moet worden. De praktijk is veelal complexer dan de aannames die gedaan worden bij de huidige rekenmodellen. Deze “onduidelijkheid” kan worden opgesplitst in de drie eerder genoemde deelproblemen:

1. De bepaling van de horizontale grondverplaatsing:

Een veel gebruikte methode is de methode IJsseldijk–Loof. Deze methode gaat uit van een sterk vereenvoudigde geometrie:

- Horizontaal maaiveld;
- Er is sprake van een terras- of strookbelasting;
- Eén homogene samendrukbare laag.

Niet elk probleem kan en mag sterk vereenvoudigd worden.

2. De bepaling van de krachten op de paal:

De krachten worden bepaald op basis van de veer karakteristiek. Enkele zaken die hierbij een rol spelen zijn de beddingsconstante (elastisch), de schelpfactor en de bepaling van de passieve gronddruk (plastisch). Het probleem hierbij is de horizontale 2D problematiek en wederom de schematisatie van het probleem.

3. De interactie:

Het grootste struikelpunt bij dit probleem is ook de schematisatie van de paal en de geometrie. Dit gebeurt nu veel te grof. Daarom is er de noodzaak om dit probleem aan te pakken.

In bijlage 1A wordt kort het probleemoverzicht, de probleemaafbakening, de twee mogelijkheden van horizontaal belaste palen en enkele berekeningsaspecten besproken.

§1.5. Afstudeermogelijkheden

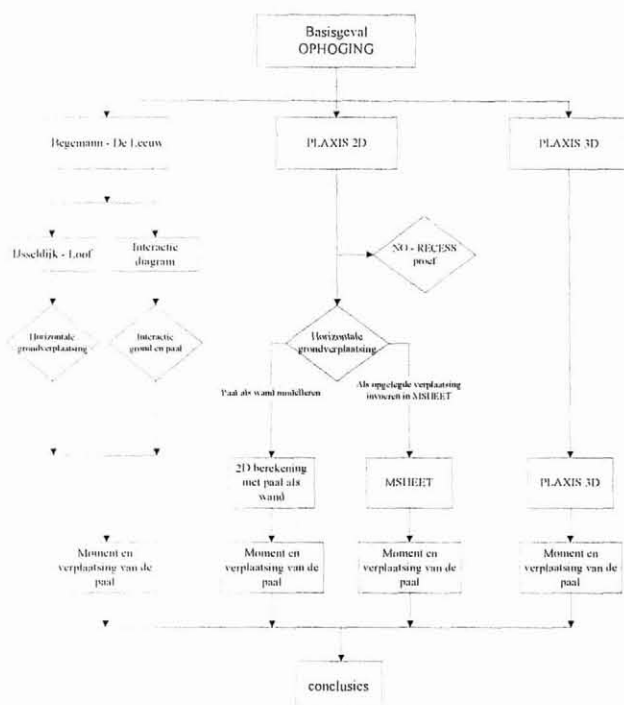
Om het probleemgebied inzichtelijk te maken voor het afstuderen, is er een overzicht gemaakt van de drie eerder genoemde deelproblemen met de daarbij behorende oplossingsmogelijkheden.

§1.5.1. Wat kan er onderzocht worden?

1. De bepaling van de horizontale grondverplaatsing:
Een eenvoudig 2D EEM model opstellen (bijvoorbeeld in PLAXIS 2D);
2. Bepaling krachten op de paal:
Een 2D of 3D EEM model opstellen voor de bepaling van de krachten op de paal t.g.v. de horizontale grondverplaatsing (in PLAXIS 2D of 3D);
3. Het interactieprobleem:
Het probleem in een 3D EEM model invoeren (in PLAXIS 3D).

§1.5.2. Wat zal er onderzocht worden?

1. Een eenvoudig 2D EEM model opstellen ter validatie methode IJsseldijk–Loof;
2. Het bepalen van de invloedsfactoren van de elastisch en plastische tak van de veer karakteristiek;
3. Een eenvoudig model maken in 3D EEM;
4. Metingen toetsen;
5. Handleiding opstellen voor de adviespraktijk.



Om een overzicht te krijgen van de onderdelen die tijdens het onderzoek aan bod komen, is het nevenstaande stroomschema opgesteld. Vanaf hoofdstuk 3 komen telkens één of meerdere onderdelen aan bod.

Figuur 1.5: Stroomschema afstudeeronderzoek.

HOOFDSTUK 2

Hoofdstuk 2: Doelstelling.

De doelstelling van het afstudeeronderzoek bestaat uit twee onderdelen, te weten:

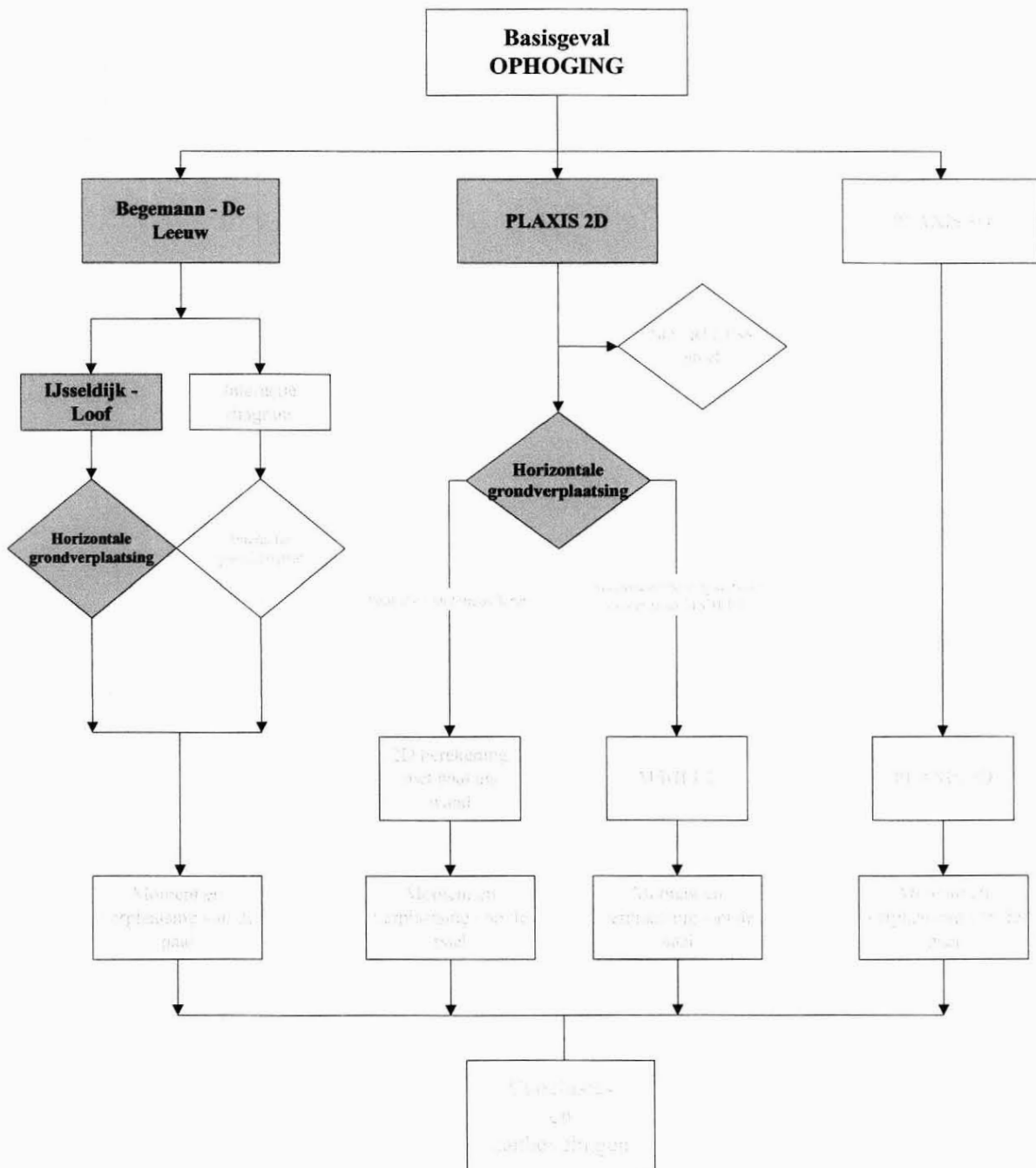
1. De praktijkkennis op een “hoger” niveau brengen. Er gaat de voorkeur naar uit om de deelproblemen in één 3D-model te integreren en daarna een vereenvoudiging aan te brengen naar een 2D-model;
2. Het opstellen van eenvoudige handleiding voor de adviespraktijk m.b.t. modelleren van door grond horizontaal belaste palen in PLAXIS 3D.

In de handleiding worden een drietal methoden beschreven waarbij tevens wordt aangegeven onder welke condities deze methoden kunnen worden toegepast:

- Methode L.G.M. (Begemann – De Leeuw)
Horizontale grondverplaatsing volgens IJsseldijk – Loof
Interactie-model met grond- en paallijn
- Elastisch ondersteund liggermodel (MSHEET of MHORPILE)
Horizontale grondverplaatsing volgens IJsseldijk – Loof
- 3D – EEM (PLAXIS)

In het onderzoek worden voor bovengenoemde rekenmethoden voorbeeldberekeningen uitgevoerd. Daarnaast wordt een praktijkproef gemodelleerd in PLAXIS 2D ter validatie.

HOOFDSTUK 3



Hoofdstuk 3: Methode ter bepaling van de horizontale grondverplaatsing

§3.1. Inleiding

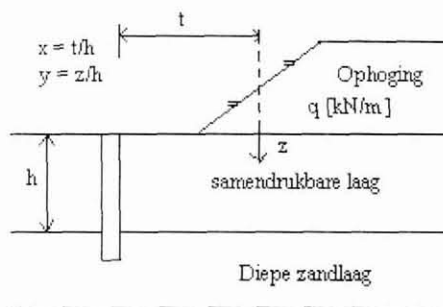
Het titelblad van dit hoofdstuk geeft aan welke onderdelen van het stroomschema aan bod komen. Het betreft hier de vergelijking tussen de methode IJsseldijk-Loof en PLAXIS 2D voor het bepalen van de horizontale grondverplaatsing. Als eerste wordt in §3.2 kort de methode Begemann-De Leeuw besproken, voor het bepalen van de krachten op de paal. Vóór de krachten op de paal berekend kunnen worden, moet eerst de horizontale grondverplaatsing berekend worden. Dit gebeurt door gebruik te maken van de tabellen van IJsseldijk-Loof (ref. 25), hetgeen in §3.3 behandeld wordt. In §3.4 komt een vergelijking tussen het gebruik van de tabellen en een eindige elementen analyse m.b.v. PLAXIS 2D aan de orde. De bedoeling is om na te gaan in hoeverre de resultaten van de PLAXIS 2D berekeningen overeenkomen met die van de tabellen. Vervolgens wordt in §3.5 een PLAXIS 2D-berekening met het Soft Soil model gemaakt, welke wordt vergeleken met IJsseldijk-Loof, welke voor het computertijdperk veel is toegepast. Het Soft Soil model is één van de vijf materiaalmodellen waarmee PLAXIS rekent en is zeer geschikt voor het berekenen van problemen die betrekking hebben op ophogingen op het maaiveld. Als laatste wordt in §3.6 een conclusie gegeven voor wat betreft het toepassen van PLAXIS 2D i.p.v. de methode IJsseldijk-Loof. Daarnaast wordt de meerwaarde van het gebruik van PLAXIS 2D aangegeven en worden er enkele aanbevelingen gepresenteerd.

§3.2. Korte samenvatting Begemann-De Leeuw

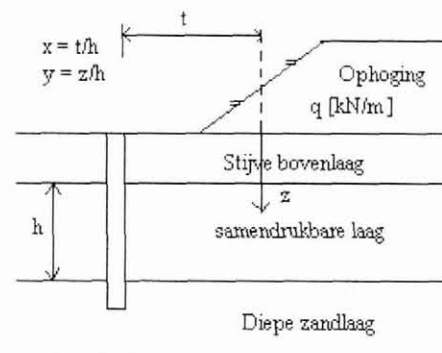
Met de methode Begemann-De Leeuw kunnen momenten en doorbuiging van de paal bepaald worden op basis van een lineair elastisch gedrag van de paal en de grond. De berekening geschiedt in twee stappen; de horizontale grondverplaatsing, zonder aanwezigheid van een paal, wordt bepaald met de tabellen van IJsseldijk-Loof. Voor diverse belastingssituaties zijn tabellen uitgerekend waarmee spanningen in en verplaatsingen van de grond a.g.v. een bovenbelasting bepaald kunnen worden. Vervolgens wordt het paalgedrag bepaald, door gebruik te maken van de berekende grondverplaatsing. De interactie paal-grond wordt met het zogenaamde grondlijn-paallijndiagram in rekening gebracht. De derde dimensie wordt in het probleem gebracht door het invoeren van een schelpfactor. Voor een volledige beschrijving zie bijlage 3A en ref. 20 en 21.

§3.3. Methode IJsseldijk-Loof (elastisch)

Deze methode gaat uit van een homogeen (ongelaagd) oneindige halfruimte, waarbij de ophoging bestaat uit een bovenbelasting zonder eigen massa en stijfheid. Het spannings- en vervormingsgedrag van grond wordt benaderd volgens de lineaire elasticiteitstheorie. Het C.I.A.D.¹ heeft, na onderzoek, tabellen ontwikkeld, waaruit de horizontale verplaatsingen en drukken van de grond voor diverse belastinggevallen kunnen worden bepaald. Deze tabellen zijn weergegeven in het Eindrapport van de Projectgroep 'Door grond horizontaal belaste palen', daterend uit 1980 [ref.20 en 21]. De bovenkant van de slappe laag kan gekenmerkt zijn door een rekslappe toplaag (IJsseldijk) of een rekstijve toplaag (Loof). Voor een beschrijving van deze methoden, zie bijlage 3A.



Figuur 3.1: Methode IJsseldijk.



Figuur 3.2: Methode Loof.

Nadelen van IJsseldijk-Loof:

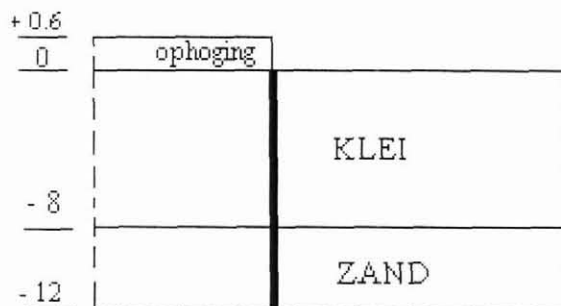
- Lineair elastisch grondgedrag, o.a. er wordt geen kruipinvloed en geen consolidatieverloop meegerekend;
- De schematisatie van de grond bestaat uit één homogene, isotrope laag en niet een uit enkele grondlagen opgebouwde grondpakket. Het probleem wordt vereenvoudigd;
- Dwarscontractiecoëfficiënt $\nu = 0,5$ (volumevast materiaal);
- Vlakke vervormingstoestand (2D);
- Uniforme gelijkmatig verdeelde bovenbelasting, dus geen sprake van niet uniforme gelijkmatig verdeelde belasting;
- In de praktijk is het vaak niet duidelijk of er gerekend moet worden met een rekstijve bovenlaag. Dit heeft uiteraard consequenties voor het toepassen van de methode IJsseldijk-Loof.

¹ Het C.I.A.D. is een vereniging voor computertoepassingen in de ingenieurspraktijk en stelt zich als onafhankelijk non-profit organisatie bevordering van computertoepassingen ten doel.

§3.4. Vergelijking tabellen IJsseldijk-Loof en PLAXIS 2D (zie stroomschema)

§3.4.1. Inleiding

Om na te gaan of de tabellen van IJsseldijk-Loof (ref.25) tegenwoordig nog wel bruikbaar zijn, wordt in PLAXIS 2D een geval ingevoerd identiek aan de tabellen. Het betreft een simpel model: een kleilaag begrensd door een stijve zandlaag met een bovenbelasting. In deze paragraaf zal het



resultaat van de methode IJsseldijk besproken worden. De resultaten van methode Loof staan beschreven in bijlage 3C. De grondverplaatsingen zijn bepaald in de verticaal ter plaatse van de rand van de ophoging (zie figuur 3.3).

Figuur 3.3: Methode IJsseldijk.

§3.4.2. Methode IJsseldijk

Indien dit geval ingevoerd wordt in een EEM (hier PLAXIS 2D), moet het volgende ingevoerd worden voor de randvoorwaarden:

- Ondergrens is horizontaal en verticaal niet verplaatsbaar (deze vervangt de onderliggende zandlaag);
- Linker- en rechtergrens is horizontaal niet verplaatsbaar;
- Materiaalmodel is lineair elastisch;
- Materiaal type is drained;
- $\gamma_n = 15 \text{ kN/m}^3$
- $\nu = 0,499$
- $E_{\text{klei}} = 1400 \text{ kN/m}^2$

Er zijn twee gevallen in PLAXIS 2D ingevoerd; één geval *zonder* gebruik te maken van een interface en één *met* gebruikmaking van een interface. De resultaten van de vergelijking tussen de tabellen van IJsseldijk en PLAXIS 2D *zonder* interface zijn volkomen gelijk aan elkaar. De resultaten van de vergelijking tussen de tabellen van IJsseldijk en PLAXIS 2D *met* interface wijken van elkaar af. Voor de betekenis van interface-elementen wordt verwezen naar bijlage 3D.

Oplossingen voor de afwijking tussen “met interface” rekenen en “zonder interface” zijn de volgende:

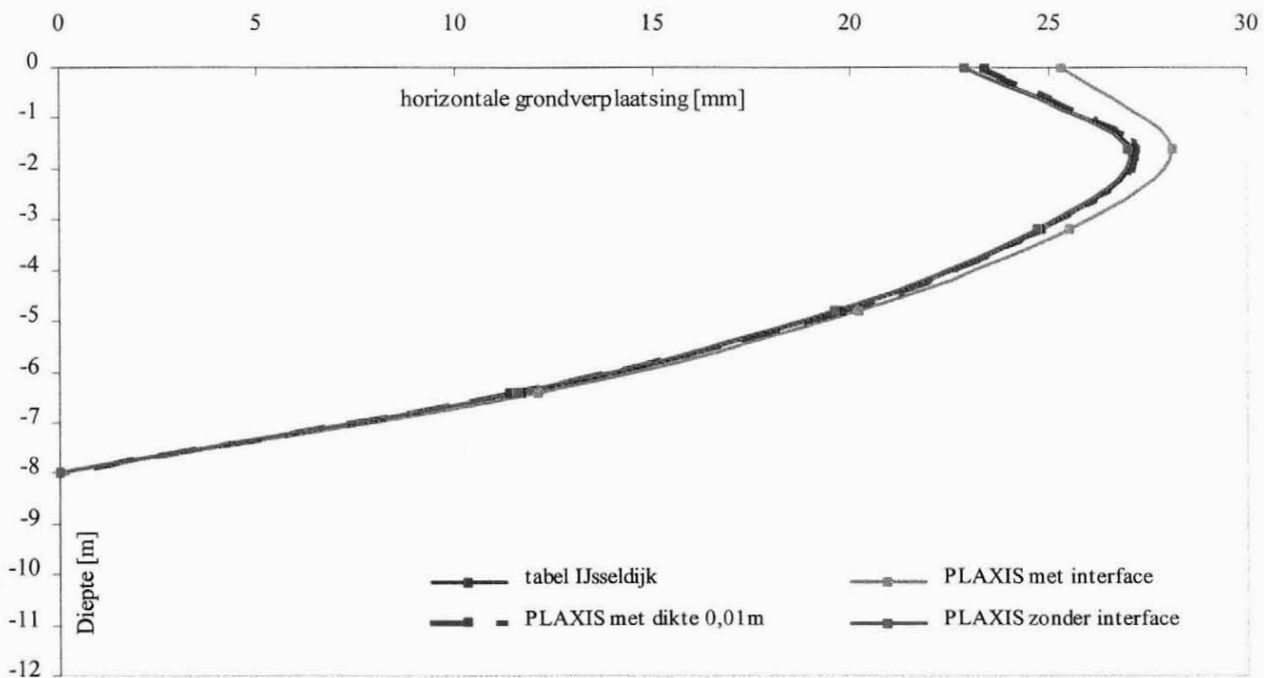
1. Materiaal undrained met effectieve $\nu = 0,35$. Dit vergroot de normaalstijfheid van de interface-elementen;
2. Enkele interface gebruiken (aan één kant van de lijn);
3. Kortere interface (niet door laten lopen tot onder aan de mesh);
4. Verlagen van de “relative interface thickness” tot 0,01 m (standaard instelling is 0,1 m)

De reden waarom een interface-element gebruikt is in PLAXIS is voor het verkrijgen van informatie op de snede waar de paal geplaatst is.

Door het aanpassen van de berekening in PLAXIS met de 4 bovenstaande mogelijkheden, is gebleken dat mogelijkheid (4) de resultaten van de tabel het dichtst benadert (zie tabel 3.1 en figuur 3.4). Er is een kleine afwijking, maar deze is te verwaarlozen. In bijlage 3B worden de resultaten van alle oplossingsmogelijkheden weergegeven.

diepte [m]	tabellen IJsseldijk [mm]	PLAXIS zonder interface [mm]	PLAXIS met interface [mm]	PLAXIS met interface (4) [mm]
0,0	22,9	22,9	25,3	23,4
-1,6	27,1	27,0	28,1	27,2
-3,2	24,8	24,7	25,5	24,8
-4,8	19,7	19,6	20,2	19,8
-6,4	11,7	11,6	12,1	11,4
-8,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabel 3.1: Methode IJsseldijk.



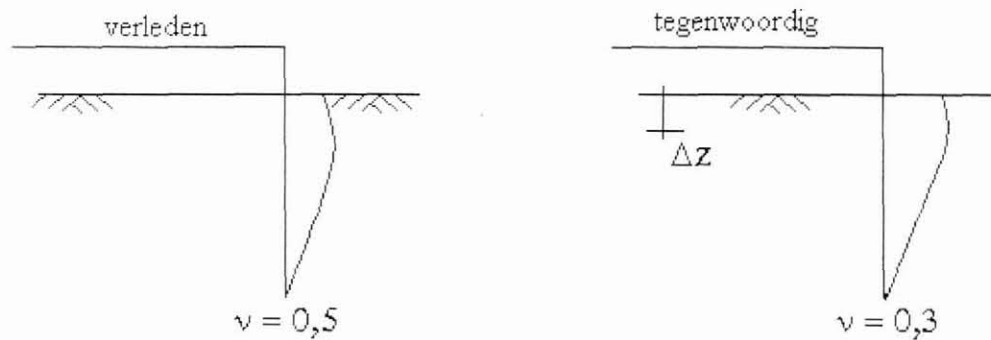
Figuur 3.4: Methode IJsseldijk.

Omdat bij de methode IJsseldijk-Loof het uitgangspunt is dat de dwarscontractiecoëfficiënt $\nu = 0,5$ is, is een berekening uitgevoerd waarin onderzocht wordt wat de invloed is van een andere dwarscontractiecoëfficiënt. Dit wordt beschreven in bijlage 3E. De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat met een lagere dwarscontractiecoëfficiënt een realistisch beeld wordt verkregen van de verplaatsingen. De horizontale verplaatsingen dempen veel sneller uit (deze zijn ook lager dan bij een dwarscontractiecoëfficiënt van 0,5) en de verticale verplaatsingen die hieruit volgen, komen overeen met wat in de praktijk gebeurt.

§3.5. Soft Soil berekening

§3.5.1. Inleiding

De volgende vergelijking wordt uitgevoerd om aan te geven hoe vroeger en tegenwoordig de horizontale vervorming naast een belasting bepaald kon en kan worden. Tegenwoordig kan het probleem aangepakt worden met eindige elementenberekeningen en geavanceerde materiaalmodellen, zoals het Soft Soil model in PLAXIS. Vroeger werd (en nu nog steeds wordt) de methode IJsseldijk-Loof gebruikt. Eén van de redenen waarom PLAXIS Soft Soil gebruikt wordt, is omdat deze namelijk niet te maken heeft met beperkende randvoorwaarden, waar IJsseldijk-Loof wel randvoorwaarden heeft (zie §3.3 voor de randvoorwaarden). Eerst zal er een kort overzicht volgen over de aanpak van nu en in het verleden.



Figuur 3.5: Overzicht aanpak verleden-heden.

IJsseldijk-Loof

- Bepaal zetting met formule van Koppejan (Δz);
- Bepalen elasticiteitsmodulus $E = 1,25 \cdot \frac{\Delta p \cdot h^2}{\Delta z}$
- Bepaal horizontale vervorming met IJsseldijk, door gebruik te maken van de eerder berekende E;
- $\nu = 0,5$;
- Lineair elastisch;

PLAXIS

- Soft Soil;
- $\nu = 0,3$;
- C_p en C_s (dus λ) \Rightarrow
hieruit volgt een Δz op $x = -\infty$ en een horizontale verplaatsing op $x = 0$

Om de vergelijking goed uit te voeren, wordt bij IJsseldijk-Loof de zetting (Δz) ingevoerd die in PLAXIS-Soft Soil gevonden is. Voor de eenvoud wordt de grondwaterstand onder de samendrukbare laag aangenomen. Waarom voor het Soft Soil model gekozen is, staat beschreven in bijlage 3F.

Koppejan

Om de horizontale grondverplaatsingen te kunnen berekenen, moet eerst de zetting van de samendrukbare lagen bepaald worden. Dit wordt per samendrukbare grondlaag gedaan met de formule van Koppejan:

$$\Delta z = \frac{h}{C} \ln \left[\frac{\Delta p + p_0}{p_0} \right] \quad \text{met} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_{p2}} + \left(\frac{1}{C_{s2}} \right) \log t$$

² de formule voor E wordt in de praktijk vaak gehanteerd

waarin:	Δz	=	zetting van de samendrukbare grondlaag	[m]
	h	=	dikte van de samendrukbare grondlaag	[m]
	Δp	=	spanningsverhoging door de belasting: $\gamma \cdot h_0$	[kN/m ²]
	γ	=	volumegewicht van het ophoogzand	[kN/m ³]
	h_0	=	dikte van de belasting	[m]
	p_0	=	oorspronkelijke verticale korrelspanning in het midden van de samendrukbare grondlaag	[kN/m ²]
	C_{p2}	=	primaire samendrukkingsconstante van de samendrukbare grondlaag boven de grensspanning	[-]
	C_{s2}	=	secundaire samendrukkingsconstante van de samendrukbare grondlaag boven de grensspanning	[-]
	t	=	tijd (meestal 10000 dagen, dus $\log t = 4$)	[dagen]

Parameters Soft Soil-model

Materiaal: klei (zwak zandig en slap, uit NEN 6740, tabel 1)

γ_d : 15 [kN/m³]

γ_n : 15 [kN/m³]

C_p : 10 [-]

C_s : 110 [-]

φ^* : 22,5 [°]

c^* : 0 [°]

Berekening zónder kruipinvloed:

$$\lambda^* = 1 / C_p^* = \lambda^* = 1 / 10 = 0,1$$

$$\kappa^* = \lambda^* / 7 = \kappa^* = 0,1 / 7 = 0,014$$

λ^* = gemodificeerde compression index (stijfheid na grensspanning bij primaire belasting)

κ^* = gemodificeerde zwellings index (ontlaststijfheid)

Echter, we rekenen met de situatie dat er *kruip* optreedt, dus dat er seculaire zetting plaatsvindt.

Voor de waarde van κ^* (beschrijven van het ontlastgedrag) wordt een reële, fictieve waarde gekozen. Zolang er sprake is van een belastingverhoging, gebruikt PLAXIS de waarde κ^* niet.

Berekening met kruipinvloed:

Dan geldt dat i.p.v. C_p' , C ingevuld moet worden (hiermee wordt rekening gehouden met de invloed van kruip). C wordt berekend uit:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{p2}} + \left(\frac{1}{C_{s2}} \right) \log t$$

$$\text{met: } C_{p2} = C_p' = 10$$

$$C_{s2} = C_s' = 110$$

$$t = 10000 \text{ dagen} = \log t = 4$$

$$\text{hieruit volgt dat } \frac{1}{C} = \frac{1}{10} + \frac{4}{110} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{3}{22}$$

$$\lambda^* = 1/C = 3/22 = 0,136$$

$$\kappa^* = \lambda^* / 7 = 0,136 / 7 = 0,019$$

Uit de berekening met het Soft Soil-model (file *IJsseldijk(ss1)*) volgt een verticale verplaatsing van 0,311 m. Nu moet het volgende gelden: $\Delta z_{\text{IJSELDIJK}} = \Delta z_{\text{SS}}$.

$$E = 1,25 \cdot \frac{\Delta p \cdot h}{\Delta z_{\text{IJSELDIJK}}} = 1,25 \cdot \frac{10 \cdot 8}{0,311} \approx 322 \text{ kN/m}^2$$

Vervolgens wordt deze E ingevuld in de tabellen van IJsseldijk, waarmee de horizontale grondverplaatsing berekend kan worden. Hieruit volgt een maximale horizontale grondverplaatsing van 118 mm. De maximale horizontale grondverplaatsing uit de Soft Soil berekening bedraagt -41 mm. Zie bijlage 3G voor resultaten. In bijlage 3H is de belasting verhoogd ($q = 30 \text{ kN/m}^1$) om een horizontale verplaatsing naar rechts te verkrijgen ter plaatse van de rand van de belasting omdat de eerder aangebrachte belasting te laag is gebleken.

§3.5.2. Vergelijking Soft Soil en Mohr-Coulomb model

Om na te gaan of de resultaten van de Soft Soil berekening wel realistisch zijn, wordt een vergelijkende berekening uitgevoerd met het Mohr-Coulomb model. Uit de berekening met het Soft Soil-model volgt een verticale verplaatsing van 0,311 m. Nu moet het volgende gelden:

$$\Delta z_{\text{MC}} = \Delta z_{\text{SS}}$$

$$\Delta z_{\text{MC}} = \frac{\Delta p \cdot h}{E_{\text{oed}}} \Rightarrow E_{\text{oed}} = \frac{\Delta p \cdot h}{\Delta z_{\text{MC}}} = \frac{10 \cdot 8}{0,311} \approx 257 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{\text{oed}} = \frac{(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)} \cdot E \Rightarrow E = \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{(1-\nu)} \cdot E_{\text{oed}}$$

$$\text{voor } \nu = 0,3 \text{ is } E = \frac{(1-2 \cdot 0,3)(1+0,3)}{(1-0,3)} \cdot 257 \approx 191 \text{ kN/m}^2$$

Als deze E ingevoerd wordt in een PLAXIS 2D-berekening, waarbij gebruikt wordt gemaakt van het Mohr-Coulomb model, volgt uit de berekening een verticale verplaatsing van 0,319 m. De afwijking is $(0,319 / 0,311) \cdot 100 \approx 2,6 \%$. Als er gekeken wordt naar de verticale verplaatsing, dan komen de resultaten nagenoeg met elkaar overeen. Als de horizontale verplaatsingen (uitgezet tegen de diepte) bekeken worden, dan valt het volgende waar te nemen: het verloop op -8 m. , -4 m. , $+4 \text{ m.}$ en $+8 \text{ m.}$ van de rand is gelijk, alleen zijn de verplaatsingen van het Soft Soil model kleiner. Alleen op 0 m. (dus bij de rand van de belasting) is het verloop heel anders. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat het Soft Soil model uitgaat van een spanningsafhankelijke stijfheid. M.a.w. dat de stijfheid toeneemt naarmate de diepte toeneemt en de grond dus minder horizontaal verplaatst. Het Mohr-Coulomb model gaat uit van een stijfheid die niet varieert over de diepte. In hoofdstuk 7 wordt m.b.v. een proefmeting een uitspraak gedaan over welke van deze twee grondmodellen de werkelijkheid het best beschrijft. Voor een volledig overzicht van het verloop van de horizontale verplaatsingen zie bijlage 3G.

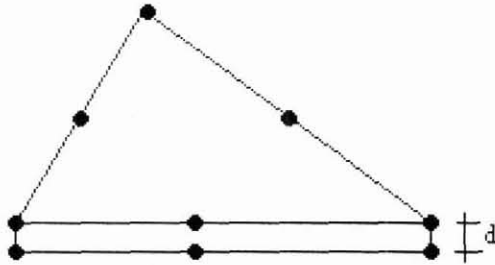
§3.6. Conclusie tabellen en PLAXIS 2D

§3.6.1. Algemeen

Uit voorgaande paragrafen kan geconcludeerd worden dat, wanneer een EEM (in dit geval PLAXIS 2D) gebruikt wordt voor de validatie van de tabellen IJsseldijk-Loof, er met een aantal zaken rekening moet worden gehouden. Allereerst moet er rekening gehouden worden met de randvoorwaarden voor de toepassing van de tabellen (zie §3.3). Als vervolgens met PLAXIS 2D gerekend wordt, zijn er twee mogelijkheden (indien de grondverplaatsingen berekend worden); mogelijkheid één is een berekening *zonder* gebruikmaking van een interface, een tweede mogelijkheid is *met* gebruikmaking van een interface. Hier wordt aanbevolen om géén interface-elementen te gebruiken, omdat interface-elementen alleen worden gebruikt voor het modelleren van de aanhechting tussen de paal en de grond.

IJsseldijk (evenals Loof)

Indien PLAXIS 2D gebruikt wordt, blijken de resultaten tussen de tabellen en PLAXIS 2D goed met elkaar overeen te komen. Enige voorzichtigheid is geboden bij het gebruik van interfaces. Als er



gerekend wordt met een interface dan moet de “virtual thickness factor” minimaal gekozen worden. De “virtual thickness factor” is een denkbeeldige afstand “d” tussen de twee knopen om materiaaleigenschappen aan het element toe te kennen. Hoe kleiner deze afstand is, hoe kleiner de bewegingsvrijheid van het element.

Figuur 3.6: De “virtual thickness factor”.

Soft Soil model (SSM)

Het SSM is een zeer geavanceerd grondmodel en daarmee zou men verwachten dat het werkelijk grondgedrag zo goed mogelijk wordt beschreven. In hoofdstuk 7 wordt dit getoetst met een proefmeting.

§3.6.2. Meerwaarde PLAXIS 2D t.o.v. de tabellen

De nadelen van de methode IJsseldijk-Loof kunnen door gebruikmaking van een EEM (zoals PLAXIS 2D) ondervangen worden. De volgende mogelijkheden zijn hiervoor beschikbaar:

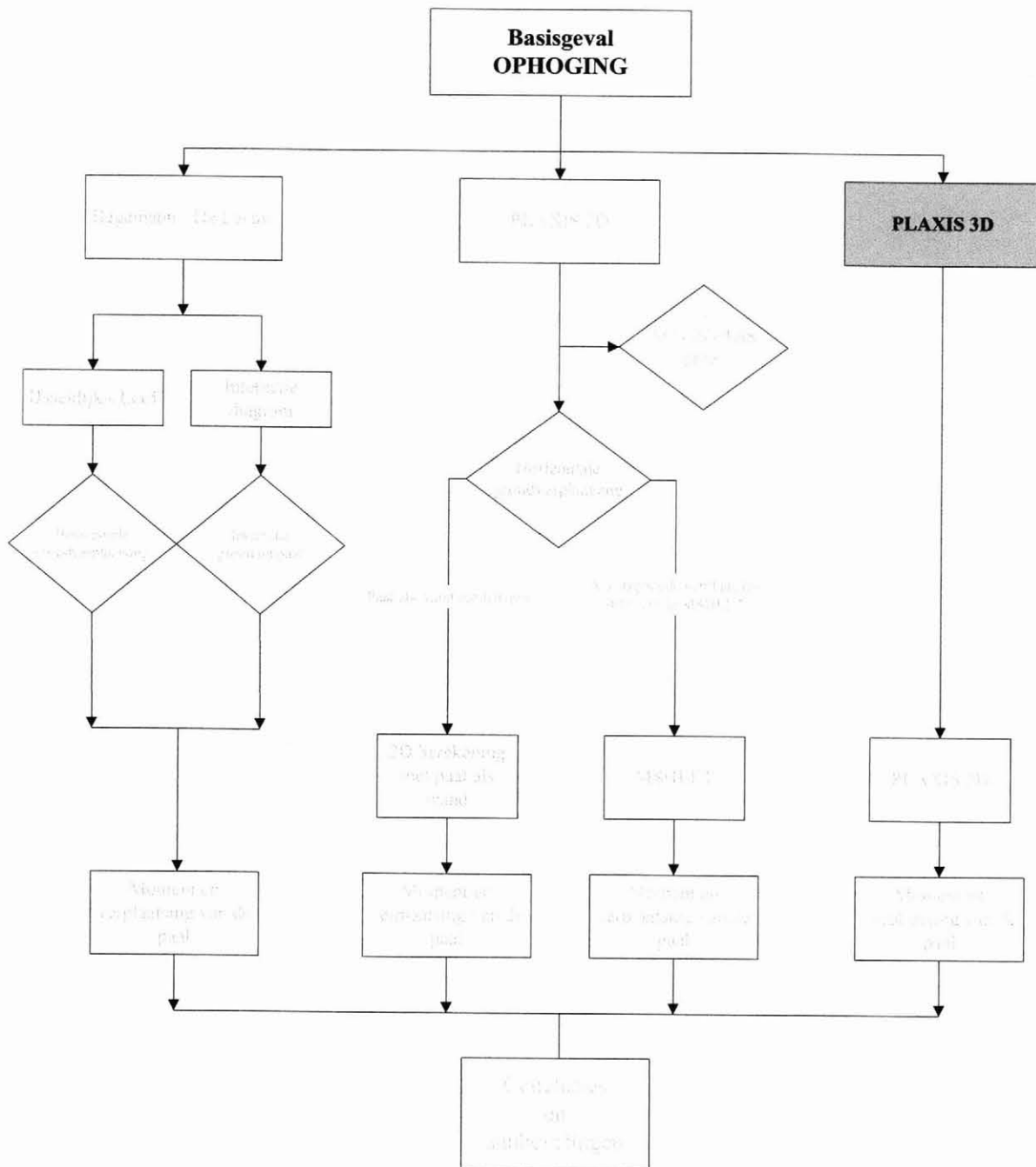
- *Lineair elastisch grondgedrag, o.a. er wordt geen kruipinvloed en geen consolidatieverloop meegerekend.*
- ⇒ In PLAXIS 2D zijn er meerdere mogelijkheden om materiaalgedrag in rekening te brengen;
- *De schematisatie van de grond bestaat uit één homogene, isotrope laag en niet een uit enkele grondlagen opgebouwde grondpakket. Het probleem wordt vereenvoudigd.*
- ⇒ In PLAXIS 2D kunnen meerdere lagen ingevoerd worden (met name het praktijkgeval, waarbij het niet duidelijk is of er wel of geen sprake is van een rekstijve bovenlaag);
- *Dwarscontractiecoëfficiënt $\nu = 0,5$ (volumevast materiaal).*
- ⇒ In PLAXIS 2D kan een reële waarde voor ν worden gekozen. Het gedrag op korte termijn kan bepaald worden door het uitvoeren van een consolidatieberekening;
- *Vlakke vervormingstoestand (2D).*
- ⇒ Kan tegenwoordig al in 3D ingevoerd worden;

- *Uniforme gelijkmatig verdeelde bovenbelasting, dus geen sprake van niet uniforme gelijkmatig verdeelde belasting.*
- ⇒ In PLAXIS 2D kan, in principe, elke belasting ingevoerd worden die gewenst is, in iedere vorm;
- *In de praktijk is het vaak niet duidelijk of er gerekend moet worden met een rekstijve bovenlaag. Dit heeft uiteraard consequenties voor het toepassen van de methode IJsseldijk-Loof.*
- ⇒ Zie punt 2.

§3.6.3. Aanbevelingen

Als er een geval is, waarbij één (of meerdere) van bovenstaande punten aan de orde komt (of komen) dan kan er, voor een gedetailleerde berekening, beter overgestapt worden op het gebruik van een EEM-rekenpakket (zoals PLAXIS).

HOOFDSTUK 4



Hoofdstuk 4: Modelling in PLAXIS 3D.

§4.1. Inleiding

Het titelblad van dit hoofdstuk laat duidelijk zien waar het in dit hoofdstuk over gaat. Hier komt aan de orde waarom in dit onderzoek voor 3D rekenen is gekozen. De volgende onderwerpen zullen besproken worden; in §4.2 worden de redenen voor de keuze van 3D rekenen aangegeven; in §4.3 wordt de aanpak van het 3D rekenen uiteengezet. Hierin wordt uitgelegd welke stappen zijn gedaan om tot resultaten te komen. In §4.4 worden de verschillende uitgevoerde berekeningen uiteengezet en vervolgens worden de resultaten besproken. In feite is PLAXIS 3D niet echt 3D, maar meer 2½D. De derde dimensie wordt verkregen door het 2D element te extruderen over een bepaalde afstand.

§4.2. De redenen voor 3D rekenen

Er zijn een aantal redenen aan te geven waarom tegenwoordig 3D gerekend kan worden:

1. Vanuit de praktijk is er een grote behoefte om constructies en belastingen met een 3D karakter te analyseren;
2. De berekening met PLAXIS 2D is in feite een wandberekening;

Alvorens een 3D berekening gestart wordt, moet er aandacht besteed worden aan het volgende:

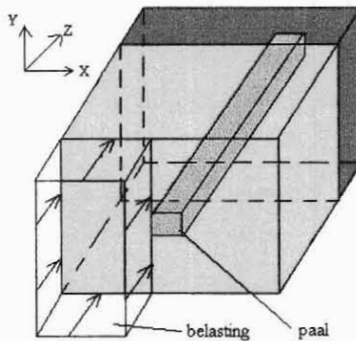
Het uitvoeren van een 3D berekening is gecompliceerd en een tijdrovende bezigheid. Ten eerste is het moeilijk om een driedimensionaal model te genereren en daarbij het overzicht behouden over de invoergegevens. Een modelleringsfout is makkelijker en sneller gemaakt dan het opzoeken en herstellen van deze fout, wat ervaring en veel tijd kost. Daarnaast kan de robuustheid van een 3D rekenmodel lager zijn dan van een 2D model en dus eerder aanleiding geven tot ontsporen van het rekenproces.

§4.3. De aanpak van 3D rekenen in PLAXIS

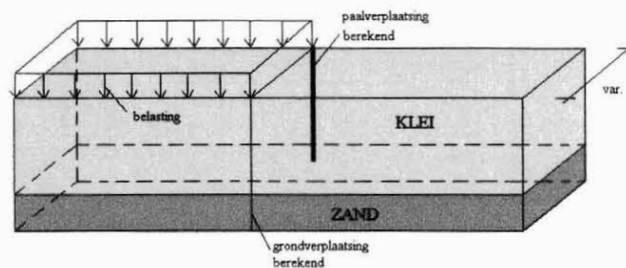
Bij driedimensionale geometrieën die een bepaalde vorm van symmetrie vertonen, kunnen twee vormen van modelleren onderscheiden worden. Voor modellering van niet-symmetrische belastingen en cirkelvormige doorsneden kunnen beiden gebruikt worden. De twee vormen zijn:

- 1) De verticale doorsnede wordt gemodelleerd of;
- 2) De horizontale doorsnede wordt gemodelleerd.

Zie bijlage 4A voor een nadere uitleg van beide vormen van modellering. Om het probleem eenvoudig te houden is gekozen voor een simpel model.



Figuur 4.1: Toegepast model met belasting in z-richting.



Figuur 4.2: Toegepast model met belasting in y-richting.

Er zijn twee typen van modellering uitgevoerd:

- 1) Modeltype 1 is de invoer van de belasting in z-richting (zie figuur 4.1);
- 2) Modeltype 2 is de invoer van de belasting in y-richting (zie figuur 4.2).

Ad 1) Het aanpassen van de richting van de zwaartekracht is onmogelijk in 3D, dit heeft tot gevolg dat:

1. Het genereren van de horizontale gronddrukken onmogelijk is;
2. Het grondwaterniveau kan niet aangegeven worden;
3. Voor eenvoudige gevallen is het handig als het in z-richting gemodelleerd zou kunnen worden, maar voor complexe gevallen is er geen overzicht meer over de invoer.

Ad 2) Aangezien de belasting niet in z-richting ingevoerd kan worden, is ervoor gekozen om de belasting aan te brengen in y-richting. Daarnaast is er gevarieerd met de breedte- en diepte afmetingen van het model. De resultaten worden in de volgende paragrafen besproken.

De werkwijze

1. Default model is 3D parallel planes en 15 node-wedge;
2. Definiëren van randvoorwaarden en belasting op het model;
3. Invoeren van materiaalparameters;
4. Aangeven van het aantal segmenten en planes, de mate waarin en de wijze waarop de belasting aangebracht moet worden (staged construction);

5. Uitvoeren van de 3D berekening;
6. Analyseren van de berekeningsresultaten.

§4.4. Volgorde van uitgevoerde berekeningen

§4.4.1. Inleiding

Er is een aantal berekeningen uitgevoerd om vertrouwd te raken met PLAXIS 3D en om de verschillende wijzen van modelleren te onderzoeken. Er is gevarieerd met de afmeting van het model, om te onderzoeken wat de invloed is van een kleiner model op de resultaten. De rekentijd wordt door een kleiner model korter. Tevens dient vermeldt te worden dat er gerekend wordt zonder cohesie (dit is een aanname). De volgende mogelijkheden zijn doorgevoerd:

1. Rondom de paal wordt de mesh fijner gemaakt;
2. De verdeling van de clusters rondom de paal worden verderaf van de paal steeds grover;
3. De belasting wordt in stappen aangebracht. Er wordt niet gerekend met een eenheidsbelasting, maar met reële waarden;
4. Bovendien worden plastische punten verkregen door het in stappen verhogen van de belasting.

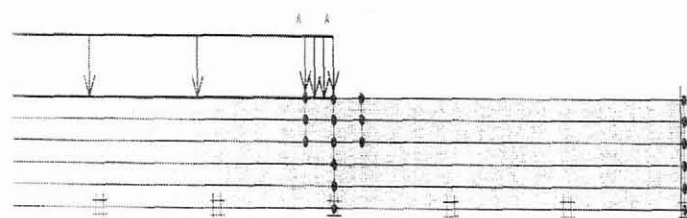
De volgende berekeningen zijn uitgevoerd:

- §4.4.2. Berekening 1: Vergelijking 2D en 3D;
- §4.4.3. Berekening 2: Modellering volledig model;
- §4.4.4. Berekening 3: Modellering half model;
- §4.4.5. Berekening 4: Modellering half model (andere modellering);
- §4.4.6. Berekening 5: Balkelementen versus volume-elementen.

Voor de gebruikte parameters bij berekening 1 t/m 5 zie bijlage 4B.

§4.4.2. Berekening 1: Vergelijking 2D en 3D

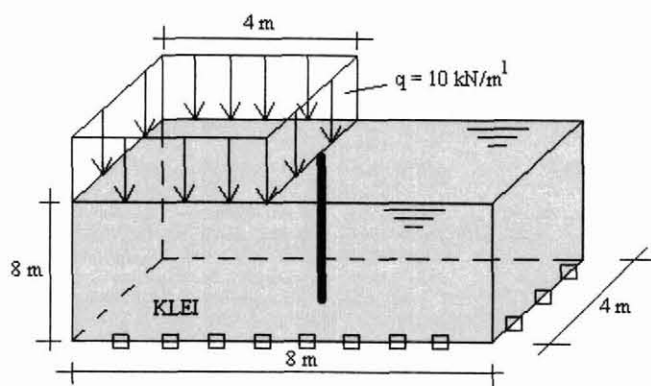
Als eerste berekening is in PLAXIS 3D een zelfde model ingevoerd als in PLAXIS 2D (zie figuur 4.3 voor het model). De parameters voor de grond en aanvullende gegevens van het model staan in bijlage 4B. Resultaat van de 3D berekening is dat dezelfde horizontale grondverplaatsingen optreden als in de 2D berekening. Voor de volledige resultaten, zie bijlage 4C en 4D.



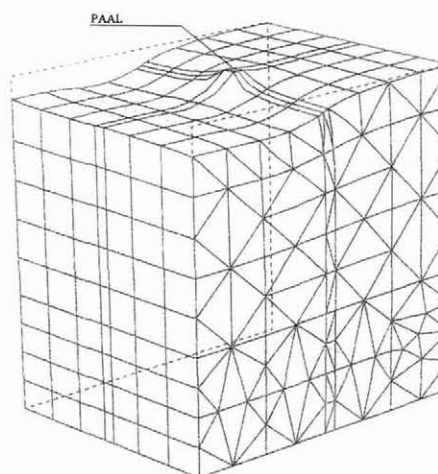
Figuur 4.3: Invoerschema berekening 1.

§4.4.3. Berekening 2: Modelleren volledig model

Een tweede berekening die uitgevoerd is, is een model waarin een volledig model van een paal ingevoerd is met behulp van volume-elementen. Er is géén gebruik gemaakt van interfacelementen, er is dus sprake van volledige aanhechting tussen de paal en de grond. Bij deze berekening is de stroming van grond rondom de paal goed zichtbaar (zie figuur 4.5). De parameters voor de grond, de paal en aanvullende gegevens van het model staan in bijlage 4B. Voor de volledige resultaten, zie bijlage 4E (file *3Dpaal*).



Figuur 4.4: Model berekening 2.

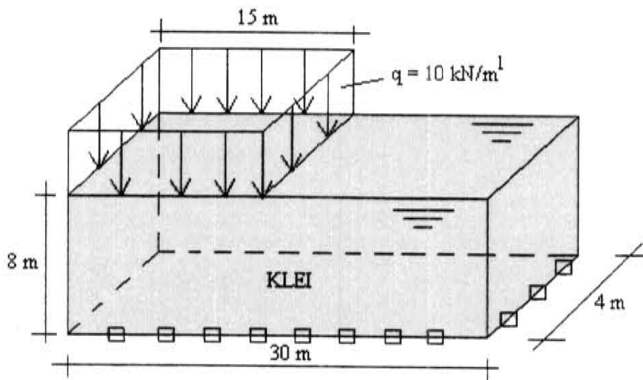


Figuur 4.5: Vervormde mesh berekening 2.

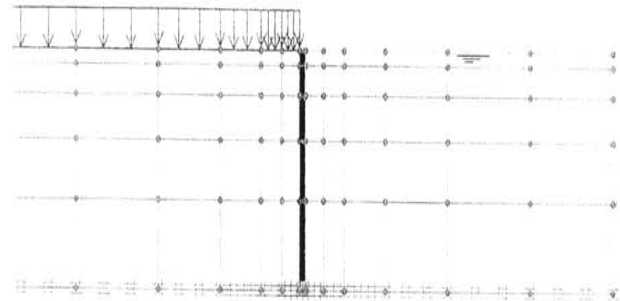
Naast het bovenstaande volledige model is er ook een “half” model ingevoerd, d.w.z. er is in deze berekening i.p.v. een volledige paal, een paal met een halve diameter gemodelleerd. De resultaten van deze berekening staan in bijlage 4F (file *3D-halve_paal*). De maximale horizontale verplaatsing van het volledige model is 5,19 mm en van het halve model is deze 5,25 mm. Het verschil is nihil (1,2 %).

§4.4.4. Berekening 3: Modelling half model

Als derde is een berekening uitgevoerd in PLAXIS 3D waarin, vanwege symmetrie een half model ingevoerd is en het model in x-richting breder is gemaakt (i.p.v. 8 m. nu 30 m.), om de invloed hiervan de onderzoeken. Er zijn twee berekeningen uitgevoerd; één volgens het lineair elastisch rekenmodel (LE, berekening 3a) en één volgens het Mohr-Coulomb rekenmodel (MC, berekening 3b). Grond-, paalparameters en aanvullende gegevens staan in bijlage 4B. Zie figuur 4.6 voor het model en figuur 4.7 voor de opbouw van de mesh.



Figuur 4.6: Model berekening 3.



Figuur 4.7: Opbouw mesh.

De resultaten tussen de LE- en de MC-berekening komen niet overeen met elkaar voor wat betreft de horizontale grondverplaatsing t.p.v. de rand van de belasting. Berekening 3a (LE) geeft een maximale horizontale verplaatsing van 5,75 mm, terwijl berekening 3b (MC) een horizontale verplaatsing geeft van 10,03 mm. De afwijking is 74,4%! Dit komt omdat in het Mohr-Coulomb model plastische punten ontstaan (t.g.v. het aanbrengen van een belasting op het maaiveld), waar die in een lineair elastische berekening niet kunnen ontstaan. Om te zorgen dat in de berekening met het Mohr-Coulomb grondmodel dezelfde horizontale grondverplaatsing optreedt als in het lineair elastische grondmodel, is een berekening uitgevoerd waarin een waarde voor de cohesie (berekening 3c) wordt ingevoerd. Bij een cohesie van 27 kN/m² zijn geen plastische punten aanwezig en het blijkt dat de maximale horizontale grondverplaatsing overeenkomt met die van de lineair elastische berekening, namelijk 5,74 mm. Voor de volledige resultaten, zie bijlage 4G, 4H en 4I.

File	3D-model(LE2)	3D-model(MC2)*	3D-model(MC3)**
Bijlage	4G	4H	4I
Berekeningnr.	3a	3b	3c
$u_{hor, max; paal}$ (mm)	5,75	10,03	5,74

Tabel 4.1: Overzicht horizontale verplaatsing.

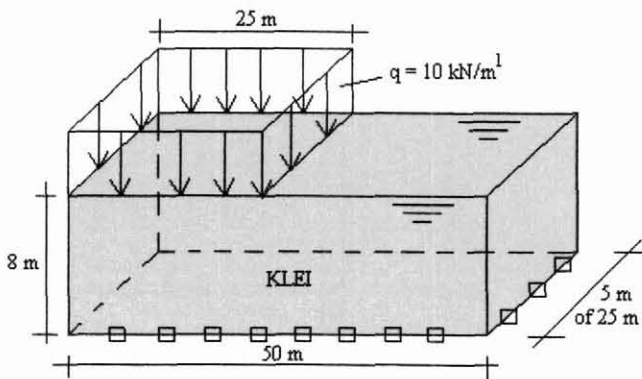
* geen cohesie

** wel cohesie

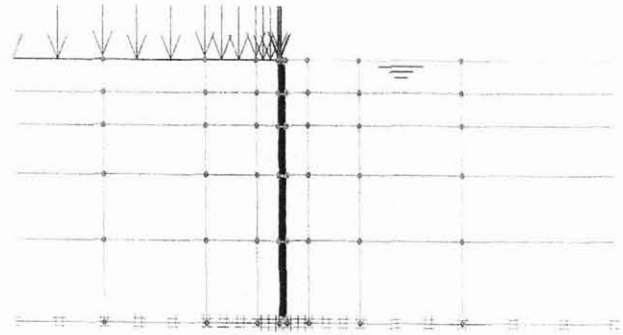
§4.4.5. Berekening 4: Modelling half model

Bij deze berekening is een model (met een halve paaldiameter) ingevoerd waarbij wederom gekeken wordt naar de horizontale grondverplaatsing ter plaatse van de rand van de belasting. Vermeld dient te worden dat eerst is gekeken op welke afstand van de rand van de belasting de horizontale verplaatsingen zo goed als uitgedempt zijn. Dit blijkt op ongeveer 25 m. van de rand te zijn.

Het model is in totaal 50 m. breed en 25 m. diep (in z-richting, berekening 4a) of 5 m. diep (in z-richting, berekening 4b, 4c en 4d). Op de plaats waar de paal gemodelleerd wordt (op 25 m. in x-richting), is gekozen voor een fijne mesh. Verder van de paal af is de mesh grover gekozen. De grond-, paalparameters en aanvullende gegevens staan in bijlage 4B.

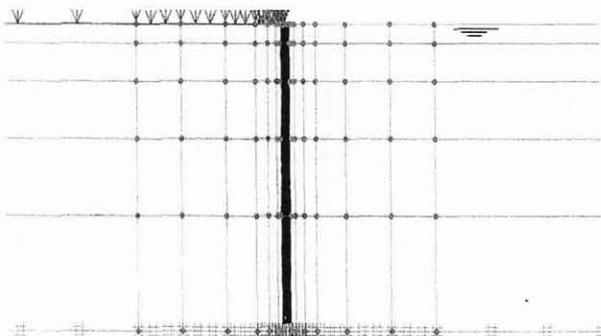


Figuur 4.8: Model berekening 4.



Figuur 4.9: Opbouw mesh berekening 4a.

Berekening 4b (3D-model(b3)) is gelijk aan berekening 4a met de volgende aanpassingen: de mesh is aangepast in de eerste 5 m. “aangrenzend” de paal. Hier is gekozen voor een andere, nauwkeurigere, verdeling van de mesh en voor een diepte van 5 m. i.p.v. 25 m. in z-richting, omdat uit berekening 4a is gebleken dat over de eerste 5 m. (in z-richting) de grondverplaatsingen wijzigen en daarna nagenoeg gelijk blijven. Dit houdt tevens in dat de benodigde rekentijd verkort wordt.



Figuur 4.10: Opbouw mesh berekening 4b, 4c en 4d.

De afwijking van de horizontale grondverplaatsingen tussen de berekeningen 4a en 4b (zie tabel 4.2) wijken van elkaar af, echter het verschil is nihil (1,8 %). De oorzaak hiervoor ligt in de opbouw van de mesh nabij de rand van de belasting. Hoe fijner de mesh, hoe nauwkeuriger het resultaat is (zie figuur 4.10).

Berekening 4c is uitgevoerd om na te gaan hoe groot het verschil in horizontale verplaatsingen is tussen het LE-grondmodel en het MC-grondmodel. Dit blijkt nogal groot te zijn, de afwijking is 84,4 %. Voor een verklaring, zie uitleg bij berekening 3 (§4.4.4). Er is wederom een berekening uitgevoerd waarin een waarde voor de cohesie (berekening 4d, file 3D-model(b5)) wordt ingevoerd. Bij een cohesie van 27 kN/m^2 zijn geen plastische punten aanwezig en het blijkt dat de maximale horizontale grondverplaatsing overeenkomt met die van de lineair elastische berekening (zie tabel 4.2). Voor de volledige resultaten van berekening 4a t/m 4d, zie bijlage 4J, 4K, 4L en 4M.

file	4a: 3D-model (b2)		4b: 3D-model (b3)		4c: 3D-model (b4)		4d: 3D-model (b5)	
bijlage	4J		4K		4L		4M	
fase	grondmodel MC		grondmodel MC		grondmodel LE		grondmodel MC	
q [kN/m ¹]	u _{fase} [mm]	u _{totaal} [mm]	u _{fase} [mm]	u _{totaal} [mm]	u _{fase} [mm]	u _{totaal} [mm]	u _{fase} [mm]	u _{totaal} [mm]
q = 1	0,651	0,651	0,656	0,656	0,584	0,584	0,583	0,583
q = 5	3,72	4,37	4,06	4,71	2,34	2,92	2,34	2,92
q = 10	6,42	10,79	6,27	10,98	2,93	5,85	2,96	5,88
q = 15	7,79	18,58	7,78	18,76	2,92	8,77	3,06	8,94
q = 20	9,23	27,81	8,75	27,51	2,92	11,69	3,22	12,16

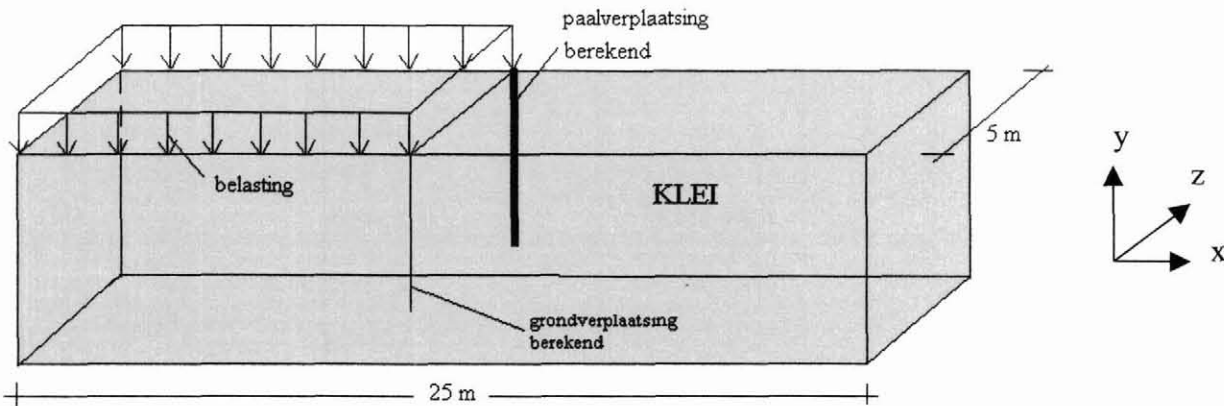
Tabel 4.2: Resultaten berekening 4a t/m 4d.

§4.4.6. Berekening 5: Balkelement versus volume-element

Deze berekening wordt uitgevoerd om na te gaan wat de verschillen zijn in verplaatsingen van de grond en de paal, indien de paal gemodelleerd wordt als balkelement of als volume-element. De grondparameters staan in bijlage 4B. De paalparameters staan in tabel 4.3. Het ingevoerde model is gelijk aan het model van file 3D-model(b3), alleen zijn de volume-elementen vervangen door balkelementen. De verplaatsingen in tabel 4.4 zijn de maximale verplaatsingen.

Aanvullende gegevens van de paal:

- lengte paal 8 m, afmeting paal = $300 \times 300 \text{ mm}$ ($A = 0,09 \text{ m}^2$), elastisch gedrag
- eigen gewicht = $24 \text{ kN/m}^3 - 18 \text{ kN/m}^3 = 6 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow \text{e.g.} = 6 \cdot 0,3 = 1,8 \text{ kN/m}^2$
- $(EA)_{\text{invoer}} = (EA)_{\text{werkelijk}} / \text{paalbreedte}$ en $(EI)_{\text{invoer}} = (EI)_{\text{werkelijk}} / \text{paalbreedte}$



Figuur 4.11: 3D-afbeelding berekening 5.

element	E [kN/m ²]	I [m ⁴]	(EA) _w [kN]	(EI) _w [kNm ²]	(EA) _i [kN/m ¹]	(EI) _i [kNm ² /m ¹]	v [-]
balk	$33,5 \cdot 10^6$	$6,75 \cdot 10^4$	3015000	22612,5	10050000	75375	0,2
volume	$33,5 \cdot 10^6$	-	-	-	-	-	0,2

Tabel 4.3: Paalparameters.

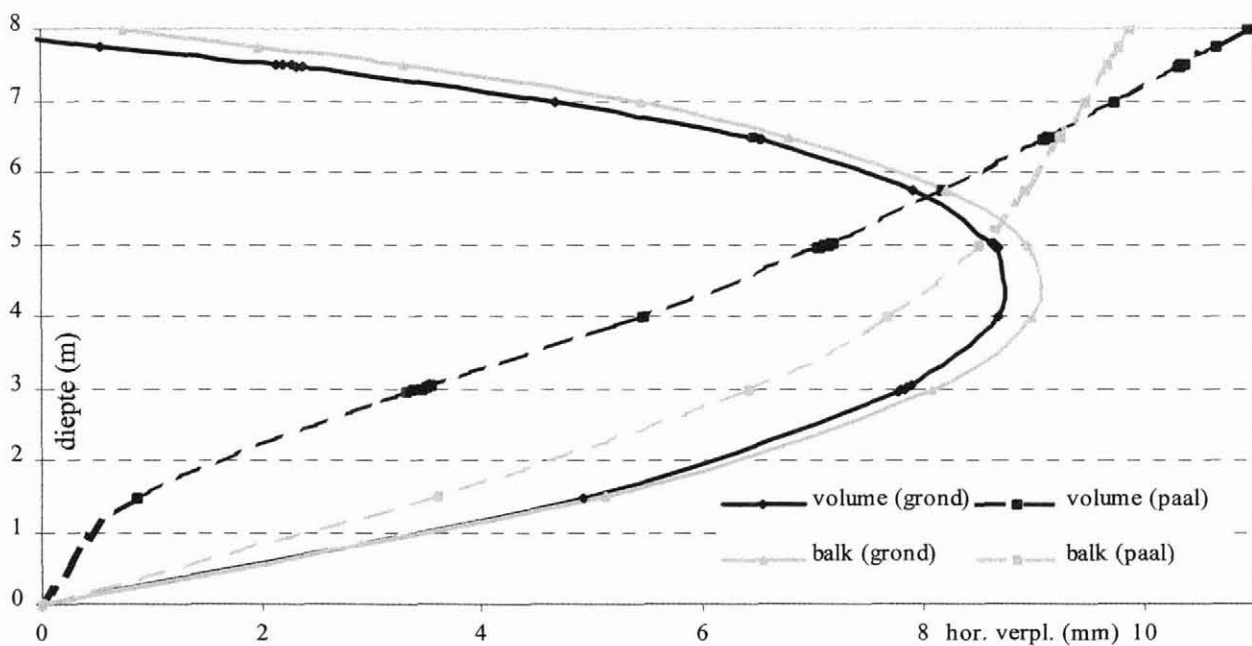
q [kN/m ¹]	3D volume-element [file 3D-model(b3)]		3D balkelement [file 3Dbalk]	
	u _{op rand paal} [mm]	u _{op 5 m afstand} [mm]	u _{op rand paal} [mm]	u _{op 5 m afstand} [mm]
1	0,656	0,855	0,766	0,855
5	4,71	4,31	4,26	4,46
10	10,98	8,70	9,88	8,98
15	18,76	15,25	16,90	13,54
20	27,51	36,73 *	25,52	18,38 *

Tabel 4.4: Resultaten vergelijking volume- en balkelementen.

* deze verplaatsing is op maaiveldniveau.

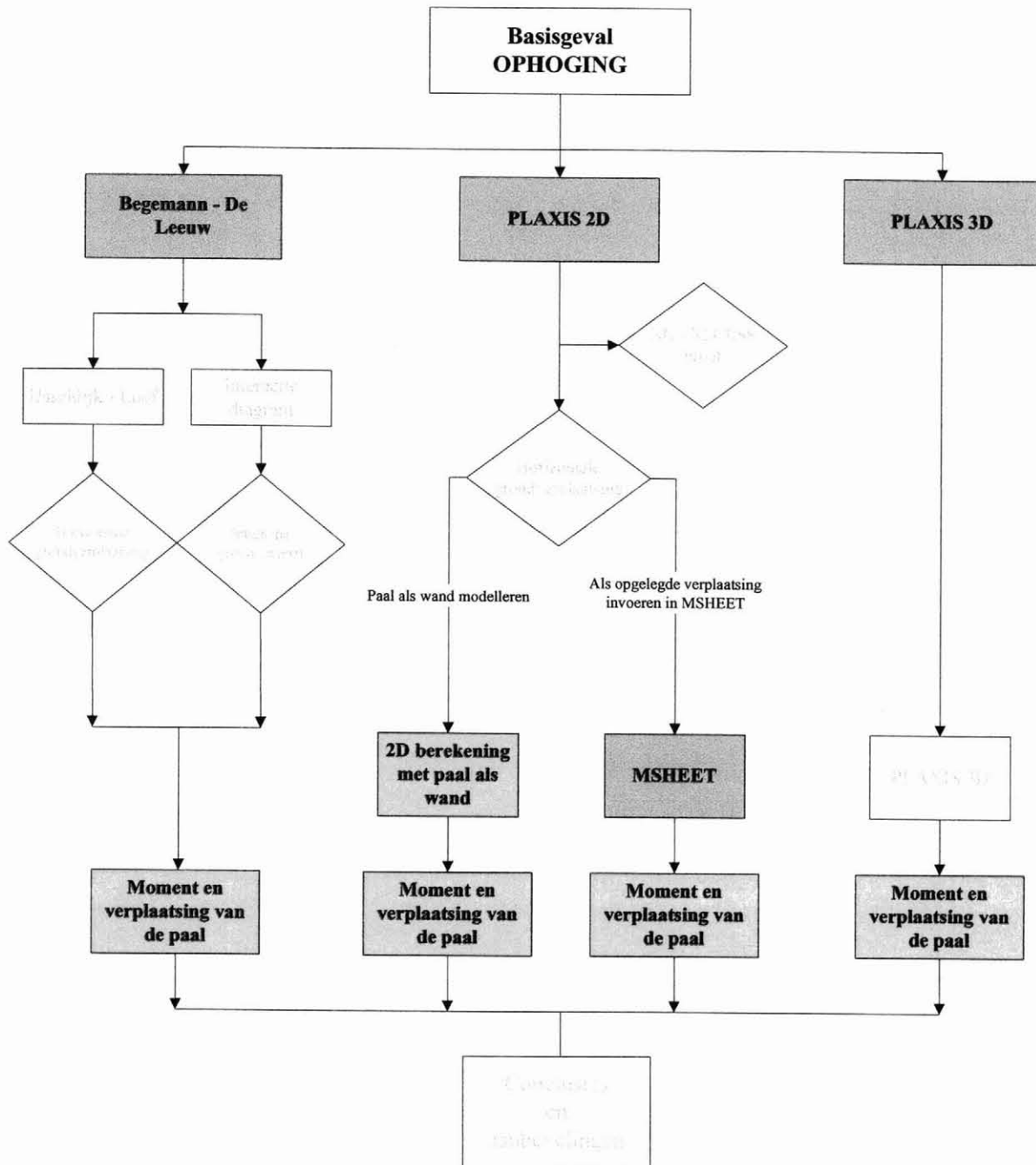
Voor een overzicht van alle resultaten, zie bijlage 4K (file 3D-model(b3)) en bijlage 4N (file 3Dbalk).

In figuur 4.12 is het verloop van de grondverplaatsingen en paalverplaatsingen uit de twee berekeningen van tabel 4.4 weergegeven. Het maakt niet uit of er gekozen wordt voor balkelementen of voor volume-elementen. In beide gevallen komt er nagenoeg hetzelfde uit. De voorkeur gaat echter uit naar het gebruik van balkelementen (momenten en verplaatsingen volgen direct uit de output, bij volume-elementen moeten uit de spanningen de momenten bepaald worden). De grafiek is gebaseerd op een q -last van 10 kN/m^1 . Voor de volledige resultaten, zie bijlage 4J.



Figuur 4.12: Grond- en paalverplaatsing bij volume-elementen en paalelementen.

HOOFDSTUK 5



Hoofdstuk 5: Vergelijking 3D model met bestaande rekenmethoden

§5.1. Inleiding

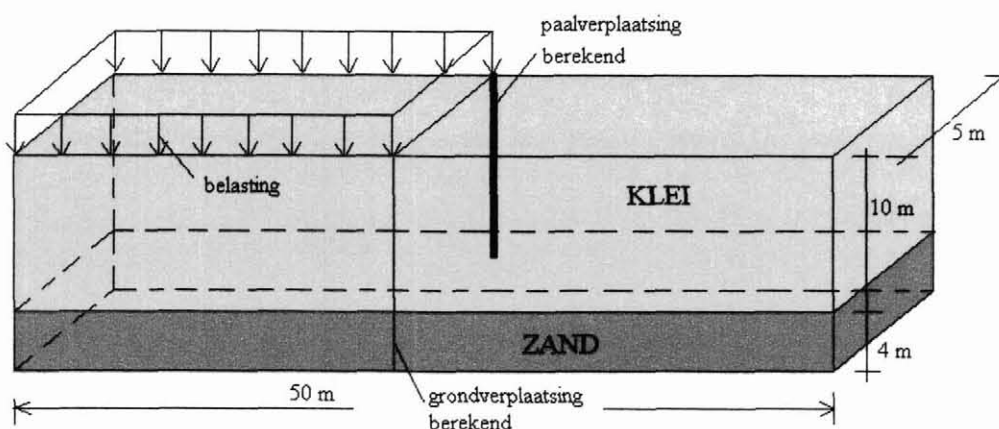
Het titelblad van dit hoofdstuk geeft weer wat in dit hoofdstuk aan bod komt. In dit hoofdstuk wordt een (eenvoudig) 3D model vergeleken met een viertal bestaande rekenmethoden, te weten:

- Handberekeningsmethode volgens methode Begemann-De Leeuw;
- Elastisch ondersteund liggermodel;
- EEM PLAXIS 2D;
- EEM PLAXIS 3D

Als eerste wordt in §5.2 het beschouwde model gepresenteerd. Vervolgens worden in §5.3 de invoerparameters van de methode Begemann-De Leeuw weergegeven. In de daarop volgende paragrafen wordt achtereenvolgend besproken; het principe van het elastisch ondersteunde liggermodel en de gebruikte invoerparameters (§5.4), de invoer in EEM PLAXIS 2D (§5.5) en de benodigde invoerparameters voor EEM PLAXIS 3D (§5.6). Als laatste worden in §5.7 de resultaten met elkaar vergeleken en worden conclusies getrokken over welke methode de beste resultaten geeft.

§5.2. Eenvoudig model

Om bovengenoemde berekeningsmethoden te kunnen vergelijken is een eenvoudig probleem gedefinieerd. De schematisatie van het probleem is in figuur 5.1 gegeven. De ingevoerde belasting is 10 kN/m^1 .



Figuur 5.1: Eenvoudig model.

De parameters van de grond staan in tabel 5.1 weergegeven.

	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	q_c [MPa]	C'_p -	C'_s -	E [MPa]	φ [°]	c' [kPa]	ν
Klei, slap	15	18	0,7	10	110	1,4	22,5	0	0,3
Zand, kleiig	20	22	12	450	-	8,4	35	-	0,3

Tabel 5.1: Grondparameters.

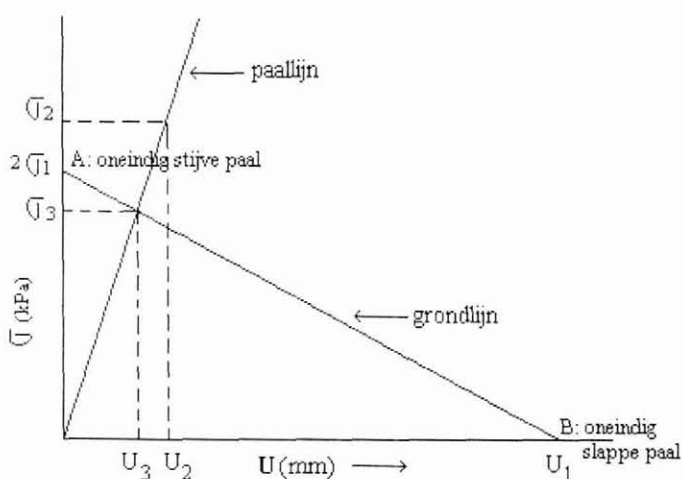
De paalparameters zijn als volgt:

materiaal	type	lengte [m]	afmeting [m]	E [kN/m ²]	I [m ⁴]	ν [-]	EI_w [kNm ²]	EA_w [kN]
beton	LE	12	0,35 x 0,35	$33,5 \cdot 10^6$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	0,2	41875	4103750

Tabel 5.2: Paalparameters.

§5.3. Handberekeningsmethode

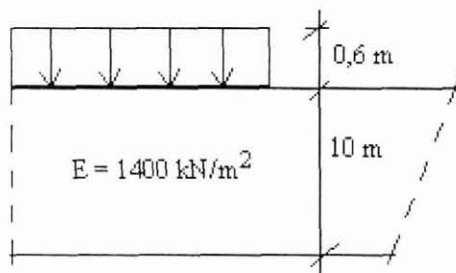
Deze methode is een handberekeningsmethode die ontwikkeld is door Begemann-De Leeuw (zie ook bijlage 3A) om, aan de hand van tabellen van IJsseldijk-Loof, de horizontale grondverplaatsingen te bepalen en d.m.v. de grondlijn-paallijn diagram (zie figuur 5.2) de momenten in de paal te berekenen. In deze grafiek staan de beide functies getekend van het grondgedrag en het paalgedrag bij een bepaalde grondverplaatsing en belasting. Met behulp van deze grafiek wordt, bij het snijpunt van beide lijnen, een spanning verkregen en met deze spanning kan het moment in de paal berekend worden. Achtereenvolgens worden de parameters voor het grondgedrag en paalgedrag besproken.



Figuur 5.2: Grondlijn-paallijn.

§5.3.1. Horizontale grondverplaatsing

Het gedrag van de grond wordt beschouwd door de horizontale spanningen en verplaatsingen in de niet draagkrachtige laag t.p.v. de paal te berekenen, ervan uitgaande dat deze laag zich elastisch gedraagt. Op deze wijze worden de spanningen en verplaatsingen t.p.v. de paal berekend voor de werkelijke belastingvorm. Over het algemeen gaat het hierbij om een strookvormige belasting (bijv. een wegophoging) of een terrasvormige belasting (bijv. een uitgestrekte terreinophoging). Voor het geval van horizontale paaldrücken zijn hierbij de gebieden onder of dichtbij de rand van deze



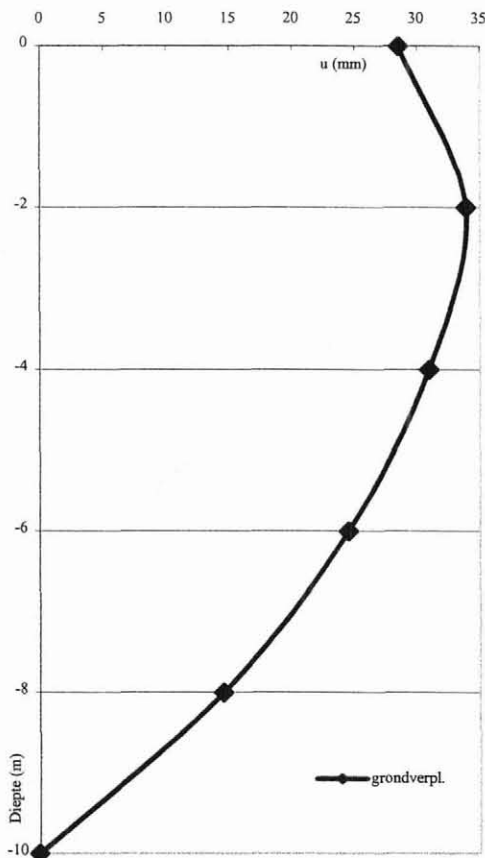
belastingen maatgevend. De volgende parameters zijn aangenomen:

Figuur 5.3: Geval IJsseldijk.

- Geval IJsseldijk met een terrasbelasting (ref. 25)
- Tabellen $\frac{E}{h \cdot q} \cdot u$ en $\frac{1}{q} \cdot \sigma_{xx}$
- $x = \frac{t}{h} = \frac{0}{10} = 0$ en $y = \frac{z}{h}$
- E van slappe laag = 1,4 MN/m² = 1400 kN/m²
- Dikte ophoging = 0,6 m, dikte slappe laag = 10 m
- $q_{\text{ophoging}} = 0,6 \times 17 \text{ kN/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^2$
- $\frac{E}{h \cdot q} = \frac{1400}{10 \cdot 10} = 1,4$

	0h	0,2h	0,4h	0,6h	0,8h	1,0h	gemiddeld
$E \cdot u / h \cdot q$	0,4	0,475	0,434	0,344	0,205	0	
u (mm)	28,57	33,93	31,00	24,57	14,64	0	22,11
$1/q \cdot \sigma_{xx}$	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
σ_{xx} (kN/m ²)	-	5	5	5	5	5	5

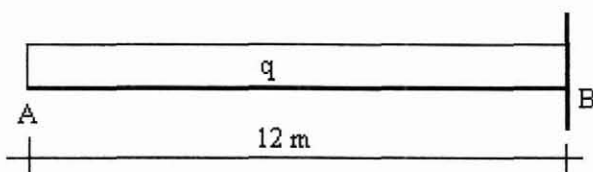
Tabel 5.3: Overzicht verplaatsingen en spanningen volgens IJsseldijk.



Grafiek 5.1: Grondverplaatsing volgens IJsseldijk.

§5.3.2. Interactie tussen paal en grond volgens Begemann-De Leeuw

Het gedrag van de paal wordt bepaald door de schematisering van de randvoorwaarden (ligging steunpunten en aard van de oplegging / inklemming) en m.b.v. de gegeven stijfheid (EI) van de paal. Als gevolg van deze stijfheid zal de paal zich verzetten tegen de grondverplaatsing. Via een vereenvoudigde berekening wordt de interactie tussen de paal en de grond bepaald, waarna de horizontale belastingen op de paal berekend kunnen worden en tenslotte de buigende momenten. De paalparameters staan vermeld in tabel 5.2. Als we uitgaan dat het bovineind vrij is, geldt (punt A is op maaiveldniveau):



Figuur 5.4: Schema paal.

Stel σ_2 is een eenheidsbelasting ($\sigma_2 = 1 \text{ kN/m}^2$) met s = schelpfactor:

$$\bullet \quad \sigma_2 = \frac{q_2}{s \cdot D} \Rightarrow q_2 = s \cdot D \cdot \sigma_2 = 1,5 \cdot 0,35 \cdot 1 = 0,525 \text{ kN/m}^1$$

$$\bullet \quad u_2 = \frac{q_2 \cdot l^4}{8EI} = \frac{0,525 \cdot (12)^4}{8 \cdot 33,5 \cdot 10^6 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}} = 0,0325 \text{ m} = 32,5 \text{ mm}$$

De maximale doorbuiging wordt aangenomen aan de top.

§5.3.3. Grondlijn-paallijn

Het grondgedrag wordt weergegeven door:

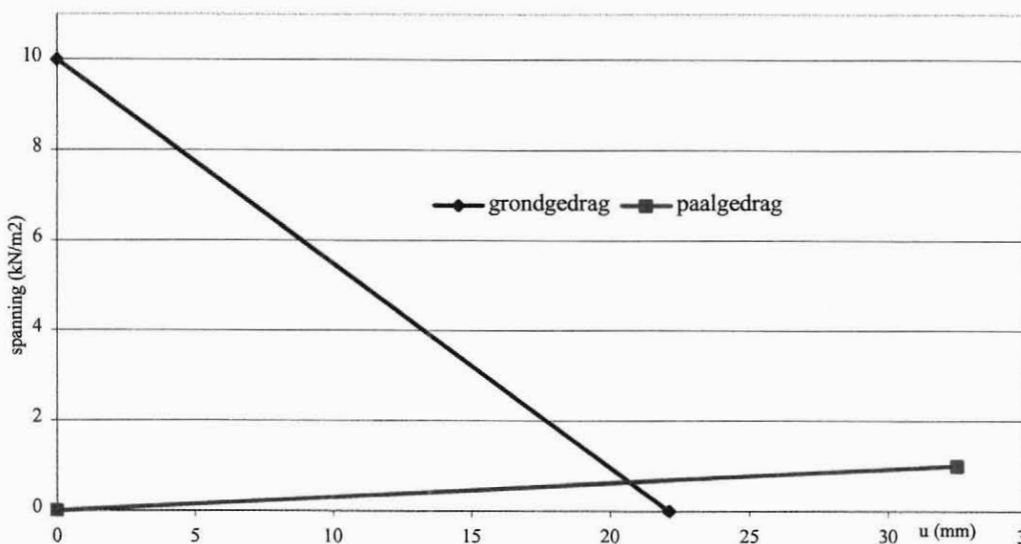
$$2\sigma_{xx} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ kN/m}^2 \quad \text{waarbij de } u_1 = 0 \text{ mm}$$

$$u_1 = 22,11 \text{ mm} \quad \text{waarbij de } \sigma_1 = 0 \text{ kN/m}^2$$

Het paalgedrag wordt weergegeven door:

$$\sigma_2 = 1 \text{ kN/m}^2 \quad \text{waarbij de } u_2 = 32,5 \text{ mm}$$

Met behulp van de waarden voor de spanningen en de verplaatsing kan het grondlijn-paallijn diagram getekend worden, zoals gedaan is in grafiek 5.2.



Grafiek 5.2: Grondlijn-paallijn.

§5.3.4. Interactie

De paalspanning volgt uit het snijpunt van de grondlijn en paallijn (zie grafiek 5.2):

- $\sigma_3 = 0,637 \text{ kN/m}^2$
- $u_3 = 20,7 \text{ mm}$
- $q_{paal} = s \cdot D \cdot \sigma_3 = 1,5 \cdot 0,35 \cdot 0,637 = 0,334 \text{ kN/m}^1$, waarbij s = schelpfactor

$$\sigma_3 = \frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot \delta \cdot EI}{2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1} \quad \text{en} \quad u_3 = \frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D}{2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1}$$

Voor de volledige afleiding van bovenstaande formules voor σ_3 en u_3 , zie bijlage 5A.

Het optredende moment, de optredende kracht en verplaatsing in de paal is:

- $M_B = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,334 \cdot (12)^2 = 24 \text{ kNm}$
- $V_B = q \cdot l = 0,334 \cdot 12 = 4,0 \text{ kN}$
- $u_A = \frac{1}{8} \cdot \frac{q \cdot l^4}{EI} = \frac{1}{8} \cdot \frac{0,334 \cdot (12)^4}{33,5 \cdot 10^6 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}} = 0,0207 \text{ m} = 20,7 \text{ mm}$

Voor een overzicht van de verplaatsingen en de momentenlijn, zie bijlage 5Q.

§5.4. Elastisch ondersteund liggermodel

§5.4.1. Inleiding

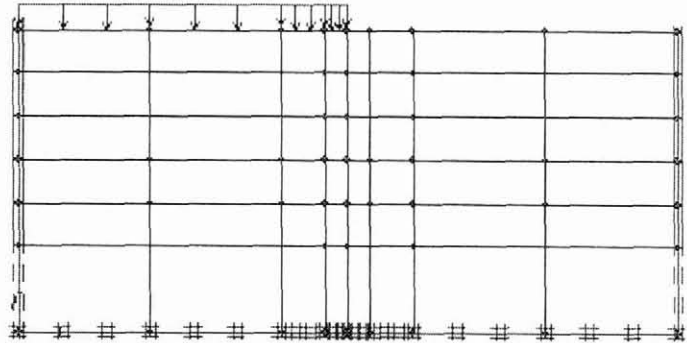
Naast de handberekingsmethode bestaat ook de mogelijkheid om te rekenen met een elastisch ondersteund liggermodel, zoals MSHEET en MHORPILE (MHORPILE is afgeleid van MSHEET). In het verdere verloop van het onderzoek wordt MSHEET gebruikt (ref. 11, 27 en bijlage 5B). Dit programma is gebaseerd op het berekenen van damwanden. Om palen door te rekenen, moet de werkelijke stijfheid gedeeld worden door de breedte van de paal. De invloed van de schelpfactor wordt verdisconteerd in de bepaling van de gronddrukcoëfficiënten. De schelpfactor (voor uitleg, zie §6.4) bepaald het gedeelte van de horizontale grondbelasting welke op de paal terecht komt. De waarde van de schelpfactor is afhankelijk van de grondsoort, de dwarsafmeting van de paal en de beschouwde diepte.

§5.4.2. Opgelegde grondverplaatsing

De berekening bestaat uit twee stappen. De eerste berekeningsstap bestaat uit het bepalen van de grondverplaatsingen. De bepaling kan gedaan worden m.b.v. IJsseldijk of een EEM. Gekozen is om PLAXIS 2D te gebruiken met een Mohr-Coulomb grondmodel en parameters volgens tabel 5.1. De berekende horizontale grondverplaatsingen wijken zeer sterk af van de berekende waarden met IJsseldijk (zie §5.3.1.). Zoals in hoofdstuk 3 is geanalyseerd, wordt aan de betrouwbaarheid van het 2D-EEM een veel hogere waarde toegekend dan aan IJsseldijk (voor resultaten zie file *run1* in bijlage 5C).

y [m]	u_x [mm]
14 (maaiveld)	-5,90
12	7,15
10	10,50
8	10,40
6	7,68
4	2,13
2 (onderzijde paal)	1,25

Tabel 5.4: Opgelegde grondverplaatsing voor elastisch ondersteund liggermodel.



Figuur 5.5: Model in PLAXIS 2D.

§5.4.3. MSHEET (file run2)

De tweede berekeningsstap bestaat uit het toepassen van MSHEET. In MSHEET worden de eerder berekende grondverplaatsingen opgelegd aan de paal, waarbij opgemerkt dient te worden dat in MSHEET geen negatieve waarden voor de verplaatsingen opgegeven kunnen worden. Dit betekent dat er op maaiveldniveau een verplaatsing van nul mm. ingevoerd is, i.p.v. $-5,9$ mm. De paal is in eerste instantie recht en wordt door de grondverplaatsing belast, waardoor deze doorbuigt. Dit wordt geschematiseerd doordat de grondveren (de paal wordt opgevat als een, zowel links als rechts, door horizontale grondveren ondersteunde ligger) verplaatsen t.o.v. de paal. De veerkracht is afhankelijk van de relatieve verplaatsing van de paal t.o.v. de omringende grond, ofwel de verplaatsing van de paal t.o.v. de op te geven grondverplaatsing. Door de verplaatsing wordt er een kracht op de paal uitgeoefend, die vervolgens ertoe leidt dat de paal een verplaatsing ondergaat. Achtereenvolgens worden de parameters voor de grondgegevens en de damwand (paal) gegevens besproken.

§5.4.3.1. Grondgegevens

- De invoergegevens voor de grond in MSHEET zijn als volgt:

	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	c [kN/m ²]	φ [°]	δ [°]	λ_a^* [-]	λ_n^* [-]	λ_p^* [-]	q_c [MPa]	k_h [kN/m ³]
klei	15	18	0	22,5	22,5	0,23	0,62	6,08	0,7	6550
zand	20	22	0	35	35	0,10	0,43	37,64	12	49600

Tabel 5.5: Grondgegevens voor MSHEET.

- De gronddrukcoëfficiënten worden uit de NEN 6740. Vervolgens moet gekozen worden voor de berekening met rechte glijvlakken. Er verschijnen dan waarden voor λ_a , λ_n en λ_p . Voor elke grondlaag onder het paalkopniveau wordt een schelpfactor s bepaald, afhankelijk van de grondsoort. Meestal wordt voor de s een hoge waarde gekozen omdat deze ongunstig werkt in de berekening. Voor klei is de schelpfactor 1,5 gekozen en voor zand 2,0.

* De gronddrukcoëfficiënten moeten als volgt aangepast worden:

$$\begin{aligned}\lambda_a^* &= \lambda_a / s \\ \lambda_n^* &= \lambda_n \\ \lambda_p^* &= \lambda_p \cdot s\end{aligned}$$

- De horizontale beddingsconstante wordt voor de boven- en onderkant van elke grondlaag bepaald met de (elastische) methode van Ménard voor palen (ref. 22). De beddingsconstante is een functie van de aanwezige grondsoort, de conusweerstand en de paalafmeting. Een grotere k_h voor de lagen waarin de horizontale verplaatsingen optreden, geeft een grotere belasting op de palen; daarom wordt de q_c hoog ingeschat. In de tabel voor de beddingsconstante staat naast k_h ook een waarde gegeven voor E_p . Deze waarde moet ongeveer overeen komen met de waarde

$$E_h, \text{ die voortkomt uit de formule } E_h = 1,25 \cdot \frac{\Delta p \cdot h}{\Delta z} \text{ (zie ook hfst. 3).}$$

Voor de bepaling van de horizontale beddingsconstante (k_h , zie ref. 26) is een tabel bijgevoegd, waaruit de k_h afgelezen kan worden als functie van het bodemmateriaal en de conusweerstand. De tabel geldt voor palen met een afmeting van 350 x 350 mm (zie bijlage 5D).

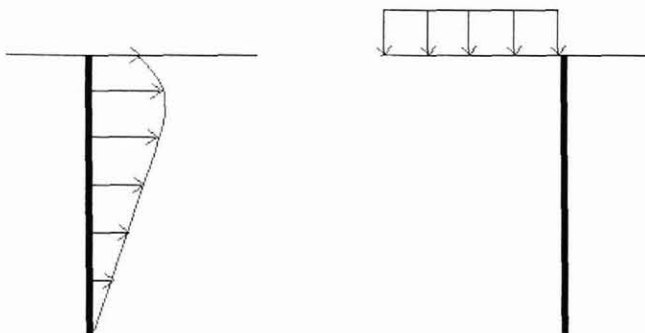
§5.4.3.2. Damwand (paal) gegevens

- paalafmeting = 350 x 350 mm
- $I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,350^4 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$
- $E = 33.500 \text{ N/mm}^2 = 33,5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$
- $EI = 33,5 \cdot 10^6 \times 1,25 \cdot 10^{-3} = 41875 \text{ kNm}^2$
- Het niveau van de top van de paal t.o.v. het referentiepeil = 0 m
- Totale lengte van de paal = 12 m
- De in MSHEET in te voeren stijfheid EI dient gedeeld te worden door de werkende breedte, dus $EI_{\text{invoer}} = EI_{\text{werkelijk}} / \text{breedte paal} = 41875 / 0,35 = 119643 \text{ kNm}^2/\text{m}^1$

In de berekening is gekozen voor volledige aanhechting tussen de paal en de grond, d.w.z. $\delta = \varphi$. Hiervoor is gekozen omdat in de EEM PLAXIS 3D (zie §5.6) ook gerekend is met volledige aanhechting tussen de paal en de grond. Voor de volledige resultaten van de berekening, zie bijlage 5E, 5G, 5H, 5I. Daarnaast is er ook een berekening uitgevoerd waarin geen schelpfactor verdisconteerd is. In deze berekening (file *run2a*, zie bijlage 5F) is de schelpfactor 1,0. Hier wordt in feite een wand doorgerekend. Hieruit blijkt dat de schelpfactor weinig invloed heeft op de resultaten, zolang de plastische tak niet bereikt wordt. Voor een overzicht van de verplaatsingen en de momentenlijn, zie bijlage 5Q.

§5.4.4. Elastisch ondersteund liggermodel met een bovenbelasting (file *run3*)

Deze berekening wordt uitgevoerd om na te gaan wat het verschil in resultaten is tussen enerzijds het invoeren van een opgelegde verplaatsing en anderzijds het opgeven van een belasting op het maaiveld. De invoergegevens van de grond zijn hetzelfde als in §5.4.3. De opgelegde grondverplaatsing wordt vervangen door een belasting op het maaiveld met een $q = 10 \text{ kN/m}^1$. Voor de volledige resultaten, zie bijlage 5J. Hieruit blijkt dat de resultaten totaal niet met elkaar overeenstemmen. Het model met de bovenbelasting is volkomen ongeschikt voor de beschrijving van de optredende grondverplaatsing, welke een overheersende rol speelt in het probleem.



Figuur 5.6: Opgelegde grondverplaatsing (links) en bovenbelasting op maaiveld (rechts).

§5.5. EEM PLAXIS 2D

PLAXIS 2D is een plane strain rekenprogramma, d.w.z. de berekeningen worden uitgevoerd per strekkende meter. In de onderstaande berekening is uitgegaan van een wand met een dikte van 0,35 m en een lengte van 1 m. Vooraf is dus bekend dat deze benadering niet reëel is, omdat in PLAXIS 2D geen palen gemodelleerd kunnen worden. Bij deze berekening kan de wand op twee manieren gemodelleerd worden. In de eerste berekening wordt de wand gemodelleerd als balkelement (zie §5.5.1).

In de tweede berekening wordt de wand gemodelleerd als “volume-element” (zie §5.5.2). Een van de belangrijkste kenmerken van de 2D berekening is dat de grondverplaatsingen gelijk zijn aan de wandverplaatsingen. De reden waarom gekozen is voor het modelleren van de wand als balkelement is omdat rechtstreeks de verplaatsingen van de wand, de momenten, dwarskrachten en normaalkrachten afgelezen kunnen worden. De spanningen en de rekken moeten handmatig berekend worden. De reden waarom gekozen is voor modelleren van de wand met “volume-elementen” is dat op deze wijze rechtstreeks het spanningsverloop en het rekverloop over de lengte van de wand afgelezen kunnen worden. De wand wordt gemodelleerd met grondelementen waar een stijfheid aan toegekend wordt. Daarnaast kan de verplaatsing ook afgelezen worden (dit is tevens de grondverplaatsing). De momenten, dwarskrachten en normaalkrachten moeten handmatig berekend worden. Voor een overzicht van de volledige resultaten zie bijlage 5K (balkelement, file *run4d*) en bijlage 5L (“volume-element”, file *run5a*).

§5.5.1. Wand als balkelement (file *run4d*)

Grondgegevens:

	Model *	type	γ_a [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]	φ [°]	K_0 ** [-]
klei	MC	gedraineerd	15	18	1400	0,3	22,5	0,617
zand	MC	gedraineerd	20	22	8400	0,3	35	0,426

Tabel 5.6: Grondparameters “balk”-berekening. PLAXIS 2D.

* MC = Mohr-Coulomb model

** K_0 wordt berekend uit $1 - \sin \varphi$

Balkgegevens:

- $E = 33,5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$
- $I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,0 \cdot 0,35^3 = 3,573 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$
- $A = b \cdot h = 1,0 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ m}^2$
- $EI = 119693 \text{ kNm}^2/\text{m}^1$
- $EA = 11725000 \text{ kN/m}^1$
- Eigen gewicht balk = $24 - 18 = 6 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,35 = 2,1 \text{ kN/m}^2$

§5.5.2. Wand als “volume-element” (file *run5a*)

Grondgegevens:

	Model *	type	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]	φ [°]	K_o ** [-]
klei	MC	gedraineerd	15	18	1400	0,3	22,5	0,617
zand	MC	gedraineerd	20	22	8400	0,3	35	0,426
paal	LE	-	24	24	$33,5 \cdot 10^6$	0,2	-	-

Tabel 5.7: Grondparameters “volume”-berekening PLAXIS 2D.

Voor een overzicht van de verplaatsingen en de momentenlijn van de berekeningen, zie bijlage 5Q. Daarnaast is er ook een berekening gemaakt waarin de verhouding weergegeven wordt tussen een slappe paal en een stijve paal. Zie bijlage 5M voor de resultaten.

§5.6. EEM PLAXIS 3D

Bij deze berekening wordt de paal wederom op twee manieren gemodelleerd. In de eerste berekening wordt de paal gemodelleerd als balkelement (§5.6.1, file *run6*) en in de tweede berekening wordt de paal gemodelleerd als “volume-element” (§5.6.2, file *run7*). Eén van de belangrijkste kenmerken van de 3D berekening is dat de grondverplaatsingen niet gelijk zijn aan de paalverplaatsingen. De redenen van de keuze voor het modelleren van de paal met balkelementen en met “volume-elementen” staan in §5.5. Indien “volume-elementen” worden gebruikt, wordt de paal gemodelleerd met grondelementen waar een stijfheid aan toegekend wordt. Daarnaast kan de verplaatsing ook afgelezen worden. De momenten, dwarskrachten en normaalkrachten moeten handmatig berekend worden. Voor een overzicht van de volledige resultaten zie bijlage 5N (balkelement, file *run6*) en bijlage 5O (“volume-element”, file *run7*).

§5.6.1. Paal als balkelement (file *run6*)

Grondgegevens: * MC = Mohr-Coulomb model ** K_o wordt berekend uit $1 - \sin \varphi$

	Model *	type	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]	φ [°]	K_o ** [-]
klei	MC	gedraineerd	15	18	1400	0,3	22,5	0,617
zand	MC	gedraineerd	20	22	8400	0,3	35	0,426

Tabel 5.8: Grondparameters “balk”-berekening PLAXIS 3D.

Paalgegevens:

- $EA_i = EA_w / b = 4103750 / 0,35 = 11725000 \text{ kNm}^2/\text{m}^1$
- $EI_i = EI_w / b = 41875 / 0,35 = 119643 \text{ kN/m}^1$
- $w = 24 \text{ kN/m}^3 - 18 \text{ kN/m}^3 = 6 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow \text{e.g.} = 6 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,35 = 2,1 \text{ kN/m}^2$

§5.6.2. Paal als volume-element (file run7)Grondgegevens:

	Model *	type	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]	ϕ [°]	K_o^{**} [-]
klei	MC	gedraineerd	15	18	1400	0,3	22,5	0,617
zand	MC	gedraineerd	20	22	8400	0,3	35	0,426
paal	LE	-	24	24	$33,5 \cdot 10^6$	0,2	-	-

Tabel 5.9: Grondparameters "volume"-berekening PLAXIS 3D.

	Balkelement (run6)	Volume-element (run7)
u_{top} (mm)	10,36	10,22
u_{max} (mm)	10,75	10,74
$M_{max,pos}$ (kNm)	15,94	16,75
$M_{max,neg}$ (kNm)	7,17	9,89

Tabel 5.10: Resultaten balk- versus volume-elementen.

Voor een overzicht van de verplaatsingen en de momentenlijn van de berekeningen, zie bijlage 5Q. Hieruit blijkt dat tussen de resultaten van het balkelement en volume-elementen bijna geen verschil zit. De oorzaak van de geringe afwijking is de meshfijnheid. Hoe fijner de mesh, hoe beter de resultaten op elkaar aansluiten. In bijlage 5P wordt een berekening uitgevoerd met een kleinere paalafmeting om na te gaan of dit invloed heeft op het verloop van momenten en verplaatsingen. Dit blijkt geen invloed te hebben op het verloop van de momenten en verplaatsingen.

§5.7. Resultaten van de vergelijking

Er zijn een aantal berekeningen uitgevoerd (zie voorafgaande paragrafen), waarvan de resultaten staan weergegeven in bijlage 5Q. Om een compleet overzicht te hebben van de uitgevoerde berekeningen, met de daarbij behorende resultaten, is een tabel samengesteld met de omschrijving, het type berekening, filenaam en het berekeningnummer (zie tabel 5.11).

Omschrijving	Type	file	Berekeningnr.
Paalverplaatsingen en momenten volgens Begemann-De Leeuw	Handberekening	-	1
Grondverplaatsing bepalen	PLAXIS 2D	Run1	2
Opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D	MSHEET	Run2	3
Als run2, zonder schelpfactor	MSHEET	Run2a	4
Belasting op maaiveld	MSHEET	Run3	5
2D wandberekening, met wand als balk-element	PLAXIS 2D	Run4d	6
2D wandberekening, gered. stijfheid	PLAXIS 2D	Run4e	7
2D wandberekening, met wand als volume-element	PLAXIS 2D	Run5a	8
3D paalberekening, met paal als balk-element	PLAXIS 3D	Run6	9
3D paalberekening, met paal als volume-element	PLAXIS 3D	Run7	10

Tabel 5.11: Overzicht berekeningen.

Een overzicht van de maximale momenten in de paal is weergegeven in tabel 5.12:

Berekeningnr.	$M_{\max, \text{pos}}$ (kNm)	op (m)	$M_{\max, \text{neg}}$ (kNm)	op (m)
1	24	0	-	-
3	26,4	8,5	11,4	3,5
4	25,3	8,5	10,1	3,5
5	1,2	6,35	0,8	3,5
6	4,7	8,2	1,6	3,5
7	4,3	8,1	1,8	3,4
8	4,9	8,1	1,9	3,4
9	15,9	8,2	7,2	3,8
10	16,8	8,1	9,9	3,4

Tabel 5.12: Maximale momenten in de paal.

Een overzicht van de maximale paalverplaatsingen is weergegeven in tabel 5.13:

Berekeningnr.	u_{top} (mm)	u_{max} (mm)
1	20,7	20,7
3	4,0	9,4
4	4,5	9,4
5	0,5	0,5
6 _{wand}	12,8	12,8
7 _{wand}	12,3	12,3
8 _{wand}	12,0	12,0
9	10,8	11,8
10	10,3	10,7

Tabel 5.13: Maximale paalverplaatsingen en verplaatsingen aan maaiveld (u_{top}).

Vergelijking nummer	File run	Omschrijving		File run	Omschrijving
1	2	MSHEET (schelffactor)	-	2a	MSHEET (wand)
2	2	MSHEET (schelffactor)	-	4d	2D-balk_wand
3	2	MSHEET (schelffactor)	-	6	3D-balk_paal
4	4d	2D-balk_wand	-	5a	2D-volume_wand
5	4e	2D-balk_gered. stijfh.	-	6	3D-balk_paal
6	4d	2D-balk_wand	-	6	3D-balk_paal
7	6	3D-balk_paal	-	7	3D-volume_paal

Tabel 5.14: Overzicht vergelijkingen.

Vergelijking 1: MSHEET (schelffactor) versus MSHEET (wand)

Stelling: het verschil wordt veroorzaakt door de schelffactor.

Discussie: het verschil wordt inderdaad veroorzaakt door de schelffactor, maar dit is verwaarloosbaar klein. Door de schelffactor in de gronddrukcoëfficiënten te verwerken, wordt de actieve gronddruk lager en de passieve gronddruk groter. Omdat bij de run (waarbij de schelffactor 1,5 is) de passieve gronddruk groter is, zal de grond een verplaatsing opleggen aan de paal.

De paal zal deze verplaatsing gedeeltelijk volgen. De paal zal relatief meer met de grond mee vervormen. De paal heeft een grotere kromming en krijgt dus een groter moment.

Vergelijking 2: MSHEET (schelfactor) versus 2D-balk_wand

Discussie: de paal in run2 (MSHEET) krijgt een grondverplaatsing opgelegd. De paal zal deze grondverplaatsing volgen. Uit de paal- en grondverplaatsingsgrafiek (bijlage 5Q) volgt dat de paal relatief gezien meer verplaatst, maar absoluut gezien minder in vergelijking met de paal in PLAXIS 2D. De paal heeft een grotere kromming en tengevolge van de grotere kromming krijgt de paal een groter moment. De wand in PLAXIS 2D verplaatst relatief gezien minder, maar absoluut gezien verplaatst deze meer. De wand heeft een kleinere kromming en dientengevolge krijgt de wand een lager moment.

Conclusie: Met PLAXIS 2D kunnen geen palen gemodelleerd worden, dus gaat de voorkeur in dit geval uit naar het gebruik van MSHEET. Daarbij moet wel in acht genomen worden dat de momenten en verplaatsingen overschat worden.

Vergelijking 3: MSHEET (schelfactor) versus 3D-balk_paal

Stelling: beddingsconstante in MSHEET kan de oorzaak zijn.

Discussie: in het gebied vanaf de onderzijde van de paal tot aan de maximale grondverplaatsing (op ongeveer +9 m) is het beeld van beide grafieken ongeveer hetzelfde (bijlage 5Q). Vanaf dit punt is het verplaatsingsbeeld van de paal afwijkend. De paal in MSHEET (run2) verplaatst vanaf dit punt relatief meer, in vergelijking met de PLAXIS 3D berekening. Duidelijk te zien is dat de kromming van de paal groter is. Hierdoor krijgt de paal een groter moment. Door met de beddingsconstante te variëren, kan na gegaan worden of dit de veroorzaak is van de afwijking. De beddingsconstante is een waarde die in MSHEET ingevoerd wordt en niet in PLAXIS.

Conclusie: In hoofdstuk 6 zal nader onderzocht worden op welke wijze de beddingsconstante bepaald wordt in PLAXIS 3D en wat de resultaten zijn. Voorlopig geeft PLAXIS 3D betere resultaten.

Vergelijking 4: 2D-balk_wand versus 2D-volume_wand

Stelling: opbouw van het elementennet.

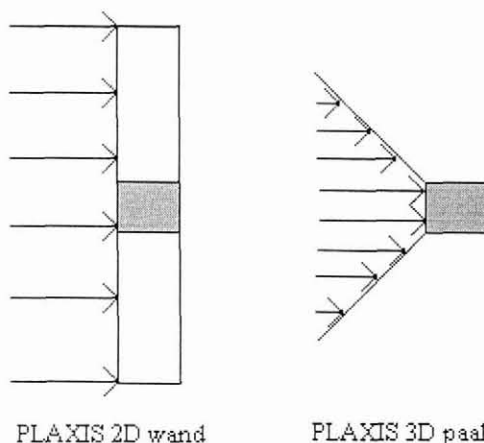
Discussie: in deze vergelijking is ervan uitgegaan dat de stijfheid van de wand in beide gevallen identiek is. De verschillen zijn nihil en worden verklaard door de, niet te vermijden, verschillen in de opbouw van de netfijnheid. Het “volume-element” is opgedeeld in een aantal elementen. Die elementen worden door een mesh weer opgedeeld in driehoeken met knopen en integratiepunten. In de integratiepunten worden spanningen en rekken berekend. De momenten kunnen niet afgelezen worden, maar moeten berekend worden uit de spanningen. Het balkelement wordt opgedeeld in elementen met 3 vrijheidsgraden per knoop; 2 translatievrijheidsgraden (u_x en u_y) en één rotatievrijheidsgraad (in x-y vlak is dat ϕ_z). De balkelementen zijn gebaseerd op Mindlin’s balktheorie. Deze theorie gaat uit van een verplaatsing resulterend uit afschuiving en buiging. De spanningen en rekken moeten uit de momenten berekend worden.

Conclusie: Het maakt niet uit of balkelementen of “volume-elementen” gebruikt worden. De voorkeur gaat echter uit naar het gebruik van balkelementen omdat hiermee sneller en eenvoudiger resultaten gegenereerd kunnen worden.

Vergelijking 5: 2D-balk_gered. stijfh. versus 3D-balk_paal

Stelling: stroming van de grond rond de paal.

Discussie: het is een vergelijking tussen een 2D-wandberekening en een 3D berekening. De verschillen zijn aanzienlijk. In PLAXIS 2D is, door het aanpassen van de stijfheid



van de wand, getracht om een paal te modelleren. Van tevoren is bekend dat deze benadering niet reëel is. Omdat in PLAXIS 2D de grond niet om de paal heen kan stromen, krijgt de wand de volledige belasting te verwerken.

Figuur 5.7: Stroming grond om paal.

De grondverplaatsingslijn, die weergegeven is in de figuur, is berekend als er geen paal aanwezig is in de grond. De stijfheid van de wand is laag, dus de vervormingen zijn groot (wandverplaatsing is gelijk aan grondverplaatsing in een 2D berekening) en door de lage stijfheid en geringe kromming van de wand zal deze lagere momenten krijgen. In PLAXIS 3D kan de paal wel gemodelleerd worden en de grond kan om de paal heen stromen. De belasting die op de paal werkt, is relatief groter dan bij PLAXIS 2D en door de, in verhouding, grotere kromming zal de paal grotere momenten krijgen. Daarnaast zullen de vervormingen kleiner zijn, omdat deze de grondvervorming beter volgen.

Conclusie: Met PLAXIS 2D kunnen geen palen gemodelleerd worden, omdat de grond niet om de paal heen kan stromen. Voor het berekenen van palen wordt aanbevolen om PLAXIS 3D te gebruiken.

Vergelijking 6: 2D-balk_wand versus 3D-balk_paal

Stelling: stroming van de grond om de paal.

Discussie: het is hetzelfde geval als in vergelijking 5, alleen is de stijfheid van de wand niet gereduceerd. In PLAXIS 3D wordt het balkelement opgedeeld in elementen met 6 vrijheidsgraden per knoop; 3 translatievrijheidsgraden (u_x , u_y en u_z) en drie rotatievrijheidsgraden (φ_x , φ_y en φ_z).

Conclusie: Met PLAXIS 2D kunnen geen palen gemodelleerd worden, omdat de grond niet om de paal heen kan stromen. Voor het berekenen van palen wordt aanbevolen om PLAXIS 3D te gebruiken.

Vergelijking 7: 3D-balk_paal versus 3D-volume_paal

Stelling: opbouw van het elementennet.

Discussie: de verschillen zijn zeer gering. De verklaring dient, net als bij vergelijking 4, gezocht te worden in de opbouw van het elementennet.

Conclusie: Het maakt niet uit of balkelementen of “volume-elementen” gebruikt worden. De voorkeur gaat echter uit naar het gebruik van balkelementen omdat hiermee sneller en eenvoudiger resultaten gegenereerd kunnen worden.

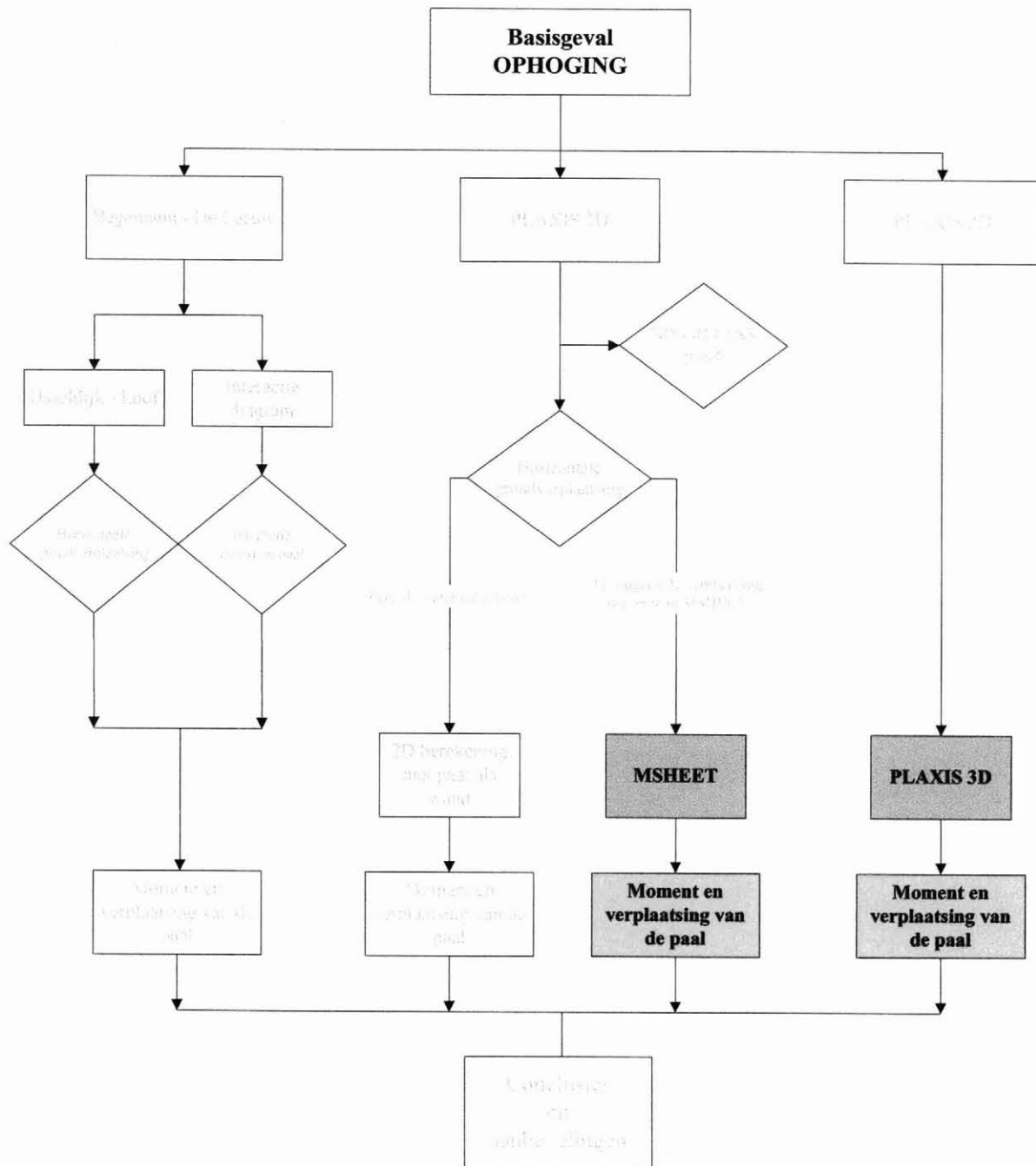
Methode Begemann-De Leeuw:

De momenten en verplaatsingen die met Begemann-De Leeuw zijn berekend, zijn hoger dan de momenten en verplaatsingen die volgen uit de andere berekeningen. De methode Begemann-De Leeuw is een handberekeningsmethode en geldt voor een eerste indicatie van de horizontale grondverplaatsingen en op basis van een grondlijn-paallijn karakteristiek wordt het moment op de paal berekend. De methode gaat uit van (zie ook §3.3):

- lineair elastisch grondgedrag, hierdoor worden spanningen berekend die veel hoger zijn dan spanningen die komen uit de andere methodieken;
- volumevast materiaal ($\nu = 0,5$), komt in werkelijkheid nooit voor;
- schematisatie vereenvoudiging, hetgeen bij Begemann-De Leeuw veel te grof gebeurt. Er wordt namelijk gebruik gemaakt van formules die gelden voor gelijkmatig belaste liggers, geschatte waarden voor de grondspanningen en gemiddelde grondverplaatsing en een aangenomen rekenlengte van de paal;
- vlakke vervormingstoestand, tegenwoordig zijn er 3-dimensionale rekenpakketten beschikbaar;
- uniforme gelijkmatige bovenbelasting.

Bovenstaande uitgangspunten voor Begemann-De Leeuw zijn in de praktijk niet realistisch en deze methode kan gesubstitueerd worden door bijv. PLAXIS 2D of 3D.

HOOFDSTUK 6



Hoofdstuk 6: MSHEET versus PLAXIS 3D

§6.1. Inleiding

Het titelblad geeft aan dat in dit hoofdstuk MSHEET en PLAXIS 3D met elkaar worden “vergeleken”. Allereerst zal kort worden besproken wat de vermoedelijke oorzaken zijn van de onderlinge verschillen in de resultaten (§6.2). Vervolgens wordt in §6.3 de afleiding van de beddingsconstante, zoals deze in PLAXIS 3D bepaald is, uiteengezet. In §6.4 wordt het begrip “schelpfactor” nader uitgelegd en hoe deze m.b.v. PLAXIS 3D bepaald is. In §6.5 worden de gevonden waarden voor de beddingsconstante en de schelpfactor in MSHEET ingevoerd en vergeleken met de resultaten van PLAXIS 3D. De berekeningen worden uitgevoerd met een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$. Als laatste wordt in §6.6 uiteengezet waarom PLAXIS 3D voor paalberekeningen beter geschikt is dan MSHEET.

§6.2. Oorzaken

Omdat in hoofdstuk 5 is gebleken dat de berekende momenten in MSHEET en in PLAXIS 3D verschillen, wordt in dit hoofdstuk getracht hiervoor een verklaring te geven. Mogelijke verklaringen zijn:

1. De bepaling van de beddingsconstante voor MSHEET;
2. De bepaling van de schelpfactor voor MSHEET;
3. Boogwerking in het verticale vlak evenwijdig aan de paalverplaatsing speelt een belangrijke rol.

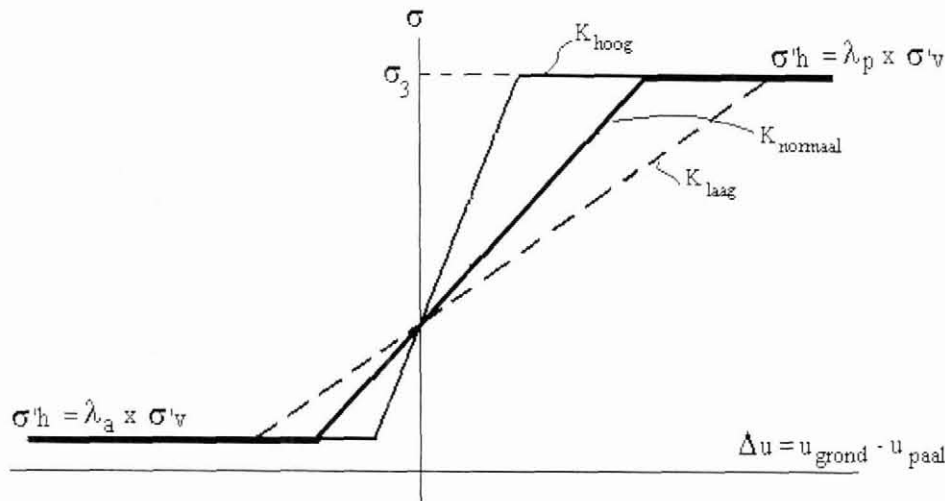
Ad 1) de gedachte is dat de beddingsconstante, zoals deze moet worden ingevoerd in MSHEET (gebaseerd op Ménard), wordt overschat. Door in PLAXIS 3D de beddingsconstante te bepalen en deze vervolgens in te voeren in MSHEET, zal blijken of de beddingsconstante inderdaad overschat wordt.

Ad 2) door m.b.v. PLAXIS 3D een schelpfactor te bepalen, kan gecontroleerd worden of de schelpfactor, zoals deze tegenwoordig gehanteerd wordt en ingevoerd wordt in MSHEET, juist is.

Ad 3) In MSHEET wordt ervan uitgegaan dat de veren onafhankelijk van elkaar functioneren, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is. In een EEM pakket zijn de veren gekoppeld aan elkaar.

§6.3. De beddingsconstante

§6.3.1. Algemeen



Figuur 6.1:
Beddingsconstante.

k_{laag} : Bij een lage k -waarde is de stijfheid van de grond laag (zie figuur 6.1- k_{laag}). Door de geringe stijfheid van de grond zal de paal minder met de grond mee verplaatsen. De kromming van de paal is klein, hierdoor is het moment lager.

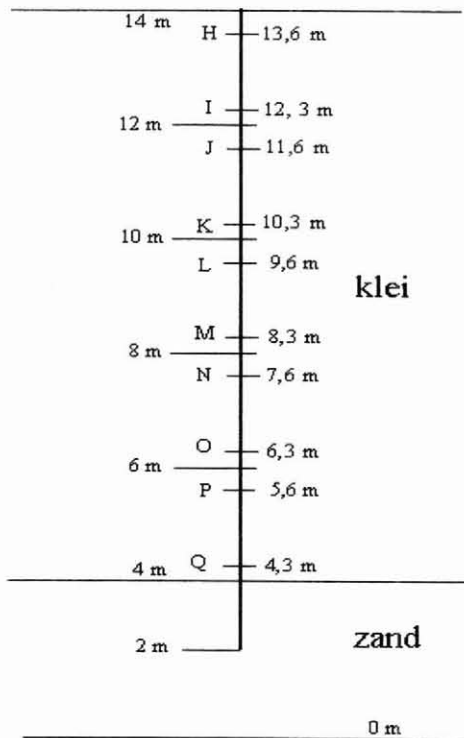
k_{hoog} : Bij een hoge k -waarde is de stijfheid van de grond hoog (zie figuur 6.1- k_{hoog}). De grond dringt als het ware een verplaatsing op aan de paal. Hierdoor zal de paal meer met de grond mee moeten verplaatsen. De kromming van de paal is groot, hierdoor is het moment groter.

§6.3.2. De bepaling van de beddingsconstante in PLAXIS 3D

Om de beddingsconstante m.b.v. PLAXIS 3D te bepalen, worden de volgende stappen ondernomen. Er wordt een horizontale, uniforme grondverplaatsing aan de paal opgelegd (de paal is niet oneindig stijf), deze loopt op van 1 mm tot 1 m. Uit elke berekeningsstap wordt de gronddruk aan de passieve zijde van de paal bepaald om het verband te bepalen tussen de relatieve verplaatsing t.o.v. de grond en de grondspanning op de paal.

De horizontale spanningen zijn bepaald voor de punten H t/m Q (zie figuur 6.2). Punt H ligt net onder het maaiveld en punt Q ligt bij de laagscheiding klei-zand. Als in PLAXIS 3D de horizontale spanningen uitgezet worden tegen de opgelegde grondverplaatsing (in mm) is een grafiek samen te stellen, zoals in figuur 6.3 (tevens bijlage 6A) weergegeven is. Als vervolgens het gedeelte waar een rechte lijn te zien is, uitvergroot wordt, volgt figuur 6.4 (zie ook bijlage 6B).

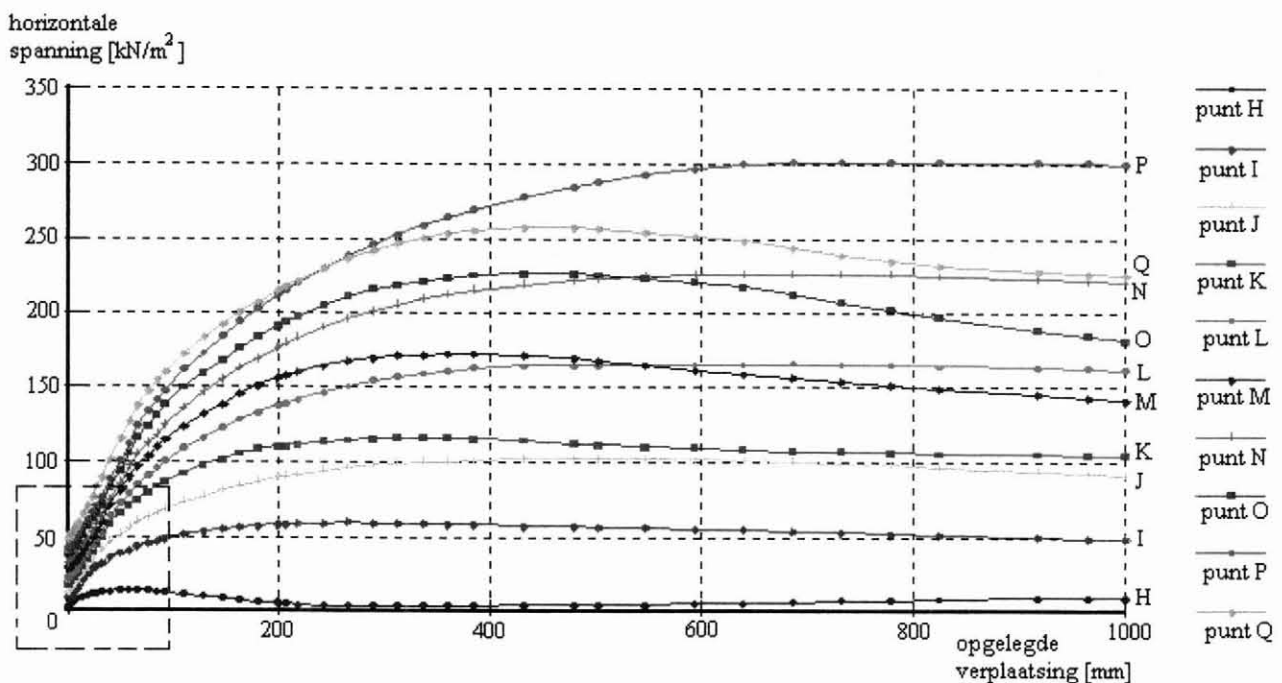
De helling die te zien is, geeft het verloop van de beddingsconstante weer. Uit de horizontale spanningen en de verplaatsingen kan de beddingsconstante berekend worden volgens de verhouding $k = \Delta\sigma / \Delta w$. De schematisering van de punten is als volgt tot stand gekomen: in de methode Begemann-De Leeuw wordt de samendrukbare laag opgedeeld in vijf tussenlagen. Deze



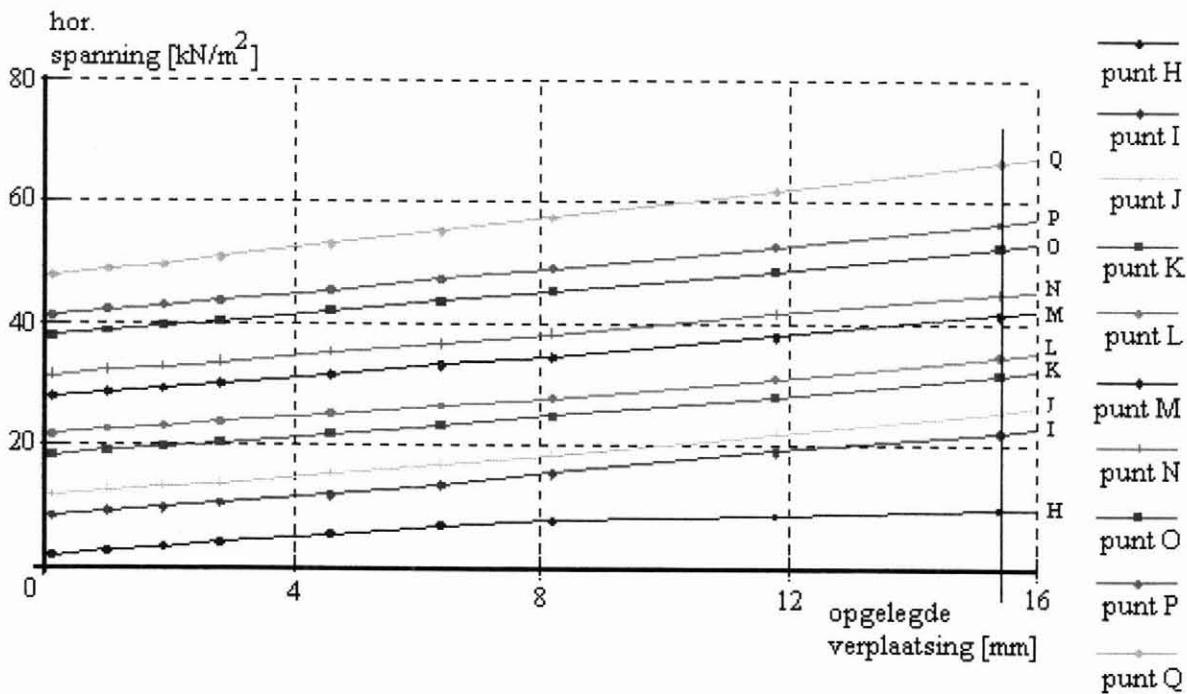
schematisering is hier aangehouden omdat op dezelfde diepten de verplaatsing afgelezen kan worden. Op de verticaal waar de verplaatsingen afgelezen worden, zijn spanningspunten aangegeven. In deze punten worden de horizontale spanningen berekend.

Figuur 6.2: Punten waar de horizontale spanning berekend is.

Voor de punten H t/m Q kunnen k -waarden bepaald worden. Duidelijk is dat de beddingsconstante afhankelijk is van de diepte. De gevonden k -waarden bij de punten H t/m Q worden geschematiseerd naar een lineair met de diepte toenemende beddingsconstante voor de kleilaag, welke vervolgens is ingevoerd in MSHEET.



Figuur 6.3: Horizontale spanning uitgezet tegen de grondverplaatsing.



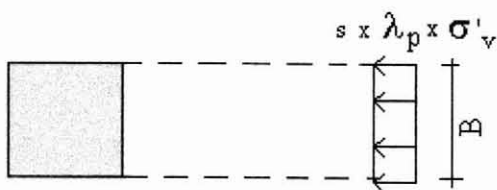
Figuur 6.4: Helling voor het bepalen van de beddingsconstante.

§6.4. Bepaling van de schelpfactor in PLAXIS 3D

§6.4.1. Wat is de schelpfactor?

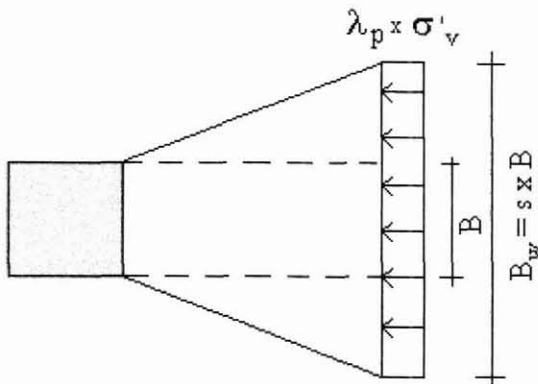
In verband met de beperkte dwarsafmeting van de paal verschilt het bezwijkpatroon van de grond rondom een paal van dat van een doorgaande wandconstructie. Omdat door de paalschacht een zekere spanningsspreiding in de verplaatsende grond wordt veroorzaakt, wordt de paal belast door een grondwig, die breder is dan de paalschacht. Dit effect kan in een damwandberekening, zoals MSHEET, in rekening gebracht worden door:

1. de schelpfactor te verwerken in de gronddrukcoëfficiënten (door de actieve gronddrukcoëfficiënt te delen en de passieve gronddrukcoëfficiënt te vermenigvuldigen met de schelpfactor) of door;



Figuur 6.5: De schelpfactor verwerkt in de gronddrukcoëfficiënten.

2. de schelpwerking te verwerken in de werkende breedte van de paal, door de paalbreedte te vermenigvuldigen met een schelpfactor s .



Figuur 6.6: De schelpfactor verwerkt in de werkende breedte van een paal.

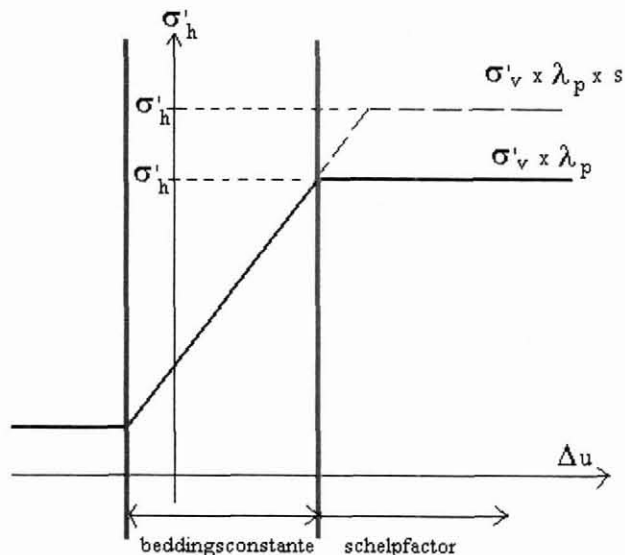
De schelpfactor bepaalt het gedeelte van de horizontale grondbelasting, die op de paal werkt. Deze factor is afhankelijk van de dwarsafmeting van de paal, de beschouwde diepte en de grondeigenschappen. In de MSHEET-berekening van §6.5 is de 1^{ste} methode toegepast.

De schelpfactor wordt meestal bepaald op basis van ervaringsgetallen, zoals in tabel 6.1 is weergegeven.

Grondsoort	Conusweerstand [MN/m ²]	Schelpfactor [-]
Veen, slap	0,1 – 0,2	1,2 – 1,5
Veen, klei	0,2 – 0,5	1,3 – 1,6
Klei, uitgedroogd	0,5 – 1,5	1,4 – 1,8
Silt (leem)	0,5 – 1,5	1,5 – 1,8
Zand, matig vast	1,5 – 4,0	1,7 – 2,0
Zand, vast	4,0 – 10,0	1,8 – 2,3
Zand, zeer vast	meer dan 10,0	2,0 – 2,7

Tabel 6.1: Indicatie schelpfactoren.

Bijv. als er wordt uitgegaan van een schelpfactor van 1,8 en een paalbreedte van 0,35 m., betekent dit dat een belasting met een breedte van $(1,8 \cdot 0,35 =)$ 0,63 m op de paal terecht komt (zie figuur 6.6).



In de figuur hiernaast (figuur 6.7) staan de invloedgebieden weergegeven van de beddingsconstante en de schelpfactor. De beddingsconstante speelt alleen een rol als de grond zich in de elastische tak bevindt. De schelpfactor speelt een rol als de plastische tak bereikt wordt.

Figuur 6.7: Invloedsgebieden van beddingsconstante en schelpfactor.

§6.4.2. Hoe kan de schelpfactor bepaald worden met PLAXIS 3D?

In figuur 6.3 is voor elk punt de $\sigma'_{h,max}$ afgelezen. Deze $\sigma'_{h,max}$ uit PLAXIS 3D moet gelijk zijn aan de $\sigma'_{h,max}$ uit MSHEET. De $\sigma'_{h,max}$ wordt in MSHEET berekend uit $\sigma'_{h,max} = \sigma'_v \cdot \lambda_p \cdot s$. De σ'_v , de λ_p en de $\sigma'_{h,max}$ van elk punt is bekend, dus de schelpfactor s kan berekend worden. Dit is voor de punten H t/m Q gedaan. Uit deze schelpfactoren is één gemiddelde waarde bepaald, namelijk 1,36. In bijlage 6C is een overzicht van de bepaling van de schelpfactor weergegeven.

§6.5. Momenten en paalverplaatsingen bij een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$

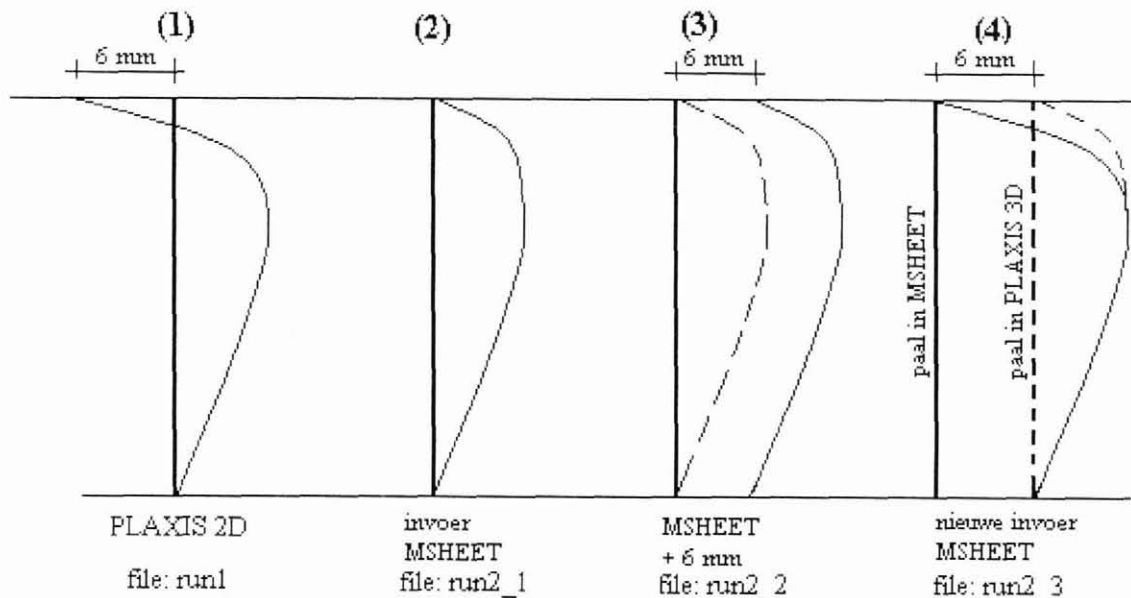
§6.5.1. De beddingsconstante

De berekeningen die in MSHEET uitgevoerd zijn, zijn als volgt tot stand gekomen (zie tabel 6.2 voor een overzicht van uitgevoerde berekeningen). In eerste instantie is m.b.v. PLAXIS 2D de grondverplaatsing berekend (zie figuur 6.8(1)). Deze grondverplaatsing moet worden ingevoerd in MSHEET. Echter, in MSHEET kan geen negatieve grondverplaatsing ingevoerd worden. Dientengevolge is er een verplaatsing ingevoerd, waarbij de verplaatsing op maaiveldniveau gelijk is aan 0 mm, zie figuur 6.8(2) (file *run2_1*, bijlage 6D). Hieruit blijkt dat de momenten redelijk de momenten uit PLAXIS benaderen, zie tabel 6.3. Vervolgens is er een hypothese aangenomen, waarin gesteld wordt dat wanneer er een constante (extra) verplaatsing wordt opgeteld bij de reeds bestaande opgelegde verplaatsing (hier 6 mm), er geen verschil in momenten, dwarskrachten en paalverplaatsingen mag optreden, aangezien MSHEET rekt met een relatieve verplaatsing.

soort	file	opmerkingen		
		beddingsconstante	schelpfactor	verplaatsingen
MSH	Run2	volgens Ménard	$s_{klei} = 1,5$	opgel. verpl. aan boven- en onderzijde paal is 0 mm.
MSH	Run2_1	uit PLAXIS 3D	$s_{klei} = 1,5$	opgel. verpl. aan boven- en onderzijde paal is 0 mm.
MSH	Run2_2	uit PLAXIS 3D	$s_{klei} = 1,5$	opgelegde verpl. + 6 mm.
MSH	Run2_3	uit PLAXIS 3D	$s_{klei} = 1,5$	als run2_2, verpl. maaiveld is 0 mm.
MSH	Run2_4	uit PLAXIS 3D	PLAXIS 3D	als run2_3, schelpfactor is gemiddelde
MSH	Run2_7	uit PLAXIS 3D	$s_{klei} = 1,0$	als run2_3, $s_{klei} = 1,0$
PL3D	Run6	-	-	-

Tabel 6.2: Uitgevoerde berekeningen voor een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$.

Dit is uitgevoerd in een vervolgberekening, zie figuur 6.8(3) (file *run2_2*, bijlage 6E). Hieruit blijkt inderdaad dat de momenten niet veranderen en dat de paalverplaatsingen over de gehele lengte met 6 mm toegenomen zijn. Nu bekend is dat de hypothese juist is, kan de werkelijke grondverplaatsing (zoals berekend is met PLAXIS 2D, zie figuur 6.8(1)) ingevoerd worden in MSHEET (file *run2_3*, bijlage 6F).



Figuur 6.8: Invoer van de opgelegde grondverplaatsing in MSHEET.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de verplaatsing op maaiveldniveau gelijk is aan 0 mm en dat over de gehele lengte van de paal 6 mm opgeteld wordt bij de grondverplaatsing (zie ook figuur 6.8(4)). Uit de berekening volgt dat de momenten, berekend door MSHEET, de momenten van PLAXIS 3D erg goed benaderen, zie tabel 6.3.

§6.5.2. De schelpfactor

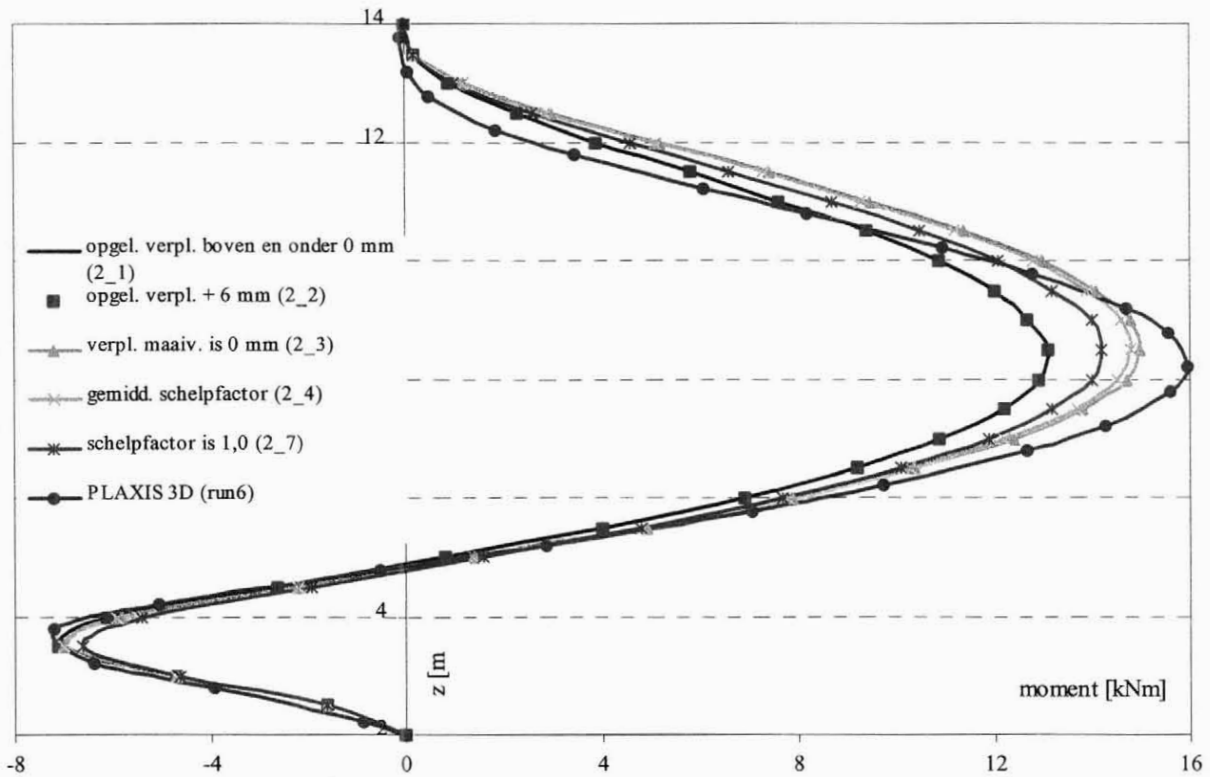
In de voorgaande subparagraaf is “geëxperimenteerd” met de wijze van invoeren van de grondverplaatsingen in MSHEET en daarnaast met de beddingsconstante. Maar niet alleen de beddingsconstante, maar ook de schelpfactor kan van invloed zijn op de resultaten. De wijze waarop de schelpfactor bepaald is, staat beschreven in §6.4.2. Als we vervolgens deze gemiddelde waarde voor de schelpfactor invoeren in de gronddrukcoëfficiënten (file *run2_4*, bijlage 6G) dan blijkt het moment redelijk het moment van PLAXIS 3D te benaderen (zie ook tabel 6.3). Op basis van de uitvoer van MSHEET kan afgeleid worden of de plastische tak van de veer karakteristiek bereikt wordt.

In de uitvoerkolommen “Ef. Str. [kN/m²] en Stat [%]” is aangegeven hoeveel % de gronddruk bedraagt van de actieve of passieve gronddruk. Is dit percentage kleiner dan 100 %, dan bevindt de grondreactie zich nog in de elastische tak van de veer karakteristiek (zie ook figuur 6.7). Uit run2_4 blijkt dat de grond zich nog in de elastische tak bevindt. Ter controle wordt een berekening uitgevoerd waarin er géén schelpfactor meegerekend wordt (ofwel $s_{\text{klei}} = 1,0$). Uit deze berekening (file run2_7, bijlage 6H) blijkt eveneens dat de momenten onderling niet veel afwijken (zie tabel 6.3).

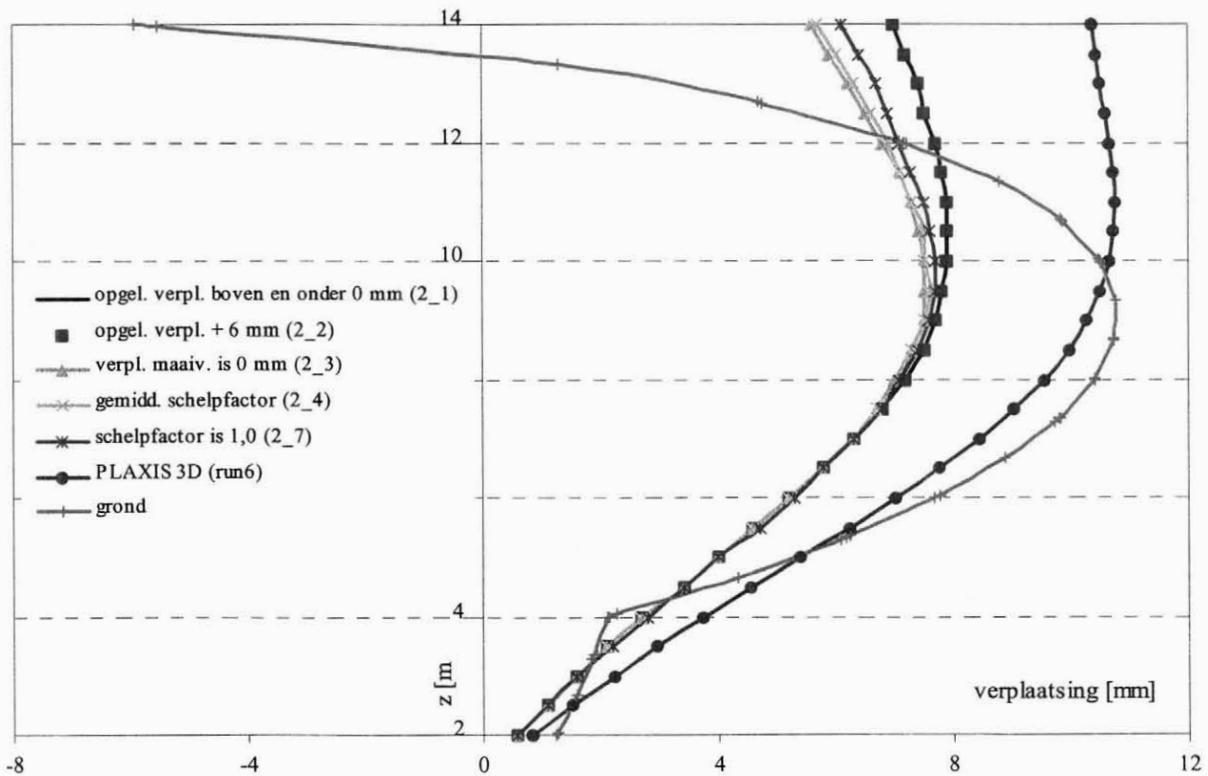
file	omschrijving	M _{positief} [kNm]	afwijking [%]	M _{negatief} [kNm]	afwijking [%]
Run2	uitgangspositie uit hoofdstuk 5	26,1	64,2	11,3	56,9
Run2_1	opgelegde verplaatsing aan boven- en onderzijde paal is 0 mm	13,1	-17,6	7,2	0,0
Run2_2	opgelegde verplaatsing + 6 mm	13,1	-17,6	7,2	0,0
Run2_3	als run2_2, verpl. maaiveld is 0 mm	15,0	-5,7	7,1	-1,4
Run2_4	als run2_3, schelpfactor is gemiddelde	14,8	-6,9	7,0	-2,8
Run2_7	als run2_3, $s_{\text{klei}} = 1,0$	14,2	-10,7	6,6	-8,3
Run6	PLAXIS 3D berekening	15,9	0,0	7,2	0,0

Tabel 6.3: Overzicht van momenten.

In figuur 6.9 en figuur 6.10 zijn de momentenlijnen en paalverplaatsingen weergegeven van bovenstaande, uitgevoerde berekeningen. De MSHEET berekening die PLAXIS het best benaderd is file run2_4. Bijlage 6J geeft een totaaloverzicht van alle momenten en verplaatsingen van alle uitgevoerde berekeningen.



Figuur 6.9: Overzicht momenten bij een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$.



Figuur 6.10: Overzicht paalverplaatsingen bij een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$.

§6.5.3. Conclusie

Als in MSHEET de beddingsconstante en de schelpfactor (zoals deze m.b.v. PLAXIS 3D bepaald zijn) ingevoerd worden, dan blijkt dat (zolang de plastische tak niet wordt bereikt) de resultaten onderling niet veel afwijken (zie ook tabel 6.3). Voor de beddingsconstante kan hieruit geconcludeerd worden dat, als de correcte beddingsconstante gehanteerd wordt in beide rekenprogramma (in PLAXIS 3D zit de beddingsconstante er impliciet in, in MSHEET wordt deze ingevoerd), de resultaten nagenoeg met elkaar overeen komen (file *run2_1*, *run2_2* en *run2_3*, bij een gelijkblijvende schelpfactor van $s_{klei} = 1,5$). Voor de schelpfactor geldt dat zolang de maximale passieve gronddruk in MSHEET niet bereikt wordt, de grond zich in de elastische tak bevindt en dat de schelpfactor geen enkele rol speelt (file *run2_3*, *run2_4* en *run2_7*).

Omdat blijkt dat bij een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$ de grond zich in het elastisch gebied bevindt, treedt er geen plasticiteit op. Om te onderzoeken hoe goed de overeenstemming is in het plastische gebied, wordt er een berekening uitgevoerd met een hogere belasting. Dit staat beschreven in bijlage 6K.

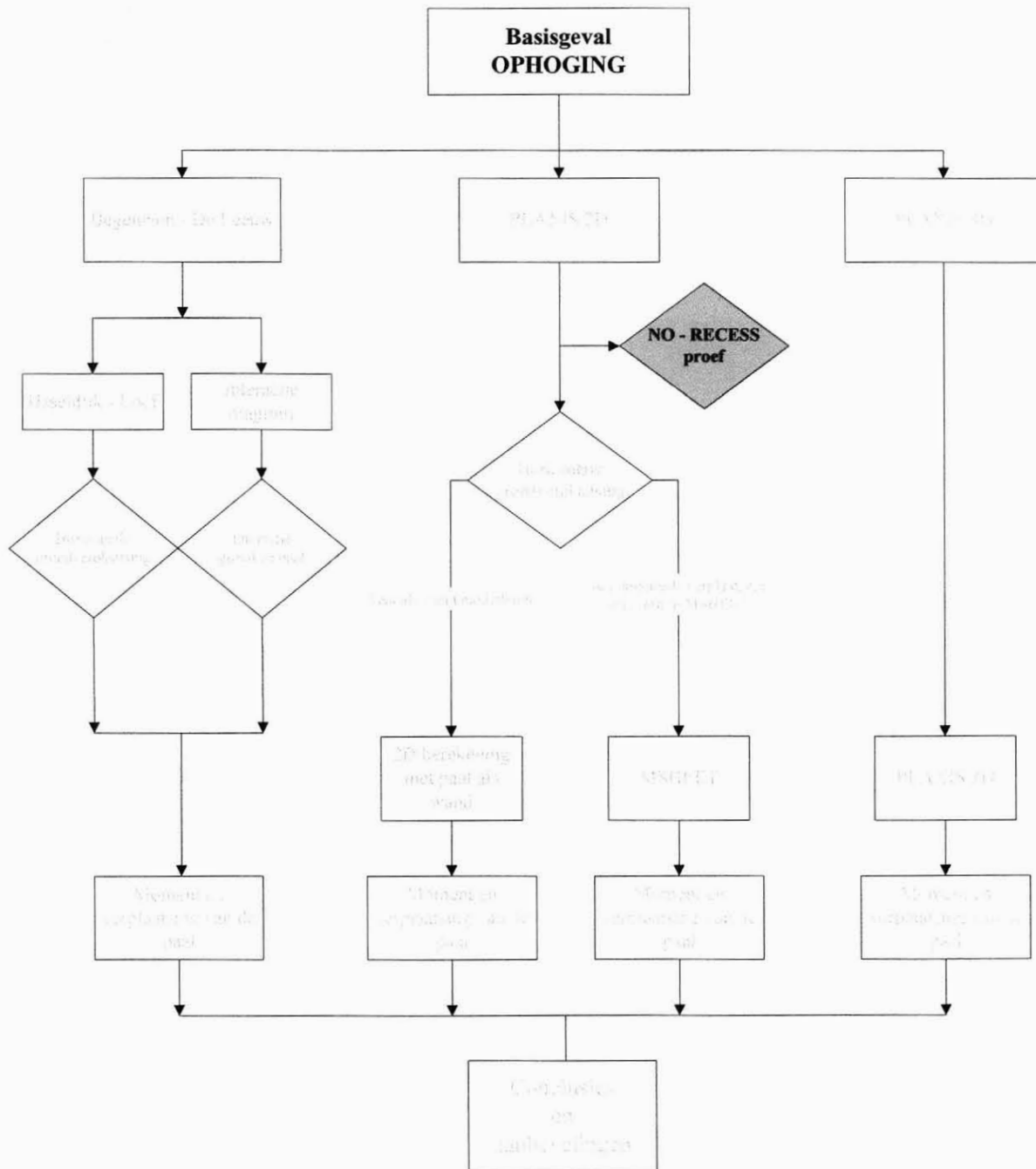
§6.6. Waarom is PLAXIS 3D beter geschikt voor paalberekeningen dan MSHEET?

- PLAXIS 3D:
 - + keuze uit meerdere grondmodellen;
 - + 3D karakter \Rightarrow de stroming van de grond om de paal komt tot uitdrukking;
 - + gebaseerd op continuüm¹;
 - + invoermogelijkheden zijn onbeperkt (complexiteit geen probleem);
 - + de invoer wordt grafisch weergegeven \Rightarrow je ziet meteen wat je invoert;
 - + alle soorten uitvoer mogelijk (spanningen, rekken, relatieve verplaatsingen, etc.)
 - het invoeren van de gegevens is een tijdrovende bezigheid;
 - de hoeveelheid benodigde geheugen en rekencapaciteit van de computer;
 - erg gevoelig voor de fijnheid van de mesh
- MSHEET:
 - + gebaseerd op elastisch ondersteund liggermodel;
 - + de invoer van gegevens is zeer eenvoudig;

¹ Een continuüm model beschrijft een halfruimte begrensd aan één zijde. Het geheel wordt bekeken en niet in detail.

-
- + voor een eerst indruk betrouwbaar (rekening houden met overschatting momenten);
 - het programma is ontworpen voor damwanden, het is een wandberekening;
 - er zijn invoerbependingen (complexe gevallen kunnen niet ingevoerd worden);
 - de uitvoer is zeer beperkt;
 - om palen in te voeren, moet er een schelpfactor verdisconteerd worden in de gronddrukcoëfficiënten. De grootte van de schelpfactor wordt meestal gekozen op basis van ervaringsgetallen volgens tabel 6.1;
 - de bepaling van de beddingsconstante kan op een aantal manieren gebeuren. Als de tabellen van Ménard gebruikt worden, dan wordt de beddingsconstante overschat;
 - via PLAXIS 2D moet de grondverplaatsing berekend worden, deze moet vervolgens als een opgelegde verplaatsing in MSHEET ingevoerd worden;
 - in MSHEET kan geen negatieve grondverplaatsing ingevoerd worden. Wil men de echte grondverplaatsing invoeren, dan moeten er een aantal tussenstappen uitgevoerd worden (zie ook §6.5.1)

HOOFDSTUK 7



Hoofdstuk 7: NO – RECESS proeftuin

§7.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de modellen voor het berekenen van horizontale grondvervormingen getoetst aan metingen, welke zijn uitgevoerd in de NO-RECESS proeftuin. Naast IJsseldijk-Loof wordt PLAXIS 2D getoetst. De reden waarom PLAXIS 2D wordt gebruikt en niet PLAXIS 3D is omdat in PLAXIS 3D niet gerekend kan worden met consolidatie. In §7.2 wordt kort uitgelegd waar de proeflocatie zich bevindt en uit welke onderdelen deze proef bestaat. In §7.3 wordt de proef toegelicht die met PLAXIS nagerekend wordt. Als laatste worden in §7.4 conclusies gegeven omtrent de bevindingen in de voorafgaande paragraaf.

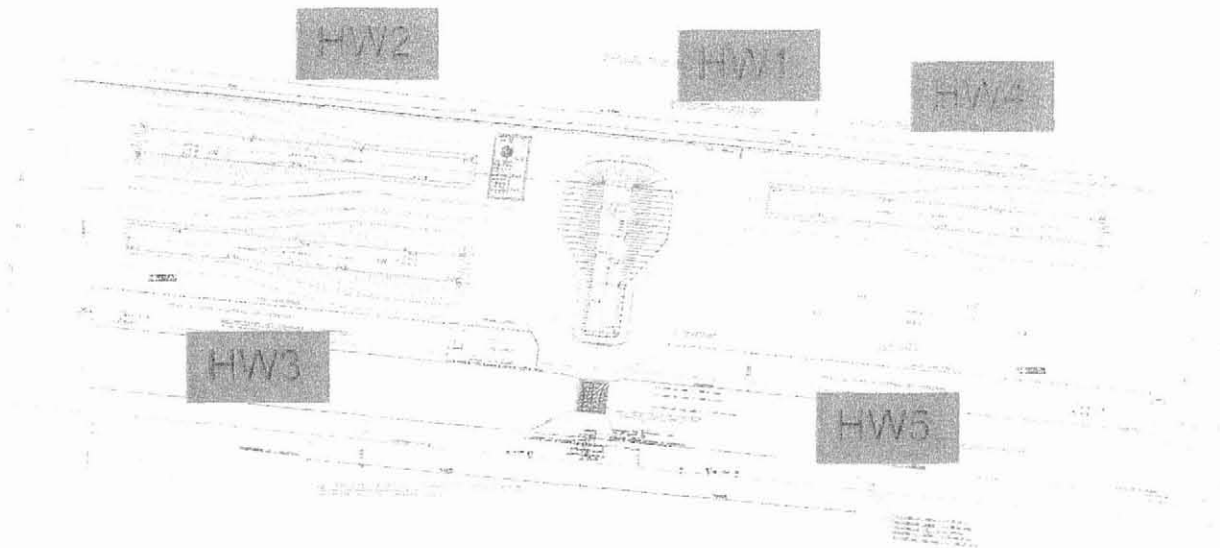
§7.2. NO-RECESS

De No-Recess proeftuin in de Hoeksche Waard betreft een (demonstratie-) onderzoek naar, voor Nederlandse begrippen, niet conventionele funderingswijzen voor aardebanen voor rail- en weginfrastructuur. De technieken in het No-Recess proefvak zijn wel in het buitenland, maar niet eerder in Nederland toegepast. De Nederlandse bodem heeft echter specifieke kenmerken waardoor het interessant is om te onderzoeken hoe deze technieken zich hier gedragen. No-Recess staat voor: *New Options for Rapid and Easy Construction of Embankments on Soft Soils*. In de No-Recess proeftuin zijn op regelmatige afstanden in de slappe laag (organische klei en veen) funderingselementen aangebracht, waarna de 'aardebaan' (in dit geval een proefterp) is opgebracht. In de proeftuin zijn de volgende funderingswijzen toegepast:

- terp HW2: gestabiliseerde grondkolommen (voorheen kalk-cementkolommen genoemd);
- terp HW3: gestabiliseerde grondwanden (Fräs Misch Injektion, FMI);
- terp HW4: geotextiel ommantelde zandkolommen (GOZ);
- terp HW5: schuimbetonpalen systeem AuGeo;

Als referentie is een traditionele terp aangelegd:

- terp HW1: verticale kunststof drains.



Figuur 7.1: Foto No-Recess proeftuin.

Het No-Recess onderzoek is uitgevoerd door de projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra en de afdeling Geotechniek van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

De terpen zijn 80 à 120 m. lang, 10 m. breed (op de kruin gemeten) en bestaan uit een hoog gedeelte (netto 5 m. ophoging) en een laag gedeelte (netto 1 m. ophoging). De daadwerkelijke uitvoering van de proeftuin is gestart in januari 1998. De metingen aan de proefterpen zijn doorgezet tot eind 2000 waarna de terpen en de funderingen (bovenste deel) zijn gesloopt. In het Programma van Eisen worden voor de HSL grenzen gesteld aan de bouwtijd en de restzetting:

- bouwtijd aardebaan maximaal 18 maanden;
- restzetting van $t = 24$ maanden tot $t = 30$ jaar maximaal 0,03 m. (eis HSL1);
- bij aansluiting aan een zettingsvrij kunstwerk toegestane restzetting 0,0 m (eis HSL2);
- 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.

Daarnaast zijn de resultaten van de zettingsmetingen getoetst aan de RWS-eisen:

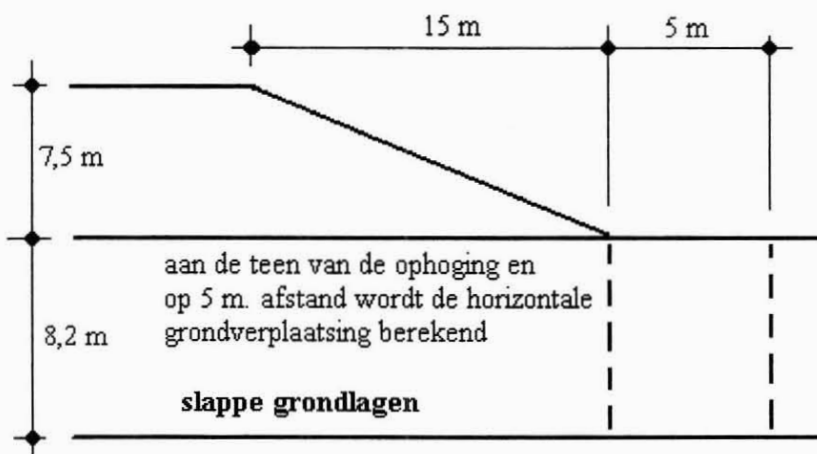
- bouwtijd lage aardebaan 6 maanden, hoge aardebaan 12 maanden;
- restzetting na oplevering tot $t = 30$ jaar maximaal 0,10 m. (eis RWS1);
- bovendien, bij een verbreding van een aardebaan, toegestane zetting gedurende de bouw maximaal 0,10 m.

Voor de dynamische eigenschappen zijn de richtlijnen van de Deutsche Bahn aangehouden.

Uit een eerste evaluatie najaar 1999 van de resultaten van het No-Recess proefveld te 's Gravendeel, zie ref. 1, is gebleken dat verschillende technieken zonder meer voldoen en geschikt zijn voor toepassing in Nederland: *het stoplicht staat op groen*. Bij enkele andere technieken waren onzekerheden aanwezig ten aanzien van één of meer onderdelen, zodat nader onderzoek nodig werd geacht: *het stoplicht staat op oranje*. Eind 1999 is in CUR-verband gestart met nader onderzoek teneinde binnen afzienbare tijd de onzekerheden te reduceren of te elimineren zodat voor meer technieken het stoplicht op groen gezet kan worden. Voor conclusies voor het gehele project, zie ref. 1.

§7.3. De doorsnede

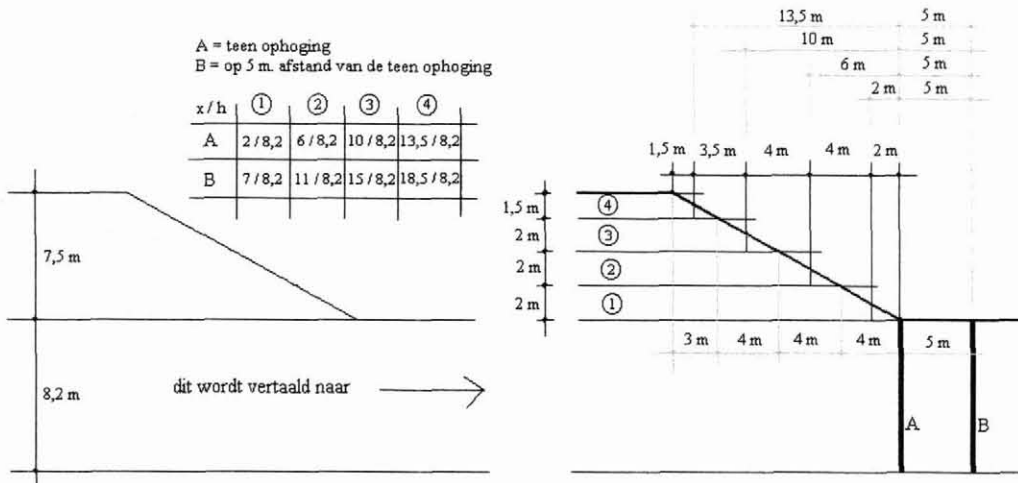
Bij de No-Recess proef zijn uitgebreid metingen uitgevoerd. Onder andere betreft dit horizontale vervormingsmetingen in de ondergrond door middel van hellingmeetbuizen. De beschikbare meetgegevens lijken ideaal geschikt voor validatie van het Soft Soil Creep model (SSC), het Mohr-Coulomb grondmodel (MC) en de tabellen van IJsseldijk-Loof. Als uitgangspunt wordt de doorsnede van HW1 gebruikt (dit is de terp met de verticale kunststof drains, zie figuur 7.2 voor de doorsnede). Een overzicht van de op de proeflocatie uitgevoerde metingen staat in bijlage 7A. Uitgangspunt is een tabel met grondparameters die, op basis van grondonderzoek, door derden is vastgesteld. Deze parameters staan weergegeven in bijlage 7B. Allereerst is ervoor gezorgd dat de berekende zettingen overeenkomen met de gemeten zettingen. Op welke wijze dit gedaan is, staat beschreven in bijlage 7C.



Figuur 7.2: De doorsnede.

Tabellen IJsseldijk-Loof

Als eerste worden de tabellen van IJsseldijk-Loof gebruikt voor de bepaling van de horizontale grondverplaatsing. Daarvoor moet de doorsnede van figuur 7.2 vertaald worden om voor het gebruik van de tabellen geschikt te zijn, zie figuur 7.3.



Figuur 7.3: Vertaling voor IJsseldijk-Loof.

De zetting is, zoals eerder gesteld, in elke berekening gelijk aan de gemeten zetting, deze is

2,13 m. Dat houdt in dat $\Delta z_{IJS} = \Delta z_{meting}$. De E wordt vervolgens bepaald uit $E = 1,25 \cdot \frac{\Delta p \cdot h}{\Delta z_{IJS}}$.

De Δp wordt bepaald volgens $\gamma \cdot h_{ophoging} = 18 \text{ kN/m}^3 \cdot 7,5 \text{ m} = 135 \text{ kN/m}^2$, de hoogte van de slappe laag is 8,2 m. Hiermee zijn alle parameters bekend en kan E berekend worden:

$$E = 1,25 \cdot \frac{135 \cdot 8,2}{2,13} \approx 650 \text{ kN/m}^2. \text{ Als deze E toegepast wordt in de tabellen van IJsseldijk-Loof, dan volgen de horizontale verplaatsing aan de teen van de ophoging en op 5 m afstand van de teen van de ophoging. Zie tabel 7.1 voor de resultaten.}$$

Diepte (m)	IJsseldijk		Loof		Mohr-Coulomb	
	teen (mm)	+ 5 m. (mm)	teen (mm)	+ 5 m. (mm)	teen (mm)	+ 5 m. (mm)
-1,0	1819	1361	0	0	721	513
-2,64	1897	1231	420	131	798	505
-4,28	1696	1047	668	217	787	463
-5,92	1318	780	672	223	723	391
-7,56	756	405	450	150	538	261
-9,2	0 ^c	0	0	0	0	0

Tabel 7.1: Horizontale verplaatsing aan de teen van de ophoging en op 5 m. afstand.

Mohr-Coulomb model

Voor het MC-model geldt het volgende. De zetting is gelijk aan de zetting van de meting, dus eveneens 2,13 m. De E_{oed} wordt bepaald uit: $E_{\text{oed}} = \frac{\Delta p \cdot h}{\Delta z_{\text{MC}}}$. Alle parameters zijn bekend en voor

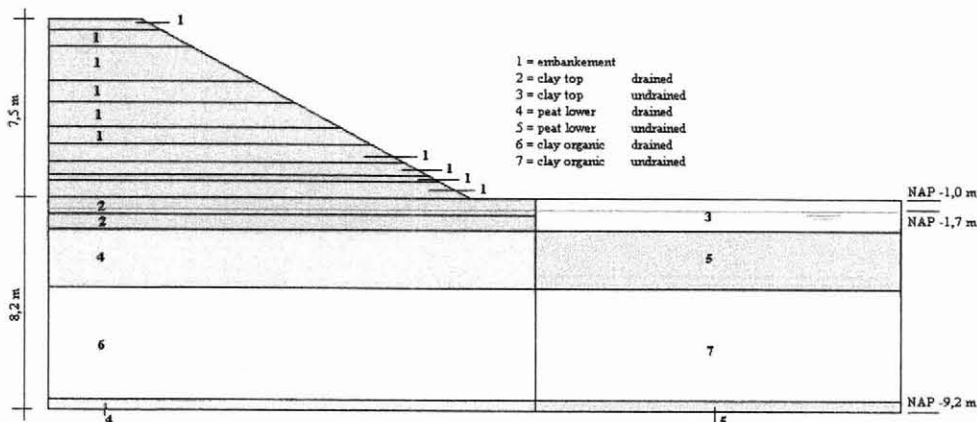
E_{oed} volgt $519,7 \text{ kN/m}^2$. De E wordt vervolgens bepaald uit: $E = \frac{(1 - 2\nu)(1 + \nu)}{(1 - \nu)} \cdot E_{\text{oed}}$. Met $\nu =$

$0,3$ wordt dit $E = \frac{(1 - 2 \cdot 0,3)(1 + 0,3)}{(1 - 0,3)} \cdot 519,7 \approx 386 \text{ kN/m}^2$. Voor de volledige resultaten van

deze berekening, zie tabel 7.1 en bijlage 7E (file *hw1b_6*).

Soft Soil Creep-model

In eerste instantie wordt gebruik gemaakt van de berekening waarin de zettingen “gefit” zijn (file *hw1b(basis)*). Voor de ophoging (laag 1) wordt het MC grondmodel gebruikt, voor de overige grondlagen (lagen 2 t/m 7) wordt het SSC model gebruikt (zie figuur 7.4 voor het model). Onder de ophoging worden de doorlatendheidscoëfficiënten aangepast (factor 10 groter dan de lagen daarnaast) omdat daar drains aanwezig zijn (zie laag 2, 4 en 6).



Figuur 7.4: Het Soft Soil Creep model.

Uit de berekening blijkt dat de grondverplaatsing overschat wordt. Vervolgens is een model gekozen (“best fit”, file *hw1c*) met parameters, die zijn bepaald op basis van gegevens uit de PLAXIS 2D handleiding (ref. 6) en de NEN 6740 (ref.12). De parameter λ^* is op dezelfde wijze bepaald als in §3.5.1 gedaan is. De overige parameters en de berekening staan beschreven in bijlage 7F (file *hw1c*). In tabel 7.2 staan de belangrijkste gegevens weergegeven.

	C'_p [-]	C'_s [-]	λ^* [-]	κ^* [-]	μ^* [-]	K_0^{NC} [-]
Clay top	15	95	0,11	0,058	0,0043	0,625
Peat	10	80	0,15	0,035	0,0040	0,741
Clay organic	15	170	0,090	0,012	0,0034	0,515

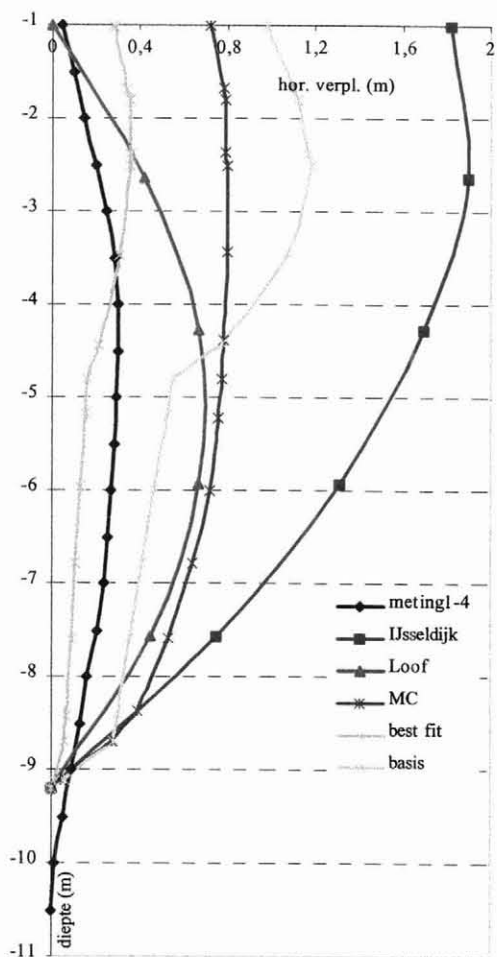
De K_0^{NC} is bepaald volgens $1 - \sin \varphi$

Tabel 7.2: Bepaling parameters voor SSC-model.

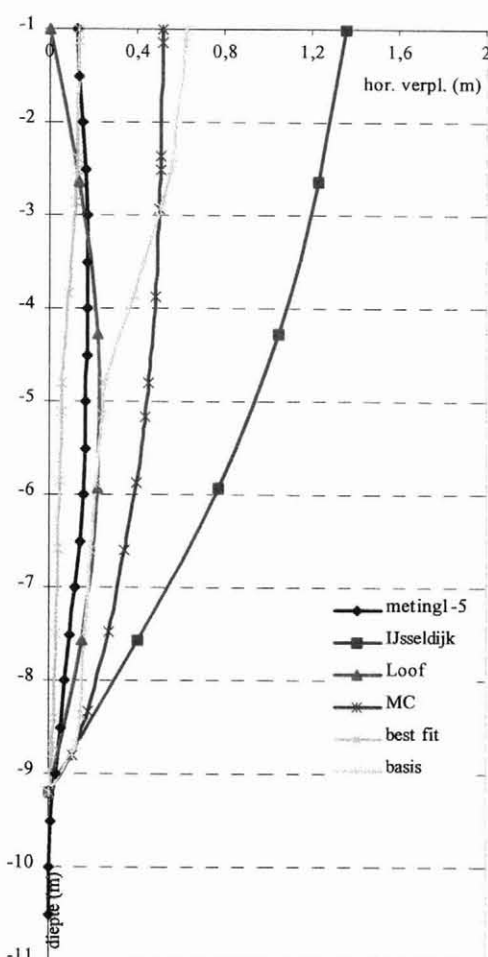
In figuur 7.5 staan de horizontale verplaatsingen weergegeven aan de teen van de ophoging en in figuur 7.6 staan de horizontale verplaatsingen op 5 m. afstand van de teen van de ophoging.

file	hw1c	hw1b(basis)	hw1b_6
naam	best fit	basis	MC

Tabel 7.3: Verklaring legenda behorende bij figuur 7.3 en 7.4.



Figuur 7.5: Horizontale grondverplaatsing aan teen van de ophoging.



Figuur 7.6: Horizontale grondverplaatsing op 5 m. afstand van de teen.

Uit de figuren 7.5 en 7.6 volgt dat de grondverplaatsingen onderling niet overeenkomen. De volgende verklaringen kunnen hieraan ten grondslag liggen:

- het blijkt dat de verplaatsingen die bepaald zijn met de methode IJsseldijk-Loof, veel te groot zijn;
- uit de resultaten van het MC-model blijkt eveneens dat de verplaatsingen overschat worden, maar minder dan het geval is bij IJsseldijk;
- Het blijkt dat het SSC model de horizontale grondverplaatsingen overschat (file *hw1b(basis)*). De afwijking kan toegeschreven worden aan de helling van de cap, beschreven door de parameter M in het SSC model. In het SSC model wordt M berekend uit:

$$M = \frac{6 \sin \varphi^*}{3 - \sin \varphi^*} \quad \text{met} \quad \varphi^* = \varphi + 0,1^\circ$$

Deze parameter bepaalt de σ'_h / σ'_v verhouding onder één-dimensionale samendrukking ($=K_0^{\text{NC}}$). De bovenstaande formule voor M leidt tot hogere waarden voor K_0^{NC} . In het SS model is daarentegen de waarde van M gebaseerd op de relatie, waarbij gebruik gemaakt wordt van de formule van Jaky voor de bepaling van $K_0^{\text{NC}} = 1 - \sin \varphi$. Deze geeft in het algemeen hogere waarden voor M en lagere waarden voor σ'_h / σ'_v bij één-dimensionale samendrukking. In berekening *hw1b(basis)* is de waarde van de K_0^{NC} door derden opgegeven. In de “best fit” berekening (file *hw1c*) is de K_0^{NC} gecorrigeerd. In deze berekening is de aanbevolen waarde voor K_0^{NC} toegepast. Ook de OCR-waarde speelt een belangrijke rol. De OCR (overconsolidatie ratio) bepaald de preconsolidatiespanning. De preconsolidatiespanning geeft het omslagpunt (de cap) weer tussen “ontlast/herbelast” stijfheid en “belast” stijfheid. In de uitgangsberekening is de OCR 1,4. In de “best fit” berekening is deze 1,6. Een kleine OCR geeft veel kruip en een grote OCR geeft minder kruip.

§7.4. Conclusie

De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

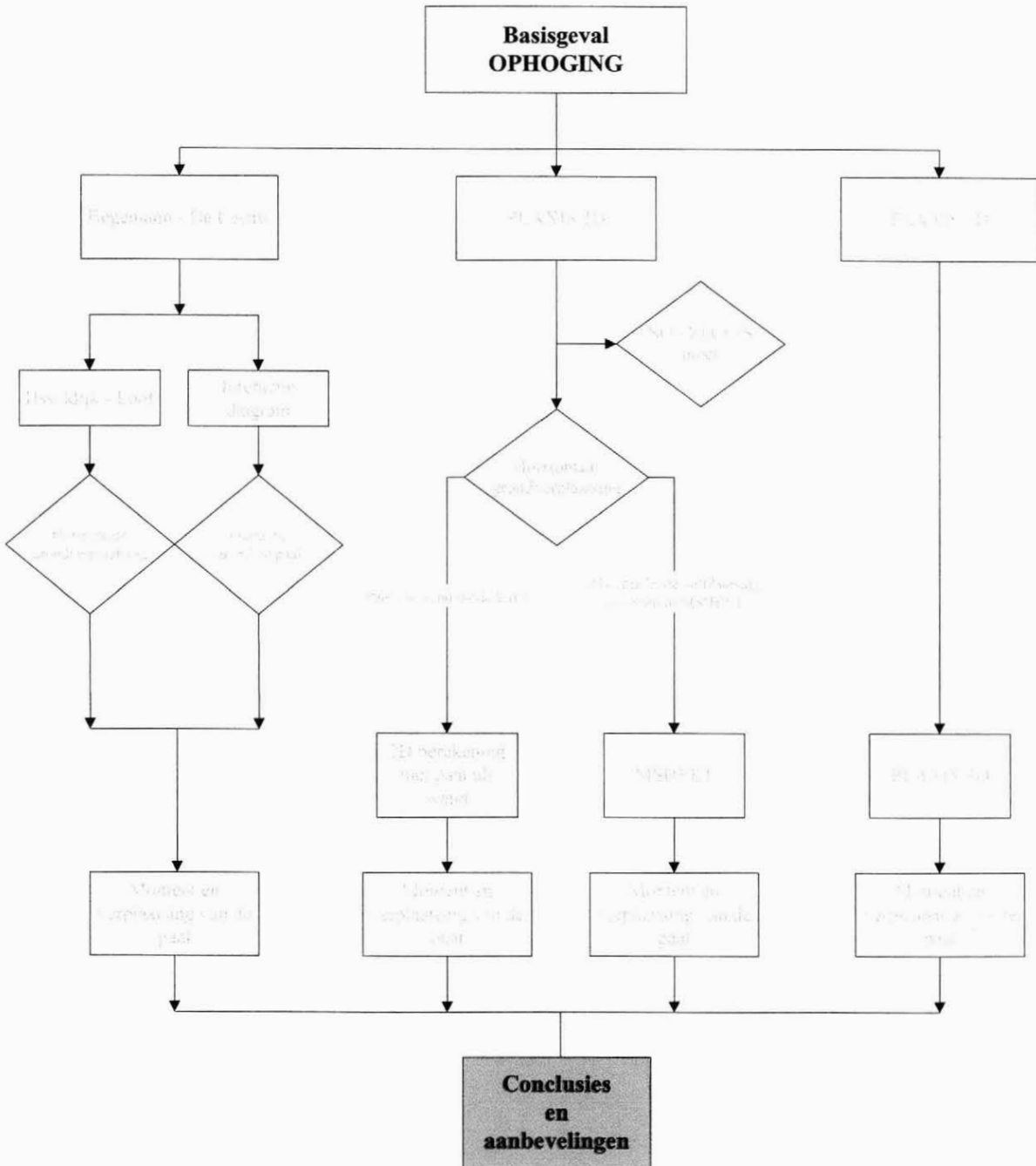
- Wat betreft de methode IJsseldijk-Loof, blijkt dat deze methode de verplaatsingen overschat;
- Met het Mohr-Coulomb model worden de verplaatsingen eveneens overschat. Dit kan aan twee zaken toegeschreven worden. Ten eerste gaat dit model niet uit van een spanningsafhankelijke stijfheid.

Dit kan opgelost worden door een grote grondlaag op te delen in een aantal kleine lagen met een toenemende stijfheid met de diepte. Ten tweede wordt er met dit model geen rekening gehouden met tijdsafhankelijkheid (geen kruip);

- De grote horizontale verplaatsingen, die volgen uit de basisberekening (file *hw1b(basis)*), zijn niet realistisch te noemen. Enkele oorzaken voor de overschatting van de horizontale verplaatsingen zijn:
 - De opgegeven waarde voor K_0^{NC} is te hoog en de waarde voor M is te laag. Een lagere waarde voor K_0^{NC} en een hogere waarde voor M worden aanbevolen. Als de K_0^{NC} aangepast wordt (file *hw1c*), dan blijkt dat de berekende horizontale verplaatsingen de gemeten verplaatsingen redelijk benaderen;
 - Daarnaast is ook de kruipsnelheid in het SSC model erg afhankelijk van de OCR. Een geringe toename van de OCR, bijv. 1,6, reduceert de kruipsnelheid en dus de horizontale verplaatsingen (file *hw1c*, bijlage 7F).

Het is belangrijk te beseffen dat grondmodellen altijd een benadering vormen van werkelijk grondgedrag. Het is essentieel om te kijken naar spanningspaden, zoals die in een model voorkomen en de mate waarin modellen in staat zijn het werkelijk grondgedrag in dergelijke spanningspaden te evenaren. Algemeen kan geconcludeerd worden dat met het SSC model (voor een ophoging) de horizontale verplaatsingen redelijk de werkelijkheid beschrijft. De voorkeur gaat dan ook uit om voor het bepalen van horizontale verplaatsingen het Soft Soil Creep model te gebruiken.

HOOFDSTUK 8



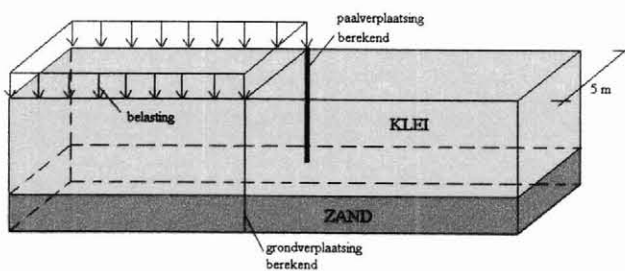
Hoofdstuk 8: Conclusies en aanbevelingen

§8.1. Inleiding

Het titelblad geeft aan dat in dit afsluitende hoofdstuk conclusies en aanbevelingen (§8.2) worden gegeven over de resultaten die gevonden zijn. Daarnaast worden er extra aanbevelingen (§8.3) gedaan voor verder onderzoek. Als laatste wordt in §8.4 een korte handleiding weergegeven voor het rekenen met PLAXIS 3D.

§8.2. Conclusies en aanbevelingen

In het onderzoek zijn een aantal analyses uitgevoerd. Dit zijn achtereenvolgens een oriënterende analyse, een standaard uitgebreide analyse en een zeer uitgebreide analyse. Het getoetste model staat in figuur 8.1 weergegeven. Het model bestaat uit een niet draagkrachtige (klei)laag begrenst



door een (rekstijve) zandlaag. De conclusies en aanbevelingen die in deze paragraaf genoemd worden gelden eveneens voor complexe modellen.

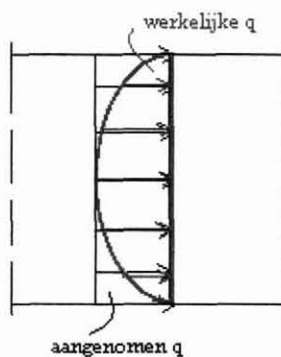
Figuur 8.1: Getoetste model.

De oriënterende analyse omvat o.a. een onderzoek naar de bepaling van de horizontale grondverplaatsing. Als uitgangspunt is de methode Begemann-De Leeuw gebruikt, hetgeen een handberekeningsmethode is. De methode berekent de horizontale grondverplaatsing aan de hand van tabellen (van IJsseldijk-Loof); via een interactie tussen de paal en de grond wordt het moment in en een verplaatsing van de paal berekend. Met betrekking tot het gebruik van de tabellen van IJsseldijk-Loof kan het volgende geconcludeerd worden. Zolang er sprake is van:

- een eenvoudige geometrie;
- - lineair elastisch grondgedrag;
- uit één slappe laag bestaande grondopbouw;
- een eenduidige bovenbelasting;

- een dwarscontractiecoëfficiënt van $\nu = 0,5$ dan is de bepaling van de horizontale grondverplaatsing met behulp van de tabellen van IJsseldijk-Loof geoorloofd. Indien één of meerdere van bovenstaande afwijk(t)(en), dan is het beter om over te stappen op PLAXIS 2D of 3D.

Aangezien in de meeste gevallen niet wordt voldaan aan eerder genoemde randvoorwaarden en de betrouwbaarheid van een EEM groot wordt geacht, wordt geadviseerd om in de meeste gevallen de EEM te gebruiken i.p.v. de tabellen van IJsseldijk-Loof. Vermoedelijk worden met de methode IJsseldijk-Loof de horizontale grondverplaatsingen sterk overschat. Daarnaast is de invloed van de dwarscontractiecoëfficiënt onderzocht. Het blijkt dat als een dwarscontractiecoëfficiënt van 0,5 gebruikt wordt (uitgangspunt IJsseldijk-Loof), op de rand van de belasting geen zetting optreedt, terwijl dit in de realiteit wel optreedt. Als men een dwarscontractiecoëfficiënt van 0,3 gebruikt, treedt er wel een zetting aan de rand van de belasting op, wat overeenkomt met de realiteit. Voor realistische berekeningen wordt dan ook geadviseerd om een dwarscontractiecoëfficiënt van 0,3 te gebruiken. Als de methode Begemann-De Leeuw geanalyseerd wordt, blijkt dat deze een te groot moment (in vergelijking met PLAXIS 3D, hetgeen het referentiekader is) op de verkeerde plaats weergeeft en dat de verplaatsing van de paal overschat wordt, waarbij opgemerkt dient te worden dat de maximale uitbuiging aan de kop van de paal optreedt en het maximaal moment aan de voet



van de paal. Dit komt omdat de methode uitgaat van een uitkragende ligger met een gelijkmatig verdeelde belasting op de paal, terwijl dit in de praktijk niet het geval is (zie figuur 8.2).

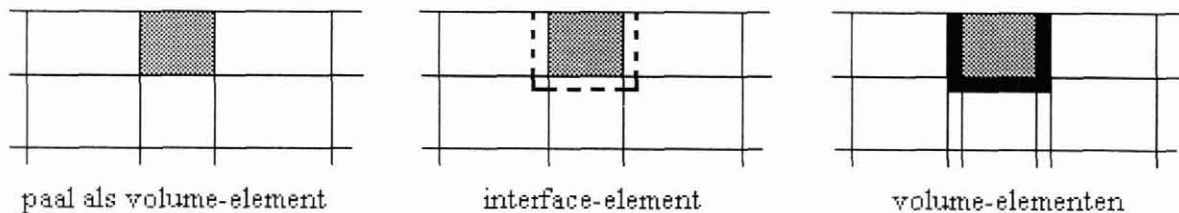
Figuur 8.2: Aangenomen versus werkelijke belasting.

Het onderzoek heeft zich gericht op een slappe bovenlaag begrenst door een rekstijve onderlaag. Het geval van een slappe laag aan de boven- en onderzijde begrenst door een rekstijve laag (methode Loof) is buiten beschouwing gebleven. Het verdient dan ook de aanbeveling om in de toekomst het geval “Loof” te onderwerpen aan vergelijkbare berekeningen, zoals in dit onderzoek gedaan is. Met name over het mechanicamodel dat toegepast wordt, bestaat onzekerheid. Wordt het gemodelleerd als een ligger op twee steunpunten, een ligger met aan een zijde een inklemming en aan de andere zijde een oplegging of als in aan beide zijde ingeklemde ligger?

De standaard uitgebreide methode omvat het volgende. M.b.v. een 2D EEM pakket wordt de horizontale grondverplaatsing bepaald. Dit wordt vervolgens in een elastisch ondersteund liggermodel ingevoerd (als een opgelegde verplaatsing aan de paal) en met dit liggermodel worden de snedekrachten in de paal bepaald. Het 2D EEM pakket dat gebruikt kan worden, is PLAXIS 2D.

Uit de analyse volgt, dat als PLAXIS 2D gebruikt wordt (toegepast grondmodel is Mohr-Coulomb), dat de momenten vele malen kleiner zijn dan berekend met PLAXIS 3D. De oorzaak hiervan is dat PLAXIS 2D een wandberekeningsprogramma is. Hier kunnen geen factoren ingevoerd worden om palen door te rekenen. De grond kan niet om de paal heen stromen, dus de wand krijgt de volledige belasting te verwerken. De stijfheid van de (ingevoerde) wand is laag (namelijk gelijk aan de stijfheid van de paal), dus de vervorming is groot. Door de lage stijfheid krijgt de wand een lager moment. Er is ook aandacht besteedt aan welk grondmodel de horizontale grondverplaatsing het best beschrijft. Dit is aan de hand van een proefophoging onderzocht, waarbij de horizontale grondvervorming is gemeten. De horizontale vervorming is in een EEM onderzocht, waarbij verschillende grondmodellen zijn gebruikt (Mohr-Coulomb (MC) en Soft Soil Creep (SSC)) en de tabellen van IJsseldijk-Loof. Als alleen naar de horizontale grondverplaatsing gekeken wordt, gaat de voorkeur uit naar het SSC-model i.p.v. het MC-grondmodel. Dit omdat verwacht wordt dat met dit grondmodel een reële inschatting van de horizontale grondverplaatsing gemaakt wordt. Met name de berekening met het SSC-model zijn erg gevoelig voor kleine veranderingen in de gehanteerde parameters. Het SSC-model vereist dus meer onderzoek wat betreft parameterkeuze. Als de “default” waarden gebruikt worden, zijn de verplaatsingen onder de ophoging onrealistisch hoog. Dit komt door de aanwezigheid van plastische punten. De berekende zetting van de ophoging is eveneens ook te groot. Het verdient dus de aanbeveling om meer proeven uit te voeren en de verschillende grondmodellen te onderzoeken (met name het SSC). Enige voorzichtigheid is toch geboden bij het toepassen van PLAXIS 2D. Ondanks dat het programma wereldwijd in de ingenieurswereld en aannemerswereld toegepast wordt, zijn er toch punten die extra aandacht vragen. Met name de modellering van interface-elementen. Aan de betrouwbaarheid van de resultaten van interface-elementen wordt getwijfeld. Aanbevolen wordt dan ook om de invloed van interface-elementen bij een paal te onderzoeken. Wat houden deze elementen in en wat doen ze precies? Interface-elementen modelleren de aanhechting (interactie) van de grond aan de paal. Kan er op een andere wijze de aanhechting van de grond aan de paal gemodelleerd worden? Het aangeven van niet volledige aanhechting tussen paal en grond wordt in MSHEET aangegeven door $\delta = 2/3 \varphi$. In PLAXIS kan dit gemodelleerd worden door interface-elementen te gebruiken. Een mogelijke oplossing om een gereduceerde aanhechting tussen de paal en de grond te verwerken is gegeven in figuur 8.3.

In het linker plaatje is de paal getekend (grijs blok), waarbij er sprake is van volledige aanhechting ($\delta = \varphi$) tussen de paal en de grond, dus zonder gebruikmaking van een interface-element. In het plaatje in het midden is het interface-element om de paal getekend (met gereduceerde sterkte eigenschap $\delta = 2/3 \varphi$). In het rechter plaatje is een dunne rand volume-elementen langs de paal (bestaande uit balkelementen) getekend (waarbij ook geldt dat $\delta = 2/3 \varphi$).



Figuur 8.3: Verschillende vormen van paalmodellering en aanhechting grond en paal.

Het elastisch ondersteund liggermodel dat getoetst is, is MSHEET. Uit onderzoek blijkt dat de resulterende snedekrachten in het elastisch gebied niet beïnvloed worden, wanneer de opgelegde grondverplaatsing met een constante waarde wordt verhoogd. Aangezien in MSHEET voor de grondverplaatsing geen negatieve waarden kunnen worden ingevoerd, kan dit opgelost worden door alle verplaatsingen met eenzelfde waarde te verhogen en vervolgens bij de resultaten deze waarde af te trekken van de paalverplaatsingen om de echte paalverplaatsingen te verkrijgen.

De benodigde parameters zijn o.a. de beddingsconstante en de schelpfactor. De beddingsconstante voor palen wordt bepaald via de tabel van Ménard. Uit het onderzoek volgt dat deze waarden veel te hoog zijn. Om vergelijkbare resultaten te verkrijgen (met PLAXIS 3D), moet de beddingsconstante lager zijn. Het verdient dan ook de aanbeveling om de wijze waarop de beddingsconstante bepaald wordt (via Ménard) te onderzoeken. Op welke gegevens baseert Ménard zijn tabel en op welke wijze kan de tabel aangepast worden, zodanig dat er lagere beddingsconstanten uit volgen, die overeen komen met de werkelijkheid? Het berekenen van palen kan in MSHEET gebeuren door de passieve gronddrukcoëfficiënten te verhogen en de actieve gronddrukcoëfficiënten te verlagen door het toepassen van de schelpfactor. De schelpfactor wordt bepaald aan de hand van tabel 8.1 en is gebaseerd op ervaring.

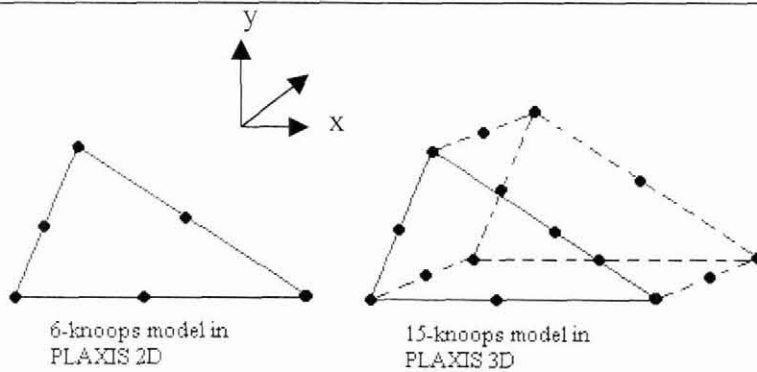
Grondsoort	Conusweerstand [MN/m ²]	Schelffactor [-]
Veen, slap	0,1 – 0,2	1,2 – 1,5
Veen, klei	0,2 – 0,5	1,3 – 1,6
Klei, uitgedroogd	0,5 – 1,5	1,4 – 1,8
Silt (leem)	0,5 – 1,5	1,5 – 1,8
Zand, matig vast	1,5 – 4,0	1,7 – 2,0
Zand, vast	4,0 – 10,0	1,8 – 2,3
Zand, zeer vast	meer dan 10,0	2,0 – 2,7

Tabel 8.1: *Indicatie schelffactoren.*

Daarnaast is er ook de mogelijkheid om het programma MHORPILE te gebruiken voor het doorrekenen van palen. Dit programma is speciaal geschreven voor het doorrekenen van palen en is afgeleid van MSHEET. Uit een eerder uitgevoerd onderzoek is gebleken dat, wanneer in beide programma's dezelfde parameters ingevoerd worden, dezelfde resultaten verschijnen.

De momenten en verplaatsingen die uit de analyse volgen zijn veel groter dan berekend met PLAXIS 3D. De oorzaak ligt in de bepaling van de beddingsconstante en de schelffactor. Als m.b.v. PLAXIS 3D deze invoerparameters van MSHEET bepaald worden dan blijkt dat, wanneer de juiste waarden voor de beddingsconstante en schelffactoren in MSHEET ingevoerd worden, de resultaten van beide programma's ongeveer gelijk zijn. Daarnaast blijkt dat de schelffactor alleen een rol van betekenis speelt bij hoge belastingen, d.w.z. als het plastisch gebied bereikt wordt. Zolang de grond zich in het elastisch gebied bevindt, speelt de schelffactor geen rol. De beddingsconstante speelt hier een belangrijke rol. Hoe groter de beddingsconstante, hoe stijver de grond. De grond dringt als het ware een verplaatsing op aan de paal, de paal zal deze verplaatsing volgen met als gevolg dat de kromming van de paal groot is en dus een groter moment krijgt. Om een eerste indruk te krijgen is deze methode geschikt, met inachtneming van te grote momenten en te grote verplaatsingen.

Als laatste is de zeer uitgebreide analyse uitgevoerd, dit is gedaan met behulp van PLAXIS 3D. De resultaten van de uitgevoerde berekeningen in dit pakket worden gebruikt als referentieberekeningen voor de andere gebruikte rekenmethodieken. Een 3D analyse met PLAXIS is in feite een 2½D berekening, waarbij het 3D-karakter wordt vertaald door een 2D element te extruderen in één richting (de z-richting, zie figuur 8.4).



Figuur 8.4: Verschil 2D en 3D in PLAXIS.

Het zou interessant zijn om het gebruikte model in een willekeurig ander EEM pakket in te voeren,

zolang er geen sprake is van een consolidatieberekening of men gaat uit van een geconsolideerde toestand. In PLAXIS 3D is het namelijk niet mogelijk om consolidatieberekeningen uit te voeren. In de toekomst zal het onontbeerlijk zijn om een volledig beeld te krijgen van het verloop in de tijd van de zettingen in de nabijheid van een constructie of kunstwerk, dus zal consolidatie geïmplementeerd moeten worden in PLAXIS 3D. Daarnaast is enige voorzichtigheid geboden voor wat betreft de modelafmeting. Een klein model heeft als voordeel een korte rekentijd, maar geeft verkeerde resultaten. Daarentegen, een te groot model heeft veel rekentijd nodig, vooral in combinatie met een dichte netfijnheid. De kunst is dus om een model te creëren wat aan de eisen van de gebruiker voldoet. Dit vereist dus ervaring en inzicht in het vraagstuk en in een EEM. Voor het probleem dat geanalyseerd is in PLAXIS 3D geldt de vuistregel dat de breedte van het model ongeveer 3x de hoogte van de slappe laag is.

§8.3. Extra aanbevelingen voor verder onderzoek

Naast de aanbevelingen die uit het onderzoek volgen, zijn er een aantal zaken onbesproken gebleven tijdens het onderzoek. Deze zijn:

- Is er een modelfactor te herleiden uit een 3D berekening, zodanig dat deze in een 2D berekening gebruikt kan worden voor de berekening van momenten en verplaatsingen?
- Paalgroepen. In de huidige rekenmethoden wordt een alleenstaande paal beschouwd. Indien palen dicht op elkaar staan, kunnen deze als een soort scherm fungeren. De druk op een individuele paal is (wellicht) minder dan de druk op een alleenstaande paal;
- Schoorpalen. Schoorpalen die tegen een ophoging in worden geheid, ondervinden door het zakken van de grond een belasting loodrecht op de paal-as. Onderzocht zou kunnen worden hoe groot dit effect is in dikke zandophogingen;

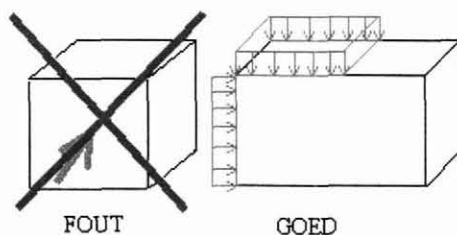
- Het tijdseffect. Bij het overgrote deel van de praktijkproeven is de paal ingebracht vóórdat de ophoging wordt aangebracht. Meestal wordt een wachttijd tussen het inbrengen van de palen en het aanbrengen van de ophoging aangehouden. Hierdoor kan de druk op de paal aanzienlijk verkleind worden. Onderzocht zou kunnen worden welke relatie aanwezig is tussen deze druk en de wachttijd;
- De effectieve buigstijfheid van de palen. Uit praktijkgevallen blijkt dat de betonpalen een behoorlijk grote verplaatsing kunnen ondergaan, zonder dat er direct problemen ontstaan (scheurvorming). Wellicht reageert de paal onder een langzaam opgelegde verplaatsing met een veel lagere buigstijfheid dan waarmee gerekend mag worden volgens de betonvoorschriften.

§8.4. Handleiding voor PLAXIS 3D

De wijze om met PLAXIS 3D te werken is als volgt:

1. Default model is 3D parallel planes en 15 node-wedge;
2. Vervolgens moeten de randvoorwaarden van en belastingen op het model gedefinieerd worden. Tevens moeten de constructieelementen aangegeven worden (bijv. palen, ankers, interfacelementen, damwanden, etc);
3. Dan moeten de materiaalgegevens ingevoerd worden en moet de mesh gegenereerd worden. De mesh genereren moet én in het x-y vlak gebeuren én in z-richting, door het aantal segmenten en planes aan te geven. Alvorens men kan overgaan naar de “calculation phase” moet eerst de grondwaterstand aangegeven worden en moeten de “initial stresses” berekend worden;
4. In de “calculation phase” moet de mate waarin en de wijze waarop de belasting aangrijpt aangegeven worden (“staged construction”) en het type berekening kan aangegeven worden (drained, undrained, etc. maar géén consolidatie);
5. Dan volgt het uitvoeren van de 3D berekening;
6. Als laatste worden de resultaten van de analyse geanalyseerd.

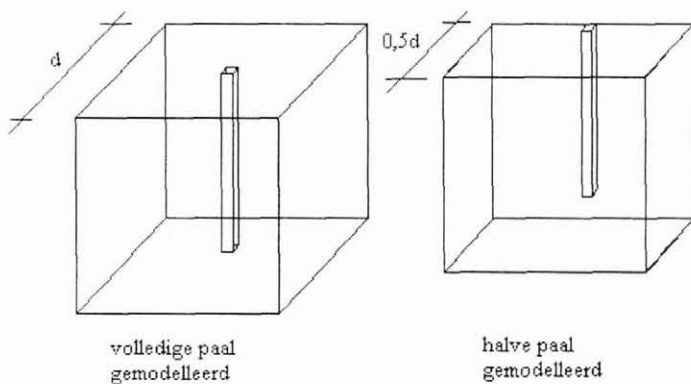
Ad 1) De belasting kan i.v.m. de richting van de zwaartekracht maar op één manier ingevoerd



worden, nl. in het vlak van tekening en niet loodrecht op het vlak van tekening;

Figuur 8.5: Modelleren in PLAXIS 3D.

- Ad 2) - Maak eerst een 3D schets van het beoogde model met de daarbij behorende modelafmetingen in x, y, en z-richting;
- Zorg dat het model niet te groot is. Dit in verband met het rekengeheugen van de computer. Een vuistregel voor de breedte van het model is 3x de hoogte van de slappe laag;
 - Vanwege symmetrieoverweging is het verstandig om een model met een “halve” paal te modelleren. Ook heeft dit de voorkeur vanuit het oogpunt van rekentijd en rekengeheugen van de computer;



Figuur 8.6: Verschil volledige paal en halve paal.

- Als een paal wordt ingevoerd, zijn er twee mogelijkheden: als balkelement of als volume-element. In beide gevallen komen de momenten en verplaatsingen nagenoeg met elkaar overeen. De voorkeur gaat uit naar het toepassen van balkelementen, vanwege de eenvoudige invoer van gegevens en daarnaast volgen de snedekrachten direct uit de resultaten;
 - Voor de paalparameters is het volgende van belang; EI , EA , ν en het eigen gewicht. Voor de EI_i en EA_i dient de werkelijke EI en EA gedeeld te worden door de paalbreedte. Dit in verband met de invoer per strekkende meter in PLAXIS 3D;
- Ad 3) - In de gebieden waar men niet in geïnteresseerd is, kiest men voor een grove mesh. In de gebieden waar men wel geïnteresseerd in is, maak daar de mesh (erg) fijn, ook wel “local refinement” genaamd. Ook dit wegens het benodigde rekengeheugen;
- In deze stap moet ook het grondmodel gekozen worden voor elke grondlaag. Het Soft Soil Creep model heeft de voorkeur, omdat verwacht wordt dat hieruit de beste beschrijving volgt van de horizontale grondverplaatsing;
- Ad 6) - Omdat de uitvoer per strekkende meter is, dienen de momenten vermenigvuldigd te worden met de paalbreedte

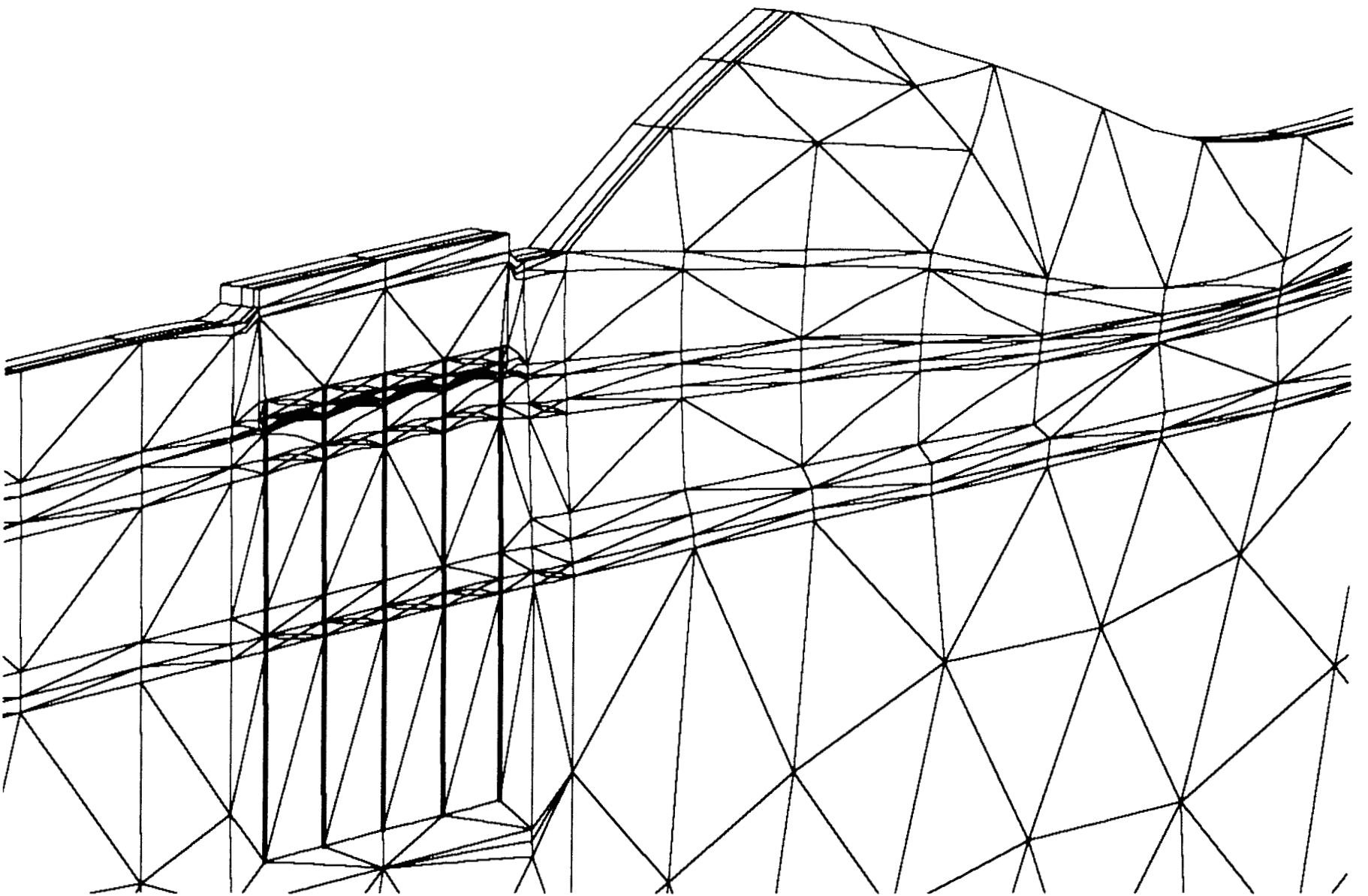
Referentielijst:

1. Evaluatie No-Recess, jan 2001
2. User's manual PLAXIS 3D, 2001
3. Rapport: "Berekeningsmethodiek door grond horizontaal belaste palen",
F.J.M. Hoefsloot, intern rapport Fugro, 2000
4. "Rekenen met PLAXIS", M. Hutteman en G. Sluimer, artikel in Geotechniek 3, juli 2000
5. User's manual PC – model MHORPILE, 1999
6. User's manual PLAXIS 2D, 1998
7. Handboek Funderingen, tenHagenStam uitgevers, 1998
8. CUR 195, 1997
9. CUR 191, 1997
10. CUR 178, 1995
11. Gebruikshandleiding PC – model MSHEET, 1995
12. NEN 6740, Geotechniek, Basiseisen en Belastingen, 1991
13. Interactieproblemen, rapportage onderzoek, H.R. Havinga, 1990
14. Interactieproblemen, H.R. Havinga, 1989
15. "3-dimensionale EEM analyse van een horizontaal belaste paal", 1989
16. "Numerical Model for Laterally Loaded Piles and Pilegroups", A.P. Kooijman, 1989
17. NEN 6724; Voorschriften beton; In de grond gevormde, niet-grondverdringende
funderingselementen van beton, ontwerpnorm 1989
18. Overzicht van enkele berekeningsmethoden voor palen, horizontaal belast door de grond,
C.M. Bauduin, 1986
19. "Door grond horizontaal belaste palen", P.D. den Hertog, 1982
20. Eindrapport C.I.A.D. – projectgroep: "Door grond horizontaal belaste palen II", 1980
21. Eindrapport C.I.A.D. - projectgroep: "Door grond horizontaal belaste palen",
2^{de} versie, 1979
22. Centre d'Etudes Ménard, the Ménard pressuremeter soil, no. 26, 1975
23. "Correlation for Design of Laterally Loaded piles in Soft Clay",
H. Matlock, artikel in Offshore Technology Conference, 1970

-
24. "Bending moments in piles due to lateral earth pressure",
L. Heyman en L. Boersma, artikel in Proc. Of the Vth ICSMFE, Paris, Volume II, 1961
 25. "Tabellen ter bepaling van horizontale spanningen en verplaatsingen in een homogene, elastische laag van een eindige dikte", E.H. de Leeuw, 1963
 26. Evaluation of coefficients of subgrade reaction,
K. Terzaghi, artikel in Geotechnique, Vol 5, No 4, 1955
 27. Beams on elastic foundations, Hetenyi, 1946
 28. "Horizontale verplaatsingen in de grond en de invloed hiervan op paalfunderingen",
J. Timmerman, theorie en bijlagen
 29. "The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces", Brinch Hansen

Afstudeeronderzoek

Door Grond Horizontaal Belaste Palen



Deel 2: BIJLAGEN

Afstudeeronderzoek

Door Grond Horizontaal Belaste Palen

Auteur: Ing. T.G.Wouters
Studentnummer: 460837

Universiteit: Technische Universiteit Eindhoven
Faculteit Bouwkunde
Capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen

Begeleidingscommissie: Prof. Dr. Ir. J.G.M. Kerstens voorzitter
Ir. H.J. Fijneman TU/e
Ir. F.J.M. Hoefsloot Fugro

Datum van publicatie: 25 februari 2002

1. Probleemoverzicht en probleemaafbakening

In het probleemgeval van door grond horizontaal belaste palen zijn de volgende factoren te onderscheiden. Deze leiden alle drie tot verschillende problemen:

- A. De geometrie (vóór aanbrengen belasting / ophoging) en de grondopbouw;
- B. De belasting;
- C. De constructie.

In het onderstaande overzicht worden voor elk van de bovenstaande factoren een aantal varianten gegeven. De varianten, welke in het afstudeeronderzoek worden beschouwd, zijn hieronder onderstreept:

Ad 1: de geometrie (vóór aanbrengen belasting / ophoging) en de grondopbouw

- 1.1. Horizontaal maaiveld of verlopend maaiveld;
- 1.2. Grondopbouw links = grondopbouw rechts of
grondopbouw links \neq grondopbouw rechts

Dit onderscheid wordt gemaakt omdat er in de huidige modellen voor de interactie tussen de paal en de grond van wordt uitgegaan dat de situatie qua grondopbouw en maaiveldhoogte (vóór aanbrengen belasting / ophoging) aan beide paalzijden identiek is.

Ad 2: de belasting

- 2.1. Ophogen of ontgraven;
- 2.2. Ophoging in één fase, ophoging in meerdere fasen of wisselend (ophogen en ontgraven);
- 2.3. Paal aanwezig – belasting aanbrengen of belasting aanwezig – paal aanbrengen.

Dit onderscheid is gemaakt om de verschillende mogelijkheden te tonen en het probleem af te bakenen.

Ad 3: de constructie

- 3.1. Paalmateriaal: voorgespannen beton, gewapend beton, staal of hout;
- 3.2. Verbinding met de paal aan de constructie: vrij, scharnierend, ingeklemd of tussenvormen van voorgaande mogelijkheden;
- 3.3. Belasting op de paalkop: verticale kracht, horizontale kracht of een moment;
- 3.4. Enkele paal of paalgroepen;
- 3.5. Verticale paal of een schoorpaal;
- 3.6. Vrijstaande paal of een afgeschermd paal.

2. Horizontaal belaste palen

Bij horizontaal belaste palen kunnen twee belastingsituaties worden onderscheiden, namelijk:

1. belasting vanuit de constructie, aangrijpend aan de paalkop;
2. door grond horizontaal belaste palen.

Belasting vanuit de constructie, aangrijpend aan de paalkop zal niet besproken worden.

In het kader van het onderzoek wordt alleen “door de grond horizontaal belaste palen” behandeld.

Bij het ontwerp worden de palen beschouwd als een horizontaal belast element, dat zijdelings elastisch wordt gesteund door de verschillende grondlagen. De paal vormt hierbij een relatief stijf element in de grond. Door de horizontale belasting ondergaat de paal een vervorming, als gevolg waarvan de horizontale steundruk van de grond wordt gemobiliseerd. De grootte van de vervormingen wordt mede bepaald door:

- het mogelijke groepsgedrag van de palen;
- de mate van inklemming van de paalkop;
- de stijfheid van de paal;
- de horizontale beddingsconstante.

3. Berekeningsaspecten

Bij het probleem van “door grond horizontaal belaste palen” spelen de volgende aspecten een belangrijke rol:

1. De berekening vindt plaats in één of twee stappen;
2. De dimensie;
3. Het toe te passen grondmodel;
4. Het interactiemodel tussen de paal en de grond;
5. Eventuele tijdseffecten;
6. Parameterkeuze.

Ad 1: De kern van het probleem is het bepalen van de druk tegen een paal, die zich in een grondmassief bevindt en die als gevolg van een bovenbelasting gaat vervormen. In de praktijk wordt de keuze gemaakt om dit probleem in twee fasen op te lossen. In de eerste fase worden de ongehinderde grondverplaatsingen t.g.v. de bovenbelasting bepaald, waarna in de tweede fase de druk op de paal met een interactiemodel wordt berekend;

- Ad 2: Het probleem is in feite 3D. In de praktijk wordt gewerkt met 2D-modellen, zowel voor de bepaling van de ongehinderde grondverplaatsing als voor de interactie tussen de grond en de paal. Het 3D karakter wordt verwerkt door het bepalen van de gronddrukcoëfficiënten volgens Brinch Hansen of door het invoeren van een schelpfactor;
- Ad 3: Er moet een keuze gemaakt worden voor het aan te houden spanning - rek gedrag en voor de bezwijkcriteria van de grond om de ongehinderde grondverplaatsingen te berekenen. In principe zijn er zowel lineair-elastische als elasto-plastische grondmodellen beschikbaar;
- Ad 4: De interactie tussen de paal en de grond kan worden gemodelleerd met o.a. het grondlijn-paallijn interactiediagram van Begemann-De Leeuw (elastisch);
- Ad 5: De tijdsfactor speelt een rol omdat het gedrag van de grond (en met name van de slappe lagen) onder invloed van de bovenbelasting gekenmerkt wordt door kruip en consolidatie. Hierdoor nemen de grondverplaatsingen in de loop van de tijd toe. Een andere factor die in de tijd verandert, is de buigstijfheid van de betonnen paal. Deze neemt af a.g.v. de kruip van het beton. In de praktijk wordt meestal uitgegaan van de eindverplaatsingen van de grond en de eindwaarde voor de buigstijfheid van de paal;
- Ad 6: Afhankelijk van de gekozen berekeningsmethode moet een waarde bepaald worden voor de in de berekening te hanteren parameters. Te noemen zijn de grondparameters (elastische grootheden, gronddrukcoëfficiënten, beddingsconstanten, volumegewichten, schelpfactoren etc.) en de paalparameters (buigstijfheid). Van belang voor de nauwkeurigheid waarmee een waarde bepaald moet worden, is de invloed van deze parameter op het uiteindelijke resultaat.

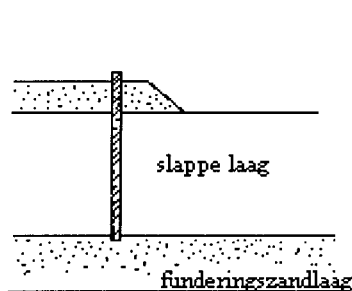
BIJLAGEN HOOFDSTUK 3

BIJLAGE 3A	Samenvatting Begemann – De Leeuw
BIJLAGE 3B	Overzicht verplaatsingen IJsseldijk met PLAXIS 2D
BIJLAGE 3C	Methode Loof
BIJLAGE 3D	Interface-elementen
BIJLAGE 3E	Invloed van dwarscontractiecoëfficiënt
BIJLAGE 3F	Kenmerken grondmodellen Soft Soil en Mohr-Coulomb
BIJLAGE 3G	Overzicht Soft Soil - Mohr-Coulomb - IJsseldijk
BIJLAGE 3H	Belasting verhoogd, vergelijking Soft Soil en IJsseldijk

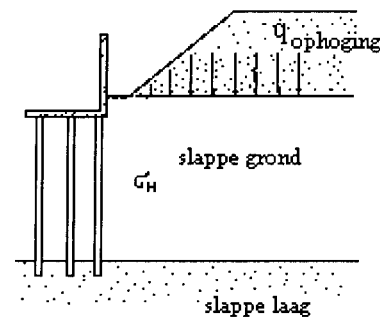
1. Methode L.G.M. (Begemann-De Leeuw, elastisch)

Deze methode gaat uit van een homogeen (ongelaagd) oneindige halfruimte, waarbij de ophoging bestaat uit een bovenbelasting zonder eigen massa en stijfheid. Bij deze rekenmethode, ook bekend onder de naam “IJsseldijk–Loof”, wordt op eenvoudige wijze rekening gehouden met het interactieproces tussen de paal en de grond onder invloed van horizontale gronddrukken. Als eerste wordt het gedrag van de grond beschouwd, vervolgens het gedrag van de paal.

Het spannings- en vervormingsgedrag van grond wordt benaderd volgens de lineaire elasticiteitstheorie. Het C.I.A.D. heeft, na onderzoek, tabellen ontwikkeld, waaruit de horizontale verplaatsingen en drukken van de grond voor diverse belastinggevallen kunnen worden bepaald. Deze tabellen zijn weergegeven in het Eindrapport van de Projectgroep ‘Door grond horizontaal belaste palen’, daterend uit 1980. Bij de betreffende berekeningen is een aantal vereenvoudigingen gehanteerd, zoals (zie figuur 1 en figuur 2):



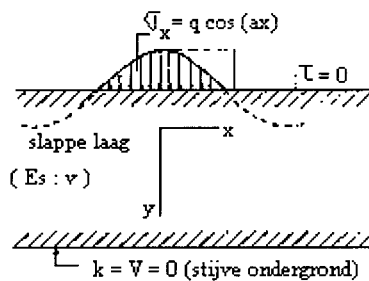
Figuur 1: Funderingspaal met een asymmetrische grondbelasting.



Figuur 2: Uitgangspunten voor L.G.M. berekening.

- er is sprake van een slap, homogeen, elastisch pakket die rust op een starre, ruwe ondergrond;
- in geval van methode Loof is boven de slappe elastische laag een oneindig buigslappe en oneindig rekstijve laag aanwezig;
- het elastische materiaal is volumebestendig, d.w.z. de dwarscontractiecoëfficiënt bedraagt 0,5. (Omdat bij het belasten van de grond op tijdstip $t = 0$ kan worden aangenomen dat in de slappe en weinig doorlatende grond geen volumedeformaties optreden, wordt de dwarscontractiecoëfficiënt $\nu = 0,5$ gesteld);
- er heerst een vlakke vervormingstoestand in de richting loodrecht op de beschouwde doorsnede;
- de laag beneden het elastische pakket (veelal een zandlaag) wordt beschouwd als onvervormbaar;

- de paalpunt is gefundeerd in een laag met hoge conusweerstand en biedt dus weerstand en is ofwel scharnierend opgelegd, ofwel gedeeltelijk of geheel ingeklemd;
- boven die laag bevindt zich een weinig draagkrachtige, samendrukbare laag, die op een of andere manier asymmetrisch wordt belast en daardoor horizontale verplaatsingen ondergaat;
- de paalkop gedraagt zich, afhankelijk van de situatie, als vastgehouden / geheel of gedeeltelijk ingeklemd / vrij bewegend;
- De drukspanningen in de grond zijn positief;
- Verplaatsingen u en v zijn positief met de asrichtingen.



Figuur 3: Algemeen belastinggeval voor berekening van spanningen en vervormingen.

- Bij de berekeningsmethode wordt het probleem in twee delen gesplitst:

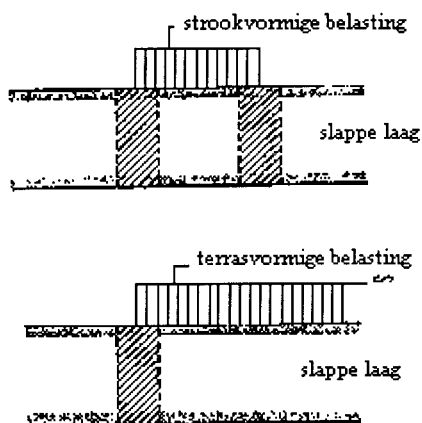
1. Het gedrag van de grond.

Het gedrag van de grond wordt beschouwd door de horizontale spanningen en verplaatsingen in de slappe laag ter plaatse van de paal te berekenen, ervan uitgaande dat deze laag zich *elastisch* gedraagt. Voorts kan het geval worden berekend, waarbij op het maaiveld een rekstijve bovenlaag aanwezig is, waardoor de verplaatsingen aan het maaiveld worden beperkt;

2. Het gedrag van de paal.

Het gedrag van de paal wordt bepaald door schematisering van de randvoorwaarden (ligging steunpunten en aard van de oplegging / inklemming) en m.b.v. de gegeven stijfheid (EI) van de paal (als gevolg van deze stijfheid, zal de paal zich trachten te verzetten tegen de grondverplaatsing). Vervolgens wordt, via een vereenvoudigde redenering, de interactie tussen de grond en paal bepaald, waarna de horizontale belastingen op de paal berekend kunnen worden en tenslotte de buigende momenten kunnen worden bepaald.

Ad 1. M.b.v. dit algemene geval worden de spanningen en verplaatsingen ter plaatse van de paalfundering berekend voor de werkelijke belastingvorm. Over het algemeen gaat het hierbij om een strookvormige belasting (bijv. wegophoging) of een terrasvormige belasting (bijv. uitgestrekte terreinophoging). Voor het geval van horizontale paaldrücken zijn hierbij vanzelfsprekend de gebieden onder of dichtbij de rand van deze belastingen maatgevend (zie figuur 4).



Figuur 4: Stroomvormige en terrasvormige belasting.

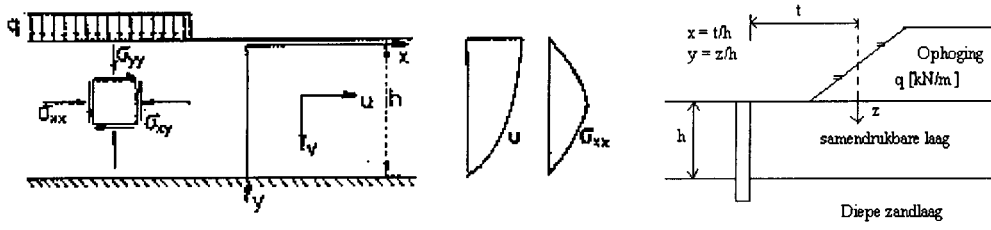
In de tabellen van het C.I.A.D.-rapport kan een aantal randvoorwaarden en parameters als variabele worden ingevoerd, zoals:

- de dikte van de elastische laag;
- de elasticiteitsmodulus van het materiaal;
- de grootte van de éénzijdige bovenbelasting;
- de afstand van de bovenbelasting tot de beschouwde paal;
- bovenbelasting strook- of terrasvormig; bij strookvormige bovenbelasting tevens de breedte van de strook (zie figuur 4);
- het al of niet aanwezig zijn van een oneindig rekstijve (zand)laag boven het elastische pakket.

De bovenkant van de slappe laag kan gekenmerkt zijn door:

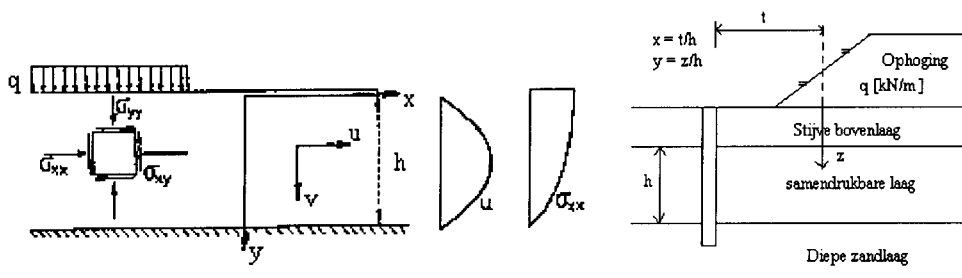
- I. *Vrije verplaatsing*: rekslappe toplaag (geval **IJsseldijk**). De slappe laag rust op een ruwe, starre ondergrond en de verplaatsingen aan de bovenzijde worden niet belemmerd, bijv. door de aanwezigheid van een afdekkend zand- of stijve kleilaag (zie figuur 5).

Anders gezegd: de paal wordt verondersteld onderin vrij opgelegd of (verend) ingeklemd te zijn. Bovenaan wordt de paalkop niet vastgehouden;



Figuur 5a en 5b: Vrije verplaatsing.

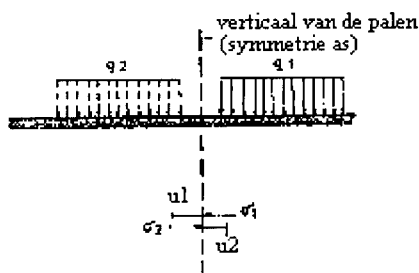
- II. *Geen horizontale verplaatsing*: rekstijve toplaag (geval **Loof**). De slappe laag rust op een ruwe, starre ondergrond en de horizontale verplaatsingen aan de bovenzijde worden volledig belemmerd door een buigslappe, doch oneindig rekstijve, perfect aan de slappe hechtende toplaag (zie figuur 6). Anders gezegd: de paal wordt verondersteld zowel onderin als bovenin vrij opgelegd of (verend) ingeklemd te zijn, doordat de paalkop zich in een draagkrachtige (rekstijve) laag bevindt.



Figuur 6a en 6b: Geen horizontale verplaatsing.

Ad 2. De invloed van de aanwezige paalfundering op de onder 1. berekende horizontale verplaatsingen van de grond wordt bij benadering vastgesteld. Hieraan ligt de volgende redenering ten grondslag: bij een geringe stijfheid van de paal zullen de grondverplaatsingen niet of nauwelijks worden beïnvloed. De resulterende horizontale gronddruk op de paal is dan praktisch gesproken nihil.

Is de paal daarentegen oneindig stijf, dan wordt ter plaatse van de paal de verplaatsing van de grond volledig verhinderd. Het is dan vrij eenvoudig in te zien dat dan de resulterende gronddruk op de paal een dubbele waarde krijgt van de onder 1. berekende gronddrukken.



Figuur 7: Symmetriebeschouwing bepaling resulterende horizontale druk op verticaal van palen, indien verplaatsing wordt verhinderd.

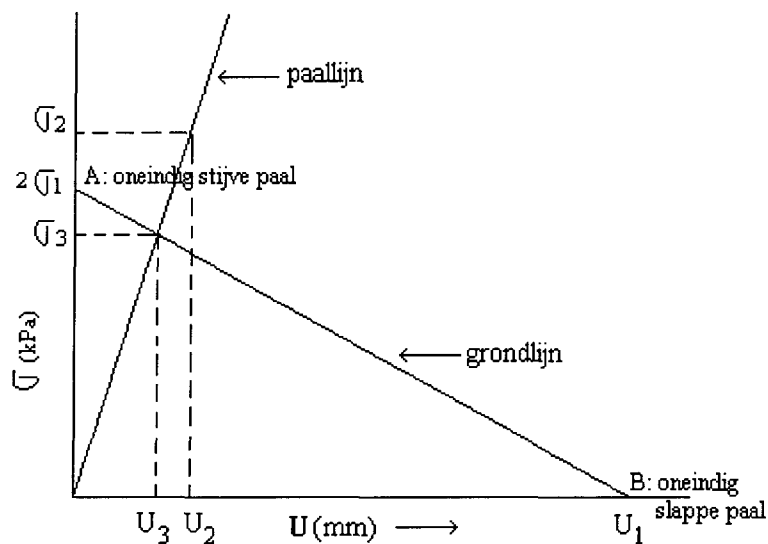
Voor het te onderzoeken belastinggeval kan m.b.v. de genoemde tabellen (in het C.I.A.D. rapport) de maximale horizontale gronddruk van de grond σ_1 worden bepaald, alsmede de maximale horizontale vervorming u_1 . In figuur 7 wordt de bepaling van de resulterende horizontale druk op de verticaal van de palen verklaard. Als q_1 de strookbelasting is waar het om gaat, dan zal ter plaatse van de verticaal waarin zich de paal zou bevinden, een verplaatsing u_1 optreden en een horizontale drukspanning σ_1 . Wordt nu symmetrisch t.o.v. deze verticaal eenzelfde strookbelasting q_2 aangebracht, dan zal deze vanzelfsprekend ter plaatse van de betreffende verticaal een verplaatsing u_2 geven, die gelijk is en tegengesteld is gericht aan u_1 en een drukspanning σ_2 , die gelijk moet zijn aan σ_1 . Hierdoor loopt de toename van de horizontale spanningen op tot een waarde $2\sigma_1$ (dus boven de oorspronkelijke korrelspanningen). Gezien de symmetrische belasting t.o.v. de stippellijn, is de horizontale verplaatsing “nul”. Is de paal oneindig stijf ($EI = \infty$), dan wordt tevens ter plaatse van de paal de verplaatsing van de grond volledig verhinderd. Dit is klaarblijkelijk de toestand die overeenkomt met een horizontale belasting t.g.v. van q_1 en q_2 . Dan geldt: $\sigma_{res} = 2 \cdot \sigma_1$ (punt A in figuur 8). Er is dan geen verplaatsing van de paal.

Wanneer de paal slap is ($EI = 0$) zullen de grondverplaatsingen praktisch niet beïnvloed worden. De resulterende gronddruk op de paal is dan praktisch nul. Dit geeft punt B in figuur 8.

Bij een paal met een eindige stijfheid kan het grondgedrag worden gekarakteriseerd door de in figuur 8 gegeven lijn, de “grondlijn” (lijn AB).

Werkwijze:

1. teken een doorsnede van het betreffende geval op schaal, met de daarbij behorende grondgesteldheid;
2. bepaal de grootheden of grondparameters, E en ν ;
3. stel het belastingsgeval vast;
4. bepaal m.b.v. de methode Loof of IJsseldijk de horizontale spanningen σ_{xx} en de verplaatsingen u .



Figuur 8: Grondlijn – paallijn.

Teneinde het gedrag van de paal te onderzoeken, wordt de doorbuiging berekend onder een willekeurige belasting, volgens formule:

$$u = \alpha \cdot \frac{q_p \cdot l^4}{EI}$$

waarin:	u	=	maximale doorbuiging van de paal	[m]
	q_p	=	belasting per m^1 paallengte	[kN/ m^1]
	l	=	effectieve paallengte (afstand tussen oplegpunten)	[m]
	EI	=	buigstijfheid van de paal	[kNm ²]
	α	=	factor, afh. van opleggingsvoorwaarden en inklemmingen van de paal (1/384 à 5/384)	[-]

Vervolgens moet de (willekeurige) belasting q_p worden omgerekend naar een belasting per oppervlakte-eenheid, die in de grond op de paal kan aangrijpen, volgens formule:

$$q_p = \sigma_2 \cdot s \cdot D$$

waarin:	σ_2	=	belasting per oppervlakte-eenheid	[kN/m ²]
	q_p	=	belasting per m ¹ paallengte	[kN/m ¹]
	D	=	diameter c.q. dwarsafmeting van de paal	[m]
	s	=	factor waarmee de schelpwerking in rekening wordt gebracht, (de grondstrook die druk uitoefent op de paal is breder dan de paaldiameter) meestal 1,5 à 2,5	[-]

Opmerking:

- De maximale uitbuiging van de paal kan worden uitgezet tegen de horizontale belasting, als deze gelijkmatig verdeeld over de paalhoogte wordt aangenomen;

Grondsoort	Conusweerstand [MN/m ²]	Schelpfactor [-]
Veen, slap	0,1 – 0,2	1,2 – 1,5
Veen, klei	0,2 – 0,5	1,3 – 1,6
Klei, uitgedroogd	0,5 – 1,5	1,4 – 1,8
Silt (leem)	0,5 – 1,5	1,5 – 1,8
Zand, matig vast	1,5 – 4,0	1,7 – 2,0
Zand, vast	4,0 – 10,0	1,8 – 2,3
Zand, zeer vast	meer dan 10,0	2,0 – 2,7

Tabel 1: Indicatie schelpfactoren.

Op basis van de berekende waarde van σ_2 en de daarbij behorende u_2 kan het paalgedrag in figuur 8, de zogenaamde “paallijn” getekend worden.

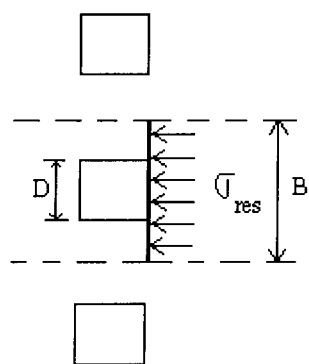
De plaats waar de grondlijn en de paallijn elkaar snijden geeft aan wat de optredende horizontale spanning en vervorming is, resp. σ_3 en u_3 . De optredende resulterende spanning σ_3 is dan de resulterende gronddruk op het punt van de paal dat in het midden van de slappe laag is gelegen. Aan de hand hiervan wordt het maximale buigende moment in de paal vastgesteld:

$$M = \beta \cdot s \cdot D \cdot \sigma_3 \cdot l^2$$

waarin:	M	=	representatieve waarde van het maximale moment in de paal t.g.v. de horizontale grondbelasting	[kNm]
	β	=	factor, afh. van de opleggingsvoorwaarden en inklemmingen (1/8 à 1/12)	[-]
	s	=	schelpfactor	[-]
	D	=	diameter / dwarsafmeting van de paal	[m]
	σ_3	=	horizontale gronddruk volgens figuur 8	[kN/m ²]
	l	=	effectieve paallengte	[m]

Er dient ook overwogen te worden of de paal inderdaad als aan weerszijden ingeklemd mag worden gerekend. Indien dit niet zo is, wordt de paal in feite slapper en worden de resulterende gronddrukken kleiner. Het paalmoment zal dan t.g.v. het gedeeltelijk wegvallen van de ontlastende momenten bij de inklemming toch groter kunnen zijn dan bij volledige inklemming.

Deze berekeningsmethode gaat uit van een *elastisch gedrag* van de grond en de paal. Bovendien is bij de berekening een vlakke spanningstoestand verondersteld, die in feite alleen aanwezig is indien de horizontale gronddruk moet worden berekend voor een rij tegen elkaar aan geplaatste palen. Staan de palen op een geringe afstand van elkaar, dan kan het berekeningsresultaat worden gebruikt waarbij er dan wel mee moet worden gerekend dat de horizontale gronddrukken over een strookbreedte B gelijk aan de hartafstand van de palen zich op de palen concentreren (zie figuur 9). De paal heeft dus schijnbaar een breedte van B , maar behoudt dezelfde EI .



Figuur 9: Invloed van de paalafstand.

In het algemeen kan worden aangenomen dat als $B \leq 3D$, waarin D de dwarsafmeting van de paal is, nog volledige schermwerking optreedt.

Indien de grond zich in een bepaald geval inderdaad min of meer elastisch gedraagt t.g.v. de belasting door een éézijdige ophoging, dan zou dit betekenen dat er zich geen horizontale drukken op een paal of

palenrij zullen kunnen ontwikkelen, indien de paal in de grond wordt geplaatst nadat de ophoging is aangebracht. Dit geldt ook in het geval dat de grond zich niet direct aan de aangebrachte uitwendige belastingverhoging aanpast. Het komt er in feite op neer dat de horizontale verplaatsing van de grond direct naast en onder het talud van een ophoging, waarvan de veiligheid tegen bezwijken groot is, praktisch direct na het aanbrengen van de ophoging niet verder toeneemt.

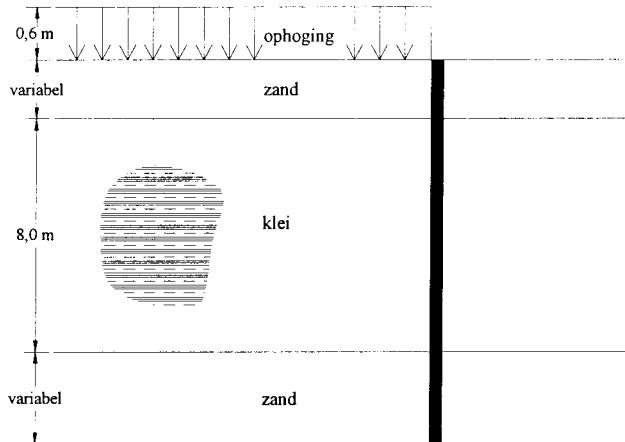
De grootte – orde van de veiligheidscoëfficiënt waarbij dit het geval is, is aan de hand van een aantal praktijkproeven vastgesteld. Daaruit blijkt dat de ‘elastische’ beschouwing mag worden toegepast, indien de veiligheidscoëfficiënt tegen bezwijken van de ophoging groter is dan 1,6.

Bij lagere veiligheidscoëfficiënten bestaat de kans dat de grond om de paal plastisch deformeert. Bij de analyse van het probleem van de horizontale gronddrukken op palen zal hiermee vanzelfsprekend rekening moeten worden gehouden.

2. Uitgangspunten:

Stap	Begemann – de Leeuw
1. Berekening ongehinderde grondverplaatsing:	
• methode	Tabellen van de Leeuw
• bovenbelasting	strook / terras
• laagopbouw: toplaag	rekstijf / n.v.t.
tussenlaag	elastisch
ondergrond	star
• grondparameters	E en $\nu = 0,5$
• elastisch / plastisch	elastisch
2. Berekening horizontale druk op de paal:	
• methode	grondlijn – paallijn diagram
• grondgegevens	σ_g en u_g uit fase 1
• paalgegevens	EI (constant)
• derde dimensie	schelpfactor
3. Berekening maximaal moment in de paal:	
• methode	tabel met $M = \alpha q l^2$
• belasting	σ_p uit grondlijn – paallijn diagram als gemiddelde belasting in rekening brengen
• randvoorwaarden	voor diverse opleggingscondities zijn waarden voor α geschat

3. Invoer grondgegevens (behorende bij de spreadsheet van Fugro):



Figuur 10: Invoer grondprofiel.

Basis geval				Werkelijk			
E-modulus slappe laag	E_0	1,0	[MPa]	E_1	1,4	[MPa]	$a =$ 1,4
Dikte van de slappe laag	h_0	10,0	[m]	h_1	8,0	[m]	$b =$ 0,8
	q_0	10,0	[kPa]	q_1	10,0	[kPa]	$c =$ 1,0
			Berekende zetting	0,1	m		
	Correctiefactor	0,6	$[b^*c/a]$	Ophoging	Dikte	Eenheid	
				Zand droog	0,6	[m]	
				Zand verz.	0,0	[m]	
				Oph. Tot.	0,6	[m]	

E_0	=	Standaard waarde	MPa		
h_0	=	Standaard waarde	m		
q_0	=	Standaard waarde	kPa		
E_1	=	E van de slappe laag	1,4 MPa	(E_{sl})	<i>z.i.</i> ¹
h_1	=	hoogte slappe laag	8,0 m	(h_{sl})	<i>z.i.</i>
q_1	=	grootte van de bovenbelasting	10,0 kPa	(q_{oph})	<i>z.i.</i>
a	=	E_1 / E_0	1,4 / 1,0	=	1,4
b	=	h_1 / h_0	8,0 / 10,0	=	0,8
c	=	q_1 / q_0	10 / 10	=	1,0
Zand droog	=	hoogte 10 / 17 =	0,5882 m.	≈	0,6 m <i>z.i.</i>
Zand verz.	=	hoogte 0			<i>z.i.</i>

¹ z.i. = zelf in te voeren

Berekende zetting in formulevorm:

$$u = \frac{q_{\text{oph}} \cdot h_{\text{sl}}}{E_{\text{sl}} \cdot 1000} \text{ afgeleid uit de Wet van Hooke:}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ en } u = h \cdot \varepsilon, \text{ hieruit volgt: } \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ en dus } u = \frac{h \cdot \sigma}{E}$$

q_{oph} [kPa]

h_{sl} [m]

E_{sl} [MPa] wordt omgerekend naar kPa, dus 1000 kPa

Eenheden controle: [m] = [kPa] · [m] / ([kPa] · 1000) ofwel [m]

Correctiefactor in formulevorm: $b \cdot c / a \Rightarrow 0,8 \cdot 1 / 1,4 = 0,57 \approx 0,6$.

Resultaten methode Loof:

8	Standaard Geval 1		Drukstijve bovenlaag (volgens Loof)								
9		0,0	$h_1/4$	$h_1/2$	$3h_1/4$	h_1	$5h_1/4$	$3h_1/2$	$2h_1$	$3h_1$	$3 \cdot 1/2 h_1$
0	Afstand paalas tot ophoging [m]	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	28,0
1	$u_{0;\text{max}}$ [cm]	2,4	2,1	1,6	1,1	0,7	0,4	0,2	0,0	0,0	0
2	$\sigma_{1;\text{xx}}$ [kPa]	5,0	4,3	3,2	2,1	1,3	0,7	0,4	0,1	0,0	0
3	werkelijk optredend:										
4	$u_{1;\text{pmax}}$ [cm]	1,4	1,2	0,9	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
5	$\sigma_{1;\text{xx}}$ [kPa]	5,0	4,3	3,2	2,1	1,3	0,7	0,4	0,1	0,0	0,0
6	$2 \cdot \sigma_{1;\text{xx}}$ [kPa]	10,0	8,6	6,4	4,2	2,6	1,4	0,8	0,2	0,0	0,0

Standaard Geval 1:

$u_{0;\text{max}}$ komt uit tabel Loof, *verplaatsingen*:

$$E \cdot u / h \cdot q = \text{"m"}$$

Afstand tot paalas	y	waarde "m" (tabel)	$u_{0;\text{max}}$ (spreadsheet)
0 (x = 0,00)	0,40	0,243	2,4
$h_1/4$ (x = 0,25)	0,40	0,213	2,1
$h_1/2$ (x = 0,50)	0,60	0,158	1,6
$3h_1/4$ (x = 0,75)	0,60	0,106	1,1
h_1 (x = 1,00)	0,40	0,063	0,7
$5h_1/4$ (x = 1,25)	0,40	0,036	0,4
$3h_1/2$ (x = 1,50)	0,40	0,019	0,2
$2h_1$ (x = 2,00)	0,40	0,004	0,0

$\sigma_{0,max}$ komt uit tabel Loof, *spanningen*:

$$(1 / q) \cdot \sigma_{xx} = "n"$$

Afstand tot paalas	y	waarde "n" (tabel)	$\sigma_{0,max}$ (spreadsheet)
0 (x = 0,00)	-	0,500	5,0
$h_1/4$ (x = -0,25)	0,40	0,433	4,3
$h_1/2$ (x = -0,50)	0,60	0,320	3,2
$3h_1/4$ (x = -0,75)	0,60	0,212	2,1
h_1 (x = -1,00)	0,60	0,127	1,3
$5h_1/4$ (x = -1,25)	0,60	0,070	0,7
$3h_1/2$ (x = -1,50)	0,40	0,037	0,4
$2h_1$ (x = -2,00)	0,40	0,007	0,1

werkelijk optredend:

$u_{1,max}$ Alle waarden vermenigvuldigen met correctiefactor.

$\sigma_{1,xx}$ is gelijk aan $\sigma_{0,xx}$

Resultaten methode IJsseldijk:

8	Standaard Geval 2	Geen drukstijve bovenlaag (volgens IJsseldijk)										
9		0,0	$h_1/4$	$h_1/2$	$3h_1/4$	h_1	$5h_1/4$	$3h_1/2$	$2h_1$	$3h_1$	$3 \cdot 1/2 h_1$	
0	Afstand paalas tot ophoging [m]	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	28,0	
1	$u_{0,max}$ [cm]	4,7	4,2	3,6	3,3	2,8	2,4	2,0	1,4	0,7	0,5	
2	$\sigma_{0,xx}$ [kPa]	5,0	4,7	3,8	3,0	2,4	2,2	2,0	1,4	0,7	0,4	
3	werkelijk optredend:											
4	$u_{1,max}$ [cm]	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,4	1,1	0,8	0,4	0,3	
5	$\sigma_{1,xx}$ [kPa]	5,0	4,7	3,8	3,0	2,4	2,2	2,0	1,4	0,7	0,4	
6	$2 \cdot \sigma_{1,xx}$ [kPa]	10,0	9,4	7,6	6,0	4,8	4,4	4,0	2,8	1,4	0,8	

Standaard Geval 2:

$u_{0,max}$ komt uit tabel IJsseldijk, *verplaatsingen*:

$$E \cdot u / h \cdot q = "m"$$

Afstand tot paalas	y	waarde "m" (tabel)	$u_{0,max}$ (spreadsheet)
0 (x = 0,00)	0,20	0,475	4,7
$h_1/4$ (x = 0,25)	0,20	0,425	4,2
$h_1/2$ (x = 0,50)	0,00	0,364	3,6
$3h_1/4$ (x = 0,75)	0,00	0,327	3,3
h_1 (x = 1,00)	0,00	0,284	2,8
$3h_1/2$ (x = 1,50)	0,00	0,203	2,0
$2h_1$ (x = 2,00)	0,00	0,140	1,4

$\sigma_{0,max}$ komt uit tabel IJsseldijk, *spanningen*:

$$(1 / q) \cdot \sigma_{xx} = "n"$$

Afstand tot paalas	y	waarde "n" (tabel)	$\sigma_{0,max}$ (spreadsheet)
0 (x = -0,00)	-	0,500	5,0
$h_1/4$ (x = -0,25)	0,40	0,472	4,7
$h_1/2$ (x = -0,50)	0,40	0,380	3,8
$3h_1/4$ (x = -0,75)	0,40	0,297	3,0
h_1 (x = -1,00)	0,40	0,235	2,4
$3h_1/2$ (x = -1,50)	0,00	0,196	2,0
$2h_1$ (x = -2,00)	0,00	0,141	1,4

werkelijk optredend:

$u_{1,max}$ Alle waarden vermenigvuldigen met correctiefactor.

$\sigma_{1,xx}$ is gelijk aan $\sigma_{0,xx}$

Horizontale grondverplaatsing zonder rekstijve bovenlaag.

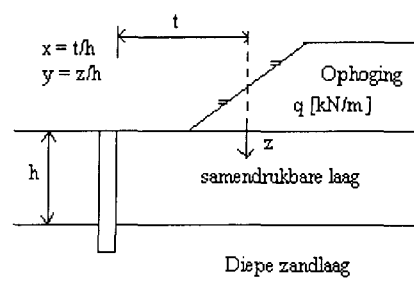
Methode IJSSELDIJK

Verplaatsingen

$$\frac{E}{h \cdot q} \cdot u$$

terrasbelasting

x \ y	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
-8,00	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,000
-6,00	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004	-0,002	0,000
-5,00	-0,015	-0,014	-0,011	-0,006	-0,004	0,000
-4,50	-0,022	-0,020	-0,016	-0,012	-0,006	0,000
-4,00	-0,032	-0,028	-0,024	-0,017	-0,009	0,000
-3,50	-0,046	-0,041	-0,034	-0,025	-0,013	0,000
-3,00	-0,066	-0,060	-0,049	-0,035	-0,019	0,000
-2,50	-0,096	-0,086	-0,071	-0,051	-0,027	0,000
-2,00	-0,140	-0,125	-0,103	-0,074	-0,039	0,000
-1,50	-0,203	-0,181	-0,150	-0,109	-0,058	0,000
-1,00	-0,284	-0,259	-0,224	-0,170	-0,095	0,000
-0,75	-0,327	-0,307	-0,275	-0,216	-0,124	0,000
-0,50	-0,364	-0,361	-0,336	-0,270	-0,159	0,000
-0,25	-0,390	-0,425	-0,400	-0,321	-0,191	0,000
0,00	-0,400	-0,475	-0,434	-0,344	-0,205	0,000
0,25	-0,390	-0,425	-0,400	-0,321	-0,191	0,000
0,50	-0,364	-0,361	-0,336	-0,270	-0,159	0,000
0,75	-0,327	-0,307	-0,275	-0,216	-0,124	0,000
1,00	-0,284	-0,259	-0,224	-0,170	-0,095	0,000
1,50	-0,203	-0,181	-0,150	-0,109	-0,058	0,000
2,00	-0,140	-0,125	-0,103	-0,074	-0,039	0,000
2,50	-0,096	-0,086	-0,071	-0,051	-0,027	0,000
3,00	-0,066	-0,060	-0,049	-0,035	-0,019	0,000
3,50	-0,046	-0,041	-0,034	-0,025	-0,013	0,000
4,00	-0,032	-0,028	-0,024	-0,017	-0,009	0,000
4,50	-0,022	-0,020	-0,016	-0,012	-0,006	0,000
5,00	-0,015	-0,014	-0,011	-0,006	-0,004	0,000
6,00	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004	-0,002	0,000
8,00	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,000



Horizontale grondverplaatsing *zonder* rekstijve bovenlaag.

Methode IJSSELDIJK

Spanningen

x \ y	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
-8,00	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000
-6,00	0,007	0,007	0,006	0,004	0,003	0,001
-5,00	0,015	0,014	0,012	0,009	0,007	0,004
-4,50	0,022	0,020	0,017	0,013	0,009	0,004
-4,00	0,031	0,028	0,024	0,019	0,013	0,006
-3,50	0,045	0,041	0,035	0,028	0,020	0,011
-3,00	0,065	0,060	0,051	0,041	0,028	0,015
-2,50	0,096	0,087	0,074	0,058	0,040	0,020
-2,00	0,141	0,125	0,106	0,083	0,056	0,027
-1,50	0,196	0,176	0,155	0,126	0,085	0,034
-1,00	0,231	0,234	0,235	0,212	0,152	0,050
-0,75	0,219	0,266	0,297	0,283	0,216	0,084
-0,50	0,175	0,314	0,380	0,371	0,304	0,162
-0,25	0,098	0,417	0,472	0,454	0,404	0,304
-0,01	0,004	0,502	0,500	0,499	0,496	0,492
0,00		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
0,01	0,996	0,498	0,500	0,501	0,504	0,508
0,25	0,902	0,583	0,528	0,546	0,596	0,696
0,50	0,825	0,686	0,620	0,629	0,696	0,838
0,75	0,781	0,734	0,703	0,717	0,784	0,916
1,00	0,769	0,766	0,765	0,788	0,848	0,950
1,50	0,804	0,824	0,845	0,874	0,915	0,966
2,00	0,859	0,875	0,894	0,917	0,944	0,973
2,50	0,904	0,913	0,926	0,942	0,960	0,980
3,00	0,935	0,940	0,949	0,959	0,972	0,985
3,50	0,955	0,959	0,965	0,972	0,980	0,989
4,00	0,969	0,972	0,976	0,981	0,987	0,994
4,50	0,978	0,980	0,983	0,987	0,991	0,996
5,00	0,985	0,986	0,988	0,991	0,993	0,996
6,00	0,933	0,993	0,994	0,996	0,997	0,999
8,00	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	1,000

Horizontale grondverplaatsing met rekstijve bovenlaag.

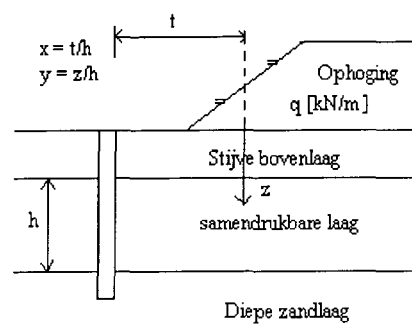
Methode LOOF

Verplaatsingen

$$\frac{E}{h \cdot q} \cdot u$$

terrasbelasting

$x \backslash y$	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
-4,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-3,00	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
-2,00	0,000	-0,002	-0,004	-0,003	-0,002	0,000
-1,50	0,000	-0,012	-0,019	-0,019	-0,012	0,000
-1,25	0,000	-0,022	-0,036	-0,022	-0,021	0,000
-1,00	0,000	-0,038	-0,063	-0,056	-0,044	0,000
-0,75	0,000	-0,002	-0,101	-0,106	-0,072	0,000
-0,50	0,000	-0,096	-0,154	-0,158	-0,107	0,000
-0,25	0,000	-0,147	-0,213	-0,200	-0,140	0,000
0,00	0,000	-0,192	-0,243	-0,230	-0,153	0,000
0,25	0,000	-0,147	-0,213	-0,200	-0,140	0,000
0,50	0,000	-0,096	-0,154	-0,158	-0,107	0,000
0,75	0,000	-0,002	-0,101	-0,106	-0,072	0,000
1,00	0,000	-0,038	-0,063	-0,056	-0,044	0,000
1,25	0,000	-0,022	-0,036	-0,022	-0,021	0,000
1,50	0,000	-0,012	-0,019	-0,019	-0,012	0,000
2,00	0,000	-0,002	-0,004	-0,003	-0,002	0,000
3,00	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
4,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



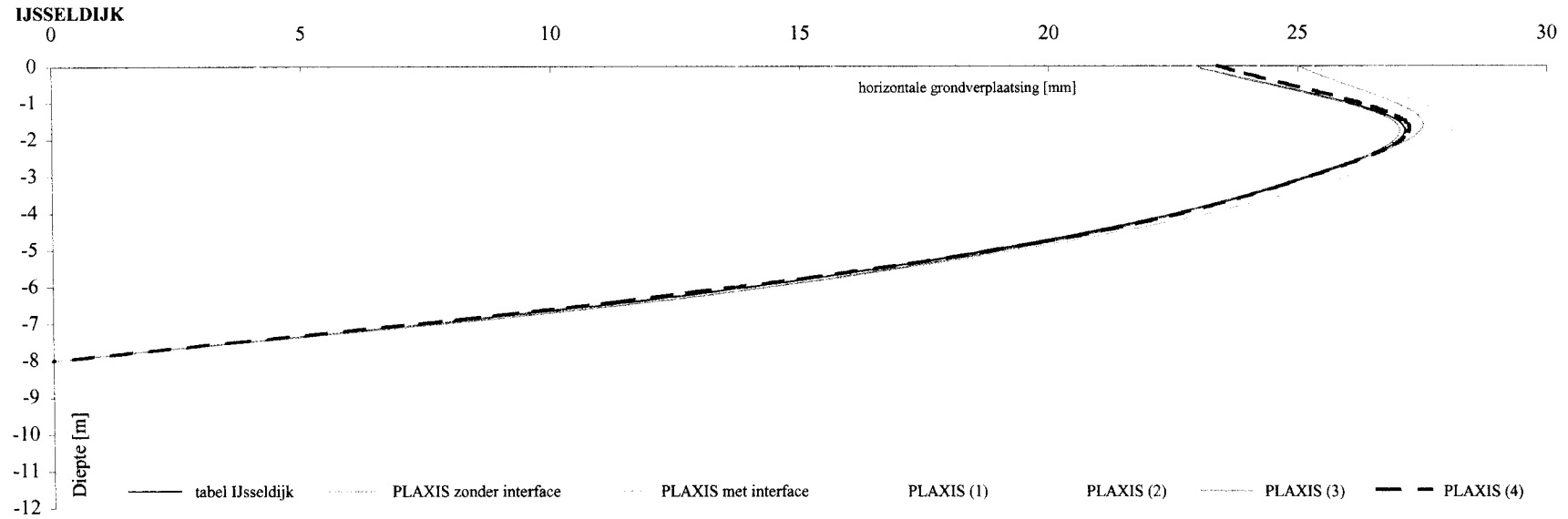
Horizontale grondverplaatsing met rekstijve bovenlaag.

Methode LOOF

Spanningen

x \ y	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
-4,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-3,00	0,000	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001
-2,00	0,000	-0,005	0,007	0,005	-0,002	-0,012
-1,50	0,000	-0,023	0,037	0,035	0,015	-0,022
-1,25	0,000	-0,042	0,069	0,070	0,039	-0,023
-1,00	0,000	-0,072	0,120	0,127	0,085	-0,011
-0,75	0,000	-0,121	0,198	0,212	0,159	0,029
-0,50	0,000	-0,203	0,307	0,320	0,262	0,120
-0,25	0,000	-0,356	0,433	0,426	0,382	0,281
-0,01	0,000	0,499	0,499	0,498	0,495	0,491
0,00		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
0,01	1,000	0,501	0,501	0,502	0,505	0,509
0,25	1,000	0,644	0,567	0,574	0,618	0,719
0,50	1,000	0,797	0,693	0,680	0,738	0,880
0,75	1,000	0,879	0,802	0,788	0,841	0,971
1,00	1,000	0,928	0,880	0,873	0,915	1,011
1,25	1,000	0,958	0,931	0,930	0,961	1,023
1,50	1,000	0,977	0,963	0,965	0,985	1,022
2,00	1,000	0,995	0,993	0,995	1,002	1,012
3,00	1,000	1,000	1,001	1,001	1,001	1,001
4,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Bijlage 3B



IJSELDIJK

diepte [m]	tabellen IJsseldijk [mm]	PLAXIS zonder interface [mm]	PLAXIS met interface [mm]	PLAXIS met interface 1	PLAXIS met interface 2	PLAXIS met interface 3	PLAXIS met interface 4
0,0	22,9	22,9	25,3	22,9	24,2	25,0	23,4
-1,6	27,1	27,0	28,1	25,4	27,7	27,5	27,2
-3,2	24,8	24,7	25,5	23,0	25,3	24,7	24,8
-4,8	19,7	19,6	20,2	18,4	20,0	19,9	19,8
-6,4	11,7	11,6	12,1	11,2	12,0	12,1	11,4
-8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

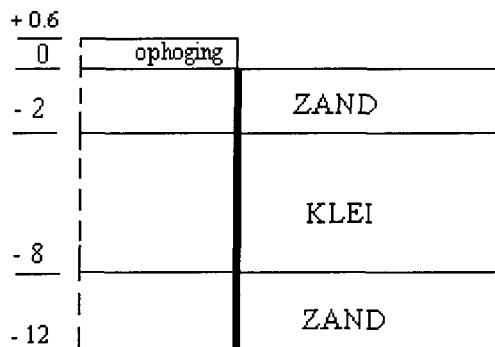
1 undrained en $v = 0,35$

2 een enkele interface

3 kortere interface

4 verlagen "virtual thickness" (dikte 0,01m)

Methode Loof



Figuur 1: Methode Loof.

Indien dit geval ingevoerd wordt in een EEM (hier PLAXIS 2D), moet het volgende ingevoerd worden voor de randvoorwaarden:

- Ondergrens is horizontaal en verticaal niet verplaatsbaar (deze vervangt de onderliggende zandlaag);
- Linker- en rechtergrens is horizontaal niet verplaatsbaar;
- Laagscheiding zand-klei op -2 m. wordt zonder randvoorwaarden ingevoerd;
- Materiaal model is lineair elastisch;
- Materiaal type is drained;
- $\gamma_n = 15 \text{ kN/m}^3$
- $\nu = 0,499$
- $E_{\text{klei}} = 1400 \text{ kN/m}^2$

Er zijn drie gevallen in PLAXIS ingevoerd:

1. Geval *zonder* gebruik te maken van een interface, zonder randvoorwaarden op de laagscheiding zand-klei;
2. Geval *zonder* gebruik te maken van een interface, met randvoorwaarden op de laagscheiding zand-klei (horizontaal NIET verplaatsbaar);
3. Geval *met* gebruikmaking van een interface, met randvoorwaarden op de laagscheiding zand-klei (horizontaal NIET verplaatsbaar).

Ad 1: De resultaten van de vergelijking tussen de tabellen van IJsseldijk en PLAXIS *zonder* interface en zonder randvoorwaarden wijken behoorlijk af van elkaar, vooral op -2 m. De aanname van Loof dat de bovenliggende zandlaag als stijve, niet verplaatsbare laag fungeert en dus op -2 m. de verplaatsing 0 mm moet zijn, is blijkens de berekening in PLAXIS onjuist.

Ad 2: De resultaten van de vergelijking tussen de tabellen van IJsseldijk en PLAXIS *zonder* interface, met de randvoorwaarde dat de bovenliggende zandlaag wordt vervangen, door de bovengrens van de kleilaag als horizontaal niet verplaatsbare laag aan te geven, zijn volkomen gelijk aan elkaar.

Ad 3: Het resultaat is wederom dat er een afwijking optreedt als gevolg van het gebruiken van een interface-element. Zie verklaring bij methode IJsseldijk.

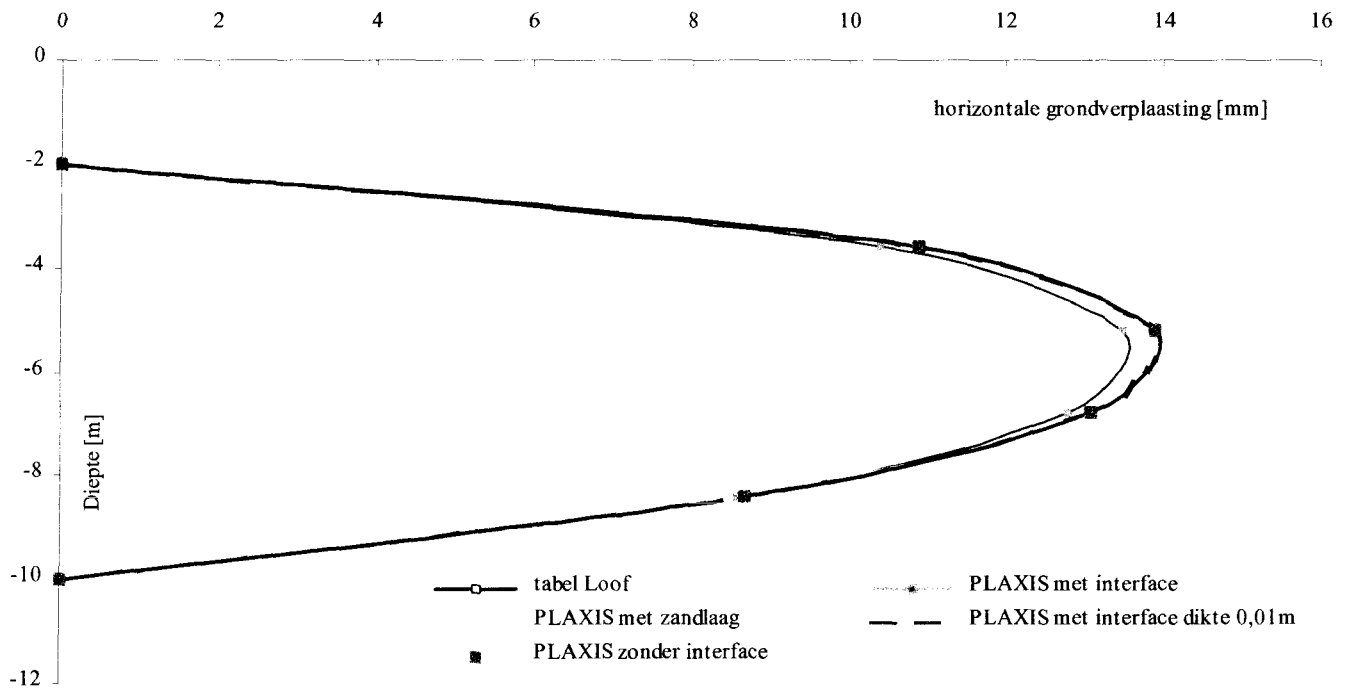
Oplossingen voor de afwijking tussen met interface rekenen en zonder interface zijn de volgende:

1. Materiaal undrained met effectieve $\nu = 0,35$. Dit vergroot de normaalstijfheid van de interface-elementen;
2. Enkele interface gebruiken (aan één kant van de lijn);
3. Kortere interface (niet door laten lopen tot onder aan de mesh);
4. Verlagen van de "relative interface thickness" tot $0,01$ m (standaard instelling is $0,1$ m)

Door het aanpassen van de berekening in PLAXIS met de 4 mogelijkheden, is gebleken dat mogelijkheid (4) geen verschil vertoont met de resultaten van de tabel (tabel 1 en figuur 2).

diepte	tabellen	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS
	Loof	zonder	met interface	interface (4)	met zandlaag
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0
-3,6	10,9	10,9	10,4	10,9	14,0
-5,2	13,9	13,9	13,5	13,9	15,3
-6,8	13,1	13,1	12,8	13,1	13,5
-8,4	8,7	8,7	8,6	8,7	8,5
-10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabel 1: Vergelijking tabellen Loof en PLAXIS.

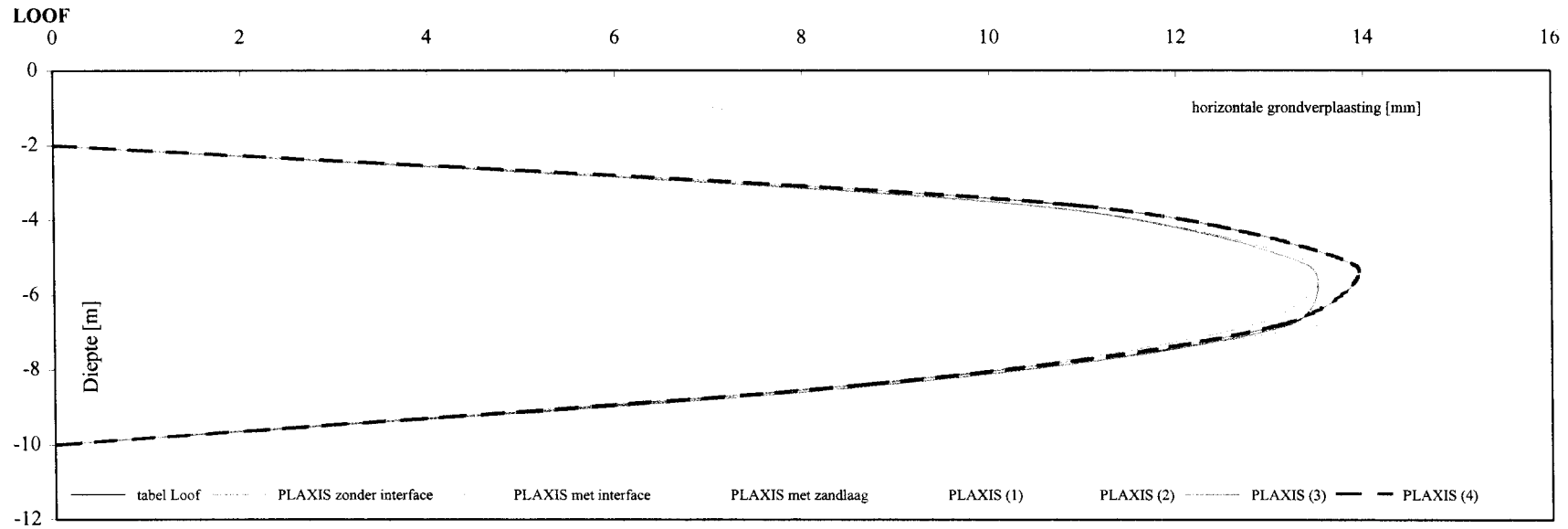


Figuur 2: Methode Loof.

Conclusie

Indien PLAXIS 2D gebruikt wordt, blijken de resultaten goed met elkaar overeen te komen, als er gerekend wordt met de situatie waarin de bovenrand niet kan verplaatsen. Enige voorzichtigheid is geboden bij het gebruik van interfaces. Als er gerekend wordt met een interface dan moet de “virtual thickness factor” minimaal gekozen worden.

Bijlage 3C



LOOF

diepte [m]	tabellen Loof [mm]	PLAXIS zonder interface [mm]	PLAXIS met interface [mm]	PLAXIS met zandlaag [mm]	PLAXIS met interface 1	PLAXIS met interface 2	PLAXIS met interface 3	PLAXIS met interface 4
0,0				5,4				
-2,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-3,6	10,9	10,9	10,4	14,0	9,8	10,7	10,4	10,9
-5,2	13,9	13,9	13,5	15,3	12,5	13,8	13,4	13,9
-6,8	13,1	13,1	12,8	13,5	11,9	13,0	13,2	13,1
-8,4	8,7	8,7	8,6	8,5	8,1	8,8	8,9	8,7
-10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1 undrained en $\nu=0,35$
 2 een enkele interface

3 kortere interface
 4 verlagen "virtual thickness" (dikte 0,01m)

Interface-elementen

Het interface-element wordt, normaal gesproken, toegepast om de interactie tussen het grondelement en het constructie-element te modelleren. Tevens worden interfaces toegepast bij spanningsconcentraties of op plaatsen waar spanningen / verplaatsingen op korte afstand sterk variëren; interfaces geven extra vrijheidsgraden aan de mesh. Vooral bij het zoeken naar bezwijken (plasticiteit) hebben deze elementen veel zin, omdat dan vaak een mechanisme bestaat uit delen die ieder een andere kant op willen (singuliere punten¹). Voor de implementatie van deze elementen is het noodzakelijk dat enige elastische vervormingen zijn toegestaan. Hiervoor wordt uitgegaan van de stijfheid G van de naastgelegen grond en een virtuele dikte. Om overlap te voorkomen, wordt voor de normaalstijfheid een factor genomen op basis van $\nu = 0,45$ (gedraineerd) of $0,495$ (ongedraineerd). Het verschil in de berekening is de mate van elastische overlap.

De interfaces zijn elementen die bestaan uit “dubbele” knopen, zodat deze t.o.v. elkaar kunnen schuiven en eventueel los kunnen komen (bijv. een spleet achter een damwand). Er moet een elastische stijfheid worden meegenomen (normaal- en schuifstijfheid). Dit betekent dat door een toename van de normaalspanning in het element, de twee delen van de mesh elkaar als het ware overlappen. De mate van deze overlap hangt af van de toegepaste stijfheid. Een hoge stijfheid betekent weinig overlap, maar numeriek gezien betekent dit dat er veel iteraties nodig zijn als er plastische schuifvervorming optreedt. Een lage stijfheid betekent veel overlap. Ergens is er dus een optimum tussen overlap en het aantal iteraties. De gebruiker kan de stijfheid aanpassen door de “virtual thickness factor” te variëren. Let wel: er treden grotere verplaatsingen op en ook de spanning zullen anders zijn. Oplossingen voor dit probleem:

1. Materiaal undrained met effectieve $\nu = 0,35$. Dit vergroot de normaalstijfheid van de interface-elementen;
2. Enkele interface gebruiken (aan één kant van de lijn);
3. Kortere interface (niet door laten lopen tot onder aan de mesh);
4. Verlagen van de “relative interface thickness” tot $0,01$ m (standaard instelling is $0,1$ m)

De reden waarom een interface-element gebruikt is in PLAXIS is voor het verkrijgen van informatie op de snede waar de paal geplaatst is.

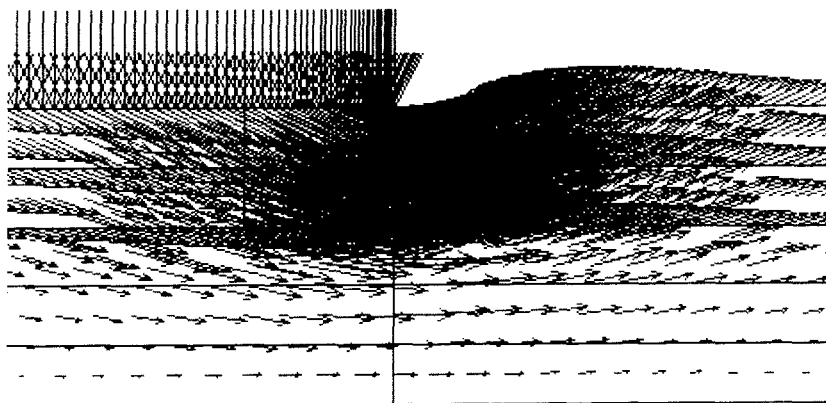
¹ Singulier punten zijn punten, waarin de spanning volgens de lineair elasticiteitstheorie oneindig hoog wordt. Voor EE-berekeningen betekent dan dat de spanningen in zo'n punt schijnbaar divergeren bij netverfijning, doordat bij elke netverfijning de spanningen groter worden (convergeren naar ∞).

Invloed dwarscontractiecoëfficiënt ($\nu = 0,5$ en $\nu = 0,3$)

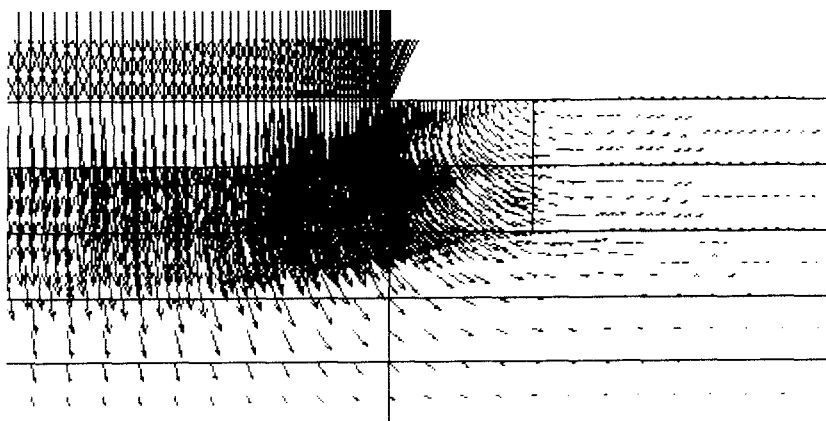
Inleiding

De methode IJsseldijk-Loof rekent met een ν van 0,5, maar deze ν treedt in de praktijk nooit op. Om toch een realistische berekening uit te voeren, wordt voor de lange termijn een $\nu \approx 0,3$ gebruikt. Uit theoretische overwegingen volgt dat de dwarscontractiecoëfficiënt vermoedelijk een belangrijke rol speelt voor het bepalen van grondverplaatsingen. Het totale verplaatsingsveld is te zien in figuren 1 en 2. Hieruit is het volgende waar te nemen. Bij $\nu = 0,5$ treden er over een bepaald gebied links en rechts van het einde van de belasting grote horizontale grondverplaatsingen en kleine verticale grondverplaatsingen op. Als $\nu = 0,3$ toegepast wordt, treedt er onder de belasting een grote verticale grondverplaatsing op en een kleine horizontale grondverplaatsing. Direct naast de rand van de belasting treedt er een geringe grondverplaatsing op, verderop dempt deze uiteindelijk uit. De analyse die uitgevoerd wordt, heeft betrekking op het verklaren van het verschil tussen de horizontale en verticale vervormingen onderling, d.w.z. bij $\nu = 0,5$ en $\nu = 0,3$.

Voor de grondopbouw en parameters zie hoofdstuk 3.



Figuur 1: Totale grondverplaatsing bij $\nu = 0,5$.



Figuur 2: Totale grondverplaatsing bij $\nu = 0,3$.

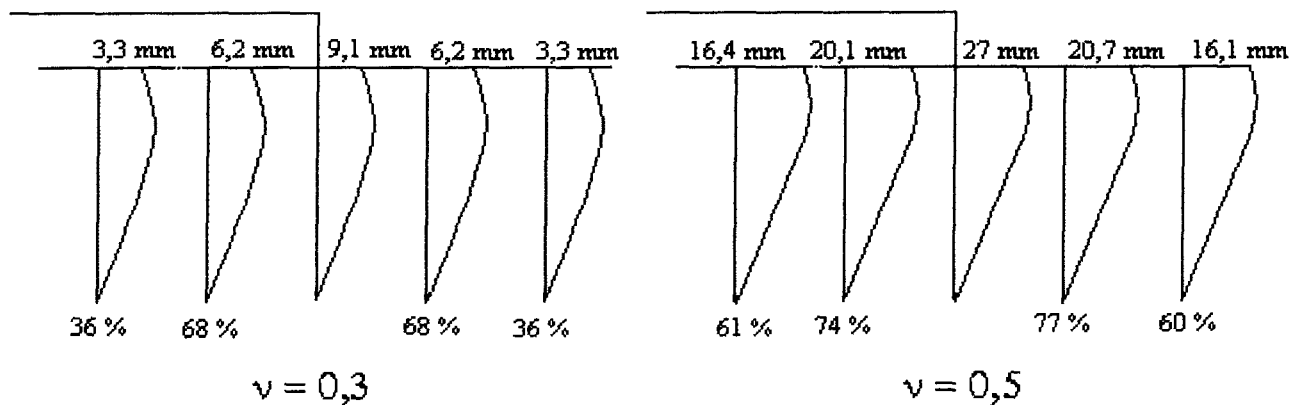
Resultaten

Er zijn een aantal grafieken samengesteld met de volgende gegevens: horizontale verplaatsingen, verticale verplaatsingen en totale verplaatsingen uitgezet tegen de afstand tot einde belasting. Het volgende kan waargenomen worden:

- Horizontale verplaatsingen aan het maaiveld.

Indien gerekend wordt met $\nu = 0,5$, dan blijken de horizontale grondverplaatsingen, naarmate er verder van de rand van belasting gemeten wordt, uit te dempen. 4 m. vanaf rand belasting is de grondverplaatsing ong. 77 % van de waarde onder de rand van de belasting, 8 m. vanaf rand belasting is dit ong. 60 % van de waarde onder de rand van de belasting (zie ook figuur 3).

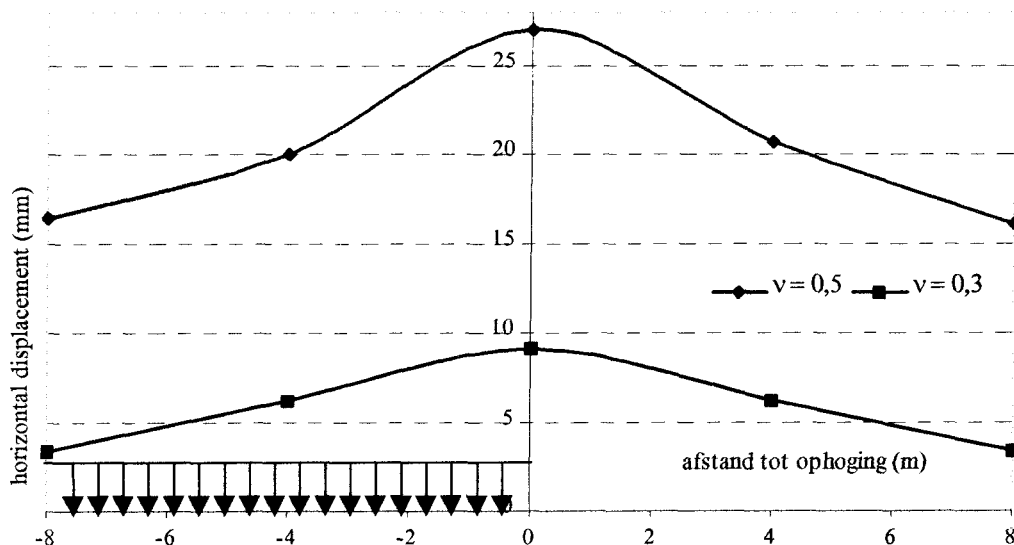
Indien gerekend wordt met $\nu = 0,3$ dan is de maximum horizontale grondverplaatsing onder de rand aanzienlijk kleiner (9 mm. t.o.v. 27 mm.). Naarmate er verder van de rand van belasting gemeten wordt, is de grondverplaatsing 4 m. vanaf rand ong. 68 % van de waarde onder de rand van de belasting en 8 m. vanaf rand belasting is dit ong. 36 % van de waarde onder de rand van de belasting. Hieruit blijkt dat het beter is te wachten met het inbrengen van een paal nadat er consolidatie is opgetreden. De grondverplaatsingen zijn dan sterk verminderd.



Figuur 3: Horizontale grondverplaatsingen bij $\nu = 0,5$ en $\nu = 0,3$.

$x = 0$ m. : 27 mm. (bij $\nu = 0,5$) is veel groter dan 9,1 mm. (bij $\nu = 0,3$): 300 % groter.

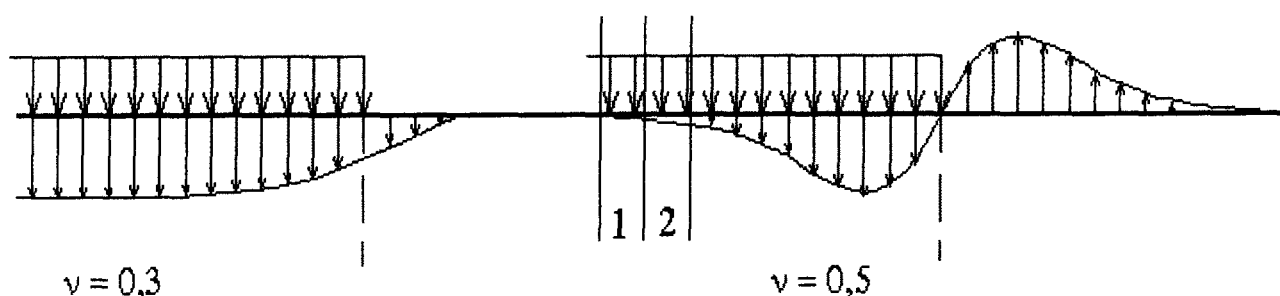
$x = +4$ m. : 77 % van max. waarde ($\nu = 0,5$) \approx 68 % van max. waarde ($\nu = 0,3$).



Figuur 4: Relatie v en horizontale verplaatsingen.

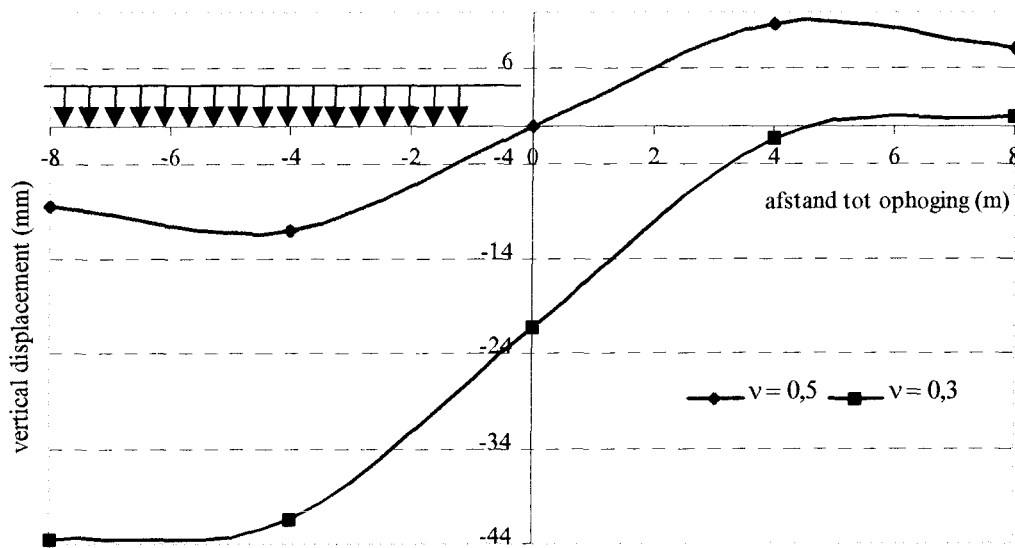
- Verticale verplaatsingen aan het maaiveld.

Indien gerekend wordt met $v = 0,5$ dan blijkt dat er ter plaatse van het eind van de belasting géén verplaatsing optreedt. Naarmate er verder van de rand gekeken wordt, blijkt dat de verticale verplaatsing ook uitdempt en een waarde bereikt van ong. 0 mm. Onder de belasting vertoont het verticale verplaatsingsveld een tegengesteld zakkingsbeeld als naast de belasting, het is als het ware symmetrisch.



Figuur 5: Verticale verplaatsing van de grond.

In de praktijk kan dit optreden, direct na het aanbrengen van de belasting (ongedraineerd gedrag met $v = 0,5$).



Figuur 6: Relatie v en verticale verplaatsingen.

Indien gerekend wordt met $v = 0,3$ dan vertoont de verticale verplaatsing het gedrag zoals in de praktijk voorkomt. Onder de belasting zakt de grond, direct naast de belasting zakt de grond eveneens. Op enige afstand van de belasting treedt mogelijk een geringe opwaartse verplaatsing op. Verklaring volgens elasticiteitstheorie (1D):

Bij $v = 0,5$ is op $x = -\infty$ $\Delta z = 0$, dat klopt omdat het een volumevast materiaal is. Op $x = -\infty$ geldt:

- $\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = 0$;
- Uitgangspunt is een plane strain situatie (vlakke vervormingstoestand): $\epsilon_y = 0$;
- kolom 1 (zie figuur 5) gedraagt zich hetzelfde als kolom 2 dus $\epsilon_x = 0$

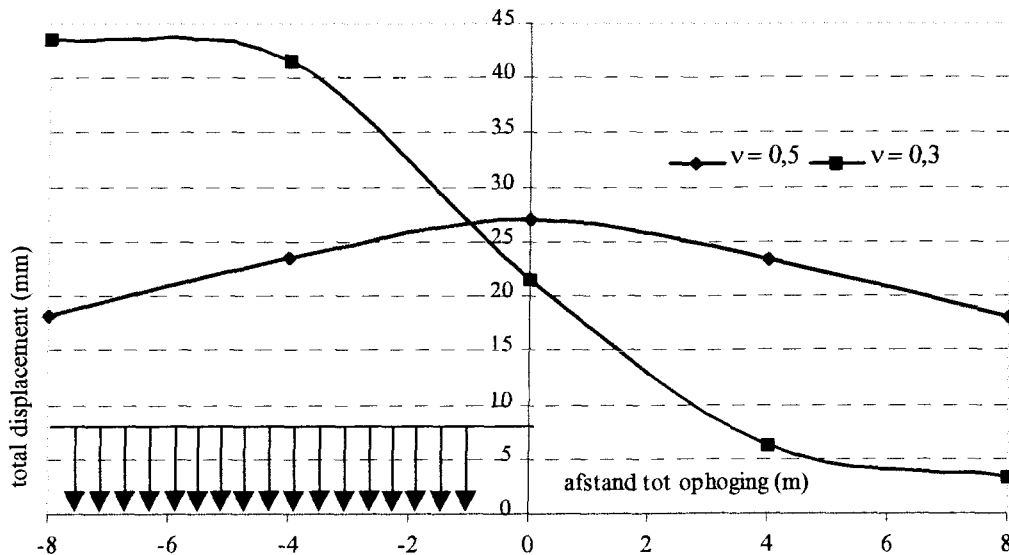
hieruit en uit $\epsilon_y = 0$ volgt dat $\epsilon_z = 0$

Het is een volumevast materiaal en de Σ verplaatsing volume omlaag = Σ verplaatsing volume omhoog.

- Totale verplaatsingen.

Hieruit blijkt dat als de totale verplaatsingslijn gevolgd wordt in geval van $v = 0,5$, dat deze overeenkomt met de horizontale verplaatsingslijn van het geval $v = 0,5$. Verondersteld mag worden dat bij de berekening met $v = 0,5$ de horizontale verplaatsingslijn de maatgevende verplaatsingslijn is voor het totale verplaatsingsbeeld.

Daarnaast volgt uit de grafiek dat, indien men gebruikt maakt van de berekening met $\nu = 0,3$ de verplaatsingslijn van de verticale verplaatsing overeenkomt met de totale verplaatsingslijn. De verticale verplaatsingslijn volgend uit de berekening met $\nu = 0,3$ is in dit geval de maatgevende.



Figuur 7: Relatie ν en totale verplaatsing.

Conclusie:

- De resultaten uit bovenstaande berekeningen lijken betrouwbaar;
- De analytische controle van de methode IJsseldijk-Loof is uiterst complex gebleken;
- Er kan een vergelijkende berekening uitgevoerd worden met een axiaal symmetrisch probleem met een puntlast. De resultaten verkregen uit de analytische berekening kunnen vergeleken worden met de resultaten verkregen uit een PLAXIS berekening;
- Door met de dwarscontractiecoëfficiënt te variëren blijkt, dat met een lagere ν een meer realistischer beeld verkregen wordt. De horizontale verplaatsingen blijken op grotere afstand van de paal sneller uit te dempen dan bij de berekening met een ν van 0,5. De verticale verplaatsingen geven een zeer realistisch beeld, waar die van een ν van 0,5 niet aan de realiteit voldoen.

Waarom het Soft Soil model?

Tegenwoordig zijn er in een EE-rekenpakket (zoals PLAXIS) een vijftal verschillende materiaalmodellen beschikbaar:

1. Elastisch model, niets anders dan de Wet van Hooke;
2. Mohr-Coulomb model, voor een eenvoudige modellering van grond;
3. Soft Soil model, zeer geschikt voor het doorrekenen van ophogingen;
4. Soft Soil Creep model, idem;
5. Hardening Soil model, zeer geschikt voor het doorrekenen van tunnels en damwanden.

Voor een beschrijving van de modellen, zie ref. 6, 8, 9 en 10. Een beknopte beschrijving van model 2 en 3 volgt hieronder:

Mohr-Coulomb model

Dit model benadert het vervormingsgedrag aan de hand van de Wet van Hooke (lineair elastisch) met als extra kenmerk dat de grond zuiver plastisch reageert als de maximale schuifsterkte τ_{\max} wordt overschreden. In het model zijn de volgende parameters vereist:

E	Elasticiteitsmodulus	[kN/m ²]
v	Dwarscontractiecoëfficiënt	[-]
φ	(effectieve) Wrijvingshoek	[°]
c	(effectieve) Cohesie	[kN/m ²]
ψ	Dilatantiehoek	[°]

Het model kan (voor het verkrijgen van een eerste indruk) voor alle geotechnische vraagstukken gebruikt worden. Voor sterke en zwakke punten van dit model wordt verwezen naar ref. 4.

Soft Soil model

Dit model is gebaseerd op het in Cambridge ontwikkelde Cam-Clay model. Het model is geschikt voor het berekenen van problemen waarbij ééndimensionale compressie een rol speelt, zoals bij dijken en dammen op een ondergrond van klei, een “land-fill” of het bouwrijp maken van een terrein of bij wegverbredingen. Het model wordt gekenmerkt door:

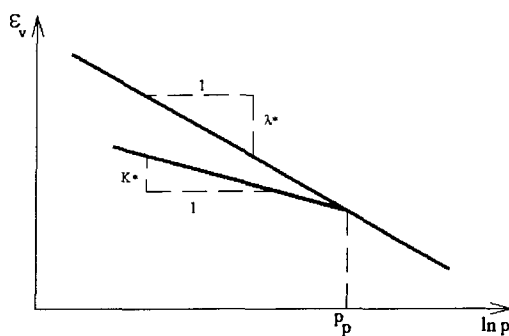
- Een spanningsafhankelijke en belastingrichtingsafhankelijke stijfheid (logaritmisch samendrukkingsgedrag). Zo wordt in ontlast / herbelast situaties een grotere stijfheid gebruikt dan na de grensspanning;
- Er is een onderscheid tussen primair belasten en vervolgens ontlasten en herbelasten;

- Een geheugen voor pre-consolidatie spanning;
- Ten behoeve van de sterkte van het materiaal wordt het Mohr–Coulomb criterium gebruikt. Wanneer deze sterkte is bereikt, zal zuiver plastisch gedrag optreden.

In het model zijn de volgende parameters vereist:

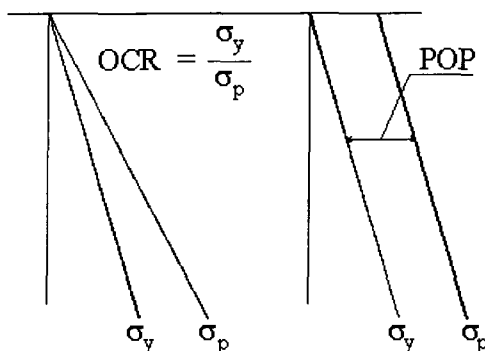
κ^*	Ontlast / belaststijfheid (elastisch gedrag)	[-]
λ^*	Stijfheid van het materiaal bij primaire belasting	[-]
ν	Elastische dwarscontractiecoëfficiënt	[-]
φ	Hoek van inwendige wrijving	[°]
c	Cohesie	[kN/m ²]
K_0	Neutrale gronddrukcoëfficiënt (op basis van normaal geconsolideerde toestand K_0^{NC})	
OCR	Een maat voor de verhouding van de maximale isotrope spanning in het verleden en de huidige isotrope spanning. De mate van overconsolidatie bepaalt samen met o.a. λ^* en κ^* de initiële kruipsnelheid (OCR = overconsolidatie ratio);	

In plaats van de OCR kan er gebruik gemaakt worden van een POP (Pre Overburden Pressure) ofwel het verschil tussen de huidige isotrope spanning en de maximale isotrope spanning in het verleden.



Figuur 1: De betekenis van λ^* en κ^* in isotrope compressie.

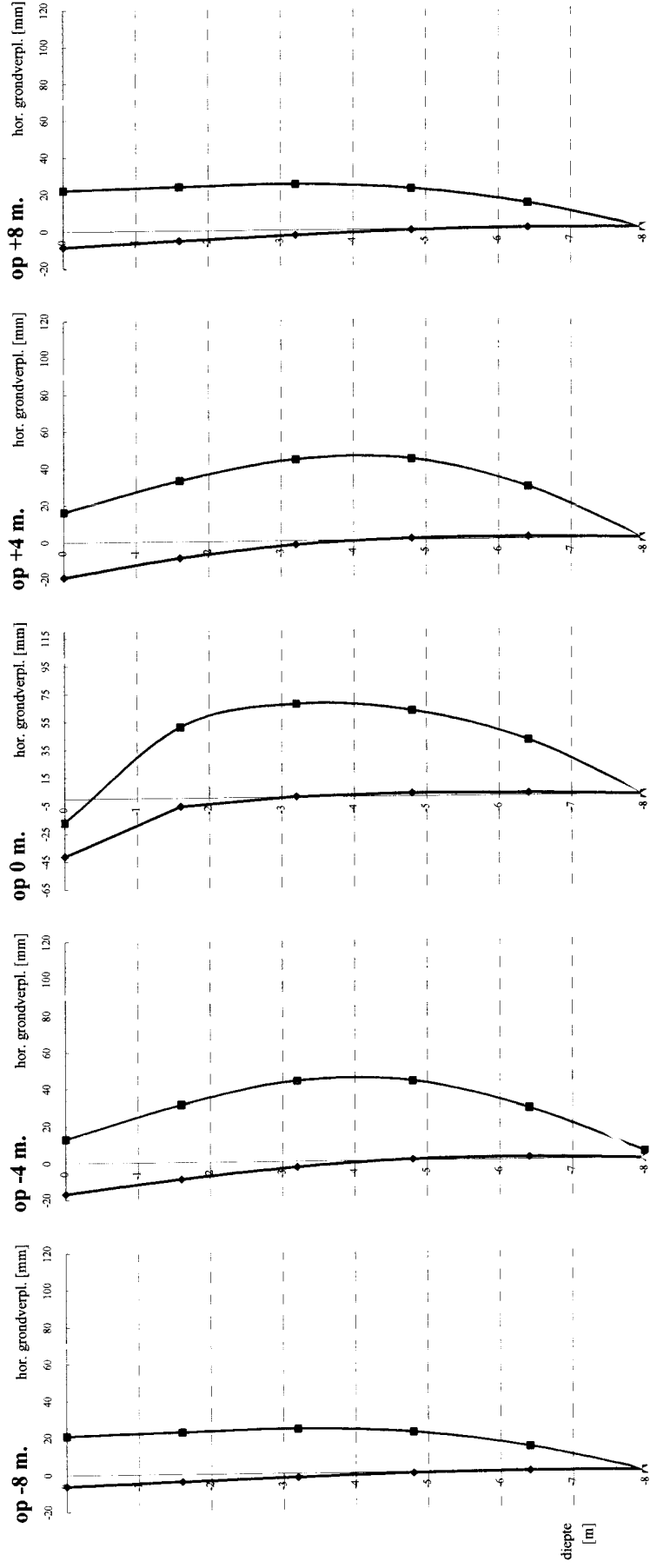
De parameters λ^* en κ^* kunnen worden bepaald uit de resultaten van een samendrukkingsproef. De verhouding λ^*/κ^* geeft de stijfheidsverhouding tussen isotrope ontlasting en primaire belasting weer. λ^* wordt bepaald uit $1/C_p'$, κ^* wordt bepaald uit $\lambda^*/\kappa^* = 3$ à 7 .



Figuur 2: Betekenis van OCR en POP.

Voor sterke en zwakke punten van dit model wordt eveneens verwezen naar ref. 4.

horizontale grondverplaatsing



IJsselwijk

Mohr-Coulomb

Soft Soil

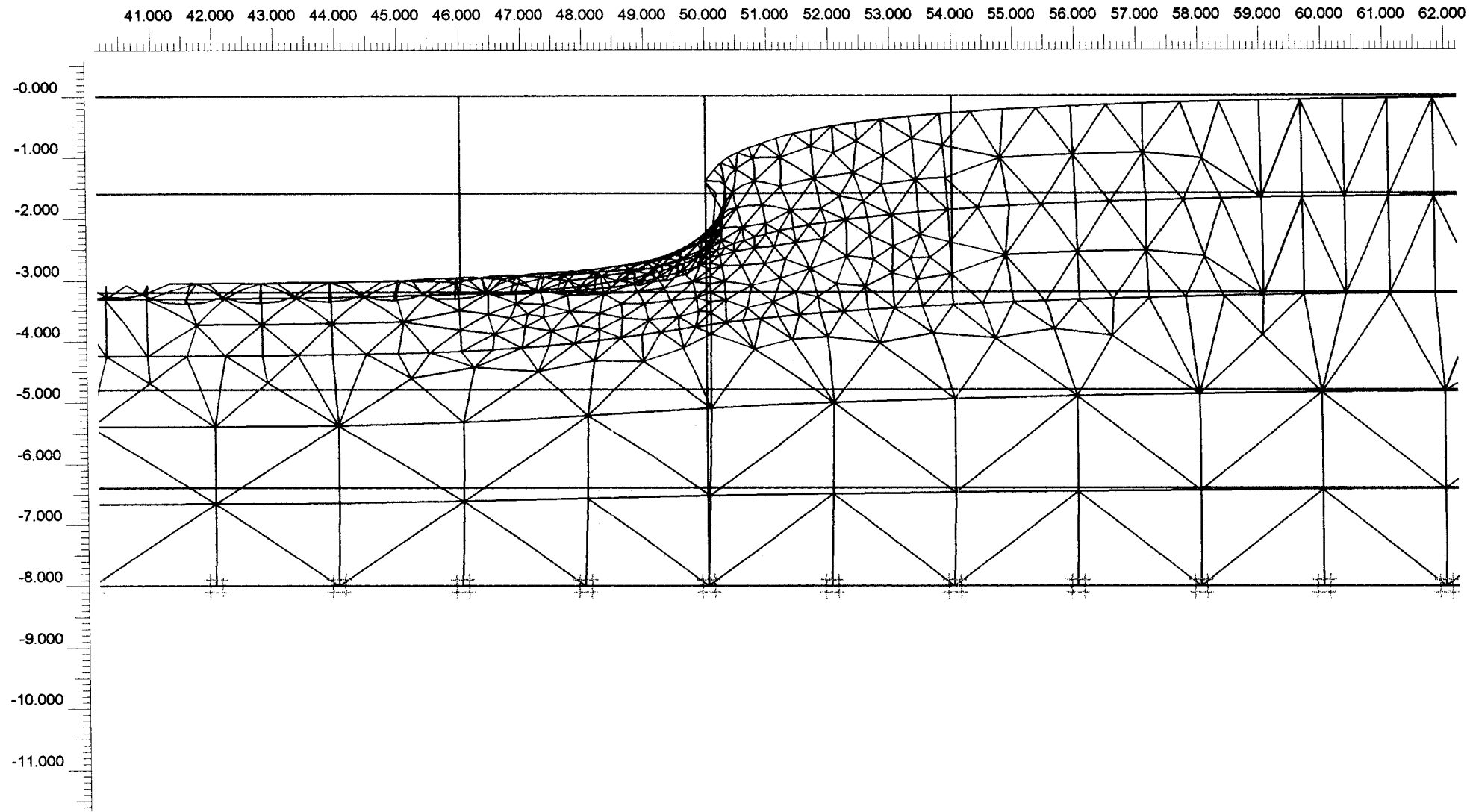
Hoge belasting

Om te zorgen dat ter plaatse van de rand van de belasting een verplaatsing naar rechts is, wordt de belasting verhoogd tot $q = 30 \text{ kN/m}^1$. Uit de berekening met het Soft Soil-model (file *IJsseldijk(ss2)*) volgt een verticale verplaatsing van 0,679 m. Nu moet het volgende gelden:

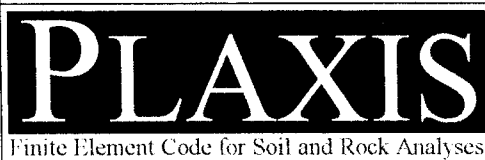
$$\Delta z_{\text{IJSELDIJK}} = \Delta z_{\text{SS}}$$

$$E = 1,25 \cdot \frac{\Delta p \cdot h}{\Delta z_{\text{IJSELDIJK}}} = 1,25 \cdot \frac{10 \cdot 8}{0,679} \approx 147 \text{ kN/m}^2$$

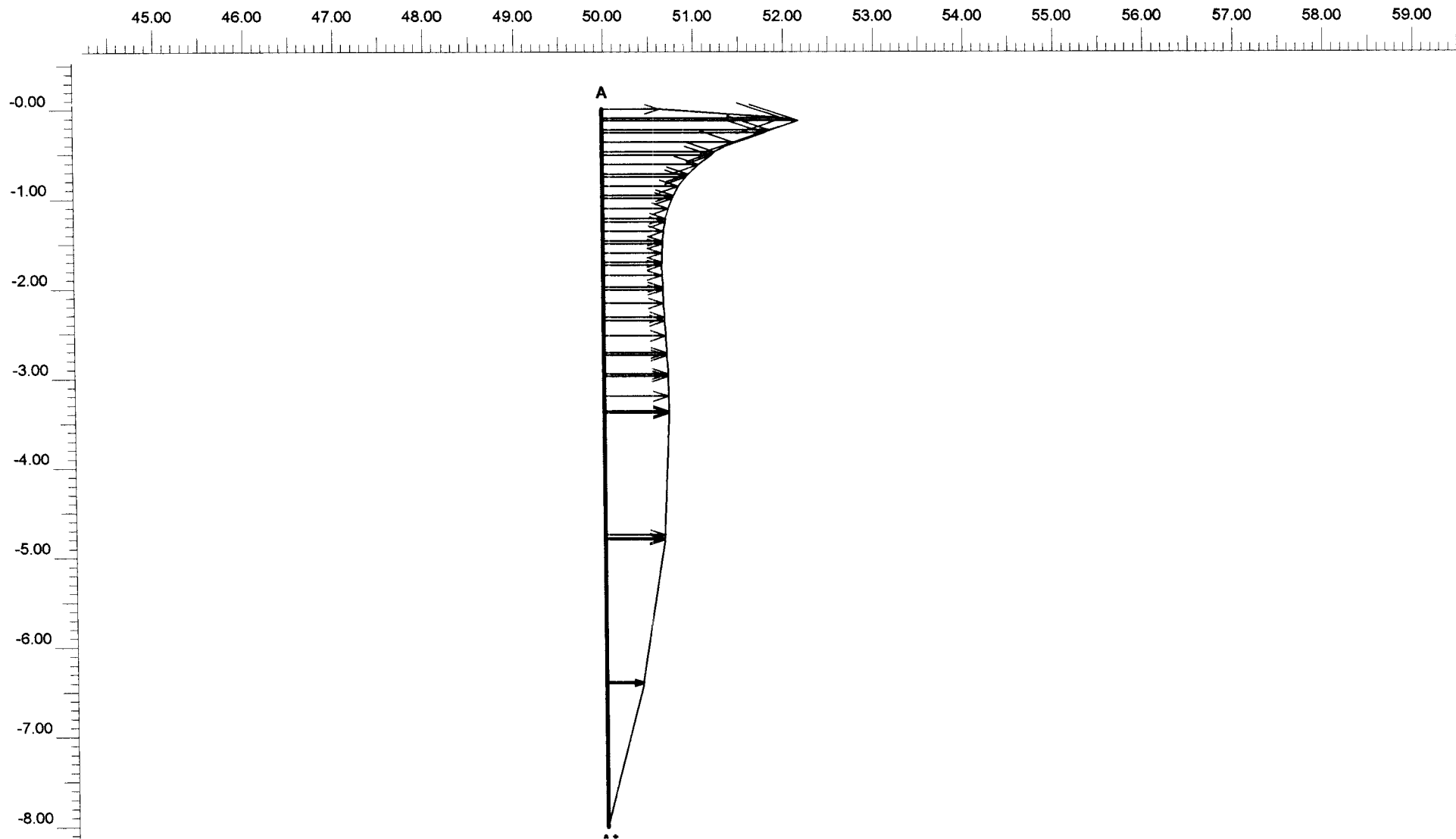
Vervolgens wordt deze E ingevuld in de tabellen van IJsseldijk (file *IJsseldijk(E=147)*), waarmee de horizontale grondverplaatsing berekend kan worden. Hieruit volgt een maximale horizontale grondverplaatsing van 769 mm. ter plaatse van de rand van de belasting. De maximale horizontale grondverplaatsing uit de Soft Soil berekening bedraagt 18 mm. De afwijking is een factor 43!! Hieruit blijkt dat de horizontale verplaatsing met IJsseldijk overschat wordt.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $678,93 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 5,00 times)



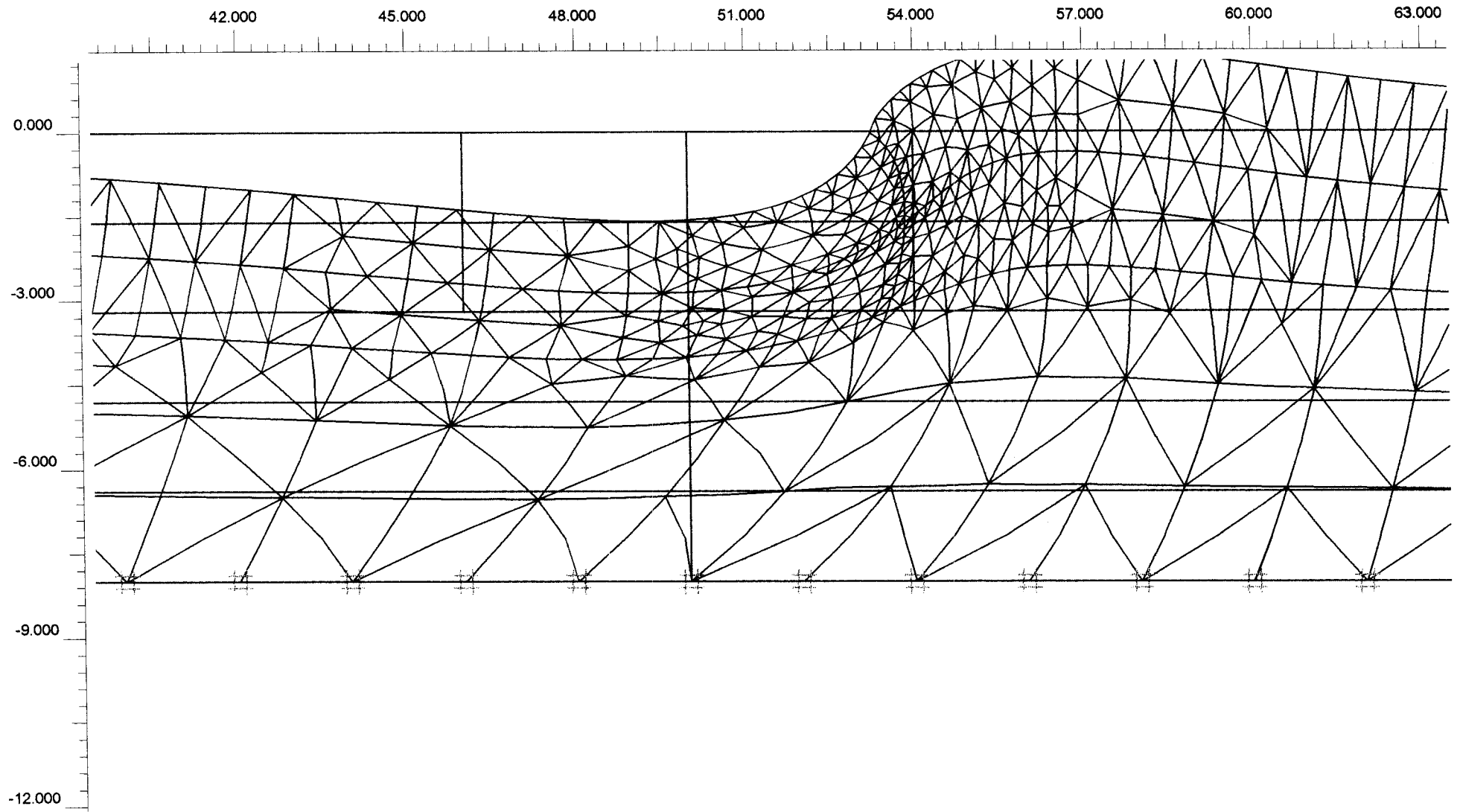
<i>Project description</i>			
Bijlage 3H: deformed mesh (Soft Soil)			
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
IJsseldijk(ss2)	10	14-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.



** Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $46,23 \cdot 10^{-3}$ m



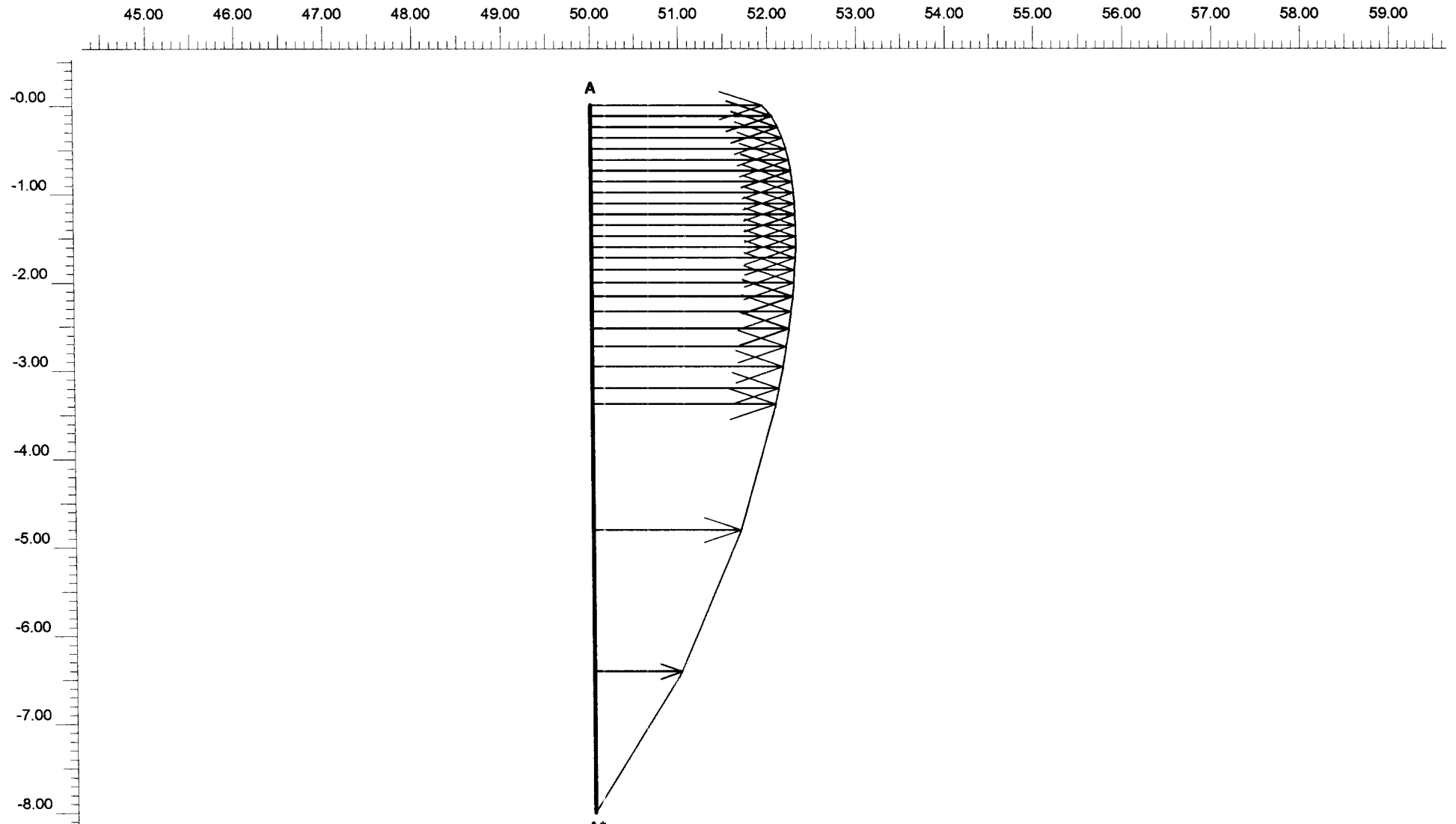
<i>Project description</i>			
Bijlage 3H: hor. verpl. t.p.v. rand belasting			
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
IJsseldijk(ss2)	10	14-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $770,13 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 5,00 times)



<i>Project description</i>			
Bijlage 3H: deformed mesh (Ijsseldijk)			
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
Ijsseldijk(E=147)	1	14-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $770,10 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 3H: hor. verpl. t.p.v. rand belasting

Project name

IJsseldijk(E=147)

Step

1

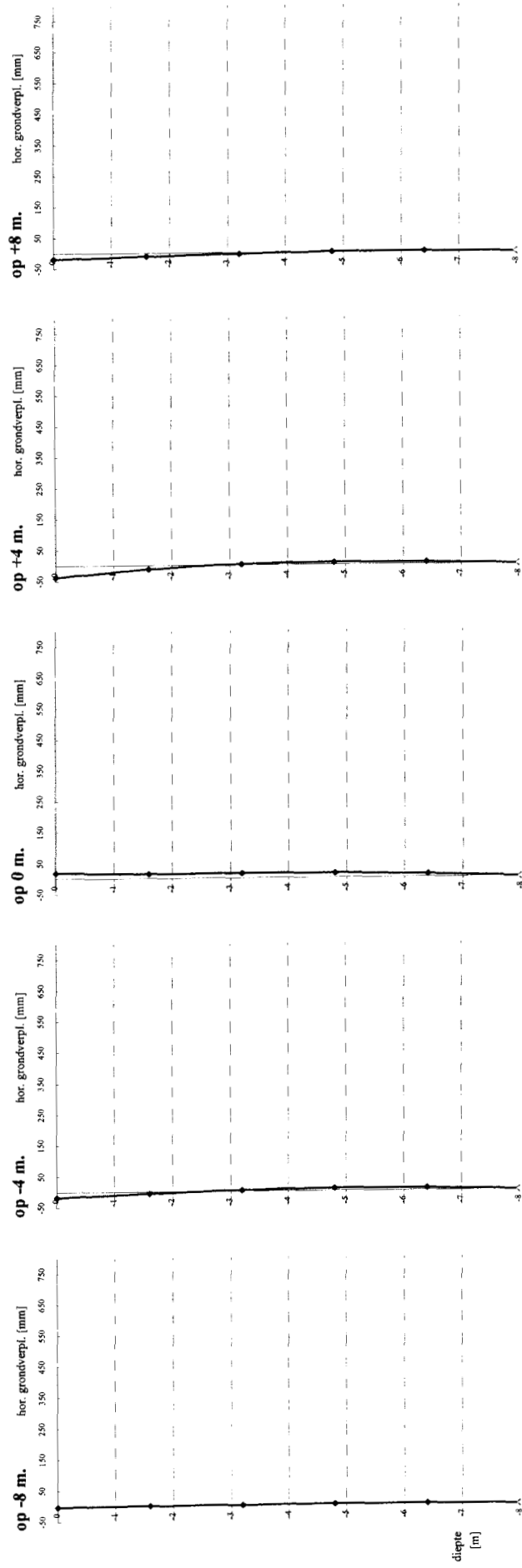
Date

14-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

horizontale grondverplaatsing



IJsseldijk

Soft Soil

BIJLAGEN HOOFDSTUK 4

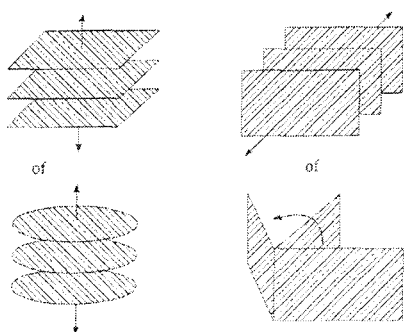
BIJLAGE 4A	De twee vormen van modellering in PLAXIS 3D
BIJLAGE 4B	Tabellen met grond-, paalparameters en aanvullende gegevens
BIJLAGE 4C	IJsseldijk 2D
BIJLAGE 4D	IJsseldijk 3D
BIJLAGE 4E	3D halve paal
BIJLAGE 4F	3D paal
BIJLAGE 4G	3D-model(LE)
BIJLAGE 4H	3D-model(MC2)
BIJLAGE 4I	3D-model(MC3) met cohesie
BIJLAGE 4J	3D-model(b2) total displ.
BIJLAGE 4K	3D-model(b3) total displ.
BIJLAGE 4L	3D-model(b4) total displ.
BIJLAGE 4M	3D-model(b5) total displ. met cohesie
BIJLAGE 4N	3Dbalk
BIJLAGE 4O	Paalmodellering

Overzicht van rekenbestanden in hoofdstuk 4

Omschrijving	Type	file
Grondverplaatsing volgens IJsseldijk	PLAXIS 2D	IJsseldijk2D
Grondverplaatsing volgens IJsseldijk	PLAXIS 3D	IJsseldijk3D
Halve paal gemodelleerd, breedte model 8 m	PLAXIS 3D	3D-halve_paal
Hele paal gemodelleerd, breedte model 8 m	PLAXIS 3D	3Dpaal
3D model, Lineair Elastisch grondgedrag, breedte model 30 m	PLAXIS 3D	3D-model(LE2)
3D model, Mohr-Coulomb grondgedrag, breedte model 30 m	PLAXIS 3D	3D-model(MC2)
3D model, Mohr-Coulomb grondgedrag, breedte model 30 m	PLAXIS 3D	3D-model(MC3)
3D model, Mohr-Coulomb grondgedrag, breedte model 50 m	PLAXIS 3D	3D-model(b2)
3D model, Mohr-Coulomb grondgedrag, breedte model 50 m	PLAXIS 3D	3D-model(b3)
3D model, Lineair Elastisch grondgedrag, breedte model 50 m	PLAXIS 3D	3D-model(b4)
3D model, Mohr-Coulomb grondgedrag, breedte model 50 m	PLAXIS 3D	3D-model(b5)
3D paalberekening, met paal als balkelement	PLAXIS 3D	3Dbalk

Methode voor modelleren in PLAXIS 3D

- De verticale doorsnede van een constructie wordt gemodelleerd, waarbij de horizontale variatie van de geometrie wordt verwaarloosd of vereenvoudigd. Bij deze methode kan gedacht worden aan een systeem, waarbij een verticale doorsnede gemodelleerd wordt en waarbij het verloop van verplaatsingen loodrecht op het vlak van modellering wordt beschreven d.m.v. een reeks harmonische functies (Fourier). Deze methode van oplossen is zowel voor lineaire als voor niet-lineaire problemen (plasticiteit) geschikt. Het voordeel van deze methode is een kleine benodigde opslagcapaciteit (het aantal vrijheidsgraden is minder) en dus een snelle rekentijd. Het nadeel van deze methode is gelegen in de beperking ten aanzien van de vorming van grote verplaatsingsgradiënten (glijvlakken) en de beperkte nauwkeurigheid van de spanningsverdeling.
- De horizontale doorsnede van een constructie wordt gemodelleerd, waarbij de verticale variatie van de geometrie wordt verwaarloosd of vereenvoudigd. Bij deze modellering wordt een horizontaal gebied rondom de paal(groep) gemodelleerd in elementen en wordt in verticale richting een onderverdeling gemaakt in verschillende lagen. Uitgangspunt is dat verticale vervormingen een ondergeschikte rol spelen en dat er dus geen verticale spanningsverandering in de grond optreedt. Dit komt omdat de richting van de zwaartekracht niet aangepast kan worden. Het voordeel van deze vorm van modellering is dat ook groepswerking kan worden geanalyseerd, d.w.z. de effecten die optreden wanneer meerdere palen dicht bij elkaar staan. Het nadeel van deze modellering ligt voornamelijk in de beperking dat de verticale spanningsveranderingen en vervormingen in de grond worden verwaarloosd. Er kan dus geen uitsluitsel gegeven worden over de zetting van de paal.



Figuur 1: Modelling op basis van horizontale doorsnede (l) en verticale doorsnede (r).

Beide methoden hebben als gezamenlijk nadeel dat de beperkingen definitief zijn, d.w.z. er kunnen in een later stadium geen uitbreidingen aangebracht worden die de beperkingen teniet doen, tenzij op een andere methode wordt overgestapt.

Grondparameters

berekening nummer	file	type	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]	ϕ [°]
1	IJsseldijk3D	LE	15	15	1400	0,499	-
2a	3D-halvepaal	MC	15	18	1400	0,3	22,5
2b	3Dpaal	MC	15	18	1400	0,3	22,5
3a	3D-model(LE2)	LE	15	18	1400	0,3	-
3b	3D-model(MC2)	MC	15	18	1400	0,3	22,5
3c ¹	3D-model(MC3)	MC	15	18	1400	0,3	22,5
4a	3D-model(b2)	MC	15	18	1400	0,3	22,5
4b	3D-model(b3)	MC	15	18	1400	0,3	22,5
4c	3D-model(b4)	LE	15	18	1400	0,3	-
4d ²	3D-model(b5)	MC	15	18	1400	0,3	22,5
5	3Dbalk	MC	15	18	1400	0,3	22,5

Tabel 1: Grondparameters.

Paalparameters (in berekening 1 t/m 4 als volume-elementen)

berekening nummer	type	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]
2a, b	LE	24	24	$33,5 \cdot 10^6$	0,2
3a, b, c	LE	24	24	$33,5 \cdot 10^6$	0,2
4a, b, c, d	LE	24	24	$33,5 \cdot 10^6$	0,2

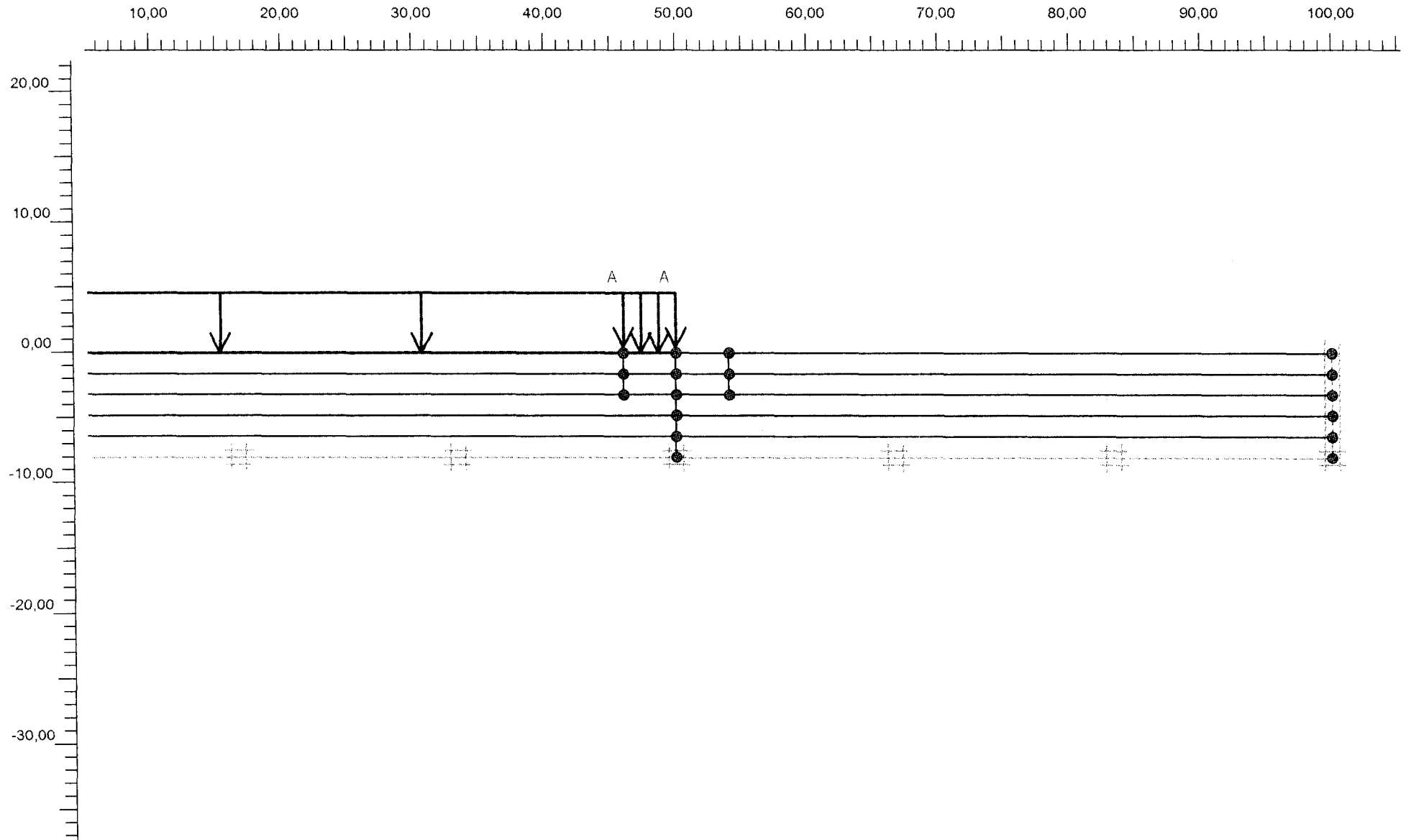
Tabel 2: Paalparameters.

¹ Deze berekening is uitgevoerd waarin cohesie is verdisconteerd.² Deze berekening is uitgevoerd waarin cohesie is verdisconteerd.

Aanvullende gegevens bij de berekeningen

Berekening nummer	1	2	3	4	5
Kleilaag dikte 8 m	X	X	X	X	X
Onderkant kleilaag vast	X	X	X	X	X
Géén paal aanwezig	X				
Wel paal aanwezig		X	X	X	X
Géén freatisch vlak	X				
Wel freatisch vlak		X	X	X	X
Belasting in stappen verhoogd (5 ⇒ 10 ⇒ 15 ⇒ 20 kN/m ¹)				X	X

Tabel 3: Overzicht gegevens voor berekening 1 t/m 5.



Version 7.2.9.160

Project description

Bijlage 4C: model IJSSELDIJK

Project name

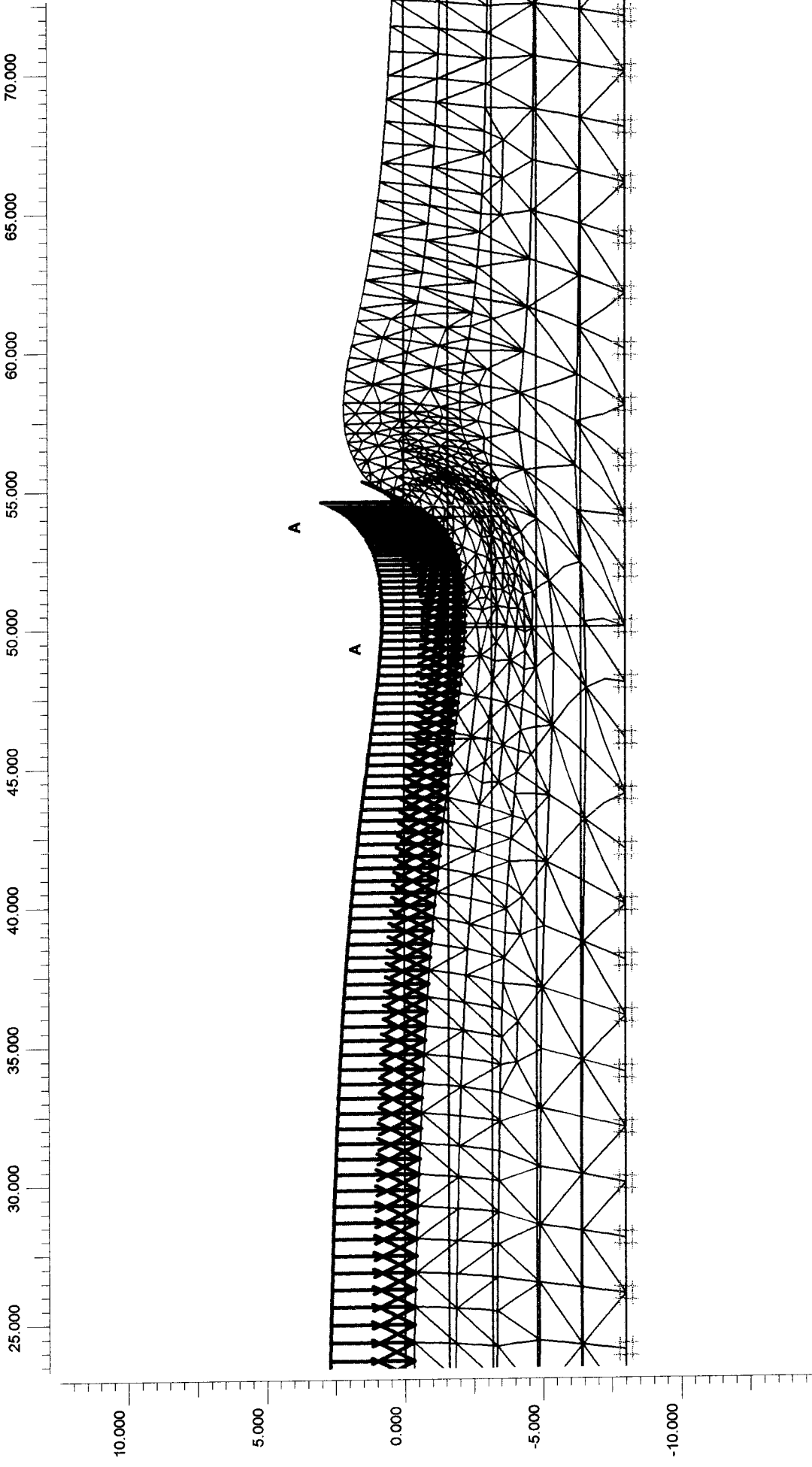
IJsseldijk2D.plx

Date

8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $27,00 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 200,00 times)

Project description

Bijlage 4C: deformed mesh

User name

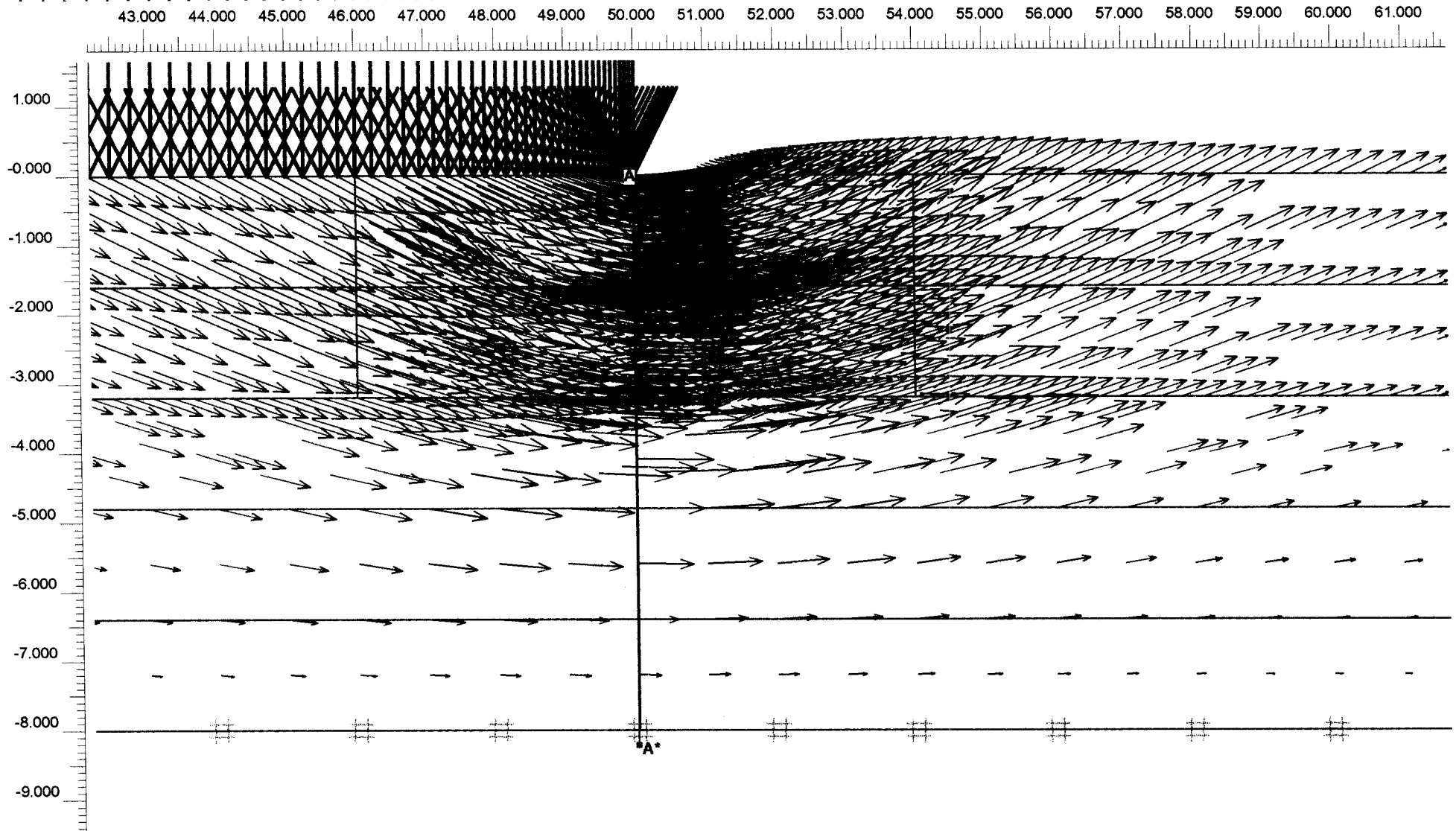
Date **08-01-02**

Step **1**

Project name **IJsseldijk2D**

User name **FUGRO Ingenieursbureau b.v.**





Total displacements
 Extreme total displacement $27,00 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 4C: total displacements

Project name

IJsseldijk2D

Step

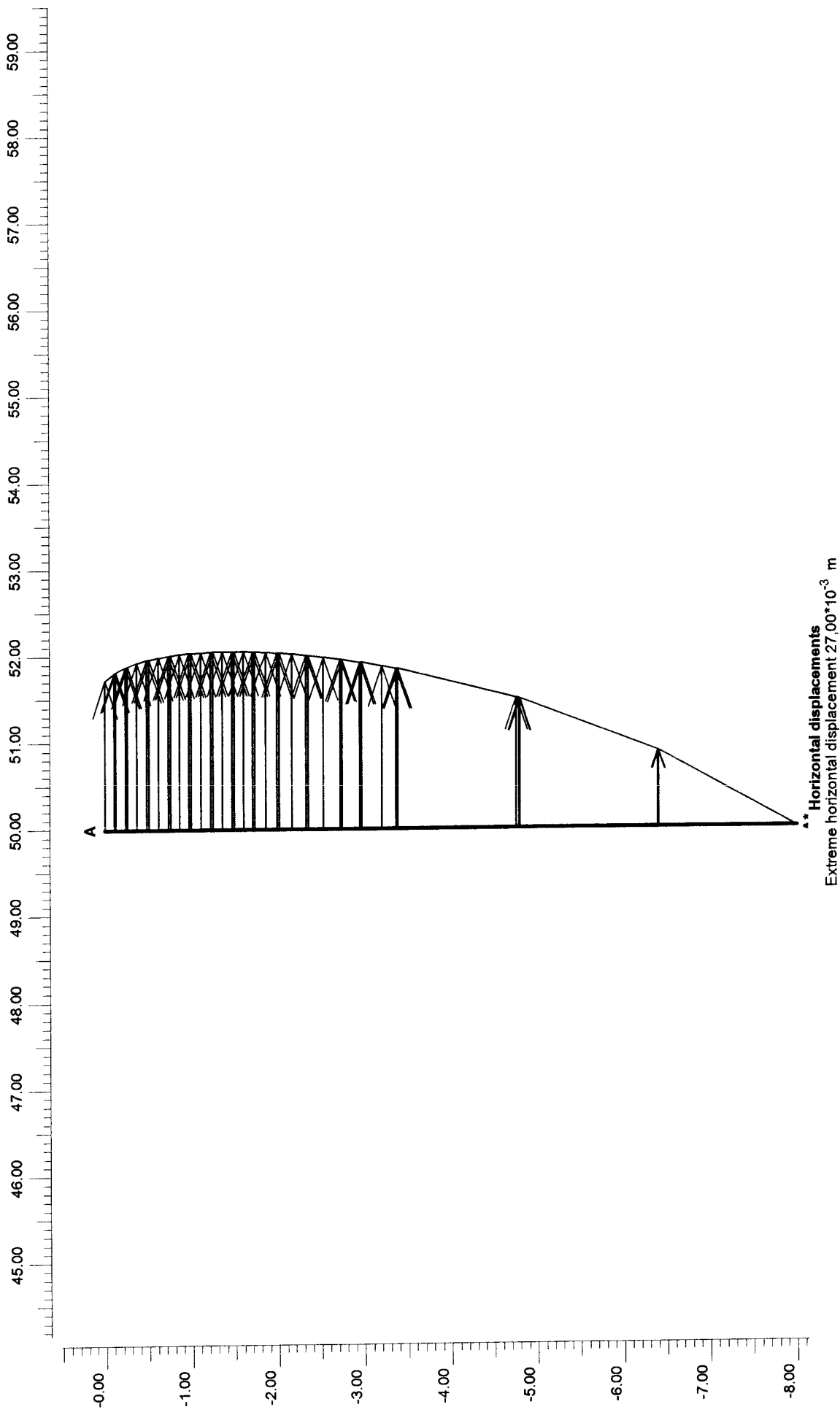
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 4C: horizontale verplaatsingen rand belasting

Project name

IJsseldijk2D

Date

08-01-02

User name

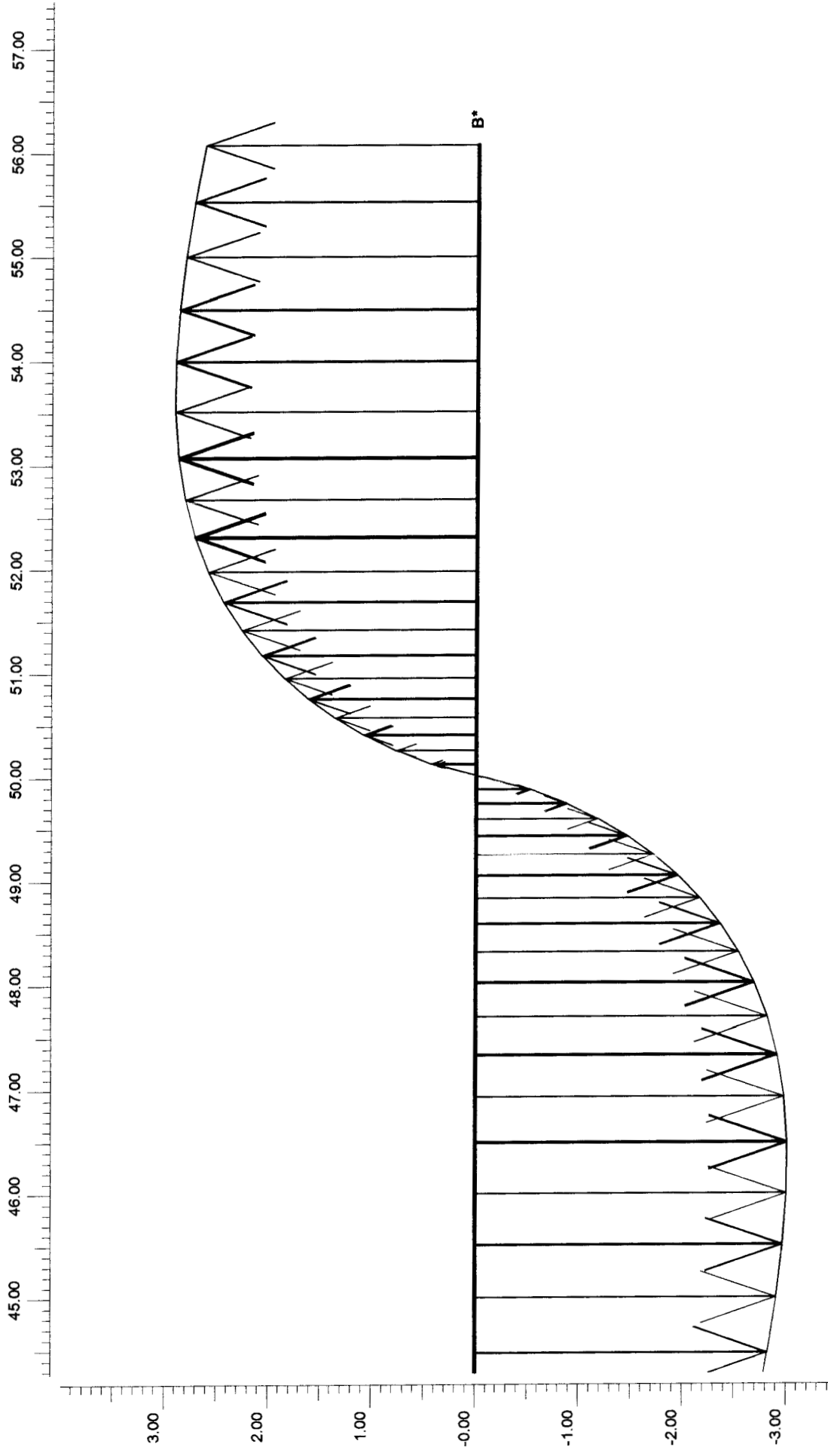
FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Step

1



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Project description

Bijlage 4C: verticale verplaatsing aan maaiveld

Project name

IJsseldijk2D

Step

1

Date

08-01-02

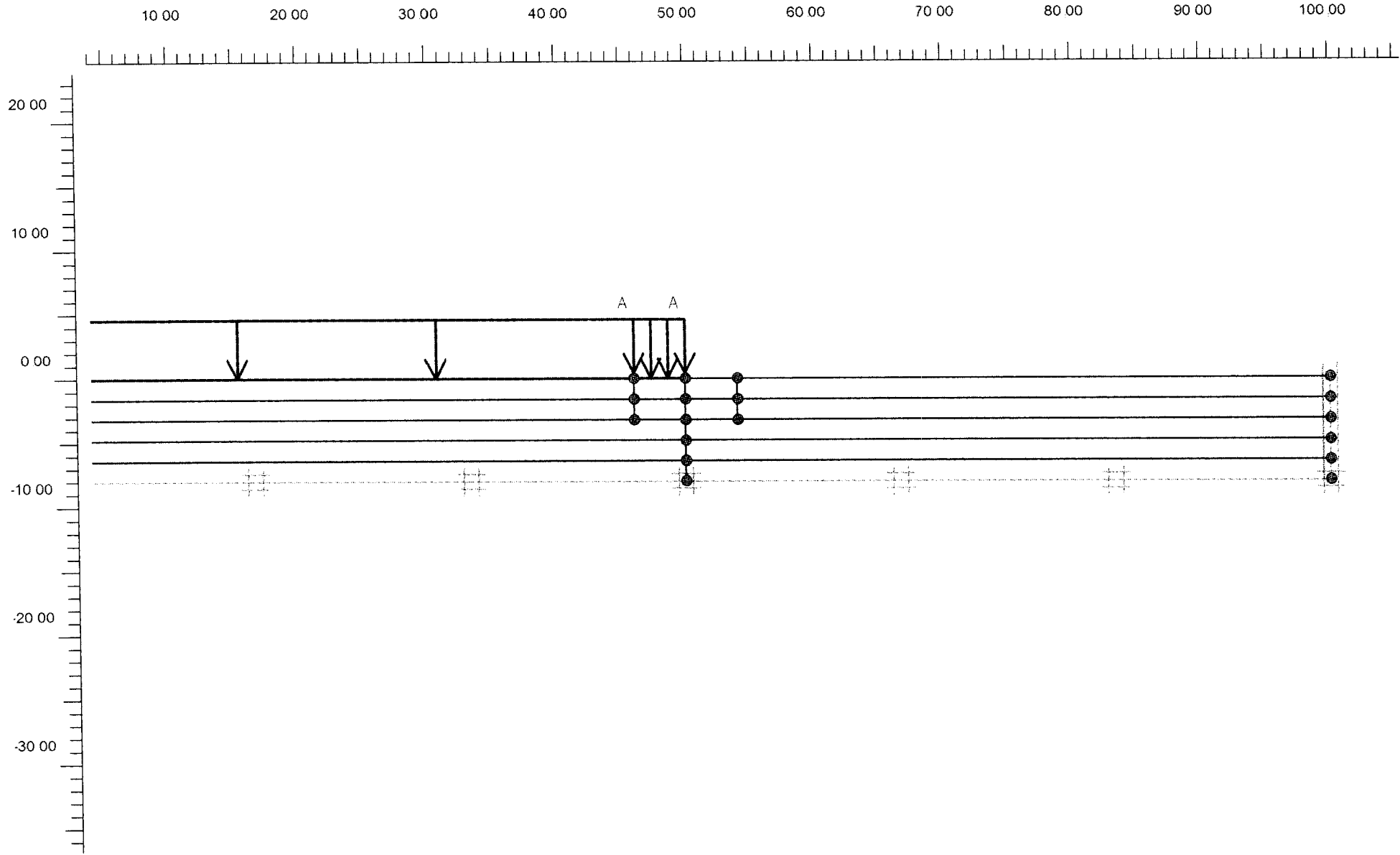
User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

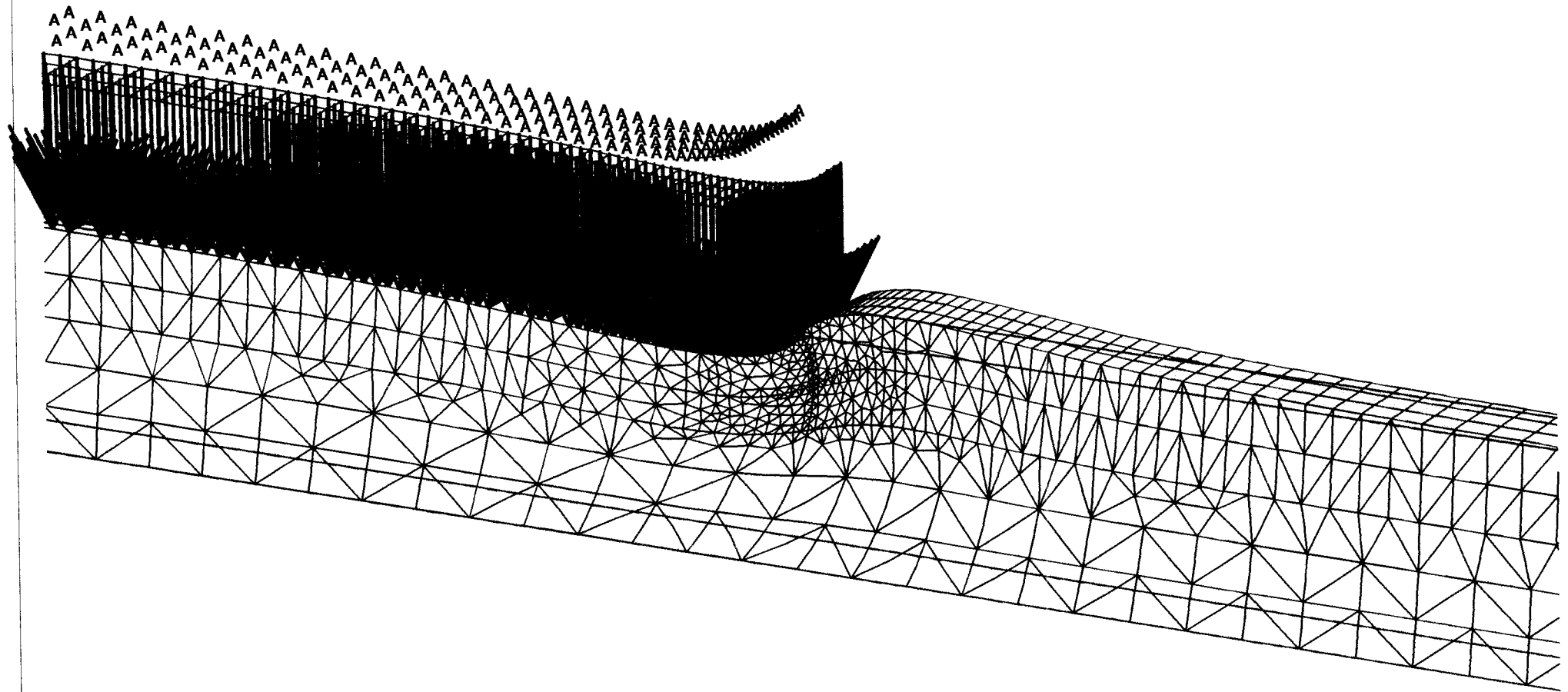


Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.14



<i>Project description</i>		
Bijlage 4D: Model IJSSELDIJK		
<i>Project name</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
IJsseldijk3D.PL3	8-1-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $27,00 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 100,00 times)



Project description

Bijlage 4D: 3D deformed mesh

Project name

IJsseldijk3D

Step

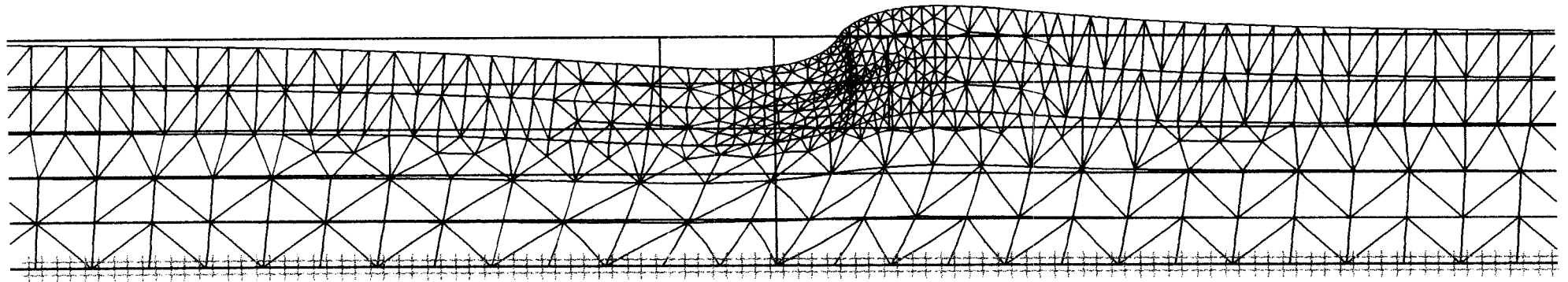
1

Date

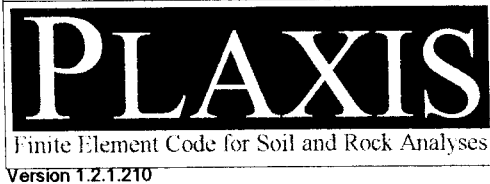
08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $27,00 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 100,00 times)



Project description

Bijlage 4D: deformed mesh

Project name

IJsseldijk3D

Step

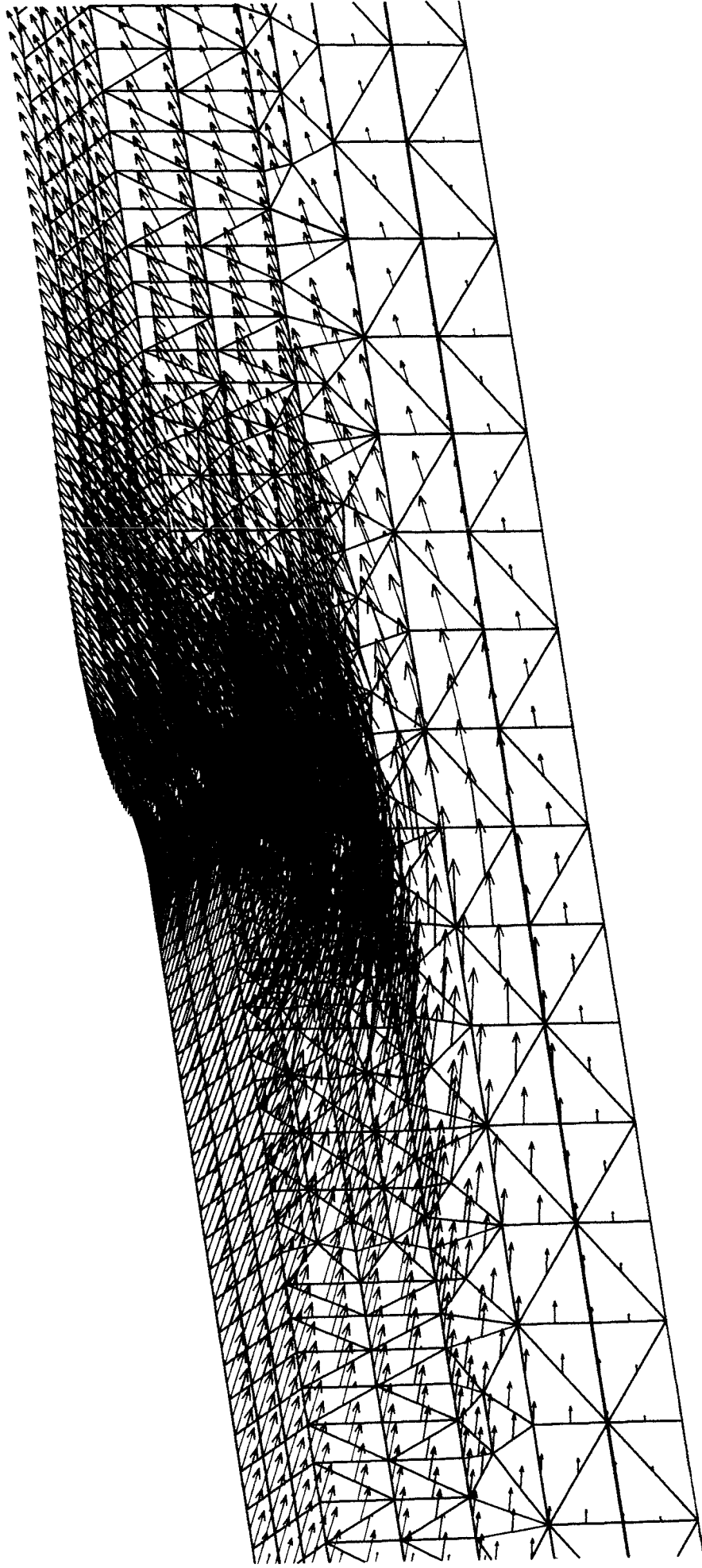
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Total displacements (Utot)
Extreme Utot: $27,00 \cdot 10^{-3}$ m

Project description

Bijlage 4D: total displacements

Project name

IJsseldijk3D

Step

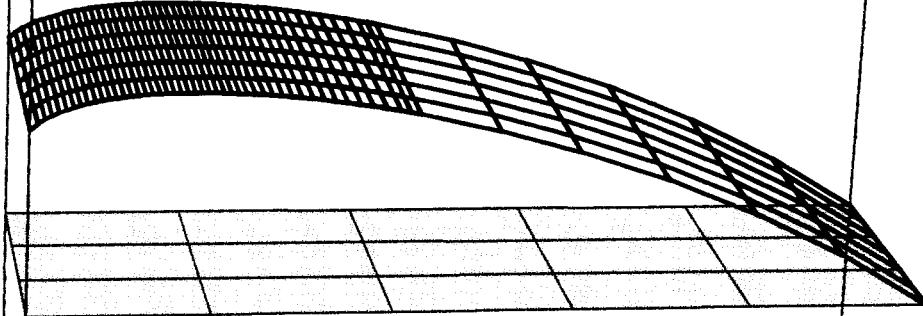
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements Ux
Extreme Ux $27,00 \cdot 10^{-3}$ m

Project description

Bijlage 4D: horizontale verplaatsingen rand belasting

Project name

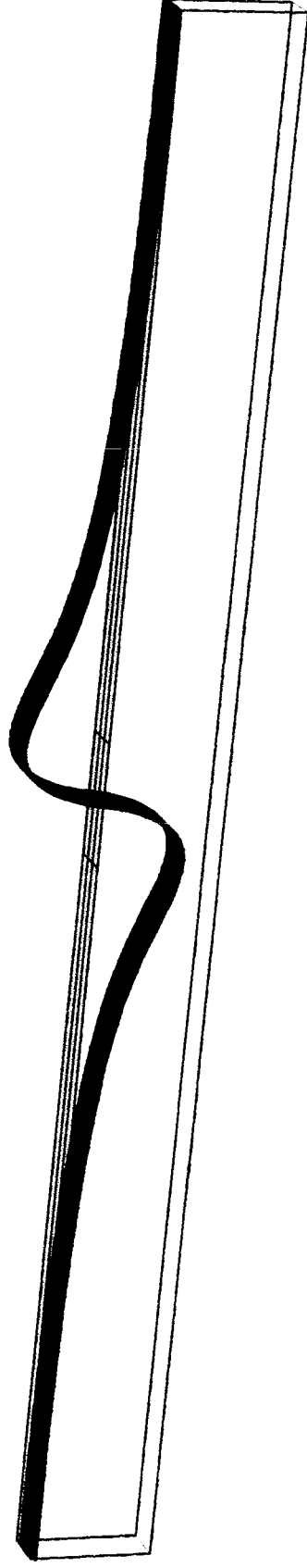
IJsseldijk3D

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Vertical displacements Uy
Extreme Uy -11,12*10^-3 m



Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4D: verticale verplaatsingen aan maaiveld

Project name

IJsseldijk3D

Step

1

Date

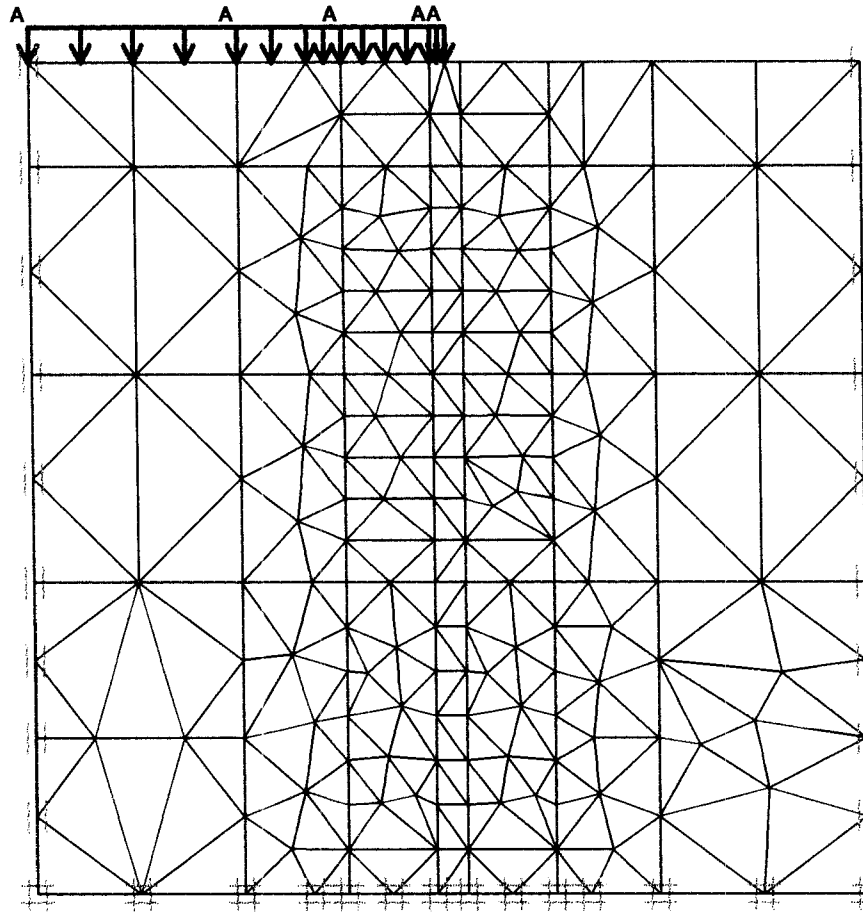
08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

-4.00 -3.50 -3.00 -2.50 -2.00 -1.50 -1.00 -0.50 -0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50 3.00 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50 6.00 6.50 7.00 7.50 8.00 8.50 9.00 9.50 10.00 10.50 11.00 11.50 12.00 12.50 13.00

9.00
8.50
8.00
7.50
7.00
6.50
6.00
5.50
5.00
4.50
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00



Connectivities



Project description

Bijlage 4E: Mesh

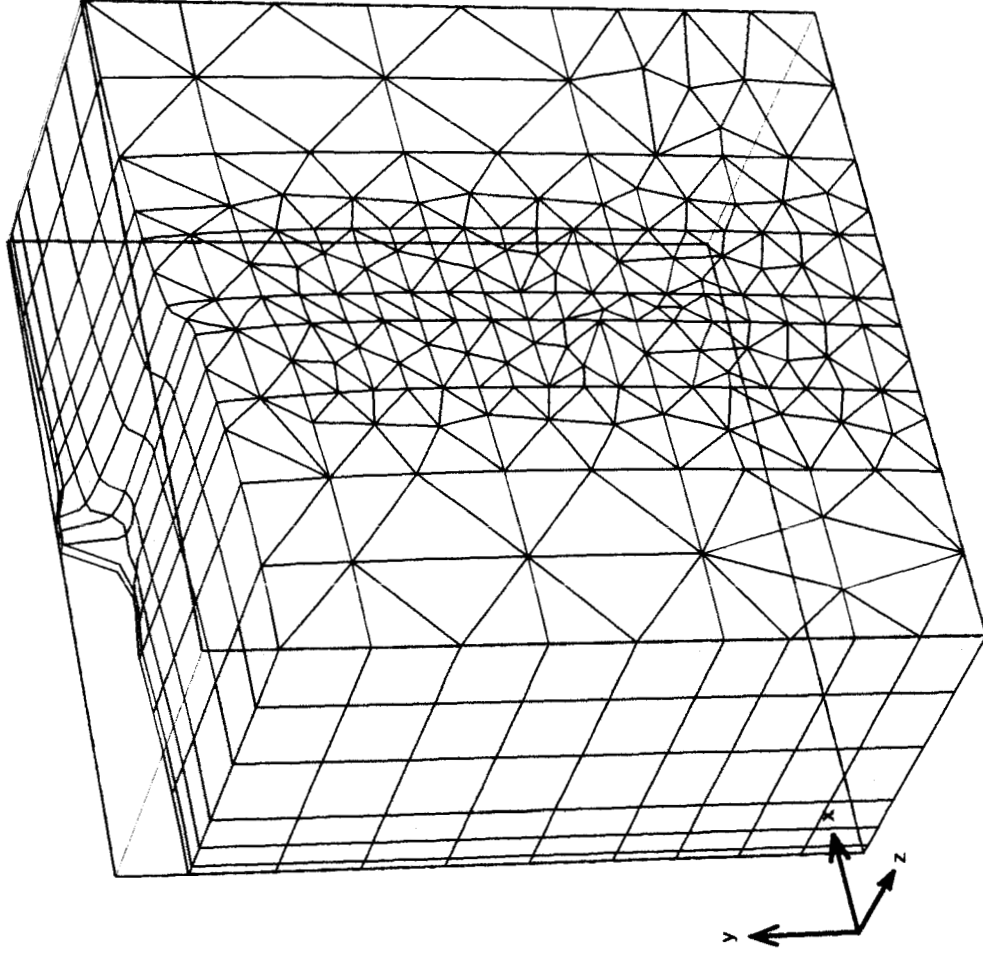
Project name

Date

User name

08-01-02

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



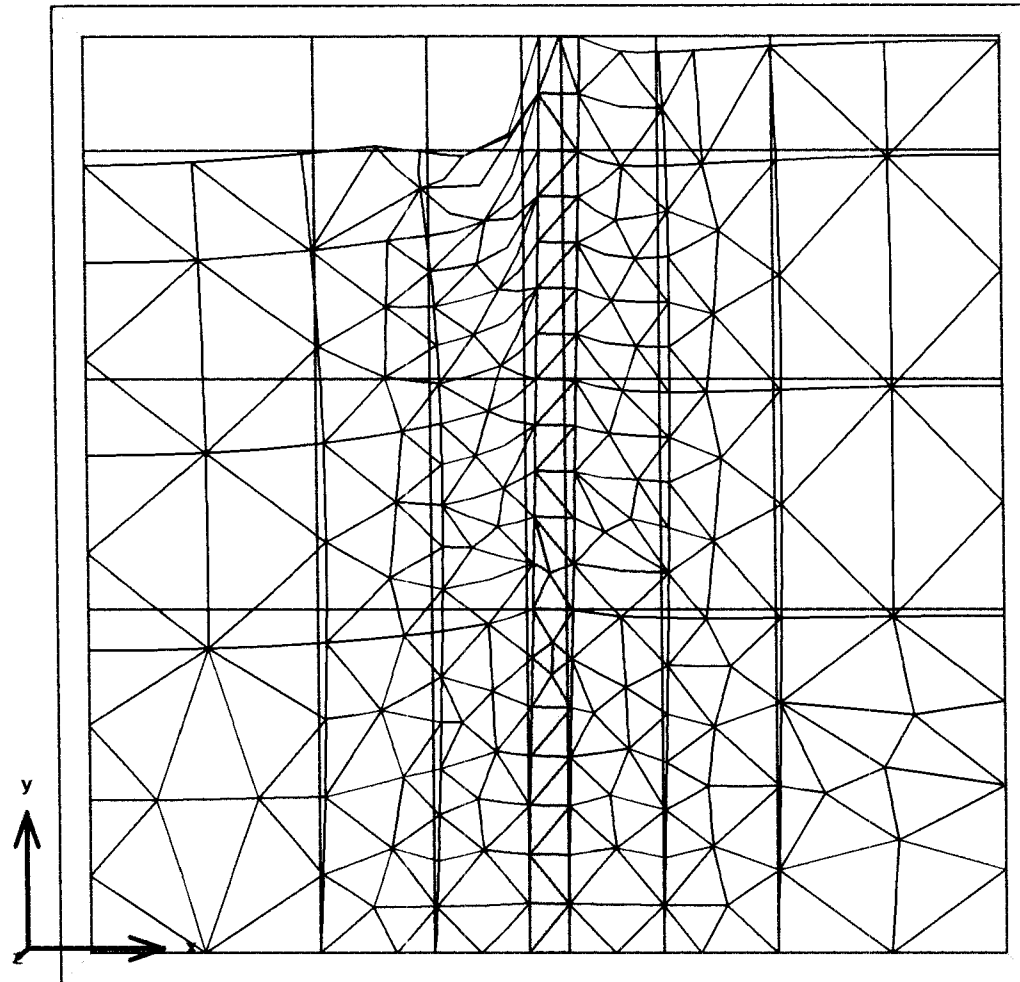
Deformed Mesh
Extreme total displacement $38,00 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 20,00 times)

Project description

Bijlage 4E: deformed mesh

Project name	Step	Date	User name
3D-halve_paal	12	08-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.





Deformed Mesh
 Extreme total displacement $38,00 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 30,00 times)



Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4E: deformed mesh t.p.v. de paal

Project name

3D-halve_paal

Step

12

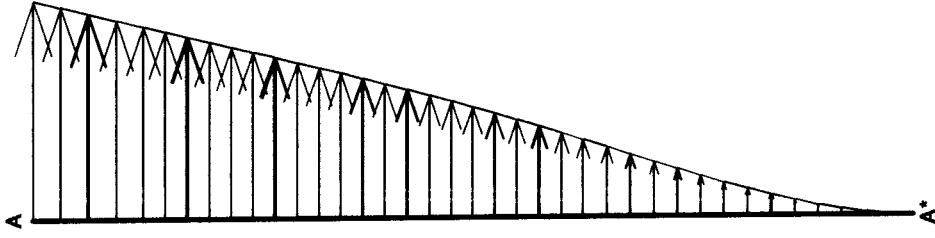
Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

-3.00 -2.50 -2.00 -1.50 -1.00 -0.50 0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50 3.00 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50 6.00 6.50 7.00 7.50 8.00 8.50 9.00 9.50 10.00 10.50 11.00 11.50 12.00 12.50 13.00



Horizontal displacements Ux
Extreme Ux for this plane 5,25*10⁻³ m

Project description

Bijlage 4E: horizontale verplaatsing paal

Project name

3D-halve_paal

Step

12

Date

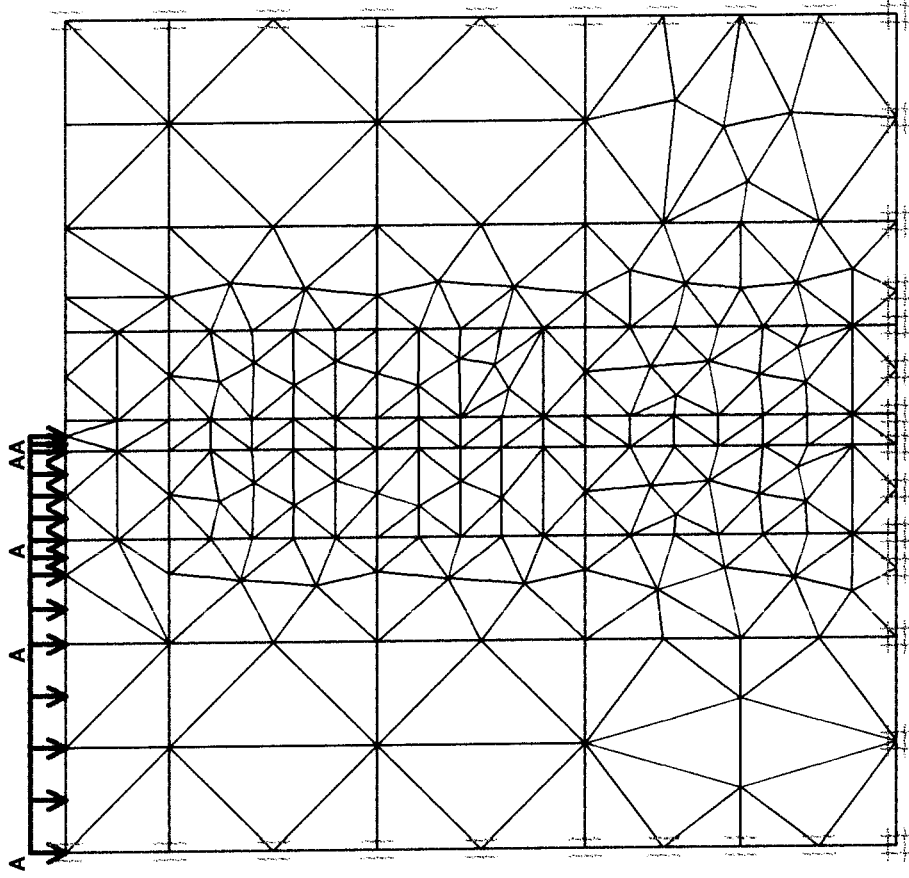
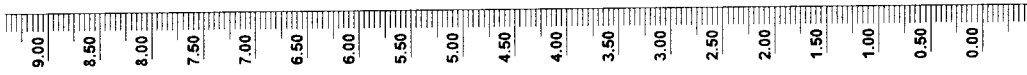
08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Connectivities

Project description

Bijlage 4F: Mesh

Project name

User name

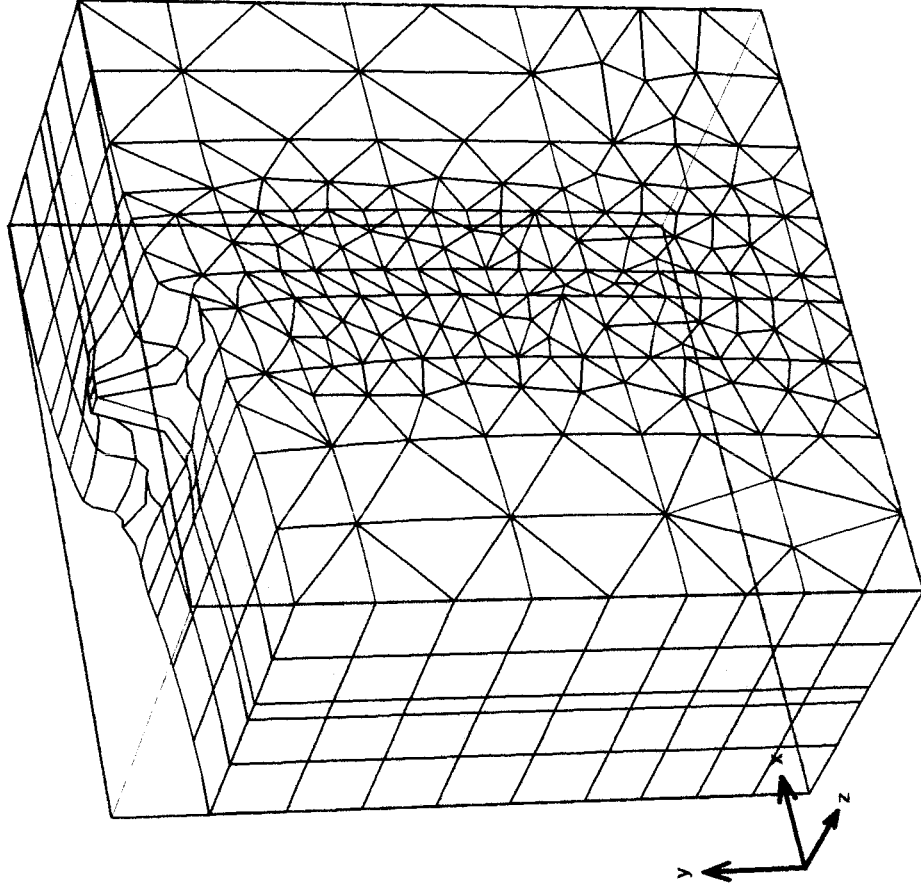
Date

08-01-02

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $36.19 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 30,00 times)

Project description

Bijlage 4F: deformed mesh

Project name

3Dpaal

Step

11

Date

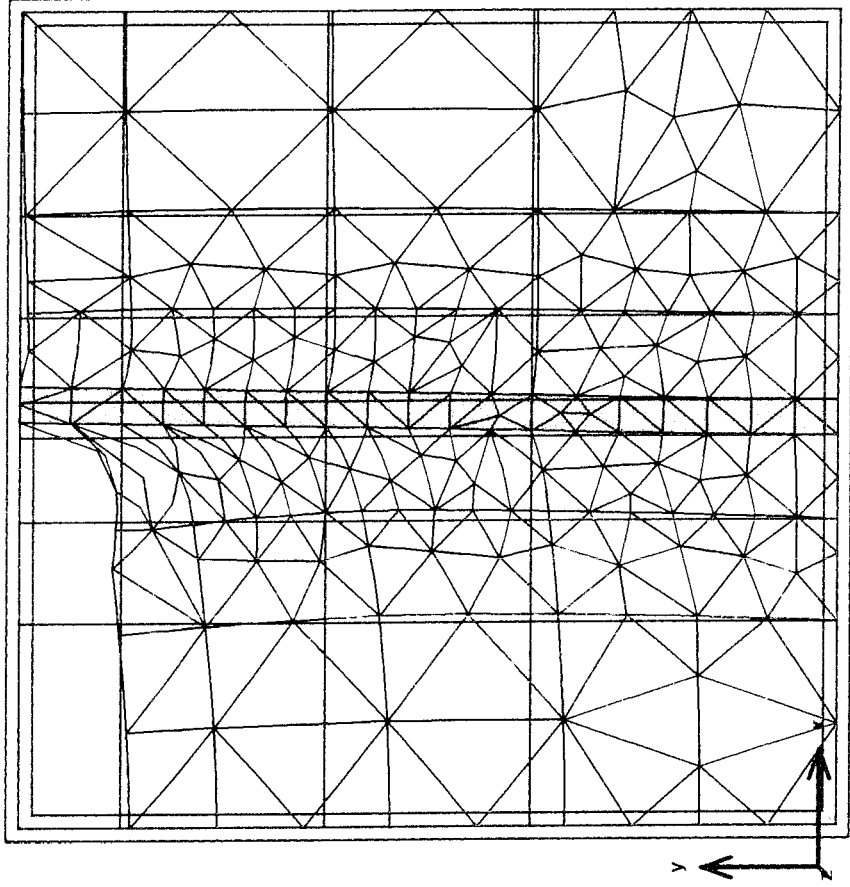
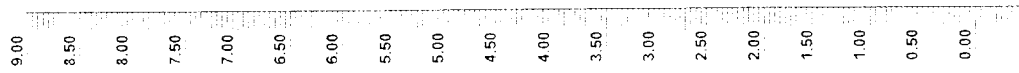
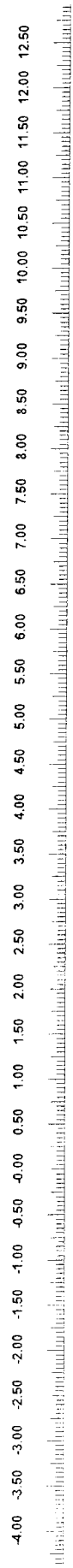
08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement 36.19*10⁻³ m
 (displacements scaled up 30,00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
 Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4F: deformed mesh t.p.v. de paal

Project name

3Dpaal

Step

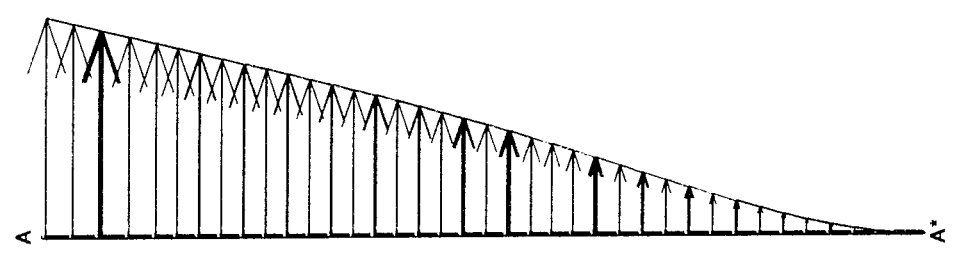
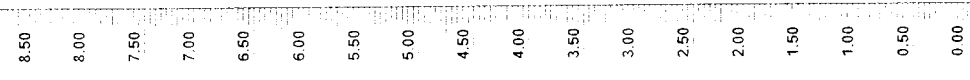
11

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements UX
 Extreme UX for this plane $5.19 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
 Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4F: horizontale verplaatsing paal

Project name

3Dpaal

Step

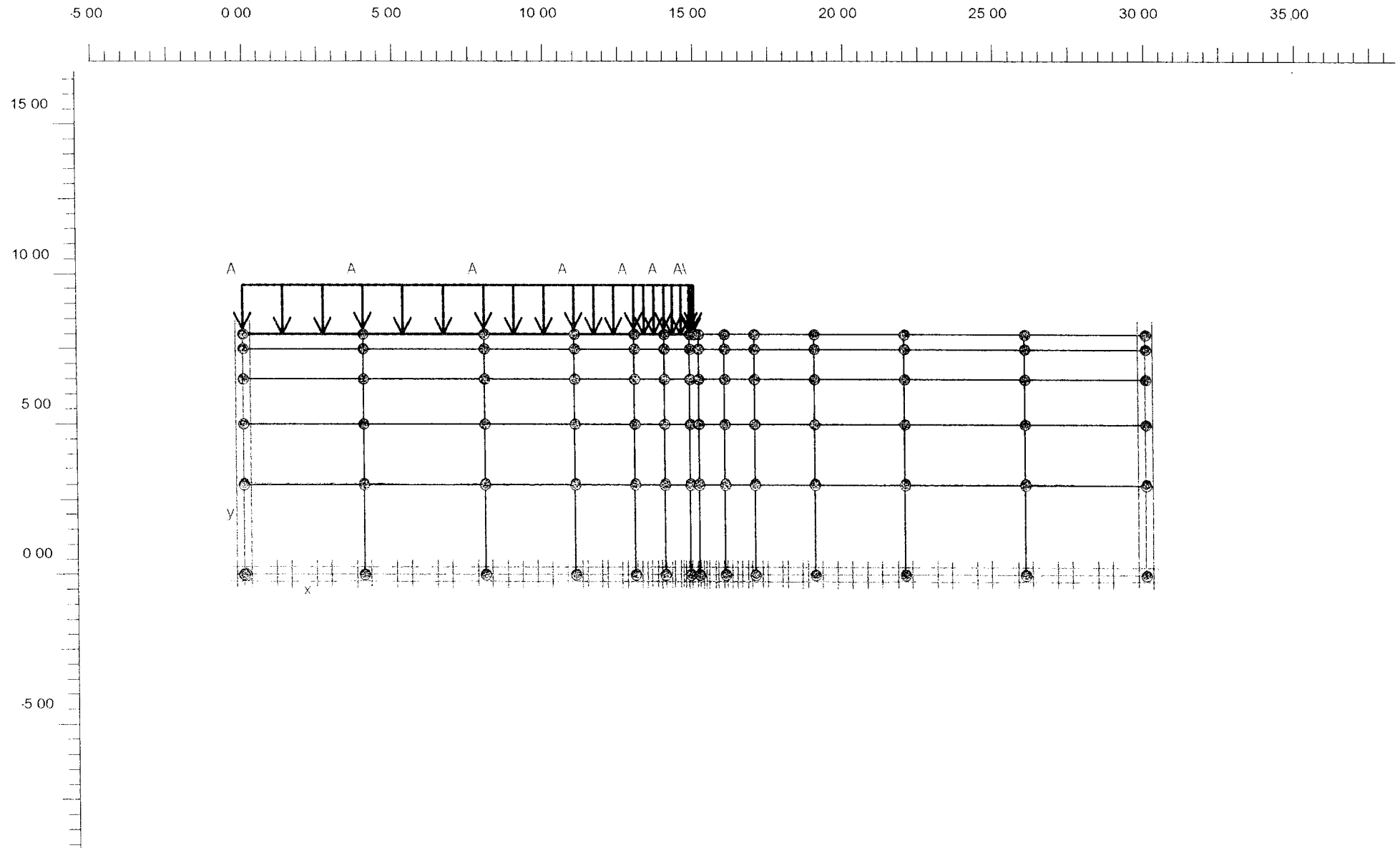
11

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Bijlage 4G: model

Project name

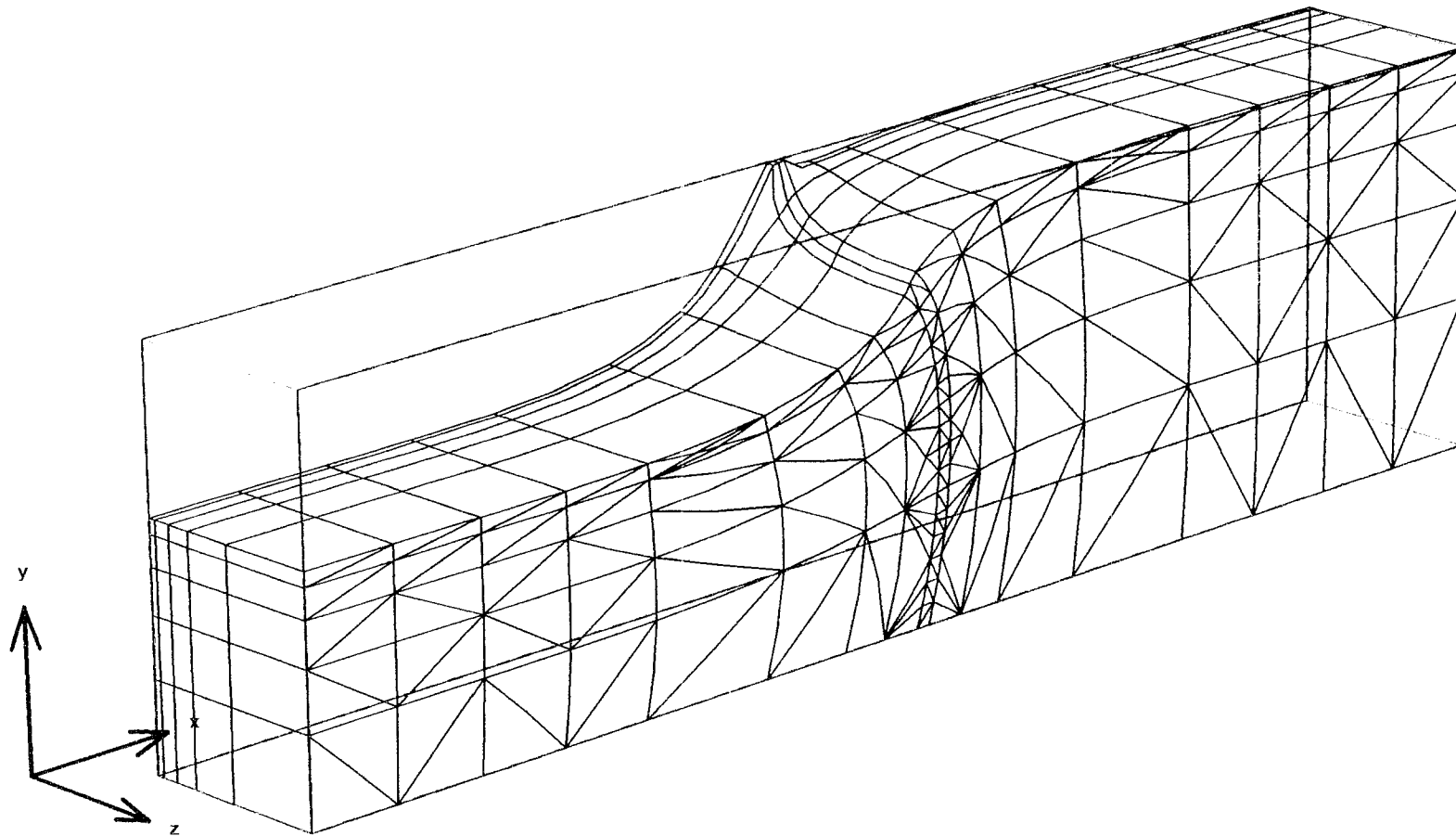
3D-model(LE2)....

Date

8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,52 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4G: deformed mesh

Project name

3D-model(LE2)

Step

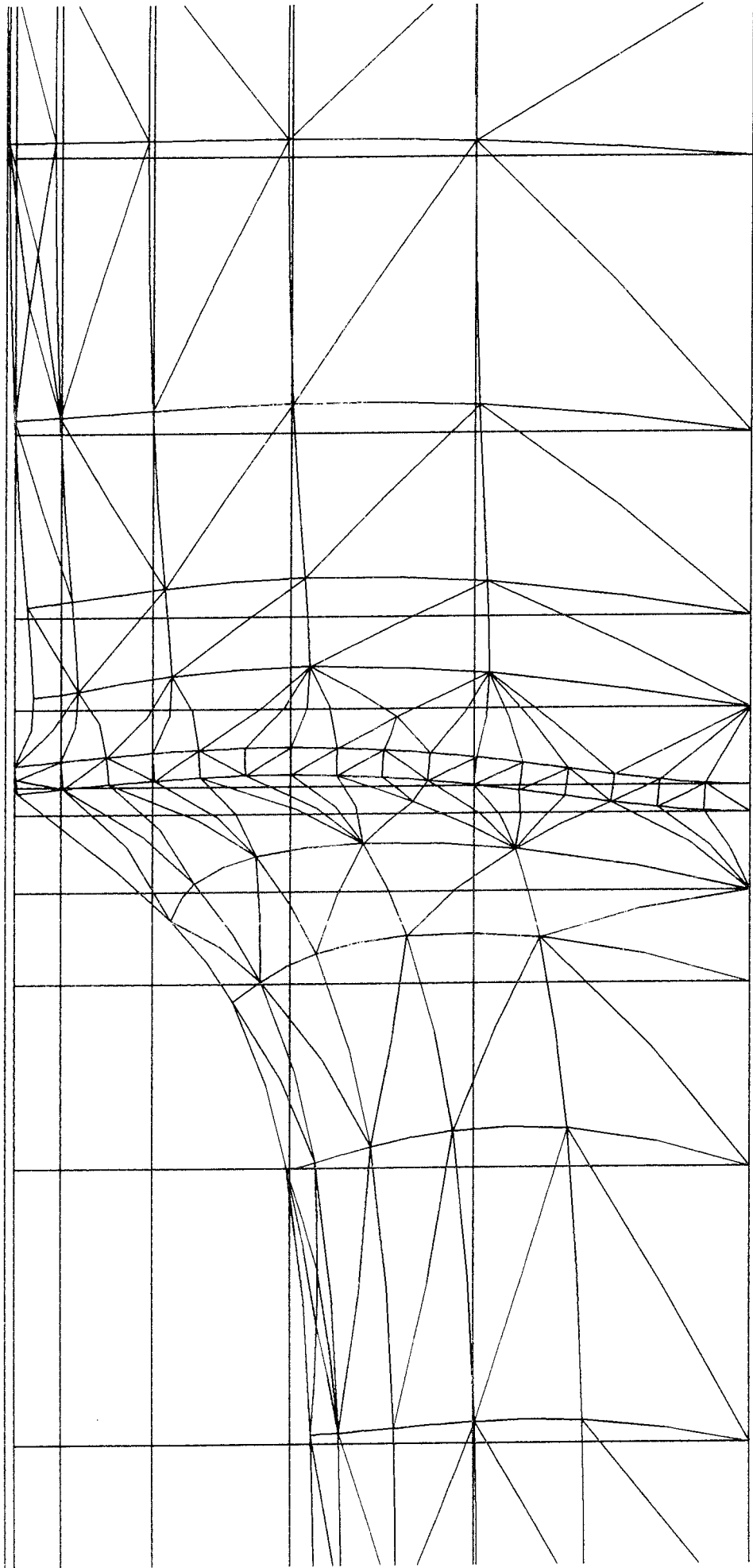
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
Extreme total displacement: $43,52 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 75,00 times)

Project description

Bijlage 4G: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3D-model(LE2)

Date

08-01-02

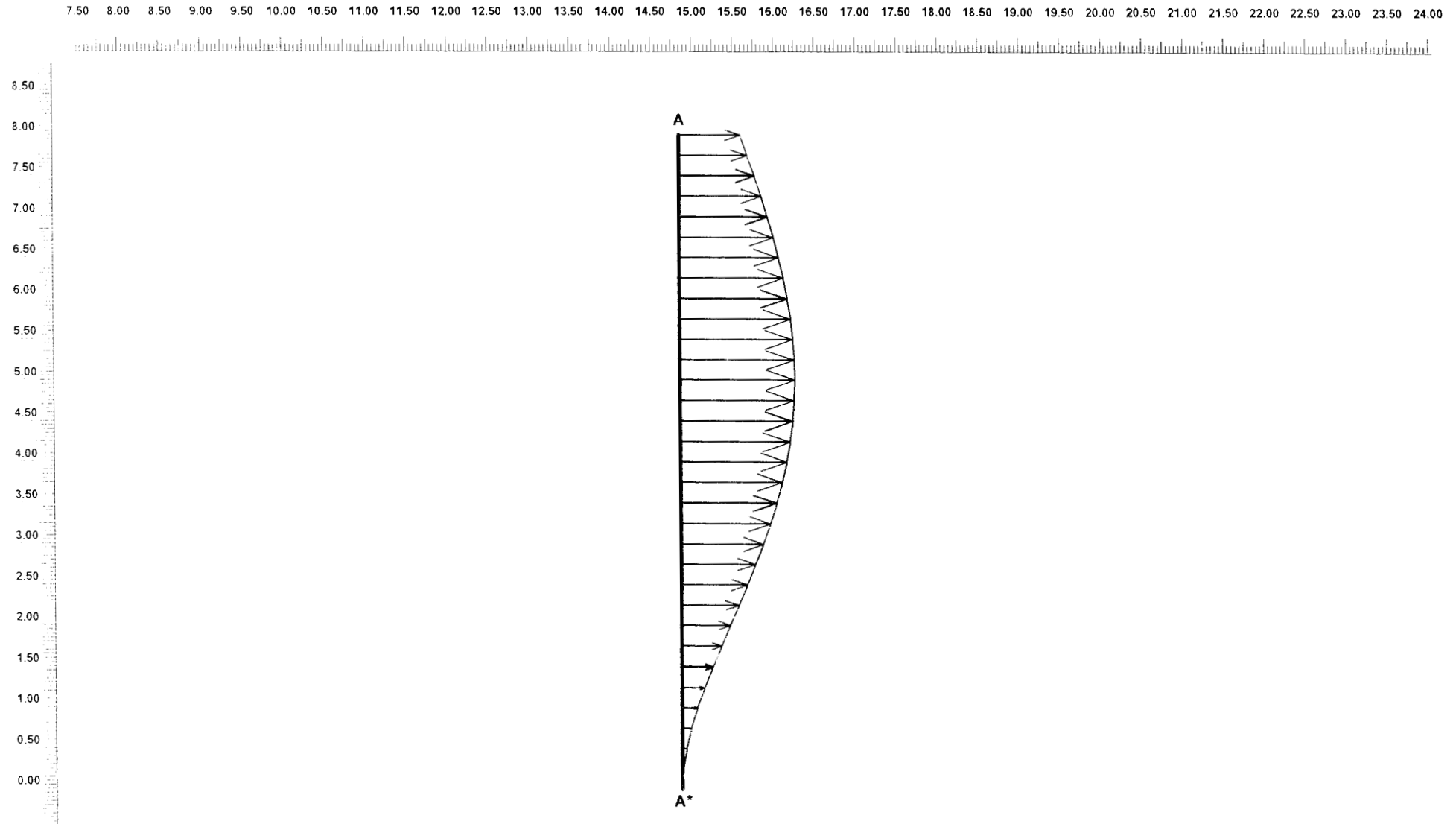
User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210



Horizontal displacements Ux
 Extreme Ux for this plane $5,76 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4G: horizontale verplaatsing paal

Project name

3D-model(LE2)

Step

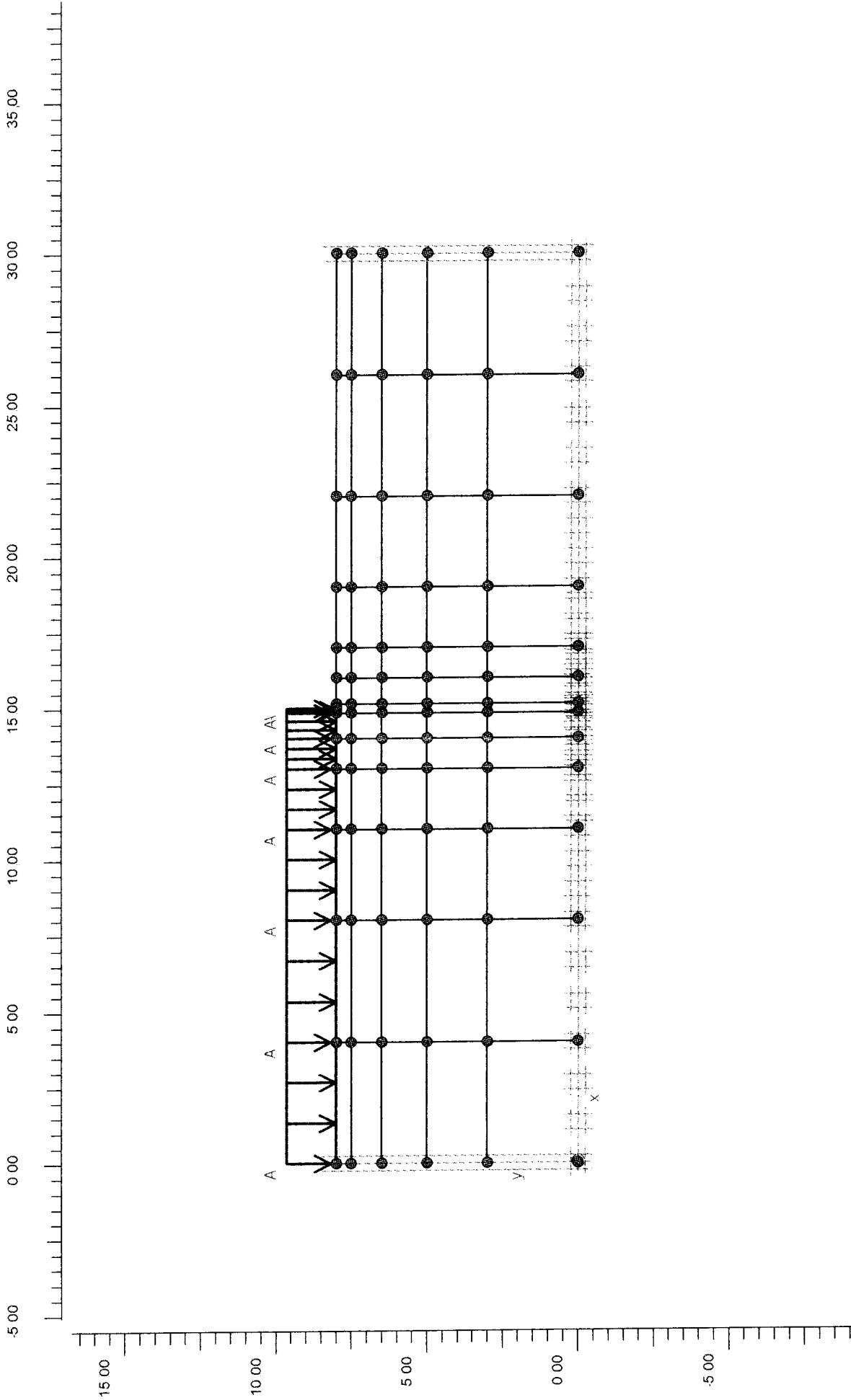
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 4H: model

Project name

3D-model(MC2)...

Date

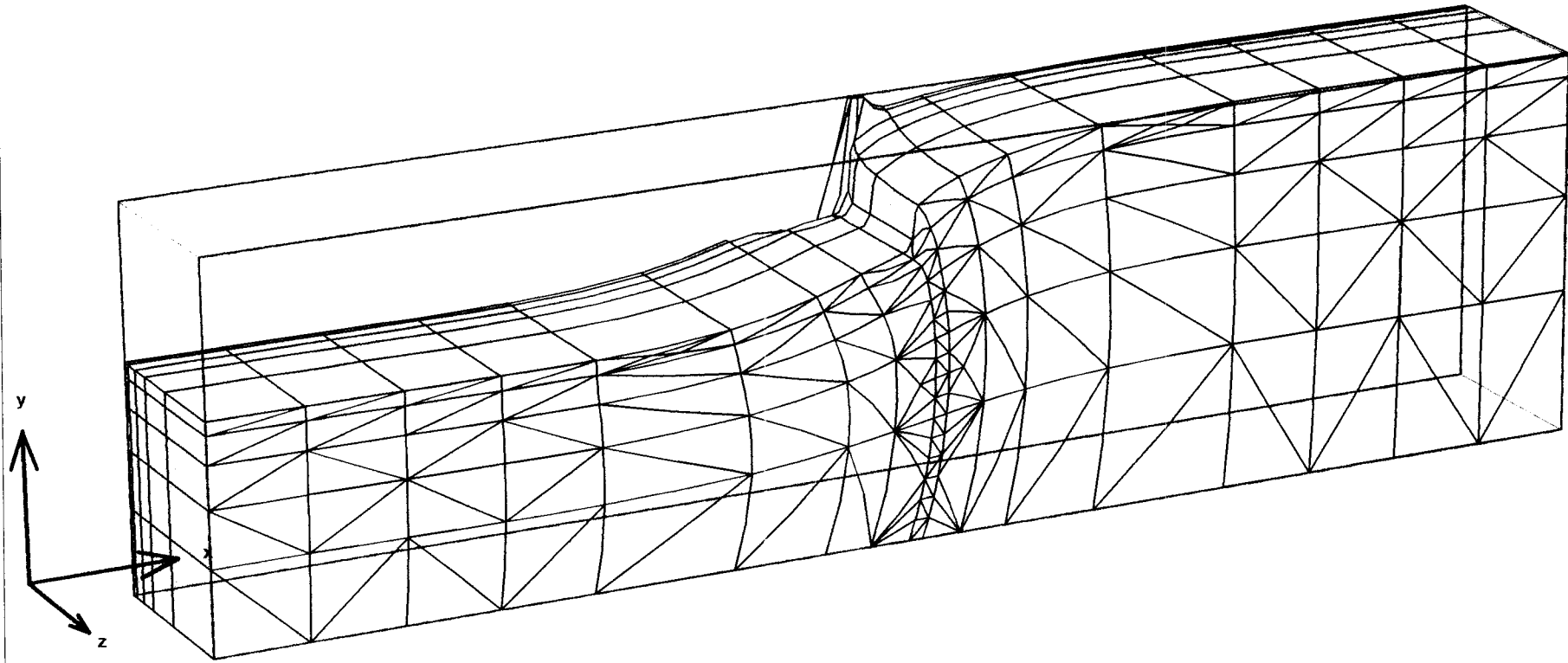
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,53 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Bijlage 4H: deformed mesh

Project name

3D-model(MC2)

Step

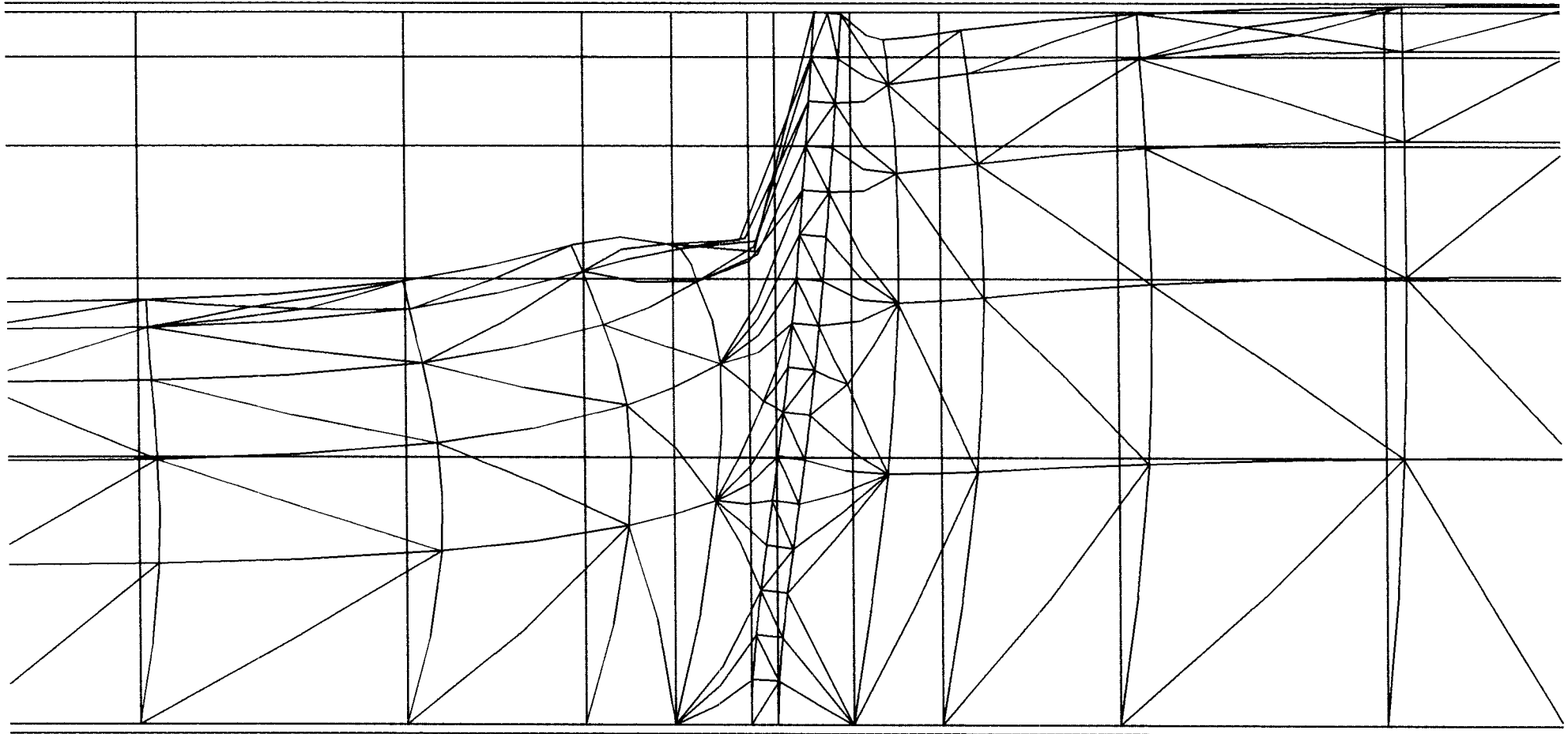
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,53 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4H: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3D-model(MC2)

Step

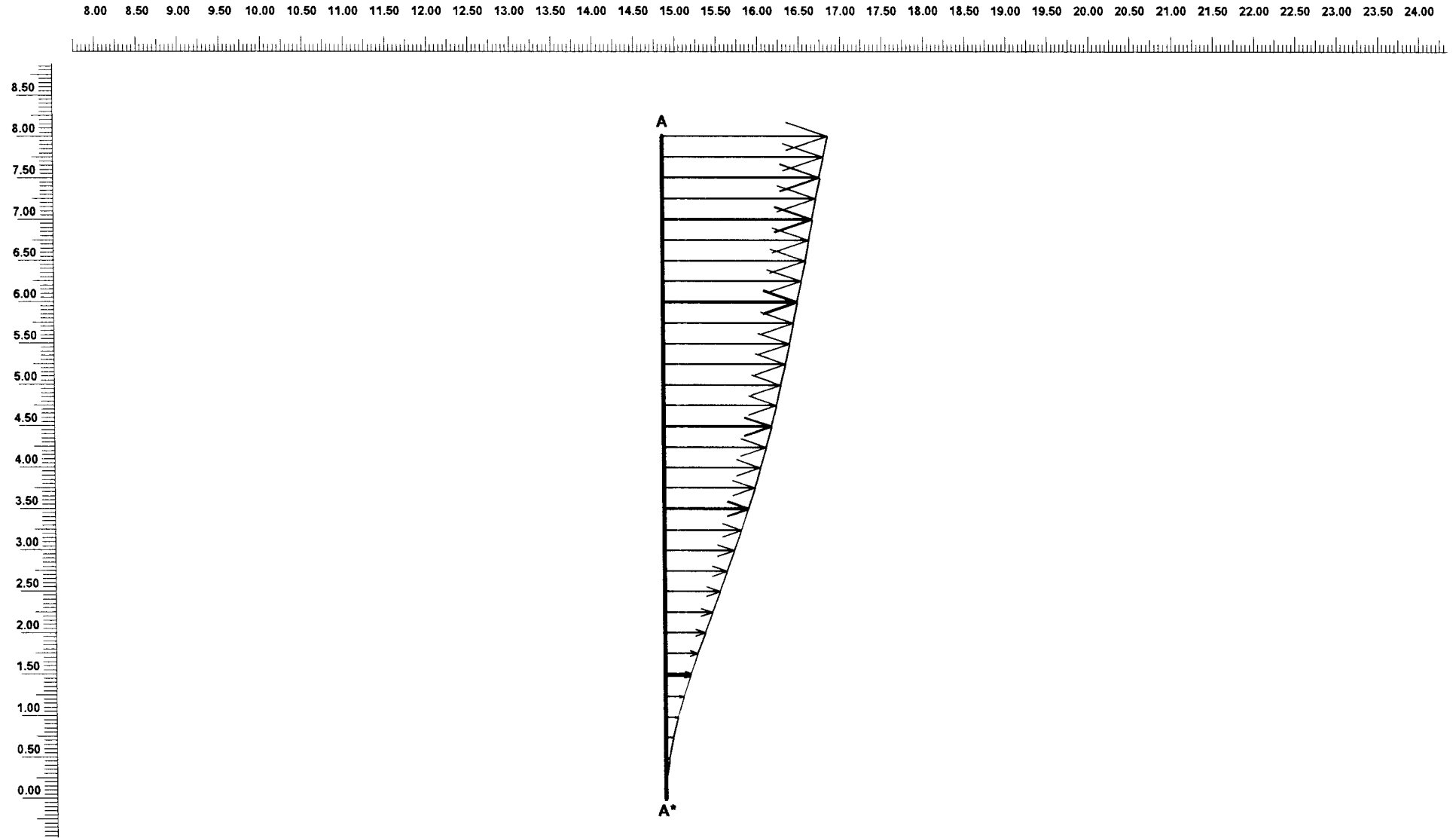
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements Ux
 Extreme Ux for this plane $10,03 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4H: horizontale verplaatsing paal

Project name

3D-model(MC2)

Step

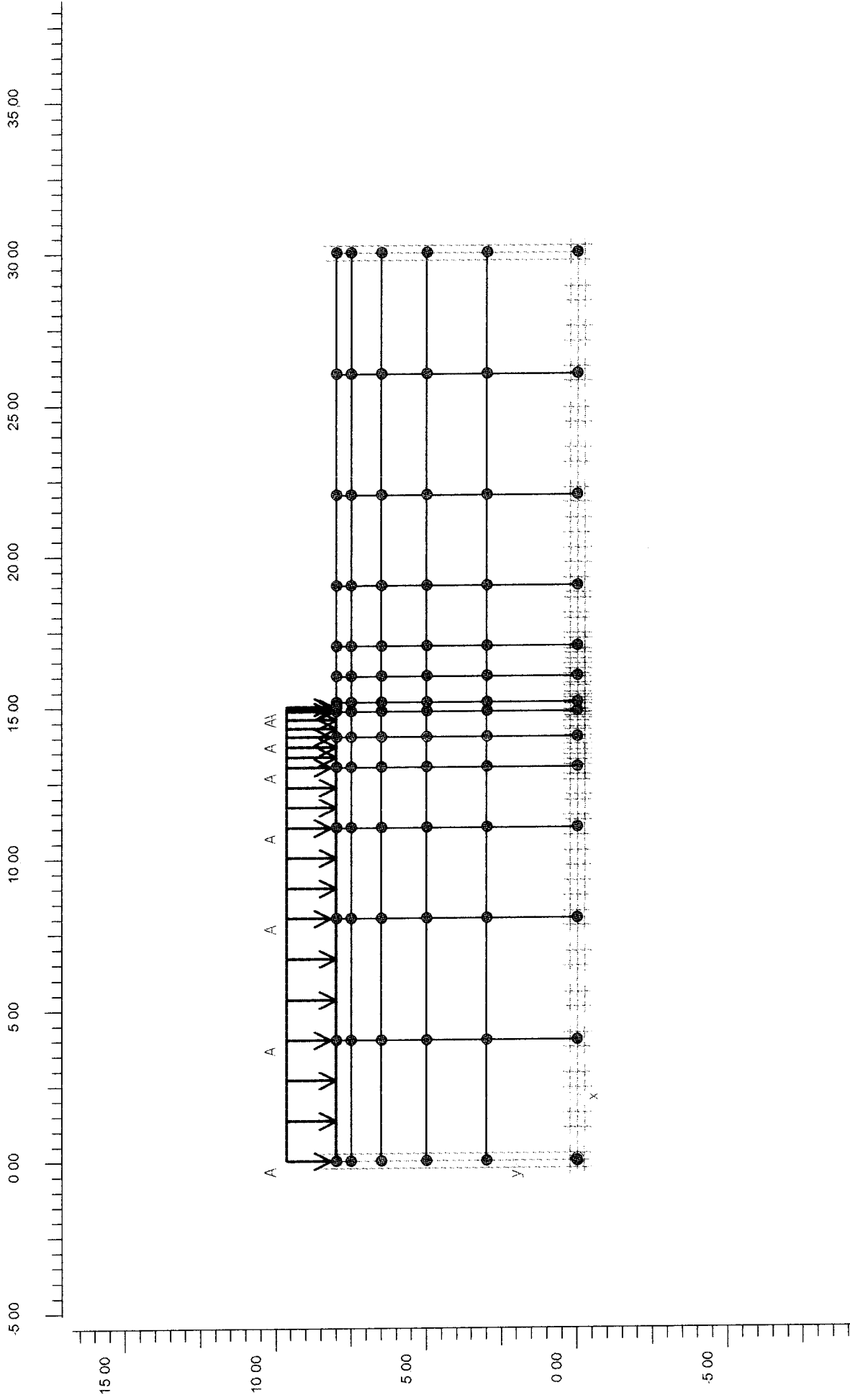
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 4I: model

Project name

3D-model(MC3)...

Date

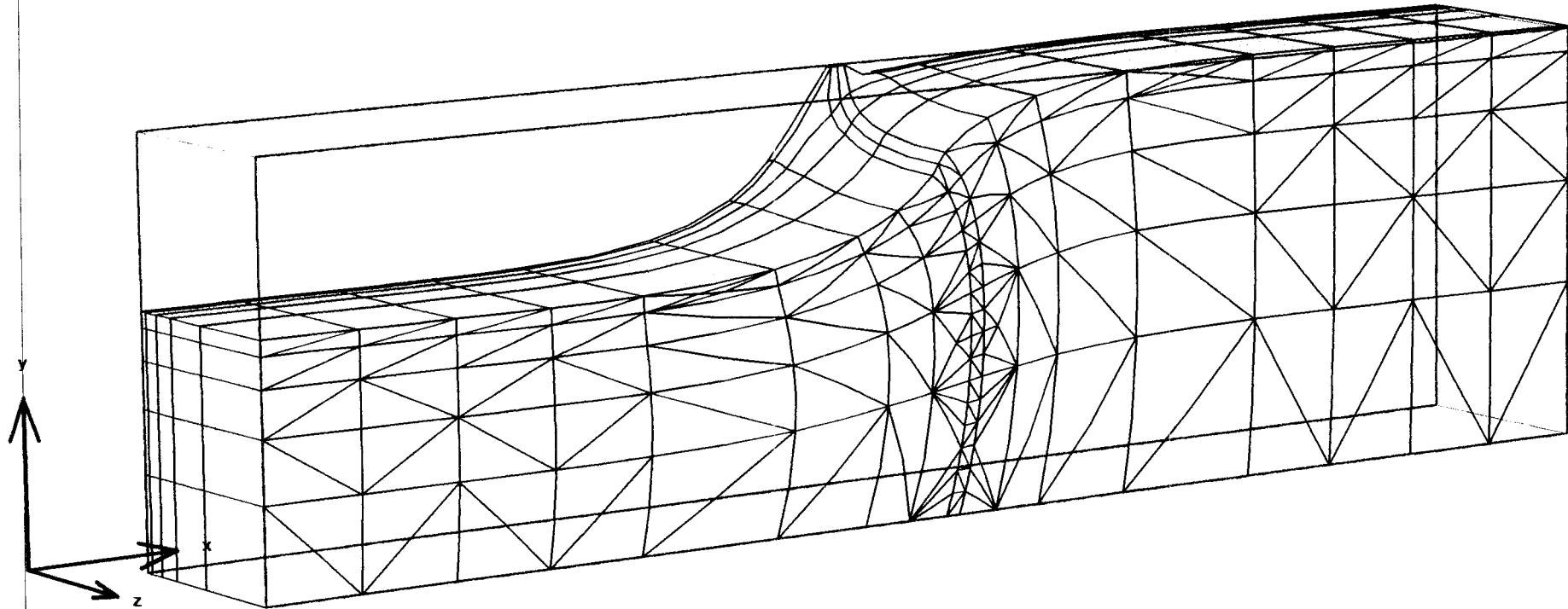
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,52 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Bijlage 4l: deformed mesh

Project name

3D-model(MC3)

Step

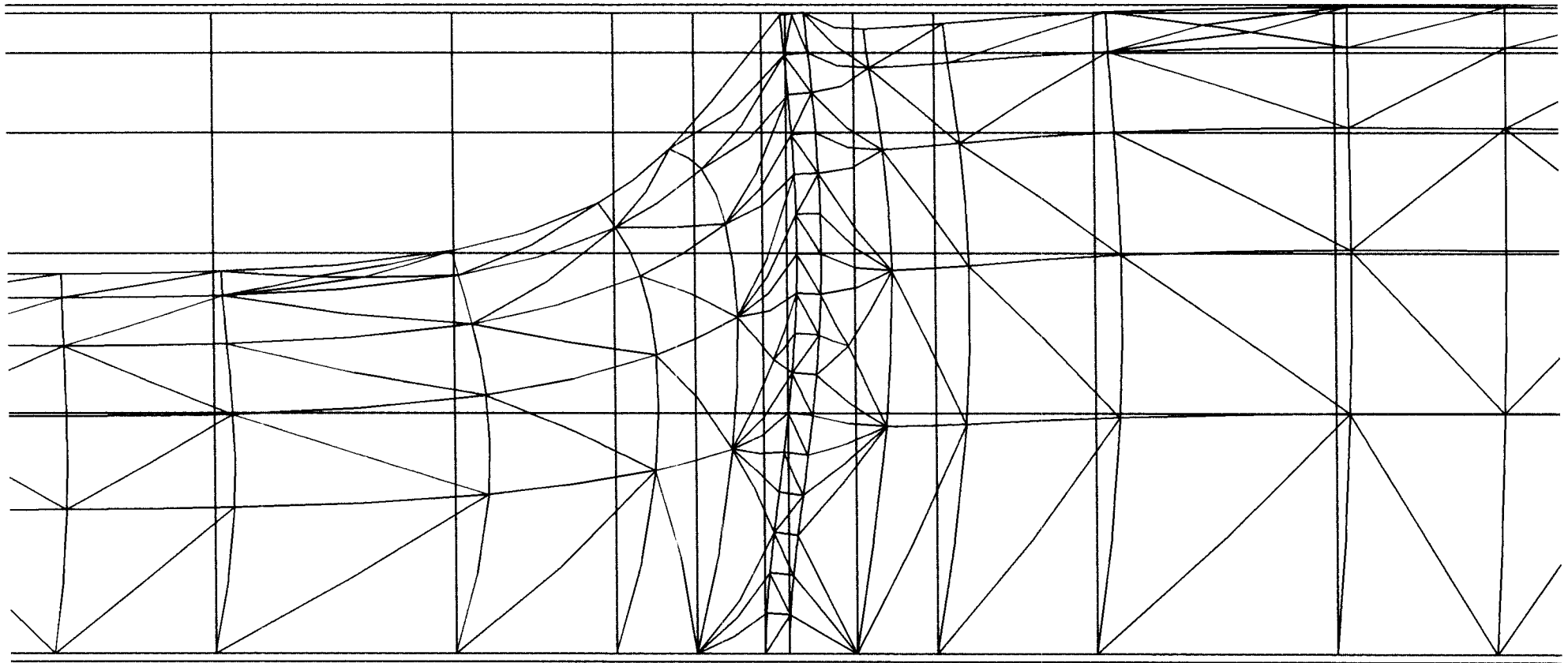
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,52 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4I: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3D-model(MC3)

Step

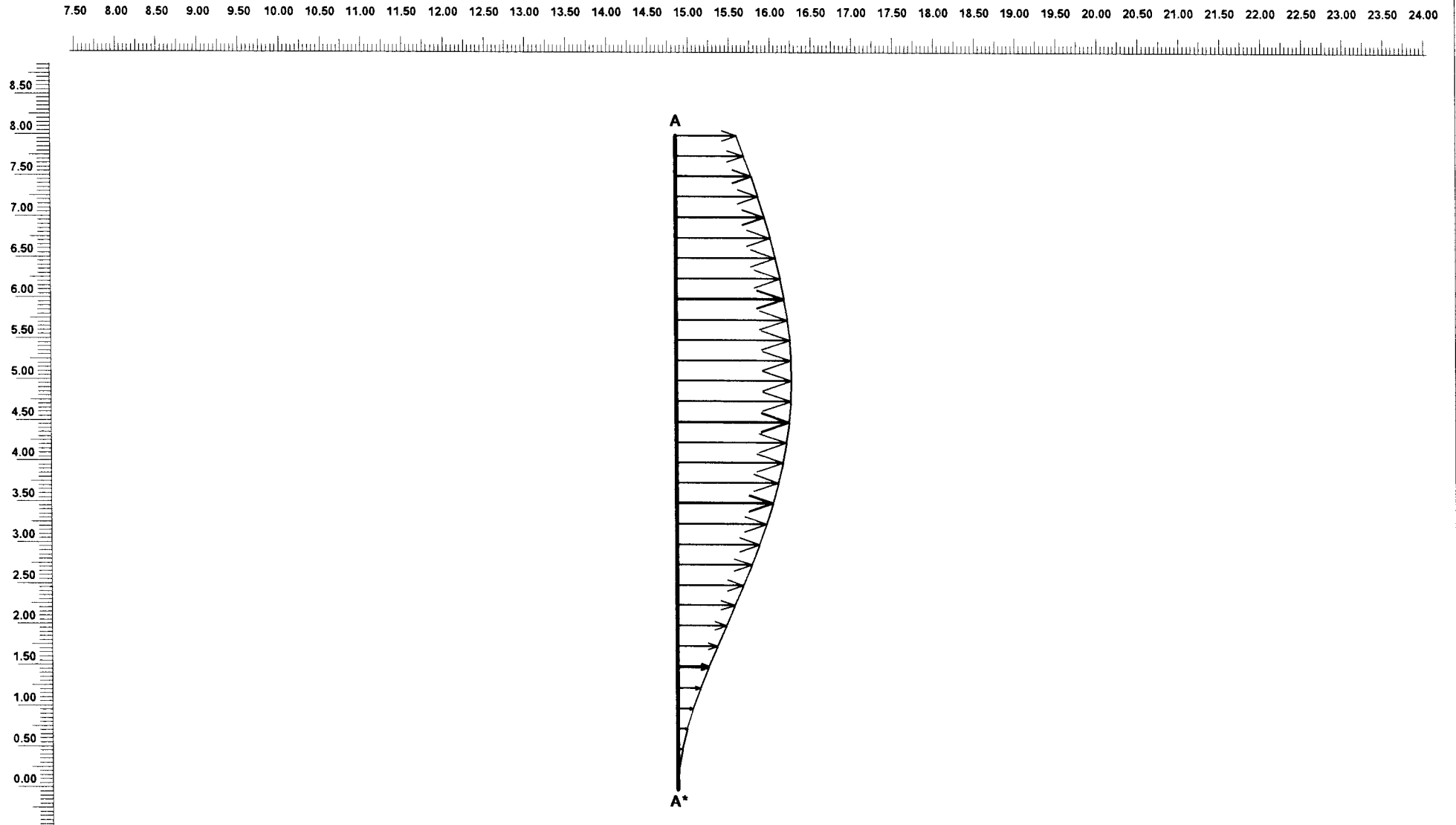
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements Ux
 Extreme Ux for this plane $5,75 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4I: horizontale verplaatsing paal

Project name

3D-model(MC3)

Step

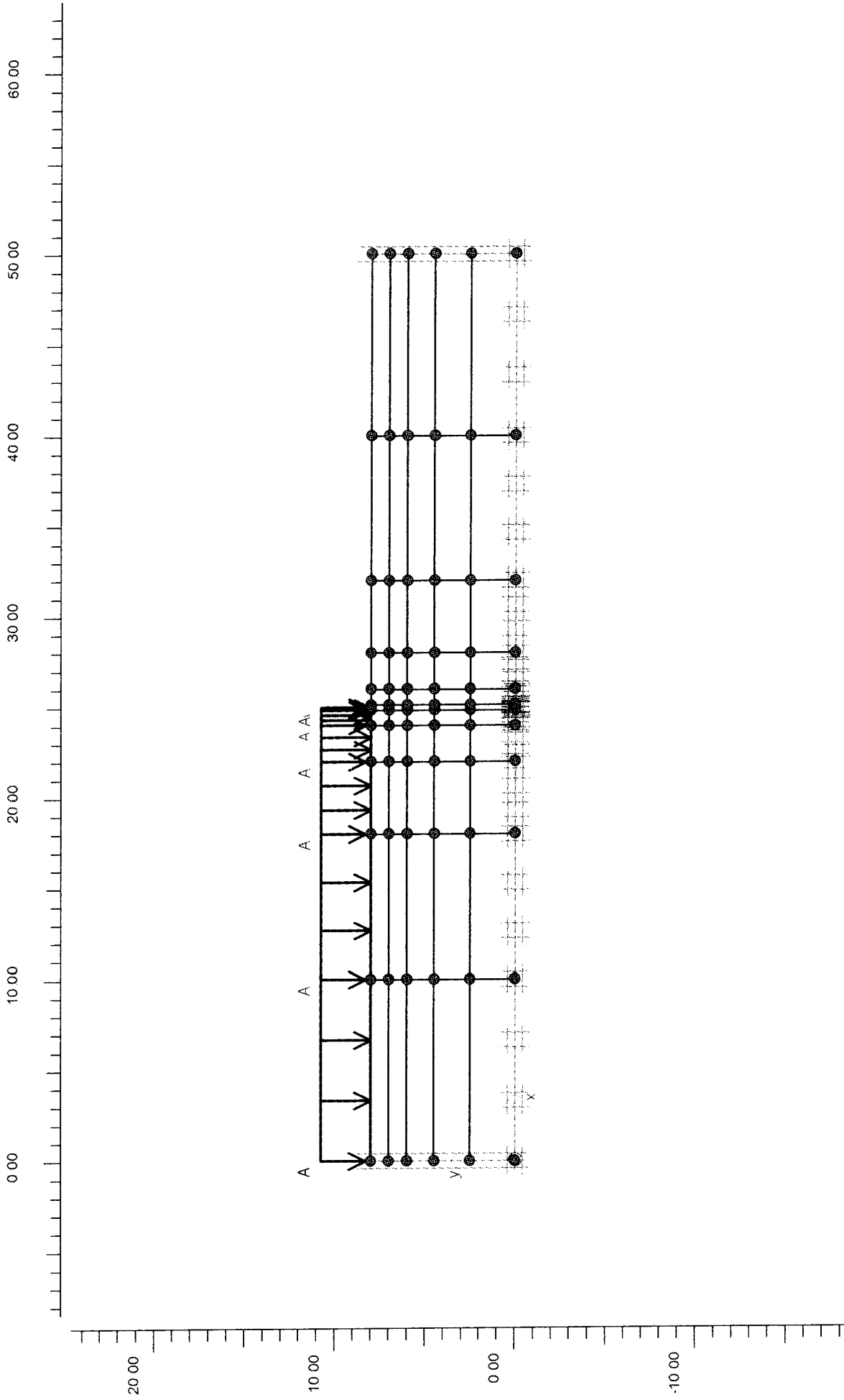
1

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 4J: model

Project name

3D-model(b2).PL3

Date

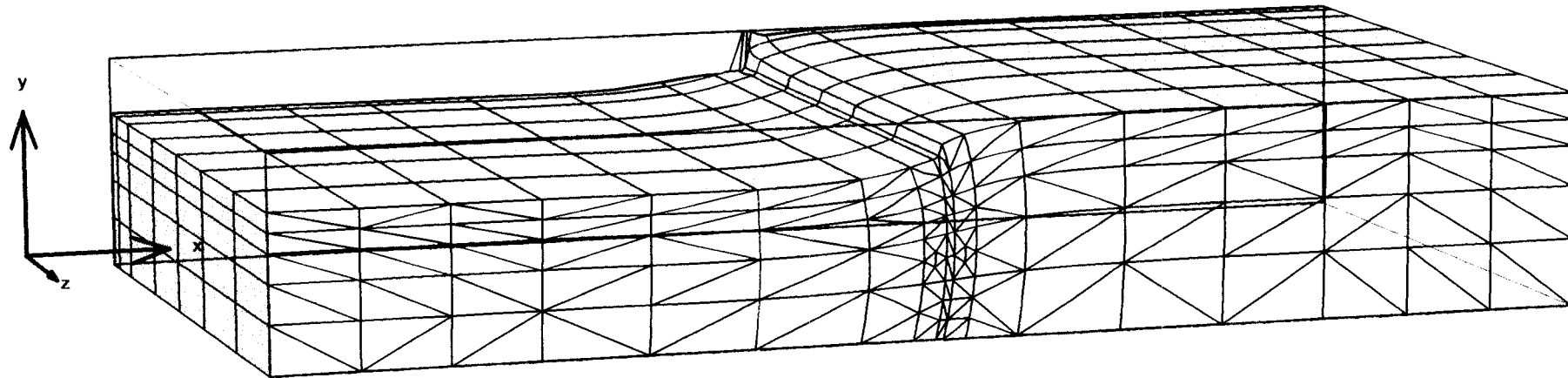
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,57 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 50,00 times)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Bijlage 4J: deformed mesh

Project name

3D-model(b2)

Step

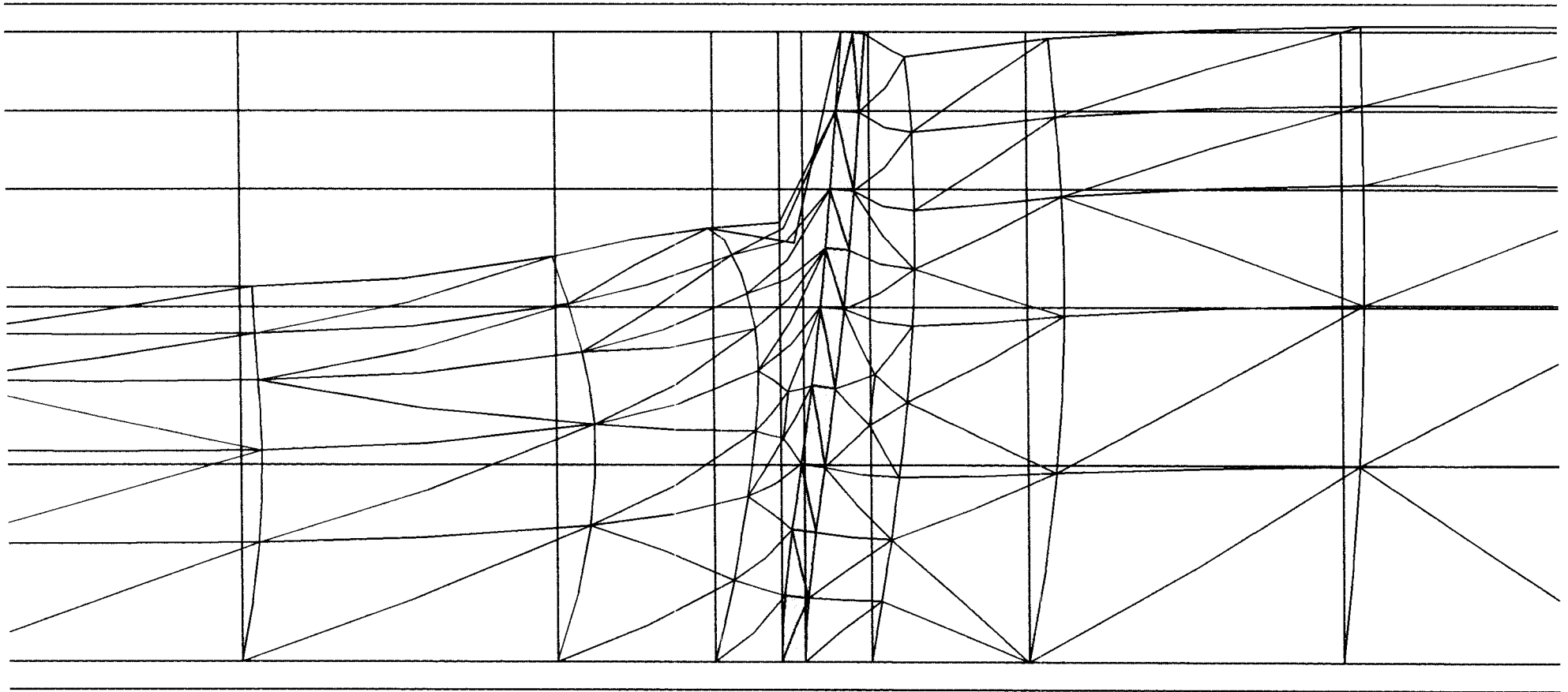
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,57 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4J: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3D-model(b2)

Step

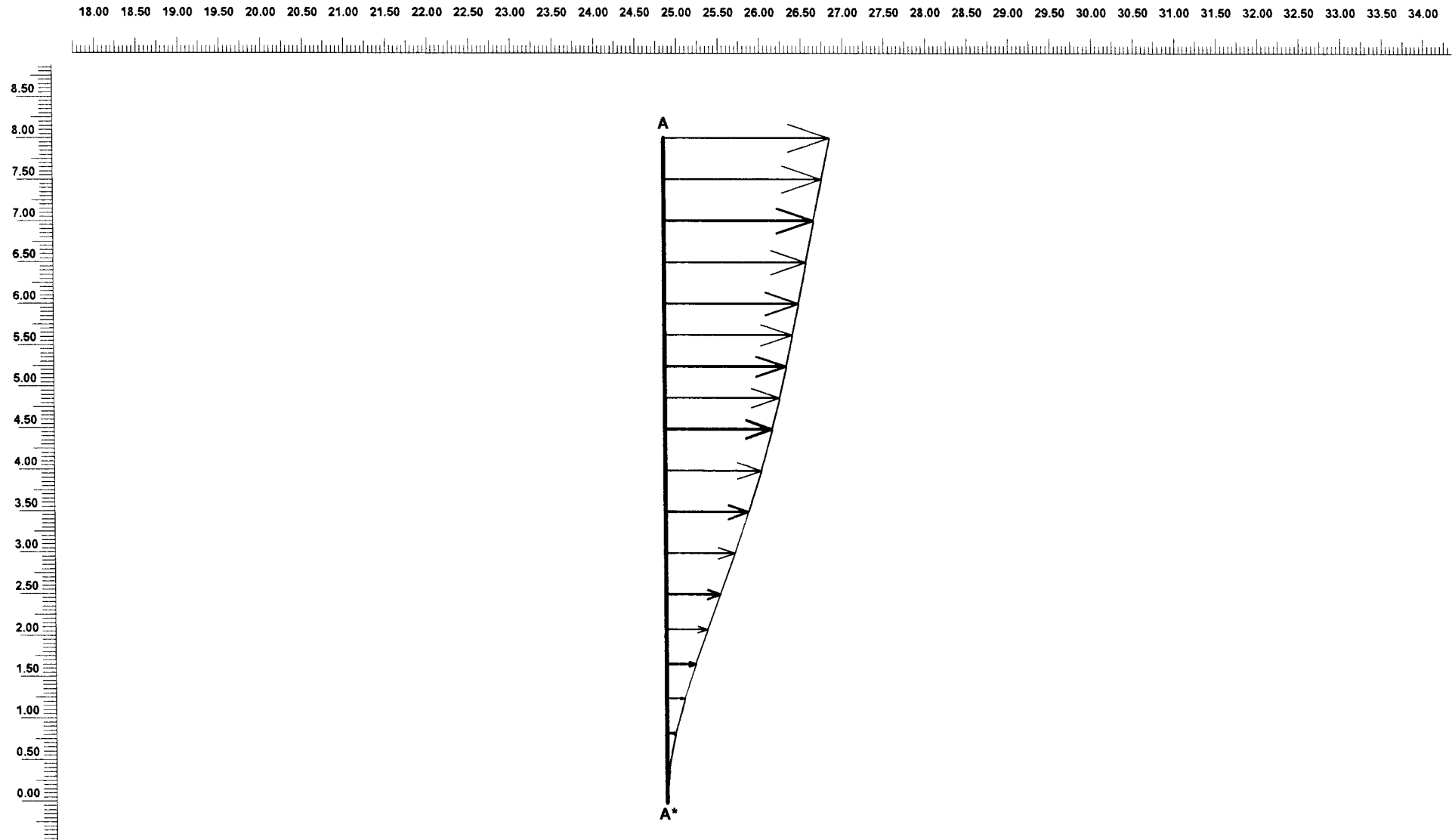
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements Ux
 Extreme Ux for this plane $10,70 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4J: horizontale verplaatsing paal

Project name

3D-model(b2)

Step

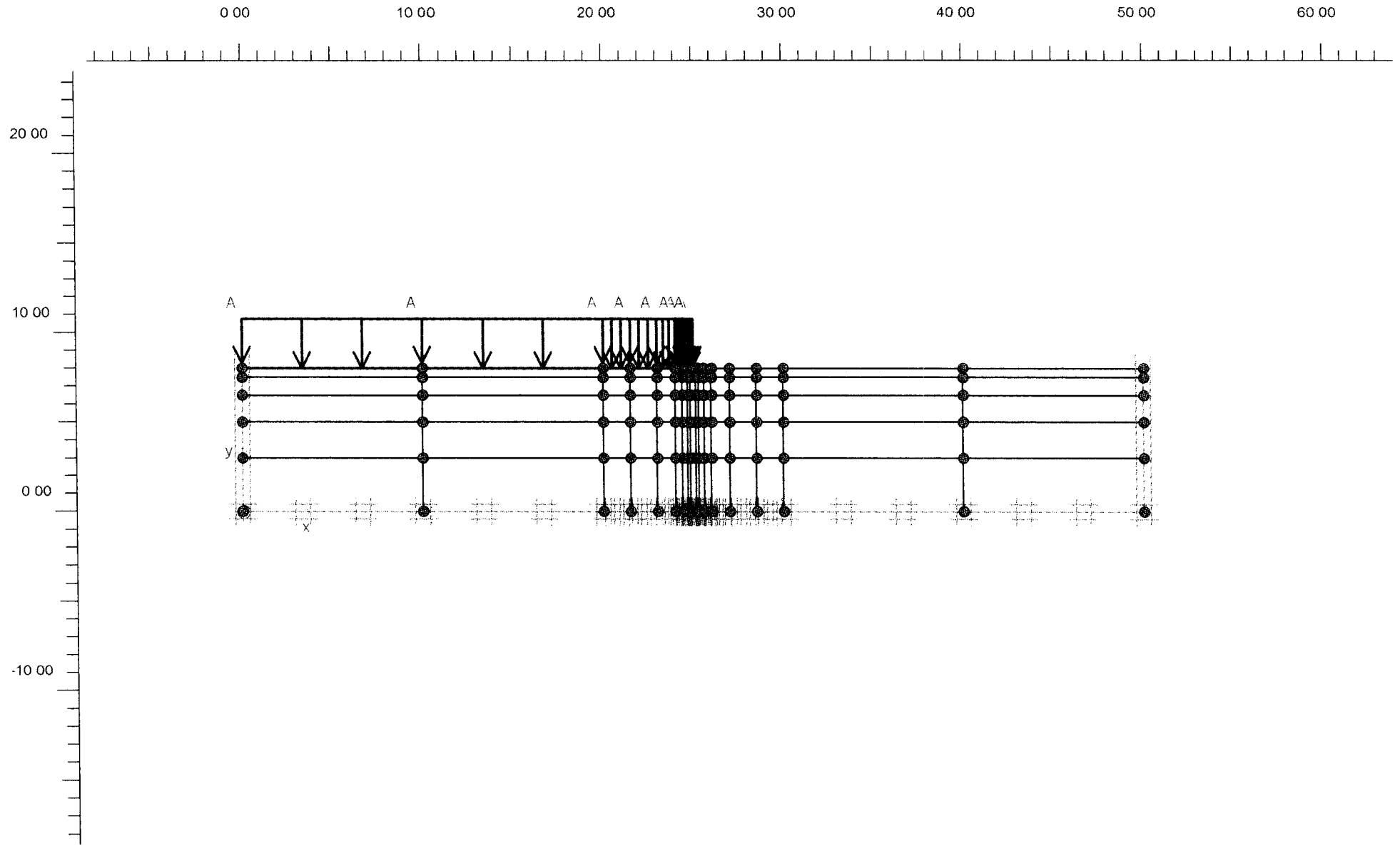
12

Date

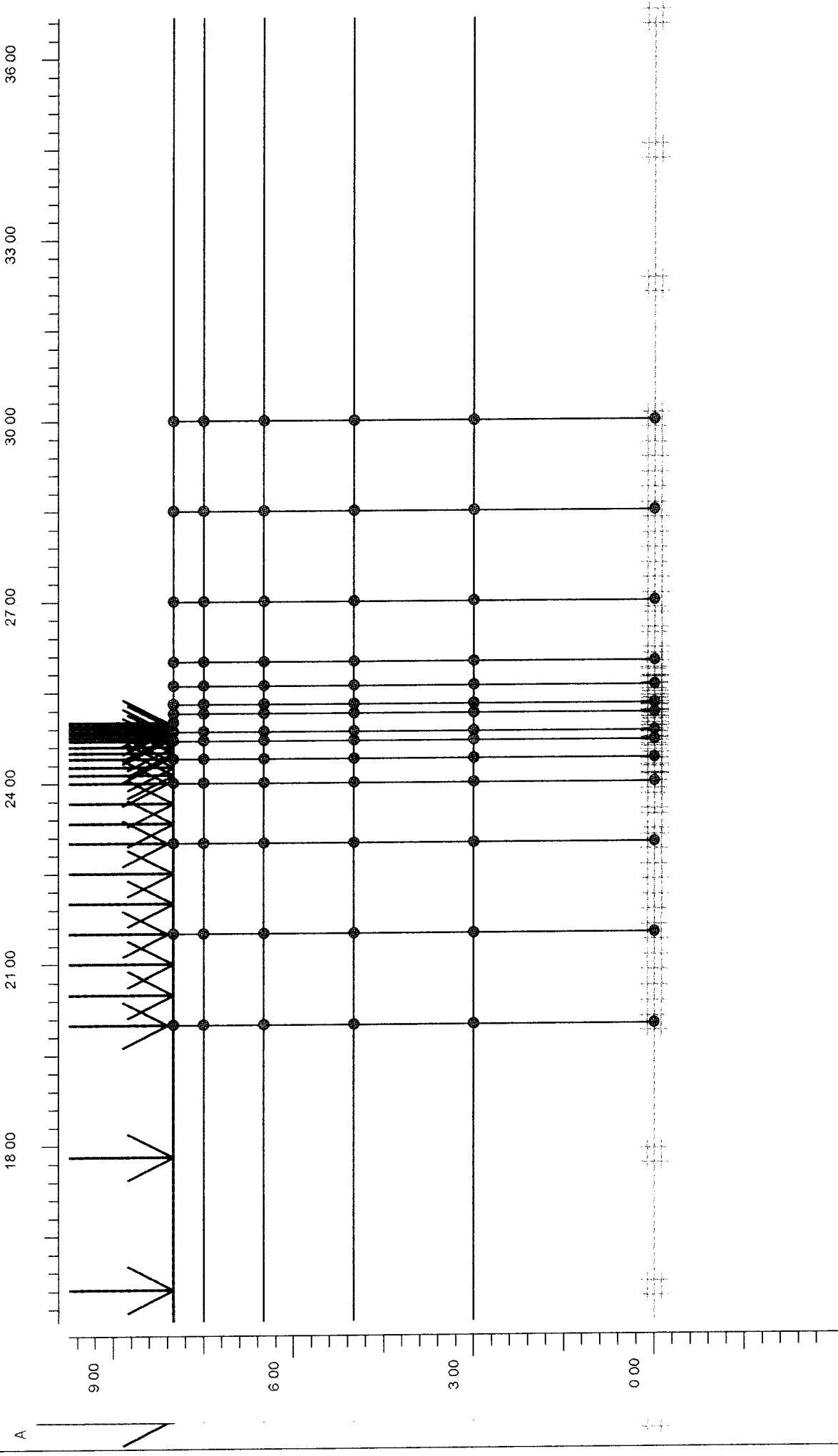
08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description			Bijlage 4K: model		
Project name	Date	User name			
3D-model(b3).PL3	8-1-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.			



Project description

Bijlage 4K: clusters nabij paal

Project name

3D-model(b3).PL3

Date

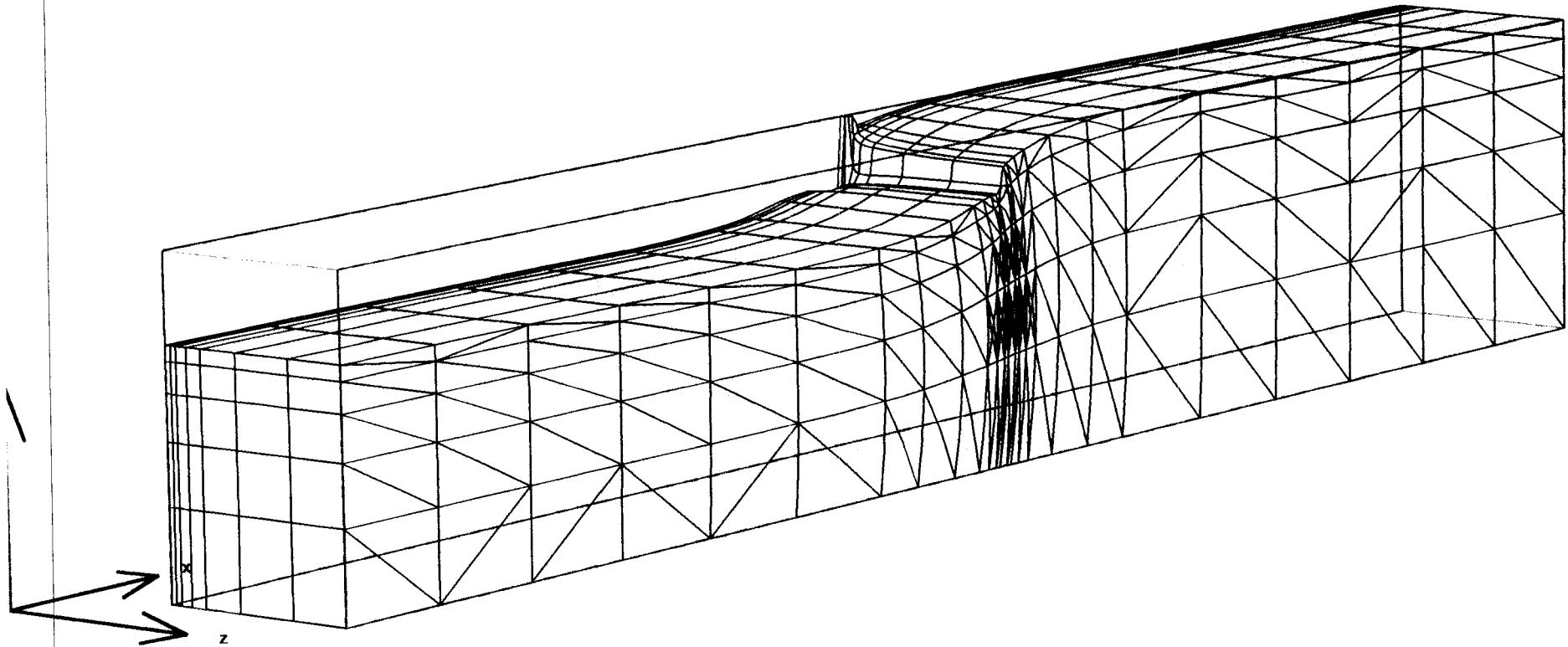
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,44 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 50,00 times)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4K: deformed mesh

Project name

3D-model(b3)

Step

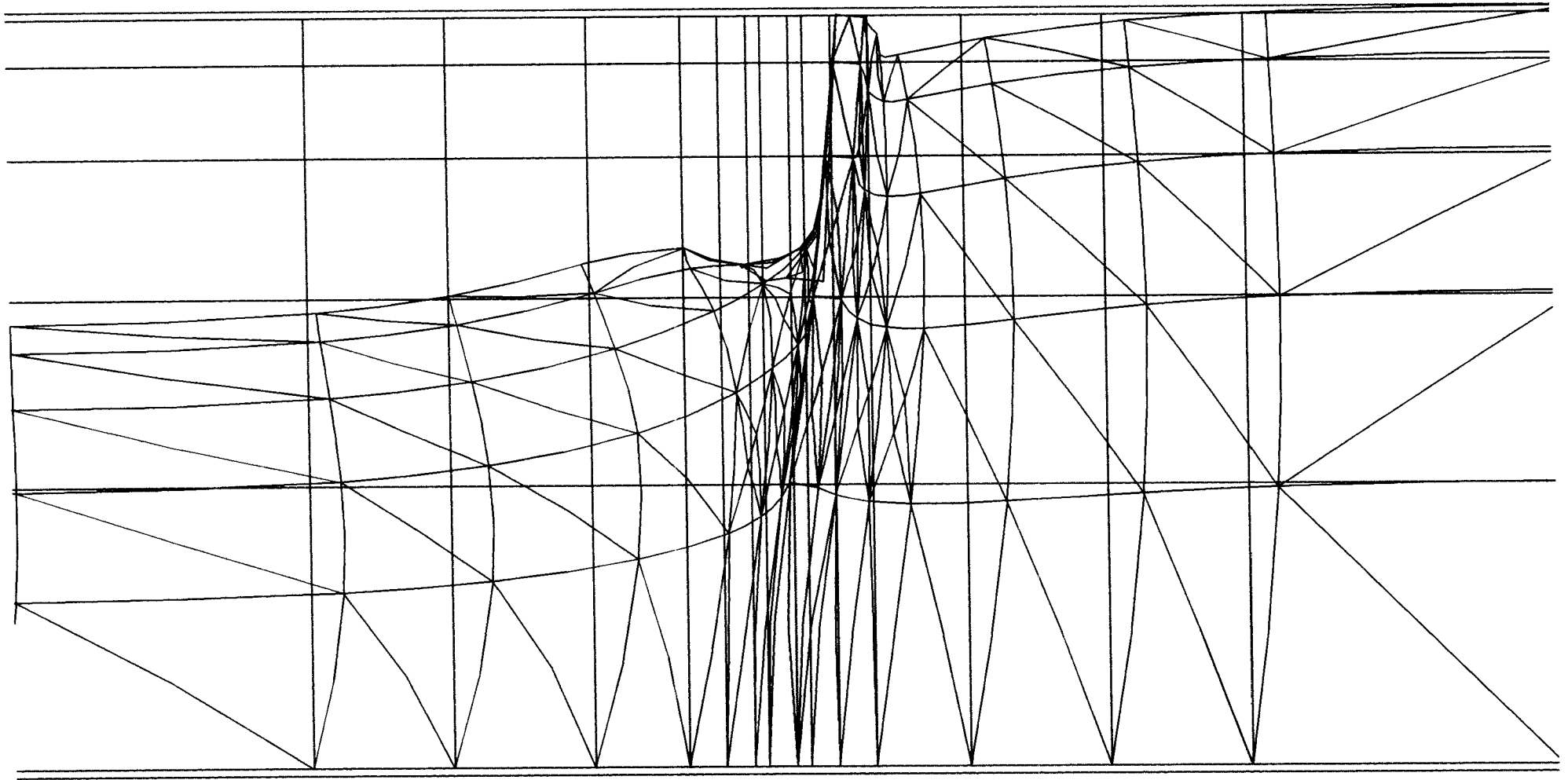
16

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,44 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4K: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3D-model(b3)

Step

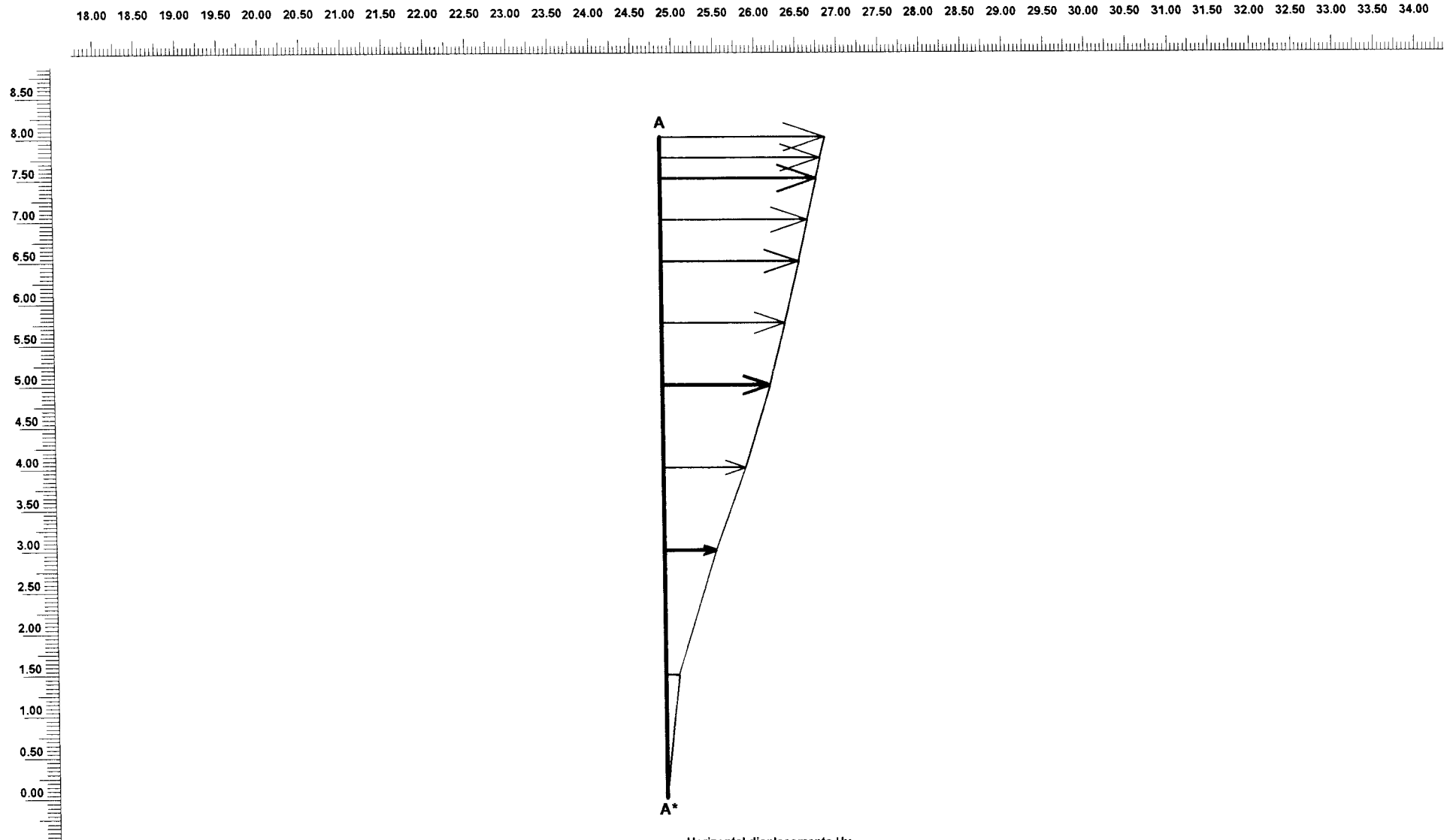
16

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements Ux
 Extreme Ux for this plane $10,96 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4K: horizontale verplaatsing paal

Project name

3D-model(b3)

Step

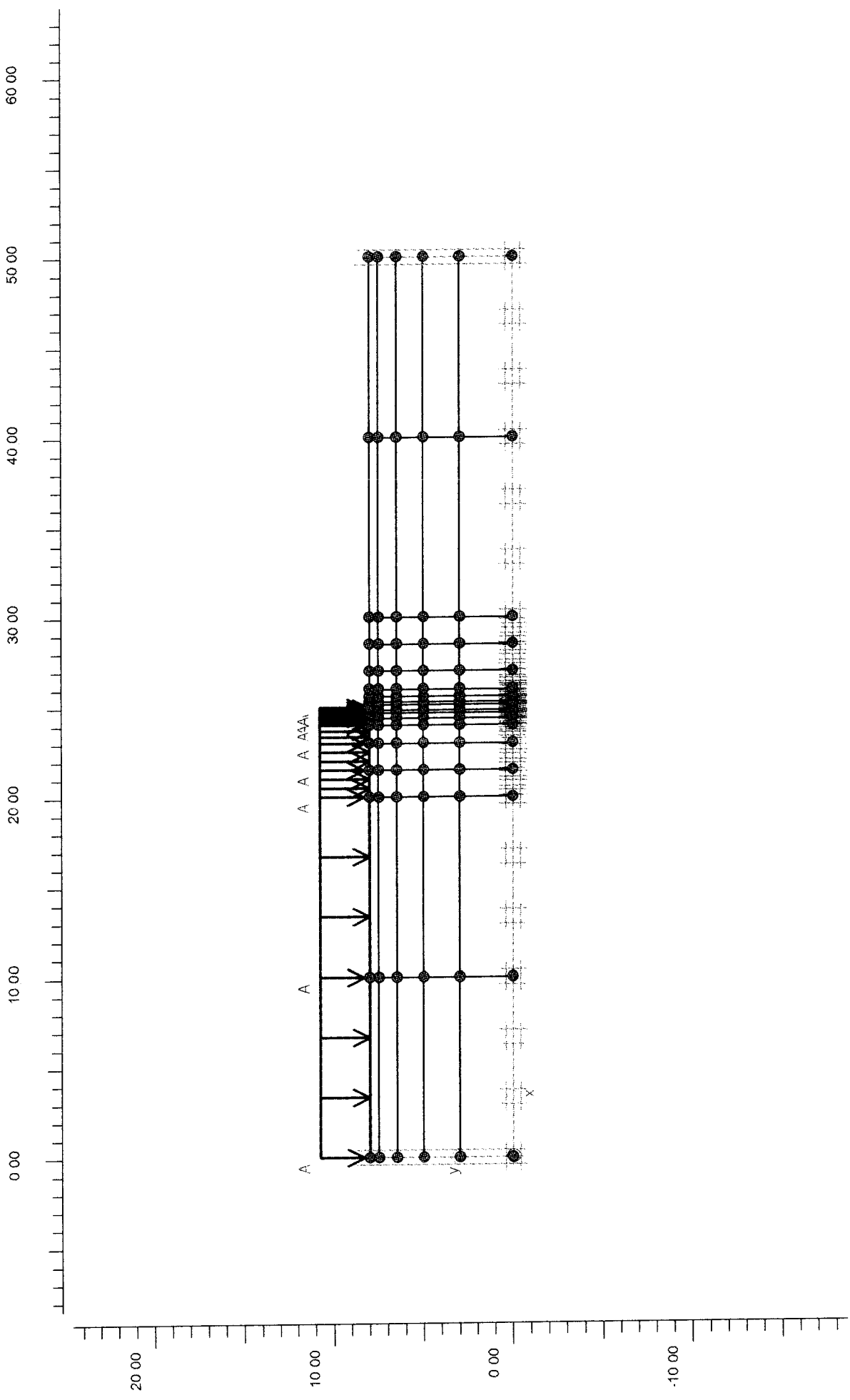
16

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 4L: model

Project name

3D-model(b4).PL3

Date

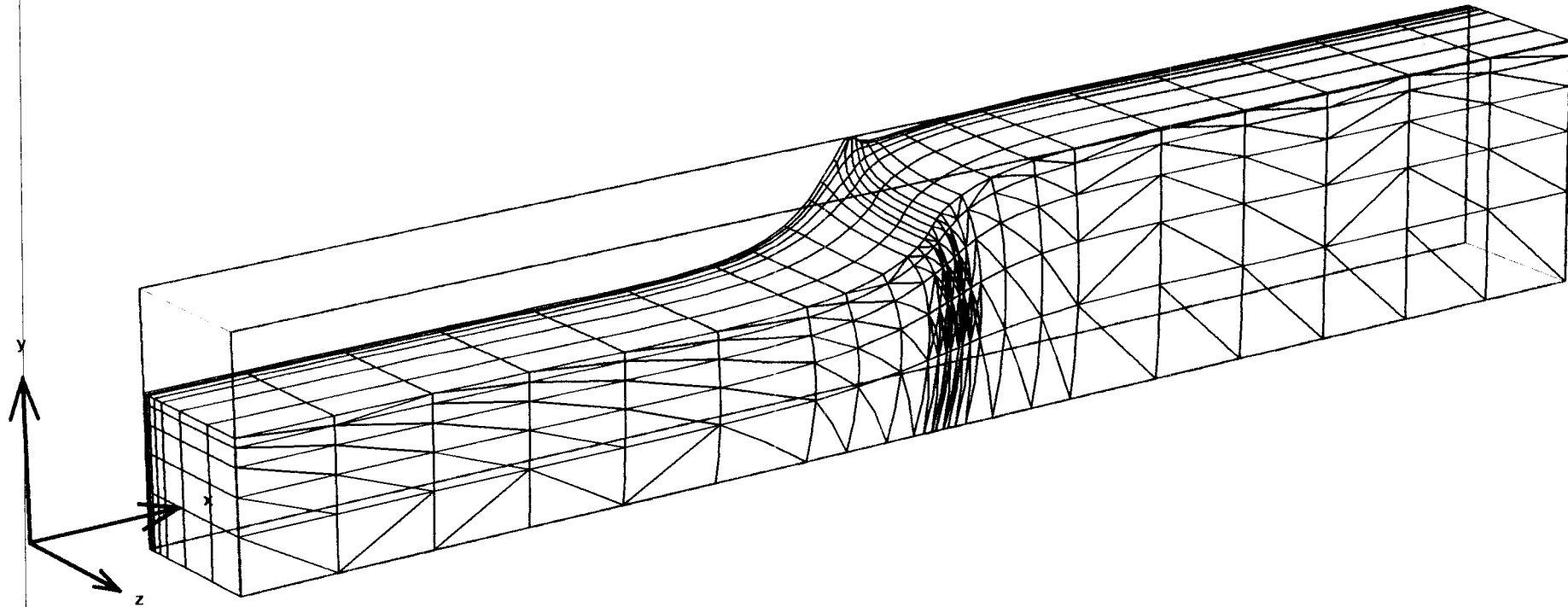
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,42 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Project description

Bijlage 4L: deformed mesh

Project name

3D-model(b4)

Step

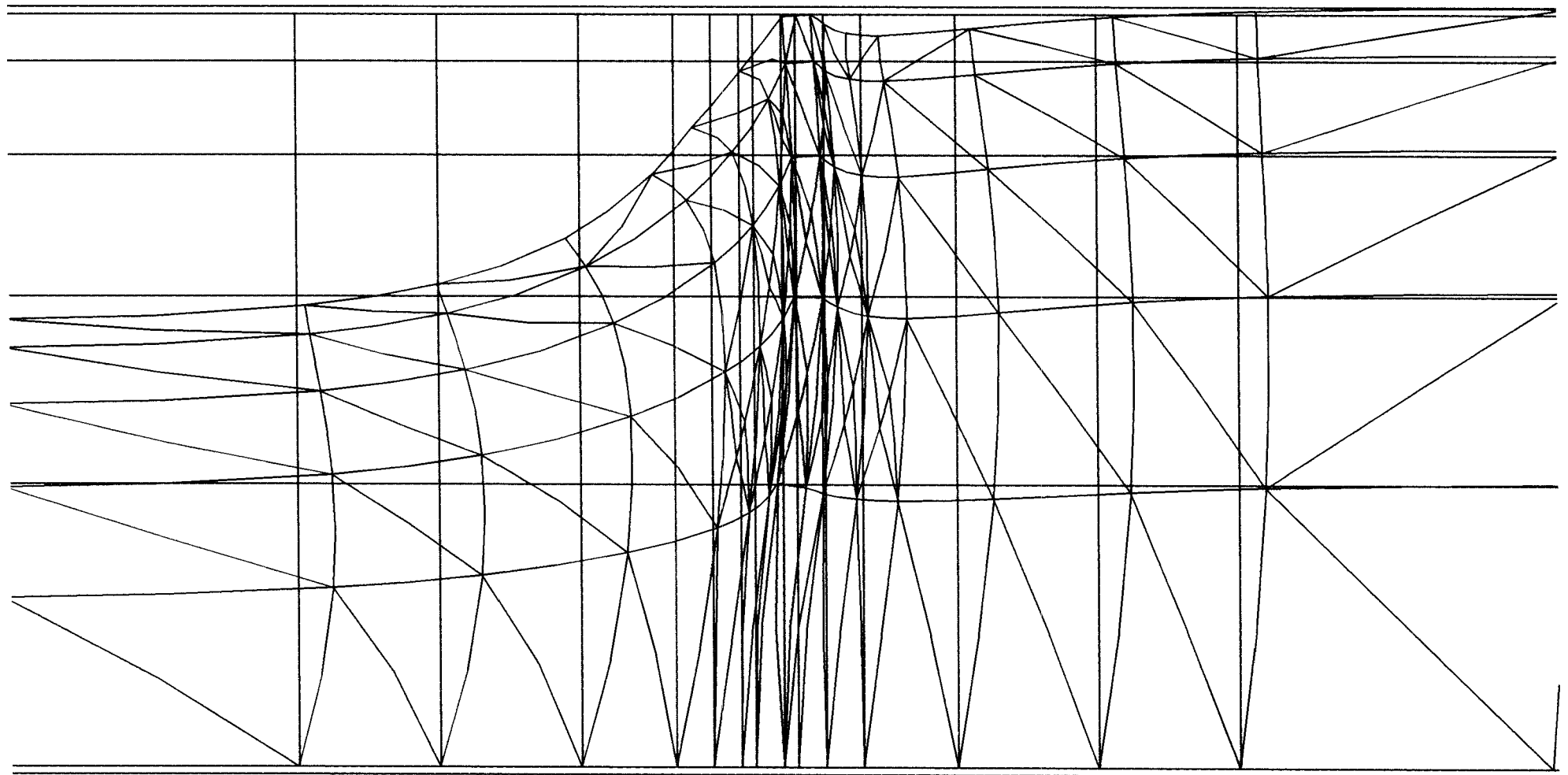
3

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,42 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Project description

Bijlage 4L: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3D-model(b4)

Step

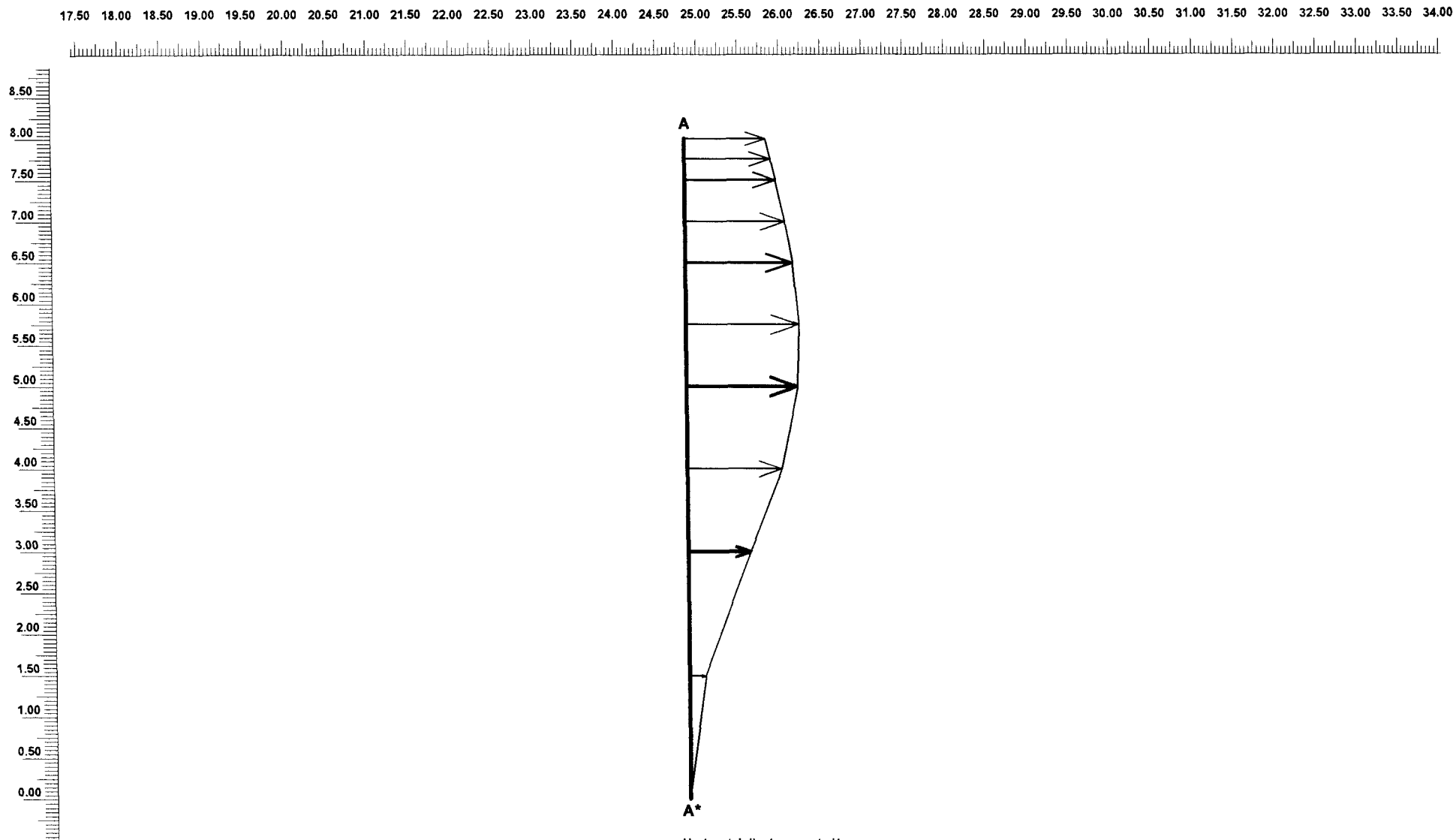
3

Date

08-01-02

User name

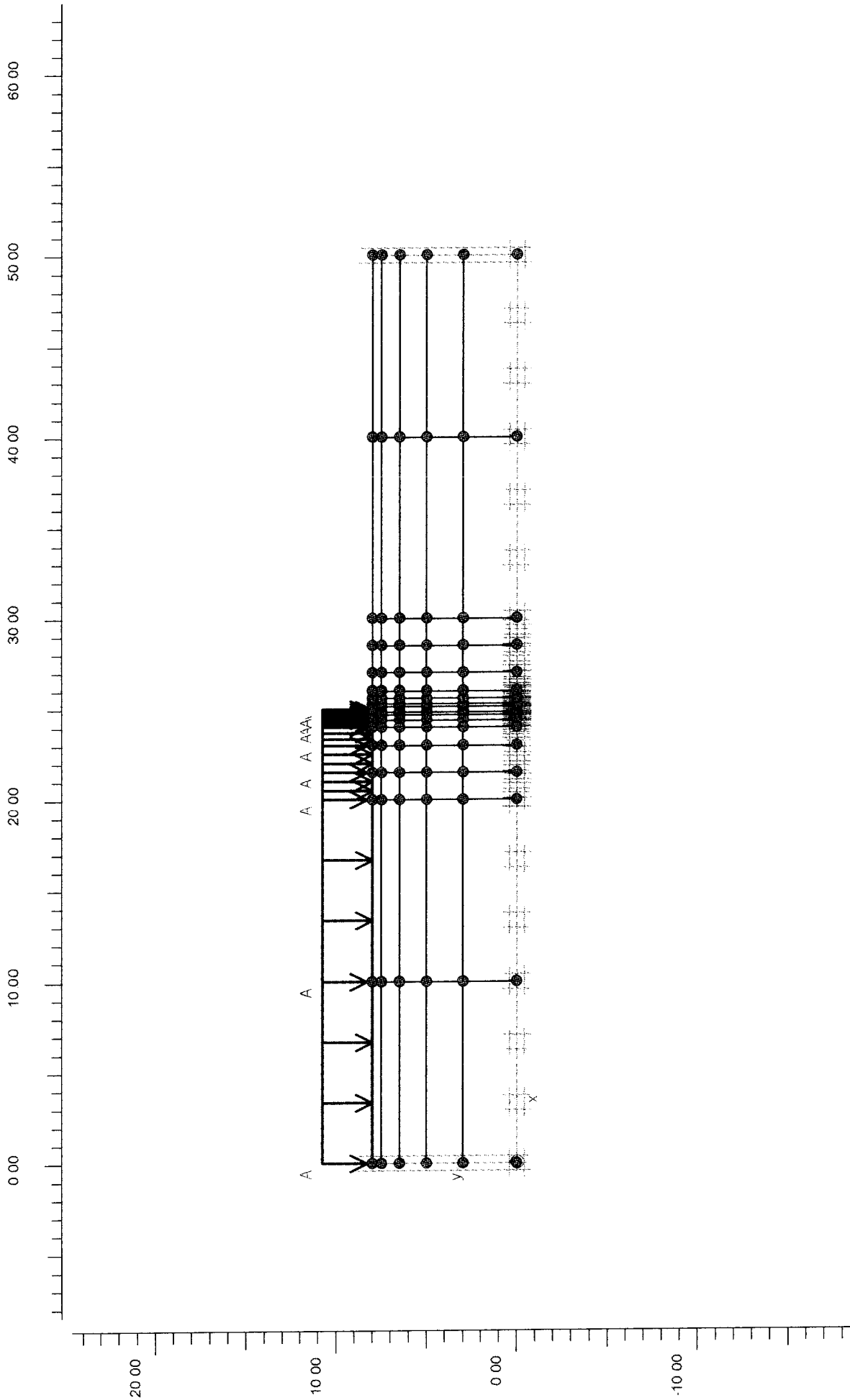
FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements Ux
 Extreme Ux for this plane $5,84 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS
 Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
 Version 1.2.1.210

Project description				Bijlage 4L: horizontale verplaatsing paal			
Project name		Step	Date	User name			
3D-model(b4)		3	08-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.			



Project description

Bijlage 4M: model

Project name

3D-model(b5).PL3

Date

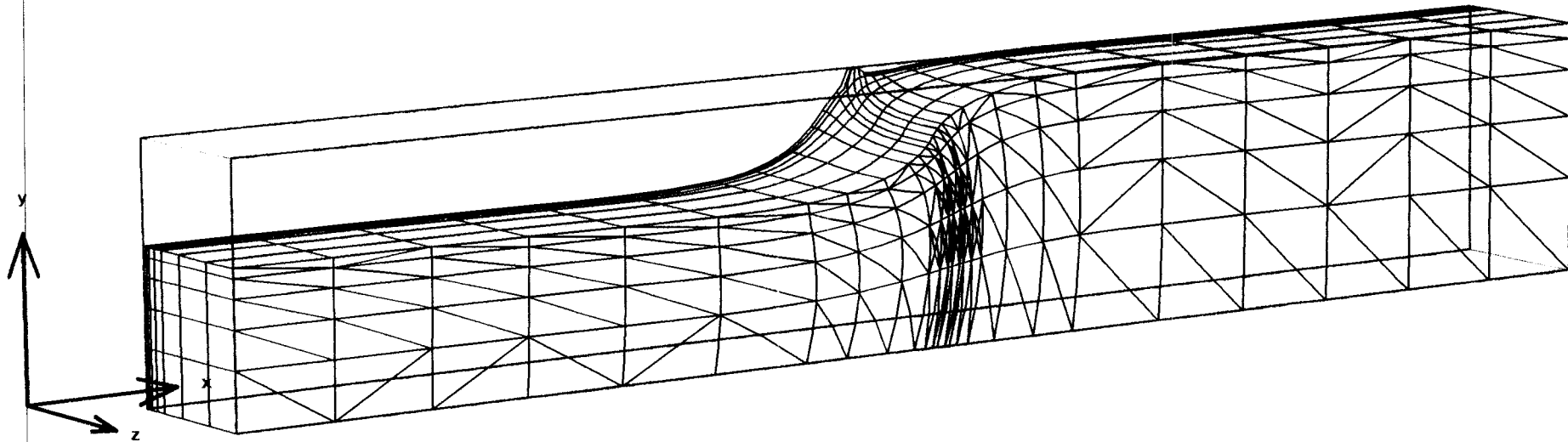
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,42 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Project description

Bijlage 4M: deformed mesh

Project name

3D-model(b5)

Step

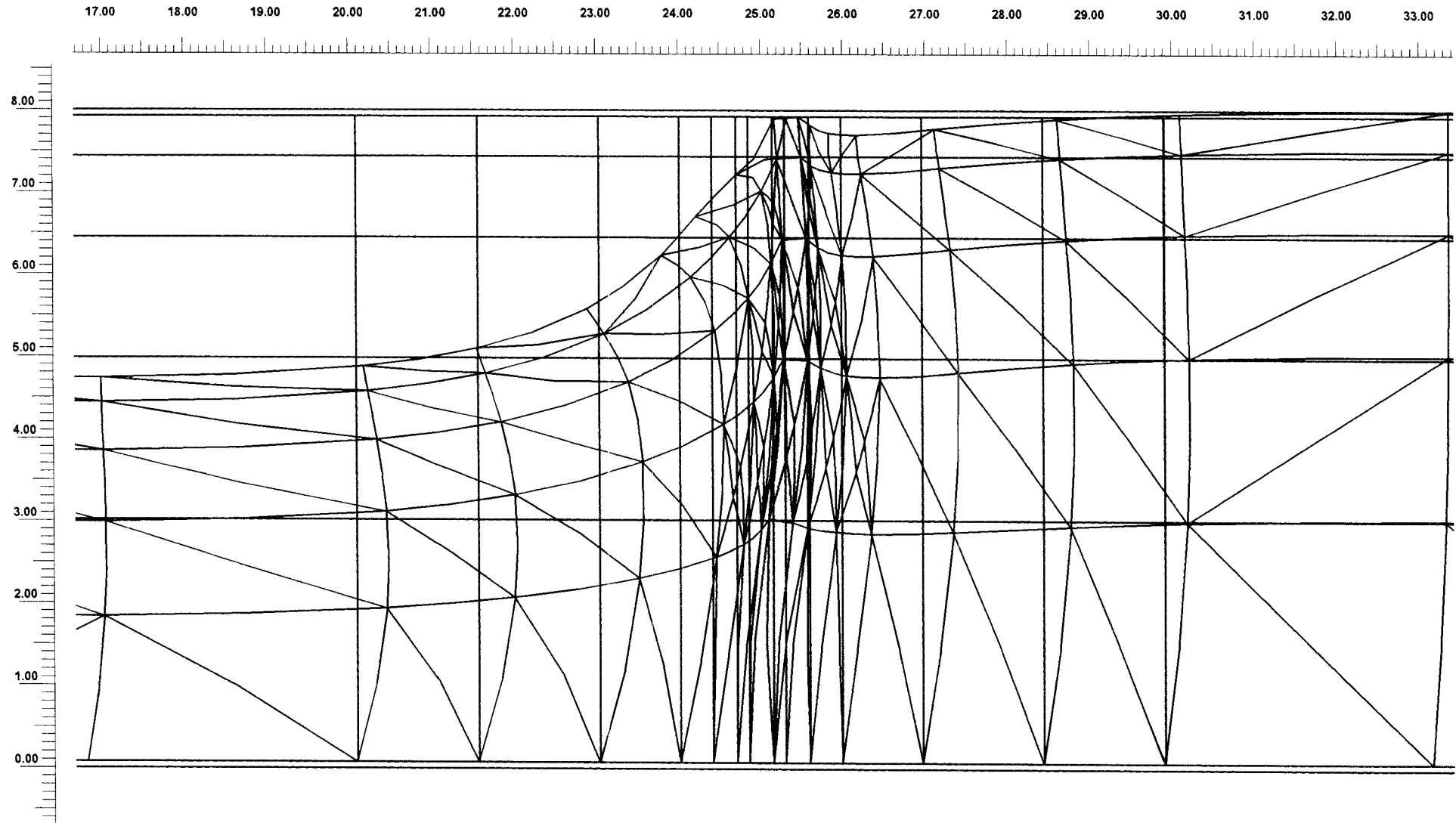
3

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,42 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4M: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3D-model(b5)

Step

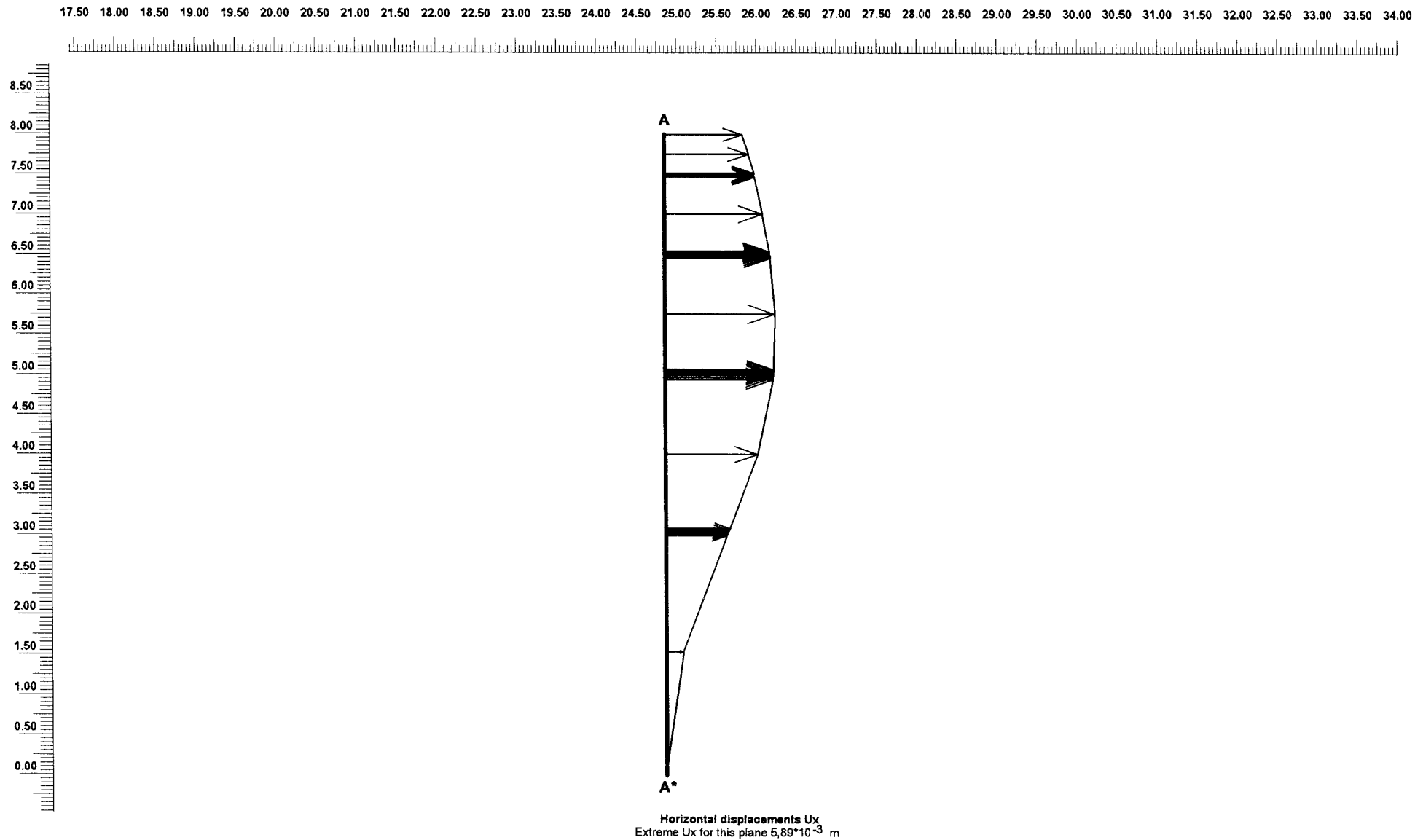
3

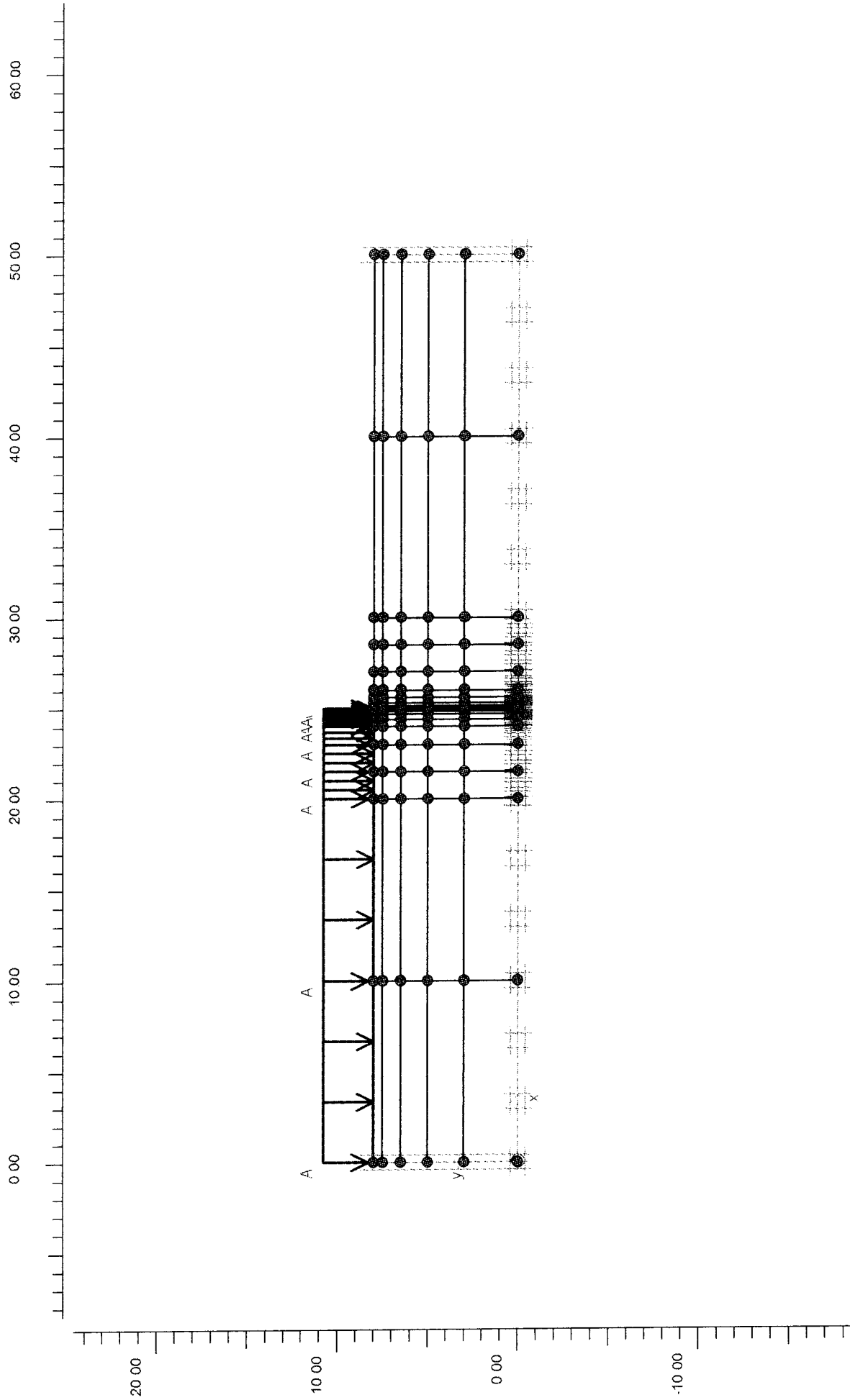
Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.





Project description

Bijlage 4N: model

Project name

3Dbalk.PL3

Date

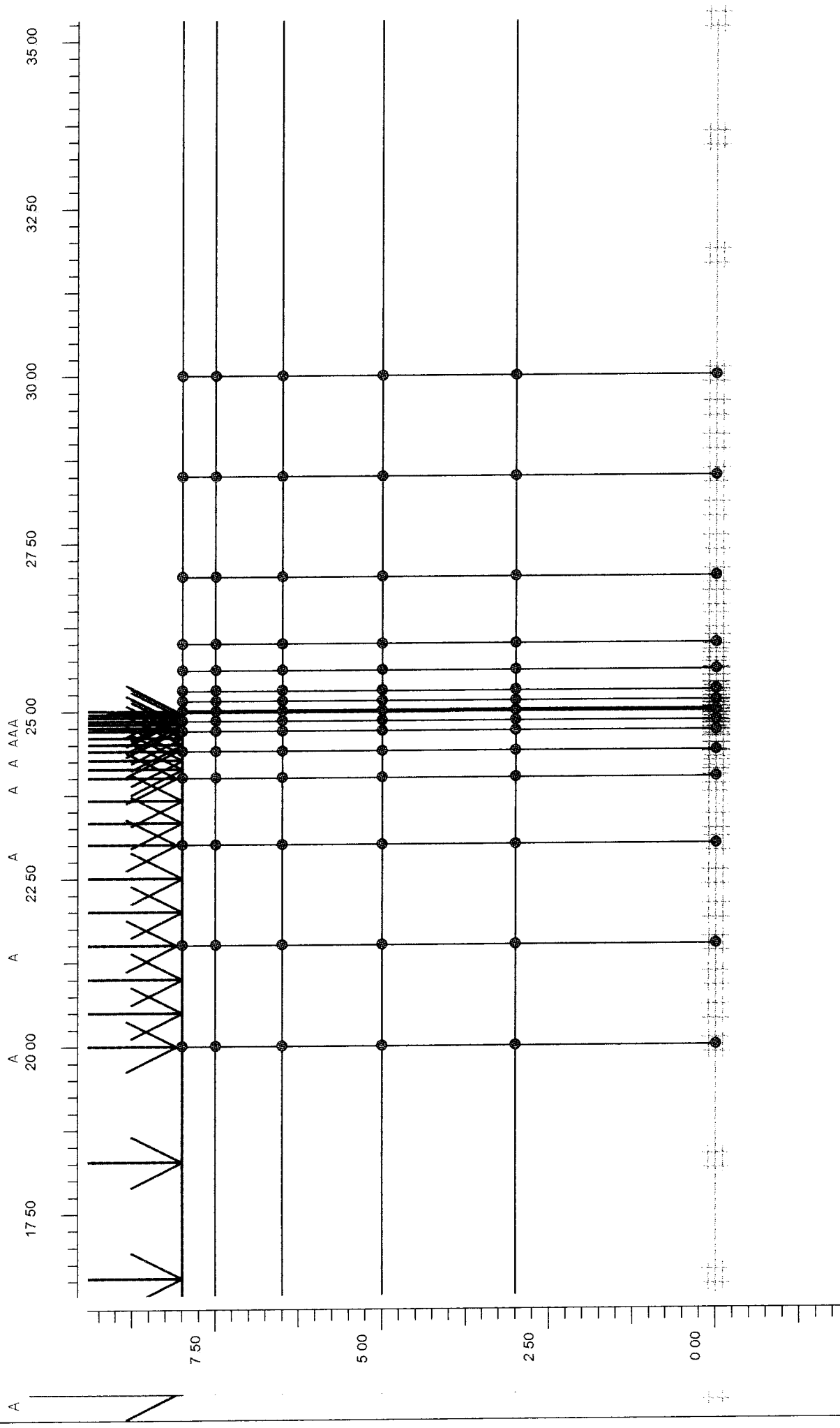
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Project description



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.296

Bijlage 4N: clusters nabij paal

User name

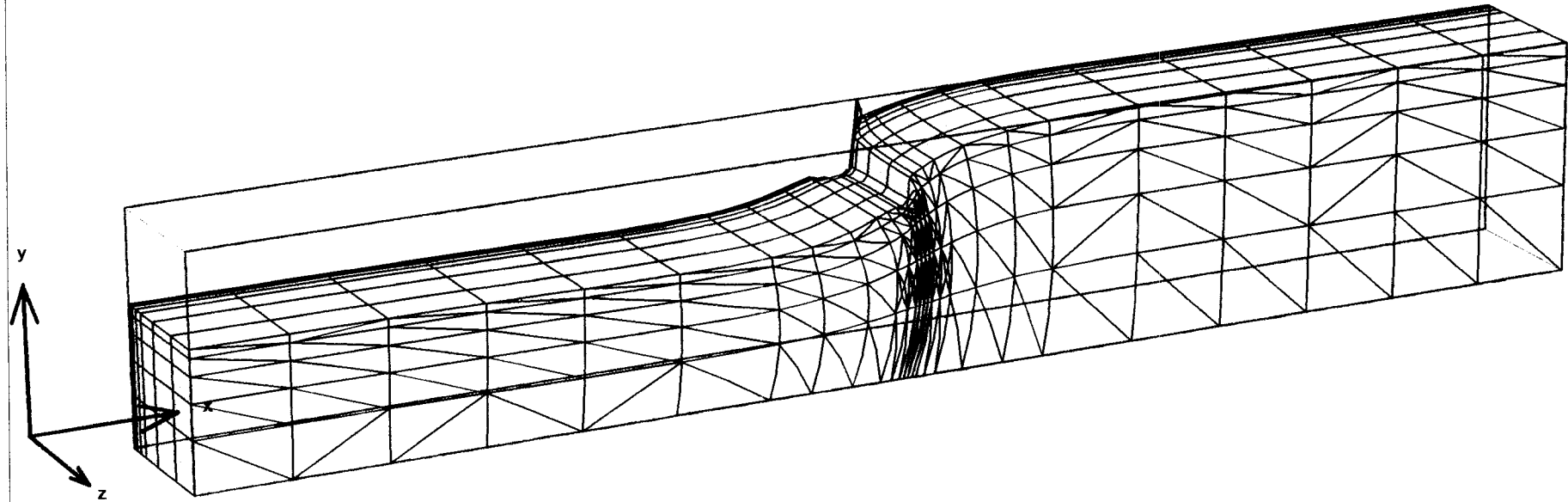
FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Date

8-1-02

Project name

3Dbalk.PL3



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $43,55 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 75,00 times)



Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 4N: deformed mesh

Project name

3Dbalk

Step

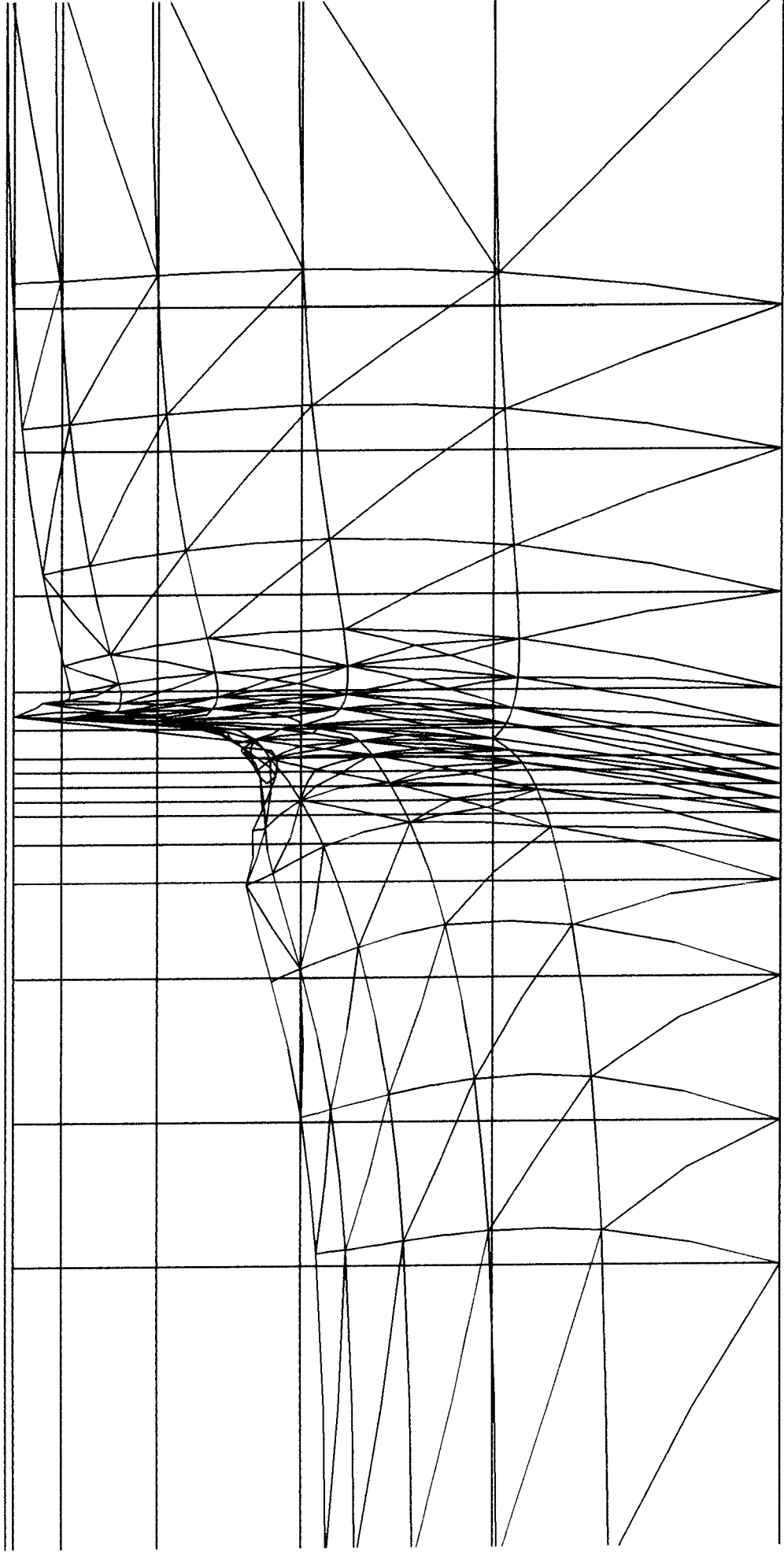
15

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
Extreme total displacement 43,55*10⁻³ m
(displacements scaled up 75,00 times)

Project description



Version 1.2.1.210

Bijlage 4N: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

3Dbalk

Step

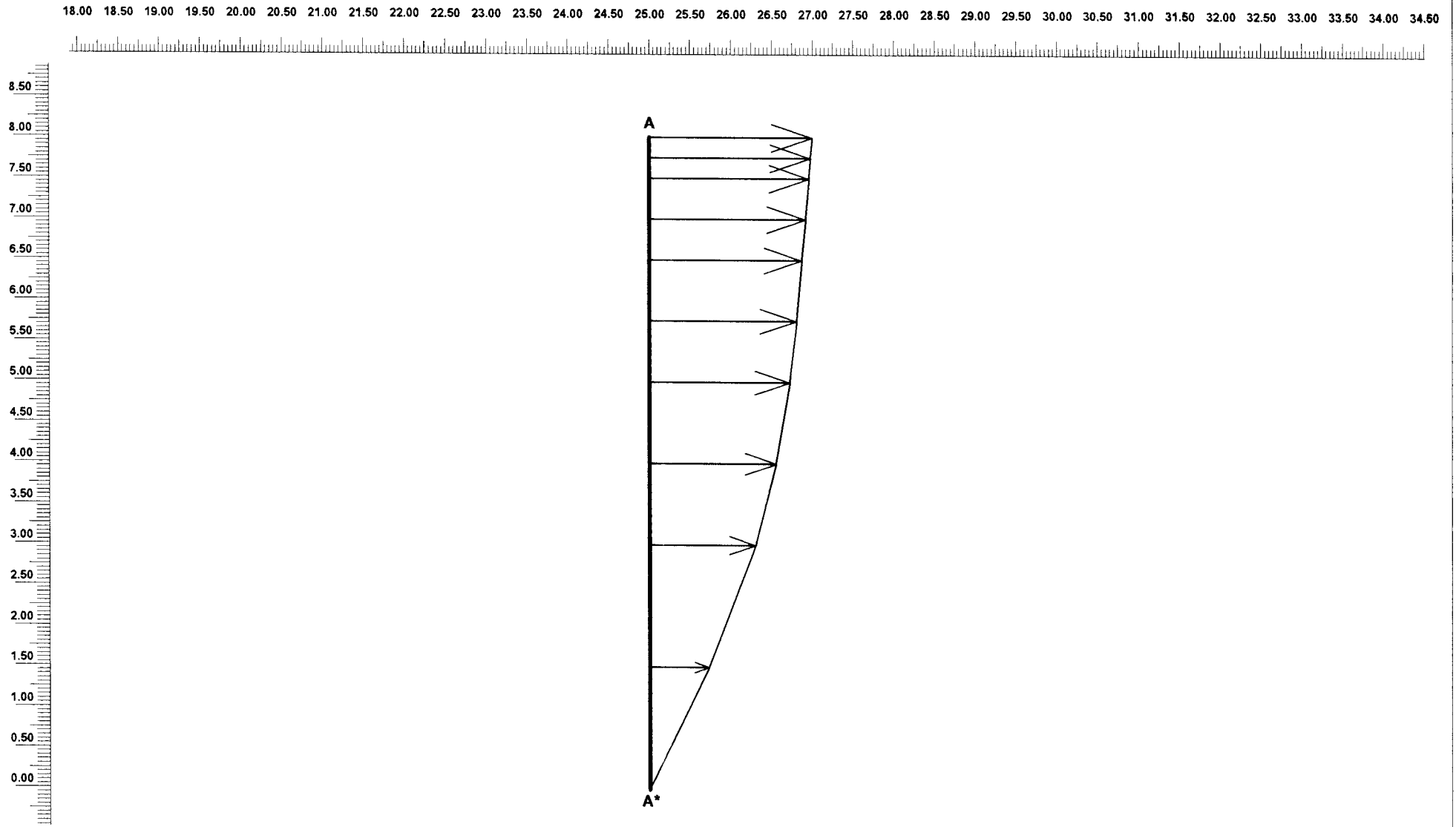
15

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 4N: horizontale verplaatsing paal

Project name

3Dbalk

Step

15

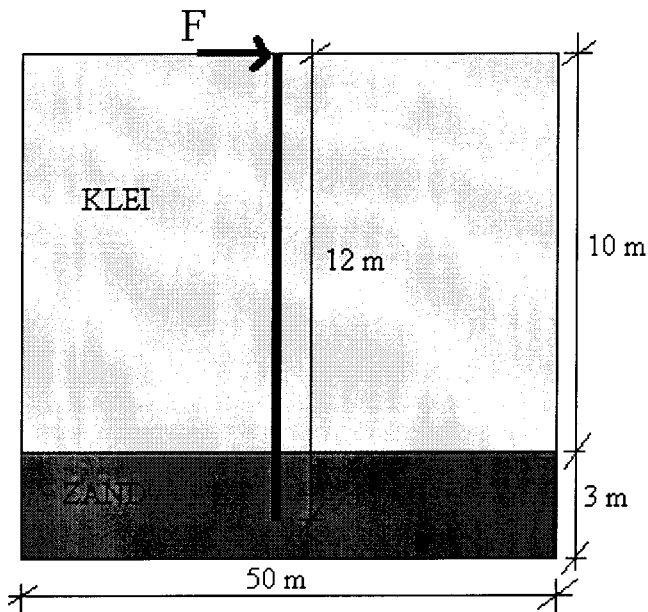
Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Paalmodellering in PLAXIS



Het volgende geval is in PLAXIS 3D ingevoerd om na te gaan hoe een paal gemodelleerd moet worden (paal als *balk-element*):

Figuur 1: Model met balkelement.

	type	γ_d [kN/m ³]	γ_u [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]
klei	LE	15	15	1	0,3
zand	LE	20	20	$1 \cdot 10^{10}$	0,3

Tabel 1: Grondparameters balk-element.

F : 10 kN/m¹

Paalgegevens (werkelijk):

Afmeting : 300 x 300 mm

E : $33,5 \cdot 10^6$ kN/m²

A : $b \cdot h = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09$ m²

I : $1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,3^4 = 6,75 \cdot 10^{-4}$ m⁴

EA : $33,5 \cdot 10^6$ kN/m² \cdot 0,09 m² = 3015000 kN

EI : $33,5 \cdot 10^6$ kN/m² \cdot $6,75 \cdot 10^{-4}$ m⁴ = 22612,5 kNm²

Er zijn een viertal berekeningen uitgevoerd:

1. met vergeet-me-nietjes;
2. modellering volledige paal;
3. modellering halve paal;
4. modellering met volume-elementen.

ad 1: $u = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot EI}$ en $M = F \cdot l$

$$F = 10 \text{ kN/m}^1 \cdot 0,3 \text{ m} = 3 \text{ kN}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

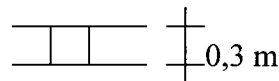
$$EI = 22612,5 \text{ kNm}^2$$

$$u = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot EI} = \frac{3 \cdot 10^3}{3 \cdot 22612,5} = 0,0442 \text{ m}$$

$$M = 30 \text{ kNm}$$

ad 2: Er wordt een volledige paal gemodelleerd (file *paal11*). De slice-breedte is 0,3 m. De EA en EI worden gedeeld door de volledige paalbreedte (b), omdat de invoer in PLAXIS 3D per m^1 is, dus

- $\frac{EA}{b} = \frac{3015000}{0,3} = 10050000 \text{ kN/m}^1$



- $\frac{EI}{b} = \frac{22612,5}{0,3} = 75375 \text{ kNm}^2 / \text{m}^1$

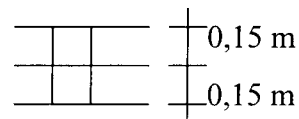
$$u_{\text{berekend}} = 0,0456 \text{ m}$$

$$M_{\text{berekend}} = 99,36 \text{ kNm/m}^1 \Rightarrow M_{\text{werkelijk}} = M_{\text{berekend}} \cdot 0,3 = 29,81 \text{ kNm}$$

ad 3: Er wordt een halve paal gemodelleerd (file *paal12*). De slice-breedte is 0,15 m.

De EA en EI worden vermenigvuldigd met 0,5 (omdat de halve paal gemodelleerd wordt) en vervolgens gedeeld door de halve paalbreedte (0,5b), omdat de invoer in PLAXIS 3D per m^1 is, dus

- $\frac{EA \cdot 0,5}{0,5b} = \frac{3015000}{0,3} = 10050000 \text{ kN/m}^1$



- $\frac{EI \cdot 0,5}{0,5b} = \frac{22612,5}{0,3} = 75375 \text{ kNm}^2 / \text{m}^1$

$$u_{\text{berekend}} = 0,0455 \text{ m}$$

$$M_{\text{berekend}} = 98,78 \text{ kNm/m}^1 \Rightarrow M_{\text{werkelijk}} = M_{\text{berekend}} \cdot (2 \cdot 0,15) = 29,63 \text{ kNm}$$

Ad 4: De paal is ook gemodelleerd met volume-elementen (file *paal17*). De invoerparameters staan in tabel 2. De wijze van modelleren staat in figuur 2. De momenten kunnen niet rechtstreeks afgelezen worden, maar moeten berekend worden uit het spanningsverloop:

$$\sigma = \frac{M}{W} \Rightarrow M = \sigma \cdot W$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,30^3 = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

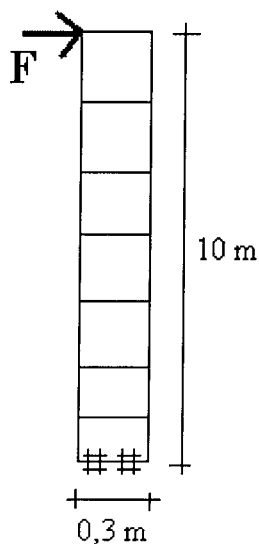
$$U_{\text{berekend}} = 0,0437 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{afgelezen}} = 6,67 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{\text{werkelijk}} = 6,67 \cdot 10^3 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 30,0 \text{ kNm}$$

Conclusie:

- in PLAXIS 3D worden de EA en EI van de paal ingevoerd door de werkelijke EA_p en EI_p te delen door de paalbreedte, d.w.z. EA_p / b en EI_p / b .
- De resultaten tussen balkelementen en volume-elementen wijken niet veel van elkaar af. De keuze is aan de gebruiker. De vraag die de gebruiker zich moet stellen is de volgende: wat wil je weten?



Het volgende geval is in PLAXIS 2D en 3D ingevoerd om na te gaan hoe een paal gemodelleerd moet worden (paal als *volume-element*):

Figuur 2: Model met volume-elementen.

	type	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]
grond	LE	0	0	$33,5 \cdot 10^6$	0

Tabel 2: Grondparameters volume-element.

$$F \quad : 10 \text{ kN/m}^1.$$

In 2D wordt het probleem per definitie per strekkende meter berekend, dus is $F = 10 \text{ kN}$.

In 3D moeten de invoerparameters omgerekend worden per strekkende meter. Hier is gekozen voor een paalbreedte van 1 m.

Paalgegevens (2D en 3D):

$$\text{Afmeting} \quad : 300 \times 1000 \text{ mm}$$

$$E \quad : 33,5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$A \quad : b \cdot h = 0,3 \cdot 1,0 \quad = 0,3 \text{ m}^2$$

$$I \quad : 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,3^3 \quad = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$EA \quad : 33,5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,3 \text{ m}^2 \quad = 10050000 \text{ kN}$$

$$EI \quad : 33,5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \quad = 75375 \text{ kNm}^2$$

Handberekening:

$$u = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot EI} \text{ en } M = F \cdot l$$

$$F = 10 \text{ kN}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

$$EI = 75375 \text{ kNm}^2$$

$$u = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot EI} = \frac{10 \cdot 10^3}{3 \cdot 75375} = 0,0442 \text{ m}$$

$$M = 10 \cdot 10 = 100 \text{ kNm}$$

PLAXIS 2D (file paal13):

$$u = 0,0442 \text{ m}$$

$$M \text{ volgt uit } \sigma = M / W, \quad \Rightarrow \quad M = \sigma \cdot W$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,0 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ m}^3$$

$$\text{spanning aflezen: } \sigma = 6,69 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2, \quad \text{dus } M = 6,69 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,015 \text{ m}^3 = 100,35 \text{ kNm}$$

PLAXIS 3D (file paal15):

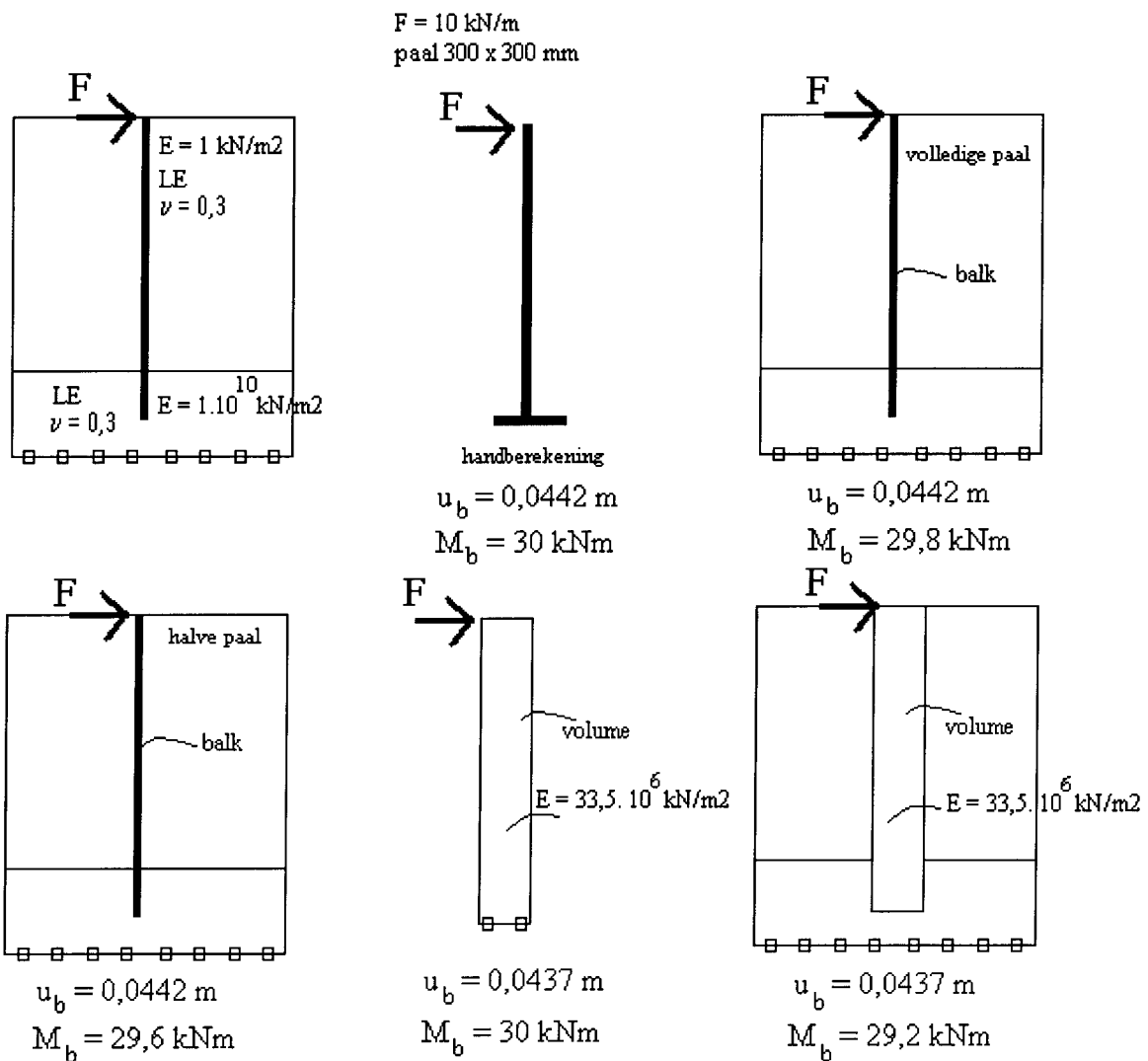
$u = 0,0442 \text{ m}$

M volgt uit $\sigma = M / W, \Rightarrow M = \sigma \cdot W$

$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,0 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ m}^3$

spanning aflezen: $\sigma = 6,68 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2, \text{ dus } M = 6,68 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,015 \text{ m}^2 = 100,20 \text{ kNm}$

Conclusie: De resultaten komen nagenoeg met elkaar overeen. Er is weinig verschil tussen verplaatsingen en momenten als gebruik gemaakt wordt van volume-elementen of balkelementen.



Figuur 3: Overzicht berekeningen en resultaten.

BIJLAGEN HOOFDSTUK 5

BIJLAGE 5A	afleiding formules grondlijn-paallijn	
BIJLAGE 5B	beknopte handleiding MSHEET	
BIJLAGE 5C	PLAXIS2D, bepaling grondverplaatsingen voor MSHEET ¹	Run1
BIJLAGE 5D	tabel Ménard voor palen	
BIJLAGE 5E	MSHEET, opgelegde grondverpl. uit PLAXIS met schelpf ^{1 en 3}	Run2
BIJLAGE 5F	MSHEET, geen schelpfactor voor klei en zand ^{1 en 3}	Run2a
BIJLAGE 5G	MSHEET, schelpfactoren x 10 ^{1 en 3}	Run2i
BIJLAGE 5H	MSHEET, opgelegde grondverpl. uit PLAXIS met schelpf ^{1 en 3}	Run2b
BIJLAGE 5I	MSHEET, geen schelpfactor voor klei en zand ^{2 en 3}	Run2j
BIJLAGE 5J	MSHEET, belasting op maaiveld ^{2 en 3}	Run3
BIJLAGE 5K	resultaten PLAXIS 2D met balk-element ^{1 en 3}	Run4d
BIJLAGE 5L	resultaten PLAXIS 2D met volume-elementen ^{1 en 3}	Run5a
BIJLAGE 5M	verhouding tussen slappe en stijve paal	Run4e
BIJLAGE 5N	resultaten PLAXIS 3D met balk-element ^{1 en 3}	Run6
BIJLAGE 5O	resultaten PLAXIS 3D met volume-elementen ^{1 en 3}	Run7
BIJLAGE 5P	Paalafmeting 200 x 200 mm ^{1 en 4}	Run8 en 9
BIJLAGE 5Q	Totaal overzicht van momenten en verplaatsingen	

¹ q = 10 kN/m¹

² q = 40 kN/m¹

³ paal vierkant 350 mm

⁴ paal vierkant 200 mm

Overzicht van rekenbestanden in hoofdstuk 5

Omschrijving	Type	file
Grondverplaatsing bepalen	PLAXIS 2D	Run1
Opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D	MSHEET	Run2
Als run2. zonder schelpfactor	MSHEET	Run2a
Opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS met schelpfactor	MSHEET	Run2b
Schelpfactoren x 10	MSHEET	Run2i
Geen schelpfactor voor klei en zand	MSHEET	Run2j
Belasting op maaiveld	MSHEET	Run3
2D wandberekening, met wand als balkelement	PLAXIS 2D	Run4d
2D wandberekening, gereduceerde stijfheid	PLAXIS 2D	Run4e
2D wandberekening, met wand als "volume-element"	PLAXIS 2D	Run5a
3D paalberekening, met paal als balkelement	PLAXIS 3D	Run6
3D paalberekening, met paal als "volume-element"	PLAXIS 3D	Run7
3D paalberekening, met paal als balkelement	PLAXIS 3D	Run8
3D paalberekening, met paal als "volume-element"	PLAXIS 3D	Run9

Bijlage afleiding formules voor grondlijn en paallijn

Grondlijn:

Stel coördinaten $(0 ; 2\sigma_1)$ en $(u_1 ; 0)$

$$\text{Richtingscoëfficiënt (r.c.)} = \frac{0 - 2\sigma_1}{u_1 - 0} = \frac{-2\sigma_1}{u_1}$$

$$y = \text{r.c.} \cdot x + b \quad \Rightarrow$$

$$y = \left[\frac{-2\sigma_1}{u_1} \right] \cdot x + b \quad \Rightarrow \quad \text{coördinaat } (u_1 ; 0) \text{ invullen, levert:}$$

$$0 = \left[\frac{-2\sigma_1}{u_1} \right] \cdot u_1 + b \quad \Rightarrow \quad \text{hieruit volgt } b = 2\sigma_1$$

$$\sigma = \left[\frac{-2\sigma_1}{u_1} \right] \cdot u + 2\sigma_1$$

Paallijn:

Stel coördinaten $(0 ; 0)$ en $(u_2 ; \sigma_2)$

$$\sigma_2 = \frac{q}{s \cdot D} \quad \Rightarrow \quad q = \sigma_2 \cdot s \cdot D \quad (1)$$

$$u_2 = \frac{q \cdot l^4}{\delta \cdot EI} \quad (2)$$

(1) in (2) levert:

$$u_2 = \frac{\sigma_2 \cdot s \cdot D \cdot l^4}{\delta \cdot EI} \quad \Rightarrow \quad \sigma_2 = \frac{u_2 \cdot \delta \cdot EI}{s \cdot D \cdot l^4}$$

$$\text{r.c.} = \frac{\sigma_2 - 0}{u_2 - 0} \quad \Rightarrow \quad \frac{\sigma_2}{u_2} = \frac{u_2 \cdot \delta \cdot EI}{s \cdot D \cdot l^4 \cdot u_2} = \frac{\delta \cdot EI}{s \cdot D \cdot l^4}$$

$$y = \text{r.c.} \cdot x + b \quad \Rightarrow$$

$$\sigma_2 = \left[\frac{\delta \cdot EI}{s \cdot D \cdot l^4} \right] \cdot u_2 + b \quad \Rightarrow \quad \text{hieruit volgt } b = 0$$

$$\sigma = \left[\frac{\delta \cdot EI}{s \cdot D \cdot l^4} \right] \cdot u$$

Bijlage bepaling u_3 :

$$2\sigma_1 - \frac{2\sigma_1 \cdot u_x}{u_1} = \frac{\delta \cdot EI \cdot u_x}{l^4 \cdot s \cdot D} \Rightarrow$$

$$\frac{2\sigma_1 \cdot u_1}{u_1} - \frac{2\sigma_1 \cdot u_x}{u_1} = \frac{\delta \cdot EI \cdot u_x}{l^4 \cdot s \cdot D} \Rightarrow$$

$$\frac{2\sigma_1 (u_1 - u_x)}{u_1} = \frac{\delta \cdot EI \cdot u_x}{l^4 \cdot s \cdot D} \Rightarrow$$

$$[2\sigma_1 (u_1 - u_x)] \cdot [l^4 \cdot s \cdot D] = [u_1] \cdot [\delta \cdot EI \cdot u_x] \Rightarrow$$

$$[2\sigma_1 \cdot u_1 - 2\sigma_1 \cdot u_x] l^4 \cdot s \cdot D = u_1 \cdot \delta \cdot EI \cdot u_x \Rightarrow$$

$$2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D - 2\sigma_1 \cdot u_x \cdot l^4 \cdot s \cdot D = \delta \cdot EI \cdot u_1 \cdot u_x \Rightarrow$$

$$2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D = 2\sigma_1 \cdot u_x \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1 \cdot u_x \Rightarrow$$

$$2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D = u_x \cdot (2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1) \Rightarrow$$

$$u_3 = \frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D}{2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1}$$

Bijlage bepaling σ_3 :

$$u_3 = \frac{q \cdot l^4}{\delta \cdot EI} \Rightarrow q \cdot l^4 = u_3 \cdot \delta \cdot EI \Rightarrow q = \frac{u_3 \cdot \delta \cdot EI}{l^4}$$

$$q = \frac{\left[\frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D}{2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1} \right] \cdot \delta \cdot EI}{l^4} \Rightarrow$$

$$q = \frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D \cdot \delta \cdot EI}{\left[2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1 \right] \cdot l^4} \Rightarrow$$

$$\sigma_3 = \frac{q}{s \cdot D} = \frac{\left\{ \frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D \cdot \delta \cdot EI}{\left[2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1 \right] \cdot l^4} \right\}}{s \cdot D} \Rightarrow$$

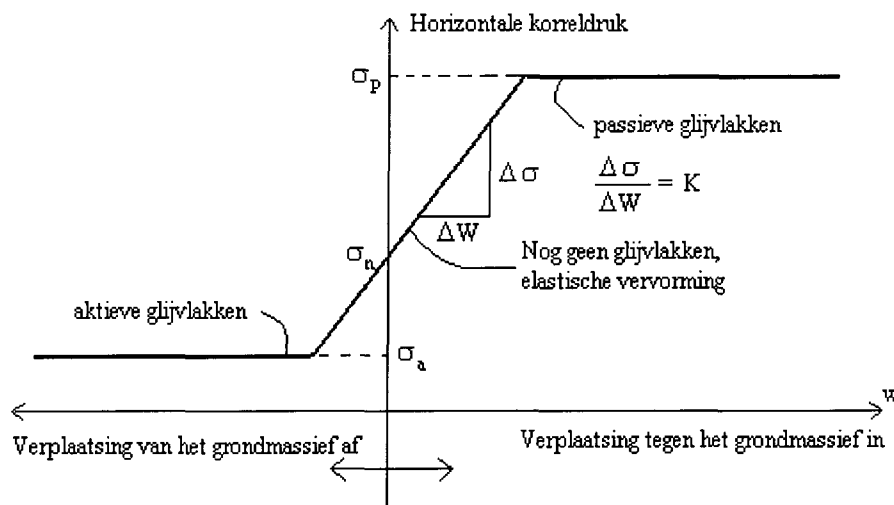
$$\sigma_3 = \frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D \cdot \delta \cdot EI}{\left[2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1 \right] \cdot l^4 \cdot s \cdot D} \Rightarrow$$

$$\sigma_3 = \frac{2\sigma_1 \cdot u_1 \cdot \delta \cdot EI}{\left[2\sigma_1 \cdot l^4 \cdot s \cdot D + \delta \cdot EI \cdot u_1 \right]}$$

MSHEET (samenvatting van handleiding)

Algemene theorie

Bij de klassieke methoden voor het berekenen van damwanden gaat men ervan uit dat de korreldrukken, die op de wand uitgeoefend worden, actief dan wel passief zijn. De totale belasting op de wand is dan bekend, waaruit de momentverdeling en de elastische lijn bepaald kunnen worden. Meestal zullen de verplaatsingen van de wand echter niet groot genoeg zijn om actieve of passieve druk te veroorzaken.



Figuur 1: Grondmodel.

De grond wordt dan niet plastisch vervormd, maar min of meer elastisch samengedrukt of ontlast vanuit een neutrale korreldruk toestand (σ_n). Dit leidt tot bovenstaand figuur 1.

Het hier gekozen grondmodel kan het werkelijk grondgedrag beter benaderen dan een grondmodel waarin alleen actieve of passieve gronddruk bestaat. Elk gronddeeltje dat over de hoogte van de wand voorkomt, reageert in dit model als een veer, waarin bij een verplaatsing van nul reeds een druk aanwezig is (σ_n). De veer gaat vloeien wanneer de passieve resp. actieve druk wordt bereikt. Het in bovenstaand figuur 1 getekende diagram wordt de veer karakteristiek genoemd. Hierbij is uitgegaan van een lineaire karakteristiek. Ieder punt aan beide zijden van de wand heeft een eigen veer karakteristiek, afhankelijk van de verticale korreldruk en de grondeigenschappen. De wand heeft nu aan weerszijden een verende ondersteuning, waardoor de belasting die deze op de wand uitoefent, afhankelijk is van de verplaatsing van de wand.

Het rekenproces

De belasting op de wand is afhankelijk van de verplaatsing van de wand is het niet mogelijk om de verplaatsing direct uit de belasting te berekenen, maar dient het rekenproces iteratief te verlopen.

Het ziet er als volgt uit:

Uit de verplaatsing van de vorige fase (indien aanwezig) of uit de nul fase wordt de horizontale korreldruk bepaald voor alle punten van de wand m.b.v. de veer karakteristiek. Deze korreldrukken vormen samen met de waterspanningen, de belasting en daaruit wordt, rekening houdend met de stijfheid van de wand, de uitbuigingsvorm van de wand berekend, d.w.z. een eerste benadering daarvan. Bij deze uitbuigingsvorm horen andere dan die hiervoor waren berekend. Deze nieuwe korreldrukken worden bepaald, waarna een nieuwe benadering voor de uitbuigingslijn wordt berekend. Dit proces wordt herhaald tot er nagenoeg geen veranderingen in de korreldrukken meer worden gevonden.

De rekenmethode

De wand wordt beschouwd als een ligger die wordt ondersteund door een bedding van ongekoppelde veren en waarop een belasting werkt. Uit evenwichtsbeschouwingen volgt dat het gedrag van de wand beschreven wordt door de volgende differentiaalvergelijking:

$$b \frac{d^2}{dx^2} EI \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{d}{dx} N \frac{dw}{dx} = b \cdot f(x, w)$$

waarin:	b	=	breedte van de wand	[m]
	w	=	horizontale verplaatsing wand	[m]
	f	=	totale belasting op de wand, incl. de veerkracht van de bedding	[kN]
	EI	=	stijfheid van de wand	[kNm ²]
	x	=	coördinaat in de lengterichting van de wand (verticaal)	[m]
	N	=	Normaalkracht in de wand	[kN]

De verplaatsing wordt opgelost uit de differentiaalvergelijking m.b.v. de elementenmethode. De wandlengte wordt hierbij opgedeeld in een aantal elementen die compatibel met elkaar verbonden zijn in de knopen (d.i. zodanig dat verplaatsing en hoekverdraaiing continu zijn in een knoop). Per element wordt de uitbuigingslijn door de derdegraads polynoom benaderd. Er wordt voor gezorgd dat een element niet groter is dan 1/20 van de wandlengte.

De elementen worden nog verder verdeeld in vijf moten. Van de punten, gelegen op de scheiding van de moten, worden de verplaatsingen, dwarskrachten, momenten en horizontale korrelspanningen bepaald.

De veer karakteristiek

De damwand wordt opgevat als een ligger die wordt ondersteund door verdeeld ongekoppelde veren. De veren representeren het korrelskelet en hebben de karakteristiek van figuur 1. Als nog geen horizontale verplaatsing w is opgetreden, heerst reeds een neutrale druk σ_n in de veer. Bij een toenemende verplaatsing w tegen het grondmassief in, zal de horizontale korreldruk σ_h toenemen tot de veer bij de passieve korreldruk gaat vloeien. Zou de damwand vanuit de neutrale toestand van het grondmassief af verplaatsen, dan neemt de horizontale korreldruk af tot de veer bij de actieve druk zal vloeien. De grootte van zowel σ_a en σ_p kan worden bepaald m.b.v. de verticale korreldruk, de belasting op het maaiveld, de cohesie en de zogenaamde grondrukcoëfficiënten. In formulevorm:

$$\sigma_a = \lambda_a \sigma'_v - 2c\sqrt{\lambda_a}$$

$$\sigma_p = \lambda_p \sigma'_v - 2c\sqrt{\lambda_p}$$

hierin is σ'_v de verticale korrelspanning, waarin de invloed van de bovenbelasting verwerkt is. De stijfheid van de grond wordt gegeven door de verhouding $\frac{\Delta\sigma}{\Delta w}$, die gelijk is aan de beddingsconstante k .

Door grond horizontaal belaste palen

De berekeningswijze bestaat uit 2 stappen:

1. Bepaling verplaatsing grondmassief zonder paal.

In de eerste stap moet de verplaatsing van de grond berekend worden, waarbij deze verplaatsing niet gehinderd wordt door de paal. Deze ongehinderde verplaatsing kan bijvoorbeeld berekend worden m.b.v. een eindige elementenprogramma.

2. Bepaling verplaatsing paal in het grondmassief.

In de tweede stap wordt de paal de verplaatsing opgelegd, zoals berekend onder punt 1. De belasting wordt gevormd door de krachten, die nodig zijn om de paal het initiële buiggedrag op te leggen. Door zijn stijfheid zal de paal zich verzetten tegen dit opgelegde initiële stand trachten te strekken. Hierdoor ontstaan spanningen in het massief rondom de paal.

Er is een situatie waarbij de reactiekrachten van de grond op de paal, als gevolg van de relatieve verplaatsing van de paal t.o.v. de omringende grond, in evenwicht zijn met de weerstand in de paal.

Berekeningswijze

De paal wordt opgevat als een aan beide zijden door horizontale grondveren ondersteunde ligger. De veerkracht is afhankelijk van de relatieve verplaatsing van de paal t.o.v. de omringende grond, ofwel de verplaatsing van de paal t.o.v. de op te geven grondverplaatsingen. Hiervoor geldt de volgende vergelijking:

$$EI \cdot \frac{d^4 \Delta u}{dx^4} = f(x, \Delta u) - EI \cdot \frac{d^4 u_0}{dx^4}$$

waarin:	EI	=	buigstijfheid paal	[kNm ²]
	Δu	=	relatieve verplaatsing	[m]
	u_0	=	grondverplaatsing	[m]
	$f(x, \Delta u)$	=	reactiekracht grondveren	[kN/m]
			t.g.v. de relatieve grondverpl. Δu	

Indien we de absolute verplaatsing w van de paal definiëren als $w = u_0 + \Delta u$, de neutrale gronddrukcoëfficiënt

$$\text{links } \lambda_{n_L}^* = \lambda_n - \frac{K \cdot u_0}{\sigma_v}$$

$$\text{rechts } \lambda_{n_R}^* = \lambda_n + \frac{K \cdot u_0}{\sigma_v}$$

dan wordt het geschetste probleem beschreven door de vergelijking die in MSHEET wordt opgelost.

In de definities van λ^* is	λ_n	=	neutrale gronddrukcoëfficiënt
	K	=	beddingsconstante
	σ_v	=	de verticale korrelspanning

Beperkingen

Ten aanzien van horizontaal belaste palen heeft MSHEET een aantal beperkingen. Bij de berekening van door grond horizontaal belaste palen wordt er een initiële verplaatsing opgelegd. Hiervoor is het noodzakelijk dat:

- aan beide zijden van de paal aanvankelijk dezelfde horizontale gronddruk heerst. Dit wordt bereikt wanneer aan beide zijden van de paal dezelfde grondgegevens worden opgegeven
- de waterpeilen en het maaiveld aan beide zijden gelijk is
- de combinatie van normaalkracht en grondverplaatsing in de eerste fase niet mogelijk is. De fysische beschrijving in de huidige versie is daartoe onjuist.

Er zijn twee gevallen ingevoerd, namelijk in run2 is een opgelegde verplaatsing aan de wand opgegeven en in run3 is een uniforme bovenbelasting op het maaiveld aangebracht.

Uniforme bovenbelasting:

Dit zijn gelijkmatig verdeelde belastingen die zich vanaf de paal tot ver naast de paal uitstrekken. Iedere bovenbelasting op het maaiveld veroorzaakt een toename van de verticale korreldruk in punten langs de paal. Hieruit volgt, rekening houdend met de wateroverspanningen, de toename van de verticale korreldruk σ_v . De horizontale korreldruk σ_h volgt uit:

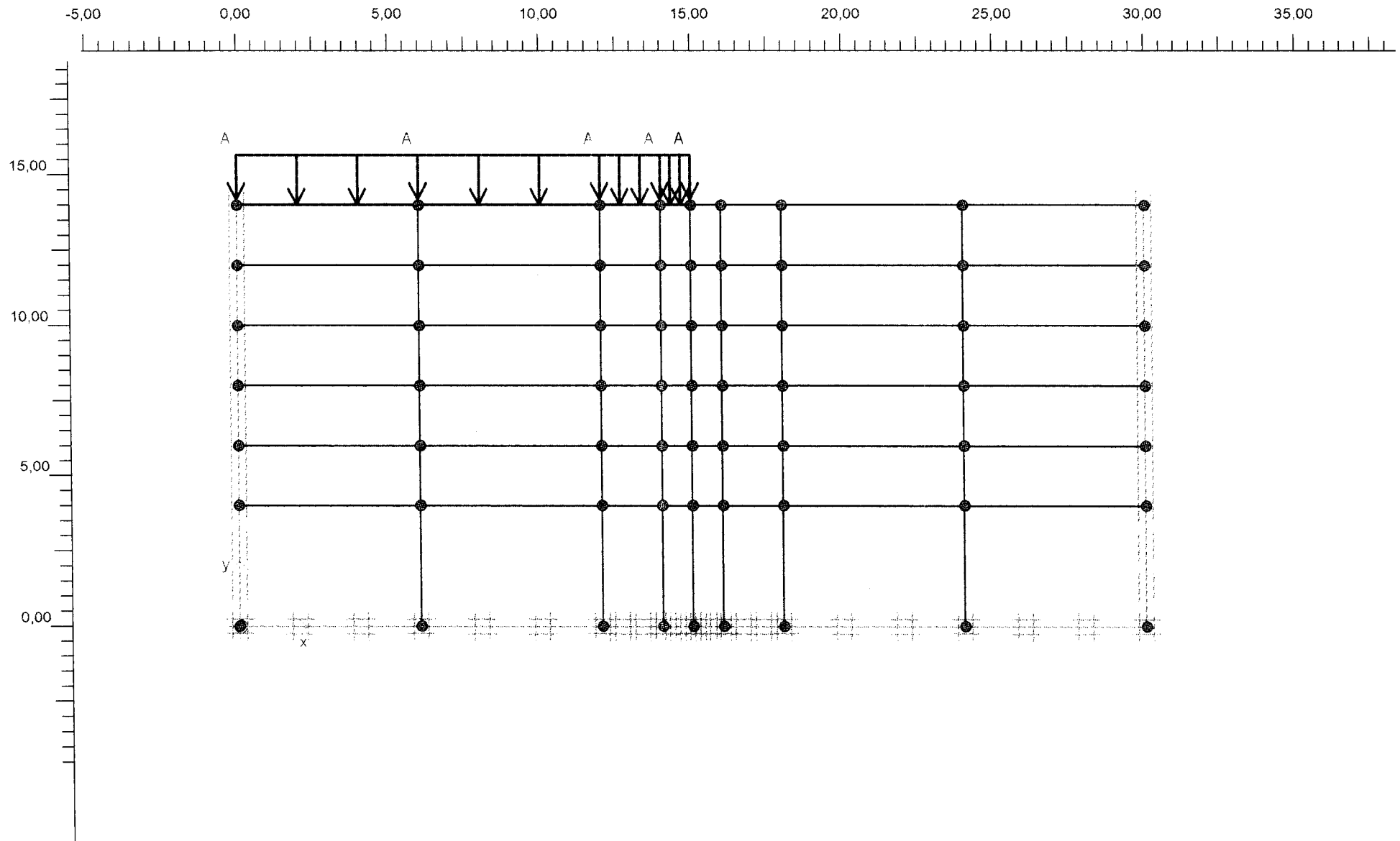
$$\sigma'_h = \lambda_n \cdot \sigma'_v \pm k \cdot w$$

Hierin is:	λ_n	=	coëfficiënt van de neutrale korreldruk	[-]
	k	=	beddingsconstante	[kN/m ³]
	w	=	verplaatsing van de paal	[m]

σ'_h is onder en boven begrensd door de actieve en passieve vloeispanning σ'_a en σ'_p , die beide functies zijn van σ'_v , zodanig dat σ'_a en σ'_p toenemen wanneer σ'_v toeneemt. Een uniforme bovenbelasting op het maaiveld zorgt dus voor een horizontale belasting op de paal en voor een verhoging van de vloeigrenzen.

Opgelegde grondverplaatsingen:

Hier worden de ongehinderde grondverplaatsingen opgegeven, die door een EE-programma berekend zijn. Over de volledige hoogte van de paal moeten grondverplaatsingen worden opgegeven; d.w.z. vanaf de bovenkant tot de onderkant van de paal, ook al zijn de verplaatsingen nul. M.b.v. de grondverplaatsingen kan een paal een ongehinderde grondverplaatsing opgelegd krijgen. Door de stijfheid van de paal zal deze zich hiertegen verzetten en als het ware terugveren. De grond zal zich hiertegen weer verzetten totdat uiteindelijk een evenwichtstoestand ontstaat.



PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.160

Project description

Bijlage 5C: model

Project name

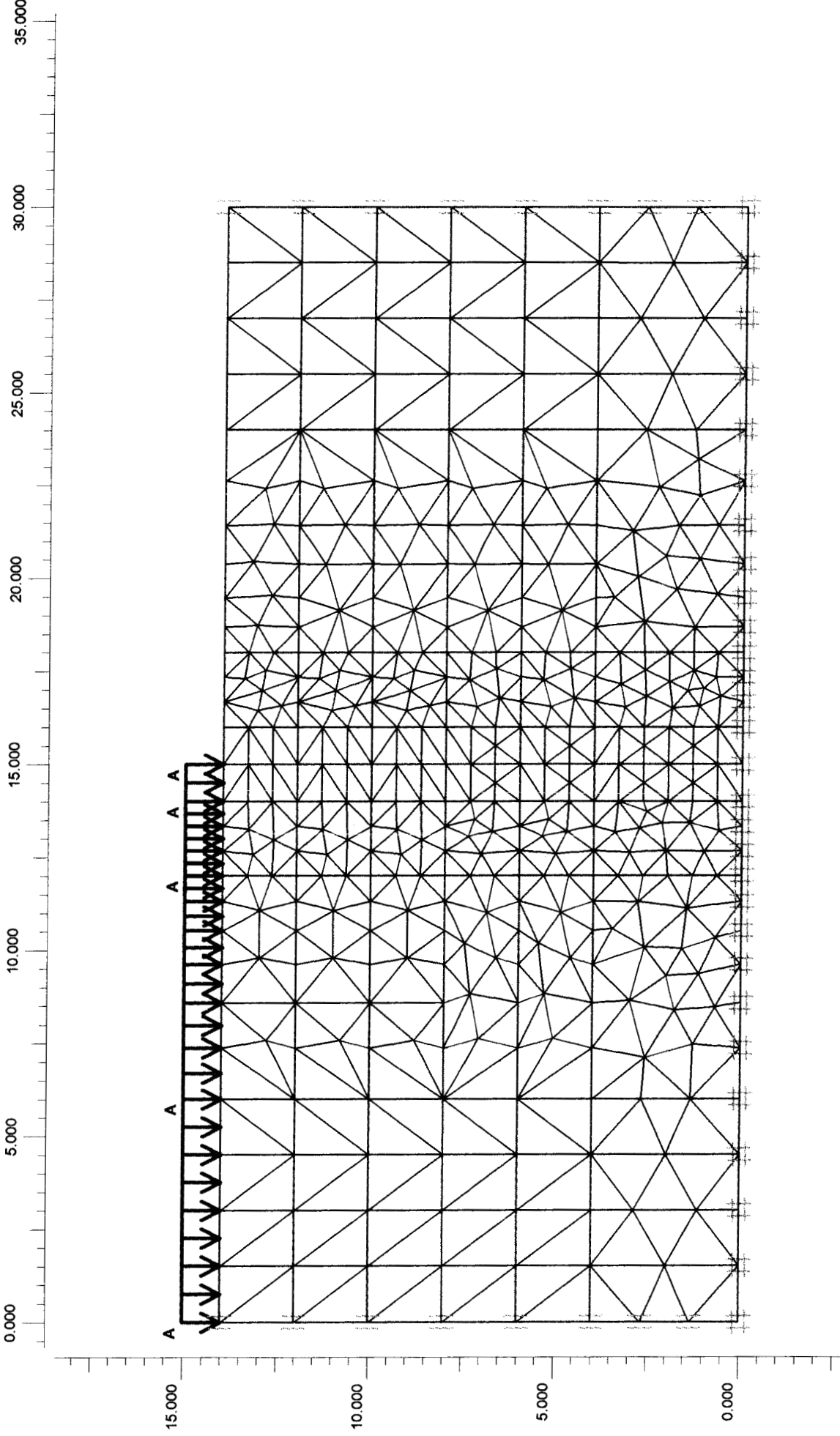
run1.plx

Date

8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Connectivities

Project description



Bijlage 5C: mesh

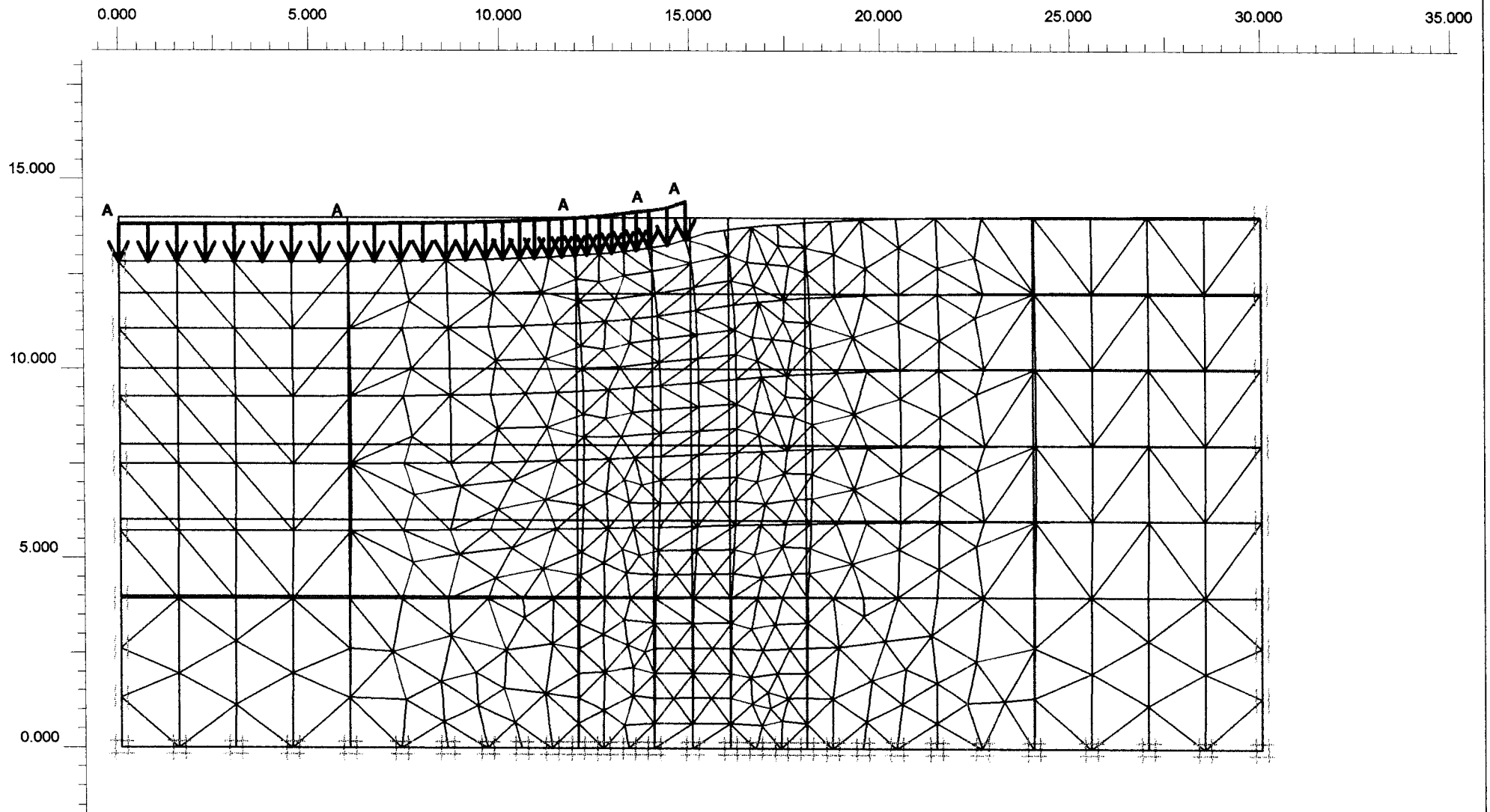
Project name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Date

08-01-02

User name



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $58,69 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 20,00 times)



Project description

Bijlage 5C: deformed mesh

Project name

run1

Step

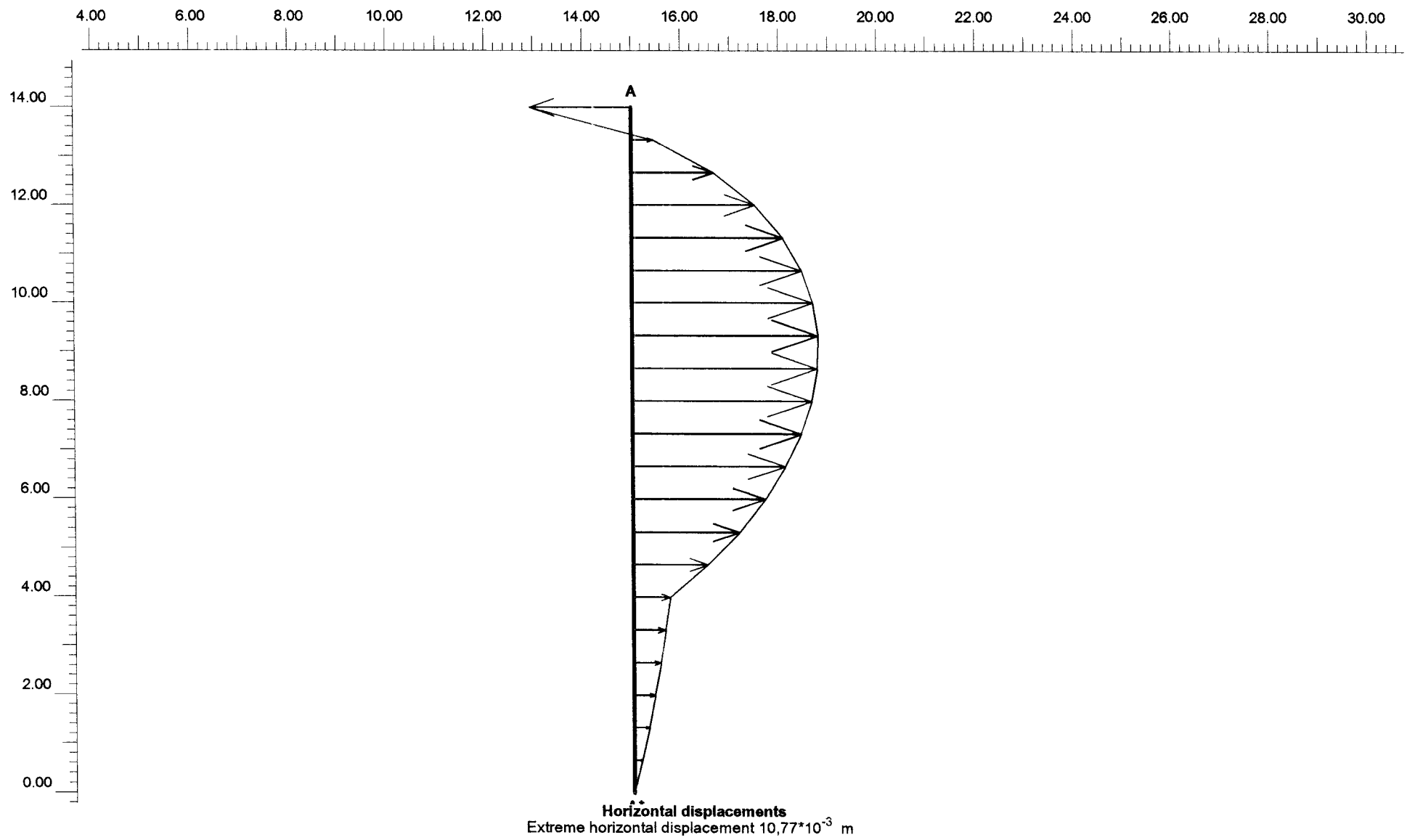
4

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

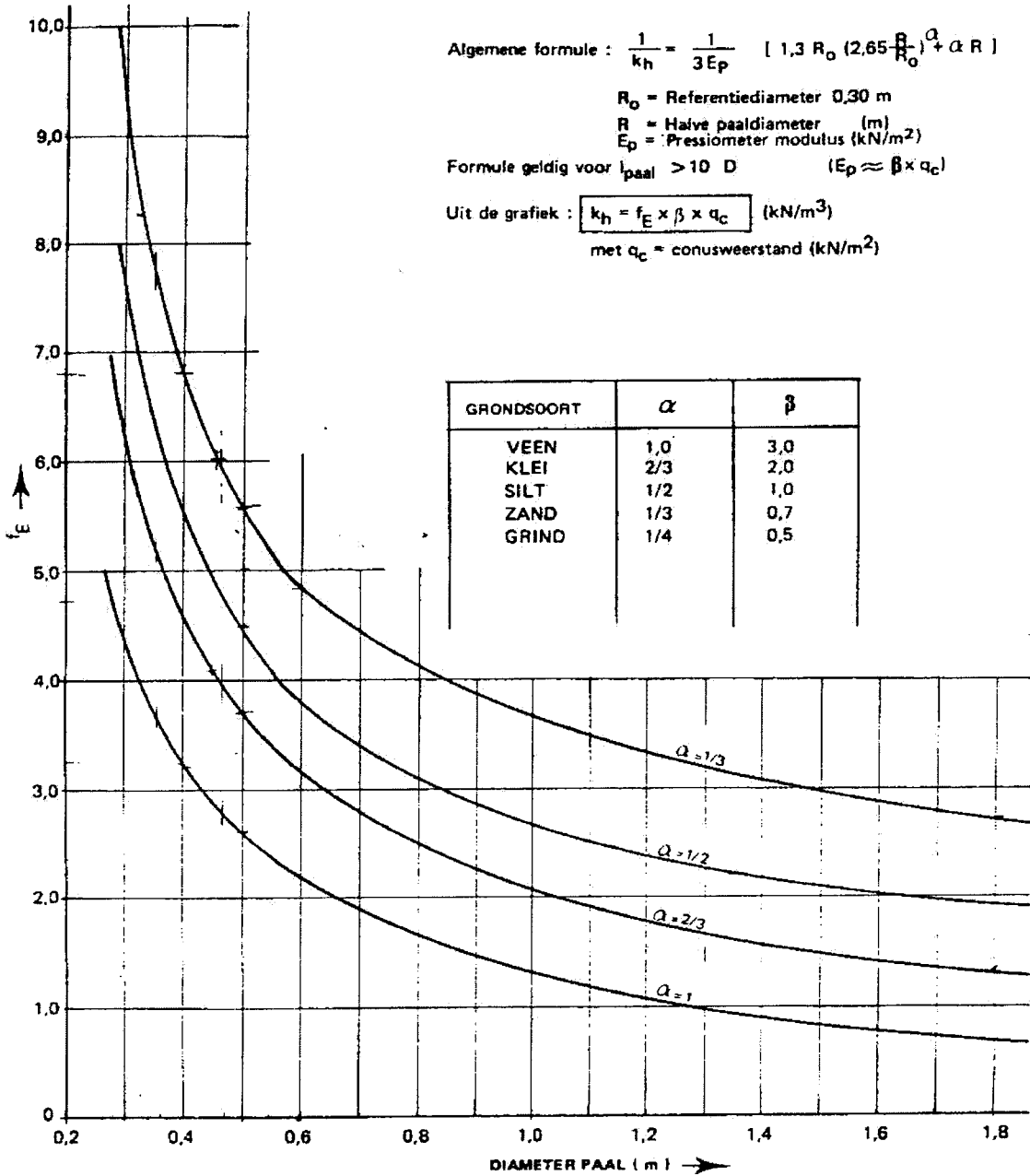


<i>Project description</i>			
Bijlage 5C: horizontale verplaatsing rand belasting			
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
run1	4	08-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Bijlage 5D

Beddingsconstanten palen volgens Menard				Diameter		0,35 m					
	Veen		Klei		Silt		Zand		Grind		
α	1	2	0,67	1	0,5	0,7	0,33	0,5	0,25		
β	3	2	1	1	1	0,7	0,33	0,5	0,25		
q_c	E_p	k_h	E_p	k_h	E_p	k_h	E_p	k_h	E_p	k_h	
Mpa	kN/m ²	kN/m ³	kN/m ²	kN/m ³	kN/m ²	kN/m ³	kN/m ²	kN/m ³	kN/m ²	kN/m ³	
0,2	600	2300	400	1900	200	1000	140	800	100	600	
0,4	1200	4600	800	3800	400	2100	280	1700	200	1300	
0,6	1800	6900	1200	5600	600	3100	420	2500	300	1900	
0,8	2400	9300	1600	7500	800	4200	560	3300	400	2500	
1,0	3000	11600	2000	9400	1000	5200	700	4100	500	3100	
1,2	3600	13900	2400	11300	1200	6300	840	5000	600	3800	
1,4	4200	16200	2800	13100	1400	7300	980	5800	700	4400	
1,6	4800	18500	3200	15000	1600	8400	1120	6600	800	5000	
1,8	5400	20800	3600	16900	1800	9400	1260	7400	900	5600	
2,0	6000	23100	4000	18800	2000	10500	1400	8300	1000	6300	
2,5	7500	28900	5000	23500	2500	13100	1750	10300	1250	7800	
3,0	9000	34700	6000	28200	3000	15700	2100	12400	1500	9400	
3,5	10500	40500	7000	32800	3500	18300	2450	14500	1750	11000	
4,0	12000	46300	8000	37500	4000	21000	2800	16500	2000	12500	
4,5	13500	52100	9000	42200	4500	23600	3150	18600	2250	14100	
5,0	15000	57800	10000	46900	5000	26200	3500	20700	2500	15700	
5,5	16500	63600	11000	51600	5500	28800	3850	22700	2750	17200	
6,0	18000	69400	12000	56300	6000	31400	4200	24800	3000	18800	
6,5	19500	75200	13000	61000	6500	34100	4550	26900	3250	20400	
7,0	21000	81000	14000	65700	7000	36700	4900	28900	3500	21900	
7,5	22500	86800	15000	70400	7500	39300	5250	31000	3750	23500	
8,0	24000	92600	16000	75100	8000	41900	5600	33100	4000	25100	
8,5	25500	98300	17000	79800	8500	44500	5950	35100	4250	26600	
9,0	27000	104100	18000	84500	9000	47200	6300	37200	4500	28200	
9,5	28500	109900	19000	89100	9500	49800	6650	39300	4750	29800	
10,0	30000	115700	20000	93800	10000	52400	7000	41300	5000	31300	
11,0	33000	127300	22000	103200	11000	57700	7700	45500	5500	34500	
12,0	36000	138800	24000	112600	12000	62900	8400	49600	6000	37600	
13,0	39000	150400	26000	122000	13000	68100	9100	53700	6500	40700	
14,0	42000	162000	28000	131400	14000	73400	9800	57900	7000	43900	
15,0	45000	173500	30000	140800	15000	78600	10500	62000	7500	47000	
16,0	48000	185100	32000	150100	16000	83900	11200	66100	8000	50100	
17,0	51000	196700	34000	159500	17000	89100	11900	70300	8500	53300	
18,0	54000	208300	36000	168900	18000	94300	12600	74400	9000	56400	
19,0	57000	219800	38000	178300	19000	99600	13300	78500	9500	59500	
20,0	60000	231400	40000	187700	20000	104800	14000	82700	10000	62700	
21,0	63000	243000	42000	197100	21000	110100	14700	86800	10500	65800	
22,0	66000	254500	44000	206400	22000	115300	15400	90900	11000	68900	
23,0	69000	266100	46000	215800	23000	120500	16100	95100	11500	72100	
24,0	72000	277700	48000	225200	24000	125800	16800	99200	12000	75200	
25,0	75000	289200	50000	234600	25000	131000	17500	103300	12500	78400	
26,0	78000	300800	52000	244000	26000	136300	18200	107500	13000	81500	
27,0	81000	312400	54000	253400	27000	141500	18900	111600	13500	84600	
28,0	84000	324000	56000	262700	28000	146800	19600	115700	14000	87800	
29,0	87000	335500	58000	272100	29000	152000	20300	119900	14500	90900	
30,0	90000	347100	60000	281500	30000	157200	21000	124000	15000	94000	

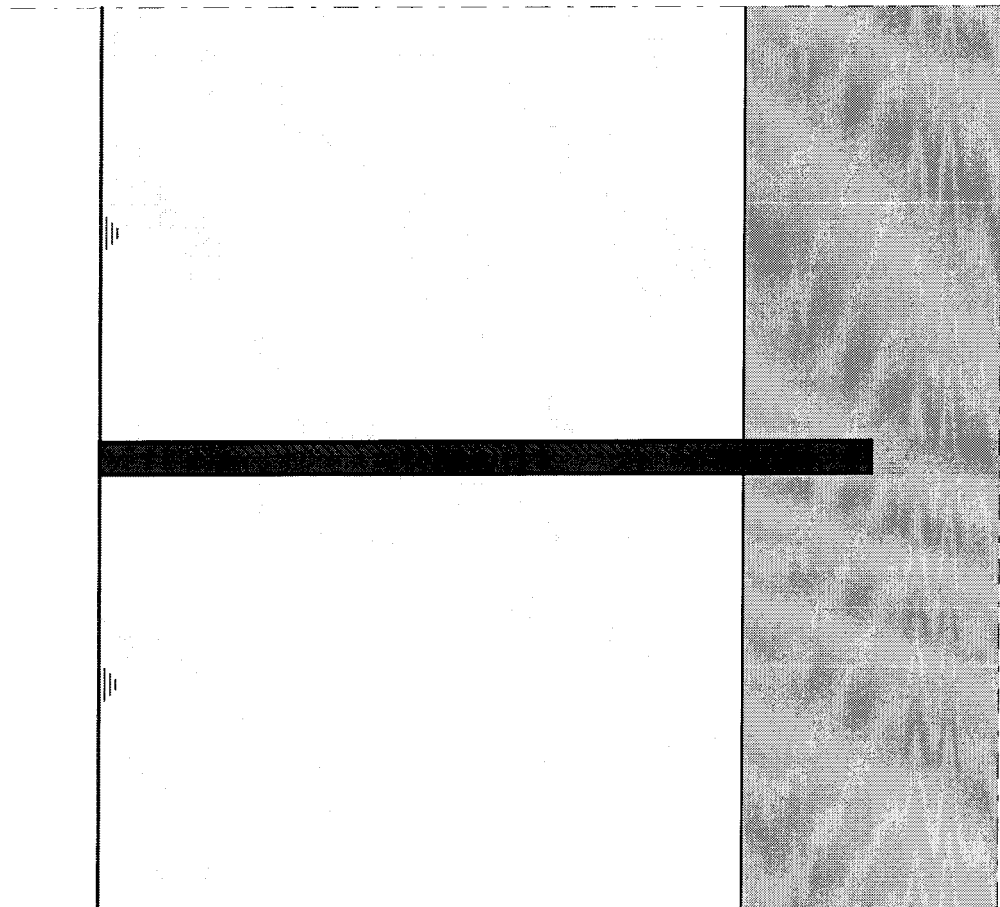
BEDDINGSCONSTANTEN PALEN VOLGENS MENARD



ONTLEEND AAN :

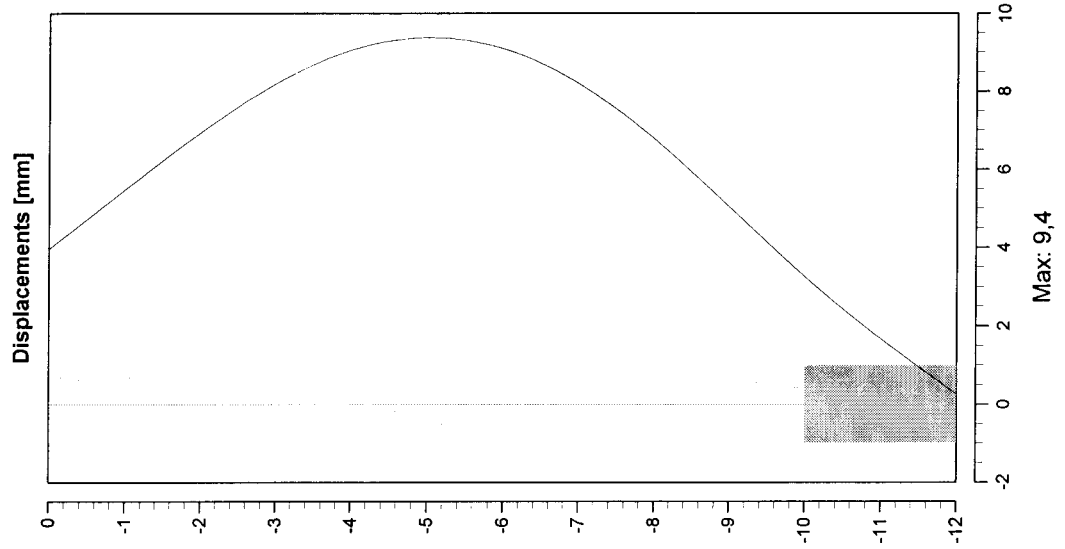
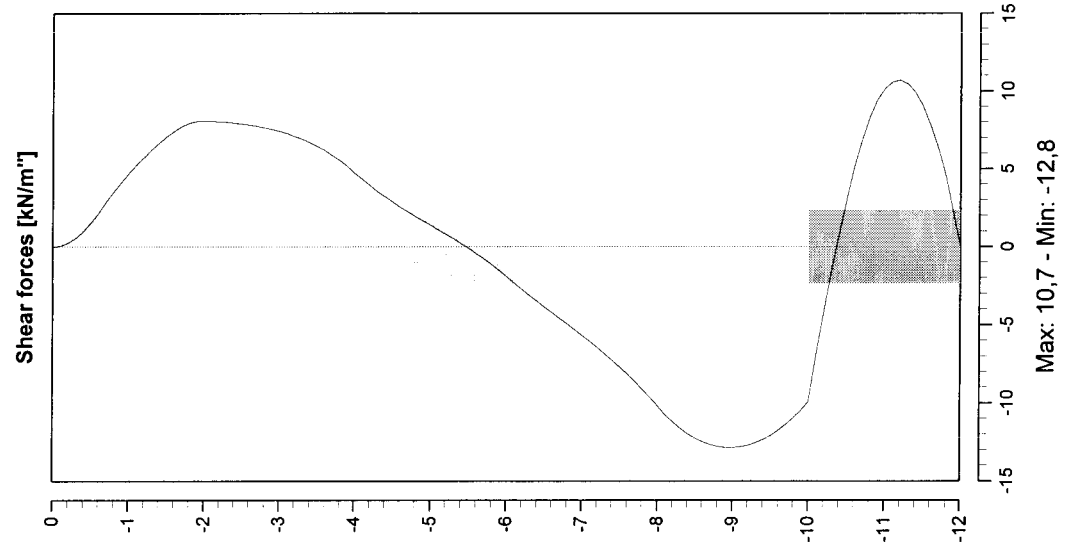
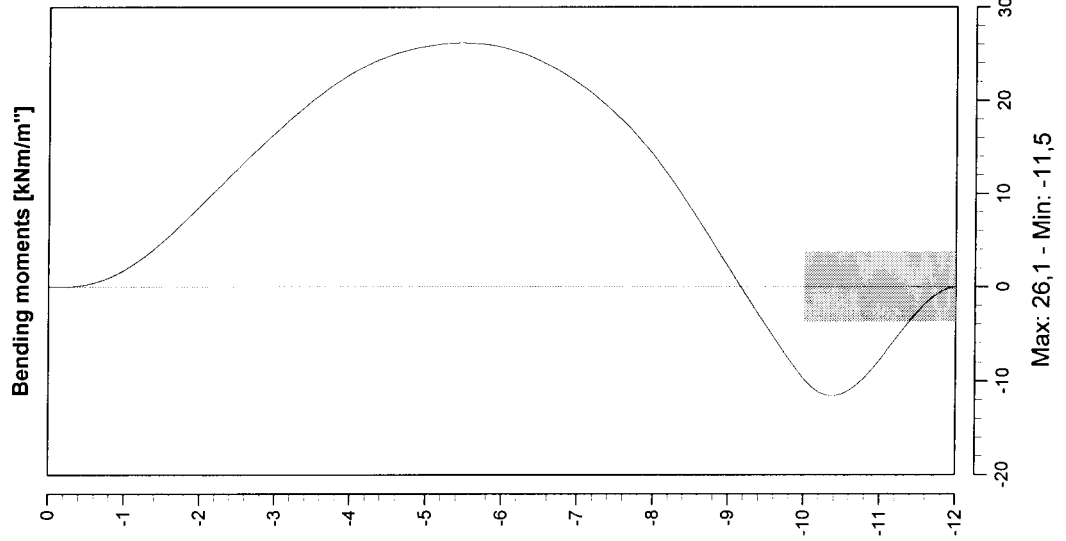
- 1) Menard, general method to calculate a pile or a diaphragm subject to horizontal loading in terms of pressurometer test results, soils soils no. 22, 23, 1968
- 2) CIAD projectgroep, door grond horizontaal belaste pelen Eind rapport, 1979

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 8-1-02	drw. -
Bijlage 5E opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1)		-	ctr.
MSheet 5.4 : run2.shi		Annex -	form. A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

-

Bijlage 5E
opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1)

-

ctr.

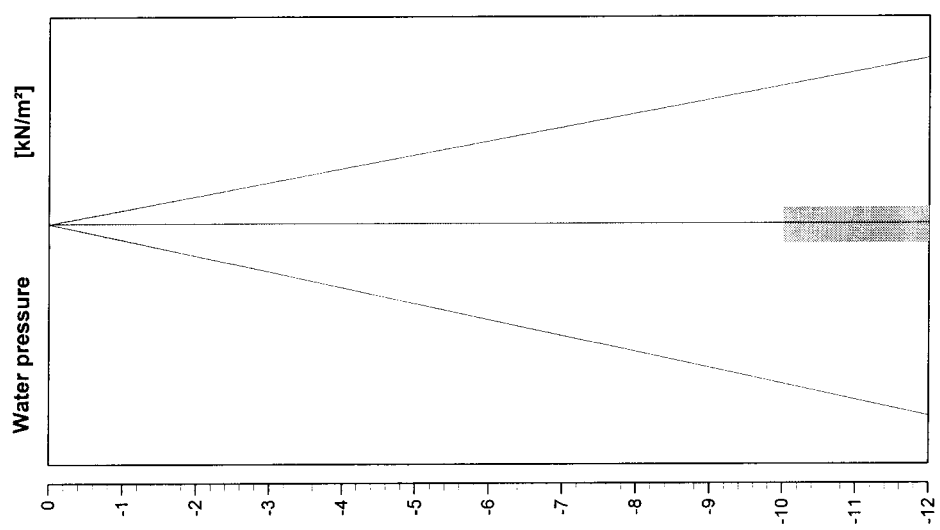
MSheet 5.4 : run2.shi

Annex -

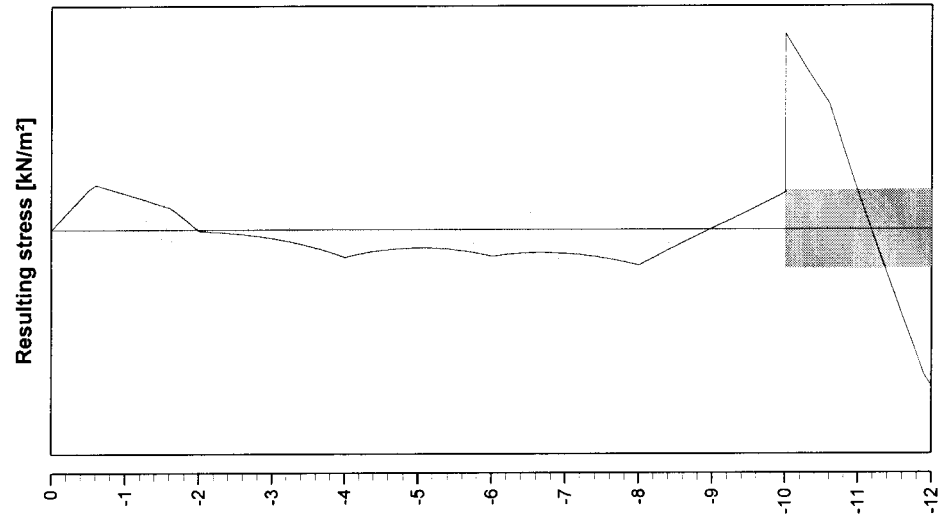
form.

A4

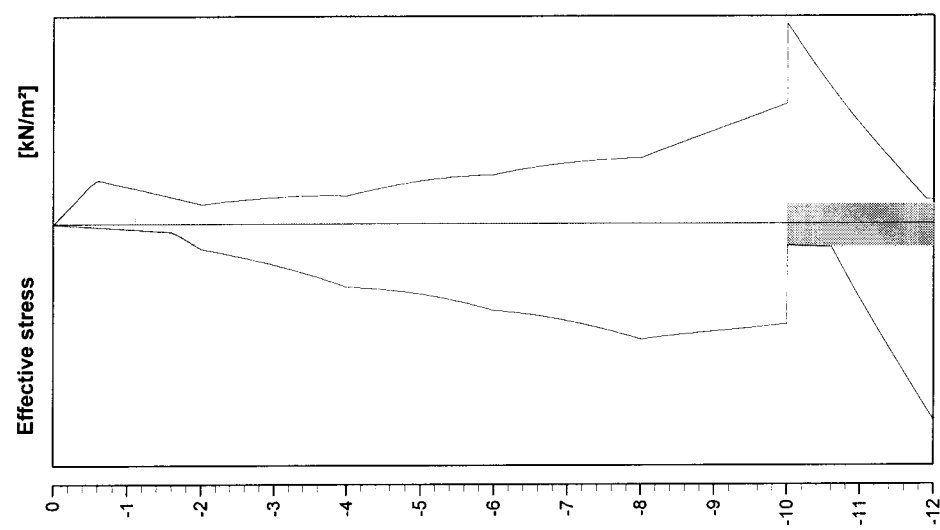
Stress states - Stage: New Stage



Maximum left: 120,0
Maximum right: 120,0



Max. effective stress: 87,6
Max. total stress: 87



Maximum left: 81,6
Maximum right: 96,4



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

-

Bijlage 5E
opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1)

Annex

-

ctr.

form.

A4

MSheet 5.4 : run2.shi

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 5E**
: **opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1)**

Date : 8-1-02
Time : 15:39:36

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.25
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.68

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 6550.00 6550.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion           : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi                 : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

-----
Surface LEFT : (Surface no. 1)                      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate    Y-coordinate    Point X-coordinate    Y-coordinate
no.    [m] from PILE    [m] from level    no.    [m] from PILE    [m] from level
  1            0.00            0.00    1            0.00            0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer    Level top side    Wosp-T    Wosp-B
no    Name    soil layer [m]    [kN/m2]    [kN/m2]
  1    klei    0.00    0.00    0.00
  2    zand    -10.00    0.00    0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.007
  3        -4.00       0.010
  4        -6.00       0.010
  5        -8.00       0.008
  6       -10.00       0.002
  7       -12.00       0.001
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str  Stat| Ef.Str  Stat| WatStL  WatStR
no   m      mm   kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
 1  0.00    4.0    0.0   -0.0 |  0.00  A  |  0.00  P  |  0.00  0.00
 2 -0.50    4.7    0.3    1.6 |  1.00  A  | 18.72  P  |  5.00  5.00
 2 -0.50    4.7    0.3    1.5 |  1.00  A  | 18.72  P  |  5.00  5.00
 3 -1.00    5.5    1.9    4.7 |  2.00  A  | 17.98 48| 10.00 10.00
 3 -1.00    5.5    1.9    4.7 |  2.00  A  | 17.98 48| 10.00 10.00
 4 -1.50    6.2    4.8    7.1 |  3.00  A  | 13.88 25| 15.00 15.00
 4 -1.50    6.2    4.8    7.1 |  3.00  A  | 13.88 25| 15.00 15.00
 5 -2.00    6.9    8.7    8.1 | 10.26 14|  9.58   | 20.00 20.00
 5 -2.00    6.9    8.7    8.1 | 10.26 14|  9.58   | 20.00 20.00
 6 -2.50    7.6   12.7    7.9 | 13.30 14| 11.50   | 25.00 25.00
 6 -2.50    7.6   12.7    7.9 | 13.30 14| 11.50   | 25.00 25.00
 7 -3.00    8.2   16.6    7.4 | 16.85 15| 12.91   | 30.00 30.00
 7 -3.00    8.2   16.6    7.4 | 16.85 15| 12.91   | 30.00 30.00
 8 -3.50    8.7   20.1    6.4 | 21.04 16| 13.68   | 35.00 35.00
 8 -3.50    8.7   20.1    6.4 | 21.04 16| 13.68   | 35.00 35.00
 9 -4.00    9.1   22.9    4.7 | 26.02 17| 13.66   | 40.00 40.00
 9 -4.00    9.1   22.9    4.7 | 26.02 17| 13.66   | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	9.3	24.8	2.9		26.97	16	17.67		45.00	45.00
10	-4.50	9.3	24.8	2.9		26.97	16	17.67		45.00	45.00
11	-5.00	9.4	25.8	1.4		28.89	15	20.71		50.00	50.00
11	-5.00	9.4	25.8	1.4		28.89	15	20.71		50.00	50.00
12	-5.50	9.3	26.1	-0.1		31.82	15	22.74		55.00	55.00
12	-5.50	9.3	26.1	-0.1		31.82	15	22.74		55.00	55.00
13	-6.00	9.1	25.7	-1.9		35.77	16	23.75		60.00	60.00
13	-6.00	9.1	25.7	-1.9		35.77	16	23.75		60.00	60.00
14	-6.50	8.7	24.2	-3.9		37.44	15	27.04		65.00	65.00
14	-6.50	8.7	24.2	-3.9		37.44	15	27.04		65.00	65.00
15	-7.00	8.2	21.8	-5.7		40.06	15	29.38		70.00	70.00
15	-7.00	8.2	21.8	-5.7		40.06	15	29.38		70.00	70.00
16	-7.50	7.5	18.5	-7.7		43.53	16	30.87		75.00	75.00
16	-7.50	7.5	18.5	-7.7		43.53	16	30.87		75.00	75.00
17	-8.00	6.8	14.0	-10.2		47.71	16	31.65		80.00	80.00
17	-8.00	6.8	14.0	-10.2		47.71	16	31.65		80.00	80.00
18	-8.50	5.9	8.4	-12.2		45.90	14	38.42		85.00	85.00
18	-8.50	5.9	8.4	-12.2		45.90	14	38.42		85.00	85.00
19	-9.00	5.0	2.0	-12.8		44.40		44.88	13	90.00	90.00
19	-9.00	5.0	2.0	-12.8		44.40		44.88	13	90.00	90.00
20	-9.50	4.1	-4.3	-12.1		42.99		51.25	14	95.00	95.00
20	-9.50	4.1	-4.3	-12.1		42.99		51.25	14	95.00	95.00
21	-10.00	3.2	-9.8	-9.9		41.41		57.79	15	100.00	100.00
21	-10.00	3.2	-9.8	-9.9		8.80 A		96.40	8	100.00	100.00
22	-10.50	2.4	-11.4	3.0		9.46 A		70.50	6	105.00	105.00
22	-10.50	2.4	-11.4	3.1		9.46 A		70.50	6	105.00	105.00
23	-11.00	1.7	-7.7	10.2		31.28		47.84	4	110.00	110.00
23	-11.00	1.7	-7.7	10.2		31.28		47.84	4	110.00	110.00
24	-11.50	1.0	-2.6	9.0		56.85	4	27.43		115.00	115.00
24	-11.50	1.0	-2.6	9.0		56.85	4	27.43		115.00	115.00
25	-12.00	0.3	0.0	0.0		81.60	5	11.44 A		120.00	120.00

Maxima :		9.4	26.1	-12.8							

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right

Effective :	118.81	118.81
Water :	252.00	252.00
Total :	370.81	370.81

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 7.5 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 7.5 %

Vertical force balance

Vertical force active : -56.26 [kN/m"]
Vertical force passive : 59.11 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 2.84 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

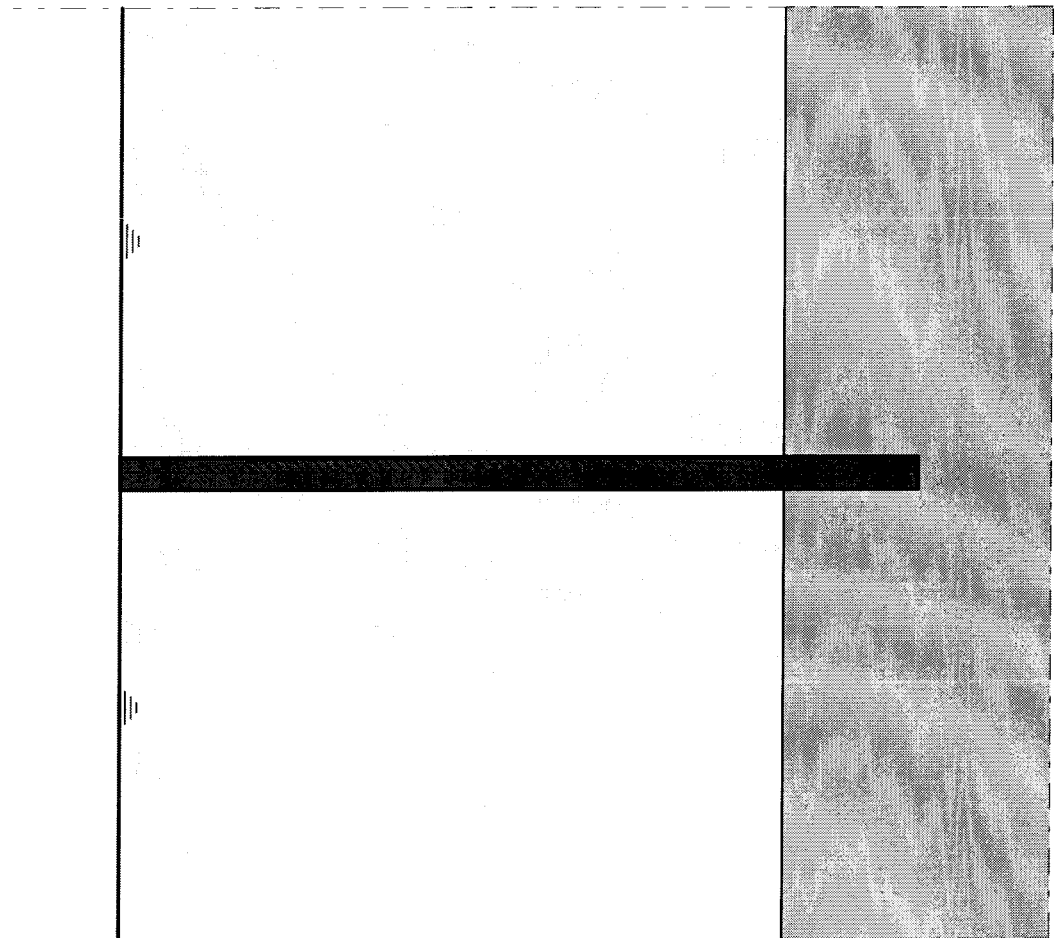
A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 9.4 [mm]
Moment : 26.1 [kNm/m"]
Shear force : -12.8 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

drw.

8-1-02

-

Bijlage 5F
idem als run2, zonder schelpfactor

ctr.

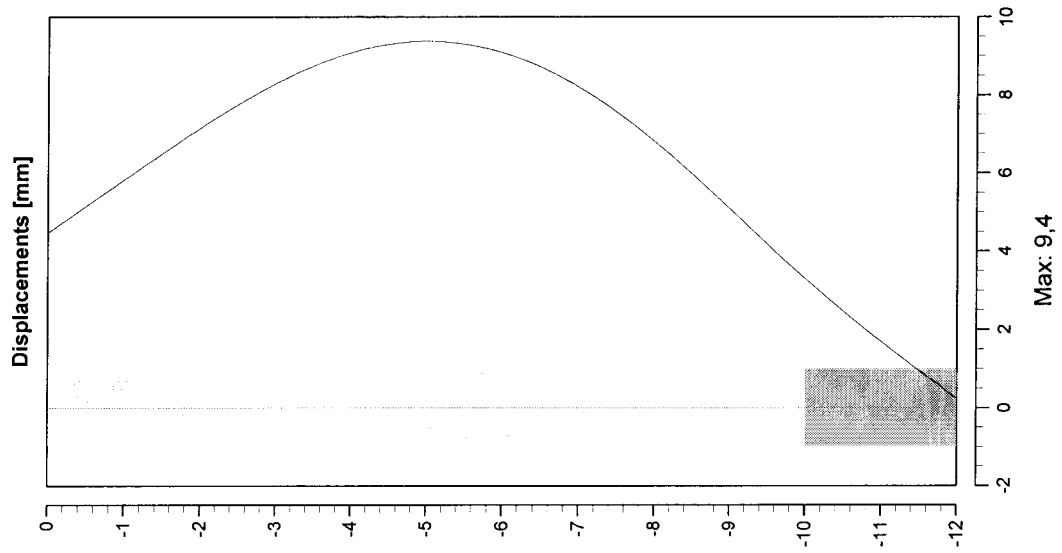
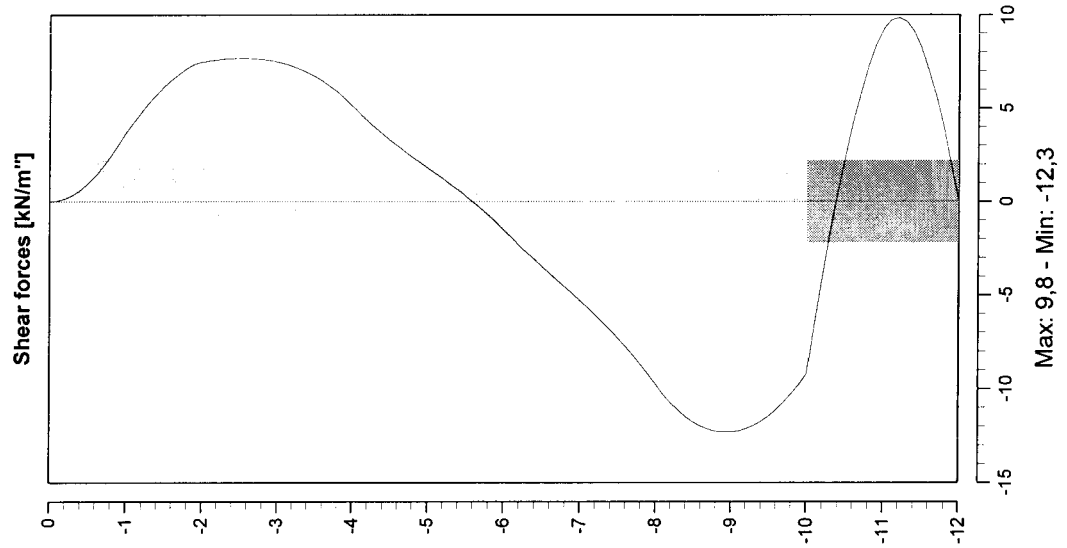
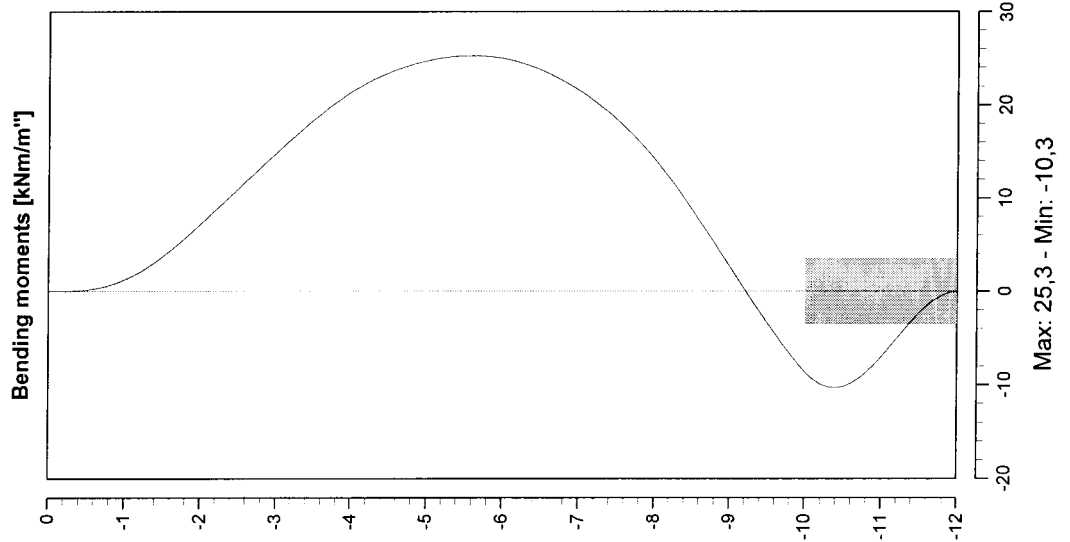
Annex -

form.

MSheet 5.4 : run2a.shi

A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

-

Bijlage 5F
idem als run2, zonder schelpfactor

clr.

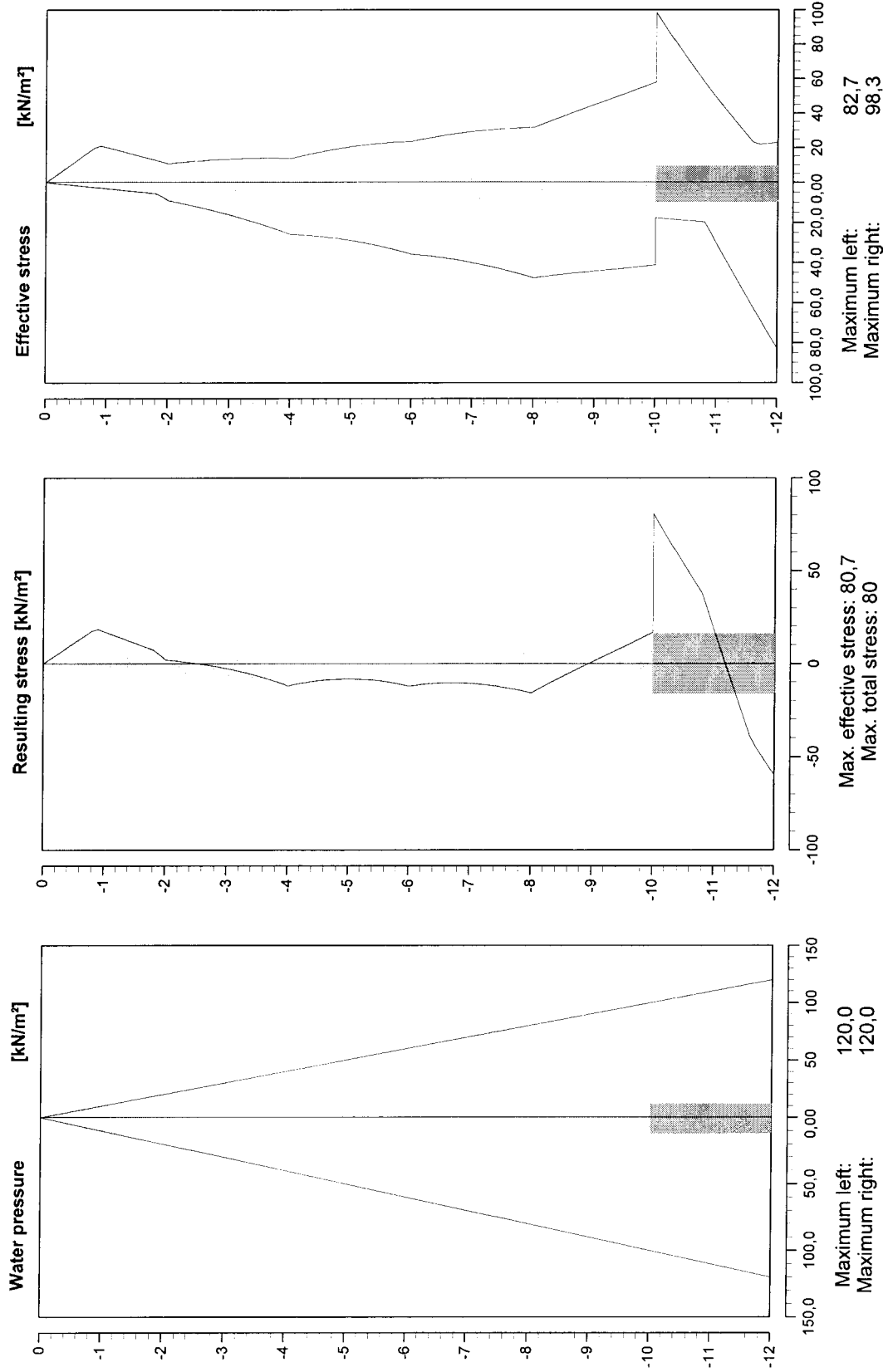
MSheet 5.4 : run2a.shi

Annex -

form.

A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

-

Bijlage 5F
idem als run2, zonder schelpfactor

-

ctr.

MSheet 5.4 : run2a.shi

Annex -

form.

A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 5F**
: **idem als run2 (bijlage 5E), zonder schelpfactor**

Date : 8-1-02
Time : 15:56:52

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2a.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2a.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2a.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.38
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	3.12

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 6550.00 6550.00

Soil layer properties : zand

 Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.22
 saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
 Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 7.25
 Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
 Phi : 35.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)

 Point X-coordinate Y-coordinate Point X-coordinate Y-coordinate
 no. [m] from PILE [m] from level no. [m] from PILE [m] from level
 1 0.00 0.00 1 0.00 0.00

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

 Layer Soil layer Level top side Wosp-T Wosp-B
 no Name soil layer [m] [kN/m2] [kN/m2]
 1 klei 0.00 0.00 0.00
 2 zand -10.00 0.00 0.00

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.007
  3        -4.00       0.010
  4        -6.00       0.010
  5        -8.00       0.008
  6       -10.00       0.002
  7       -12.00       0.001
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

```

-----
Nd   Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str  Stat| Ef.Str  Stat| WatStL  WatStR
no   m        mm    kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   %| kN/m2   kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1   0.00    4.5    0.0    -0.0 |  0.00  A  |  0.00  P  |  0.00   0.00
  2  -0.50    5.2    0.2    1.0 |  1.52  A  | 12.48  P  |  5.00   5.00
  2  -0.50    5.2    0.2    1.0 |  1.52  A  | 12.48  P  |  5.00   5.00
  3  -1.00    5.8    1.3    3.7 |  3.04  A  | 20.24  81| 10.00  10.00
  3  -1.00    5.8    1.3    3.7 |  3.04  A  | 20.24  81| 10.00  10.00
  4  -1.50    6.5    3.8    6.2 |  4.56  A  | 15.66  42| 15.00  15.00
  4  -1.50    6.5    3.8    6.2 |  4.56  A  | 15.66  42| 15.00  15.00
  5  -2.00    7.2    7.3    7.5 |  8.91   | 10.93  22| 20.00  20.00
  5  -2.00    7.2    7.3    7.5 |  8.91   | 10.93  22| 20.00  20.00
  6  -2.50    7.8   11.1    7.7 | 12.34   | 12.46  20| 25.00  25.00
  6  -2.50    7.8   11.1    7.7 | 12.34   | 12.46  20| 25.00  25.00
  7  -3.00    8.3   14.9    7.5 | 16.21  22| 13.55   | 30.00  30.00
  7  -3.00    8.3   14.9    7.5 | 16.21  22| 13.55   | 30.00  30.00
  8  -3.50    8.7   18.4    6.7 | 20.65  24| 14.07   | 35.00  35.00
  8  -3.50    8.7   18.4    6.7 | 20.65  24| 14.07   | 35.00  35.00
  9  -4.00    9.1   21.4    5.1 | 25.81  26| 13.87   | 40.00  40.00
  9  -4.00    9.1   21.4    5.1 | 25.81  26| 13.87   | 40.00  40.00
  
```

10	-4.50	9.3	23.5	3.3		26.90	24		17.74		45.00	45.00	
10	-4.50	9.3	23.5	3.3		26.90	24		17.74		45.00	45.00	
11	-5.00	9.4	24.7	1.8		28.90	23		20.70		50.00	50.00	
11	-5.00	9.4	24.7	1.8		28.90	23		20.70		50.00	50.00	
12	-5.50	9.3	25.3	0.3		31.87	23		22.69		55.00	55.00	
12	-5.50	9.3	25.3	0.3		31.87	23		22.69		55.00	55.00	
13	-6.00	9.1	25.0	-1.6		35.82	24		23.70		60.00	60.00	
13	-6.00	9.1	25.0	-1.6		35.82	24		23.70		60.00	60.00	
14	-6.50	8.7	23.7	-3.5		37.47	23		27.01		65.00	65.00	
14	-6.50	8.7	23.7	-3.5		37.47	23		27.01		65.00	65.00	
15	-7.00	8.2	21.5	-5.3		40.04	23		29.40		70.00	70.00	
15	-7.00	8.2	21.5	-5.3		40.04	23		29.40		70.00	70.00	
16	-7.50	7.5	18.3	-7.3		43.46	23		30.94		75.00	75.00	
16	-7.50	7.5	18.3	-7.3		43.46	23		30.94		75.00	75.00	
17	-8.00	6.8	14.1	-9.8		47.58	24		31.78		80.00	80.00	
17	-8.00	6.8	14.1	-9.8		47.58	24		31.78		80.00	80.00	
18	-8.50	6.0	8.6	-11.8		45.71	22		38.61		85.00	85.00	
18	-8.50	6.0	8.6	-11.8		45.71	22		38.61		85.00	85.00	
19	-9.00	5.1	2.6	-12.3		44.17			45.11	20		90.00	90.00
19	-9.00	5.1	2.6	-12.3		44.17			45.11	20		90.00	90.00
20	-9.50	4.2	-3.4	-11.5		42.73			51.51	22		95.00	95.00
20	-9.50	4.2	-3.4	-11.5		42.73			51.51	22		95.00	95.00
21	-10.00	3.3	-8.7	-9.2		41.16			58.04	23		100.00	100.00
21	-10.00	3.3	-8.7	-9.2		17.60 A			98.35	17		100.00	100.00
22	-10.50	2.5	-10.1	2.5		18.92 A			72.08	12		105.00	105.00
22	-10.50	2.5	-10.1	2.5		18.92 A			72.08	12		105.00	105.00
23	-11.00	1.7	-7.0	9.2		30.42			48.70	7		110.00	110.00
23	-11.00	1.7	-7.0	9.3		30.42			48.70	7		110.00	110.00
24	-11.50	1.0	-2.3	8.2		56.93	8		27.35			115.00	115.00
24	-11.50	1.0	-2.3	8.2		56.93	8		27.35			115.00	115.00
25	-12.00	0.2	0.0	0.0		82.71	11		22.88 A			120.00	120.00

-----|
Maxima : 9.4 25.3 -12.3 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

 Left Right

Effective : 120.76 120.76
Water : 252.00 252.00
Total : 372.76 372.76

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 13.4 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 13.4 %

Vertical force balance

Vertical force active : -57.70 [kN/m"]
Vertical force passive : 60.34 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 2.64 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

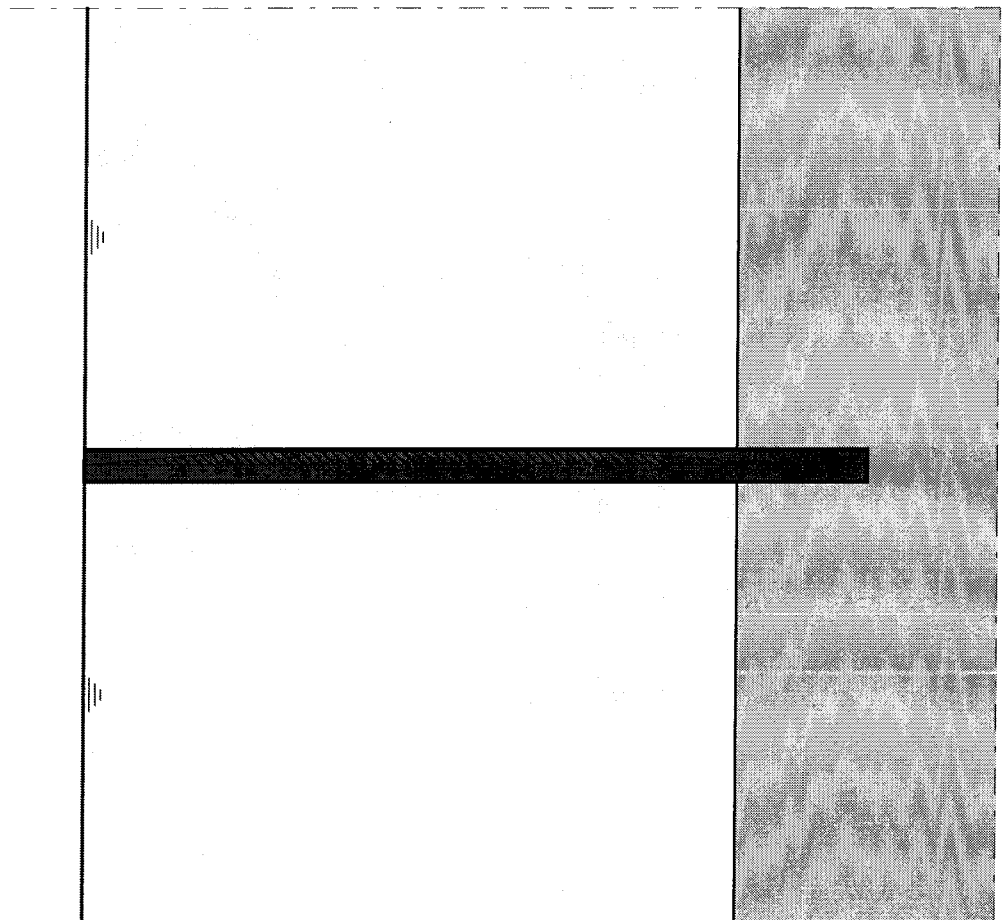
A minus sign means a downward force.


Maxima of all construction stages

Displacement : 9.4 [mm]
Moment : 25.3 [kNm/m"]
Shear force : -12.3 [kN/m"]

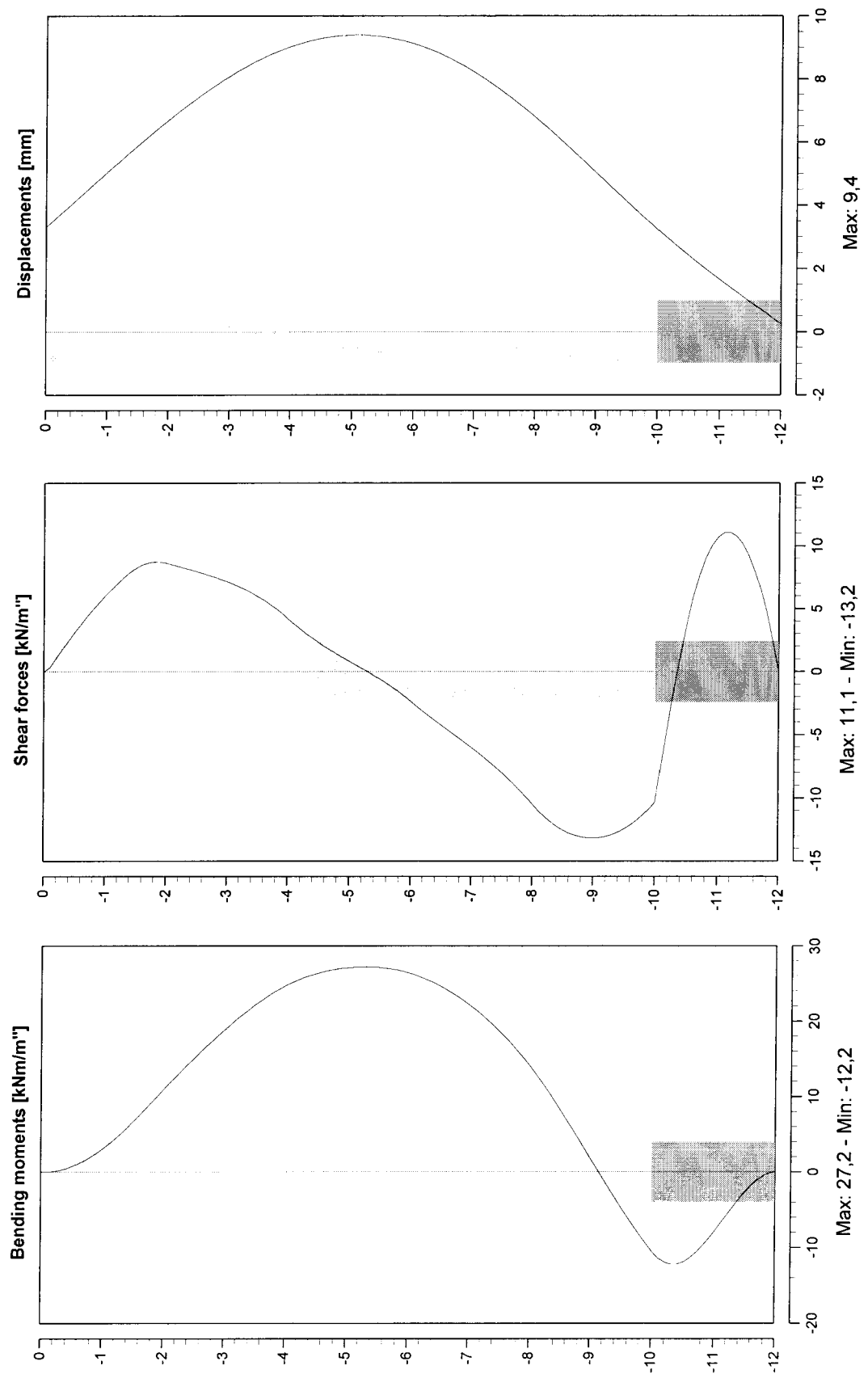
----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 8-1-02	drw. -
Bijlage 5G zie run2 met schelfactor x 10	-	ctr.	form.
MSheet 5.4 : run2i.shi	Annex -	A4	

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

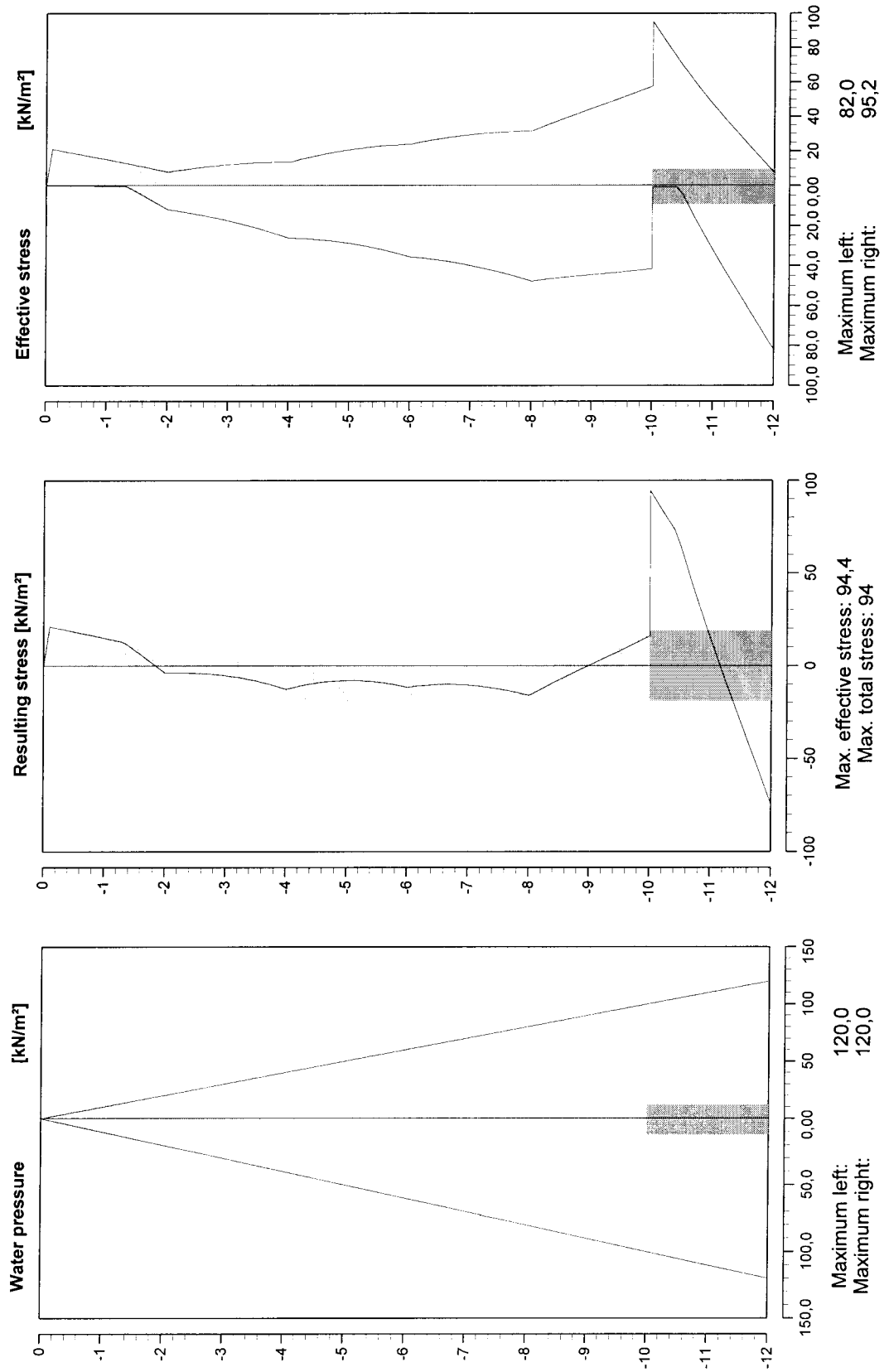
clr.

Bijlage 5G
zie run2 met schelpfactor x 10
MSheet 5.4 : run2i.shi

Annex -

form.
A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date	8-1-02	drw.	-
		ctr.	
Annex	-	form.	A4

Bijlage 5G
zie run2 met schelpfactor x 10
MSheet 5.4 : run2i.shi

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 5G**
: **zie run2 (bijlage 5E) met schelffactor x 10**

Date : 8-1-02
Time : 16:01:16

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2i.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2i.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2i.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.03
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	46.80

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 6550.00 6550.00

Soil layer properties : zand

 Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.01
 saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
 Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 145.00
 Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
 Phi : 35.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

Surface LEFT : (Surface no. 1)	Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----	-----
Point X-coordinate Y-coordinate	Point X-coordinate Y-coordinate
no. [m] from PILE [m] from level	no. [m] from PILE [m] from level
1 0.00 0.00	1 0.00 0.00

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

Layer Soil layer Level top side Wosp-T Wosp-B
no Name soil layer [m] [kN/m2] [kN/m2]
1 klei 0.00 0.00 0.00
2 zand -10.00 0.00 0.00

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.007
  3        -4.00       0.010
  4        -6.00       0.010
  5        -8.00       0.008
  6       -10.00       0.002
  7       -12.00       0.001
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm   kNm/m"  kN/m" | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1  0.00    3.3    0.0   -0.0 |  0.00 A  |  0.00 P  |  0.00  0.00
  2 -0.50    4.2    0.7    3.1 |  0.12 A  | 18.45 10|  5.00  5.00
  2 -0.50    4.2    0.7    3.1 |  0.12 A  | 18.45 10|  5.00  5.00
  3 -1.00    5.1    3.0    6.0 |  0.24 A  | 15.12  4| 10.00 10.00
  3 -1.00    5.1    3.0    6.0 |  0.24 A  | 15.12  4| 10.00 10.00
  4 -1.50    5.9    6.6    8.2 |  3.21   | 11.67  2| 15.00 15.00
  4 -1.50    5.9    6.6    8.2 |  3.21   | 11.67  2| 15.00 15.00
  5 -2.00    6.7   10.9    8.6 | 11.88  2|  7.96   | 20.00 20.00
  5 -2.00    6.7   10.9    8.6 | 11.88  2|  7.96   | 20.00 20.00
  6 -2.50    7.4   15.1    7.9 | 14.43  2| 10.37   | 25.00 25.00
  6 -2.50    7.4   15.1    7.9 | 14.43  2| 10.37   | 25.00 25.00
  7 -3.00    8.1   18.9    7.1 | 17.57  2| 12.19   | 30.00 30.00
  7 -3.00    8.1   18.9    7.1 | 17.57  2| 12.19   | 30.00 30.00
  8 -3.50    8.6   22.2    6.0 | 21.44  2| 13.28   | 35.00 35.00
  8 -3.50    8.6   22.2    6.0 | 21.44  2| 13.28   | 35.00 35.00
  9 -4.00    9.0   24.7    4.2 | 26.18  2| 13.50   | 40.00 40.00
  9 -4.00    9.0   24.7    4.2 | 26.18  2| 13.50   | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	9.3	26.3	2.3		26.97	2	17.67		45.00	45.00
10	-4.50	9.3	26.3	2.3		26.97	2	17.67		45.00	45.00
11	-5.00	9.4	27.1	0.8		28.79	2	20.81		50.00	50.00
11	-5.00	9.4	27.1	0.8		28.79	2	20.81		50.00	50.00
12	-5.50	9.3	27.1	-0.6		31.66	2	22.90		55.00	55.00
12	-5.50	9.3	27.1	-0.6		31.66	2	22.90		55.00	55.00
13	-6.00	9.1	26.4	-2.4		35.60	2	23.92		60.00	60.00
13	-6.00	9.1	26.4	-2.4		35.60	2	23.92		60.00	60.00
14	-6.50	8.7	24.7	-4.3		37.29	2	27.19		65.00	65.00
14	-6.50	8.7	24.7	-4.3		37.29	2	27.19		65.00	65.00
15	-7.00	8.2	22.2	-6.0		39.94	2	29.50		70.00	70.00
15	-7.00	8.2	22.2	-6.0		39.94	2	29.50		70.00	70.00
16	-7.50	7.5	18.7	-8.0		43.46	2	30.94		75.00	75.00
16	-7.50	7.5	18.7	-8.0		43.46	2	30.94		75.00	75.00
17	-8.00	6.8	14.1	-10.5		47.70	2	31.66		80.00	80.00
17	-8.00	6.8	14.1	-10.5		47.70	2	31.66		80.00	80.00
18	-8.50	5.9	8.2	-12.6		45.94	1	38.38		85.00	85.00
18	-8.50	5.9	8.2	-12.5		45.94	1	38.38		85.00	85.00
19	-9.00	5.0	1.7	-13.2		44.50		44.78	1	90.00	90.00
19	-9.00	5.0	1.7	-13.2		44.50		44.78	1	90.00	90.00
20	-9.50	4.1	-4.7	-12.5		43.12		51.12	1	95.00	95.00
20	-9.50	4.1	-4.7	-12.5		43.12		51.12	1	95.00	95.00
21	-10.00	3.2	-10.5	-10.4		41.57		57.63	2	100.00	100.00
21	-10.00	3.2	-10.5	-10.4		0.80 A		95.22	1	100.00	100.00
22	-10.50	2.4	-11.9	3.8		4.60		69.36	1	105.00	105.00
22	-10.50	2.4	-11.9	3.8		4.60		69.36	1	105.00	105.00
23	-11.00	1.6	-7.9	10.7		32.23		46.89		110.00	110.00
23	-11.00	1.6	-7.9	10.7		32.23		46.89		110.00	110.00
24	-11.50	0.9	-2.6	9.2		57.54		26.74		115.00	115.00
24	-11.50	0.9	-2.6	9.2		57.54		26.74		115.00	115.00
25	-12.00	0.2	0.0	0.0		82.01	1	7.43		120.00	120.00

Maxima :		9.4	27.2	-13.2							

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m²]

	Left	Right

Effective :	117.90	117.86
Water :	252.00	252.00
Total :	369.90	369.86

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 0.7 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 0.7 %

Vertical force balance

Vertical force active : -58.51 [kN/m"]
Vertical force passive : 55.57 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : -2.94 [kN/m"]

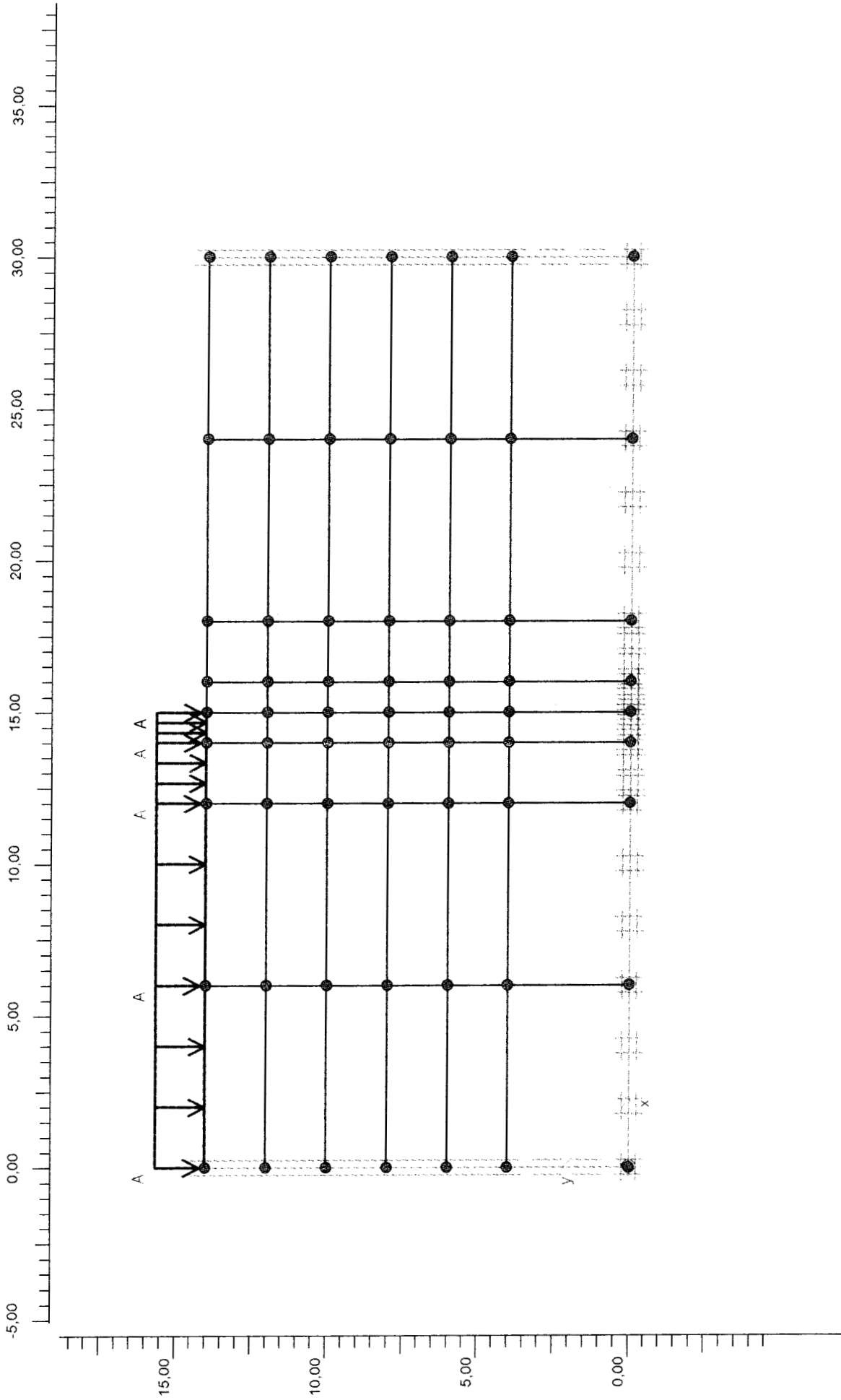
Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 9.4 [mm]
Moment : 27.2 [kNm/m"]
Shear force : -13.2 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----



Project description

Bijlage 5H: model

Project name

run1a.plx

Date

8-1-02

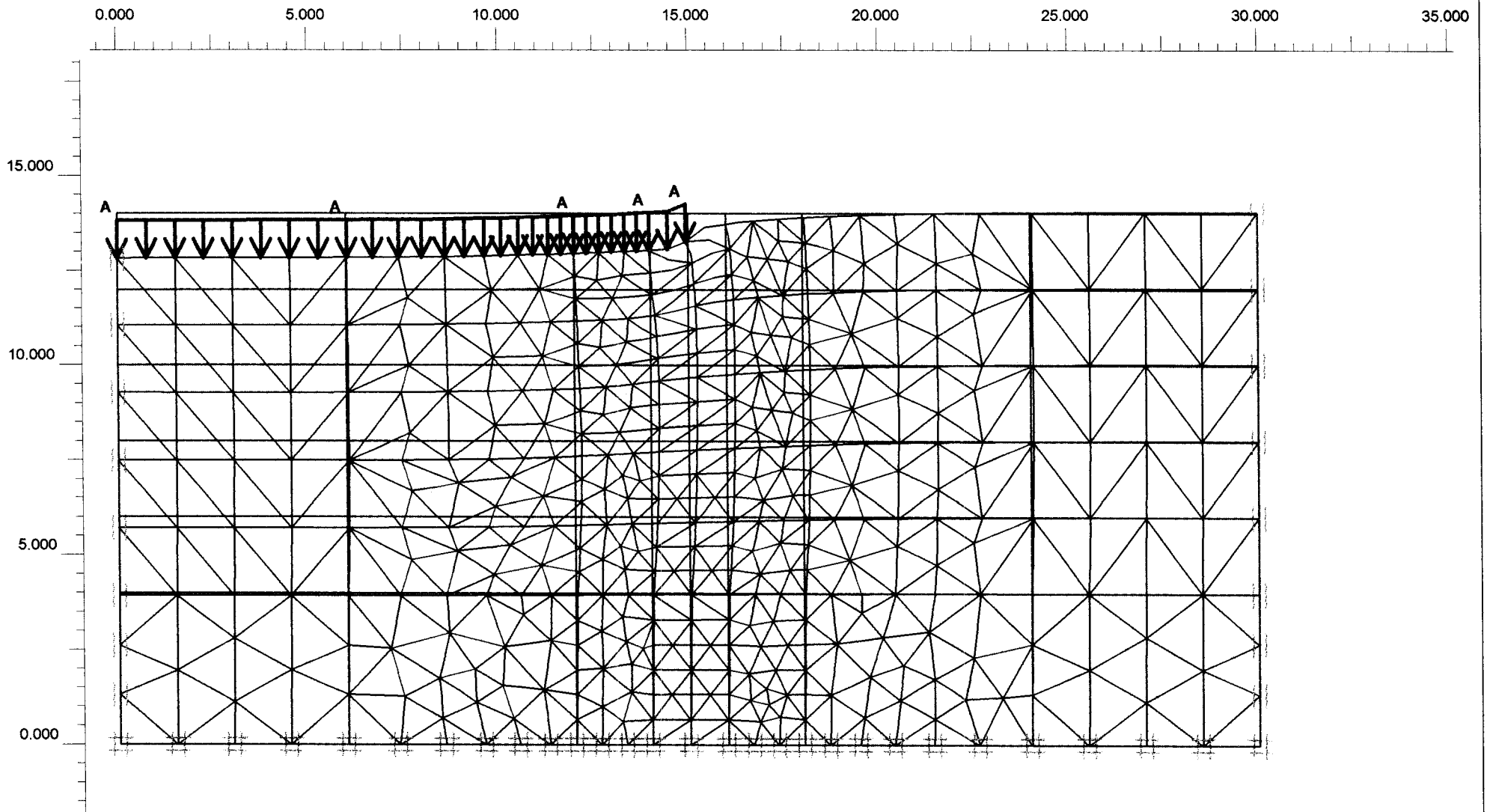
User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.160



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $235,43 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 5,00 times)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Bijlage 5H: deformed mesh

Project name

run1a

Step

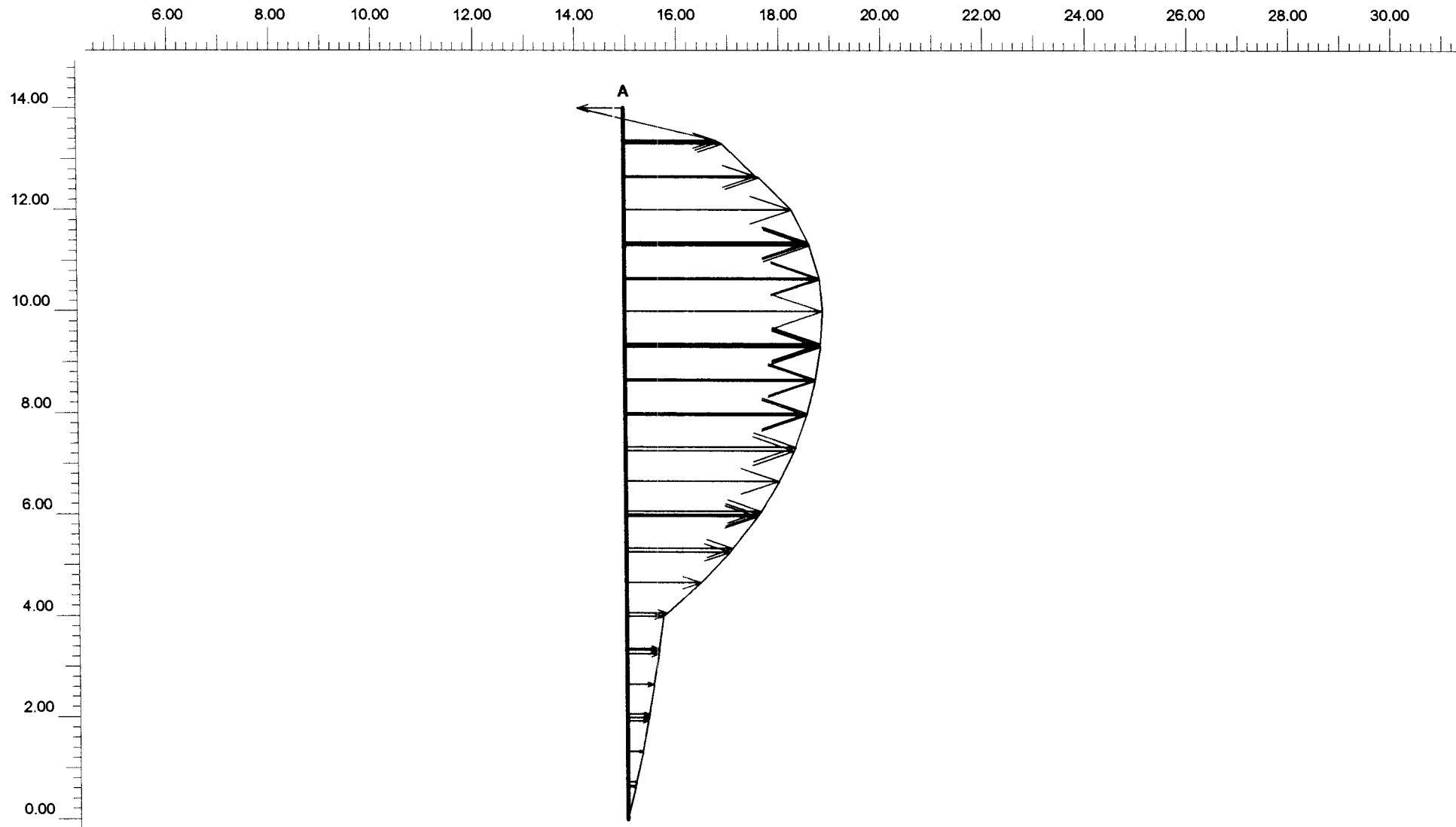
9

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $46,16 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 5H: horizontale verplaatsing rand belasting

Project name

run1a

Step

9

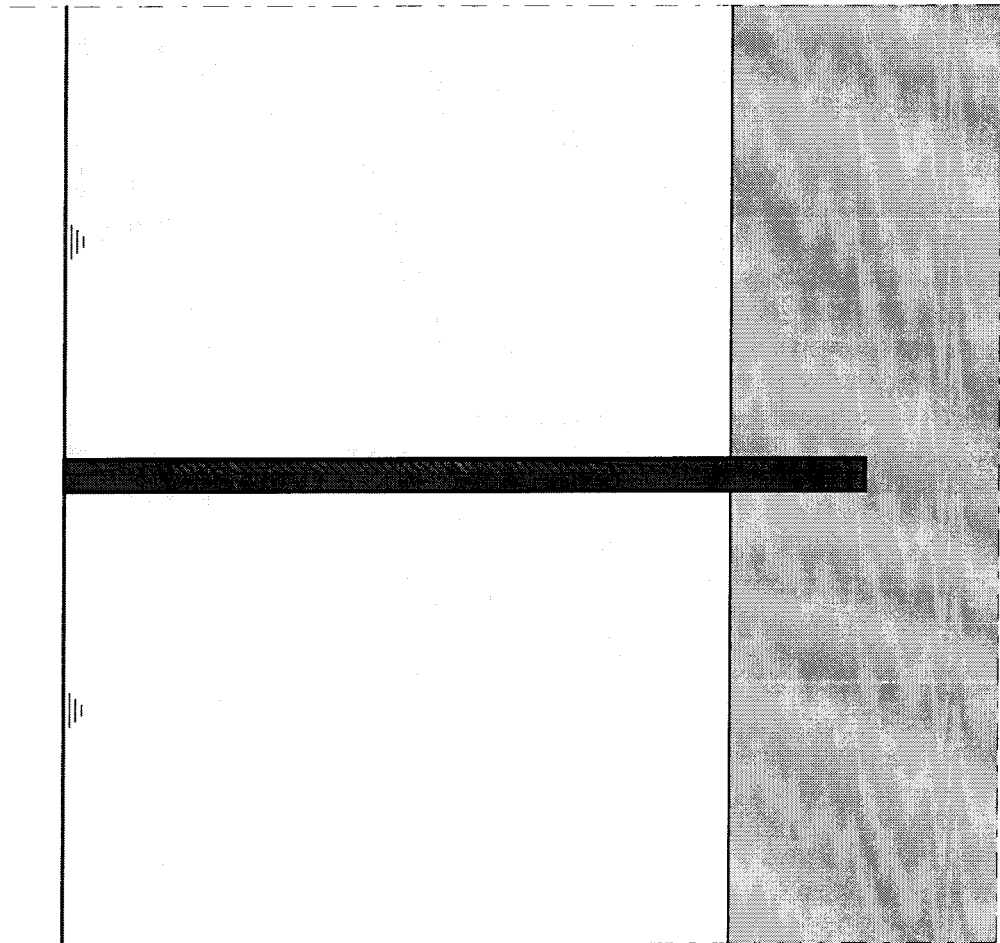
Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Outline view - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw

-

Bijlage 5H
opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)

ctr.

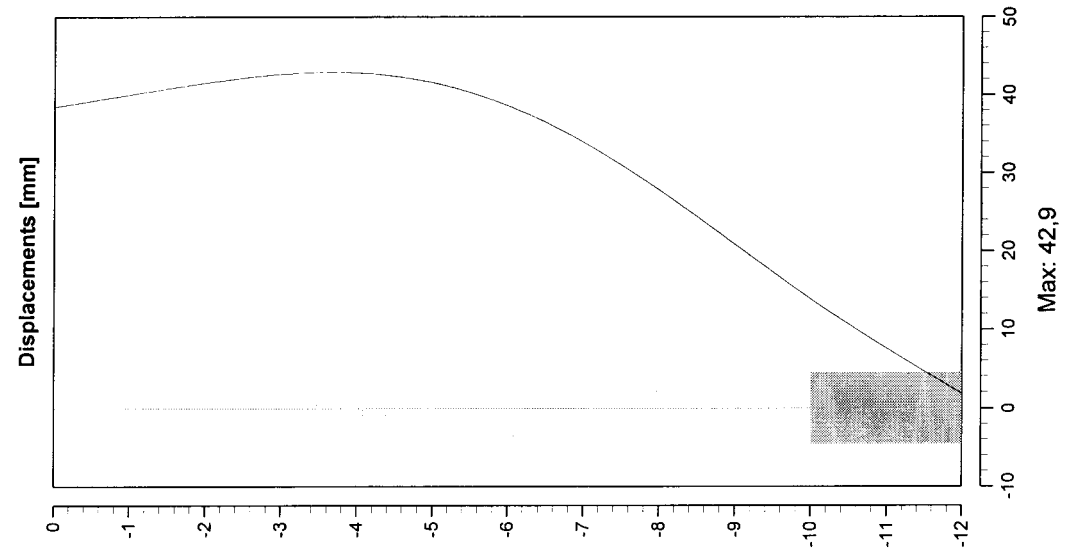
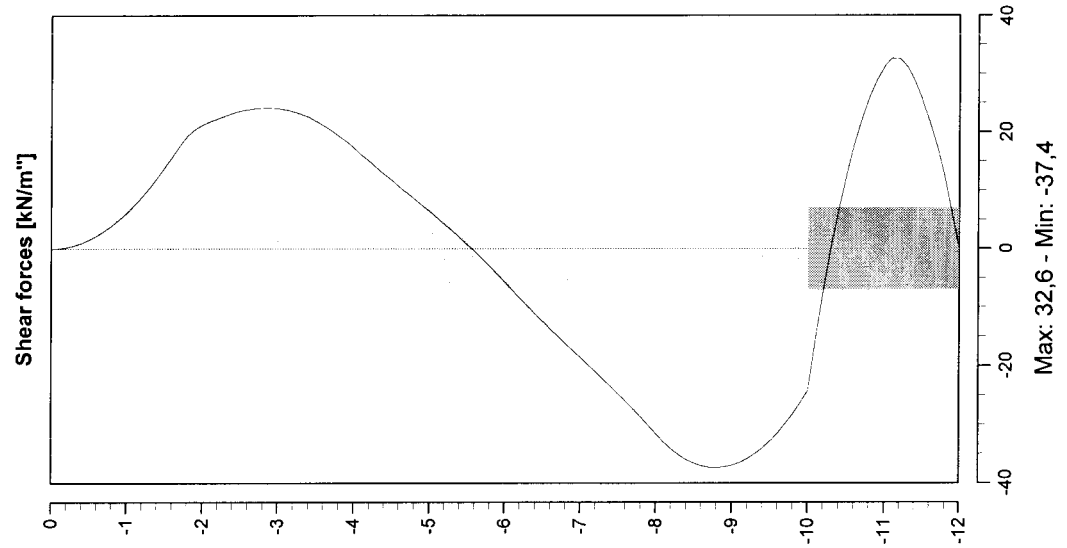
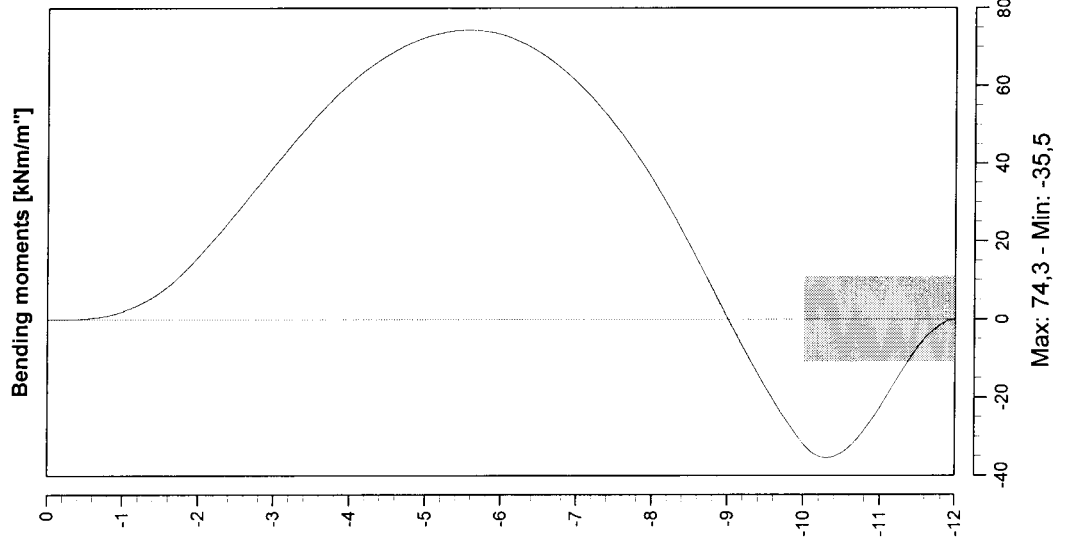
Annex -

form

A4

MSheet 5.4 : run2b.shi

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

ctr.

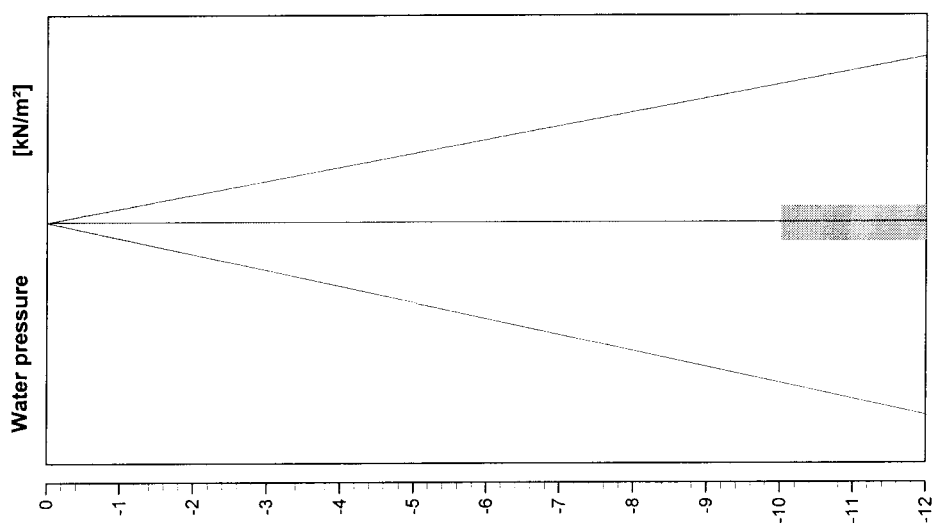
Bijlage 5H
opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)

Annex -

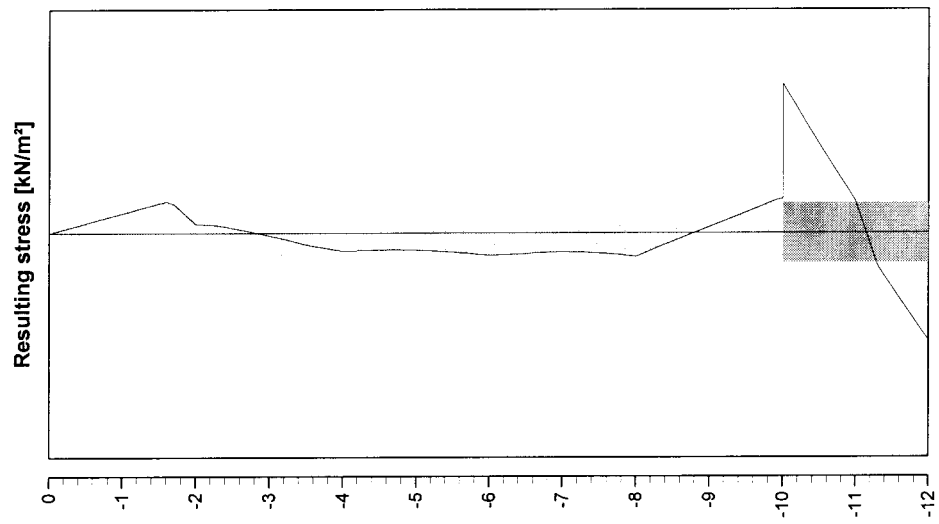
form.
A4

MSheet 5.4 : run2b.shi

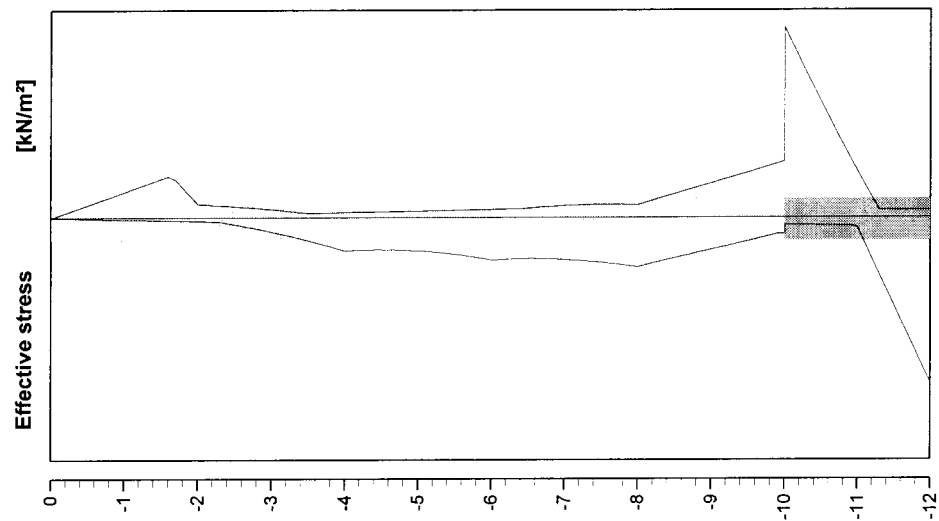
Stress states - Stage: New Stage



Maximum left: 120,0
Maximum right: 120,0



Max. effective stress: 266,2
Max. total stress: 2



Maximum left: 204,4
Maximum right: 275,0



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

-
ctr.

Bijlage 5H
opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)

MSheet 5.4 : run2b.shi

Annex -

form.
A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 5H**
: **opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)**

Date : 8-1-02
Time : 16:05:12

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2b.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2b.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2b.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.25
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.68

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 6550.00 6550.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

Surface LEFT : (Surface no. 1)                      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate    Y-coordinate    Point X-coordinate    Y-coordinate
no.    [m] from PILE    [m] from level    no.    [m] from PILE    [m] from level
  1            0.00            0.00            1            0.00            0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer    Level top side    Wosp-T    Wosp-B
no    Name            soil layer [m]    [kN/m2]    [kN/m2]
  1    klei            0.00            0.00       0.00
  2    zand            -10.00          0.00       0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.040
  3        -4.00       0.046
  4        -6.00       0.042
  5        -8.00       0.031
  6       -10.00       0.009
  7       -12.00       0.005
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm   kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1  0.00   38.4   0.0   -0.0 |  0.00  A |  0.00  P |  0.00  0.00
  2 -0.50   39.2   0.3    1.6 |  1.00  A | 18.72  P |  5.00  5.00
  2 -0.50   39.2   0.3    1.6 |  1.00  A | 18.72  P |  5.00  5.00
  3 -1.00   40.0   2.1    6.2 |  2.00  A | 37.44  P | 10.00 10.00
  3 -1.00   40.0   2.1    6.2 |  2.00  A | 37.44  P | 10.00 10.00
  4 -1.50   40.8   7.0   14.0 |  3.00  A | 56.16  P | 15.00 15.00
  4 -1.50   40.8   7.0   14.0 |  3.00  A | 56.16  P | 15.00 15.00
  5 -2.00   41.5  16.1  21.3 |  4.00  A | 19.97 27| 20.00 20.00
  5 -2.00   41.5  16.1  21.3 |  4.00  A | 19.97 27| 20.00 20.00
  6 -2.50   42.2  27.4  23.6 |  8.01   | 16.79 18| 25.00 25.00
  6 -2.50   42.2  27.4  23.6 |  8.01   | 16.79 18| 25.00 25.00
  7 -3.00   42.6  39.4  24.0 | 17.22 15| 12.54   | 30.00 30.00
  7 -3.00   42.6  39.4  24.0 | 17.22 15| 12.54   | 30.00 30.00
  8 -3.50   42.9  51.0  21.8 | 27.97 21|  7.00  A | 35.00 35.00
  8 -3.50   42.9  51.0  21.8 | 27.97 21|  7.00  A | 35.00 35.00
  9 -4.00   42.8  60.8  17.2 | 40.71 27|  8.00  A | 40.00 40.00
  9 -4.00   42.8  60.8  17.2 | 40.71 27|  8.00  A | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	42.4	68.0	11.7		39.45	23	9.00	A		45.00	45.00
10	-4.50	42.4	68.0	11.7		39.45	23	9.00	A		45.00	45.00
11	-5.00	41.6	72.5	6.4		40.84	22	10.00	A		50.00	50.00
11	-5.00	41.6	72.5	6.4		40.84	22	10.00	A		50.00	50.00
12	-5.50	40.3	74.3	0.7		45.06	22	11.00	A		55.00	55.00
12	-5.50	40.3	74.3	0.7		45.06	22	11.00	A		55.00	55.00
13	-6.00	38.6	73.1	-5.7		52.18	23	12.00	A		60.00	60.00
13	-6.00	38.6	73.1	-5.7		52.18	23	12.00	A		60.00	60.00
14	-6.50	36.4	68.5	-12.5		50.68	21	13.80			65.00	65.00
14	-6.50	36.4	68.5	-12.5		50.68	21	13.80			65.00	65.00
15	-7.00	33.9	60.7	-18.6		51.86	20	17.58			70.00	70.00
15	-7.00	33.9	60.7	-18.6		51.86	20	17.58			70.00	70.00
16	-7.50	31.0	49.9	-24.8		55.40	20	19.00			75.00	75.00
16	-7.50	31.0	49.9	-24.8		55.40	20	19.00			75.00	75.00
17	-8.00	27.8	35.9	-31.6		60.88	20	18.48			80.00	80.00
17	-8.00	27.8	35.9	-31.6		60.88	20	18.48			80.00	80.00
18	-8.50	24.3	18.6	-36.6		49.74	16	34.58			85.00	85.00
18	-8.50	24.3	18.6	-36.6		49.74	16	34.58			85.00	85.00
19	-9.00	20.8	0.0	-37.0		39.32		49.96	15		90.00	90.00
19	-9.00	20.8	0.0	-37.0		39.32		49.96	15		90.00	90.00
20	-9.50	17.3	-17.6	-32.9		28.91		65.33	18		95.00	95.00
20	-9.50	17.3	-17.6	-32.9		28.91		65.33	18		95.00	95.00
21	-10.00	13.9	-32.1	-24.2		20.00	A	81.38	22		100.00	100.00
21	-10.00	13.9	-32.1	-24.2		8.80	A	275.03	24		100.00	100.00
22	-10.50	10.6	-34.2	12.7		9.46	A	166.35	13		105.00	105.00
22	-10.50	10.6	-34.2	12.7		9.46	A	166.35	13		105.00	105.00
23	-11.00	7.6	-22.5	31.2		11.67		67.45	5		110.00	110.00
23	-11.00	7.6	-22.5	31.4		11.67		67.45	5		110.00	110.00
24	-11.50	4.6	-7.1	25.6		109.18	8	10.78	A		115.00	115.00
24	-11.50	4.6	-7.1	25.5		109.18	8	10.78	A		115.00	115.00
25	-12.00	1.8	0.0	0.0		204.38	14	11.44	A		120.00	120.00

-----|
Maxima : 42.9 74.3 -37.4 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right
Effective :	150.69	150.70
Water :	252.00	252.00
Total :	402.69	402.70

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 9.5 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 9.5 %

Vertical force balance

Vertical force active : -74.26 [kN/m"]
Vertical force passive : 81.20 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 6.93 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

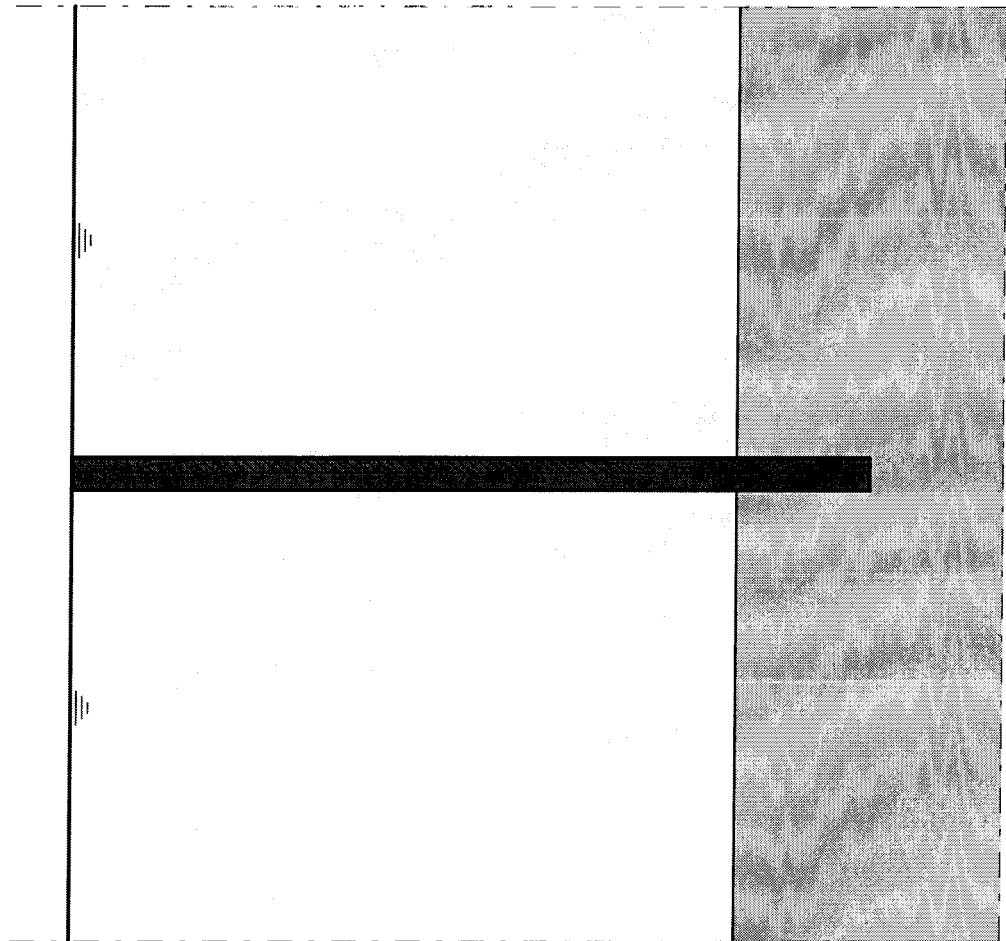
A minus sign means a downward force.


Maxima of all construction stages

Displacement : 42.9 [mm]
Moment : 74.3 [kNm/m"]
Shear force : -37.4 [kN/m"]

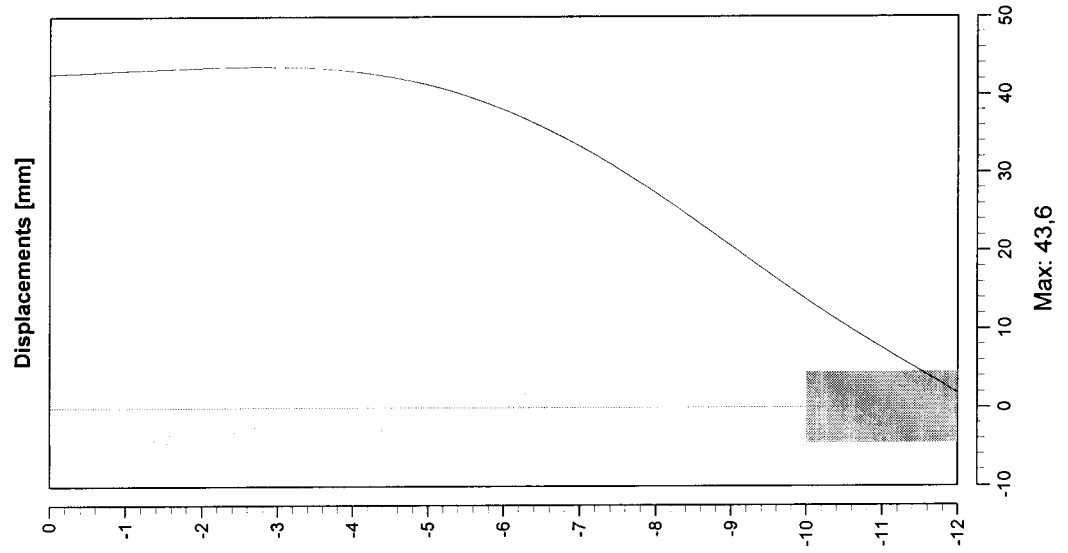
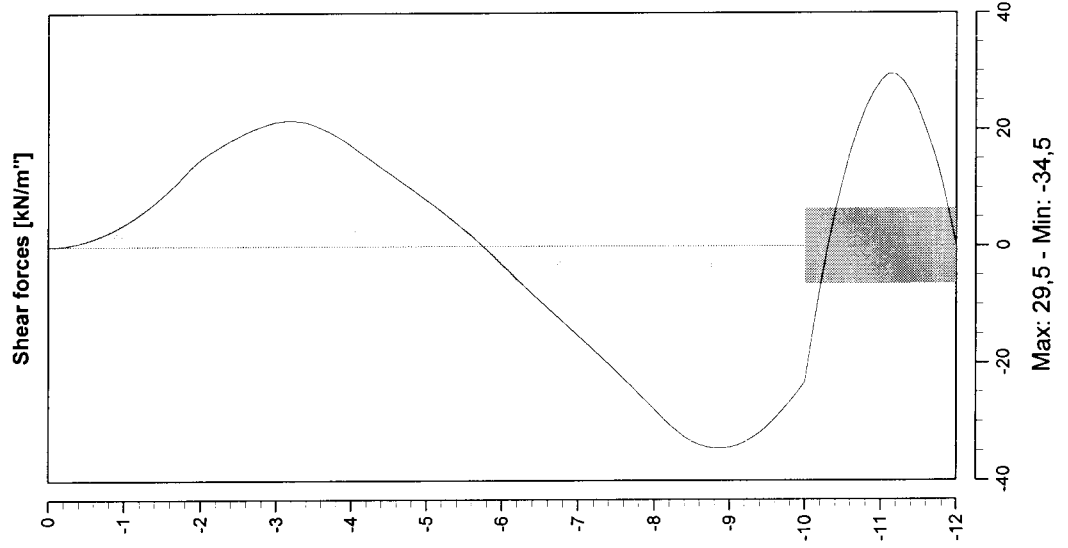
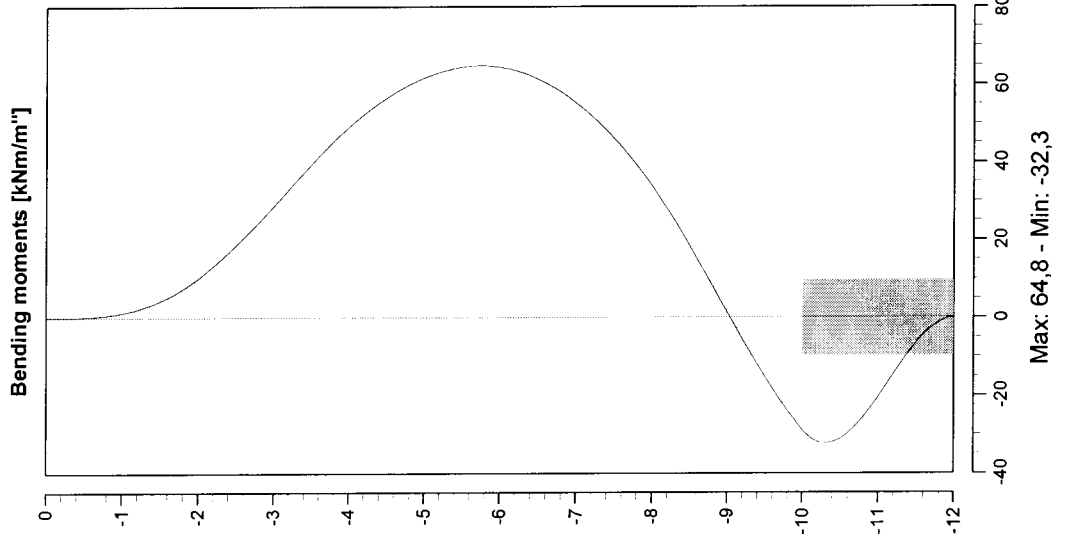
----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



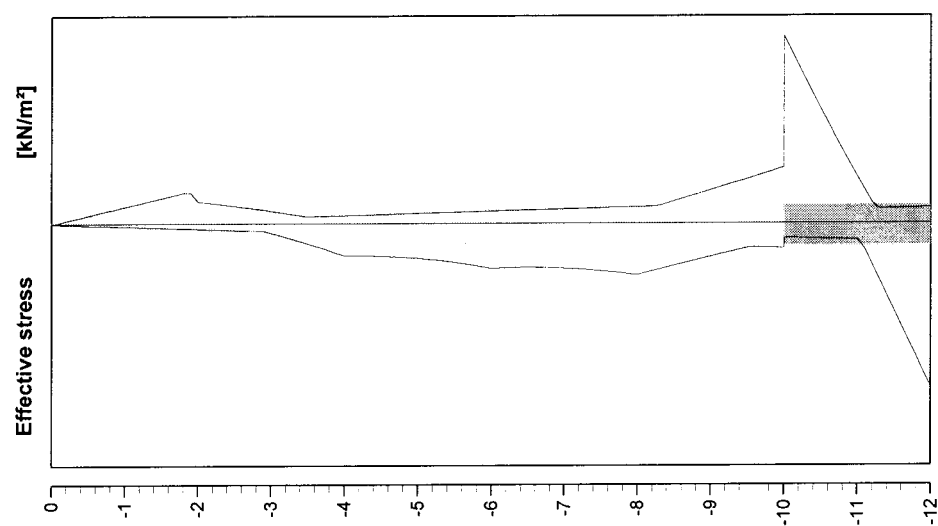
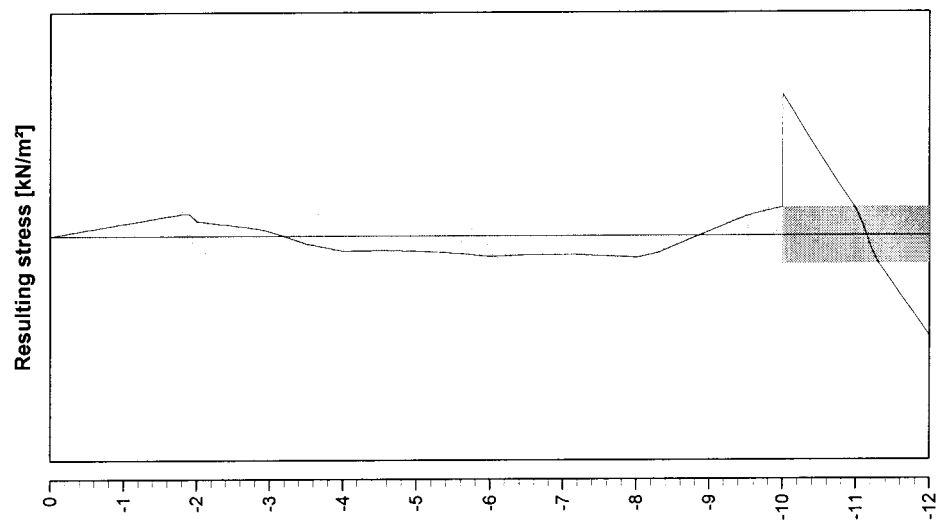
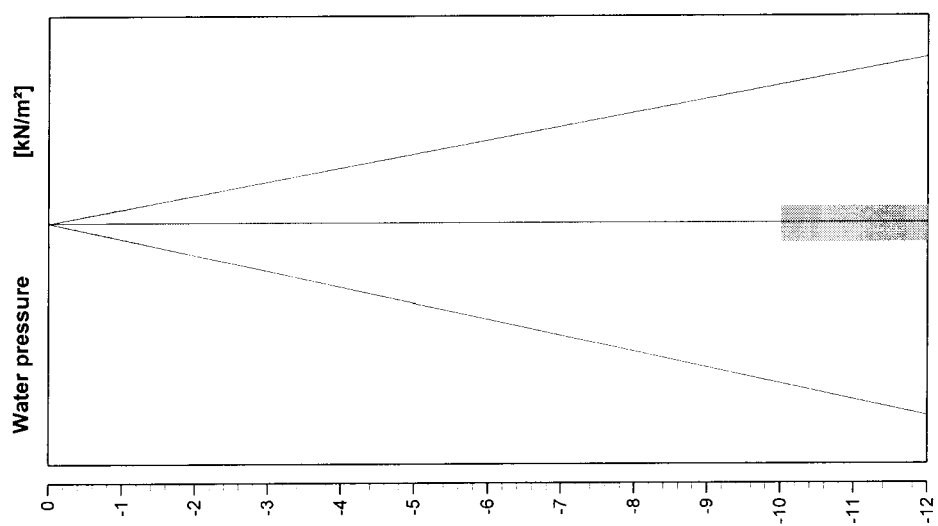
	Phone Fax	date 8-1-02	drw. -
Bijlage 5l s = 1,0 en q = 40kN/m	-	ctr.	form.
MSheet 5.4 : run2j.shi	Annex -	A4	A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Bijlage 5I s = 1,0 en q = 40kN/m MSheet 5.4 : run2j.shi	Phone Fax	date 8-1-02	drw. -
			ctr. -
		Annex -	form. A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw

-
ctr.

Bijlage 5I
s = 1,0 en q = 40kN/m

MSheet 5.4 : run2j.shi

Annex -

form
A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 5I**
: **s = 1,0 en q = 40kN/m**

Date : 8-1-02
Time : 16:23:54

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2j.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2j.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2j.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ³]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.38
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	3.12

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 6550.00 6550.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.22
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 7.25
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                       [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

```

-----
----- C O N S T R U C T I O N   S T A G E   1 -----
-----
  
```

Echo of the stage data

Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)

```

-----
Point X-coordinate Y-coordinate Point X-coordinate Y-coordinate
no. [m] from PILE [m] from level no. [m] from PILE [m] from level
1 0.00 0.00 1 0.00 0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

Layer no	Soil layer Name	Level top side soil layer [m]	Wosp-T [kN/m2]	Wosp-B [kN/m2]
1	klei	0.00	0.00	0.00
2	zand	-10.00	0.00	0.00

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.040
  3        -4.00       0.046
  4        -6.00       0.042
  5        -8.00       0.031
  6       -10.00       0.009
  7       -12.00       0.005
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

Nd no	Level m	Displ mm	Moment kNm/m"	ShearF kN/m"	Ef.Str kN/m2	Stat %	Ef.Str kN/m2	Stat %	WatStL kN/m2	WatStR kN/m2
1	0.00	42.7	0.0	-0.0	0.00	A	0.00	P	0.00	0.00
2	-0.50	42.9	0.2	1.0	1.52	A	12.48	P	5.00	5.00
2	-0.50	42.9	0.2	1.0	1.52	A	12.48	P	5.00	5.00
3	-1.00	43.1	1.3	3.8	3.04	A	24.96	P	10.00	10.00
3	-1.00	43.1	1.3	3.8	3.04	A	24.96	P	10.00	10.00
4	-1.50	43.3	4.3	8.6	4.56	A	37.44	P	15.00	15.00
4	-1.50	43.3	4.3	8.6	4.56	A	37.44	P	15.00	15.00
5	-2.00	43.5	10.2	15.0	6.08	A	32.67	65	20.00	20.00
5	-2.00	43.5	10.2	15.0	6.08	A	32.67	65	20.00	20.00
6	-2.50	43.6	18.7	18.9	7.60	A	26.06	42	25.00	25.00
6	-2.50	43.6	18.7	18.9	7.60	A	26.06	42	25.00	25.00
7	-3.00	43.6	28.9	21.3	11.04		18.72	25	30.00	30.00
7	-3.00	43.6	28.9	21.3	11.04		18.72	25	30.00	30.00
8	-3.50	43.4	39.6	20.8	24.48	28	10.64	A	35.00	35.00
8	-3.50	43.4	39.6	20.8	24.48	28	10.64	A	35.00	35.00
9	-4.00	43.0	49.2	17.2	39.46	40	12.16	A	40.00	40.00
9	-4.00	43.0	49.2	17.2	39.46	40	12.16	A	40.00	40.00

10	-4.50	42.3	56.6	12.6		39.98	36	13.68 A		45.00	45.00
10	-4.50	42.3	56.6	12.6		39.98	36	13.68 A		45.00	45.00
11	-5.00	41.3	61.8	7.9		42.71	34	15.20 A		50.00	50.00
11	-5.00	41.3	61.8	7.9		42.71	34	15.20 A		50.00	50.00
12	-5.50	39.9	64.5	2.8		47.85	35	16.72 A		55.00	55.00
12	-5.50	39.9	64.5	2.8		47.85	35	16.72 A		55.00	55.00
13	-6.00	38.1	64.4	-3.1		55.50	37	18.24 A		60.00	60.00
13	-6.00	38.1	64.4	-3.1		55.50	37	18.24 A		60.00	60.00
14	-6.50	35.9	61.3	-9.4		54.20	33	19.76 A		65.00	65.00
14	-6.50	35.9	61.3	-9.4		54.20	33	19.76 A		65.00	65.00
15	-7.00	33.4	55.1	-15.3		55.28	32	21.28 A		70.00	70.00
15	-7.00	33.4	55.1	-15.3		55.28	32	21.28 A		70.00	70.00
16	-7.50	30.5	45.9	-21.4		58.51	31	22.80 A		75.00	75.00
16	-7.50	30.5	45.9	-21.4		58.51	31	22.80 A		75.00	75.00
17	-8.00	27.4	33.6	-27.9		63.53	32	24.32 A		80.00	80.00
17	-8.00	27.4	33.6	-27.9		63.53	32	24.32 A		80.00	80.00
18	-8.50	24.0	18.2	-33.3		51.84	24	32.48		85.00	85.00
18	-8.50	24.0	18.2	-33.3		51.84	24	32.48		85.00	85.00
19	-9.00	20.6	1.1	-34.3		40.86		48.42	22	90.00	90.00
19	-9.00	20.6	1.1	-34.3		40.86		48.42	22	90.00	90.00
20	-9.50	17.1	-15.4	-30.7		29.92		64.32	27	95.00	95.00
20	-9.50	17.1	-15.4	-30.7		29.92		64.32	27	95.00	95.00
21	-10.00	13.8	-29.0	-23.2		30.40 A		80.82	32	100.00	100.00
21	-10.00	13.8	-29.0	-23.2		17.60 A		270.78	47	100.00	100.00
22	-10.50	10.6	-31.1	11.5		18.92 A		164.56	26	105.00	105.00
22	-10.50	10.6	-31.1	11.5		18.92 A		164.56	26	105.00	105.00
23	-11.00	7.6	-20.5	28.3		20.24 A		67.25	10	110.00	110.00
23	-11.00	7.6	-20.5	28.4		20.24 A		67.25	10	110.00	110.00
24	-11.50	4.7	-6.5	23.4		108.38	15	21.56 A		115.00	115.00
24	-11.50	4.7	-6.5	23.3		108.38	15	21.56 A		115.00	115.00
25	-12.00	1.8	0.0	0.0		202.76	27	22.88 A		120.00	120.00

Maxima :		43.6	64.8	-34.5							

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right

Effective :	158.37	158.37
Water :	252.00	252.00
Total :	410.37	410.37

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 17.5 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 17.5 %

Vertical force balance

Vertical force active : -78.35 [kN/m"]
Vertical force passive : 84.99 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 6.65 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

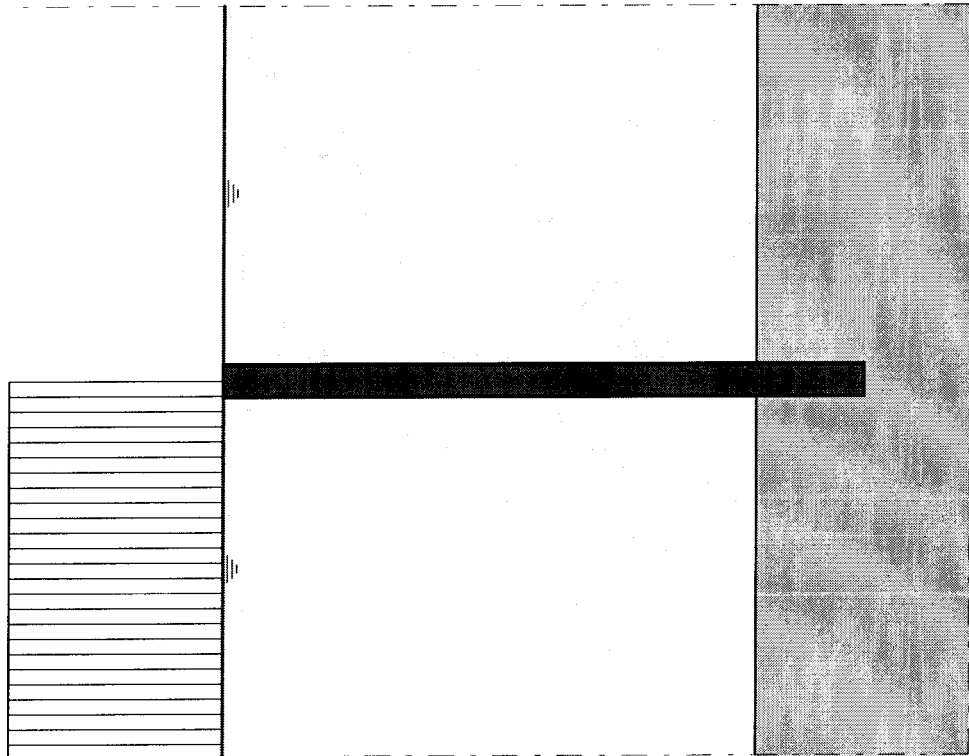
A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 43.6 [mm]
Moment : 64.8 [kNm/m"]
Shear force : -34.5 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

drw.

8-1-02

-

Bijlage 5J
bovenbelasting op maaiveld

-

ctr.

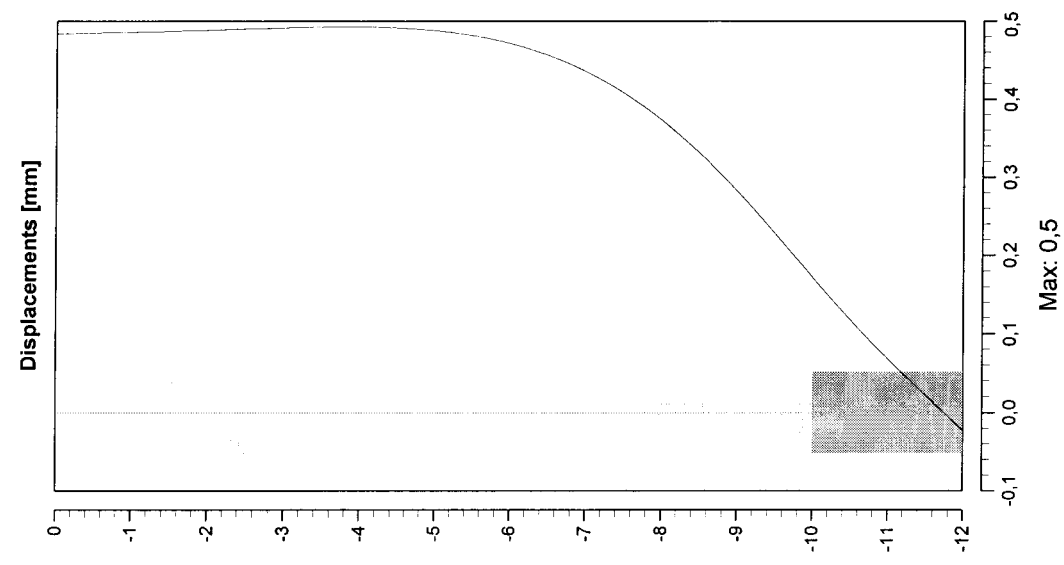
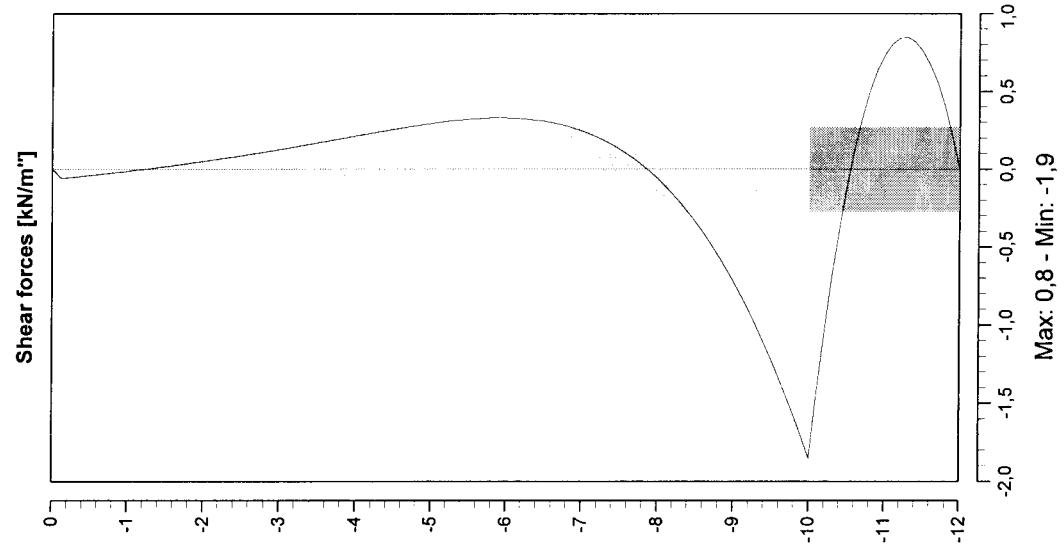
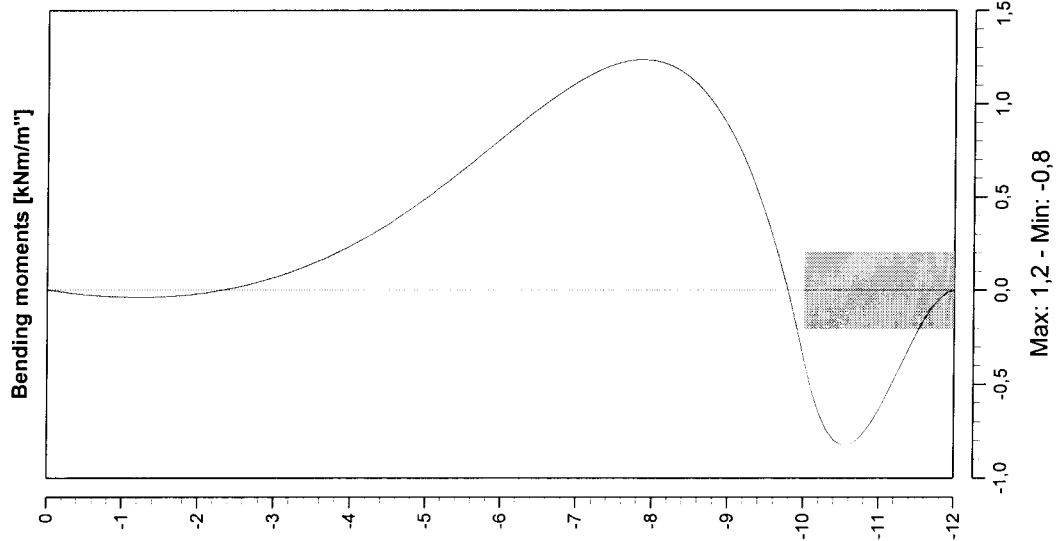
MSheet 5.4 : run3.shi

Annex -

form.

A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage

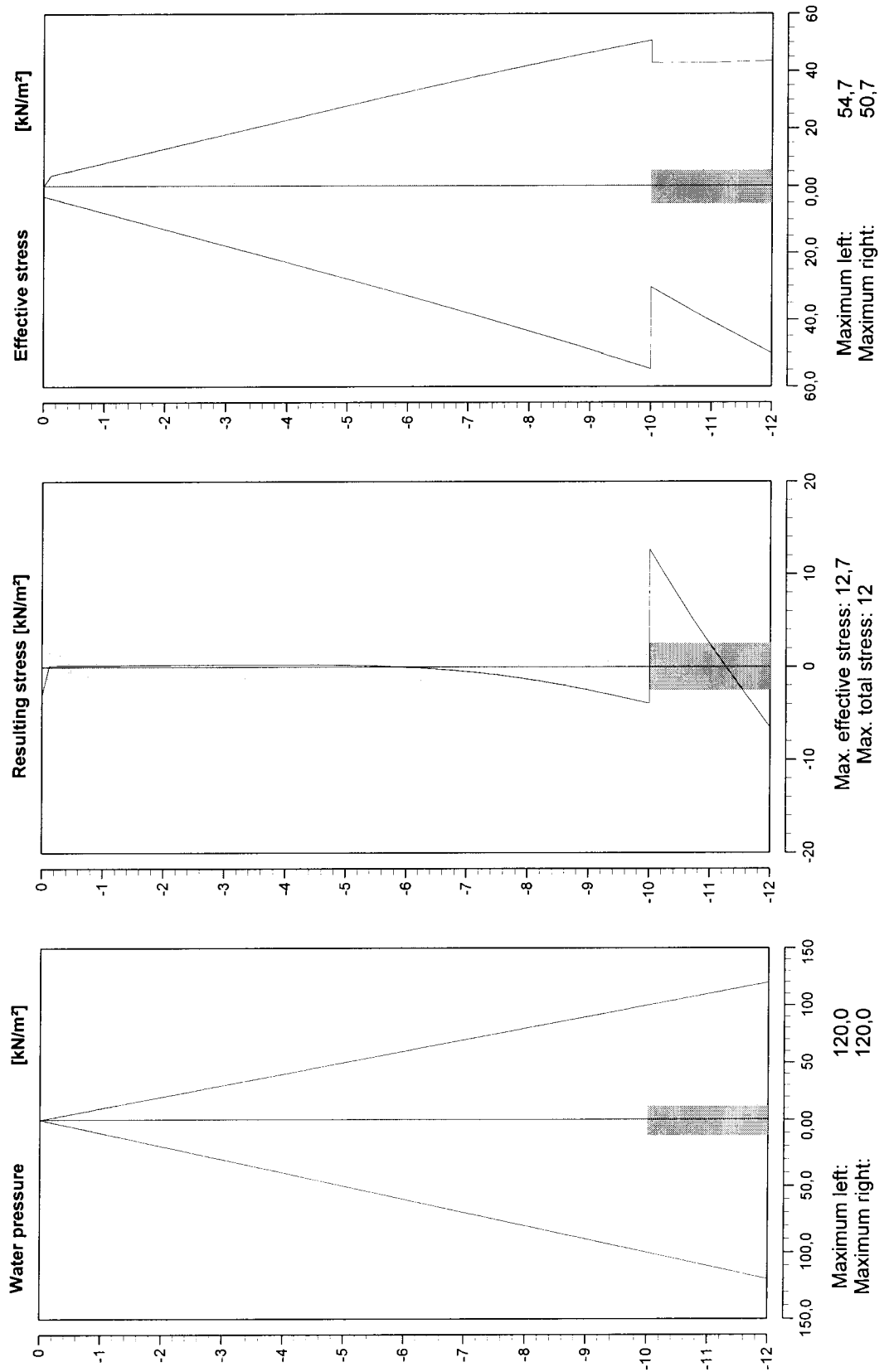


Phone
Fax

date	8-1-02	drw.	-
	-	ctr.	
Annex	-	form.	A4

Bijlage 5J
bovenbelasting op maaiveld
MSheet 5.4 : run3.shi

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

8-1-02

drw.

-

Bijlage 5J
bovenbelasting op maaiveld

ctr.

MSheet 5.4 : run3.shi

Annex -

form.

A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 5J**
: **bovenbelasting op maaiveld**

Date : 8-1-02
Time : 16:26:55

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run3.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run3.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run3.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ⁴]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.25
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.68

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 6550.00 6550.00

Soil layer properties : zand

 Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
 saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
 Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.25
 Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
 Phi : 35.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

Surface LEFT : (Surface no. 3) Surface RIGHT : (Surface no. 4)

Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level	Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level
1	0.00	0.00	1	0.00	0.00

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

Layer no	Soil layer Name	Level top side soil layer [m]	Wosp-T [kN/m2]	Wosp-B [kN/m2]
1	klei	0.00	0.00	0.00
2	zand	-10.00	0.00	0.00

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Uniformly distributed load 1 on left surface: 10.00 [kN/m2]

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 2

Nd no	Level m	Displ mm	Moment kNm/m"	ShearF kN/m"	Ef.Str kN/m2	Stat %	Ef.Str kN/m2	Stat %	WatStL kN/m2	WatStR kN/m2
1	0.00	0.5	0.0	-0.0	3.03		0.00	P	0.00	0.00
2	-0.59	0.5	-0.0	-0.0	5.94		6.09	28	5.88	5.88
2	-0.59	0.5	-0.0	-0.0	5.94		6.09	28	5.88	5.88
3	-1.18	0.5	-0.0	-0.0	8.85		9.02	20	11.76	11.76
3	-1.18	0.5	-0.0	-0.0	8.85		9.02	20	11.76	11.76
4	-1.76	0.5	-0.0	0.0	11.76		11.95	18	17.65	17.65
4	-1.76	0.5	-0.0	0.0	11.76		11.95	18	17.65	17.65
5	-2.35	0.5	0.0	0.1	14.66		14.88	17	23.53	23.53
5	-2.35	0.5	0.0	0.1	14.66		14.88	17	23.53	23.53
6	-2.94	0.5	0.1	0.1	17.57		17.81	16	29.41	29.41
6	-2.94	0.5	0.1	0.1	17.57		17.81	16	29.41	29.41
7	-3.53	0.5	0.1	0.2	20.48		20.73	16	35.29	35.29
7	-3.53	0.5	0.1	0.2	20.48		20.73	16	35.29	35.29
8	-4.12	0.5	0.3	0.2	23.40		23.65	15	41.18	41.18
8	-4.12	0.5	0.3	0.2	23.40		23.65	15	41.18	41.18
9	-4.71	0.5	0.4	0.3	26.33		26.55	15	47.06	47.06
9	-4.71	0.5	0.4	0.3	26.33		26.55	15	47.06	47.06
10	-5.29	0.5	0.6	0.3	29.29		29.43	15	52.94	52.94
10	-5.29	0.5	0.6	0.3	29.29		29.43	15	52.94	52.94
11	-5.88	0.5	0.8	0.3	32.27		32.28	15	58.82	58.82
11	-5.88	0.5	0.8	0.3	32.27		32.28	15	58.82	58.82
12	-6.47	0.5	1.0	0.3	35.30		35.09	14	64.71	64.71
12	-6.47	0.5	1.0	0.3	35.30		35.09	14	64.71	64.71
13	-7.06	0.4	1.1	0.2	38.38		37.84	14	70.59	70.59
13	-7.06	0.4	1.1	0.2	38.38		37.84	14	70.59	70.59
14	-7.65	0.4	1.2	0.1	41.52		40.53	14	76.47	76.47

14	-7.65	0.4	1.2	0.1		41.52		40.53	14	76.47	76.47
15	-8.24	0.4	1.2	-0.2		44.73		43.16	14	82.35	82.35
15	-8.24	0.4	1.2	-0.2		44.73		43.16	14	82.35	82.35
16	-8.82	0.3	1.0	-0.6		48.00		45.73	14	88.24	88.24
16	-8.82	0.3	1.0	-0.6		48.00		45.73	14	88.24	88.24
17	-9.41	0.2	0.5	-1.1		51.33		48.24	14	94.12	94.12
17	-9.41	0.2	0.5	-1.1		51.33		48.24	14	94.12	94.12
18	-10.00	0.2	-0.4	-1.9		54.68		50.72	14	100.00	100.00
18	-10.00	0.2	-0.4	-1.9		30.20		42.90	4	100.00	100.00
19	-10.50	0.1	-0.8	-0.1		35.47		42.79	3	105.00	105.00
19	-10.50	0.1	-0.8	-0.1		35.47		42.79	3	105.00	105.00
20	-11.00	0.1	-0.6	0.7		40.50		42.92	3	110.00	110.00
20	-11.00	0.1	-0.6	0.7		40.50		42.92	3	110.00	110.00
21	-11.50	0.0	-0.2	0.8		45.36		43.22	3	115.00	115.00
21	-11.50	0.0	-0.2	0.8		45.36		43.22	3	115.00	115.00
22	-12.00	-0.0	0.0	0.0		50.14	3	43.60		120.00	120.00

Maxima :		0.5	1.2	-1.9							

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right

Effective :	126.81	126.81
Water :	252.00	252.00
Total :	378.81	378.81

Considered as passive side	:	Right
Maximum passive effective resistance	:	1572.90 [kNm/m"]
Mobilized passive effective resistance	:	126.81 [kNm/m"]
Percentage mobilized resistance	:	8.1 [%]

Vertical force balance

Vertical force active	:	-60.61 [kN/m"]
Vertical force passive	:	61.14 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight)	:	0.53 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

A minus sign means a downward force.

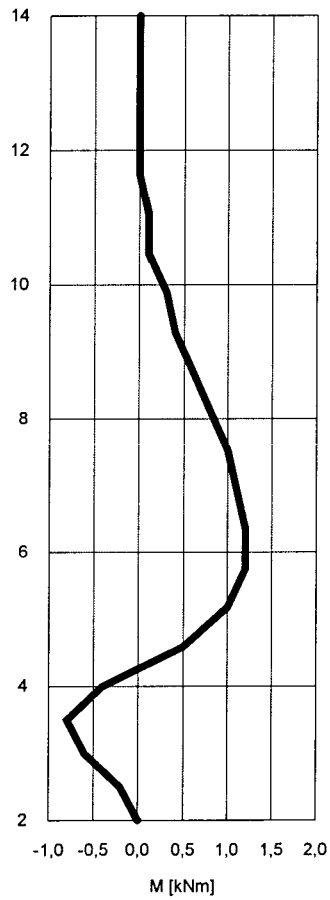
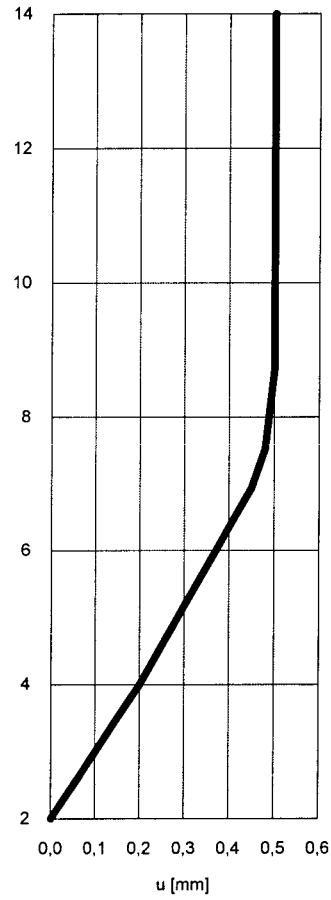
Maxima of all construction stages

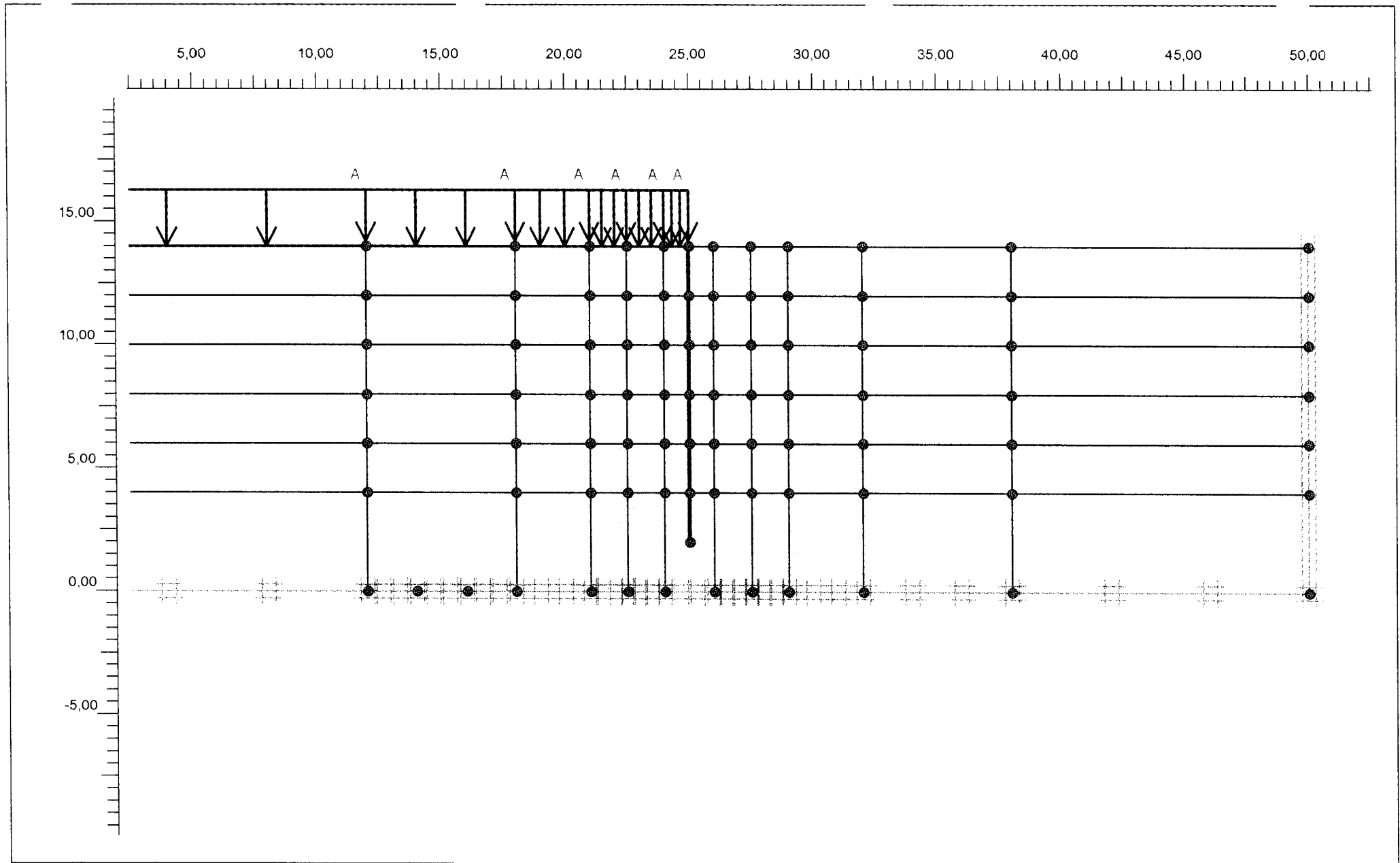
Displacement : 0.5 [mm]

Moment : 1.2 [kNm/m"]

Shear force : -1.9 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----

Momentlijn en paalverplaatsing bij een bovenbelasting in MSHEET (run3).*Figuur 1: Momentenlijn MSHEET.**Figuur 2: Paalverplaatsing MSHEET.*



PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Bijlage 5K: model

Project name

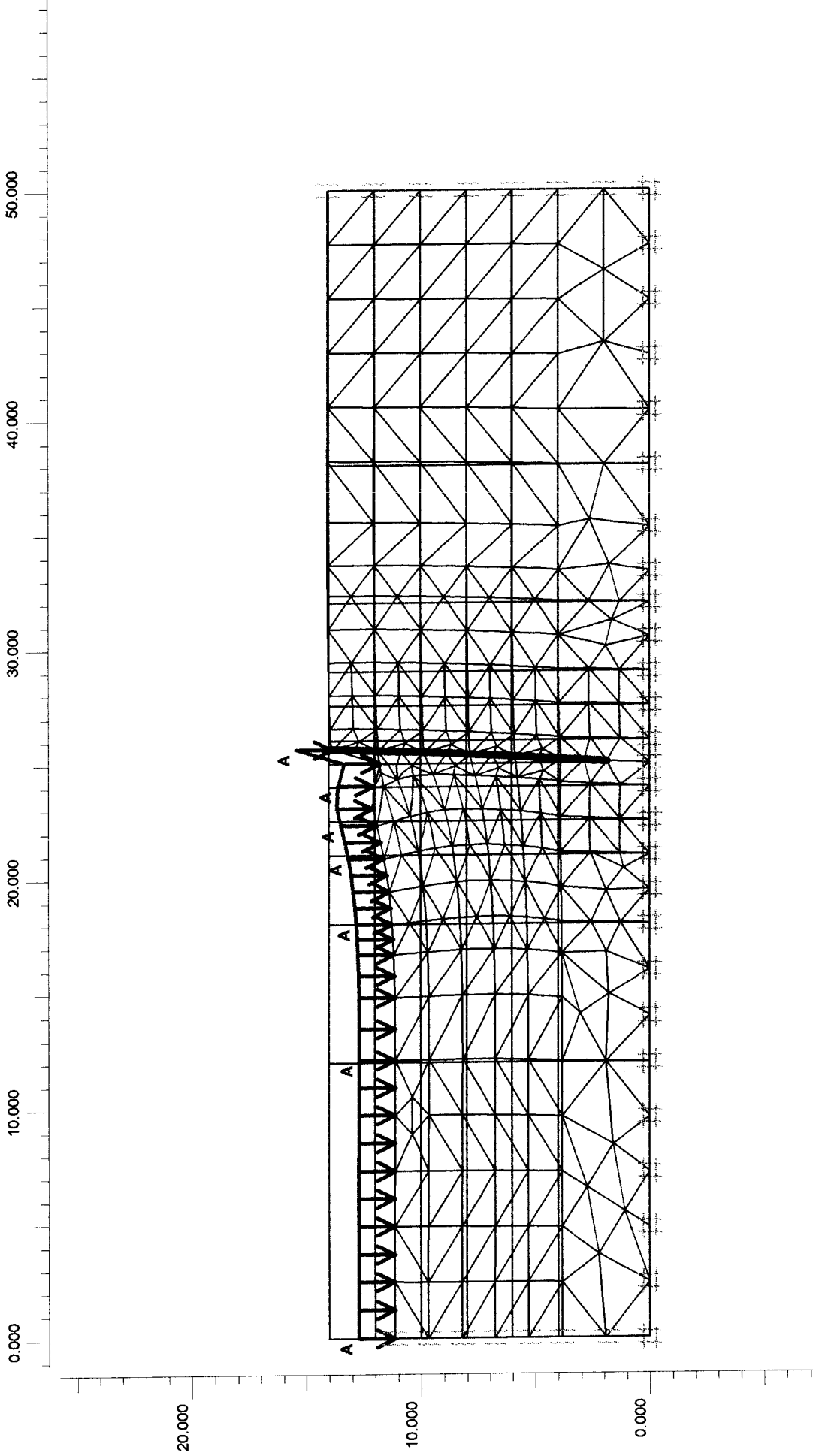
run4d.plx

Date

8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $57,97 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 50,00 times)

Project description

Bijlage 5K: deformed mesh



Project name

run4d

Step

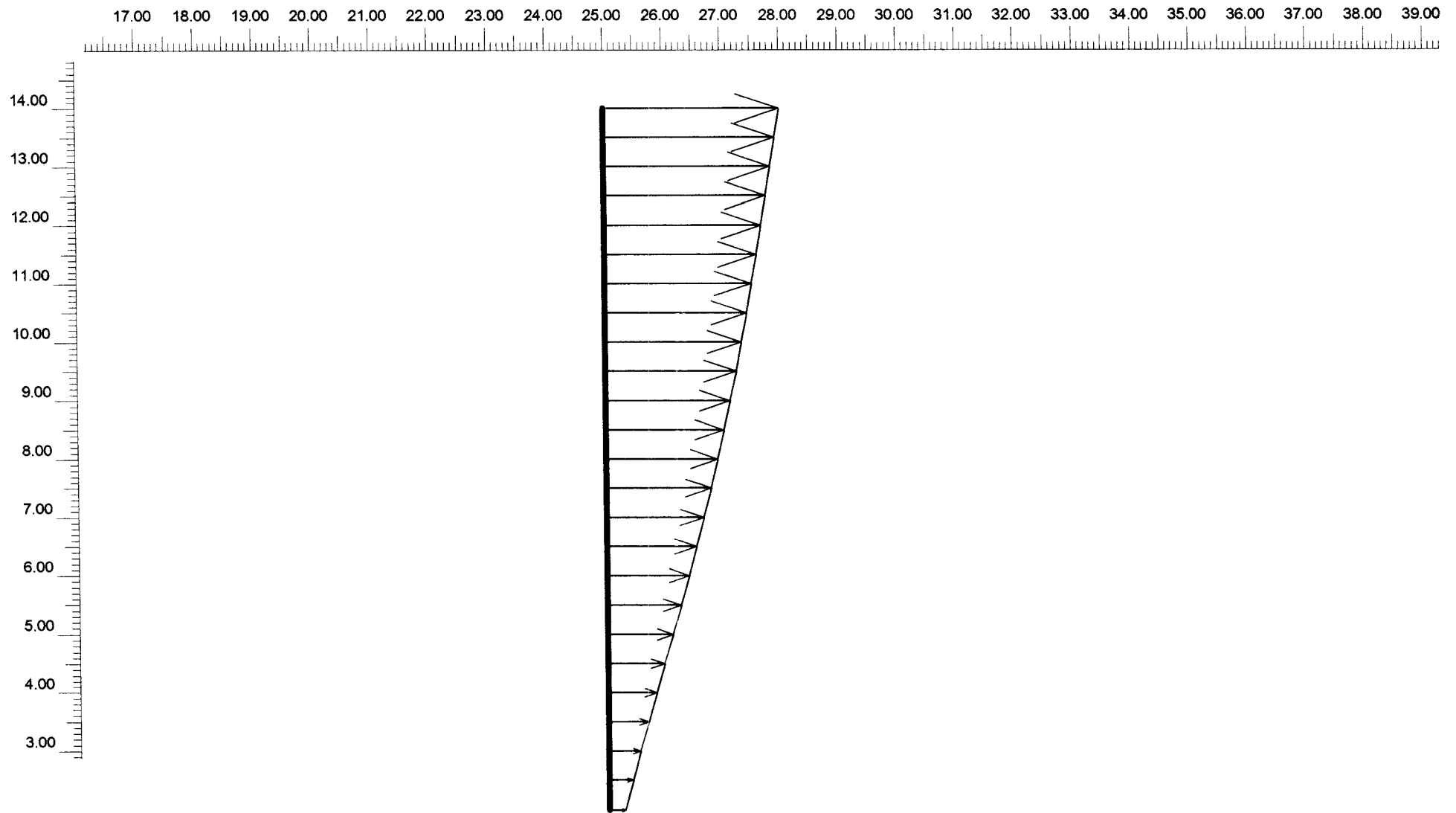
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $12,76 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 5K: horizontale verplaatsing paal

Project name

run4d

Step

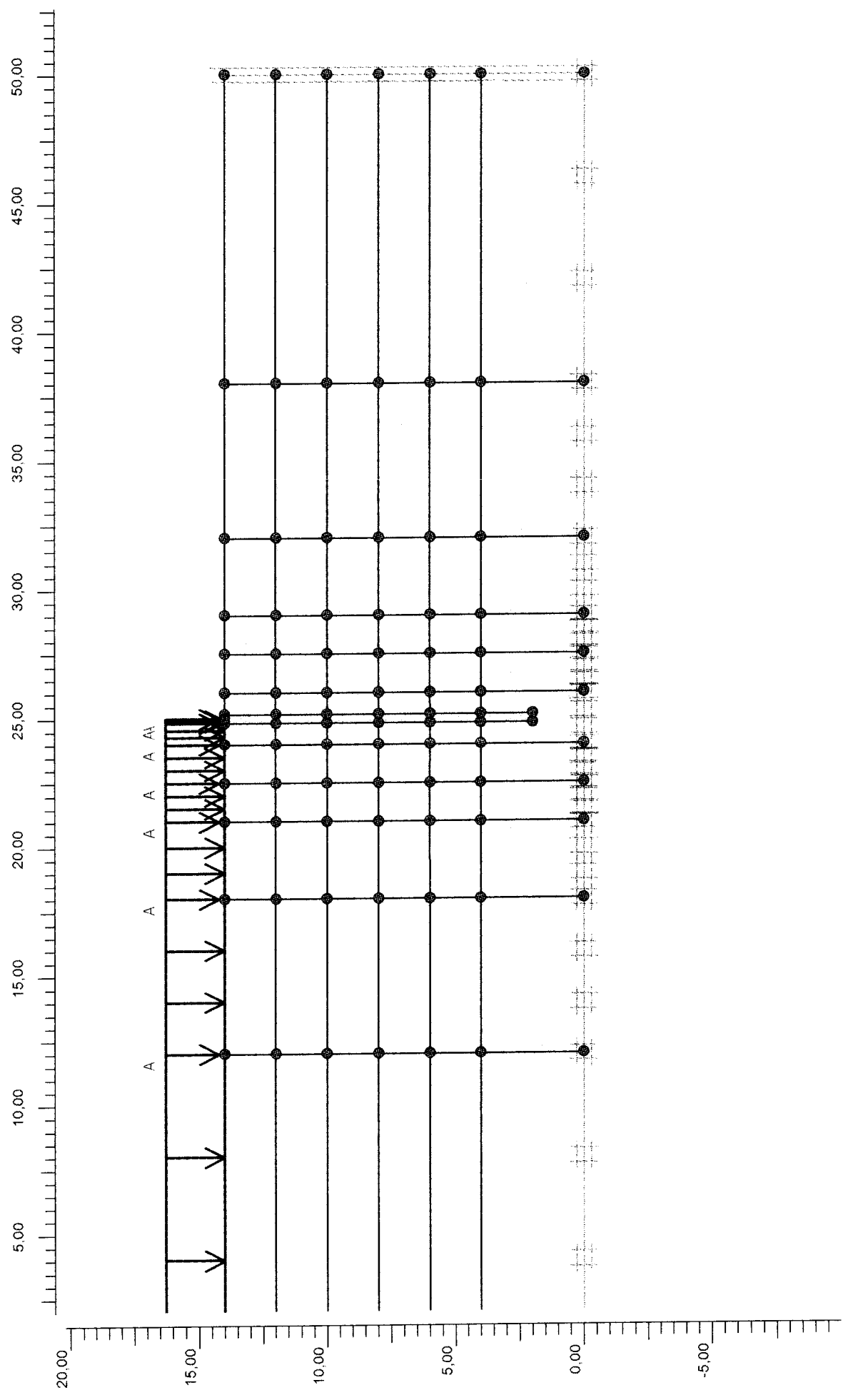
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 5L: model

Project name

run5a.plx

Date

8-1-02

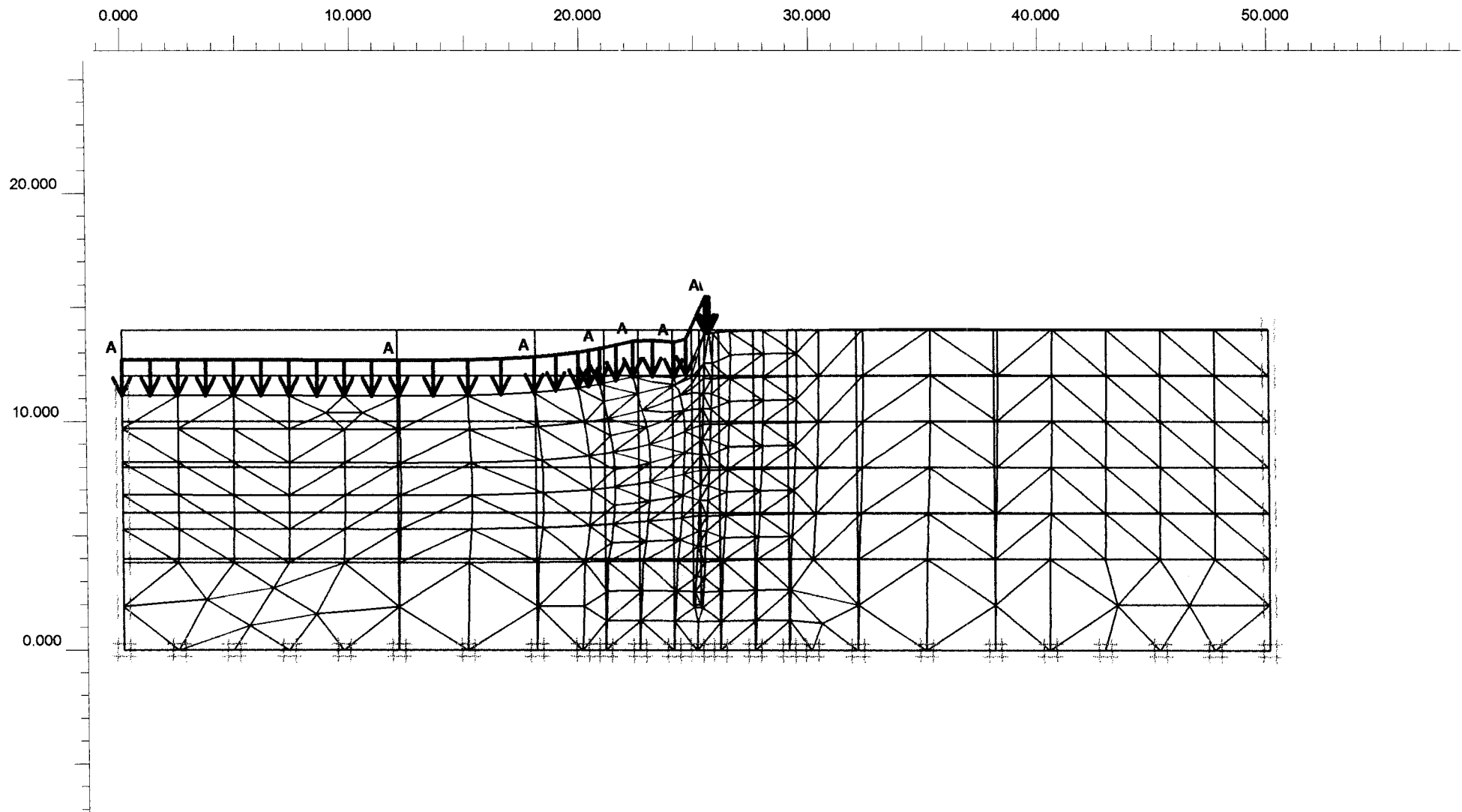
User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

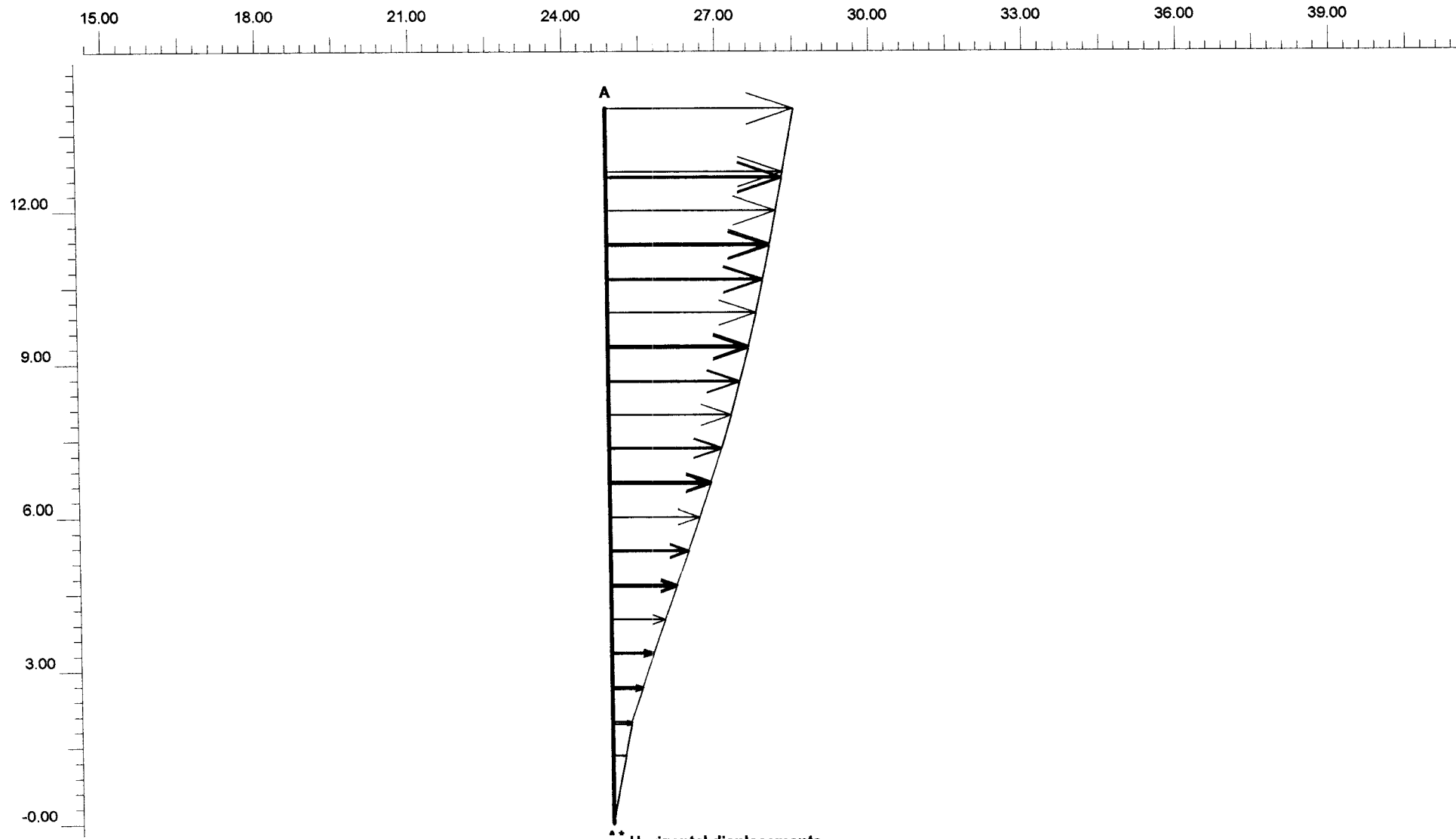
Version 7.2.9.160



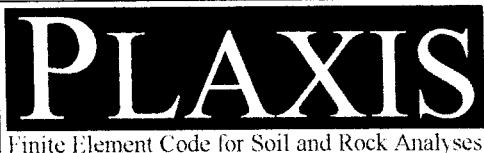
Deformed Mesh
 Extreme total displacement $57,94 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 50,00 times)



<i>Project description</i>				Bijlage 5L: deformed mesh	
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>		
run5a	10	08-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.		



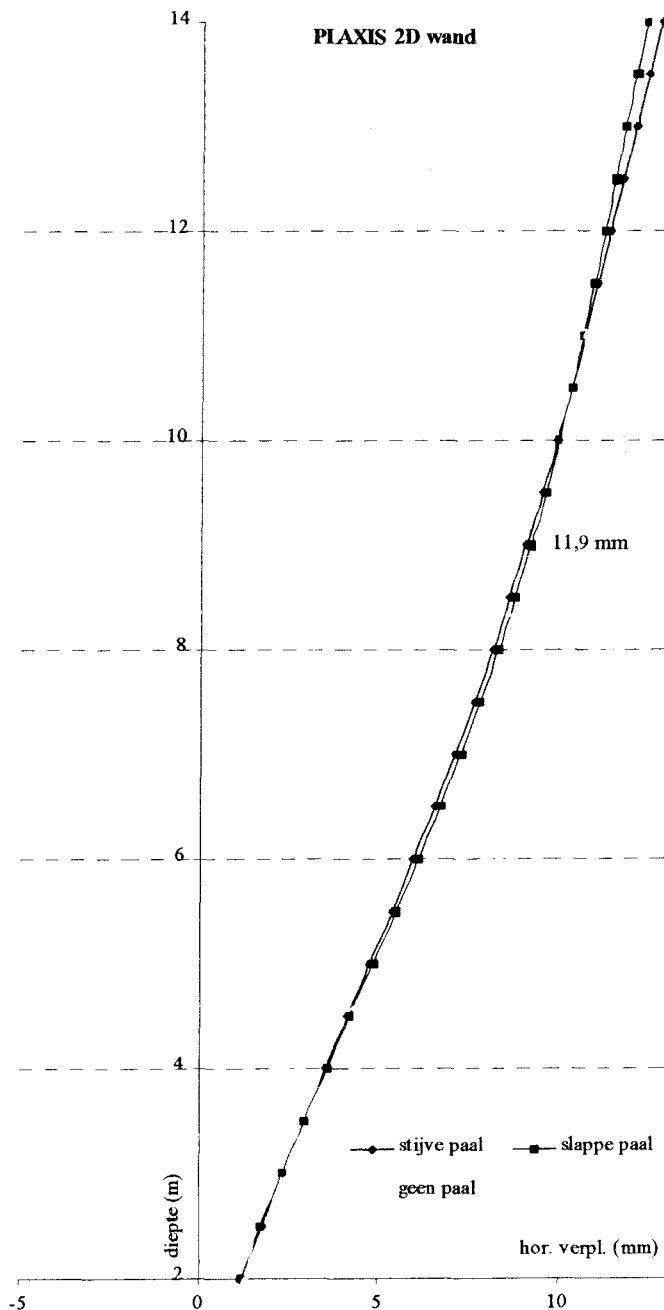
Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $11,98 \cdot 10^{-3} \text{ m}$



Project description			
Bijlage 5L: horizontale verplaatsing paal			
Project name	Step	Date	User name
run5a	10	08-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.

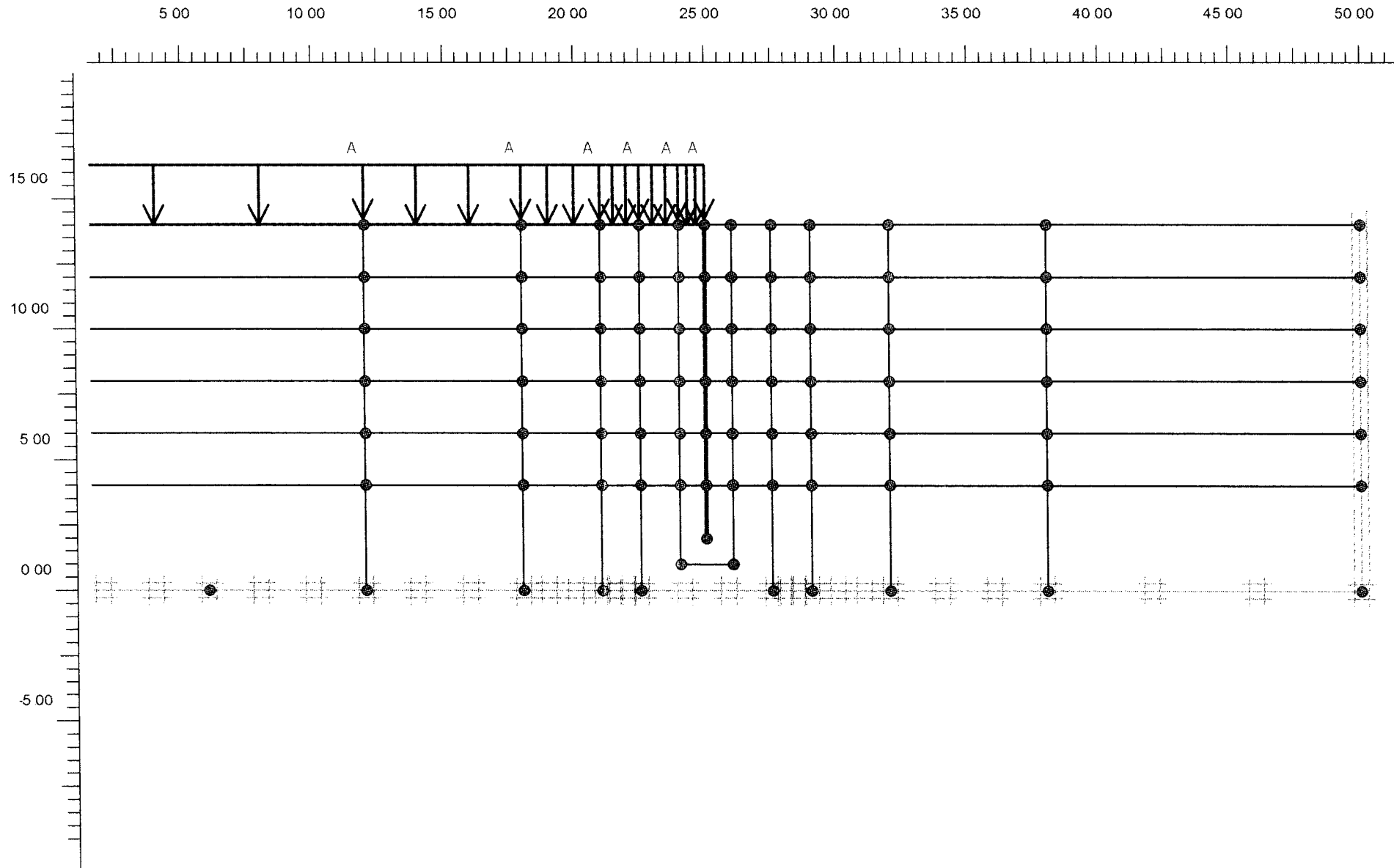
Verhouding stijve wand en slappe wand

Om na te gaan wat de invloed is van het toepassen van een wand met een lagere stijfheid (file *run4e*) op de momenten en verplaatsingen is een extra berekening uitgevoerd. In deze berekening zijn de EI en EA van de wand een factor 1,5 lager. De overige parameters zijn hetzelfde gebleven. Er wordt gebruik gemaakt van balkelementen. De resultaten staan in figuur 1 weergegeven. Er staan drie lijnen in de grafiek; één lijn die het grondgedrag weergeeft zonder dat er een wand in de grond aanwezig is, één lijn die het wandgedrag weergeeft van de stijve wand en één lijn die het



gedrag weergeeft van de “slappe” wand. Uitgangspunt zijn de grondverplaatsingen. Zoals uit de grafiek volgt, blijkt dat de slappe wand de grondvervorming meer volgt dan de stijve wand. Op 8 m. is de verplaatsing van de slappe wand 8,30 mm en van de stijve wand 8,13 mm. Op maaiveld niveau blijkt dat de stijve wand meer vervormt dan de slappe wand, resp. 12,76 mm. en 12,33 mm. De oorzaak hiervan is dat de slappe wand de grondverplaatsing beter kan volgen en de stijve wand kan, door zijn stijve gedrag, de grondvervorming minder volgen. De momenten zijn voor de slappe wand lager dan voor de stijve wand. Dit komt omdat de slappe wand minder belasting naar zich toe trekt zodat er een kleiner moment optreedt in de wand. De max. momenten zijn resp. 4,3 kNm voor de slappe wand en 4,7 kNm voor de stijve wand.

Figuur 1: Verplaatsing grond, slappe wand en stijve wand.



Project description

Bijlage 5N: model

Project name

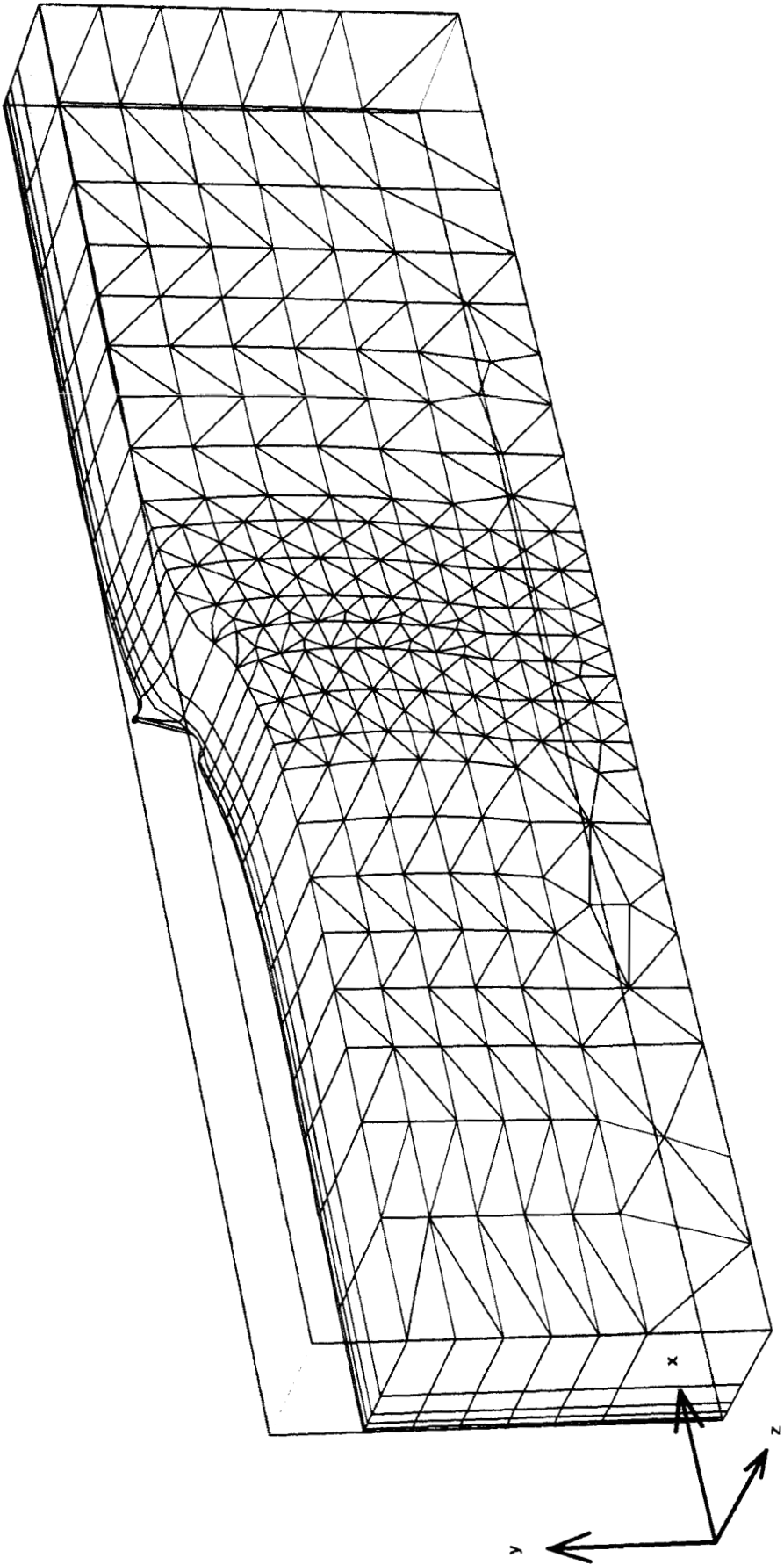
run6.PL3

Date

8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
Extreme total displacement $58,10 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 50,00 times)

Project description

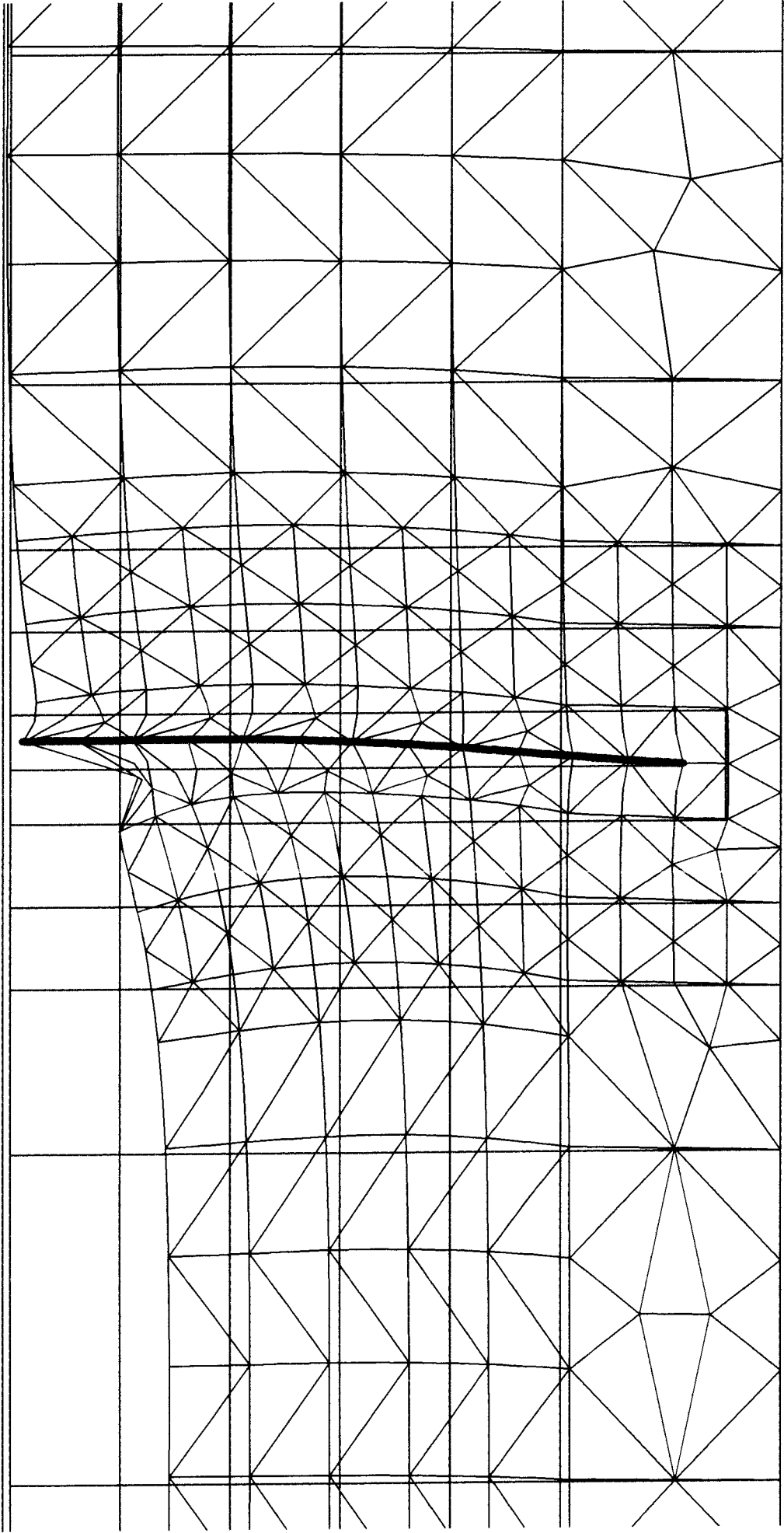
Bijlage 5N: deformed mesh 3D

Project name
run6

Step
9

Date
08-01-02

User name
FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
Extreme total displacement $58,10 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 50,00 times)

Project description

Bijlage 5N: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

run6

Step

9

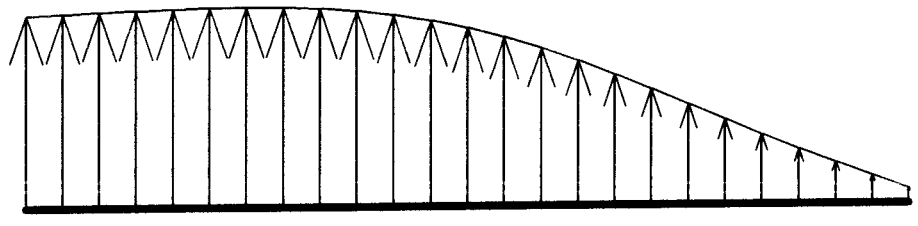
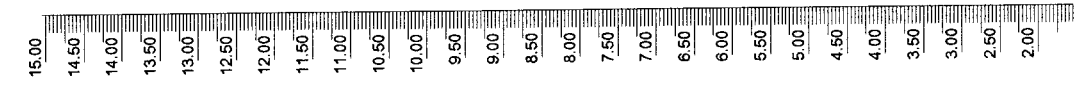
Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

15.0015.5016.0016.5017.0017.5018.0018.5019.0019.5020.0020.5021.0021.5022.0022.5023.0023.5024.0024.5025.0025.5026.0026.5027.0027.5028.0028.5029.0029.5030.0030.5031.0031.5032.0032.5033.0033.5034.0034.5035.0035.5036.0036.5037.0037.5038.0038.50



Horizontal displacements (UX)
Extreme UX for this plane 10,74 · 10⁻³ m



Project description

Bijlage 5N: horizontale verplaatsing paal

Project name

run6

Step

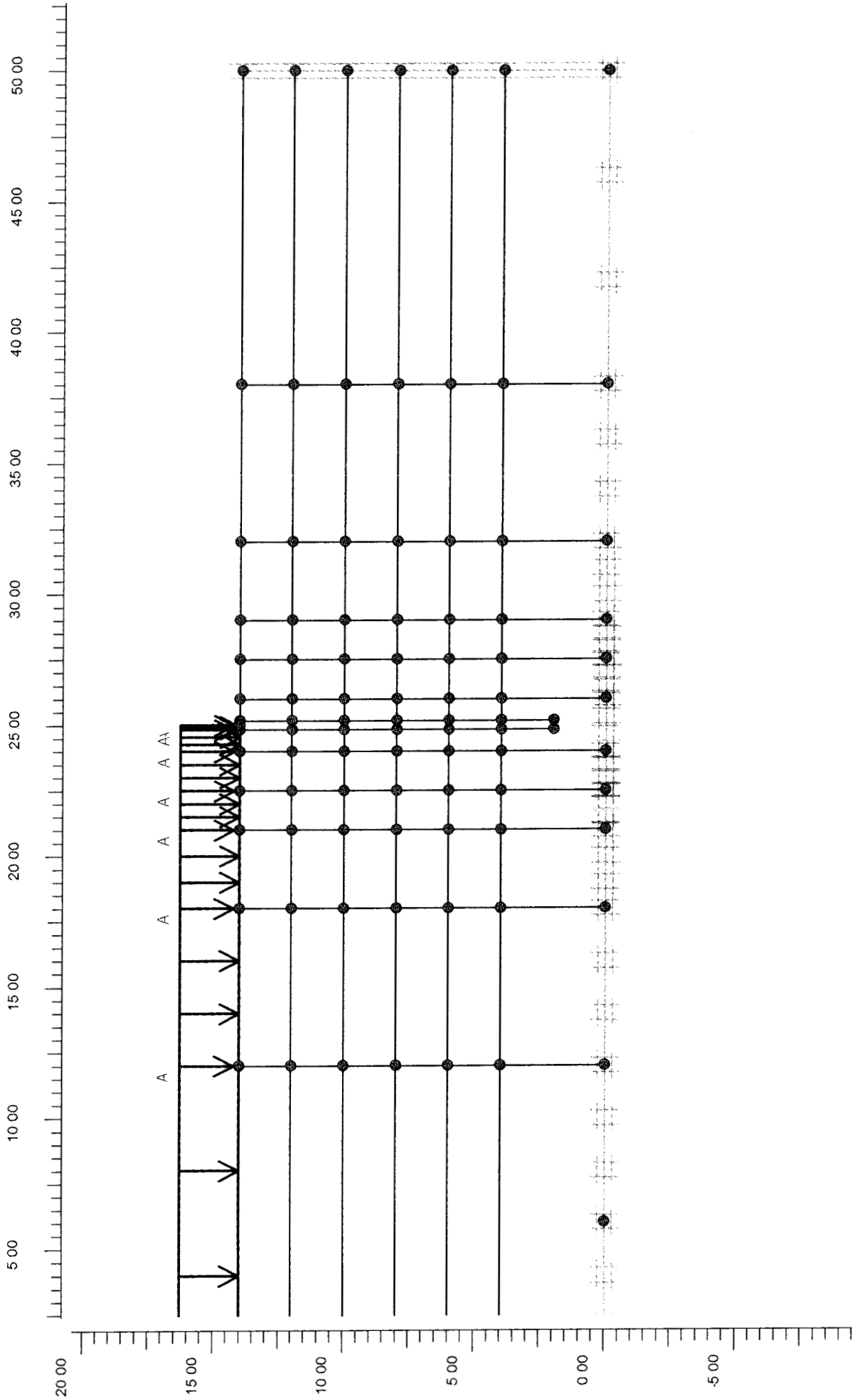
9

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Project description

Bijlage 50: model

Project name

run7.PL3

Date

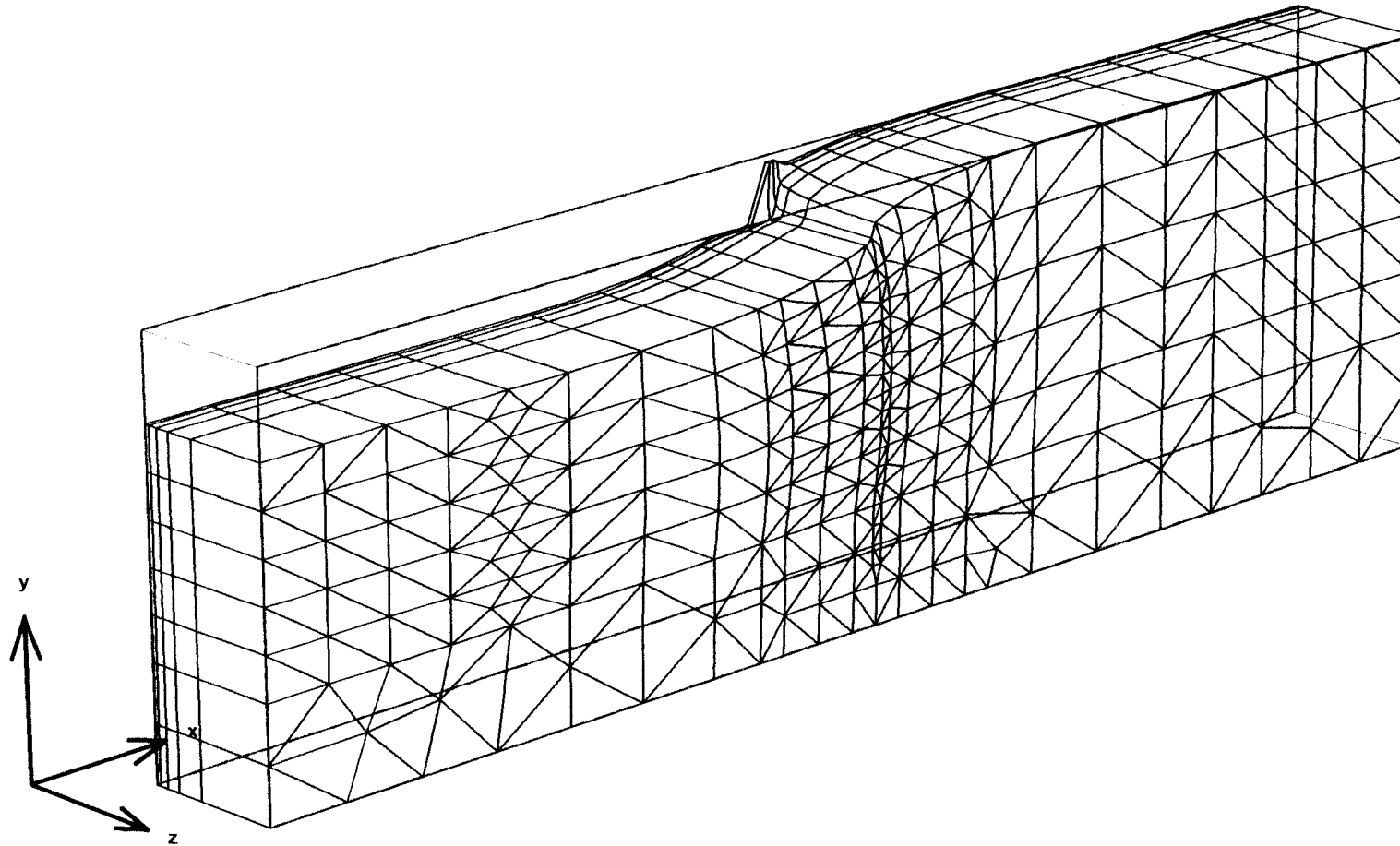
8-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $58,09 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 50,00 times)



Project description

Bijlage 50: deformed mesh 3D

Project name

run7

Step

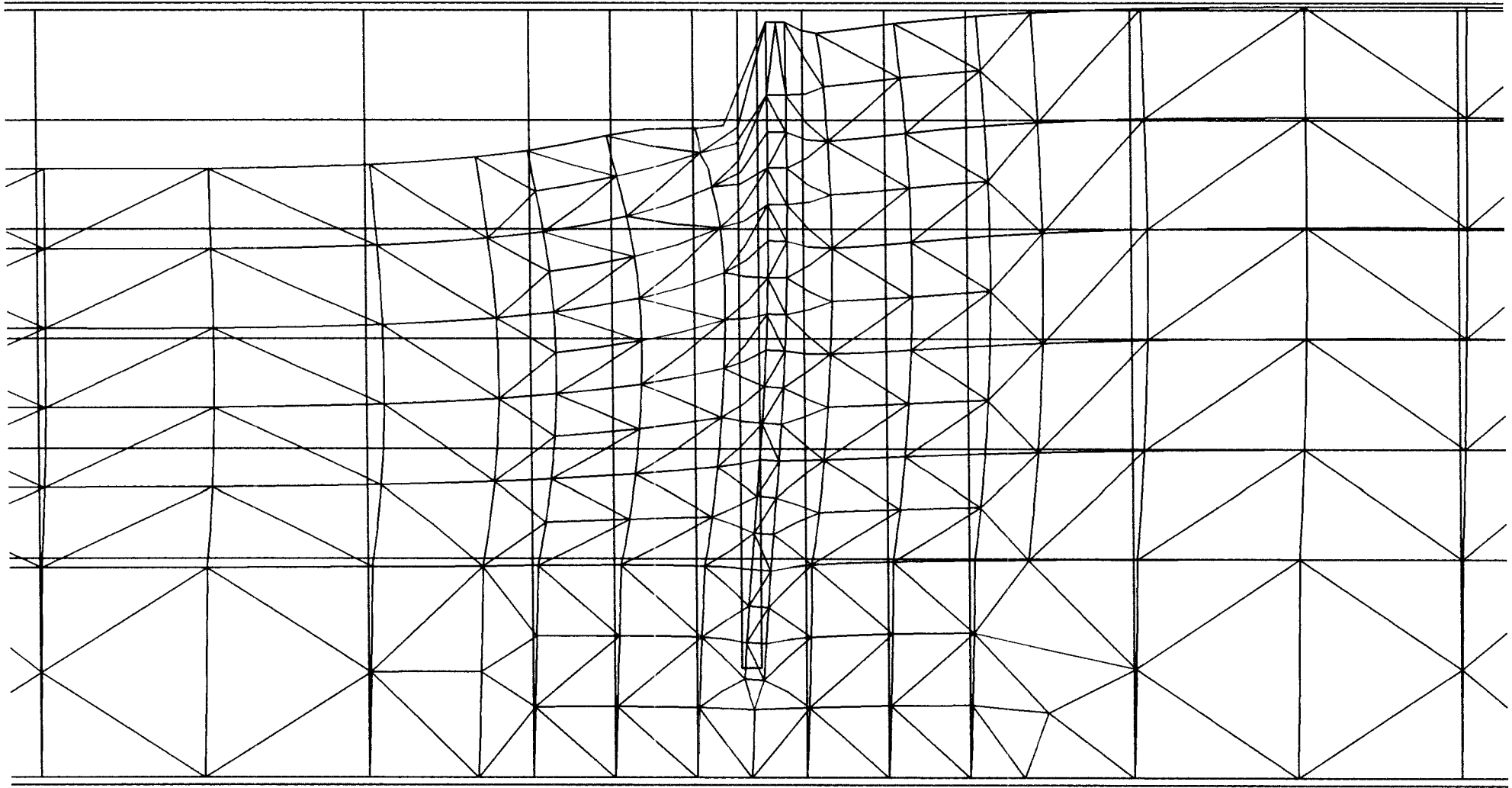
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $58,09 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 50,00 times)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 1.2.1.210

Project description

Bijlage 50: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

run7

Step

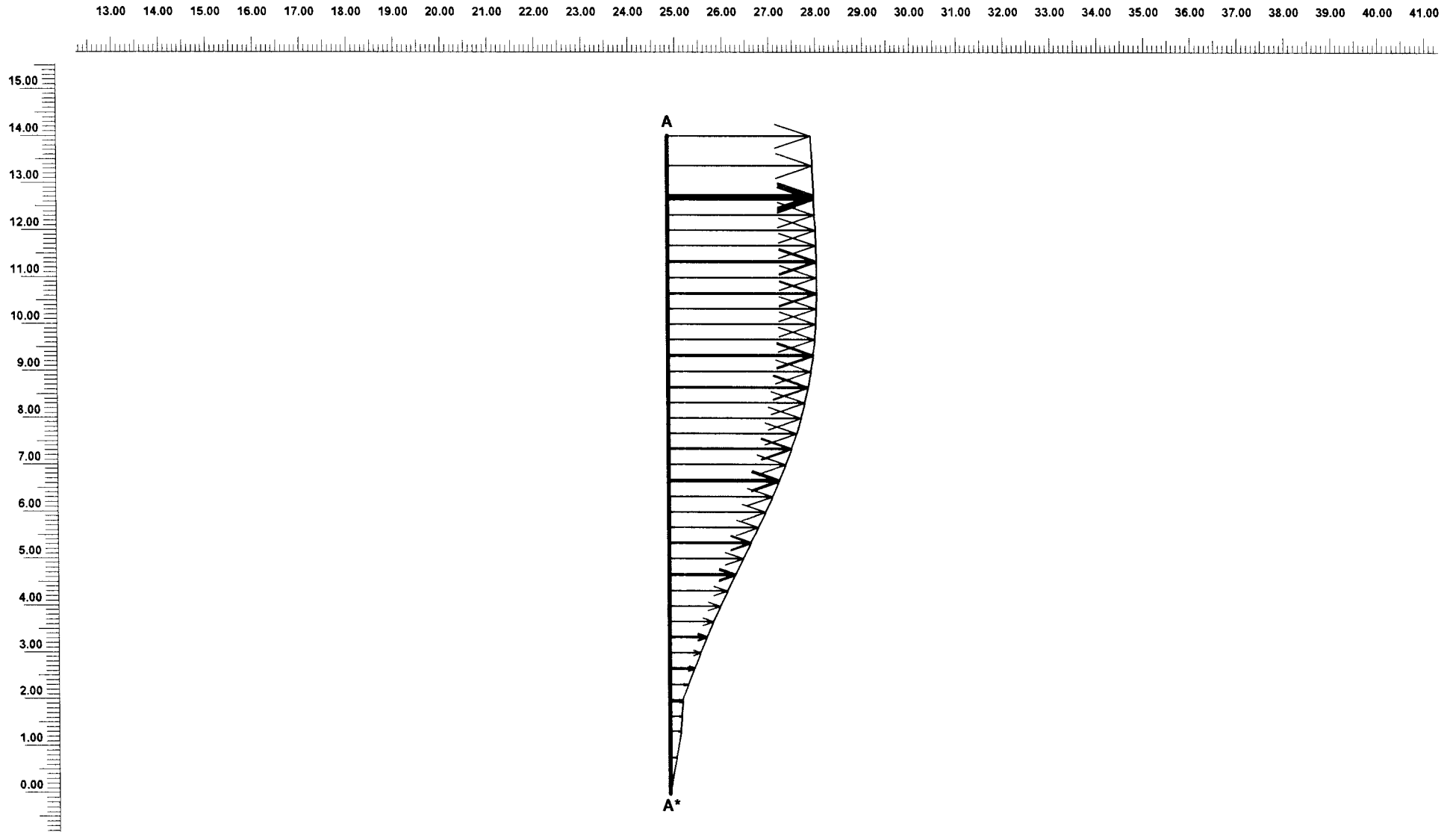
12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements Ux
 Extreme Ux for this plane $10,74 \cdot 10^{-3}$ m



Project description

Bijlage 5O: horizontale verplaatsing paal

Project name

run7

Step

12

Date

08-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Verhouding tussen paalafmeting en balk- en volume-elementen

De berekeningen die zijn uitgevoerd in §5.6.1 en §5.6.2 laten zien dat er een verschil in resultaat is tussen de balkelementen en de volume-elementen, de verschillen zijn echter nihil. Nu wordt een berekening uitgevoerd waarin de paalafmeting kleiner is, om na te gaan wat de invloed hiervan is op de verplaatsingen en de momenten. Er is gekozen voor een paalafmeting van 200 x 200 mm..

materiaal	type	lengte [m]	afmeting [m]	E [kN/m ²]	I [m ⁴]	ν [-]	EI_w [kNm ²]	EA_w [kN]
balk	LE	12	0,2 x 0,2	$33,5 \cdot 10^6$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	0,2	4467	1340000
volume	LE	12	0,2 x 0,2	$33,5 \cdot 10^6$	-	0,2	-	-

Tabel 1: Paalparameters 0,2 x 0,2 m.

$$EA_i = EA_w / b = 1340000 / 0,20 = 6700000 \text{ kN/m}$$

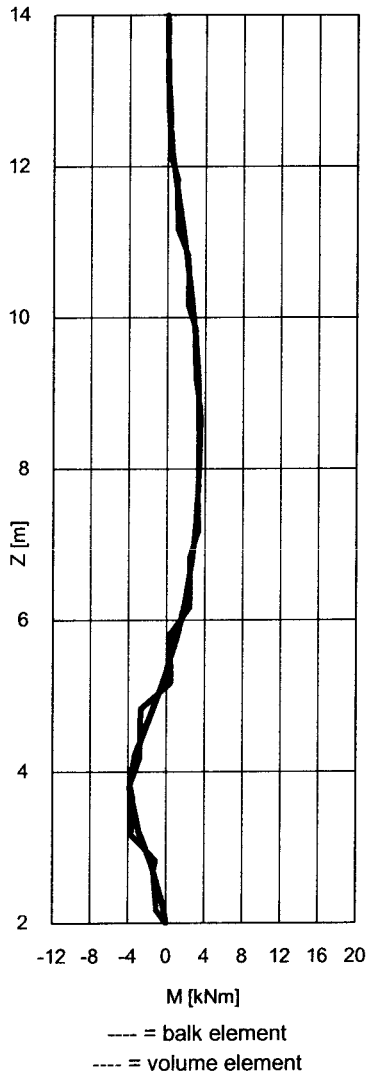
$$EI_i = EI_w / b = 4467 / 0,20 = 22333 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

$$\text{e.g.} = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

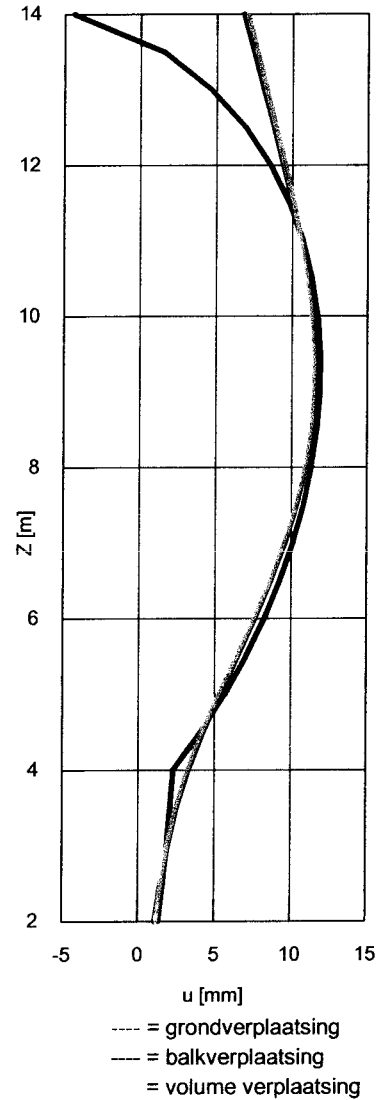
	Balkelement (run8)	Volume-element (run9)
u_{top} (mm)	6,80	7,00
u_{max} (mm)	11,52	11,50
$M_{\text{max,pos}}$ (kNm)	3,38	3,52
$M_{\text{max,neg}}$ (kNm)	3,87	3,80

Tabel 2: Resultaten balk- versus volume-elementen.

In grafiek 2 staan de resultaten weergegeven van de horizontale grondverplaatsing, de verplaatsing van het balkelement en de verplaatsing van de volume-elementen. Hieruit blijkt dat er tussen de verplaatsing van het balkelement en volume-elementen geen verschil zit. Grafiek 1 geeft het momentverloop in de paal weer tussen het balkelement en de volume-elementen. De momenten komen zeer goed met elkaar overeen. Uit bovenstaande kan afgeleid worden dat de paalafmeting geen rol speelt in de uiteindelijke resultaten. In beide gevallen is het onderlinge verschil tussen balk- en volume-elementen zeer klein, zowel qua verplaatsingen en momenten.



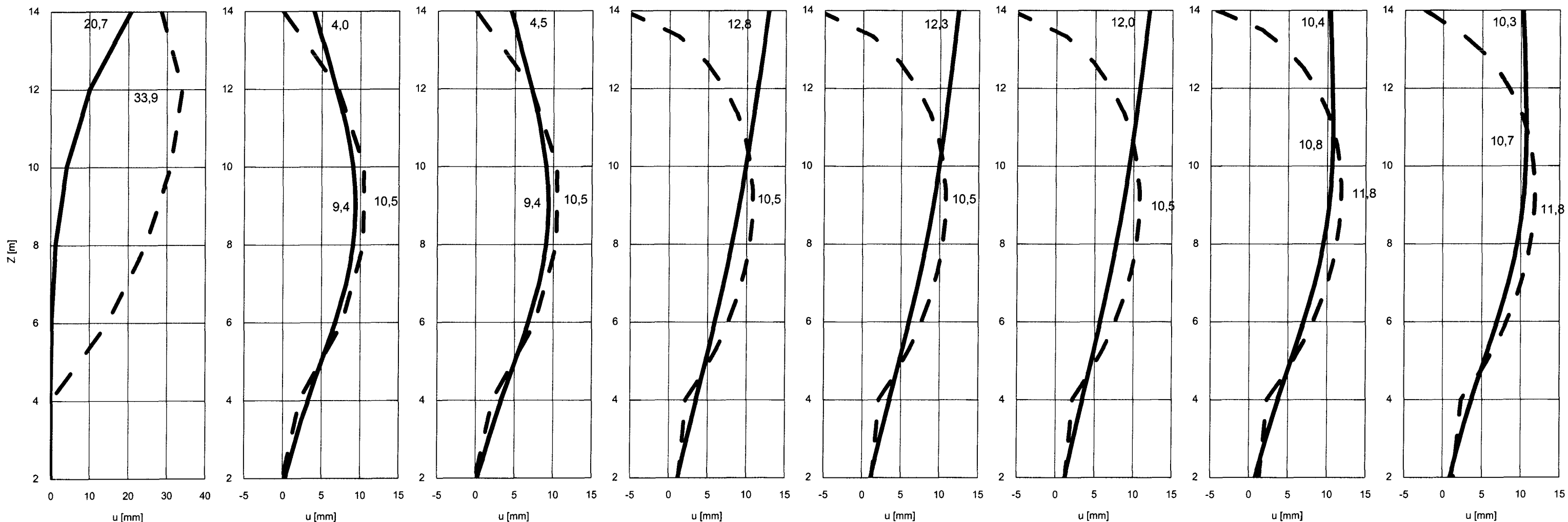
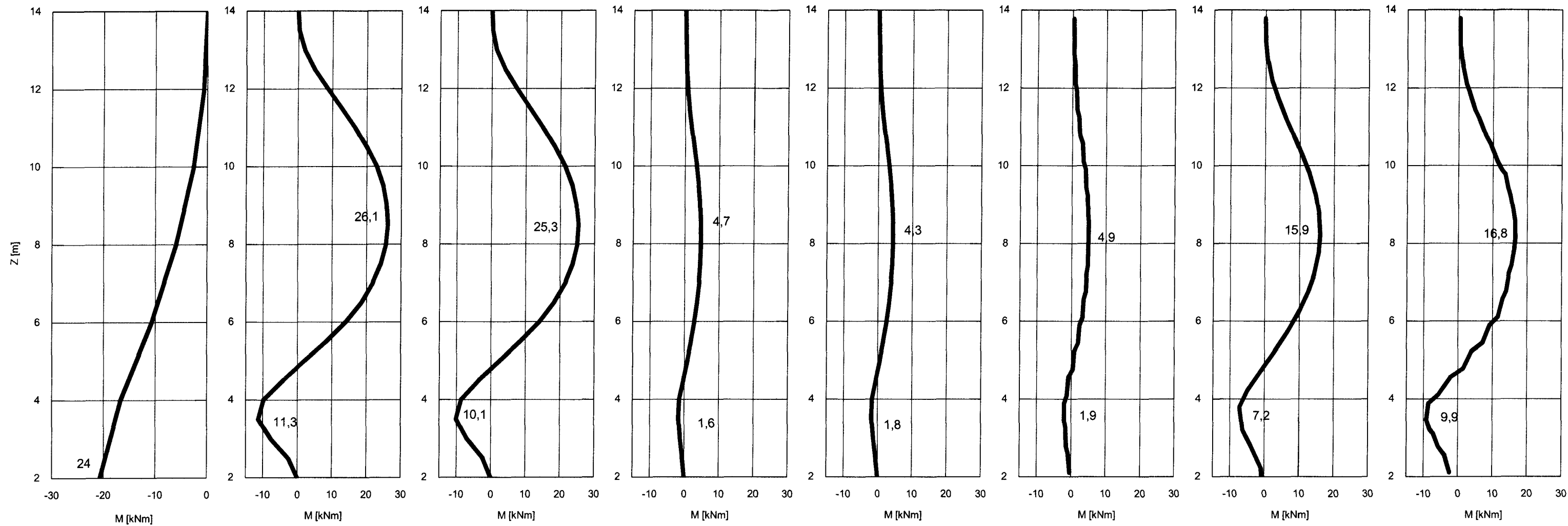
Grafiek 1: Momentenverloop balkelement en volume-elementen bij een afmeting van 200 x 200 mm.



Grafiek 2: Horizontale verplaatsingen grond, balk- en volume-element bij een afmeting van 200 x 200 mm.

	Balkelement Run6	Volume-element Run7	Balkelement Run8	Volume-element Run9
u_{top} (mm)	10,36	10,22	6,80	7,00
u_{max} (mm)	10,75	10,74	11,52	11,50
$M_{max,pos}$ (kNm)	15,94	16,75	3,38	3,52
$M_{max,neg}$ (kNm)	7,17	9,89	3,87	3,80

Tabel 3: Totaal overzicht.



--- = grondverplaatsing
 - - - = paalverplaatsing

Plot	Model Name
1	Begeman-de Leeuw
2	Run 2 MSHEET schelpfactor
3	Run 2a MSHEET (wand)
4	Run 4d PL2D_balk_wand
5	Run 4e PL2D_balk gereduceerde EI
6	Run 5a PL2D_volume_wand
7	Run 6 PL3D_balk
8	Run 7 PL3D_volume

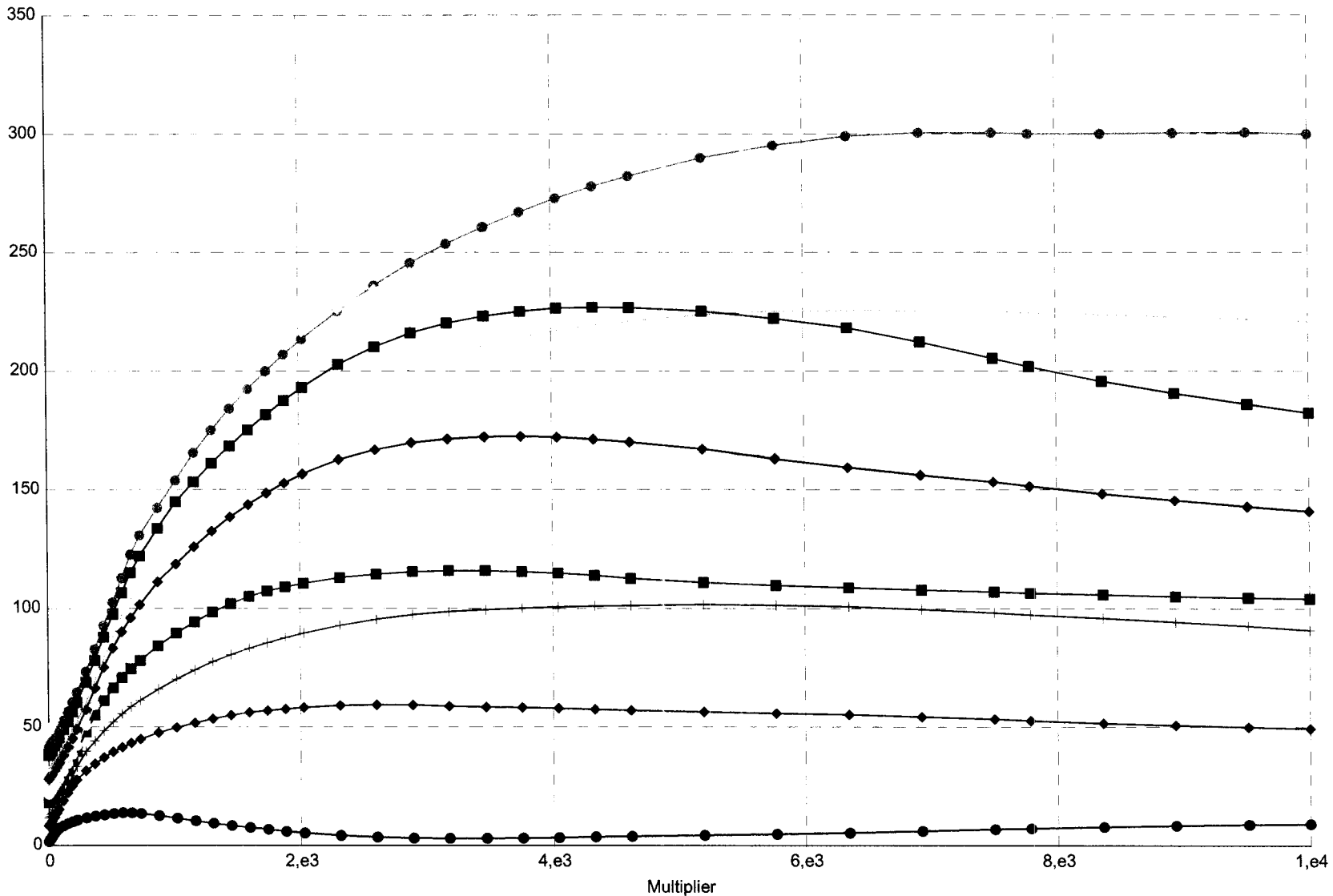
BIJLAGEN HOOFDSTUK 6

BIJLAGE 6A	horizontale spanning uitgezet tegen de multiplier	
BIJLAGE 6B	bepaling van de helling van de beddingsconstante	
BIJLAGE 6C	bepaling schelpfactor m.b.v. PLAXIS 3D	
BIJLAGE 6D	MSHEET, $s_{\text{klei}} = 1,5$ en $s_{\text{zand}} = 2,0$, k_{klei} uit PLAXIS 3D	run2_1
BIJLAGE 6E	MSHEET, idem als bijlage 6D, opgelegde verplaatsing anders	run2_2
BIJLAGE 6F	MSHEET, k uit PLAXIS 3D en opgelegde verplaatsing anders	run2_3
BIJLAGE 6G	MSHEET, k en s uit PLAXIS 3D	run2_4
BIJLAGE 6H	MSHEET, k uit PLAXIS 3D en géén s	run2_7
BIJLAGE 6I	PLAXIS 3D	run6
BIJLAGE 6J	overzicht van momenten en verplaatsingen bij $q = 10 \text{ kN/m}^1$	
BIJLAGE 6K	momenten en verplaatsingen bij een bovenbelasting van $q = 40 \text{ kN/m}^1$	
BIJLAGE 6L	PLAXIS 2D	run1a
BIJLAGE 6M	MSHEET, $q = 40 \text{ kN/m}^1$ en opgelegde grondverplaatsing	run2b
BIJLAGE 6N	PLAXIS 3D	run6b
BIJLAGE 6O	MSHEET, verplaatsing maaiveld = 0 mm., k uit PLAXIS 3D	run2_5
BIJLAGE 6P	MSHEET, idem als bijlage 6O met k en s uit PLAXIS 3D	run2_6
BIJLAGE 6Q	MSHEET, als bijlage 6M, k en s uit PLAXIS 3D	run2_13
BIJLAGE 6R	MSHEET, $s = 1,0$ en k uit PLAXIS 3D	run2L
BIJLAGE 6S	overzicht van momenten en verplaatsingen bij $q = 40 \text{ kN/m}^1$	
BIJLAGE 6T	MSHEET, k en s uit PLAXIS 3D en k_{klei} punt $M = 459 \text{ kN/m}^3$	run 2_19

Overzicht van rekenbestanden in hoofdstuk 6

Omschrijving	Type	file
$q = 40 \text{ kN/m}^1$, Grondverplaatsing bepaald voor MSHEET	PLAXIS 2D	Run1a
$q = 40 \text{ kN/m}^1$, opgelegde grondverplaatsing uit run1a	MSHEET	Run2b
$q = 10 \text{ kN/m}^1$, k uit PLAXIS 3D en $s_{klei} = 1,5$ en $s_{zand} = 2,0$	MSHEET	Run2_1
$q = 10 \text{ kN/m}^1$, k uit PLAXIS 3D en opgelegde grondverpl. + 6 mm	MSHEET	Run2_2
$q = 10 \text{ kN/m}^1$, idem als run 2_2, verplaatsing maaiveld 0 mm	MSHEET	Run2_3
$q = 10 \text{ kN/m}^1$, beddingsconstante en schelpfactor uit PLAXIS 3D	MSHEET	Run2_4
$q = 40 \text{ kN/m}^1$, k uit PLAXIS 3D, verplaatsing maaiveld 0 mm	MSHEET	Run2_5
$q = 40 \text{ kN/m}^1$, idem als run2_5, k en s uit PLAXIS 3D	MSHEET	Run2_6
$q = 10 \text{ kN/m}^1$, k uit PLAXIS 3D en géén schelpfactor	MSHEET	Run2_7
$q = 40 \text{ kN/m}^1$, als run 2b, k en s uit PLAXIS 3D	MSHEET	Run2_13
$q = 10 \text{ kN/m}^1$, beddingsconstante voor punt M en s uit PLAXIS 3D	MSHEET	Run2_19
$q = 40 \text{ kN/m}^1$, k uit PLAXIS 3D en schelpfactor is 1,0	MSHEET	Run2L
$q = 10 \text{ kN/m}^1$, PLAXIS 3D berekening	PLAXIS 3D	Run6
$q = 40 \text{ kN/m}^1$, PLAXIS 3D berekening	PLAXIS 3D	Run6b

Stress [kN/m²]

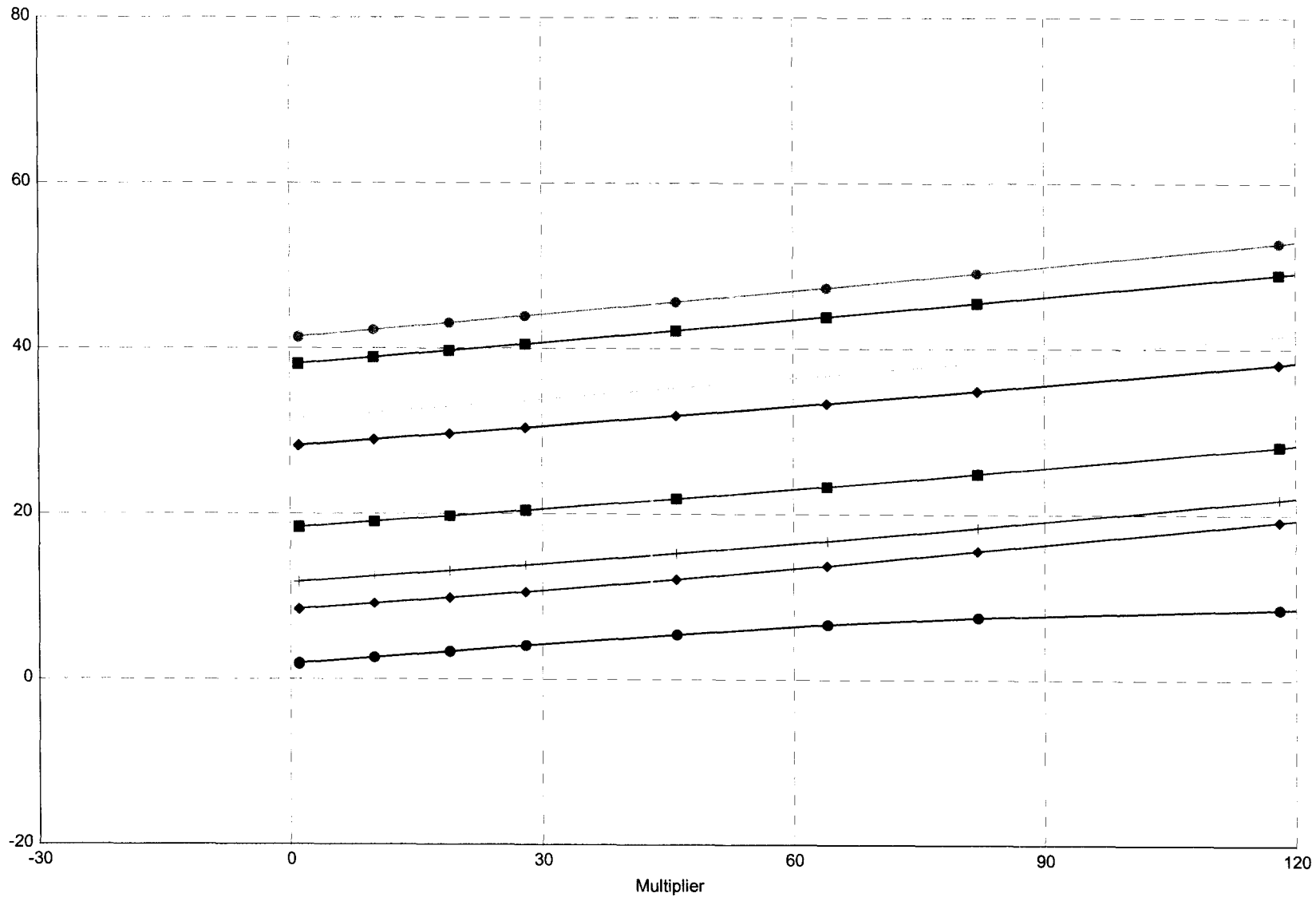


- Point H
- ◆ Point I
- Point J
- Point K
- Point L
- ◇ Point M
- Point N
- Point O
- Point P
- Point Q

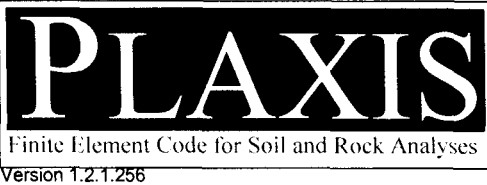


Project description			Bijlage 6A: hor. spanning tegen verplaatsing		
Project name	Date	User name			
k-bepaling(0).PL3	9-1-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.			

Stress [kN/m²]



- Point H
- ◆ Point I
- ⊕ Point J
- Point K
- Point L
- ◇ Point M
- Point N
- Point O
- Point P
- Point Q



Project description			Bijlage 6B: helling voor beddingsconstante		
Project name					
k-bepaling(0).PL3		Date	9-1-02		User name
				FUGRO Ingenieursbureau b.v.	

Bepaling beddingsconstante m.b.v. PLAXIS 3D

Punt	Y [m]	X ₁ [m]	σ' _{h;1} [kN/m ²]	X ₂ [m]	σ' _{h;2} [kN/m ²]	k [kN/m ³]
H	13,6	0	1,810	0,015	9,501	507
I	12,3	0	8,391	0,015	22,298	928
J	11,6	0	11,682	0,015	25,540	925
K	10,3	0	18,269	0,015	31,731	900
L	9,6	0	21,554	0,015	34,681	876
M	8,3	0	28,135	0,015	41,60	898
N	7,6	0	31,426	0,015	45,037	908
O	6,3	0	38,007	0,015	52,640	976
P	5,6	0	41,298	0,015	56,300	1022
Q	4,3	0	47,879	0,015	66,745	1250

Tabel 1: Bepaling beddingsconstante m.b.v. PLAXIS 3D.¹

$$^1 k \text{ wordt bepaald door } \Delta\sigma / \Delta w, \text{ dus } k = \frac{\Delta\sigma}{\Delta w} = \frac{\sigma'_{h;2} - \sigma'_{h;1}}{X_2 - X_1}.$$

bepaling schelpfactor uit PLAXIS 3D
Bijlage 6C

PLAXIS 3D	front plane	rear plane		front plane	front plane	rear plane	
punt	diepte	σ'_v	K_0	σ'_h	σ'_h ; berekend	$\sigma'_{h,max}$	$\sigma'_{h,max} / \sigma'_v$
	[m]	[kN/m ²]	[-]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[-]
H	13,6	3,2	0,617	1,97	1,97	13,97	4,37
I	12,3	13,6	0,617	8,39	8,39	59,66	4,39
J	11,6	19,2	0,617	11,85	11,85	101,67	5,30
K	10,3	29,6	0,617	18,26	18,26	115,61	3,91
L	9,6	35,2	0,617	21,72	21,72	165,39	4,70
M	8,3	45,6	0,617	28,14	28,14	172,34	3,78
N	7,6	51,2	0,617	31,59	31,59	225,34	4,40
O	6,3	61,6	0,617	38,01	38,01	226,34	3,67
P	5,6	67,2	0,617	41,46	41,46	300,78	4,48
Q	4,3	77,6	0,617	47,88	47,88	256,91	3,31

$\sigma'_{h,max} / \sigma'_v$: **4,23**

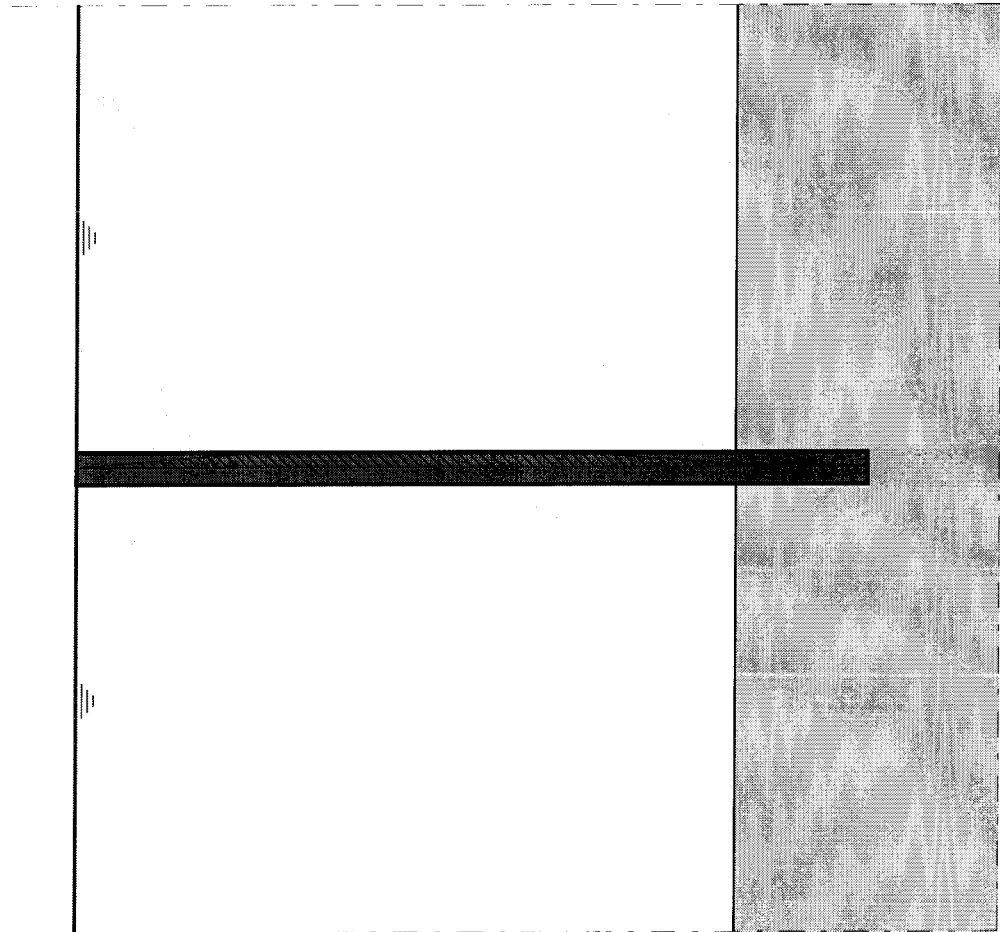
MSHEET	front plane		
punt	diepte	λ_p	s
	[m]	[-]	[-]
H	13,6	3,12	1,40
I	12,3	3,12	1,41
J	11,6	3,12	1,70
K	10,3	3,12	1,25
L	9,6	3,12	1,51
M	8,3	3,12	1,21
N	7,6	3,12	1,41
O	6,3	3,12	1,18
P	5,6	3,12	1,43
Q	4,3	3,12	1,06


$$\sigma'_v \times \lambda_p \times s = \sigma'_{h,max}$$

$s_{gemiddeld}$

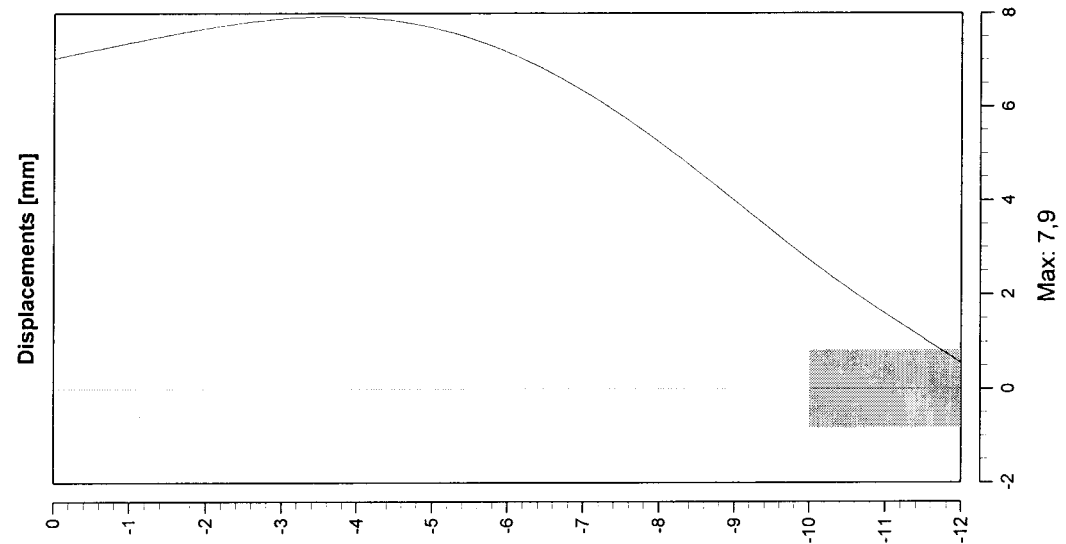
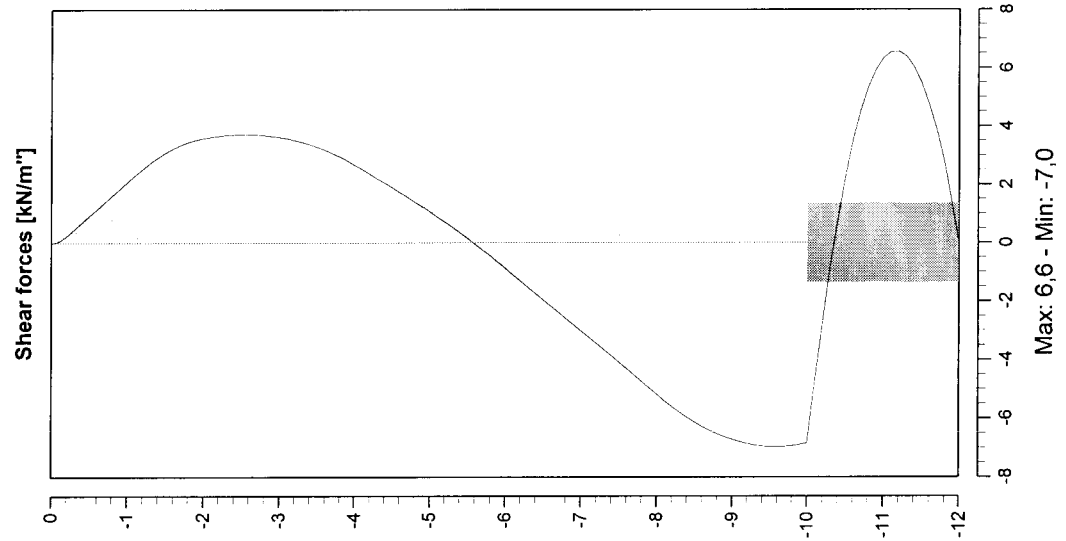
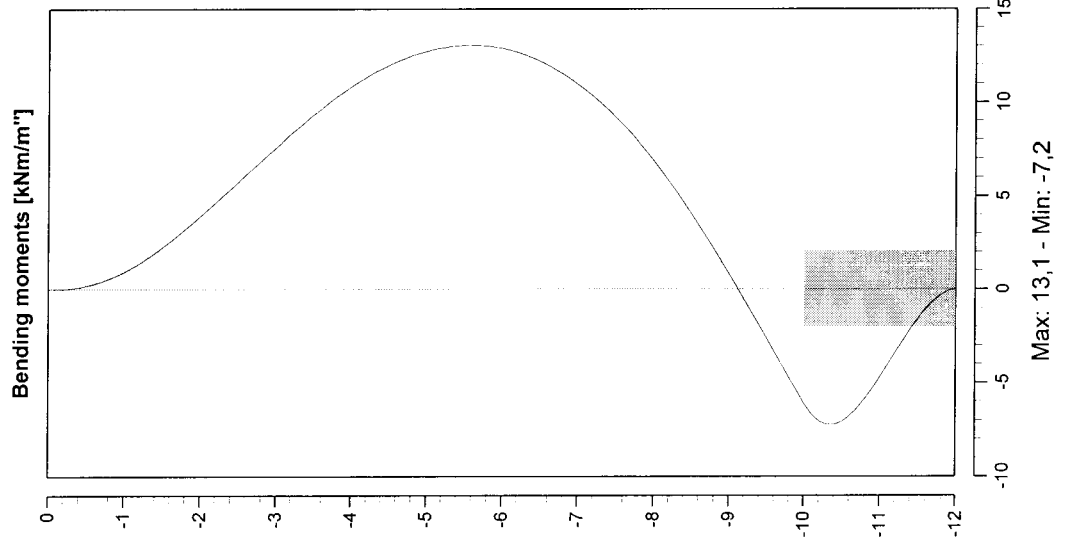
: **1,36**
deze s invullen in MSHEET
file *run2_4*

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 9-1-02	drw.
Bijlage 6D Kklei uit PLAXIS 3D en s = 1,5 en 2,0		-	ctr.
MSheet 5.4 : run2_1.shi		Annex -	form. A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

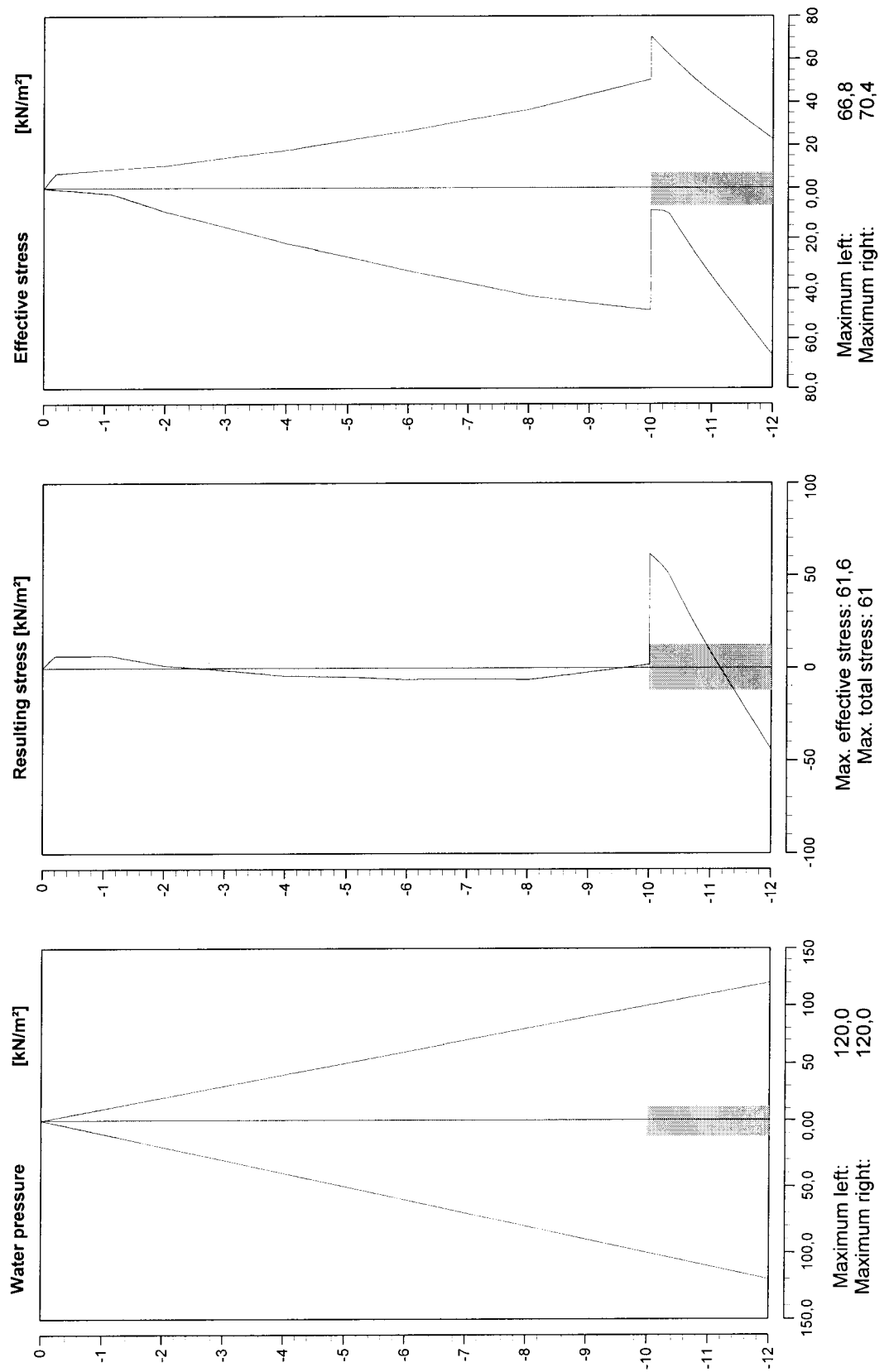
Bijlage 6D
Kklei uit PLAXIS 3D en s = 1,5 en 2,0
MSheet 5.4 : run2_1.shi

ctr.

Annex -

form
A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

ctr

Bijlage 6D
Kklei uit PLAXIS 3D en s = 1,5 en 2,0

Annex -

form.

A4

MSheet 5.4 : run2_1.shi

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6D**
: **Klei uit PLAXIS 3D en s = 1,5 en 2,0**

Date : 9-1-02
Time : 8:34:01

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_1.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_1.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_1.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm2/m"]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.25
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.68

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

-----
Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate Y-coordinate Point X-coordinate Y-coordinate
no. [m] from PILE [m] from level no. [m] from PILE [m] from level
1 0.00 0.00 1 0.00 0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer Level top side Wosp-T Wosp-B
no Name soil layer [m] [kN/m2] [kN/m2]
1 klei 0.00 0.00 0.00
2 zand -10.00 0.00 0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.007
  3        -4.00       0.010
  4        -6.00       0.010
  5        -8.00       0.008
  6       -10.00       0.002
  7       -12.00       0.001
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str  Stat| Ef.Str  Stat| WatStL  WatStR
no   m      mm    kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2   kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1  0.00    7.0    0.0    -0.0 |  0.00  A  |  0.00  P  |  0.00   0.00
  2 -0.50    7.2    0.2    0.9 |  1.00  A  |  7.57  40|  5.00   5.00
  2 -0.50    7.2    0.2    0.9 |  1.00  A  |  7.57  40|  5.00   5.00
  3 -1.00    7.4    0.9    2.1 |  2.00  A  |  8.63  23| 10.00  10.00
  3 -1.00    7.4    0.9    2.1 |  2.00  A  |  8.63  23| 10.00  10.00
  4 -1.50    7.5    2.3    3.1 |  5.24   |  9.64  17| 15.00  15.00
  4 -1.50    7.5    2.3    3.1 |  5.24   |  9.64  17| 15.00  15.00
  5 -2.00    7.7    3.9    3.6 |  9.26   | 10.58  14| 20.00  20.00
  5 -2.00    7.7    3.9    3.6 |  9.26   | 10.58  14| 20.00  20.00
  6 -2.50    7.8    5.8    3.7 | 12.35   | 12.45  13| 25.00  25.00
  6 -2.50    7.8    5.8    3.7 | 12.35   | 12.45  13| 25.00  25.00
  7 -3.00    7.9    7.6    3.6 | 15.50  14| 14.26   | 30.00  30.00
  7 -3.00    7.9    7.6    3.6 | 15.50  14| 14.26   | 30.00  30.00
  8 -3.50    7.9    9.4    3.3 | 18.71  14| 16.01   | 35.00  35.00
  8 -3.50    7.9    9.4    3.3 | 18.71  14| 16.01   | 35.00  35.00
  9 -4.00    7.9   10.9    2.7 | 22.00  15| 17.68   | 40.00  40.00
  9 -4.00    7.9   10.9    2.7 | 22.00  15| 17.68   | 40.00  40.00
  
```

10	-4.50	7.8	12.0	1.9		24.60	15		20.04		45.00	45.00	
10	-4.50	7.8	12.0	1.9		24.60	15		20.04		45.00	45.00	
11	-5.00	7.7	12.7	1.1		27.27	15		22.33		50.00	50.00	
11	-5.00	7.7	12.7	1.1		27.27	15		22.33		50.00	50.00	
12	-5.50	7.5	13.1	0.2		30.03	15		24.53		55.00	55.00	
12	-5.50	7.5	13.1	0.2		30.03	15		24.53		55.00	55.00	
13	-6.00	7.2	12.9	-0.9		32.89	15		26.63		60.00	60.00	
13	-6.00	7.2	12.9	-0.9		32.89	15		26.63		60.00	60.00	
14	-6.50	6.8	12.2	-2.0		35.28	14		29.20		65.00	65.00	
14	-6.50	6.8	12.2	-2.0		35.28	14		29.20		65.00	65.00	
15	-7.00	6.3	10.9	-3.0		37.74	14		31.70		70.00	70.00	
15	-7.00	6.3	10.9	-3.0		37.74	14		31.70		70.00	70.00	
16	-7.50	5.8	9.2	-4.1		40.28	14		34.12		75.00	75.00	
16	-7.50	5.8	9.2	-4.1		40.28	14		34.12		75.00	75.00	
17	-8.00	5.2	6.9	-5.2		42.89	14		36.47		80.00	80.00	
17	-8.00	5.2	6.9	-5.2		42.89	14		36.47		80.00	80.00	
18	-8.50	4.6	4.0	-6.1		44.37	14		39.95		85.00	85.00	
18	-8.50	4.6	4.0	-6.1		44.37	14		39.95		85.00	85.00	
19	-9.00	4.0	0.8	-6.7		45.84	14		43.44		90.00	90.00	
19	-9.00	4.0	0.8	-6.7		45.84	14		43.44		90.00	90.00	
20	-9.50	3.4	-2.6	-7.0		47.30	13		46.94		95.00	95.00	
20	-9.50	3.4	-2.6	-7.0		47.30	13		46.94		95.00	95.00	
21	-10.00	2.7	-6.1	-6.8		48.71			50.49	13		100.00	100.00
21	-10.00	2.7	-6.1	-6.8		8.80 A			70.41	6		100.00	100.00
22	-10.50	2.1	-7.1	2.3		17.82			56.14	5		105.00	105.00
22	-10.50	2.1	-7.1	2.3		17.82			56.14	5		105.00	105.00
23	-11.00	1.6	-4.7	6.3		35.24			43.88	3		110.00	110.00
23	-11.00	1.6	-4.7	6.3		35.24			43.88	3		110.00	110.00
24	-11.50	1.1	-1.6	5.5		51.28	4		33.00			115.00	115.00
24	-11.50	1.1	-1.6	5.5		51.28	4		33.00			115.00	115.00
25	-12.00	0.6	0.0	0.0		66.82	4		22.62			120.00	120.00

-----|
Maxima : 7.9 13.1 -7.0 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right
Effective :	115.29	115.26
Water :	252.00	252.00
Total :	367.29	367.26

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 7.3 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 7.3 %

Vertical force balance

Vertical force active : -56.71 [kN/m"]
Vertical force passive : 54.77 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : -1.94 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

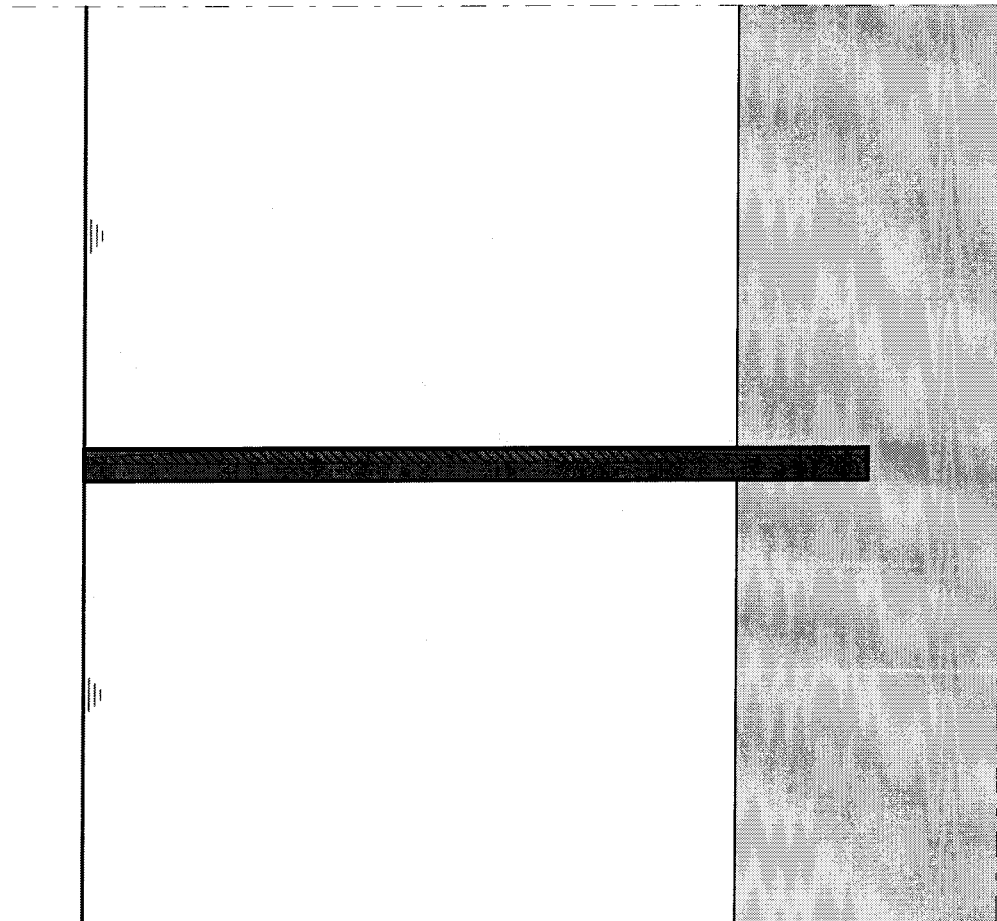
A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 7.9 [mm]
Moment : 13.1 [kNm/m"]
Shear force : -7.0 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6E
opg. grondverpl.+ 6mm en K uit PL3D

ctr

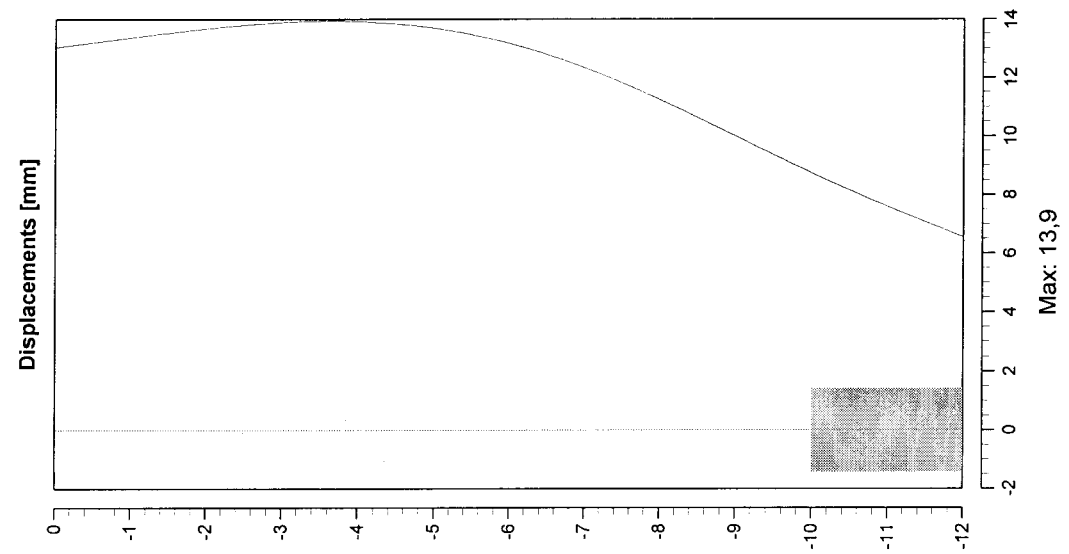
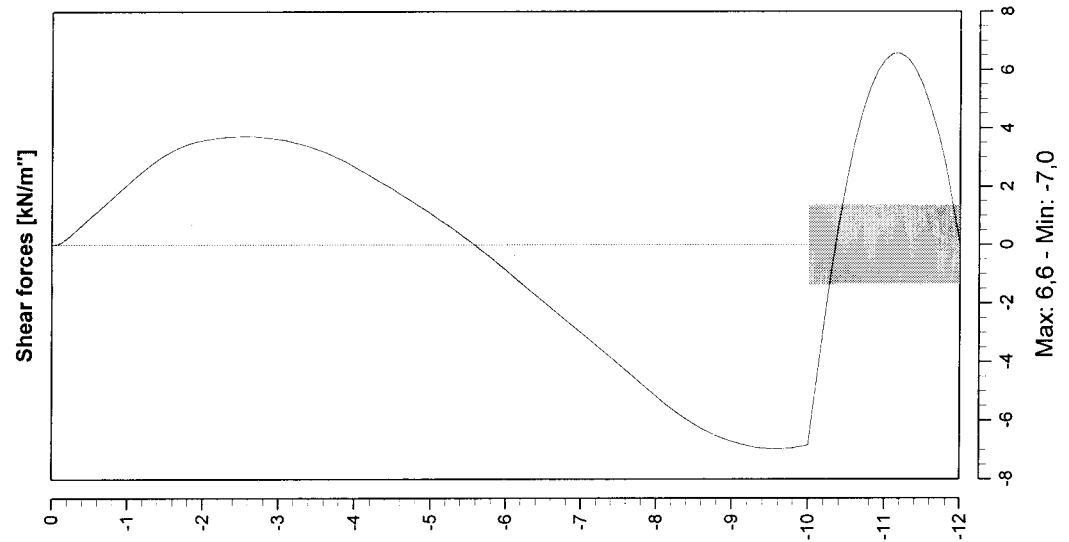
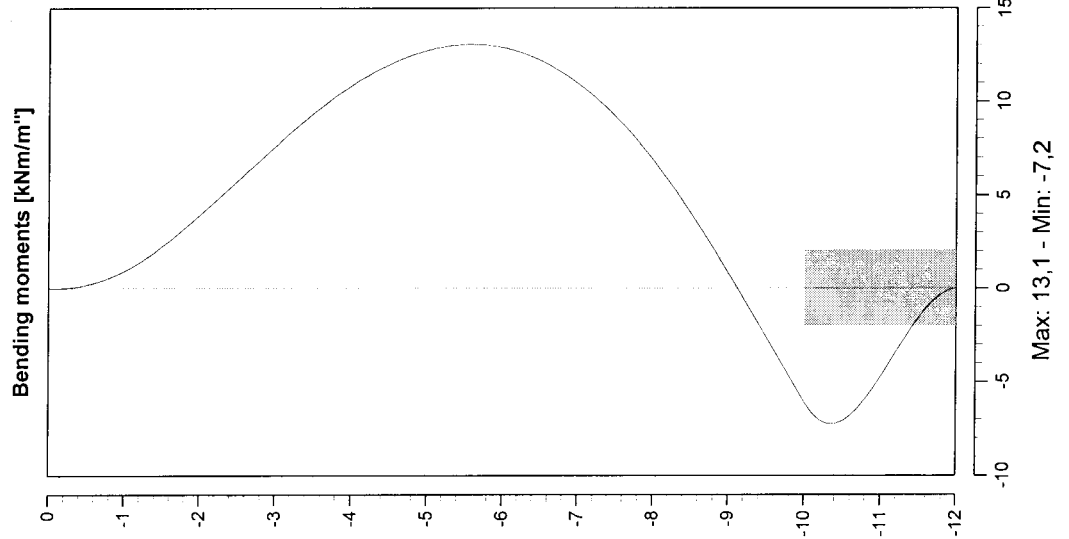
Annex -

form

A4

MSheet 5.4 : run2_2.shi

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

ctr.

Bijlage 6E
opg. grondverpl.+ 6mm en K uit PL3D

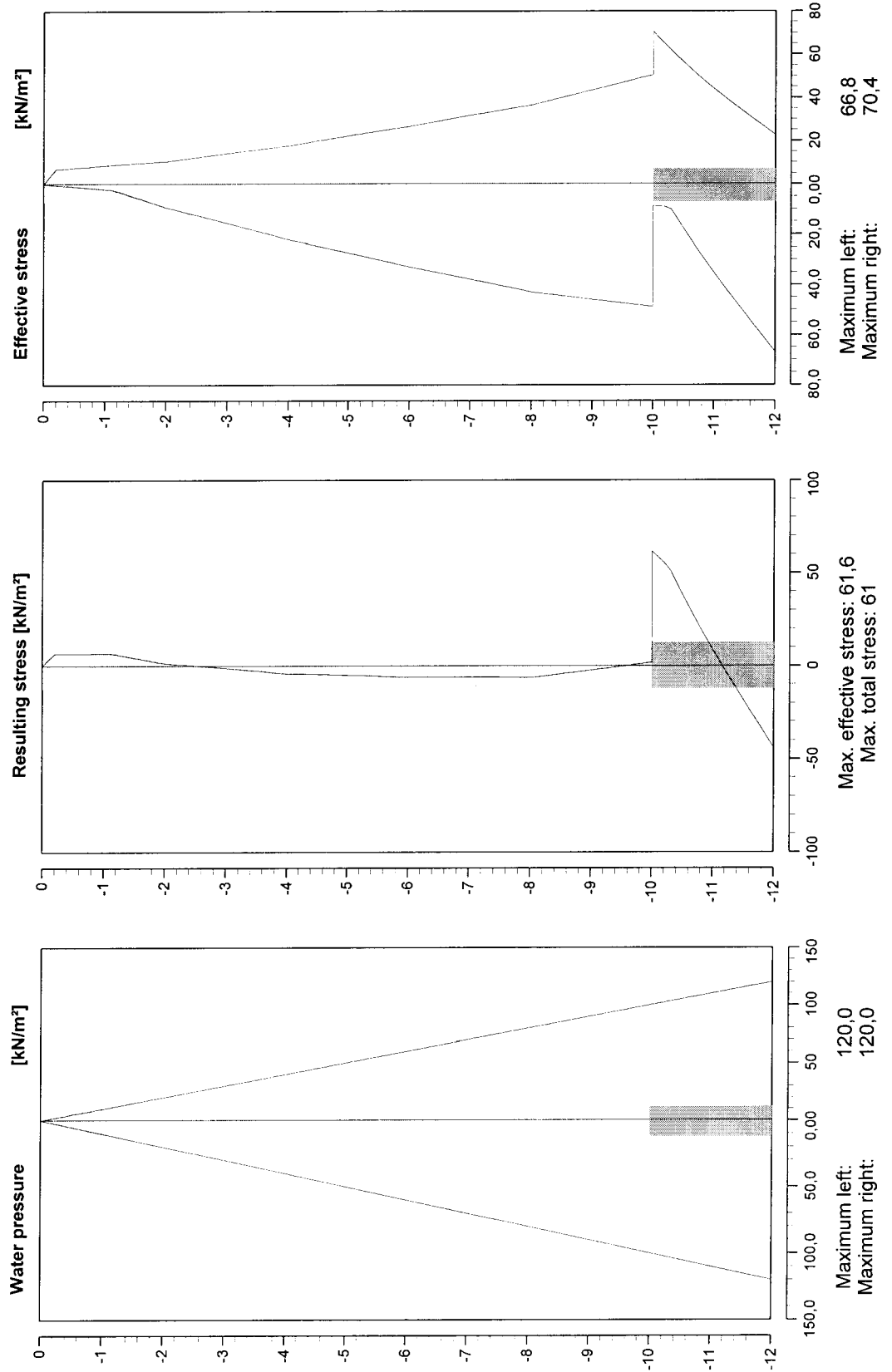
Annex -

form.

A4

MSheet 5.4 : run2_2.shi

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

	date	drw.
	9-1-02	-
		ctr.
		form.
Annex	-	A4

Bijlage 6E
opg. grondverpl.+ 6mm en K uit PL3D
MSheet 5.4 : run2_2.shi

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6E**
: opg. grondverpl.+ 6mm en K uit PL3D

Date : 9-1-02
Time : 8:36:08

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_2.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_2.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_2.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From - [m]	To	Stiffness EI [kNm2/m ²]	Acting width [m]
1	0.00 -	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.25
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.68

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

-----
Surface LEFT : (Surface no. 1)                      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate    Y-coordinate    Point X-coordinate    Y-coordinate
no.    [m] from PILE    [m] from level    no.    [m] from PILE    [m] from level
  1            0.00            0.00    1            0.00            0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer    Level top side    Wosp-T    Wosp-B
no    Name    soil layer [m]    [kN/m2]    [kN/m2]
  1    klei    0.00    0.00    0.00
  2    zand    -10.00    0.00    0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka, Ko, Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka, Ko, Kp

Soil displacements :

Point	Level [m]	Displ. [m]
1	0.00	0.006
2	-2.00	0.013
3	-4.00	0.016
4	-6.00	0.016
5	-8.00	0.014
6	-10.00	0.008
7	-12.00	0.007

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

Nd no	Level m	Displ mm	Moment kNm/m"	ShearF kN/m"	Ef.Str kN/m2	Stat %	Ef.Str kN/m2	Stat %	WatStL kN/m2	WatStR kN/m2
1	0.00	13.0	0.0	-0.0	0.00	A	0.00	P	0.00	0.00
2	-0.50	13.2	0.2	0.9	1.00	A	7.57	40	5.00	5.00
2	-0.50	13.2	0.2	0.9	1.00	A	7.57	40	5.00	5.00
3	-1.00	13.4	0.9	2.1	2.00	A	8.63	23	10.00	10.00
3	-1.00	13.4	0.9	2.1	2.00	A	8.63	23	10.00	10.00
4	-1.50	13.5	2.3	3.1	5.24		9.64	17	15.00	15.00
4	-1.50	13.5	2.3	3.1	5.24		9.64	17	15.00	15.00
5	-2.00	13.7	3.9	3.6	9.26		10.58	14	20.00	20.00
5	-2.00	13.7	3.9	3.6	9.26		10.58	14	20.00	20.00
6	-2.50	13.8	5.8	3.7	12.35		12.45	13	25.00	25.00
6	-2.50	13.8	5.8	3.7	12.35		12.45	13	25.00	25.00
7	-3.00	13.9	7.6	3.6	15.50	14	14.26		30.00	30.00
7	-3.00	13.9	7.6	3.6	15.50	14	14.26		30.00	30.00
8	-3.50	13.9	9.4	3.3	18.71	14	16.01		35.00	35.00
8	-3.50	13.9	9.4	3.3	18.71	14	16.01		35.00	35.00
9	-4.00	13.9	10.9	2.7	22.00	15	17.68		40.00	40.00
9	-4.00	13.9	10.9	2.7	22.00	15	17.68		40.00	40.00

10	-4.50	13.8	12.0	1.9		24.60	15	20.04		45.00	45.00
10	-4.50	13.8	12.0	1.9		24.60	15	20.04		45.00	45.00
11	-5.00	13.7	12.7	1.1		27.27	15	22.33		50.00	50.00
11	-5.00	13.7	12.7	1.1		27.27	15	22.33		50.00	50.00
12	-5.50	13.5	13.1	0.2		30.03	15	24.53		55.00	55.00
12	-5.50	13.5	13.1	0.2		30.03	15	24.53		55.00	55.00
13	-6.00	13.2	12.9	-0.9		32.89	15	26.63		60.00	60.00
13	-6.00	13.2	12.9	-0.9		32.89	15	26.63		60.00	60.00
14	-6.50	12.8	12.2	-2.0		35.28	14	29.20		65.00	65.00
14	-6.50	12.8	12.2	-2.0		35.28	14	29.20		65.00	65.00
15	-7.00	12.3	10.9	-3.0		37.74	14	31.70		70.00	70.00
15	-7.00	12.3	10.9	-3.0		37.74	14	31.70		70.00	70.00
16	-7.50	11.8	9.2	-4.1		40.28	14	34.12		75.00	75.00
16	-7.50	11.8	9.2	-4.1		40.28	14	34.12		75.00	75.00
17	-8.00	11.2	6.9	-5.2		42.89	14	36.47		80.00	80.00
17	-8.00	11.2	6.9	-5.2		42.89	14	36.47		80.00	80.00
18	-8.50	10.6	4.0	-6.1		44.37	14	39.95		85.00	85.00
18	-8.50	10.6	4.0	-6.1		44.37	14	39.95		85.00	85.00
19	-9.00	10.0	0.8	-6.7		45.84	14	43.44		90.00	90.00
19	-9.00	10.0	0.8	-6.7		45.84	14	43.44		90.00	90.00
20	-9.50	9.4	-2.6	-7.0		47.30	13	46.94		95.00	95.00
20	-9.50	9.4	-2.6	-7.0		47.30	13	46.94		95.00	95.00
21	-10.00	8.7	-6.1	-6.8		48.71		50.49	13	100.00	100.00
21	-10.00	8.7	-6.1	-6.8		8.80 A		70.41	6	100.00	100.00
22	-10.50	8.1	-7.1	2.3		17.82		56.14	5	105.00	105.00
22	-10.50	8.1	-7.1	2.3		17.82		56.14	5	105.00	105.00
23	-11.00	7.6	-4.7	6.3		35.24		43.88	3	110.00	110.00
23	-11.00	7.6	-4.7	6.3		35.24		43.88	3	110.00	110.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.5		51.28	4	33.00		115.00	115.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.5		51.28	4	33.00		115.00	115.00
25	-12.00	6.6	0.0	0.0		66.82	4	22.62		120.00	120.00

-----|
Maxima : 13.9 13.1 -7.0 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

 Left Right

Effective : 115.29 115.26

Water : 252.00 252.00

Total : 367.29 367.26

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 7.3 %

Right Effect.resistance/max.passive resistance : 7.3 %

Vertical force balance

Vertical force active : -56.71 [kN/m"]

Vertical force passive : 54.77 [kN/m"]

Resulting vertical force (no dead weight) : -1.94 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

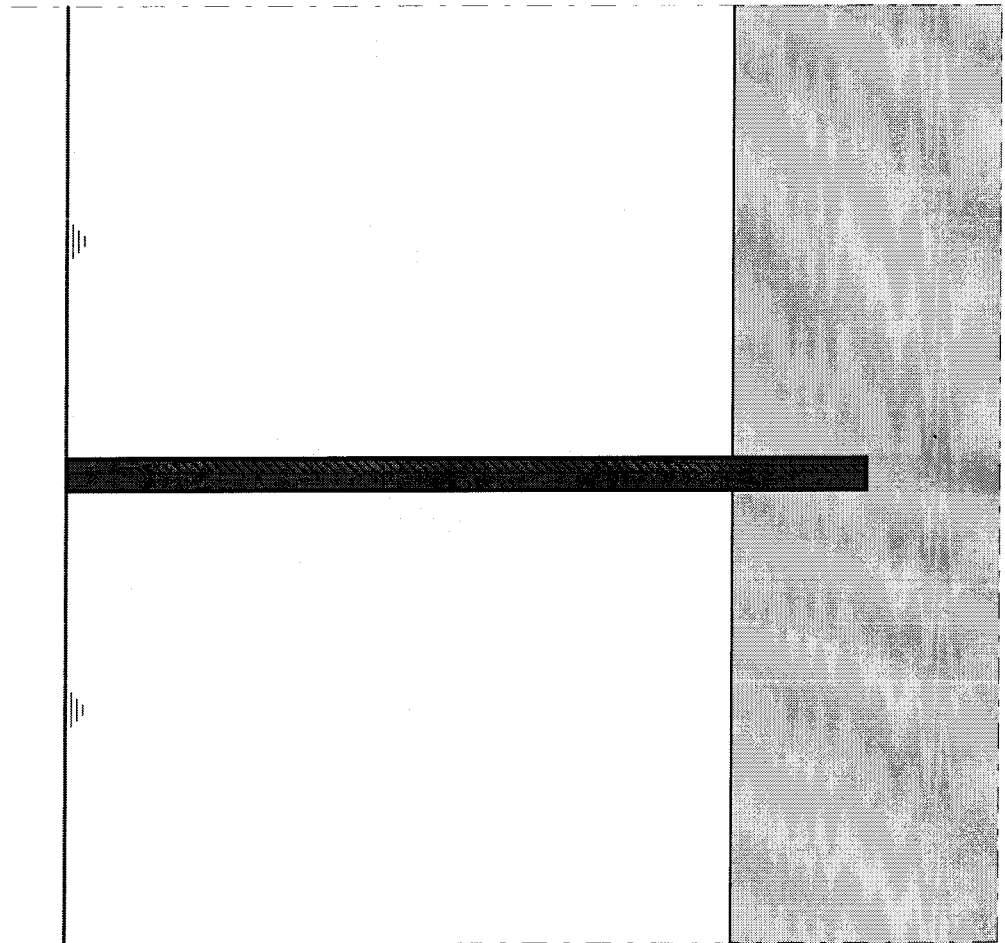
Displacement : 13.9 [mm]

Moment : 13.1 [kNm/m"]

Shear force : -7.0 [kN/m"]

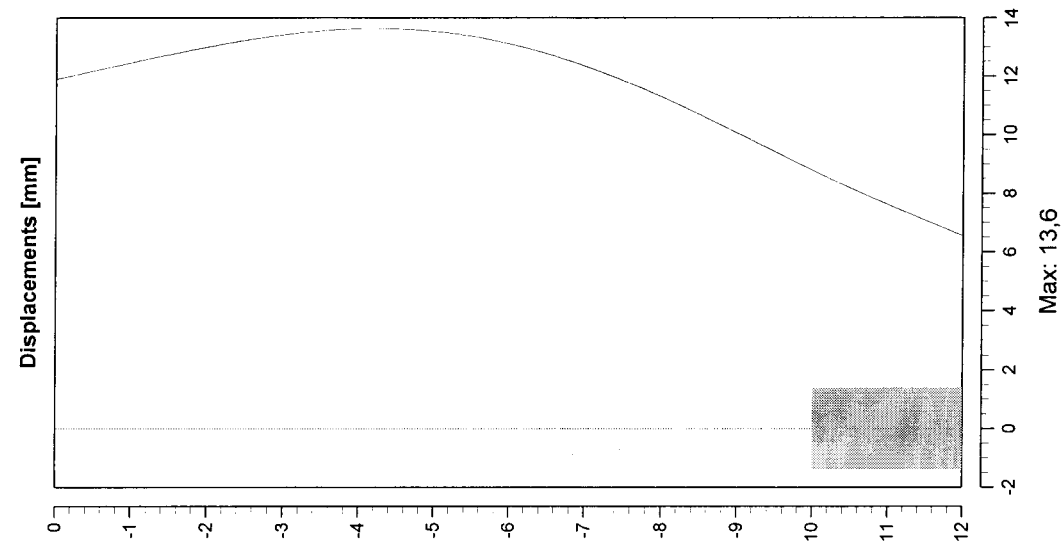
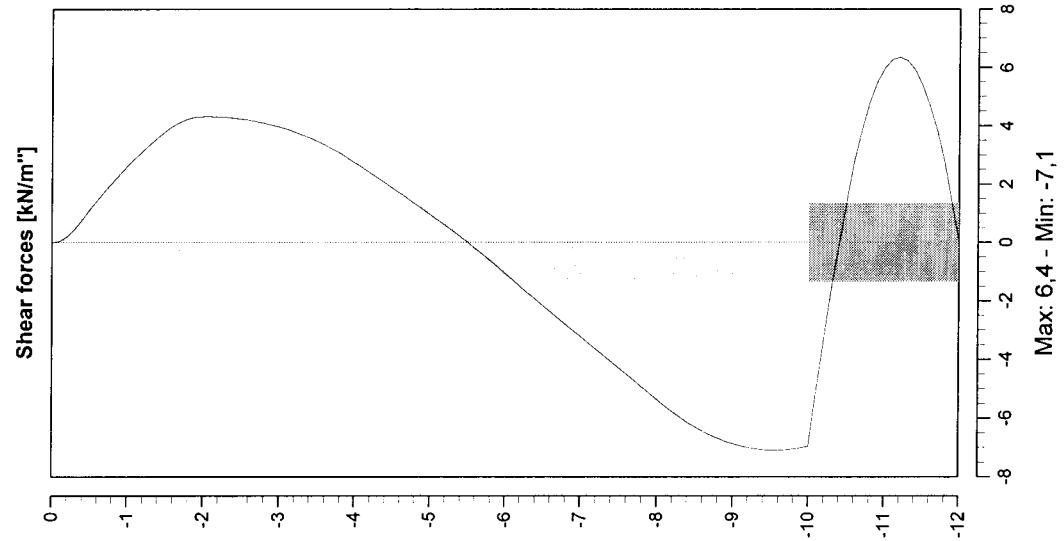
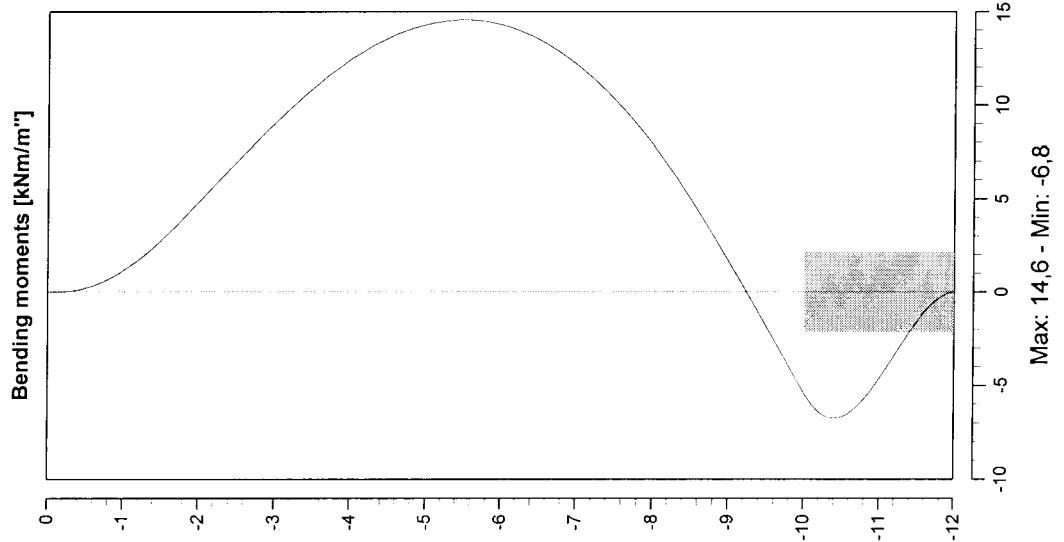
----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
Bijlage 6F grondverpl. + 6 mm en maaivld 0 mm en K uit PLXS3D		-	ctr
MSheet 5.4 : run2_3.shi		Annex -	form. A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6F
grondverpl. + 6 mm en maaivld 0 mm en K uit PLXS3D

ctr.

-

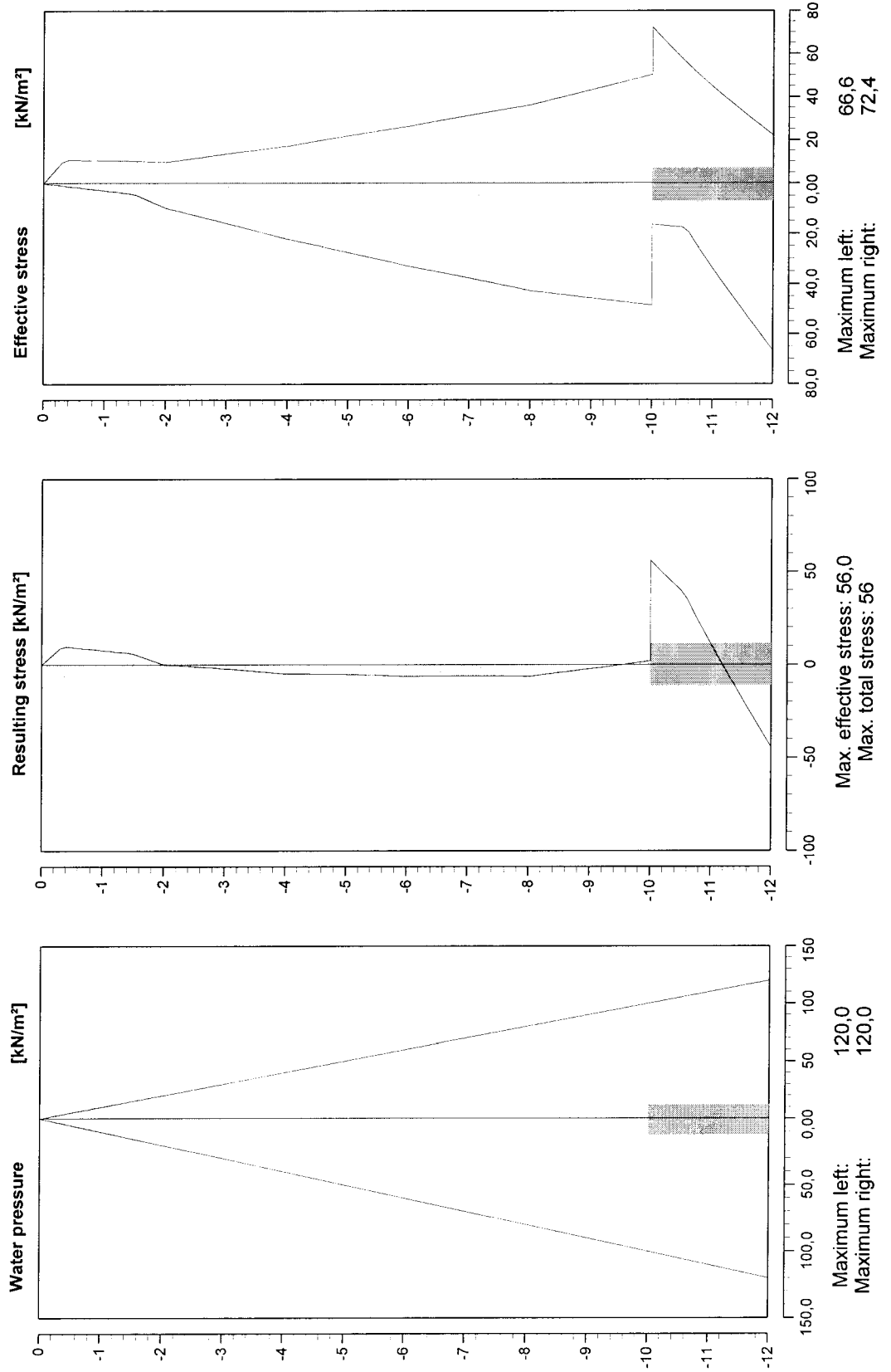
MSheet 5.4 : run2_3.shi

Annex -

form.

A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

ctr.

Bijlage 6F
grondverpl. + 6 mm en maaivld 0 mm en K uit PLXS3D

Annex -

form.
A4

MSheet 5.4 : run2_3.shi

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6F**
: **grondverpl. + 6 mm en maaivld 0 mm en K uit PLXS3D**

Date : 9-1-02
Time : 8:39:18

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_3.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_3.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_3.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From - [m]	To	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00 -	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.36
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.05

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.20
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 18.82
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                       [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

Surface LEFT : (Surface no. 1)                      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate    Y-coordinate    Point X-coordinate    Y-coordinate
no.    [m] from PILE    [m] from level    no.    [m] from PILE    [m] from level
1            0.00            0.00            1            0.00            0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer    Level top side    Wosp-T    Wosp-B
no    Name            soil layer [m]    [kN/m2]    [kN/m2]
1      klei            0.00            0.00       0.00
2      zand            -10.00           0.00       0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp
 Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.013
  3        -4.00       0.016
  4        -6.00       0.016
  5        -8.00       0.014
  6       -10.00       0.008
  7       -12.00       0.007
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm    kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1  0.00   11.9   0.0    -0.0 |  0.00 A  |  0.00 P  |  0.00  0.00
  2 -0.50   12.2   0.2     1.1 |  1.44 A  | 10.80 67|  5.00  5.00
  2 -0.50   12.2   0.2     1.1 |  1.44 A  | 10.80 67|  5.00  5.00
  3 -1.00   12.5   1.2     2.6 |  2.87 A  | 10.59 33| 10.00 10.00
  3 -1.00   12.5   1.2     2.6 |  2.87 A  | 10.59 33| 10.00 10.00
  4 -1.50   12.7   2.8     3.8 |  4.53   | 10.29 21| 15.00 15.00
  4 -1.50   12.7   2.8     3.8 |  4.53   | 10.29 21| 15.00 15.00
  5 -2.00   13.0   4.8     4.3 |  9.88 15|  9.88   | 20.00 20.00
  5 -2.00   13.0   4.8     4.3 |  9.88 15|  9.88   | 20.00 20.00
  6 -2.50   13.2   7.0     4.2 | 12.86 16| 11.83   | 25.00 25.00
  6 -2.50   13.2   7.0     4.2 | 12.86 16| 11.83   | 25.00 25.00
  7 -3.00   13.4   9.1     4.0 | 15.91 16| 13.72   | 30.00 30.00
  7 -3.00   13.4   9.1     4.0 | 15.91 16| 13.72   | 30.00 30.00
  8 -3.50   13.6  10.9     3.5 | 19.02 17| 15.54   | 35.00 35.00
  8 -3.50   13.6  10.9     3.5 | 19.02 17| 15.54   | 35.00 35.00
  9 -4.00   13.6  12.5     2.7 | 22.23 17| 17.28   | 40.00 40.00
  9 -4.00   13.6  12.5     2.7 | 22.23 17| 17.28   | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	13.6	13.6	1.9		24.74	17	19.71		45.00	45.00
10	-4.50	13.6	13.6	1.9		24.74	17	19.71		45.00	45.00
11	-5.00	13.5	14.3	1.0		27.34	17	22.05		50.00	50.00
11	-5.00	13.5	14.3	1.0		27.34	17	22.05		50.00	50.00
12	-5.50	13.4	14.6	-0.0		30.03	17	24.29		55.00	55.00
12	-5.50	13.4	14.6	-0.0		30.03	17	24.29		55.00	55.00
13	-6.00	13.1	14.3	-1.1		32.83	17	26.44		60.00	60.00
13	-6.00	13.1	14.3	-1.1		32.83	17	26.44		60.00	60.00
14	-6.50	12.8	13.5	-2.2		35.16	17	29.04		65.00	65.00
14	-6.50	12.8	13.5	-2.2		35.16	17	29.04		65.00	65.00
15	-7.00	12.3	12.1	-3.2		37.59	17	31.55		70.00	70.00
15	-7.00	12.3	12.1	-3.2		37.59	17	31.55		70.00	70.00
16	-7.50	11.8	10.3	-4.3		40.09	16	33.98		75.00	75.00
16	-7.50	11.8	10.3	-4.3		40.09	16	33.98		75.00	75.00
17	-8.00	11.3	7.9	-5.4		42.67	16	36.35		80.00	80.00
17	-8.00	11.3	7.9	-5.4		42.67	16	36.35		80.00	80.00
18	-8.50	10.7	4.9	-6.3		44.13	16	39.83		85.00	85.00
18	-8.50	10.7	4.9	-6.3		44.13	16	39.83		85.00	85.00
19	-9.00	10.0	1.6	-6.9		45.59	16	43.31		90.00	90.00
19	-9.00	10.0	1.6	-6.9		45.59	16	43.31		90.00	90.00
20	-9.50	9.4	-1.9	-7.1		47.03	15	46.80		95.00	95.00
20	-9.50	9.4	-1.9	-7.1		47.03	15	46.80		95.00	95.00
21	-10.00	8.8	-5.4	-7.0		48.44		50.33	16	100.00	100.00
21	-10.00	8.8	-5.4	-7.0		16.36 A		72.37	5	100.00	100.00
22	-10.50	8.2	-6.7	1.4		17.59 A		57.59	4	105.00	105.00
22	-10.50	8.2	-6.7	1.5		17.59 A		57.59	4	105.00	105.00
23	-11.00	7.6	-4.6	6.0		33.76		44.70	3	110.00	110.00
23	-11.00	7.6	-4.6	6.0		33.76		44.70	3	110.00	110.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.4		50.43	3	33.15		115.00	115.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.4		50.43	3	33.15		115.00	115.00
25	-12.00	6.6	0.0	0.0		66.60	3	22.10		120.00	120.00

Maxima :		13.6	14.6	-7.1							

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right

Effective :	115.98	115.95
Water :	252.00	252.00
Total :	367.98	367.95

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 6.5 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 6.5 %

Vertical force balance

Vertical force active : -57.15 [kN/m"]
Vertical force passive : 55.18 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : -1.97 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

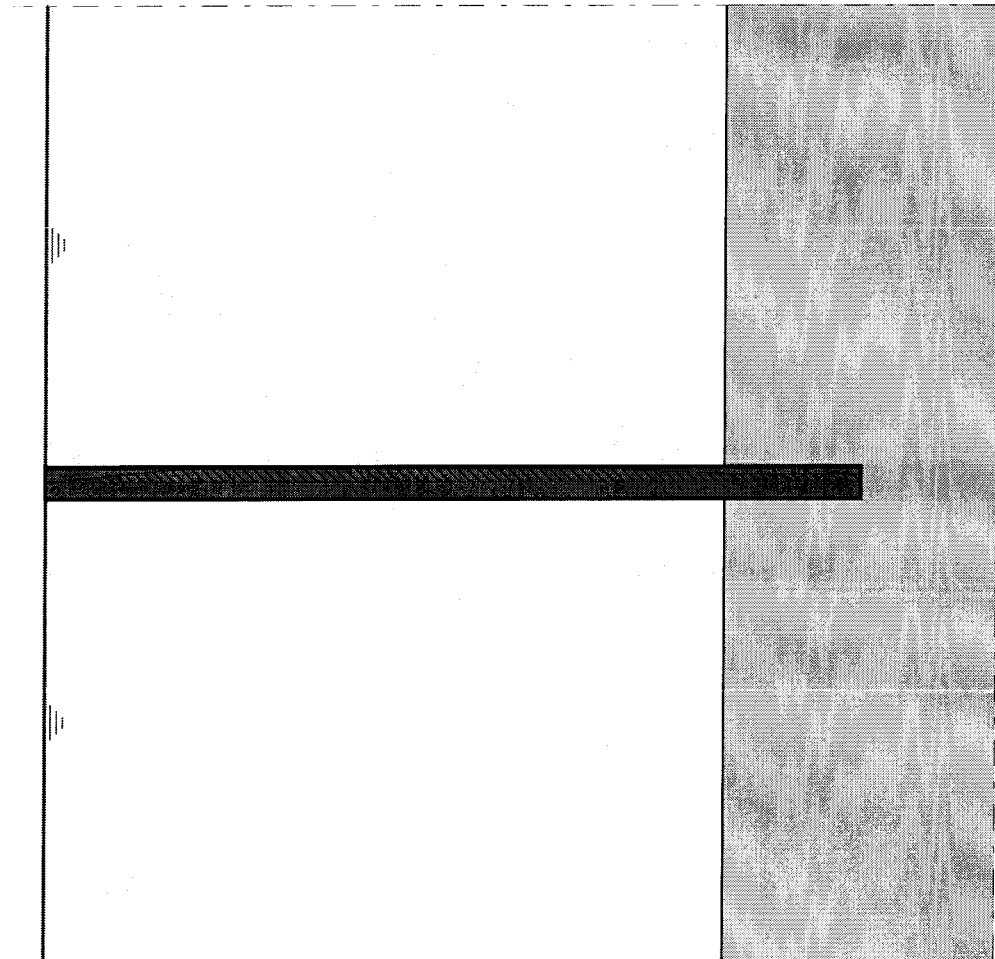
A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 13.6 [mm]
Moment : 14.6 [kNm/m"]
Shear force : -7.1 [kN/m"]

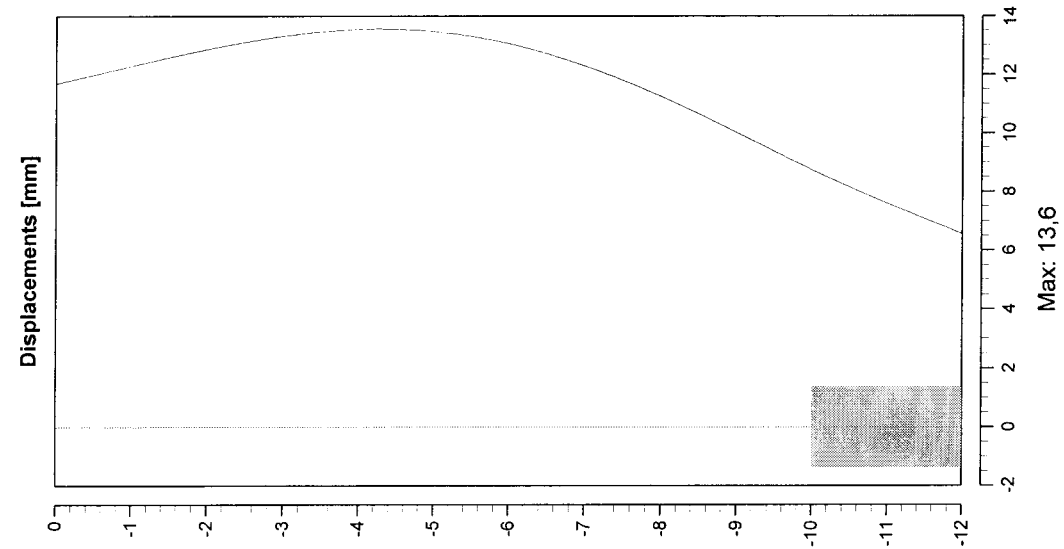
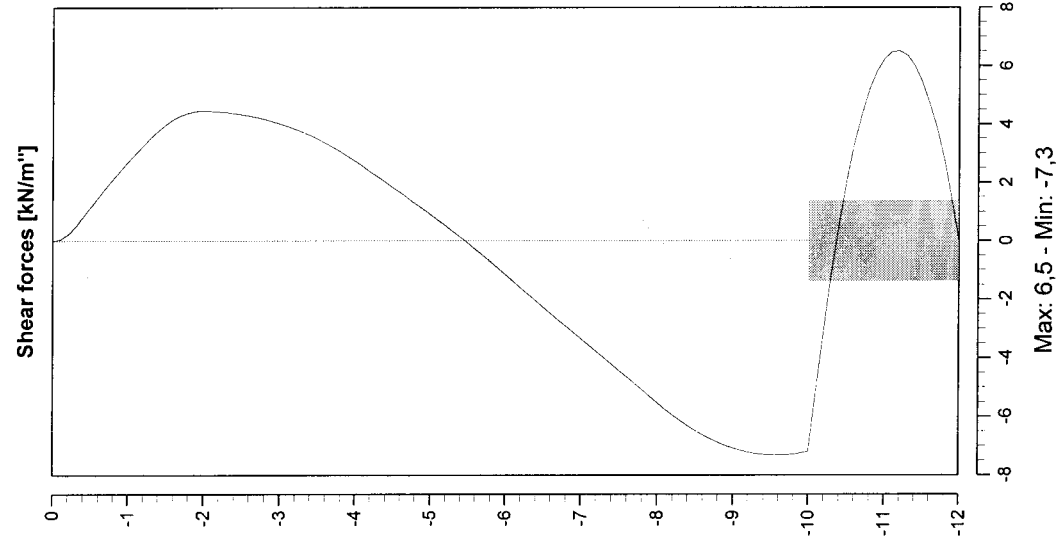
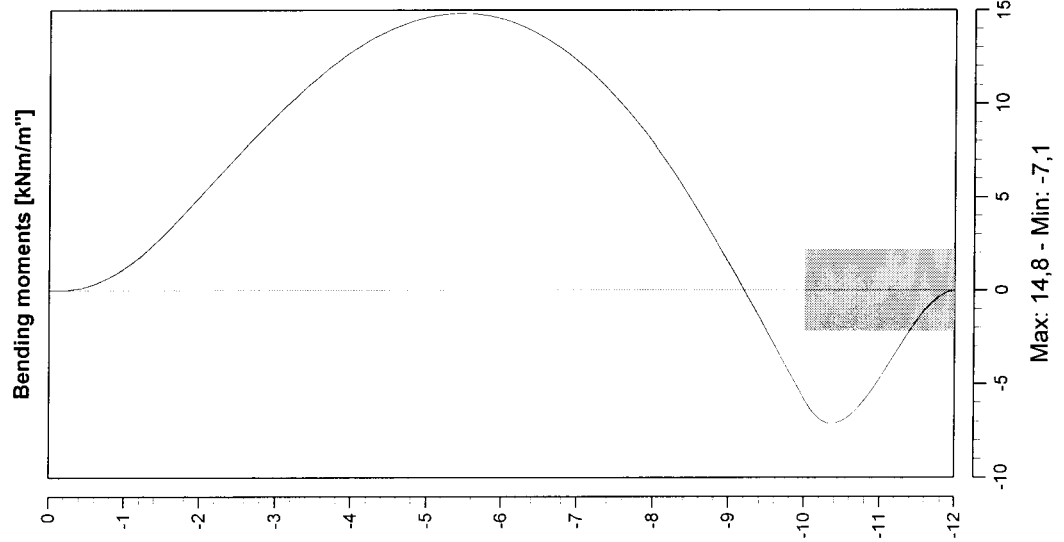
----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
Bijlage 6G K en s uit PLAXIS 3D		-	ctr.
MSheet 5.4 : run2_4.shi		Annex -	form. A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage

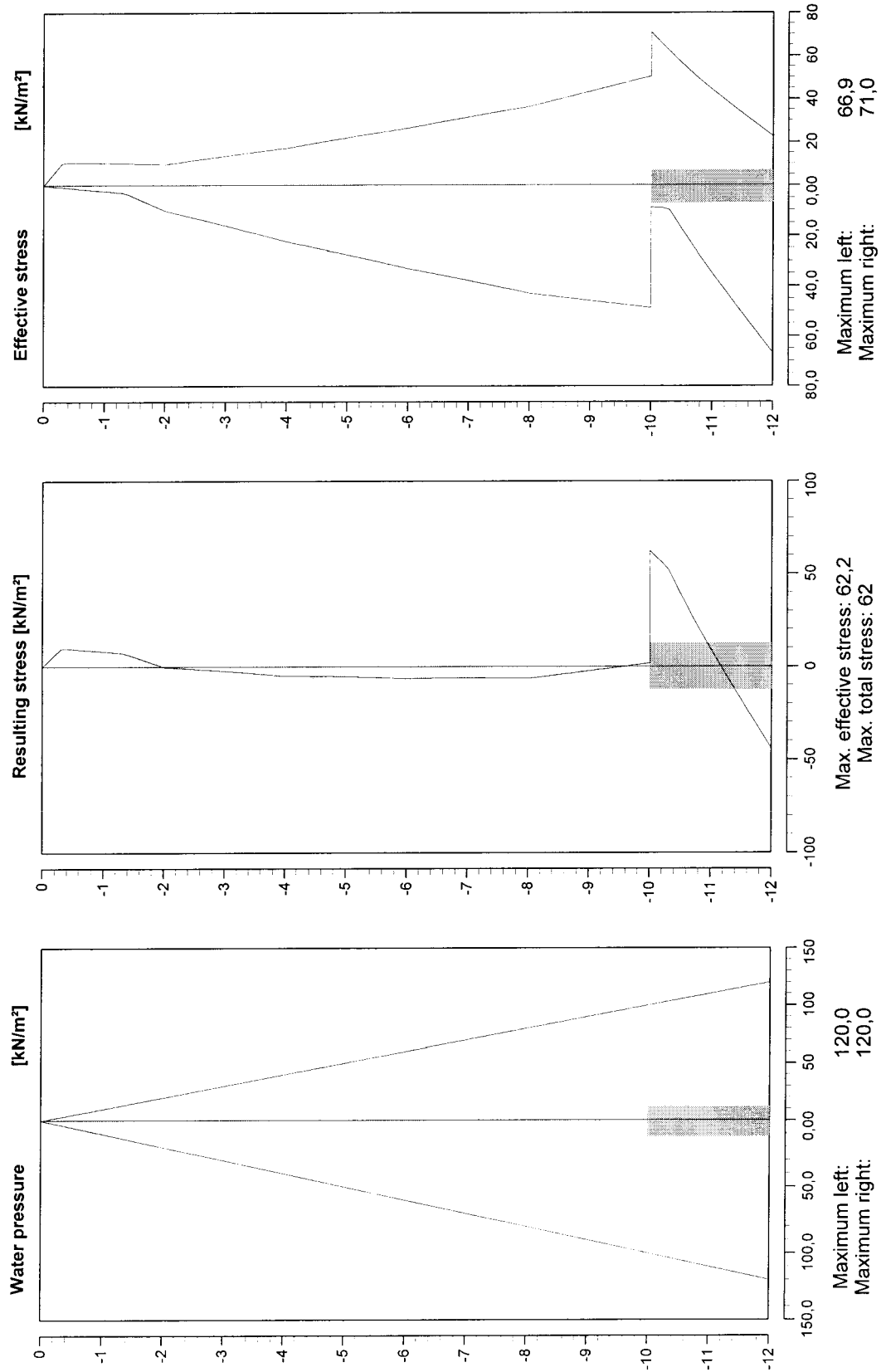


Bijlage 6G
 K en s uit PLAXIS 3D
 MSheet 5.4 : run2_4.shi

Phone
 Fax

	date	drw.
	9-1-02	-
		ctr.
		form.
Annex	-	A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6G
K en s uit PLAXIS 3D

-

ctr.

MSheet 5.4 : run2_4.shi

Annex -

form.

A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6G**
: **K en s uit PLAXIS 3D**

Date : 9-1-02
Time : 8:41:47

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_4.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_4.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_4.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From - [m]	To	Stiffness EI [kNm2/m"]	Acting width [m]
1	0.00 -	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.28
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.24

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion           : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi                 : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate Y-coordinate Point X-coordinate Y-coordinate
no. [m] from PILE [m] from level no. [m] from PILE [m] from level
1 0.00 0.00 1 0.00 0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer Level top side Wosp-T Wosp-B
no Name soil layer [m] [kN/m2] [kN/m2]
1 klei 0.00 0.00 0.00
2 zand -10.00 0.00 0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp
 Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.013
  3        -4.00       0.016
  4        -6.00       0.016
  5        -8.00       0.014
  6       -10.00       0.008
  7       -12.00       0.007
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str  Stat| Ef.Str  Stat| WatStL  WatStR
no   m      mm    kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2   kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1  0.00    11.7   0.0    -0.0 |  0.00  A  |  0.00  P  |  0.00   0.00
  2 -0.50    12.0   0.2     1.2 |  1.12  A  | 10.63  63|  5.00   5.00
  2 -0.50    12.0   0.2     1.2 |  1.12  A  | 10.63  63|  5.00   5.00
  3 -1.00    12.3   1.2     2.7 |  2.24  A  | 10.45  31| 10.00  10.00
  3 -1.00    12.3   1.2     2.7 |  2.24  A  | 10.45  31| 10.00  10.00
  4 -1.50    12.6   2.9     4.0 |  4.70   | 10.18  20| 15.00  15.00
  4 -1.50    12.6   2.9     4.0 |  4.70   | 10.18  20| 15.00  15.00
  5 -2.00    12.9   5.1     4.5 | 10.05  15|  9.79   | 20.00  20.00
  5 -2.00    12.9   5.1     4.5 | 10.05  15|  9.79   | 20.00  20.00
  6 -2.50    13.1   7.3     4.3 | 13.03  15| 11.77   | 25.00  25.00
  6 -2.50    13.1   7.3     4.3 | 13.03  15| 11.77   | 25.00  25.00
  7 -3.00    13.3   9.4     4.0 | 16.07  16| 13.69   | 30.00  30.00
  7 -3.00    13.3   9.4     4.0 | 16.07  16| 13.69   | 30.00  30.00
  8 -3.50    13.5  11.2     3.5 | 19.19  16| 15.53   | 35.00  35.00
  8 -3.50    13.5  11.2     3.5 | 19.19  16| 15.53   | 35.00  35.00
  9 -4.00    13.5  12.8     2.7 | 22.39  17| 17.29   | 40.00  40.00
  9 -4.00    13.5  12.8     2.7 | 22.39  17| 17.29   | 40.00  40.00
  
```

10	-4.50	13.5	13.9	1.8		24.91	16	19.73		45.00	45.00
10	-4.50	13.5	13.9	1.8		24.91	16	19.73		45.00	45.00
11	-5.00	13.5	14.6	0.9		27.51	16	22.09		50.00	50.00
11	-5.00	13.5	14.6	0.9		27.51	16	22.09		50.00	50.00
12	-5.50	13.3	14.8	-0.1		30.21	16	24.35		55.00	55.00
12	-5.50	13.3	14.8	-0.1		30.21	16	24.35		55.00	55.00
13	-6.00	13.0	14.5	-1.2		33.01	16	26.51		60.00	60.00
13	-6.00	13.0	14.5	-1.2		33.01	16	26.51		60.00	60.00
14	-6.50	12.7	13.7	-2.3		35.36	16	29.12		65.00	65.00
14	-6.50	12.7	13.7	-2.3		35.36	16	29.12		65.00	65.00
15	-7.00	12.3	12.2	-3.4		37.79	16	31.65		70.00	70.00
15	-7.00	12.3	12.2	-3.4		37.79	16	31.65		70.00	70.00
16	-7.50	11.8	10.3	-4.4		40.31	16	34.09		75.00	75.00
16	-7.50	11.8	10.3	-4.4		40.31	16	34.09		75.00	75.00
17	-8.00	11.2	7.8	-5.5		42.89	16	36.47		80.00	80.00
17	-8.00	11.2	7.8	-5.5		42.89	16	36.47		80.00	80.00
18	-8.50	10.6	4.8	-6.5		44.36	15	39.96		85.00	85.00
18	-8.50	10.6	4.8	-6.5		44.36	15	39.96		85.00	85.00
19	-9.00	10.0	1.4	-7.1		45.83	15	43.45		90.00	90.00
19	-9.00	10.0	1.4	-7.1		45.83	15	43.45		90.00	90.00
20	-9.50	9.4	-2.2	-7.3		47.29	15	46.95		95.00	95.00
20	-9.50	9.4	-2.2	-7.3		47.29	15	46.95		95.00	95.00
21	-10.00	8.7	-5.9	-7.2		48.70		50.50	15	100.00	100.00
21	-10.00	8.7	-5.9	-7.2		8.80 A		70.97	6	100.00	100.00
22	-10.50	8.1	-7.0	2.1		17.38		56.58	5	105.00	105.00
22	-10.50	8.1	-7.0	2.1		17.38		56.58	5	105.00	105.00
23	-11.00	7.6	-4.7	6.3		34.95		44.17	3	110.00	110.00
23	-11.00	7.6	-4.7	6.3		34.95		44.17	3	110.00	110.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.5		51.15	4	33.13		115.00	115.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.5		51.15	4	33.13		115.00	115.00
25	-12.00	6.6	0.0	0.0		66.86	4	22.58		120.00	120.00

Maxima :		13.6	14.8	-7.3							

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right

Effective :	115.75	115.72
Water :	252.00	252.00
Total :	367.75	367.72

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 7.6 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 7.6 %

Vertical force balance

Vertical force active : -56.96 [kN/m"]
Vertical force passive : 54.92 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : -2.03 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

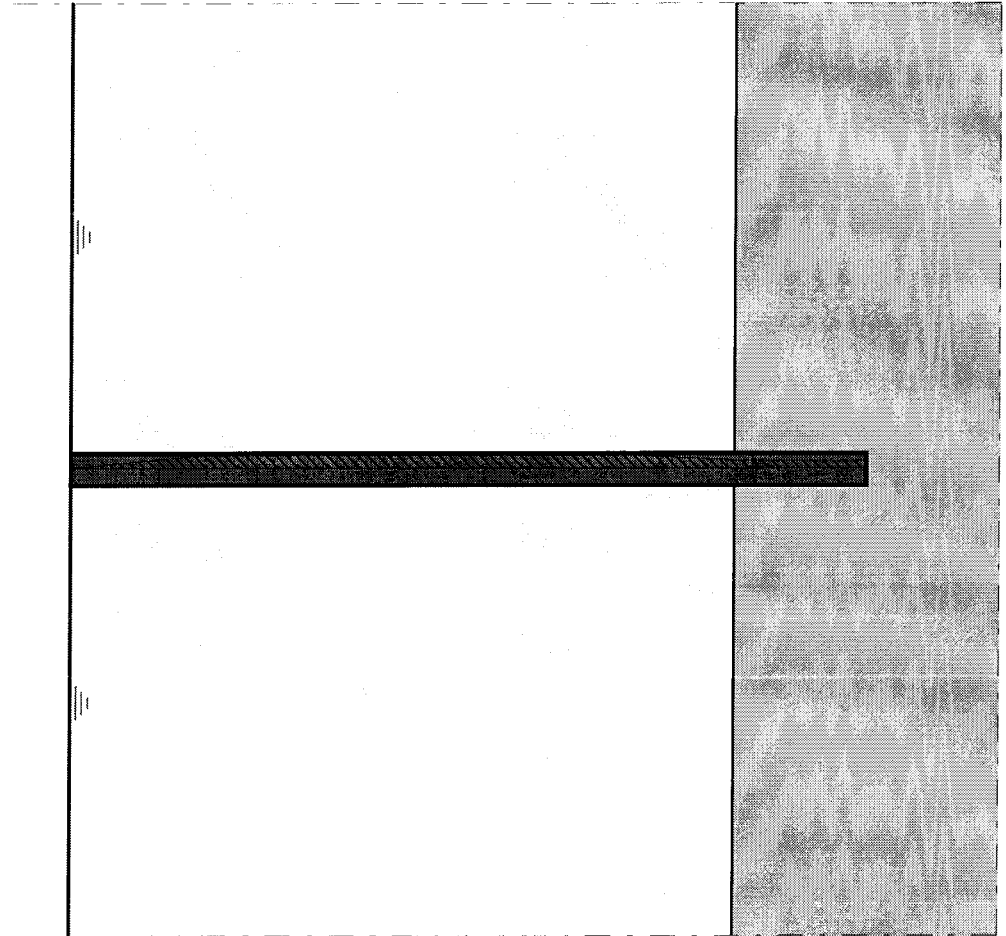
A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 13.6 [mm]
Moment : 14.8 [kNm/m"]
Shear force : -7.3 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6H
geen schelpfactor, K uit PLAXIS 3D

ctr.

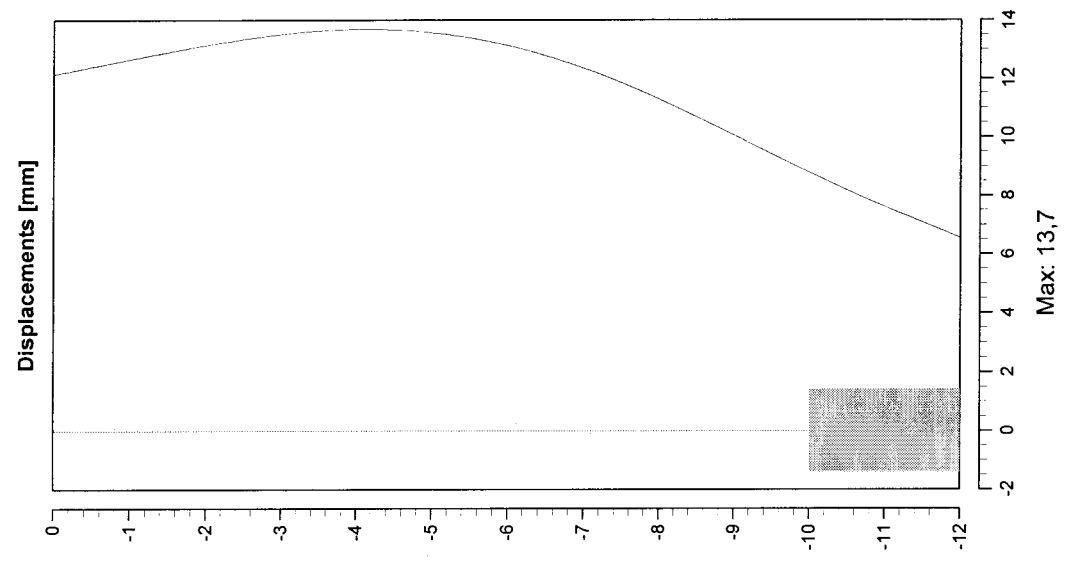
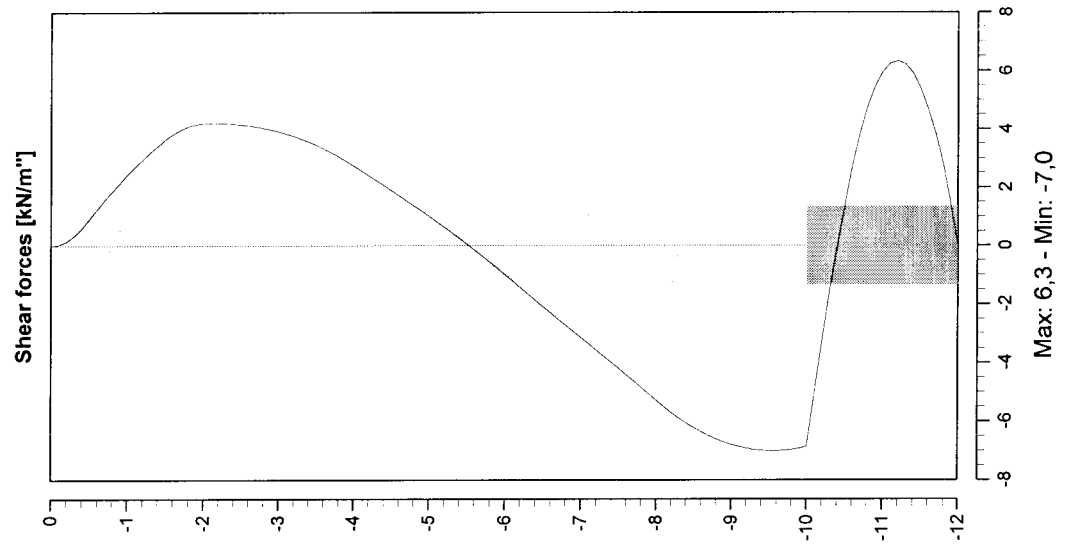
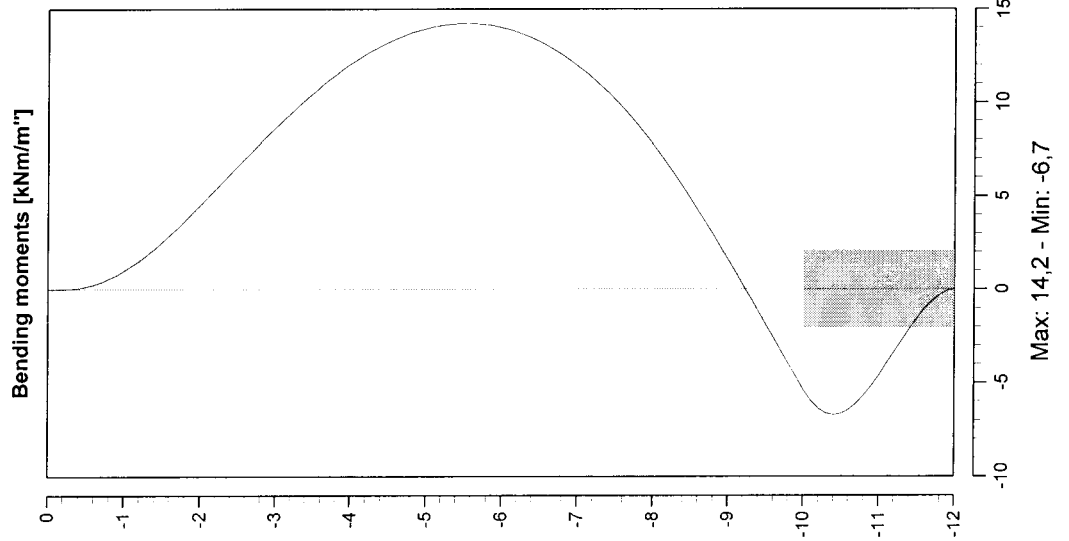
Annex -

form.

A4

MSheet 5.4 : run2_7.shi

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6H
geen schelpfactor, K uit PLAXIS 3D

ctr.

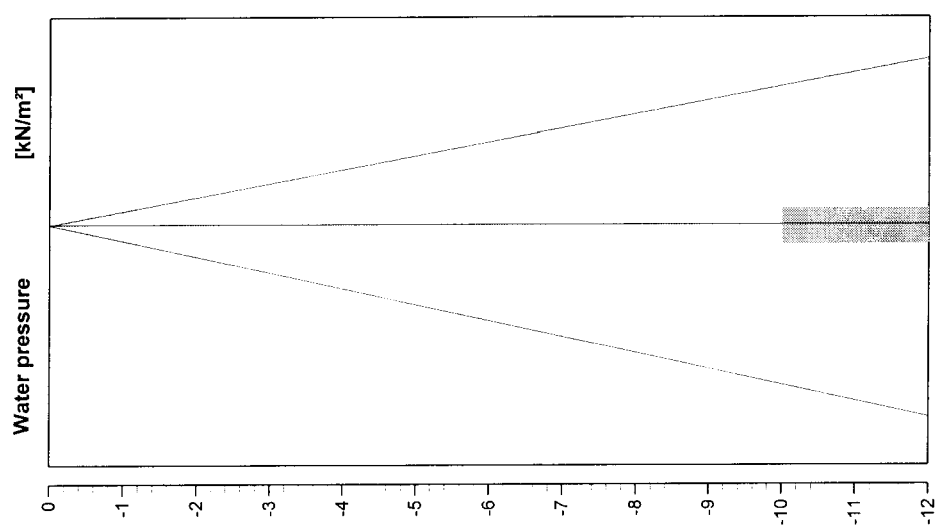
MSheet 5.4 : run2_7.shi

Annex -

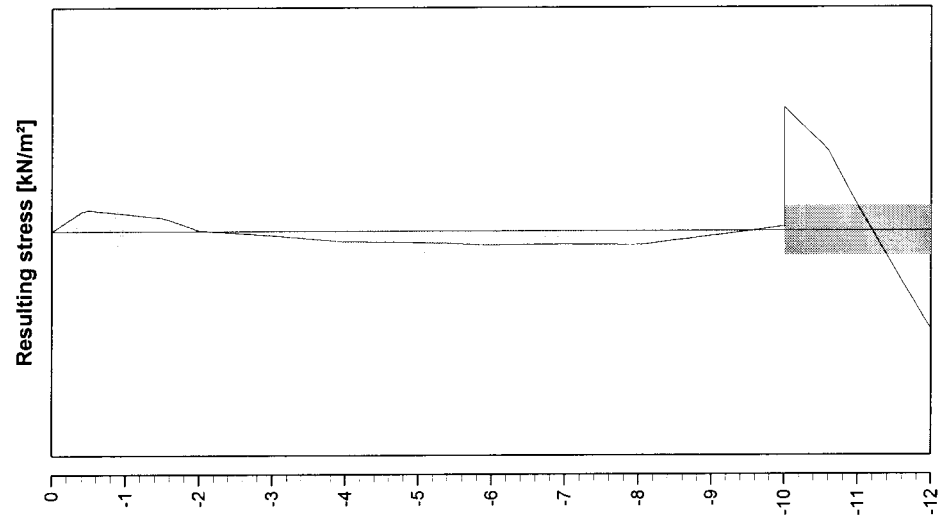
form.

A4

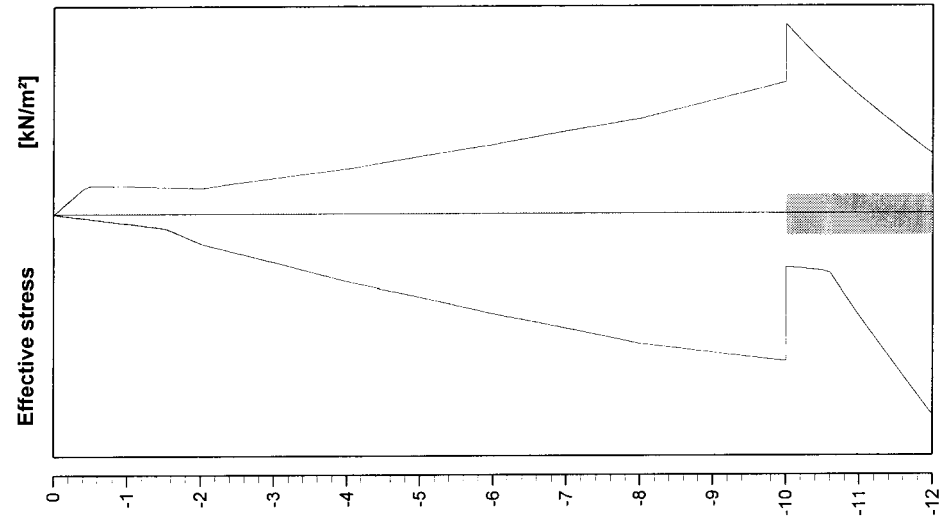
Stress states - Stage: New Stage



Maximum left: 120,0
Maximum right: 120,0



Max. effective stress: 55,2
Max. total stress: 55



Maximum left: 66,9
Maximum right: 72,8



Bijlage 6H
geen schelpfactor, K uit PLAXIS 3D
MSheet 5.4 : run2_7.shi

Phone
Fax

date	9-1-02	drw.	-
		ctr.	
Annex	-	form.	A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6H**
: **geen schelpfactor, K uit PLAXIS 3D**

Date : 9-1-02
Time : 8:43:41

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_7.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_7.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_7.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.38
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	3.12

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.22
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 7.25
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate Y-coordinate Point X-coordinate Y-coordinate
no. [m] from PILE [m] from level no. [m] from PILE [m] from level
1 0.00 0.00 1 0.00 0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer Level top side Wosp-T Wosp-B
no Name soil layer [m] [kN/m2] [kN/m2]
1 klei 0.00 0.00 0.00
2 zand -10.00 0.00 0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.013
  3        -4.00       0.016
  4        -6.00       0.016
  5        -8.00       0.014
  6       -10.00       0.008
  7       -12.00       0.007
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm   kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   % | kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
 1  0.00   12.1   0.0   -0.0 |  0.00 A  |  0.00 P  |  0.00  0.00
 2 -0.50   12.4   0.2    0.9 |  1.52 A  | 11.01 88|  5.00  5.00
 2 -0.50   12.4   0.2    0.9 |  1.52 A  | 11.01 88|  5.00  5.00
 3 -1.00   12.7   1.0    2.4 |  3.04 A  | 10.79 43| 10.00 10.00
 3 -1.00   12.7   1.0    2.4 |  3.04 A  | 10.79 43| 10.00 10.00
 4 -1.50   12.9   2.6    3.6 |  4.56 A  | 10.48 28| 15.00 15.00
 4 -1.50   12.9   2.6    3.6 |  4.56 A  | 10.48 28| 15.00 15.00
 5 -2.00   13.1   4.6    4.2 |  9.78    | 10.06 20| 20.00 20.00
 5 -2.00   13.1   4.6    4.2 |  9.78    | 10.06 20| 20.00 20.00
 6 -2.50   13.3   6.6    4.2 | 12.80 21| 12.00   | 25.00 25.00
 6 -2.50   13.3   6.6    4.2 | 12.80 21| 12.00   | 25.00 25.00
 7 -3.00   13.5   8.7    3.9 | 15.88 21| 13.88   | 30.00 30.00
 7 -3.00   13.5   8.7    3.9 | 15.88 21| 13.88   | 30.00 30.00
 8 -3.50   13.6  10.5    3.4 | 19.02 22| 15.70   | 35.00 35.00
 8 -3.50   13.6  10.5    3.4 | 19.02 22| 15.70   | 35.00 35.00
 9 -4.00   13.7  12.1    2.7 | 22.25 22| 17.43   | 40.00 40.00
 9 -4.00   13.7  12.1    2.7 | 22.25 22| 17.43   | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	13.7	13.2	1.9		24.79	22	19.85		45.00	45.00
10	-4.50	13.7	13.2	1.9		24.79	22	19.85		45.00	45.00
11	-5.00	13.6	14.0	1.0		27.41	22	22.19		50.00	50.00
11	-5.00	13.6	14.0	1.0		27.41	22	22.19		50.00	50.00
12	-5.50	13.4	14.2	0.1		30.12	22	24.44		55.00	55.00
12	-5.50	13.4	14.2	0.1		30.12	22	24.44		55.00	55.00
13	-6.00	13.1	14.0	-1.0		32.93	22	26.59		60.00	60.00
13	-6.00	13.1	14.0	-1.0		32.93	22	26.59		60.00	60.00
14	-6.50	12.8	13.2	-2.1		35.29	22	29.19		65.00	65.00
14	-6.50	12.8	13.2	-2.1		35.29	22	29.19		65.00	65.00
15	-7.00	12.3	11.9	-3.1		37.73	22	31.71		70.00	70.00
15	-7.00	12.3	11.9	-3.1		37.73	22	31.71		70.00	70.00
16	-7.50	11.8	10.1	-4.2		40.25	22	34.15		75.00	75.00
16	-7.50	11.8	10.1	-4.2		40.25	22	34.15		75.00	75.00
17	-8.00	11.3	7.7	-5.3		42.84	21	36.52		80.00	80.00
17	-8.00	11.3	7.7	-5.3		42.84	21	36.52		80.00	80.00
18	-8.50	10.7	4.8	-6.2		44.30	21	40.02		85.00	85.00
18	-8.50	10.7	4.8	-6.2		44.30	21	40.02		85.00	85.00
19	-9.00	10.0	1.6	-6.8		45.78	20	43.50		90.00	90.00
19	-9.00	10.0	1.6	-6.8		45.78	20	43.50		90.00	90.00
20	-9.50	9.4	-1.9	-7.0		47.24	20	47.00		95.00	95.00
20	-9.50	9.4	-1.9	-7.0		47.24	20	47.00		95.00	95.00
21	-10.00	8.8	-5.4	-6.9		48.65		50.55	20	100.00	100.00
21	-10.00	8.8	-5.4	-6.9		17.60 A		72.79	13	100.00	100.00
22	-10.50	8.2	-6.6	1.4		18.92 A		58.02	9	105.00	105.00
22	-10.50	8.2	-6.6	1.4		18.92 A		58.02	9	105.00	105.00
23	-11.00	7.6	-4.6	5.9		33.98		45.14	7	110.00	110.00
23	-11.00	7.6	-4.6	5.9		33.98		45.14	7	110.00	110.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.4		50.68	7	33.60		115.00	115.00
24	-11.50	7.1	-1.6	5.4		50.68	7	33.60		115.00	115.00
25	-12.00	6.6	0.0	0.0		66.89	9	22.88 A		120.00	120.00

-----|
Maxima : 13.7 14.2 -7.0 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m²]

	Left	Right
Effective :	116.65	116.65
Water :	252.00	252.00
Total :	368.65	368.65

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 12.9 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 12.9 %

Vertical force balance

Vertical force active : -55.57 [kN/m"]
Vertical force passive : 57.53 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 1.96 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

A minus sign means a downward force.

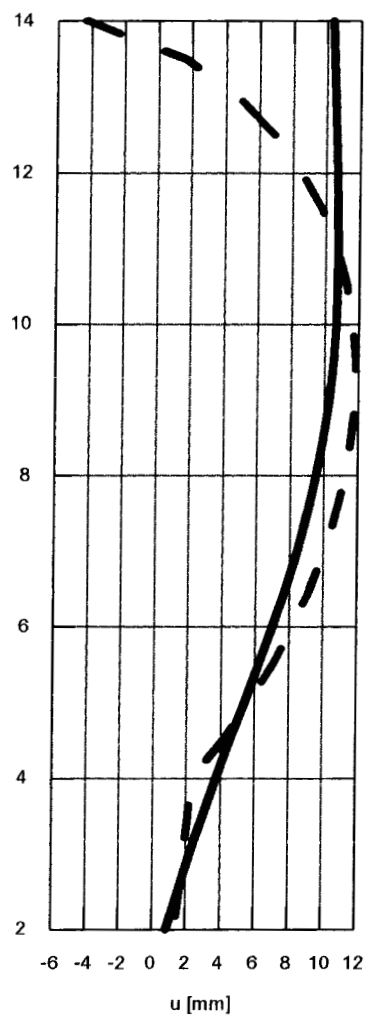
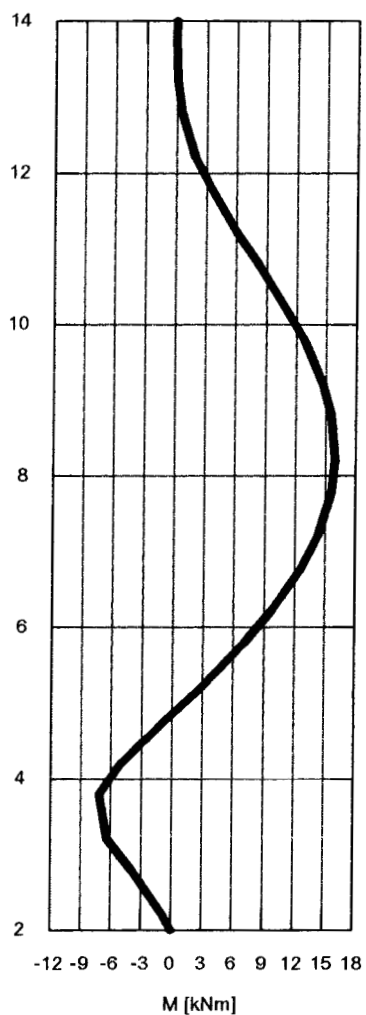
Maxima of all construction stages

Displacement : 13.7 [mm]
Moment : 14.2 [kNm/m"]
Shear force : -7.0 [kN/m"]

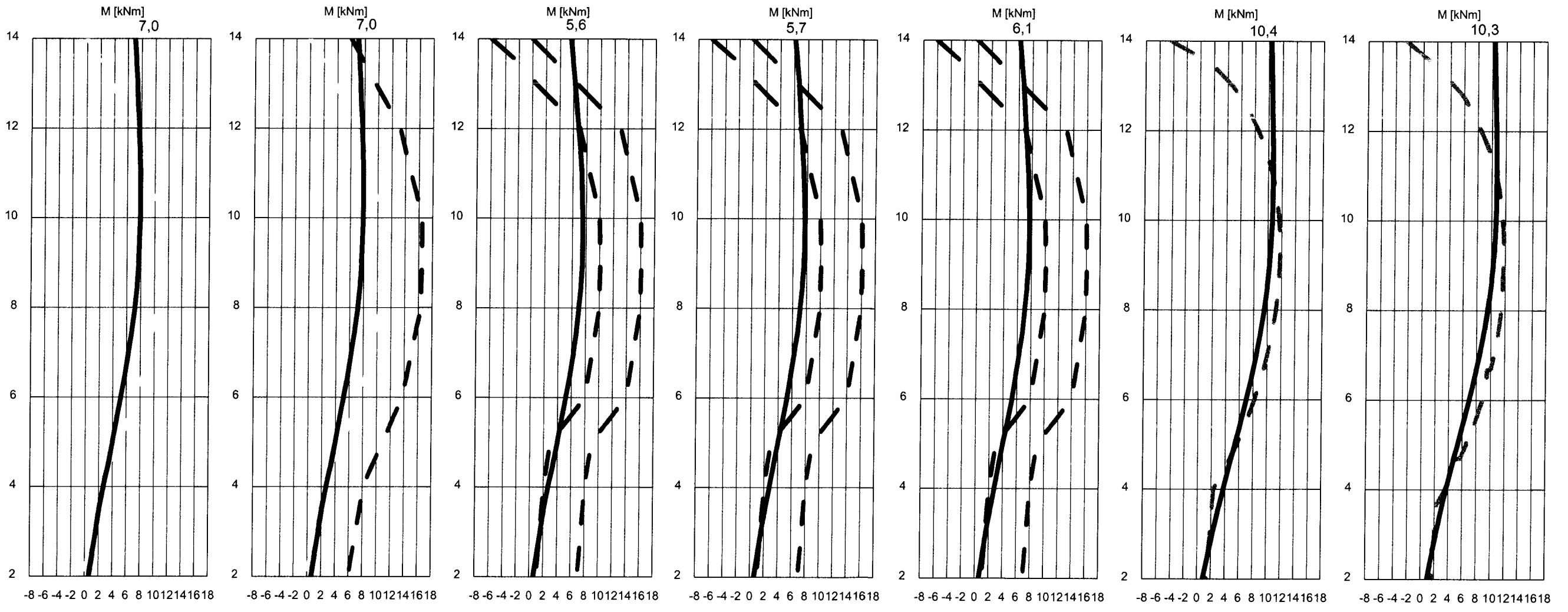
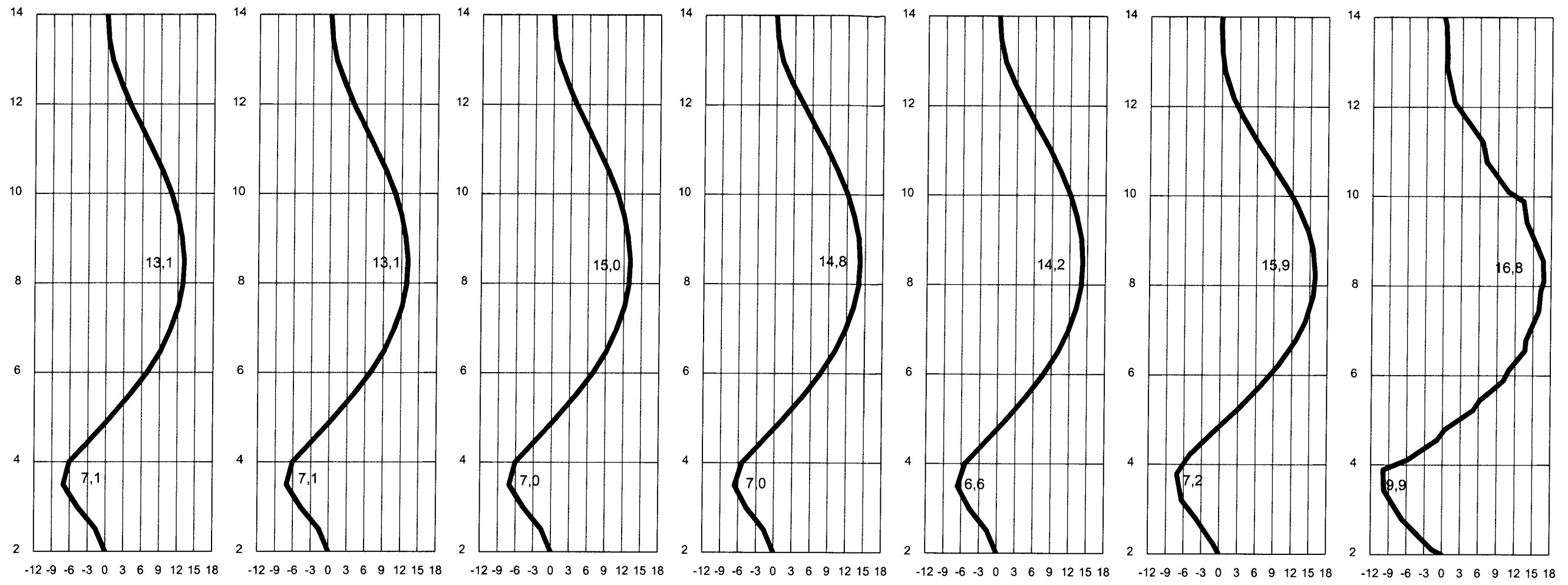
----- End of MSheet output file -----

Momenten (links) en verplaatsingen (rechts) PLAXIS 3D berekening

(run6)



VOOR DE VOLLEDIGE RESULTATEN, ZIE BIJLAGE 5N



- = paalverplaatsing
- = grondverplaatsing uit PLAXIS 2D
- = grondverplaatsing ingevoerd in MSHEET
- = grondverplaatsing oorspronkelijk in MSHEET
- = grondverplaatsing uit PLAXIS 3D

u [mm]	u [mm]	u [mm]	u [mm]	u [mm]	u [mm]	u [mm]
Run2_1	Run2_2	Run2_3	Run2_4	Run2_7	Run6	Run7
MSHEET	MSHEET	MSHEET	MSHEET	MSHEET	PLAXIS 3D	PLAXIS 3D
s=1,5	s=1,5	s=1,5	s uit PLAXIS 3D	geen s	balkelement	volume-element

Momenten en paalverplaatsingen bij een bovenbelasting van $q = 40 \text{ kN/m}^1$

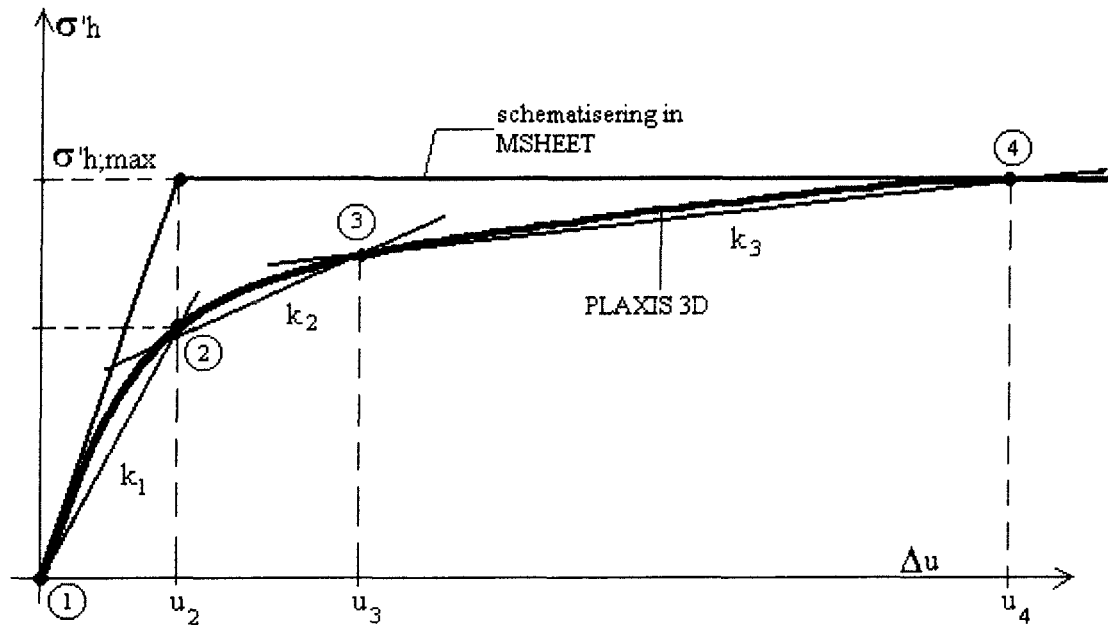
Omdat blijkt dat bij een bovenbelasting van $q = 10 \text{ kN/m}^1$ de grond zich in het elastisch gebied bevindt, treedt er geen plasticiteit op. Om te onderzoeken hoe goed de overeenstemming is in het plastische gebied, wordt er een berekening uitgevoerd met een hogere belasting. In tabel 1 is een volledig overzicht weergegeven van alle uitgevoerde berekeningen. De eerste uitgevoerde berekening (file *run2b*, bijlage 6M) is een berekening waarbij de opgelegde grondverplaatsing berekend is met PLAXIS 2D (file *run1a*, bijlage 6L). De beddingsconstante is bepaald m.b.v. de tabellen van Ménard (de schelpfactor voor klei is 1,5 en voor zand 2,0). Daarnaast is met PLAXIS 3D een berekening uitgevoerd (file *run6b*, bijlage 6N). Hieruit blijkt dat er een groot verschil is tussen de resultaten van beide rekenmethoden. Vervolgens zijn er, evenals bij de berekeningen van §6.5 ($q = 10 \text{ kN/m}^1$) in MSHEET berekeningen uitgevoerd, waarin de beddingsconstante en de schelpfactor uit PLAXIS 3D ingevoerd zijn. Uit tabel 2 kan opgemaakt worden dat de momenten erg veel van elkaar afwijken (file *run2b* en *run6b*). Als vervolgens de beddingsconstante en de schelpfactor uit PLAXIS 3D worden ingevoerd (zie file *run2_6*), blijkt dat de resultaten onderling nog steeds aanzienlijk afwijken. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat de in MSHEET ingevoerde bi-lineaire veer karakteristiek nog aanzienlijk afwijkt van de uit PLAXIS 3D bepaalde veer karakteristiek (zie figuur 1). De volgende twee mogelijkheden zijn doorgevoerd:

1. het uitvoeren van een berekening met een multi-lineaire veer karakteristiek, welke beter aansluit op de in PLAXIS 3D afgeleide veer karakteristiek (k_1 , k_2 en k_3 in figuur 1);
2. door de multi-lineaire veer karakteristiek te vervangen door de volgende methode:
de Δu ($u_{\text{paal}} - u_{\text{grond}}$) van de PLAXIS 3D-berekening wordt op een aantal diepten berekend (de diepten zijn overeenkomstig met de punten H t/m Q, de betreffende 3D berekening is file *run6b*). Deze Δu wordt gebruikt om m.b.v. figuur 6.3 de horizontale spanning af te lezen bij de punten H t/m Q. Met deze horizontale spanningen en verplaatsingen kan opnieuw de beddingsconstante berekend worden. Deze nieuwe beddingsconstante wordt in MSHEET ingevoerd (file *run2_19*, bijlage 6T).

Ad 1) Na bestudering van de theorie, blijkt dat bij het geval “opgelegde verplaatsing” maar één veertak opgegeven kan worden (in figuur 1 is dat alleen k_1). Deze variant komt te vervallen.

Ad 2) Indien deze variant ingevoerd wordt, blijkt dat de momenten redelijk in de buurt liggen van de momenten berekend met PLAXIS 3D (zie tabel 2).

Bijlage 6S geeft een totaaloverzicht van alle momenten en verplaatsingen van alle uitgevoerde berekeningen. In figuur 2 en figuur 3 zijn de momentenlijnen en paalverplaatsingen weergegeven van bovenstaande, uitgevoerde berekeningen.



Figuur 1: Schematisering verloop veer karakteristiek in MSHEET en PLAXIS 3D.

soort	bijlage	run	opmerkingen		
			beddings- constante	schelpfactor	verplaatsingen
MSHEET	6M	2b	volgens Ménard	$s_{klei} = 1,5$	opgel. verplaatsing aan boven- en onderzijde paal is 0 mm.
MSHEET	6O	2_5	Uit PLAXIS 3D	$s_{klei} = 1,5$	opgelegde verplaatsing + 11 mm., maaiveld is 0 mm.
MSHEET	6P	2_6	uit PLAXIS 3D	PLAXIS 3D	verpl. ingevoerd zoals in run2_5
MSHEET	6Q	2_13	uit PLAXIS 3D	PLAXIS 3D	verpl. ingevoerd zoals in run2b
MSHEET	6R	2L	uit PLAXIS 3D	$s_{klei} = 1,0$	verpl. ingevoerd zoals in run2_5
MSHEET	6T	2_19	uit PLAXIS 3D	PLAXIS 3D	verpl. ingevoerd zoals in run2_5
PLAXIS	6N	6b	-	-	-

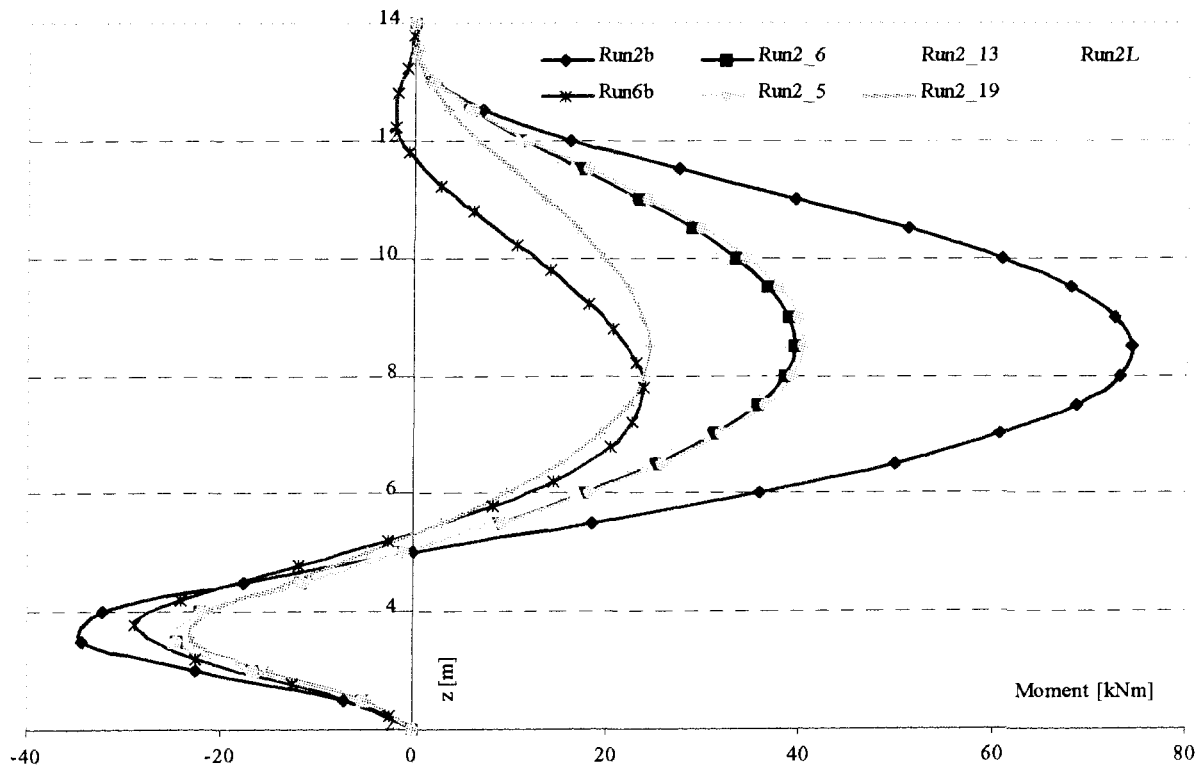
Tabel 1: Uitgevoerde berekeningen voor een bovenbelasting $varq = 40 \text{ kN/m}^2$.

file	M_{positief} [kNm]	afwijking [%]	M_{negatief} [kNm]	afwijking [%]
Run2b	74,3	212,2	24,2	-15,7
Run2_5	40,4	69,7	25,1	-12,5
Run2_6	39,4	65,5	24,5	-14,6
Run2_13	38,0	59,7	24,7	-13,9
Run2L	36,0	51,3	23,0	-19,9
Run2_19	27,9	17,2	23,8	-17,1
Run6b	23,8	0,0	28,7	0,0

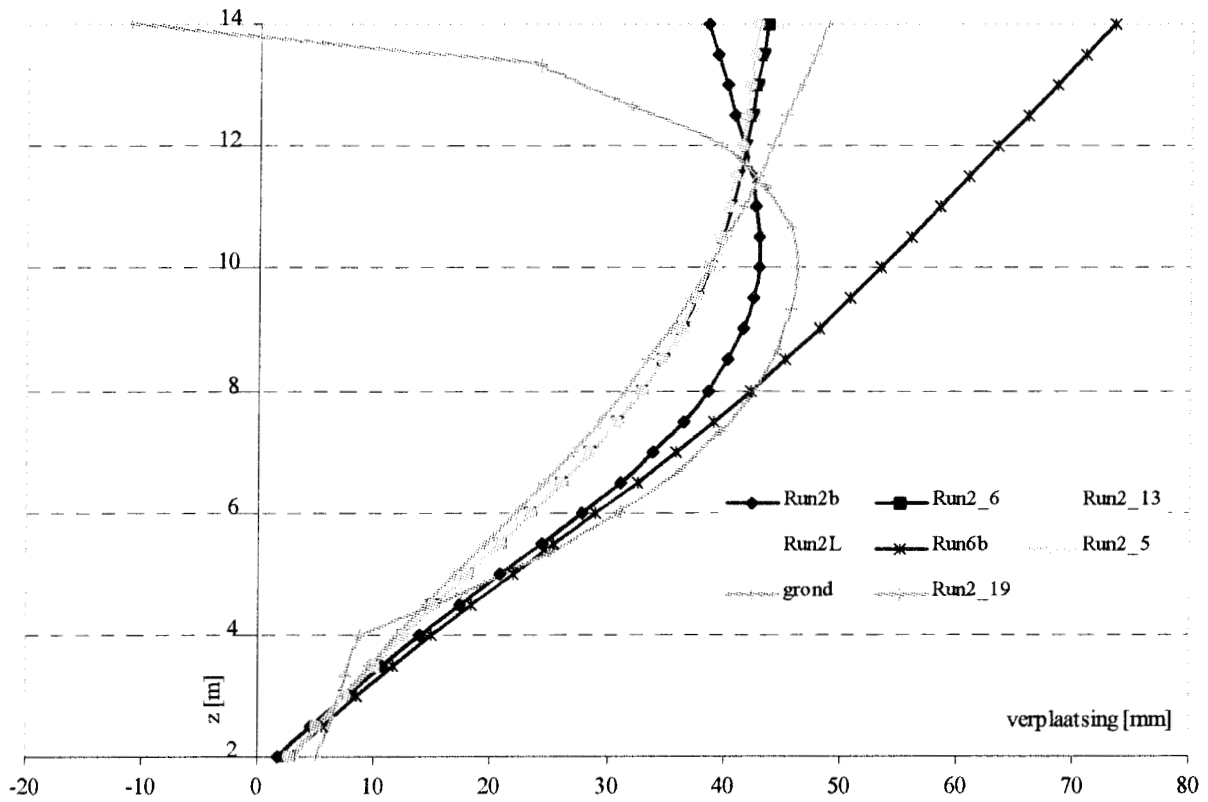
Tabel 2: Overzicht van momenten.

§6.6.1. Conclusie

Als de veer karakteristiek, bepaald met PLAXIS 3D, zo goed mogelijk wordt benaderd in MSHEET, blijkt dat de momenten redelijk goed met elkaar overeenkomen (file *run2_19*).

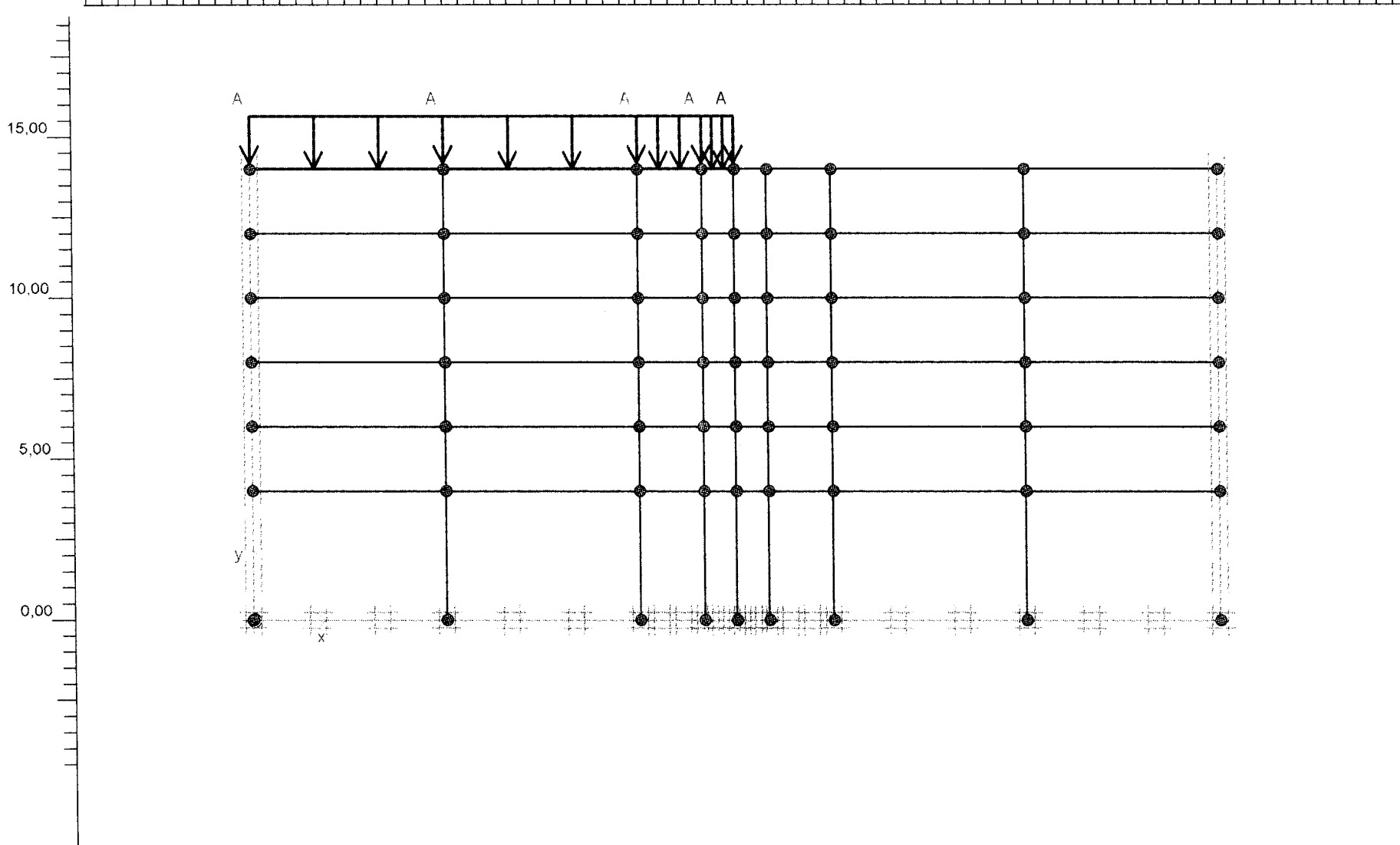


Figuur 2: Overzicht momenten bij een bovenbelasting van $q = 40 \text{ kN/m}^2$.



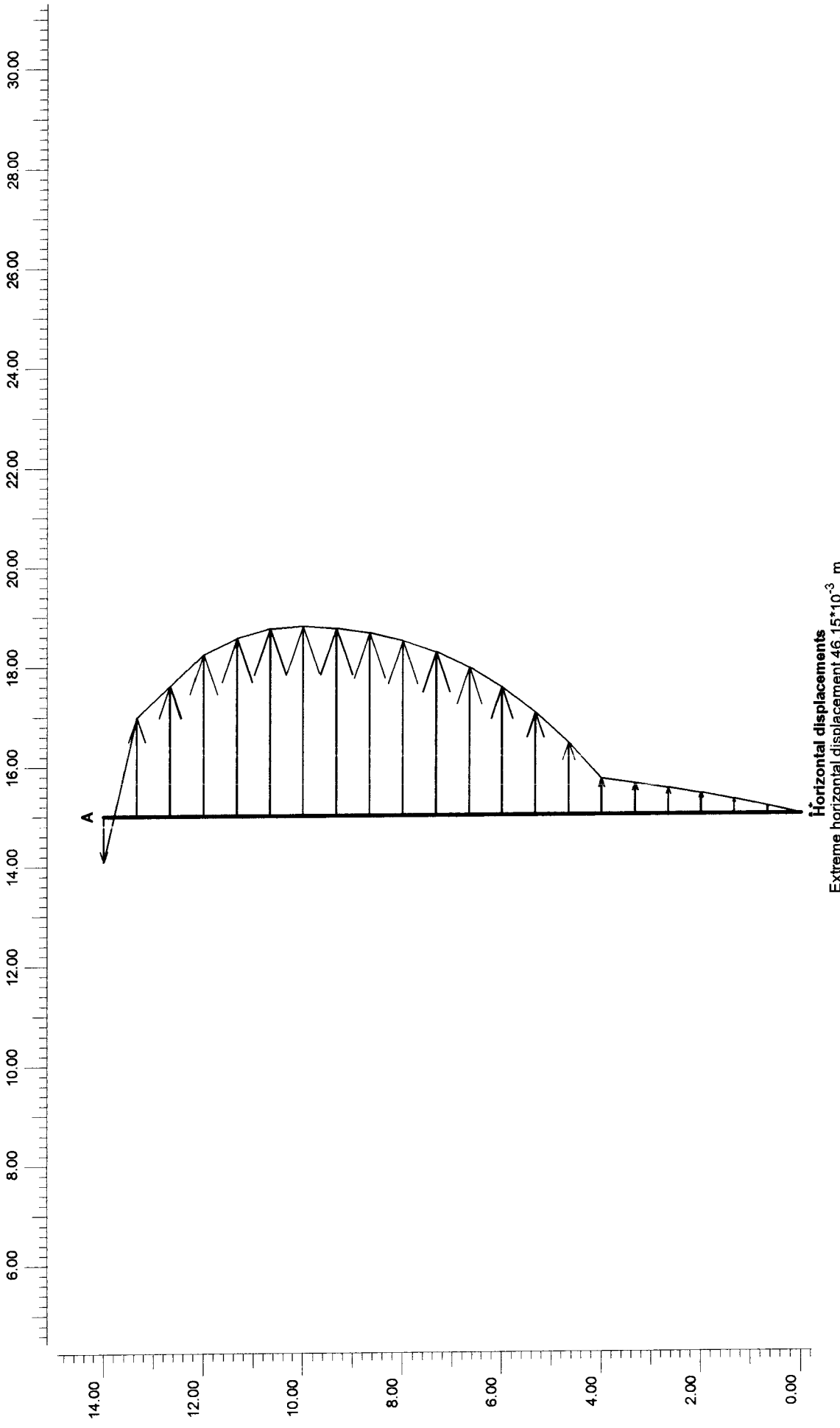
Figuur 3: Overzicht paalverplaatsingen bij een bovenbelasting van $q = 40 \text{ kN/m'}$.


-5,00 0,00 5,00 10,00 15,00 20,00 25,00 30,00 35,00

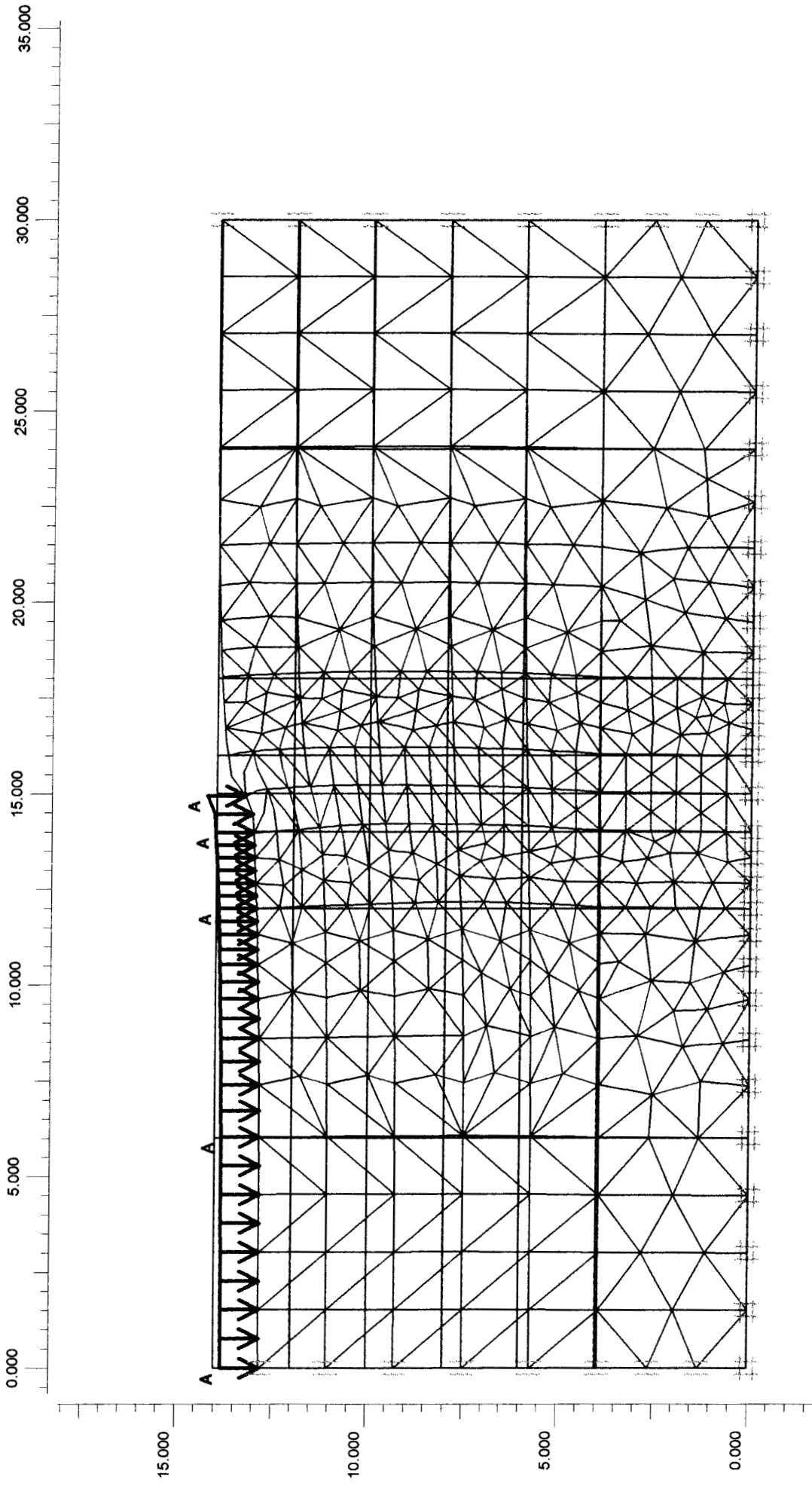


Version 7.2.9.160

<i>Project description</i>		
Bijlage 6L: model		
<i>Project name</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
run1a.plx	9-1-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.



 Finite Element Code for Soil and Rock Analyses Version 7.2.9.147		Project description		Project name	
		Bijlage 6L: horizontale verplaatsing rand belasting		run1a	
Date		Step		User name	
09-01-02		9		FUGRO Ingenieursbureau b.v.	



Deformed Mesh
 Extreme total displacement $235,43 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 5,00 times)



Project description

Bijlage 6L: deformed mesh

Project name

run1a

Step

9

Date

09-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Run2b**Bijlage 6M**

- Schelpfactoren $s_{\text{klei}} = 1,5$
 $s_{\text{zand}} = 2,0$
- Beddingsconstante K_{klei} volgt uit Ménard
- Opgelegde grondverplaatsing zoals uit PLAXIS 2D komt (file *run1a*)

Run2_6**Bijlage 6P**

- Schelpfactoren s_{klei} uit PLAXIS 3D
- Beddingsconstante K_{klei} volgt uit PLAXIS 3D
- Opgelegde grondverplaatsing + 11 mm
- Paalverplaatsing – 11 mm

Run2_13**Bijlage 6Q**

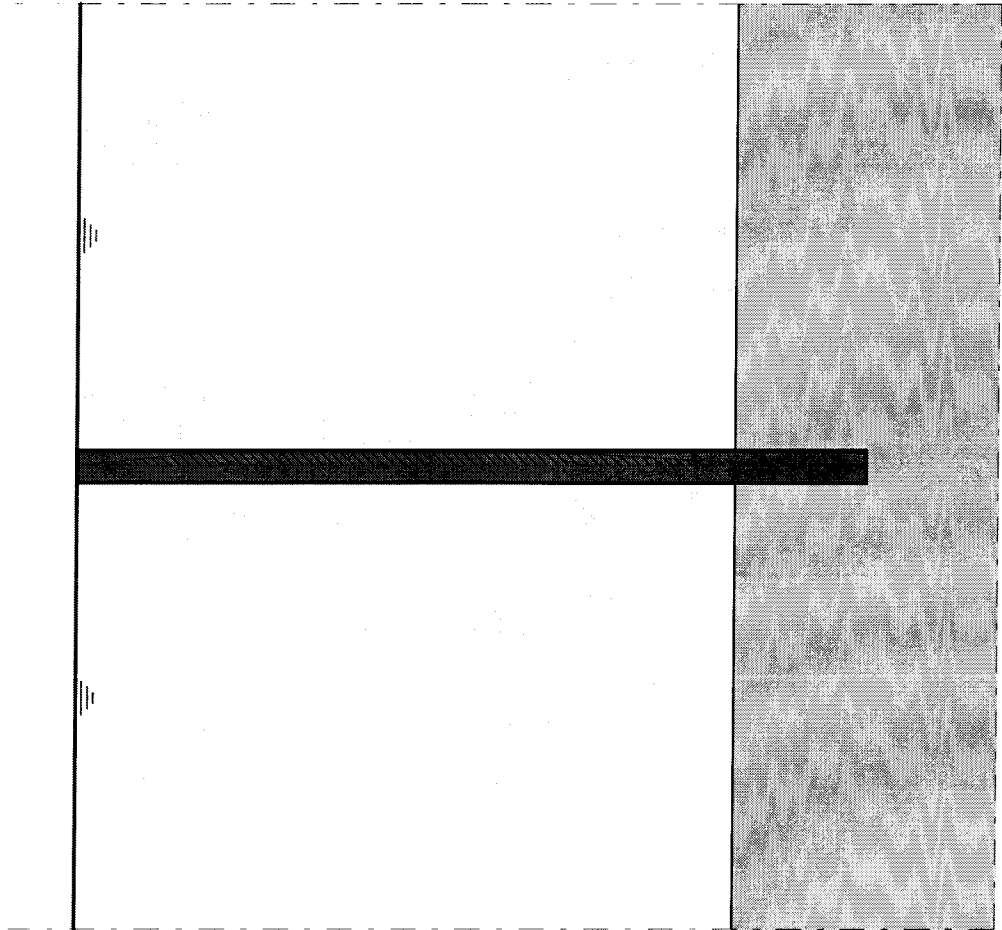
- Schelpfactoren s_{klei} uit PLAXIS 3D
- Beddingsconstante K_{klei} volgt uit PLAXIS 3D
- Opgelegde grondverplaatsing zoals uit PLAXIS 2D komt (file *run1a*)

Run2L**Bijlage 6R**

- Schelpfactoren geen
- Beddingsconstante K_{klei} volgt uit PLAXIS 3D
- Opgelegde grondverplaatsing + 11 mm en maaiveld is 0 mm
- Paalverplaatsing – 11 mm

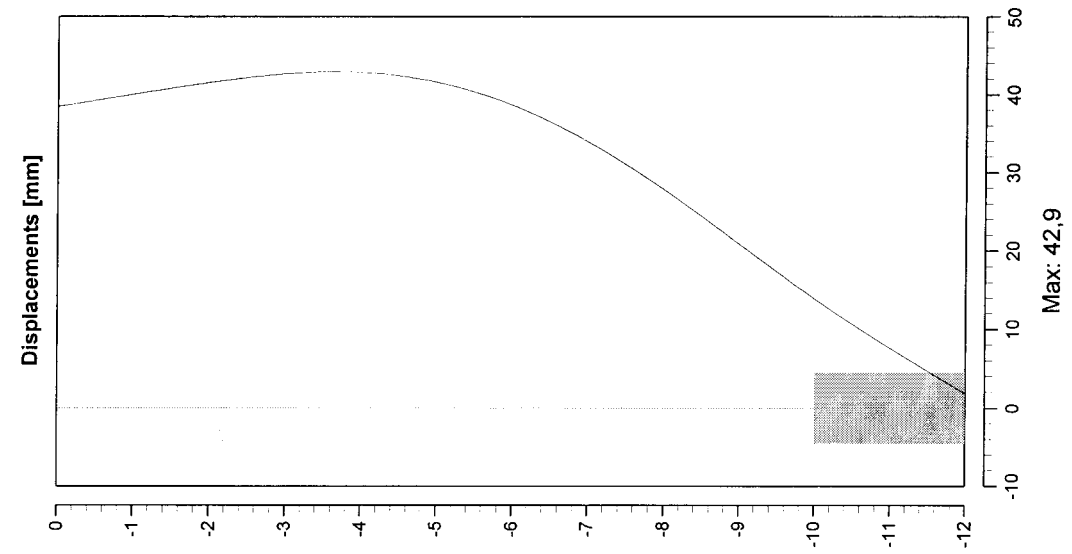
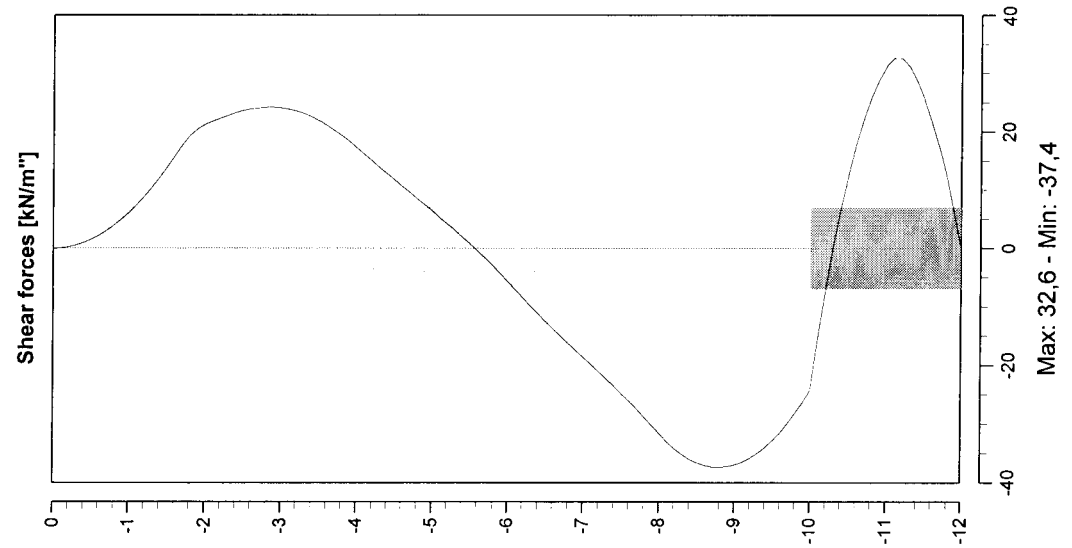
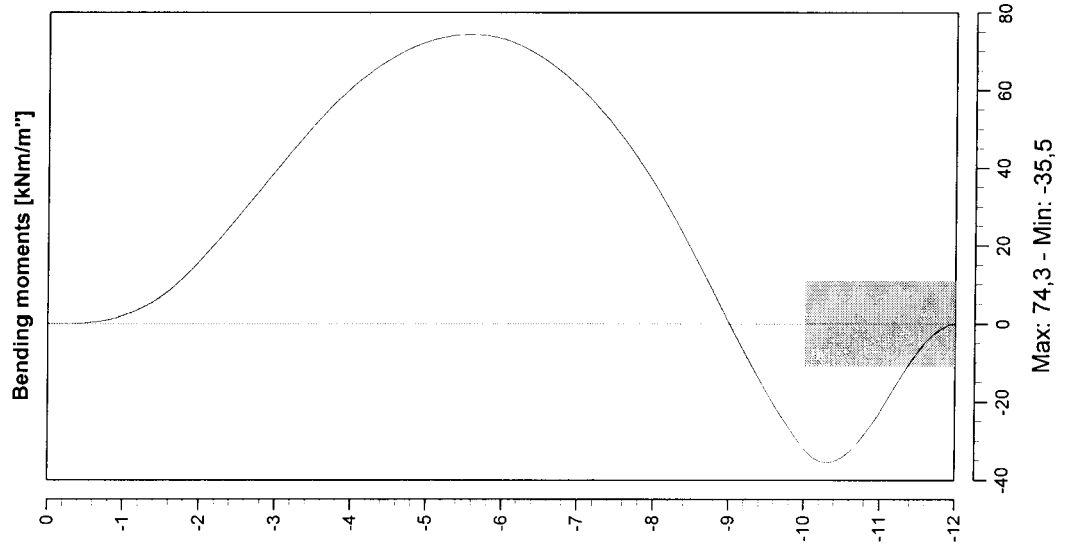
Run6a PLAXIS 3D**Bijlage 6N**

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
Bijlage 6M opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)		-	ctr.
MSheet 5.4 : run2b.shi		Annex -	form. A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6M
opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)

ctr.

-

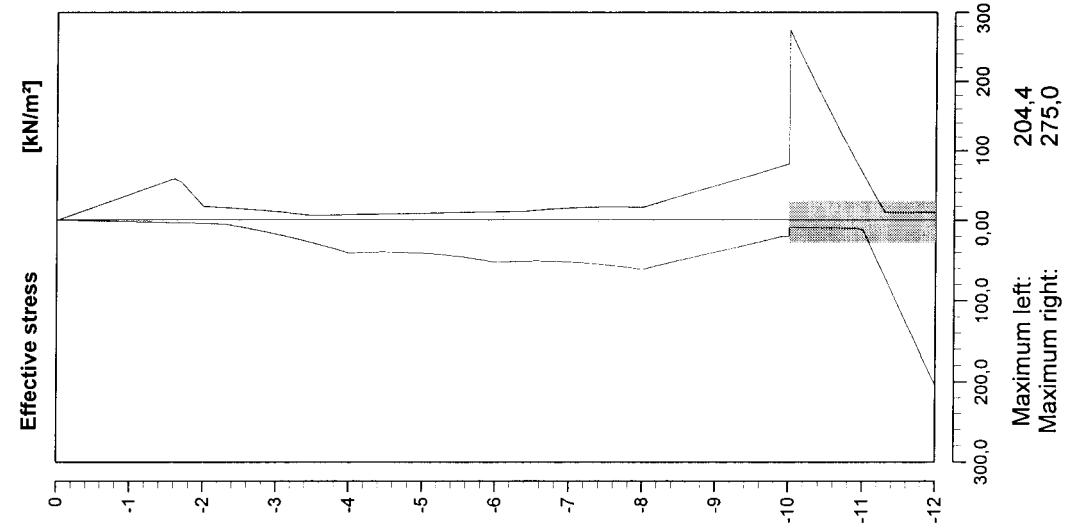
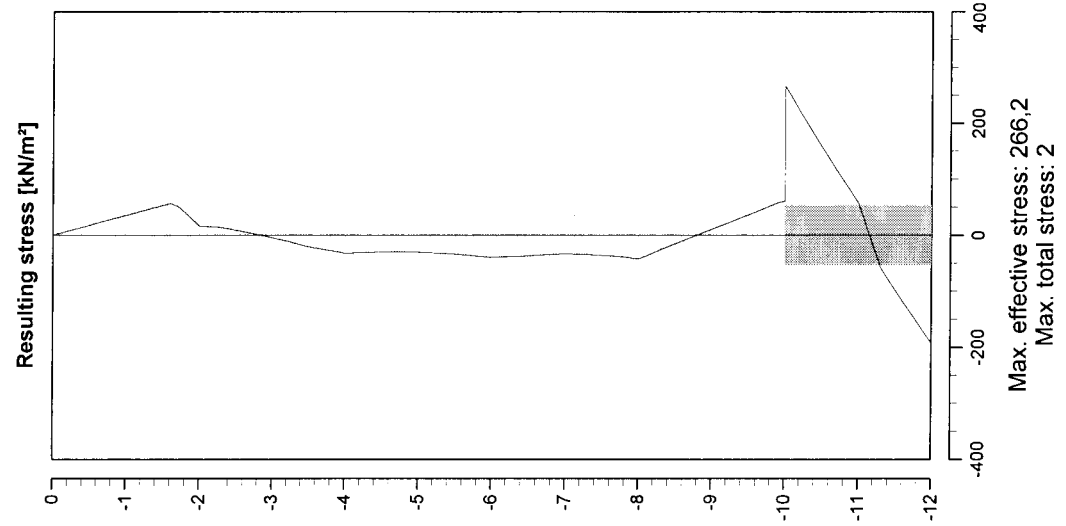
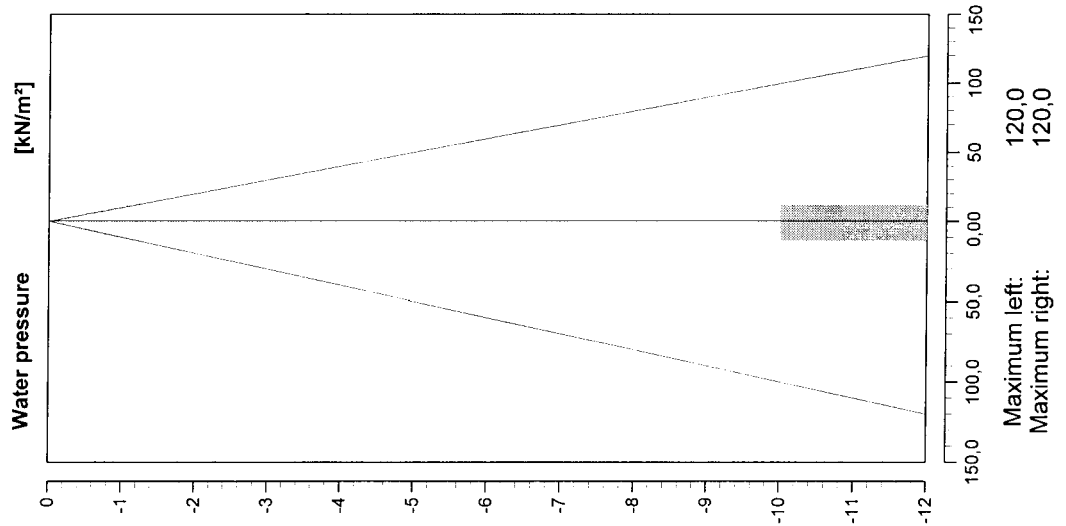
MSheet 5.4 : run2b.shi

Annex -

form.

A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6M
opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)

-

ctr

MSheet 5.4 : run2b.shi

Annex -

form.

A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6M**
: **opgelegde grondverplaatsing uit PLAXIS 2D (run1a)**

Date : 9-1-02
Time : 9:47:46

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2b.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2b.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2b.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.25
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.68

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 6550.00 6550.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3]      Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3]      Ko : 0.43
Cohesion           : 0.00 [kN/m2]      Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi                 : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

-----
Surface LEFT : (Surface no. 1)      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate Y-coordinate Point X-coordinate Y-coordinate
no. [m] from PILE [m] from level no. [m] from PILE [m] from level
1 0.00 0.00 1 0.00 0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer Level top side Wosp-T Wosp-B
no Name soil layer [m] [kN/m2] [kN/m2]
1 klei 0.00 0.00 0.00
2 zand -10.00 0.00 0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka, Ko, Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka, Ko, Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.040
  3        -4.00       0.046
  4        -6.00       0.042
  5        -8.00       0.031
  6       -10.00       0.009
  7       -12.00       0.005
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm    kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
 1  0.00    38.4    0.0   -0.0 |  0.00 A  |  0.00 P  |  0.00  0.00
 2 -0.50    39.2    0.3    1.6 |  1.00 A  | 18.72 P  |  5.00  5.00
 2 -0.50    39.2    0.3    1.6 |  1.00 A  | 18.72 P  |  5.00  5.00
 3 -1.00    40.0    2.1    6.2 |  2.00 A  | 37.44 P  | 10.00 10.00
 3 -1.00    40.0    2.1    6.2 |  2.00 A  | 37.44 P  | 10.00 10.00
 4 -1.50    40.8    7.0   14.0 |  3.00 A  | 56.16 P  | 15.00 15.00
 4 -1.50    40.8    7.0   14.0 |  3.00 A  | 56.16 P  | 15.00 15.00
 5 -2.00    41.5   16.1   21.3 |  4.00 A  | 19.97 27| 20.00 20.00
 5 -2.00    41.5   16.1   21.3 |  4.00 A  | 19.97 27| 20.00 20.00
 6 -2.50    42.2   27.4   23.6 |  8.01    | 16.79 18| 25.00 25.00
 6 -2.50    42.2   27.4   23.6 |  8.01    | 16.79 18| 25.00 25.00
 7 -3.00    42.6   39.4   24.0 | 17.22 15| 12.54    | 30.00 30.00
 7 -3.00    42.6   39.4   24.0 | 17.22 15| 12.54    | 30.00 30.00
 8 -3.50    42.9   51.0   21.8 | 27.97 21|  7.00 A  | 35.00 35.00
 8 -3.50    42.9   51.0   21.8 | 27.97 21|  7.00 A  | 35.00 35.00
 9 -4.00    42.8   60.8   17.2 | 40.71 27|  8.00 A  | 40.00 40.00
 9 -4.00    42.8   60.8   17.2 | 40.71 27|  8.00 A  | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	42.4	68.0	11.7		39.45	23	9.00	A		45.00	45.00		
10	-4.50	42.4	68.0	11.7		39.45	23	9.00	A		45.00	45.00		
11	-5.00	41.6	72.5	6.4		40.84	22	10.00	A		50.00	50.00		
11	-5.00	41.6	72.5	6.4		40.84	22	10.00	A		50.00	50.00		
12	-5.50	40.3	74.3	0.7		45.06	22	11.00	A		55.00	55.00		
12	-5.50	40.3	74.3	0.7		45.06	22	11.00	A		55.00	55.00		
13	-6.00	38.6	73.1	-5.7		52.18	23	12.00	A		60.00	60.00		
13	-6.00	38.6	73.1	-5.7		52.18	23	12.00	A		60.00	60.00		
14	-6.50	36.4	68.5	-12.5		50.68	21	13.80			65.00	65.00		
14	-6.50	36.4	68.5	-12.5		50.68	21	13.80			65.00	65.00		
15	-7.00	33.9	60.7	-18.6		51.86	20	17.58			70.00	70.00		
15	-7.00	33.9	60.7	-18.6		51.86	20	17.58			70.00	70.00		
16	-7.50	31.0	49.9	-24.8		55.40	20	19.00			75.00	75.00		
16	-7.50	31.0	49.9	-24.8		55.40	20	19.00			75.00	75.00		
17	-8.00	27.8	35.9	-31.6		60.88	20	18.48			80.00	80.00		
17	-8.00	27.8	35.9	-31.6		60.88	20	18.48			80.00	80.00		
18	-8.50	24.3	18.6	-36.6		49.74	16	34.58			85.00	85.00		
18	-8.50	24.3	18.6	-36.6		49.74	16	34.58			85.00	85.00		
19	-9.00	20.8	0.0	-37.0		39.32		49.96	15		90.00	90.00		
19	-9.00	20.8	0.0	-37.0		39.32		49.96	15		90.00	90.00		
20	-9.50	17.3	-17.6	-32.9		28.91		65.33	18		95.00	95.00		
20	-9.50	17.3	-17.6	-32.9		28.91		65.33	18		95.00	95.00		
21	-10.00	13.9	-32.1	-24.2		20.00	A				100.00	100.00		
21	-10.00	13.9	-32.1	-24.2		8.80	A				275.03	24	100.00	100.00
22	-10.50	10.6	-34.2	12.7		9.46	A				166.35	13	105.00	105.00
22	-10.50	10.6	-34.2	12.7		9.46	A				166.35	13	105.00	105.00
23	-11.00	7.6	-22.5	31.2		11.67					67.45	5	110.00	110.00
23	-11.00	7.6	-22.5	31.4		11.67					67.45	5	110.00	110.00
24	-11.50	4.6	-7.1	25.6		109.18	8	10.78	A				115.00	115.00
24	-11.50	4.6	-7.1	25.5		109.18	8	10.78	A				115.00	115.00
25	-12.00	1.8	0.0	0.0		204.38	14	11.44	A				120.00	120.00

-----|
Maxima : 42.9 74.3 -37.4 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right
Effective :	150.69	150.70
Water :	252.00	252.00
Total :	402.69	402.70

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 9.5 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 9.5 %

Vertical force balance

Vertical force active : -74.26 [kN/m"]
Vertical force passive : 81.20 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 6.93 [kN/m"]

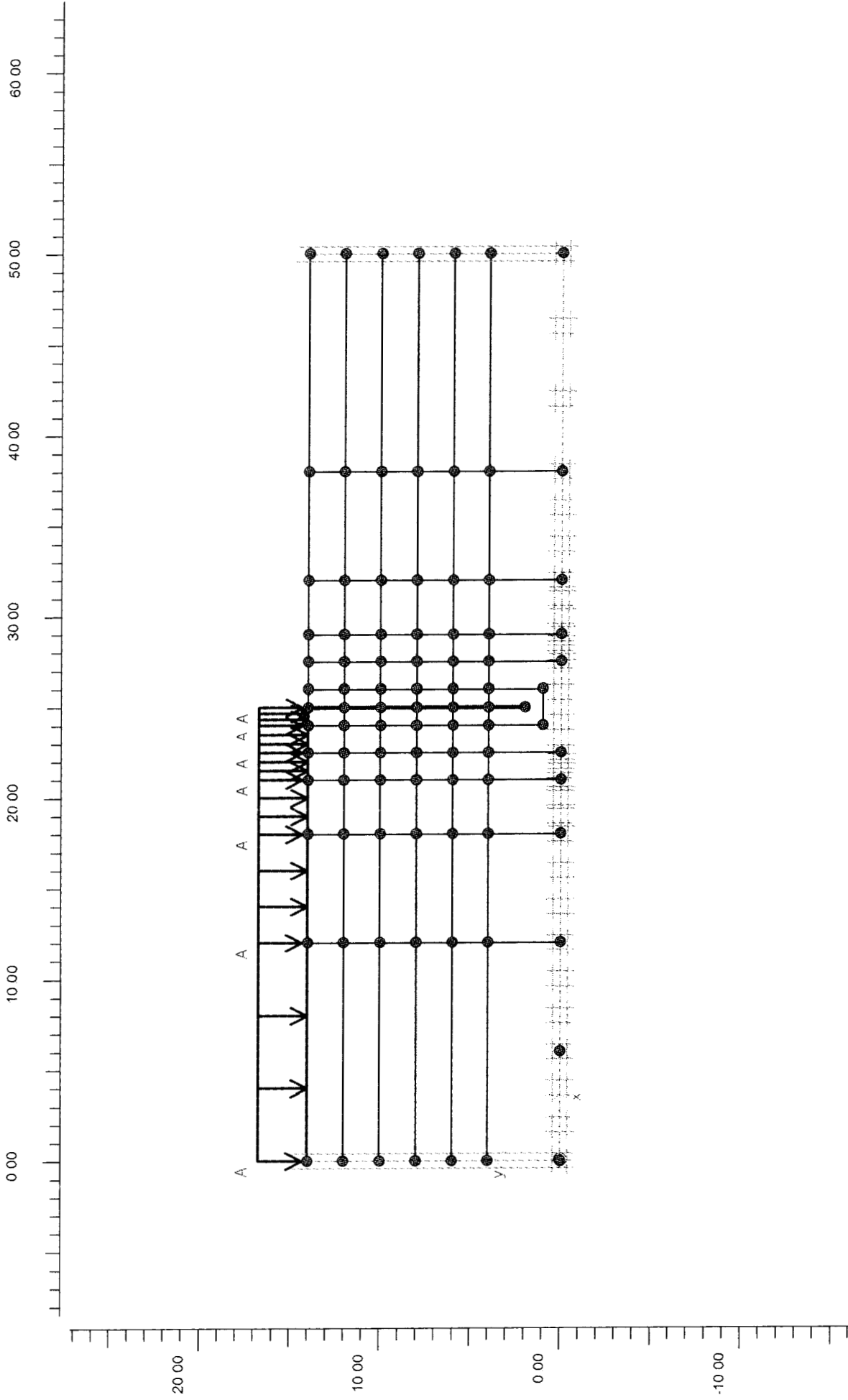
Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 42.9 [mm]
Moment : 74.3 [kNm/m"]
Shear force : -37.4 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----



Project description

Bijlage 6N: model

Project name

run6b.PL3

Date

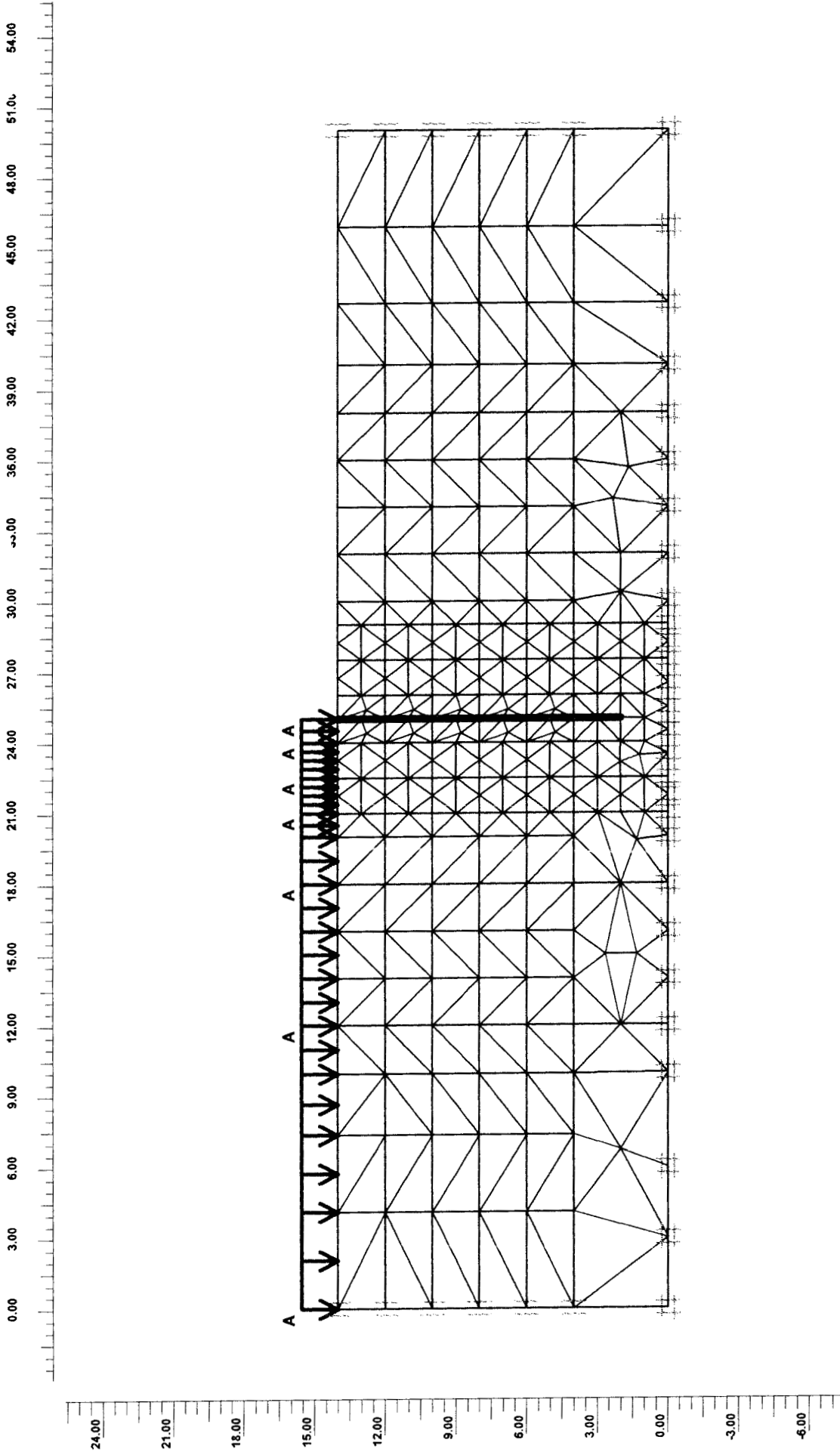
9-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses



Connectivities

Project description

Bijlage 6N: mesh

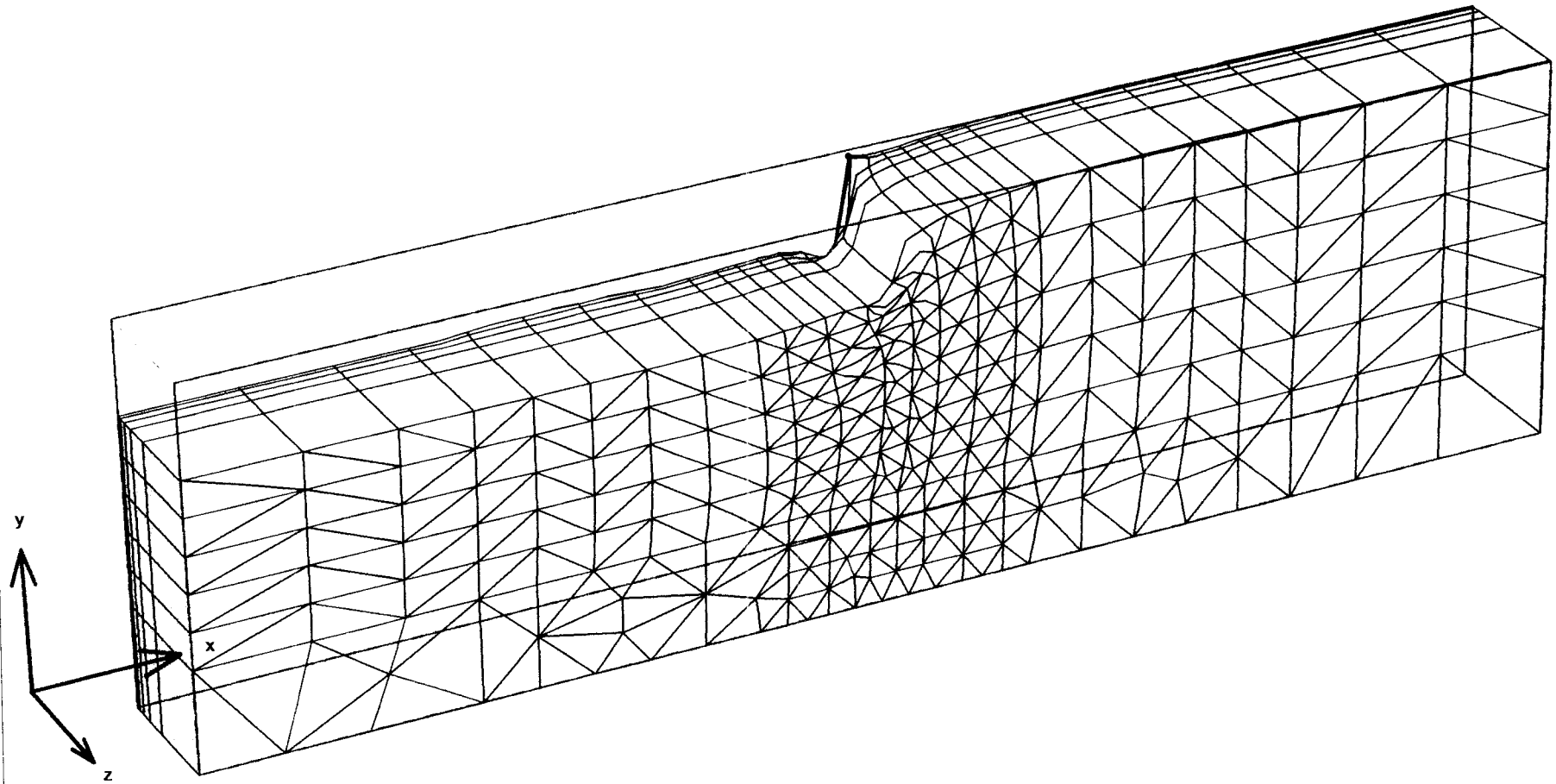
Project name

User name

09-01-02

FUGRO Ingenieursbureau b.v.





Deformed Mesh
 Extreme total displacement $266,20 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 15,00 times)



Project description

Bijlage 6N: deformed mesh

Project name

run6b

Step

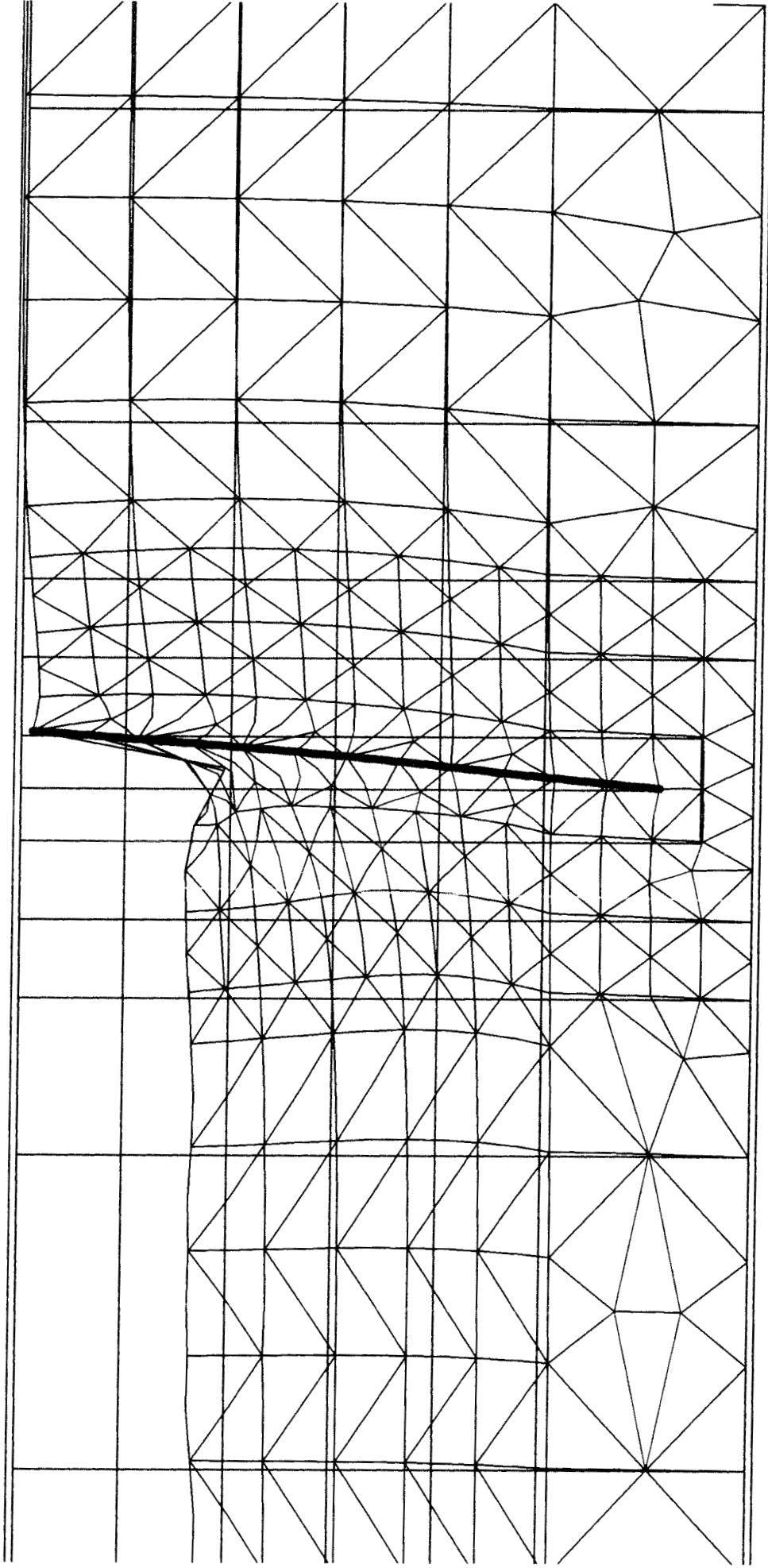
12

Date

09-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
Extreme total displacement: 286,20*10⁻³ m
(displacements scaled up 15,00 times)



Project description

Bijlage 6N: deformed mesh t.p.v. paal

Project name

run6b

Step

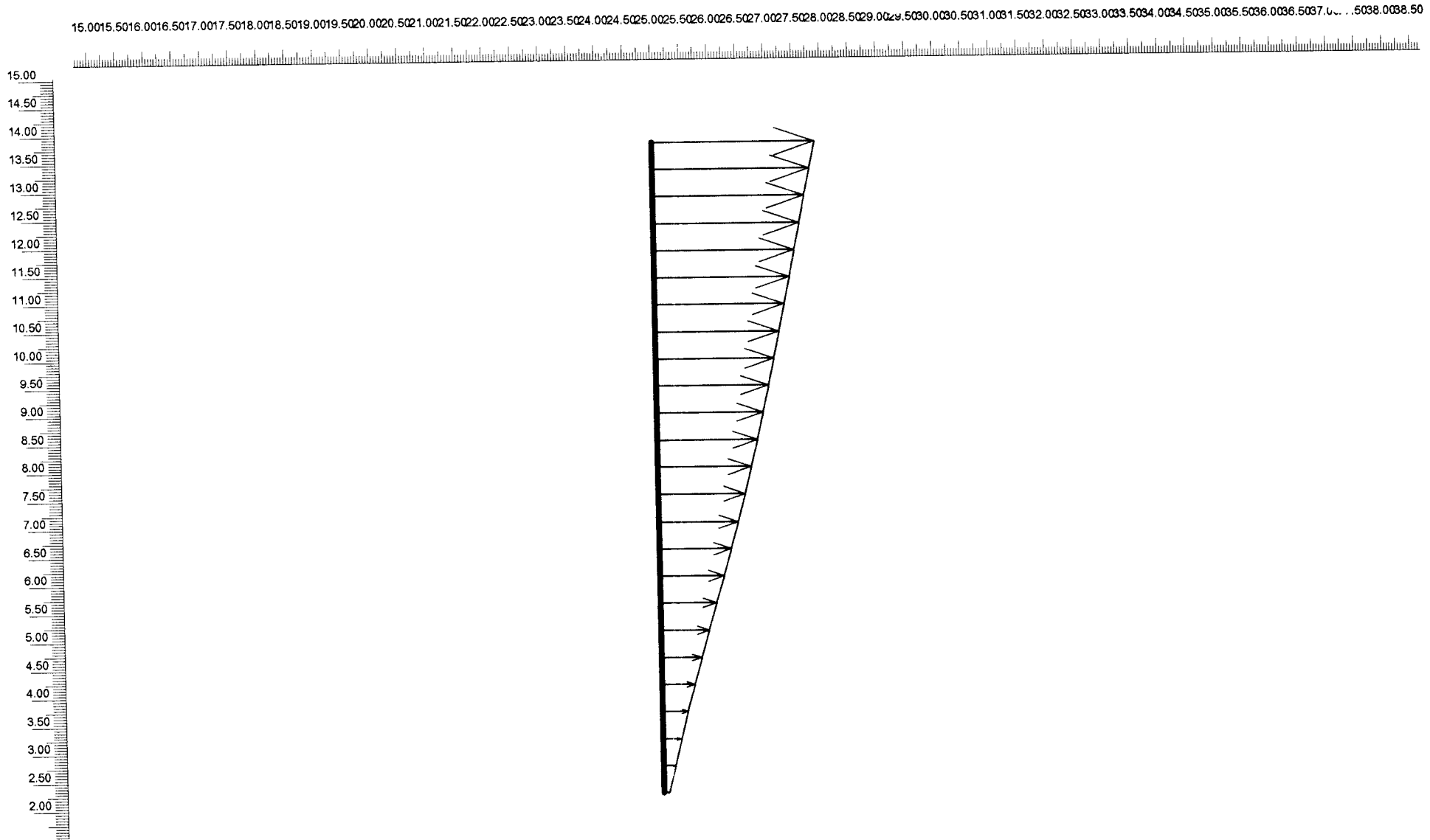
12

Date

09-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

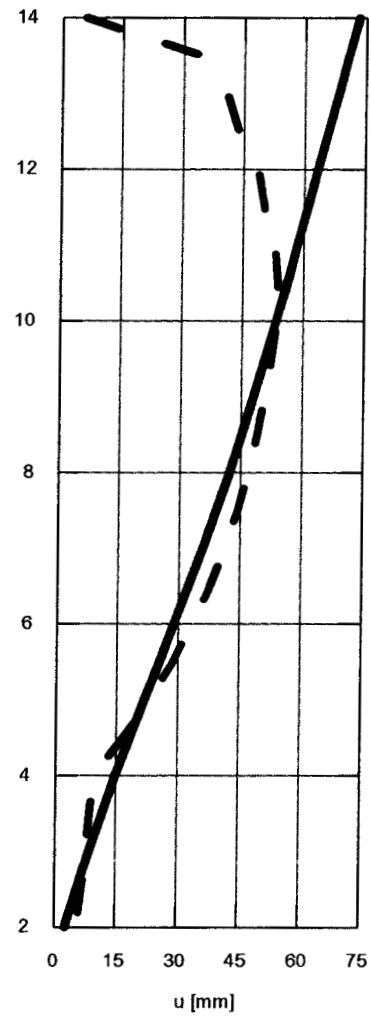
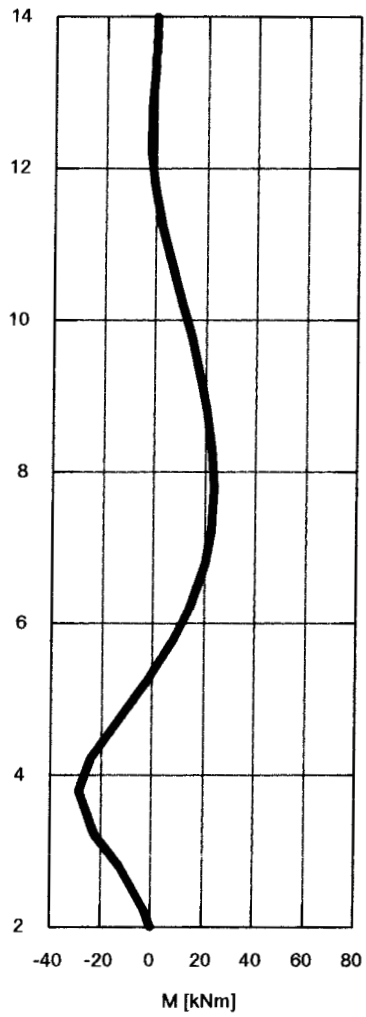


Horizontal displacements (Ux)
 Extreme Ux for this plane $72,85 \cdot 10^{-3}$ m

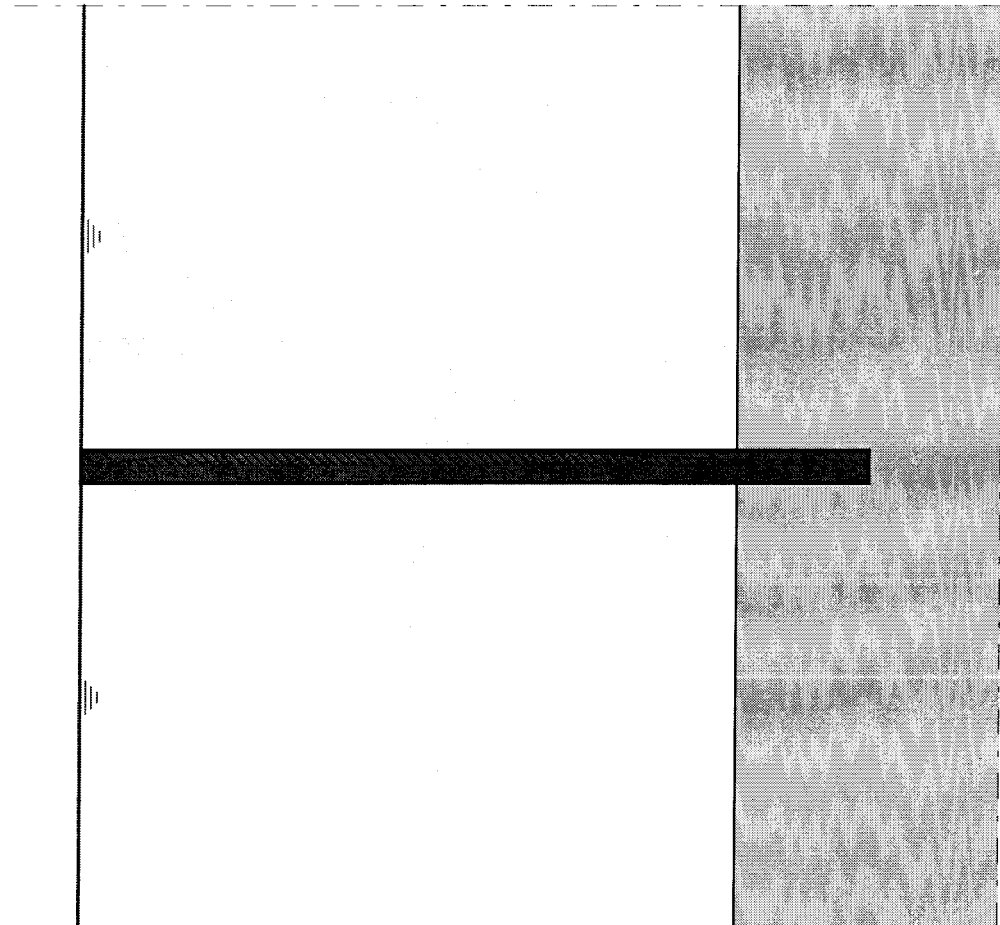



<i>Project description</i>				Bijlage 6N: horizontale verplaatsing paal			
<i>Project name</i>		<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>			
run6b		12	09-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.			

**Momenten (links) en verplaatsingen (rechts) PLAXIS 3D berekening
(run 6b)**

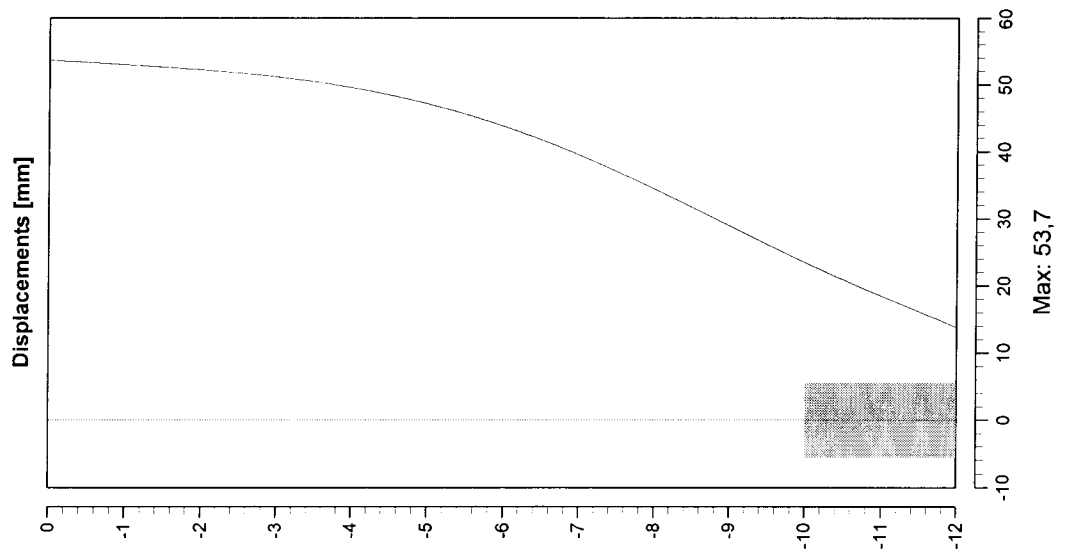
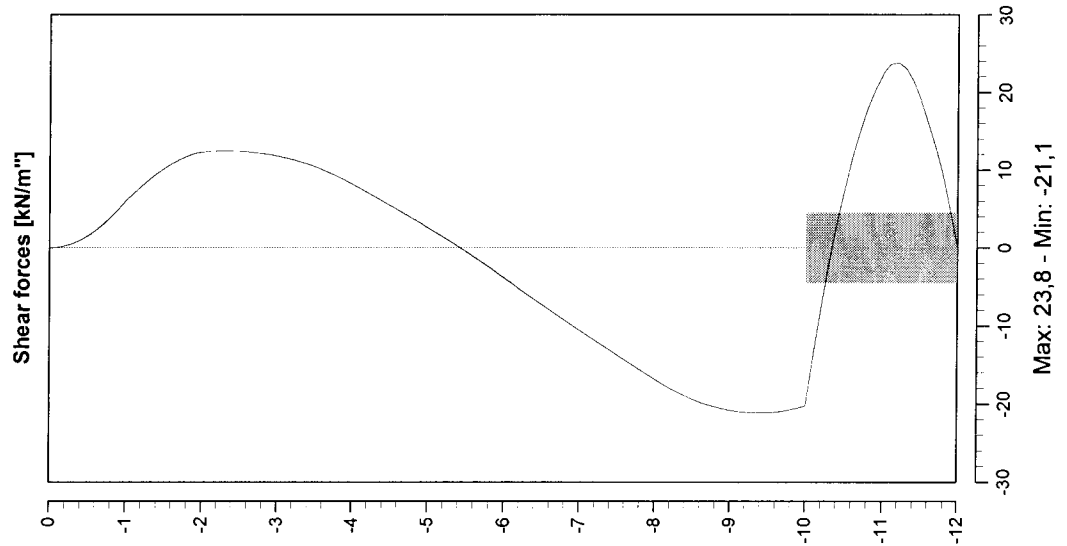
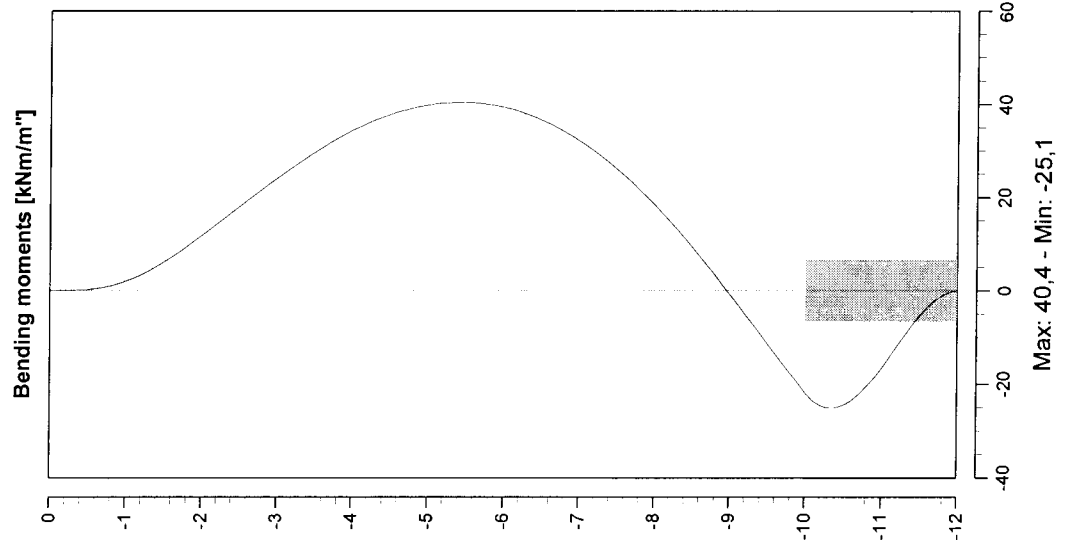



Outline view - Stage: New Stage



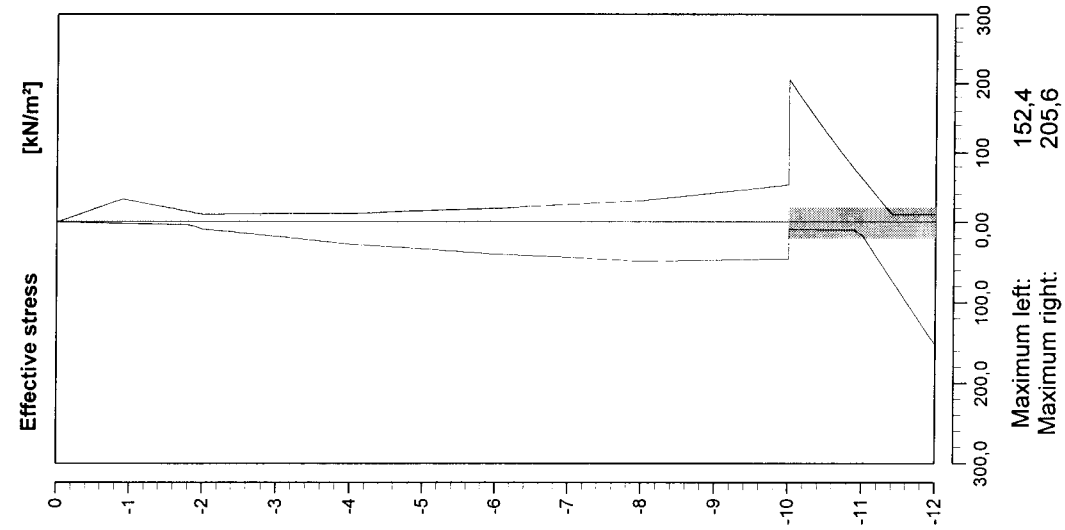
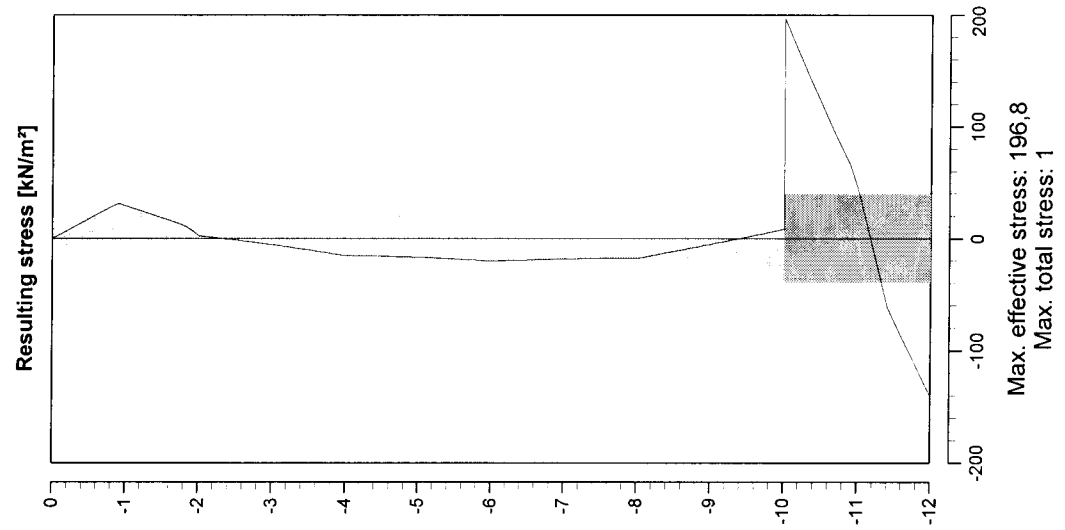
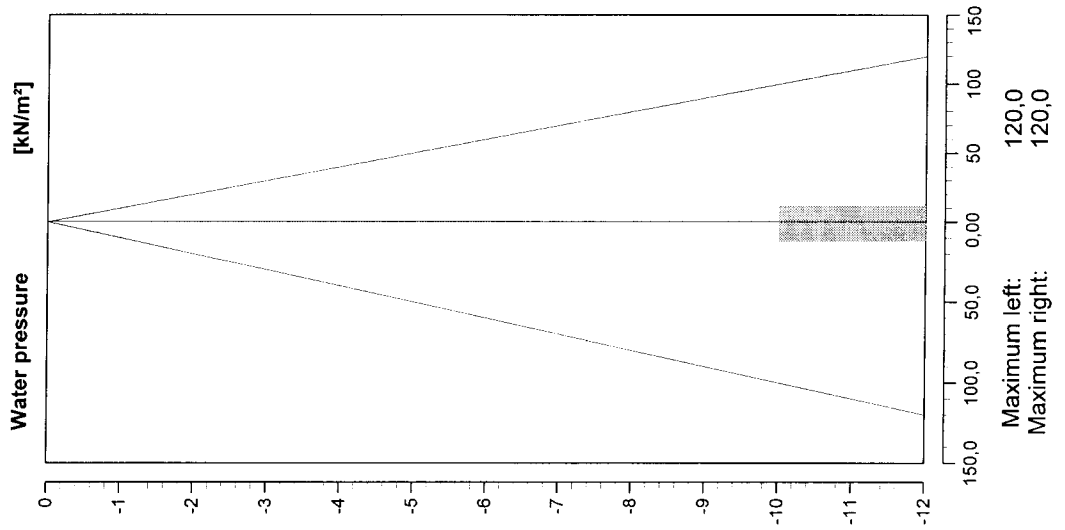
	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
Bijlage 60 u_maaiveld = 0 mm en K uit PL3D	-	ctr.	
MSheet 5.4 : run2_5.shi	Annex -	form. A4	

Forces and Displacements - Stage: New Stage



 Bijlage 60 u_maaiveld = 0 mm en K uit PL3D MSheet 5.4 : run2_5.shi	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
		-	ctr
		Annex -	form A4

Stress states - Stage: New Stage



Bijlage 60 u_maaiveld = 0 mm en K uit PL3D MSheet 5.4 : run2_5.shi	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
			ctr. -
	Annex -		form. A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 60**
 : **u_maaiveld = 0 mm en K uit PL3D**

Date : 9-1-02
Time : 9:51:28

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_5.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_5.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_5.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.25
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.68

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate Y-coordinate Point X-coordinate Y-coordinate
no. [m] from PILE [m] from level no. [m] from PILE [m] from level
1 0.00 0.00 1 0.00 0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer Level top side Wosp-T Wosp-B
no Name soil layer [m] [kN/m2] [kN/m2]
1 klei 0.00 0.00 0.00
2 zand -10.00 0.00 0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka, Ko, Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka, Ko, Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.051
  3        -4.00       0.057
  4        -6.00       0.053
  5        -8.00       0.042
  6       -10.00       0.020
  7       -12.00       0.016
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm   kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
 1  0.00    53.7   0.0   -0.0 |  0.00 A  |  0.00 P  |  0.00  0.00
 2 -0.50    53.4   0.3   1.6 |  1.00 A  | 18.72 P  |  5.00  5.00
 2 -0.50    53.4   0.3   1.6 |  1.00 A  | 18.72 P  |  5.00  5.00
 3 -1.00    53.0   2.1   6.1 |  2.00 A  | 31.04 83| 10.00 10.00
 3 -1.00    53.0   2.1   6.1 |  2.00 A  | 31.04 83| 10.00 10.00
 4 -1.50    52.7   6.2  10.2 |  3.00 A  | 21.31 38| 15.00 15.00
 4 -1.50    52.7   6.2  10.2 |  3.00 A  | 21.31 38| 15.00 15.00
 5 -2.00    52.3  11.9  12.3 |  8.69    | 11.15 15| 20.00 20.00
 5 -2.00    52.3  11.9  12.3 |  8.69    | 11.15 15| 20.00 20.00
 6 -2.50    51.8  18.1  12.4 | 13.11 14| 11.69    | 25.00 25.00
 6 -2.50    51.8  18.1  12.4 | 13.11 14| 11.69    | 25.00 25.00
 7 -3.00    51.2  24.2  11.8 | 17.70 16| 12.06    | 30.00 30.00
 7 -3.00    51.2  24.2  11.8 | 17.70 16| 12.06    | 30.00 30.00
 8 -3.50    50.5  29.8  10.4 | 22.51 17| 12.21    | 35.00 35.00
 8 -3.50    50.5  29.8  10.4 | 22.51 17| 12.21    | 35.00 35.00
 9 -4.00    49.6  34.5   8.1 | 27.56 18| 12.12    | 40.00 40.00
 9 -4.00    49.6  34.5   8.1 | 27.56 18| 12.12    | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	48.5	37.9	5.4		30.27	18	14.37		45.00	45.00
10	-4.50	48.5	37.9	5.4		30.27	18	14.37		45.00	45.00
11	-5.00	47.1	39.9	2.6		33.22	18	16.38		50.00	50.00
11	-5.00	47.1	39.9	2.6		33.22	18	16.38		50.00	50.00
12	-5.50	45.6	40.4	-0.5		36.44	18	18.12		55.00	55.00
12	-5.50	45.6	40.4	-0.5		36.44	18	18.12		55.00	55.00
13	-6.00	43.8	39.3	-3.9		39.94	18	19.58		60.00	60.00
13	-6.00	43.8	39.3	-3.9		39.94	18	19.58		60.00	60.00
14	-6.50	41.7	36.5	-7.3		41.78	17	22.70		65.00	65.00
14	-6.50	41.7	36.5	-7.3		41.78	17	22.70		65.00	65.00
15	-7.00	39.4	32.0	-10.6		43.83	17	25.61		70.00	70.00
15	-7.00	39.4	32.0	-10.6		43.83	17	25.61		70.00	70.00
16	-7.50	37.0	25.9	-13.7		46.10	16	28.30		75.00	75.00
16	-7.50	37.0	25.9	-13.7		46.10	16	28.30		75.00	75.00
17	-8.00	34.4	18.3	-16.8		48.53	16	30.83		80.00	80.00
17	-8.00	34.4	18.3	-16.8		48.53	16	30.83		80.00	80.00
18	-8.50	31.7	9.2	-19.4		47.84	15	36.48		85.00	85.00
18	-8.50	31.7	9.2	-19.4		47.84	15	36.48		85.00	85.00
19	-9.00	28.9	-0.9	-20.8		47.14	14	42.14		90.00	90.00
19	-9.00	28.9	-0.9	-20.8		47.14	14	42.14		90.00	90.00
20	-9.50	26.1	-11.5	-21.1		46.34		47.90	13	95.00	95.00
20	-9.50	26.1	-11.5	-21.1		46.34		47.90	13	95.00	95.00
21	-10.00	23.5	-21.8	-20.2		45.38		53.82	14	100.00	100.00
21	-10.00	23.5	-21.8	-20.2		8.80 A		205.59	18	100.00	100.00
22	-10.50	20.9	-24.5	7.5		9.46 A		130.40	10	105.00	105.00
22	-10.50	20.9	-24.5	7.5		9.46 A		130.40	10	105.00	105.00
23	-11.00	18.5	-16.5	22.4		16.93		62.19	5	110.00	110.00
23	-11.00	18.5	-16.5	22.5		16.93		62.19	5	110.00	110.00
24	-11.50	16.1	-5.2	19.0		85.49	6	10.78 A		115.00	115.00
24	-11.50	16.1	-5.2	18.9		85.49	6	10.78 A		115.00	115.00
25	-12.00	13.8	0.0	0.0		152.36	10	11.44 A		120.00	120.00

-----|
Maxima : 53.7 40.4 23.8 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m²]

	Left	Right
Effective :	134.40	134.41
Water :	252.00	252.00
Total :	386.40	386.41

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 8.5 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 8.5 %

Vertical force balance

Vertical force active : -65.18 [kN/m"]
Vertical force passive : 70.98 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 5.79 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

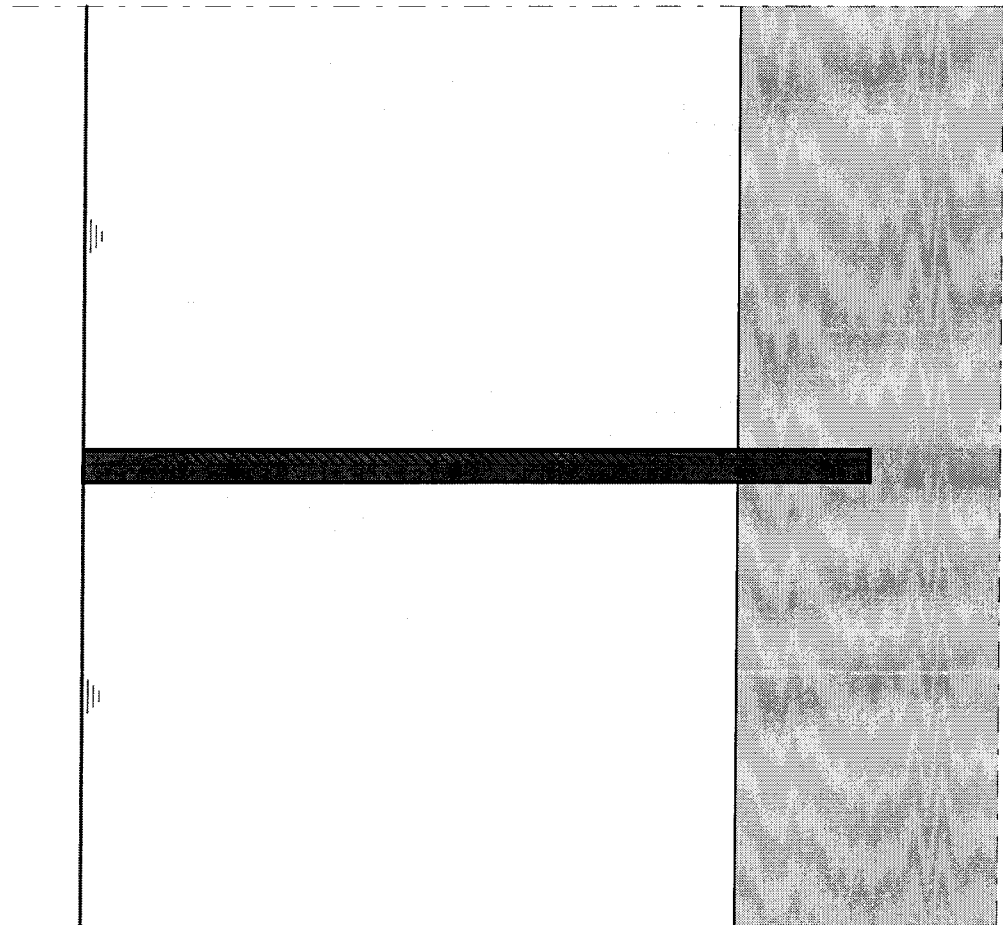
A minus sign means a downward force.


Maxima of all construction stages

Displacement : 53.7 [mm]
Moment : 40.4 [kNm/m"]
Shear force : 23.8 [kN/m"]

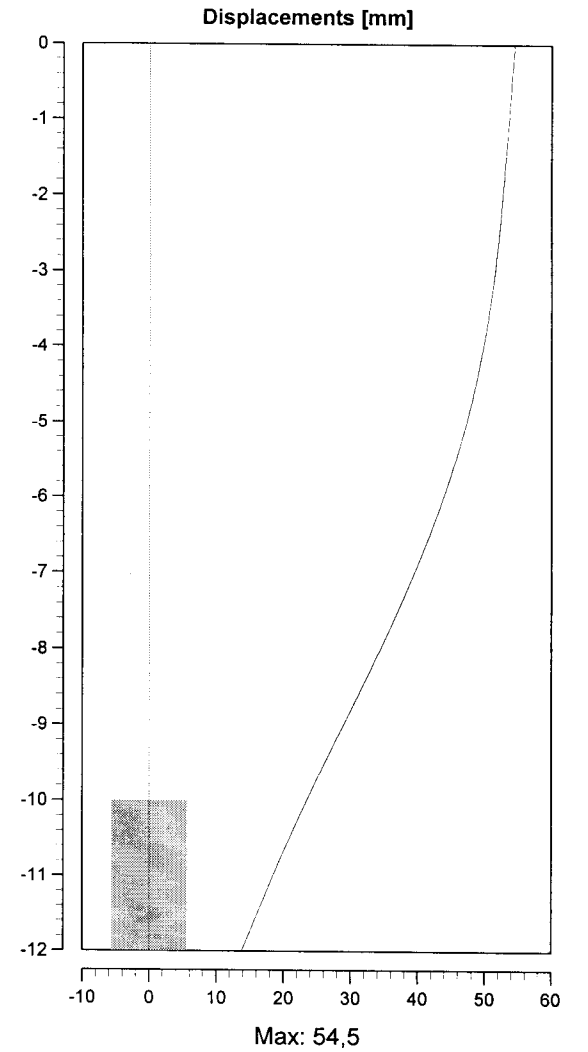
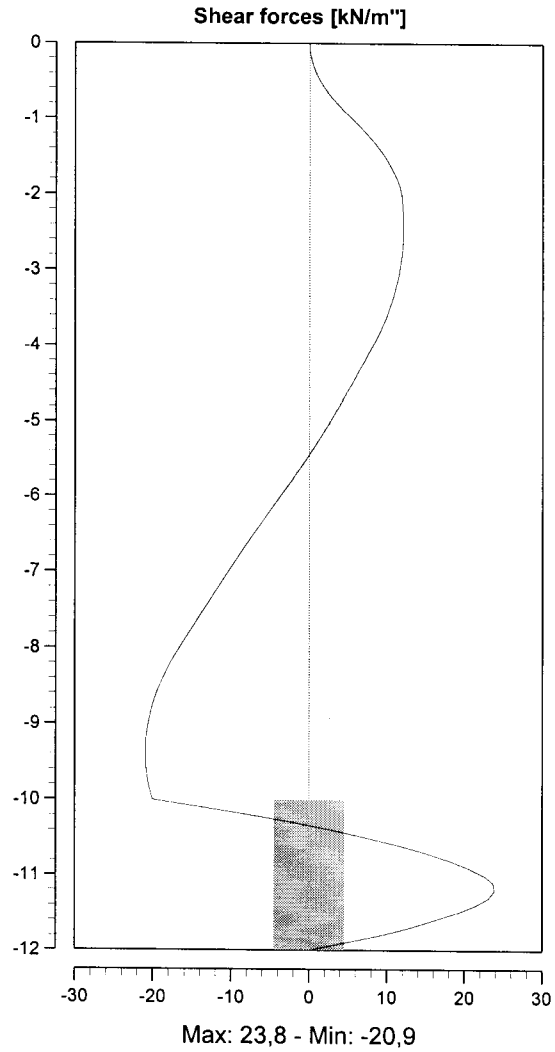
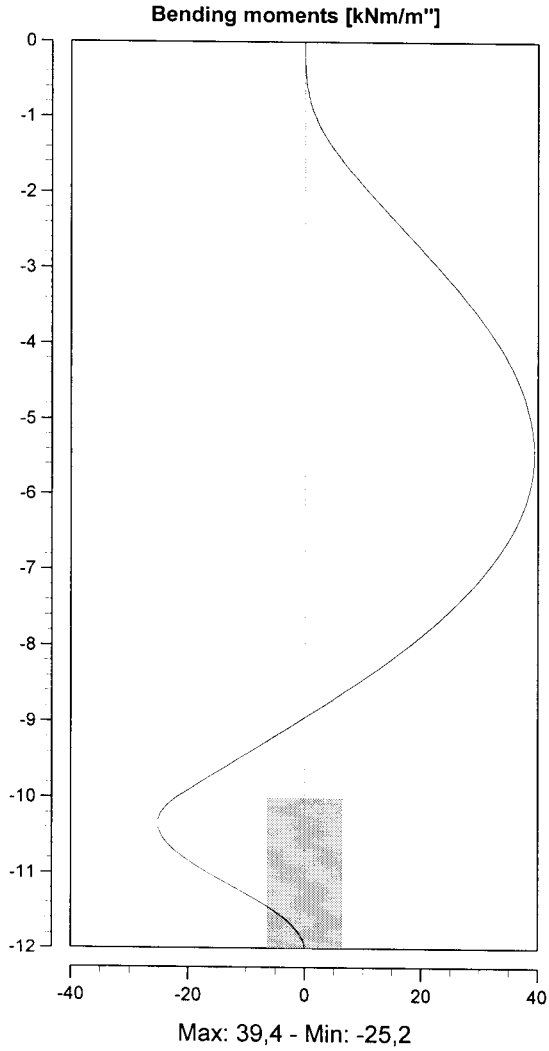
----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
Bijlage 6P K uit PL3D en S uit PL3D maaiveld = 0 mm	-	ctr.	form.
MSheet 5.4 : run2_6.shi	Annex -	A4	A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date
9-1-02

dvw.

Bijlage 6P

K uit PL3D en S uit PL3D maaiveld = 0 mm

MSheet 5.4 : run2_6.shi

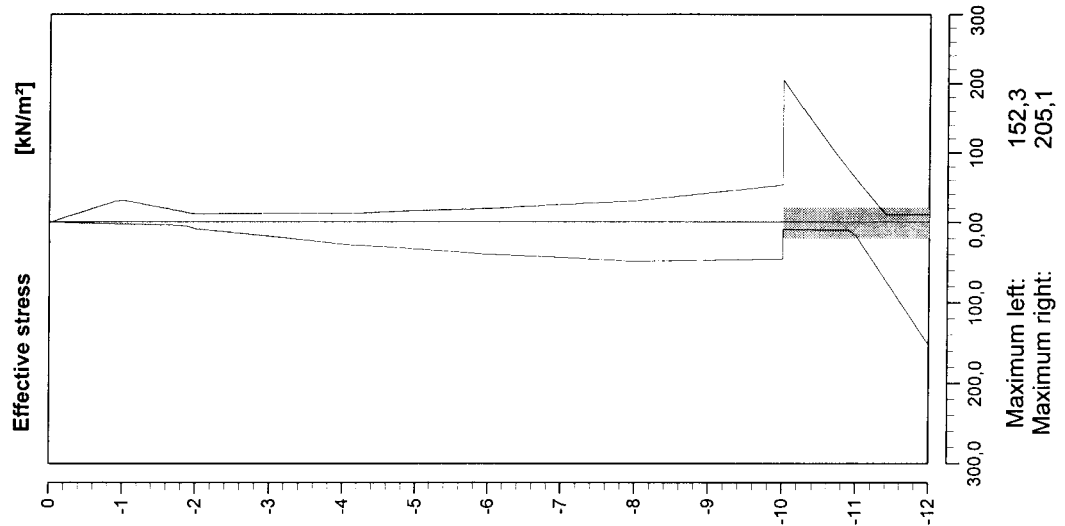
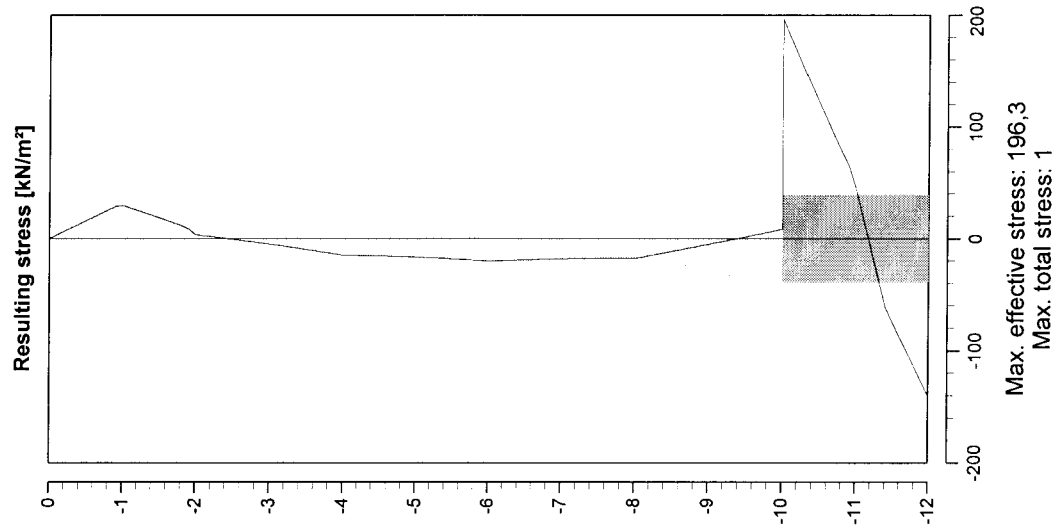
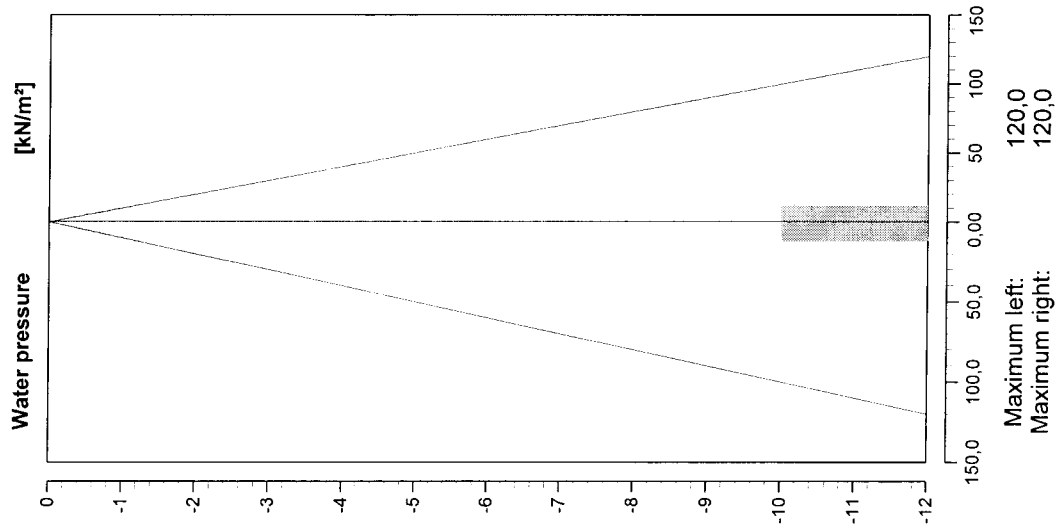
Annex -

A4

dit.

form.

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date	9-1-02	drw.	-
	-	ctr.	
Annex	-	form.	A4

Bijlage 6P
K uit PL3D en S uit PL3D maaiveld = 0 mm
MSheet 5.4 : run2_6.shi

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6P**
: **K uit PL3D en S uit PL3D maaiveld = 0 mm**

Date : 9-1-02
Time : 9:55:07

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_6.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_6.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_6.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From - [m]	To	Stiffness EI [kNm ² /m ⁴]	Acting width [m]
1	0.00 -	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.28
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.24

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

-----
Surface LEFT : (Surface no. 1)                      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate    Y-coordinate    Point X-coordinate    Y-coordinate
no.    [m] from PILE    [m] from level    no.    [m] from PILE    [m] from level
  1            0.00            0.00    1            0.00            0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer    Level top side    Wosp-T    Wosp-B
no    Name    soil layer [m]    [kN/m2]    [kN/m2]
  1    klei    0.00    0.00    0.00
  2    zand    -10.00    0.00    0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

Point	Level [m]	Displ. [m]
1	0.00	0.000
2	-2.00	0.051
3	-4.00	0.057
4	-6.00	0.053
5	-8.00	0.042
6	-10.00	0.020
7	-12.00	0.016

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

Nd no	Level m	Displ mm	Moment kNm/m"	ShearF kN/m"	Ef.Str kN/m2	Stat %	Ef.Str kN/m2	Stat %	WatStL kN/m2	WatStR kN/m2
1	0.00	54.5	0.0	-0.0	0.00	A	0.00	P	0.00	0.00
2	-0.50	54.1	0.2	1.4	1.12	A	16.96	P	5.00	5.00
2	-0.50	54.1	0.2	1.4	1.12	A	16.96	P	5.00	5.00
3	-1.00	53.6	1.8	5.5	2.24	A	31.61	93	10.00	10.00
3	-1.00	53.6	1.8	5.5	2.24	A	31.61	93	10.00	10.00
4	-1.50	53.2	5.7	9.7	3.36	A	21.82	43	15.00	15.00
4	-1.50	53.2	5.7	9.7	3.36	A	21.82	43	15.00	15.00
5	-2.00	52.7	11.2	11.8	8.25		11.59	17	20.00	20.00
5	-2.00	52.7	11.2	11.8	8.25		11.59	17	20.00	20.00
6	-2.50	52.2	17.2	12.1	12.73	15	12.07		25.00	25.00
6	-2.50	52.2	17.2	12.1	12.73	15	12.07		25.00	25.00
7	-3.00	51.5	23.2	11.6	17.38	17	12.38		30.00	30.00
7	-3.00	51.5	23.2	11.6	17.38	17	12.38		30.00	30.00
8	-3.50	50.7	28.7	10.3	22.24	19	12.48		35.00	35.00
8	-3.50	50.7	28.7	10.3	22.24	19	12.48		35.00	35.00
9	-4.00	49.8	33.3	8.1	27.35	20	12.33		40.00	40.00
9	-4.00	49.8	33.3	8.1	27.35	20	12.33		40.00	40.00

10	-4.50	48.6	36.7	5.5		30.10	20	14.54		45.00	45.00
10	-4.50	48.6	36.7	5.5		30.10	20	14.54		45.00	45.00
11	-5.00	47.3	38.8	2.7		33.09	20	16.51		50.00	50.00
11	-5.00	47.3	38.8	2.7		33.09	20	16.51		50.00	50.00
12	-5.50	45.6	39.4	-0.4		36.35	19	18.21		55.00	55.00
12	-5.50	45.6	39.4	-0.4		36.35	19	18.21		55.00	55.00
13	-6.00	43.8	38.4	-3.7		39.88	20	19.64		60.00	60.00
13	-6.00	43.8	38.4	-3.7		39.88	20	19.64		60.00	60.00
14	-6.50	41.7	35.6	-7.1		41.74	19	22.74		65.00	65.00
14	-6.50	41.7	35.6	-7.1		41.74	19	22.74		65.00	65.00
15	-7.00	39.5	31.2	-10.4		43.81	18	25.63		70.00	70.00
15	-7.00	39.5	31.2	-10.4		43.81	18	25.63		70.00	70.00
16	-7.50	37.0	25.3	-13.5		46.09	18	28.31		75.00	75.00
16	-7.50	37.0	25.3	-13.5		46.09	18	28.31		75.00	75.00
17	-8.00	34.4	17.7	-16.6		48.53	18	30.83		80.00	80.00
17	-8.00	34.4	17.7	-16.6		48.53	18	30.83		80.00	80.00
18	-8.50	31.7	8.7	-19.2		47.85	17	36.47		85.00	85.00
18	-8.50	31.7	8.7	-19.2		47.85	17	36.47		85.00	85.00
19	-9.00	28.9	-1.3	-20.6		47.15	15	42.13		90.00	90.00
19	-9.00	28.9	-1.3	-20.6		47.15	15	42.13		90.00	90.00
20	-9.50	26.1	-11.7	-20.9		46.35		47.89	15	95.00	95.00
20	-9.50	26.1	-11.7	-20.9		46.35		47.89	15	95.00	95.00
21	-10.00	23.4	-22.0	-20.1		45.39		53.81	16	100.00	100.00
21	-10.00	23.4	-22.0	-20.1		8.80 A		205.14	18	100.00	100.00
22	-10.50	20.9	-24.5	7.6		9.46 A		130.04	10	105.00	105.00
22	-10.50	20.9	-24.6	7.6		9.46 A		130.04	10	105.00	105.00
23	-11.00	18.5	-16.5	22.5		17.16		61.96	5	110.00	110.00
23	-11.00	18.5	-16.5	22.6		17.16		61.96	5	110.00	110.00
24	-11.50	16.1	-5.2	19.0		85.60	6	10.78 A		115.00	115.00
24	-11.50	16.1	-5.2	18.9		85.60	6	10.78 A		115.00	115.00
25	-12.00	13.8	0.0	0.0		152.35	10	11.44 A		120.00	120.00

-----|
Maxima : 54.5 39.4 23.8 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

 Left Right

Effective : 134.24 134.24
Water : 252.00 252.00
Total : 386.24 386.24

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 8.8 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 8.8 %

Vertical force balance

Vertical force active : -65.13 [kN/m"]
Vertical force passive : 70.87 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 5.74 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

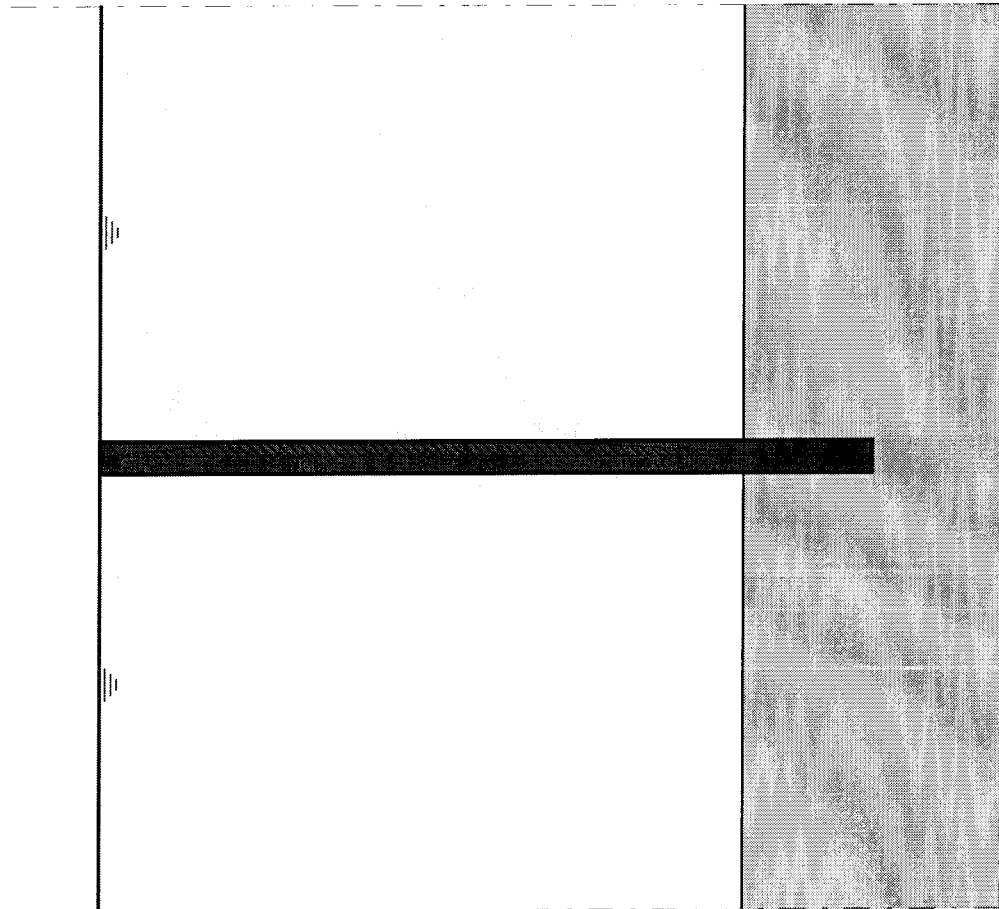
A minus sign means a downward force.


Maxima of all construction stages

Displacement : 54.5 [mm]
Moment : 39.4 [kNm/m"]
Shear force : 23.8 [kN/m"]

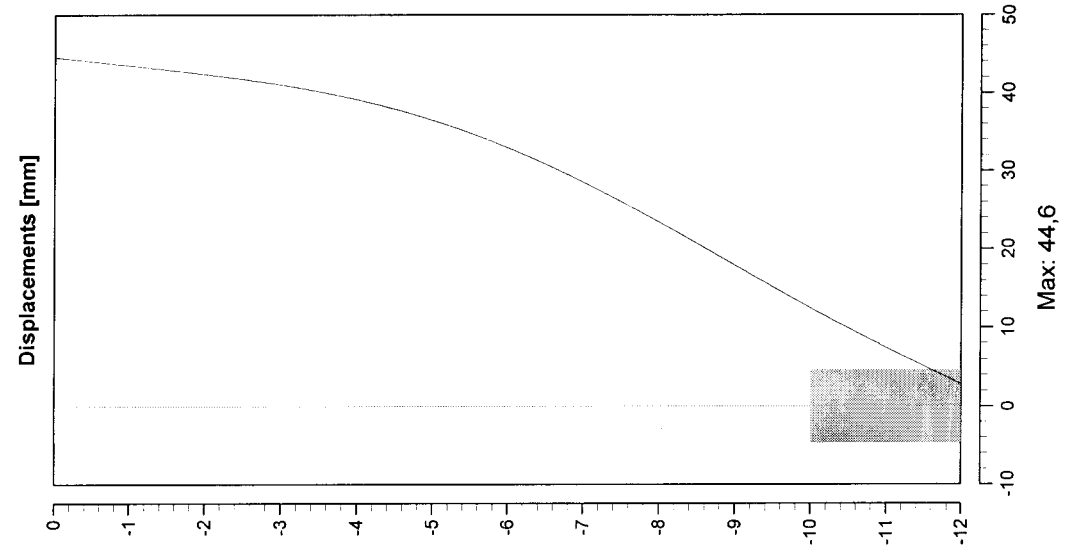
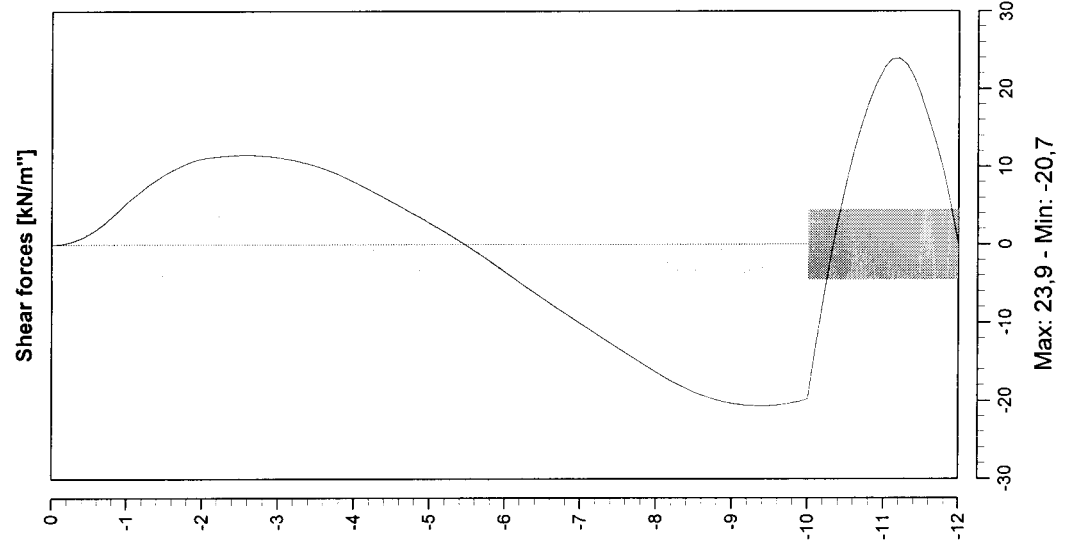
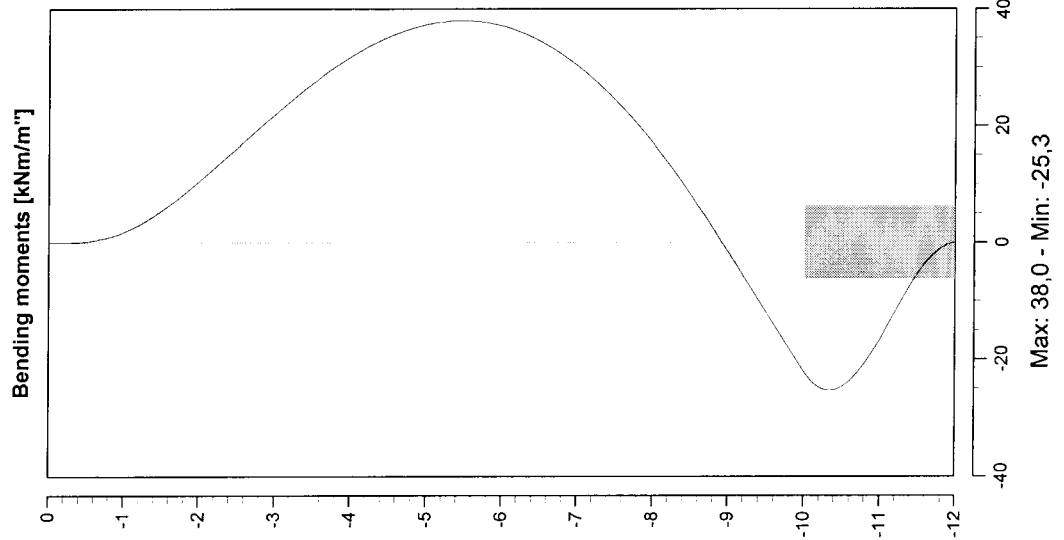
----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
Bijlage 6Q K en s uit PLAXIS 3D, als run2b	-	ctr.	form.
MSheet 5.4 : run2_13.shi	Annex -	form. A4	

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6Q
K en s uit PLAXIS 3D, als run2b

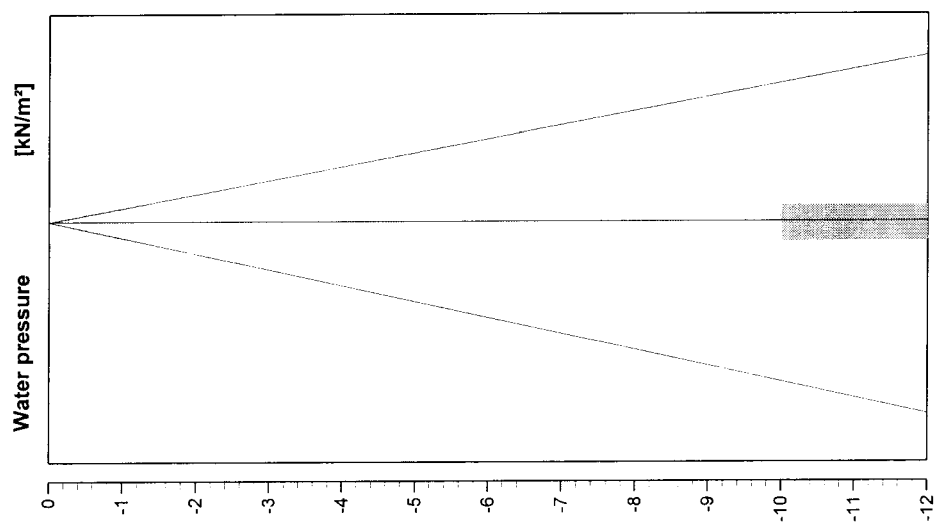
ctr.

MSheet 5.4 : run2_13.shi

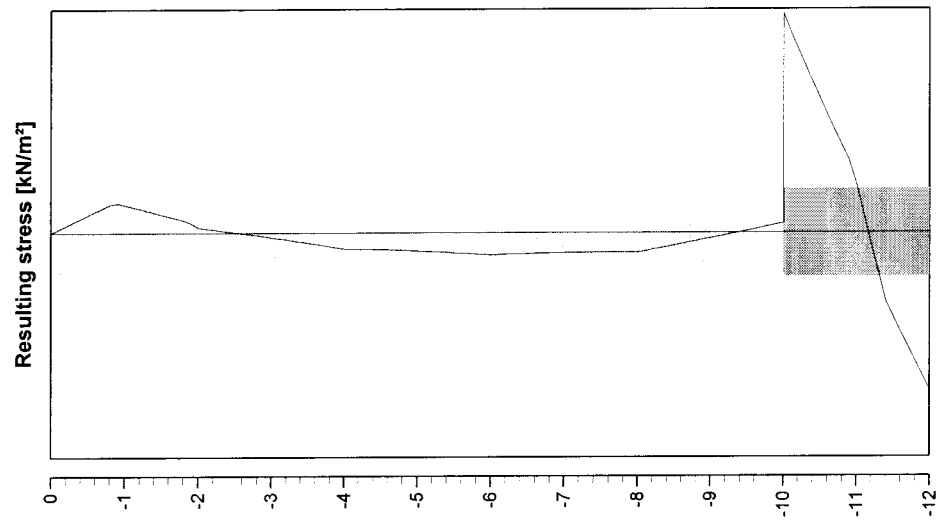
Annex -

form.
A4

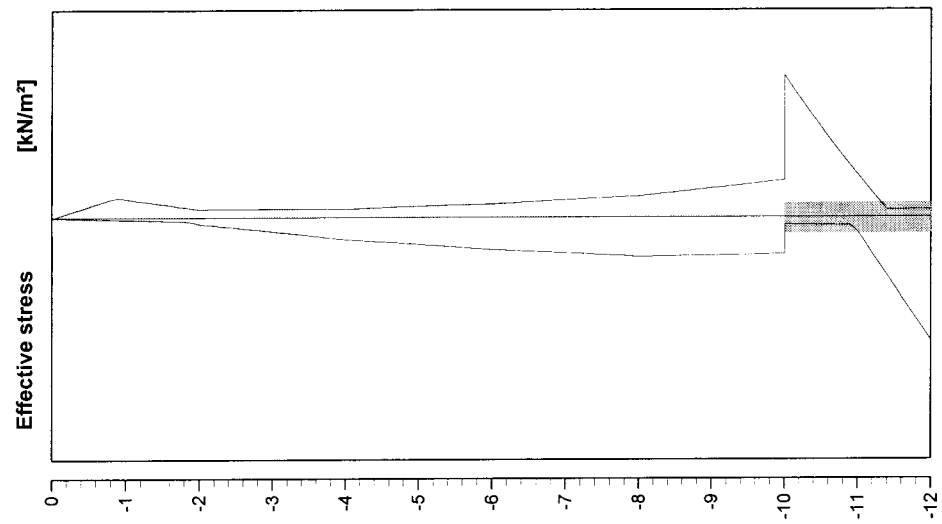
Stress states - Stage: New Stage



Maximum left: 120,0
Maximum right: 120,0



Max. effective stress: 195,9
Max. total stress: 1



Maximum left: 152,5
Maximum right: 204,7



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6Q
K en s uit PLAXIS 3D, als run2b

ctr.

MSheet 5.4 : run2_13.shi

Annex -

form.
A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6Q**
: **K en s uit PLAXIS 3D, als run2b**

Date : 9-1-02
Time : 9:57:06

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_13.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_13.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_13.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From - [m]	To	Stiffness EI [kNm2/m"]	Acting width [m]
1	0.00 -	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.28
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.24

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

 Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
 saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
 Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
 Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
 Phi : 35.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

 Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)

Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level	Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level
1	0.00	0.00	1	0.00	0.00

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

Layer no	Soil layer Name	Level top side soil layer [m]	Wosp-T [kN/m2]	Wosp-B [kN/m2]
1	klei	0.00	0.00	0.00
2	zand	-10.00	0.00	0.00

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.040
  3        -4.00       0.046
  4        -6.00       0.042
  5        -8.00       0.031
  6       -10.00       0.009
  7       -12.00       0.005
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm    kNm/m"   kN/m" | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1  0.00   44.6    0.0   -0.0 |  0.00 A  |  0.00 P  |  0.00  0.00
  2 -0.50   44.0    0.2    1.4 |  1.12 A  | 16.96 P  |  5.00  5.00
  2 -0.50   44.0    0.2    1.4 |  1.12 A  | 16.96 P  |  5.00  5.00
  3 -1.00   43.5    1.8    5.4 |  2.24 A  | 27.23 80| 10.00 10.00
  3 -1.00   43.5    1.8    5.4 |  2.24 A  | 27.23 80| 10.00 10.00
  4 -1.50   43.0    5.5    9.0 |  3.36 A  | 19.92 39| 15.00 15.00
  4 -1.50   43.0    5.5    9.0 |  3.36 A  | 19.92 39| 15.00 15.00
  5 -2.00   42.4   10.6   11.1 |  7.59    | 12.25 18| 20.00 20.00
  5 -2.00   42.4   10.6   11.1 |  7.59    | 12.25 18| 20.00 20.00
  6 -2.50   41.7   16.3   11.5 | 12.16    | 12.64 15| 25.00 25.00
  6 -2.50   41.7   16.3   11.5 | 12.16    | 12.64 15| 25.00 25.00
  7 -3.00   41.0   22.0   11.2 | 16.90 17| 12.86    | 30.00 30.00
  7 -3.00   41.0   22.0   11.2 | 16.90 17| 12.86    | 30.00 30.00
  8 -3.50   40.1   27.3   10.1 | 21.84 18| 12.88    | 35.00 35.00
  8 -3.50   40.1   27.3   10.1 | 21.84 18| 12.88    | 35.00 35.00
  9 -4.00   39.1   31.9    8.0 | 27.01 20| 12.67    | 40.00 40.00
  9 -4.00   39.1   31.9    8.0 | 27.01 20| 12.67    | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	37.9	35.3	5.5		29.83	20		14.81		45.00	45.00	
10	-4.50	37.9	35.3	5.5		29.83	20		14.81		45.00	45.00	
11	-5.00	36.4	37.3	2.8		32.88	19		16.72		50.00	50.00	
11	-5.00	36.4	37.3	2.8		32.88	19		16.72		50.00	50.00	
12	-5.50	34.8	38.0	-0.2		36.19	19		18.37		55.00	55.00	
12	-5.50	34.8	38.0	-0.2		36.19	19		18.37		55.00	55.00	
13	-6.00	32.9	37.1	-3.5		39.76	20		19.76		60.00	60.00	
13	-6.00	32.9	37.1	-3.5		39.76	20		19.76		60.00	60.00	
14	-6.50	30.8	34.4	-6.9		41.66	19		22.82		65.00	65.00	
14	-6.50	30.8	34.4	-6.9		41.66	19		22.82		65.00	65.00	
15	-7.00	28.5	30.2	-10.1		43.76	18		25.68		70.00	70.00	
15	-7.00	28.5	30.2	-10.1		43.76	18		25.68		70.00	70.00	
16	-7.50	26.0	24.3	-13.3		46.06	18		28.34		75.00	75.00	
16	-7.50	26.0	24.3	-13.3		46.06	18		28.34		75.00	75.00	
17	-8.00	23.4	16.9	-16.4		48.52	18		30.84		80.00	80.00	
17	-8.00	23.4	16.9	-16.4		48.52	18		30.84		80.00	80.00	
18	-8.50	20.7	8.1	-18.9		47.85	17		36.47		85.00	85.00	
18	-8.50	20.7	8.1	-18.9		47.85	17		36.47		85.00	85.00	
19	-9.00	17.9	-1.8	-20.3		47.15	15		42.13		90.00	90.00	
19	-9.00	17.9	-1.8	-20.3		47.15	15		42.13		90.00	90.00	
20	-9.50	15.1	-12.1	-20.6		46.36			47.88	15		95.00	95.00
20	-9.50	15.1	-12.1	-20.6		46.36			47.88	15		95.00	95.00
21	-10.00	12.4	-22.2	-19.8		45.40			53.80	16		100.00	100.00
21	-10.00	12.4	-22.2	-19.8		8.80 A			204.69	18		100.00	100.00
22	-10.50	9.9	-24.7	7.8		9.46 A			129.64	10		105.00	105.00
22	-10.50	9.9	-24.7	7.8		9.46 A			129.64	10		105.00	105.00
23	-11.00	7.4	-16.6	22.6		17.49			61.63	5		110.00	110.00
23	-11.00	7.4	-16.6	22.7		17.49			61.63	5		110.00	110.00
24	-11.50	5.1	-5.2	19.0		85.84	6		10.78 A			115.00	115.00
24	-11.50	5.1	-5.2	18.9		85.84	6		10.78 A			115.00	115.00
25	-12.00	2.8	0.0	0.0		152.48	10		11.44 A			120.00	120.00

-----|
Maxima : 44.6 38.0 23.9 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

 Left Right

Effective : 133.78 133.78
Water : 252.00 252.00
Total : 385.78 385.78

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 8.8 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 8.8 %

Vertical force balance

Vertical force active : -64.96 [kN/m"]
Vertical force passive : 70.62 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 5.66 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

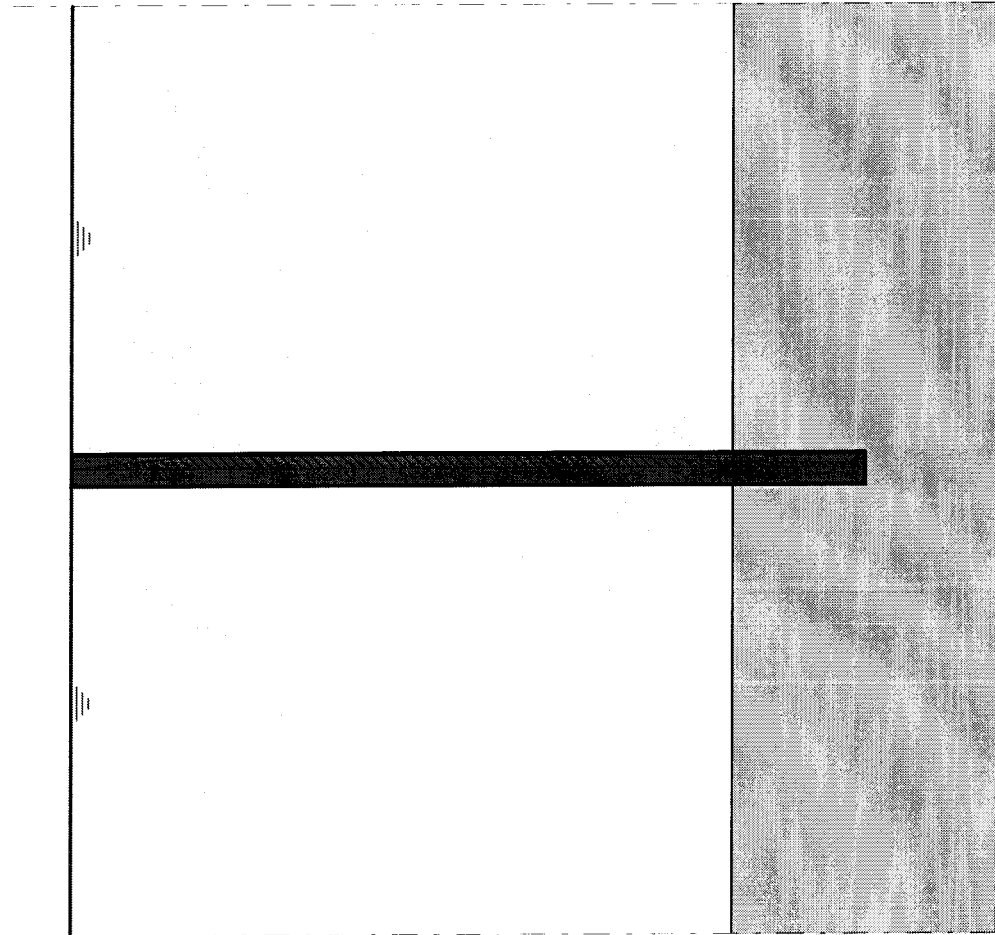
A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 44.6 [mm]
Moment : 38.0 [kNm/m"]
Shear force : 23.9 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----

Outline view - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6R

K uit PLAXIS 3D en grondverpl. + 11 mm, s= 1,0

MSheet 5.4 : run2l.shi

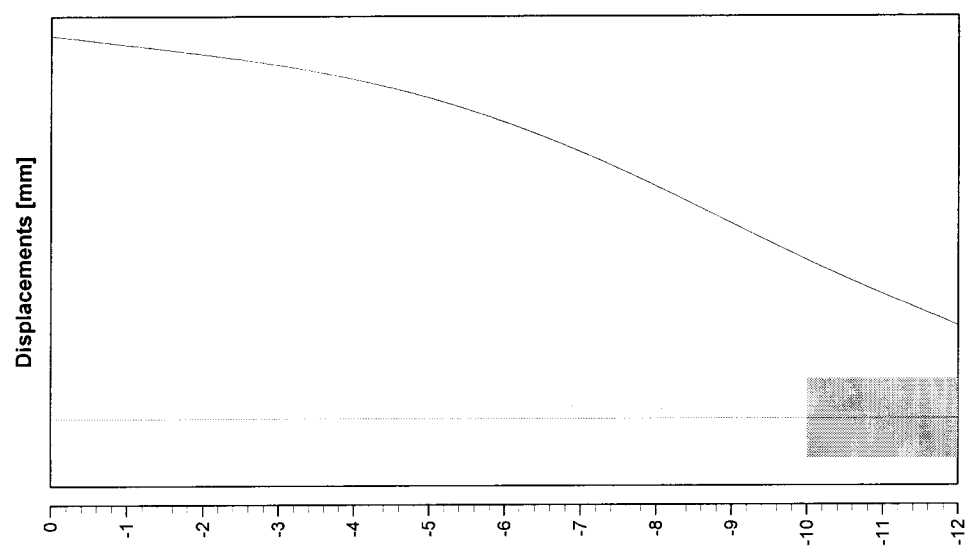
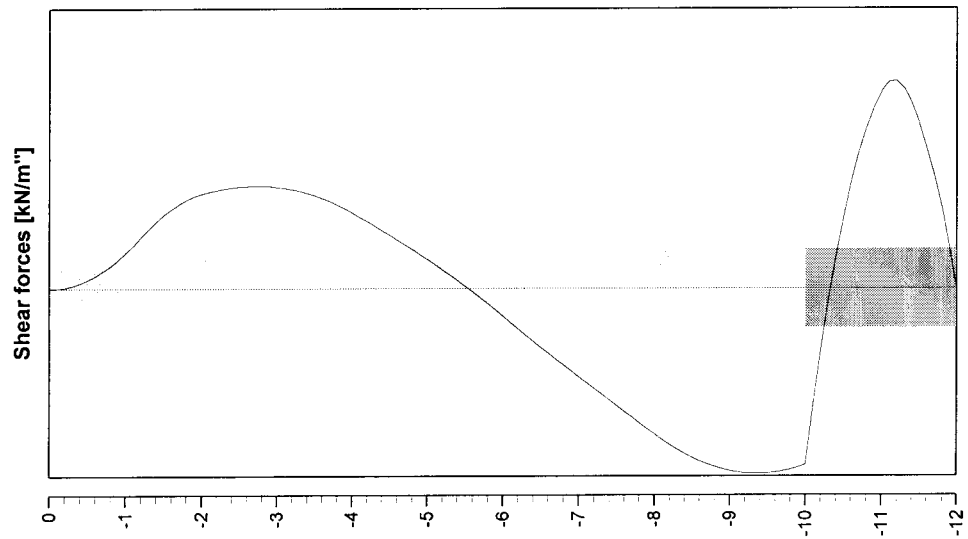
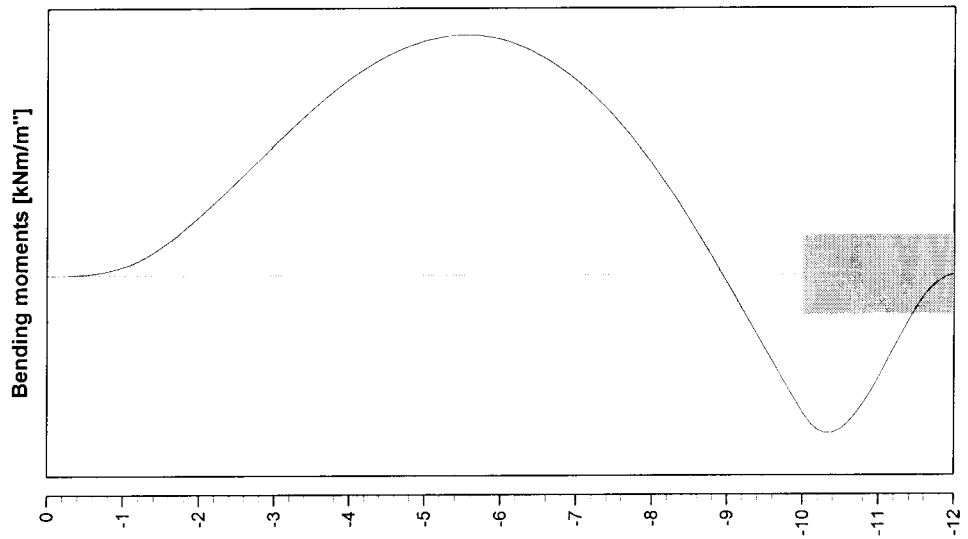
ctr.

Annex -

form.

A4

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw

-

Bijlage 6R
K uit PLAXIS 3D en grondverpl. + 11 mm, s= 1,0

ctr.

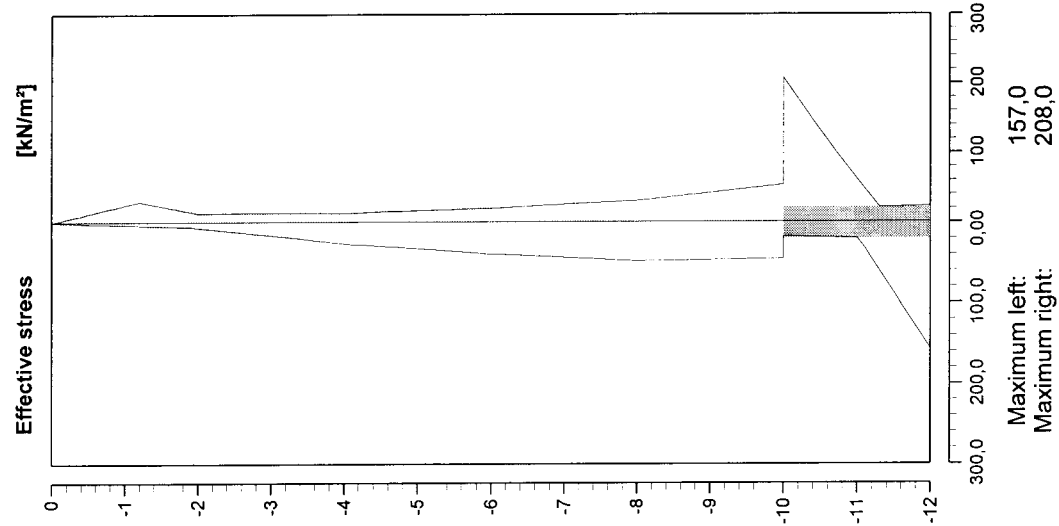
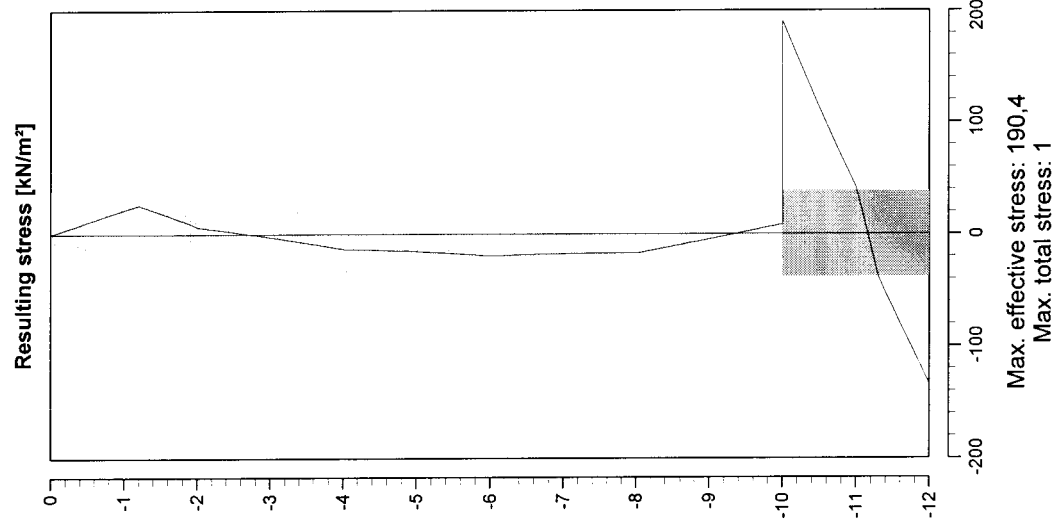
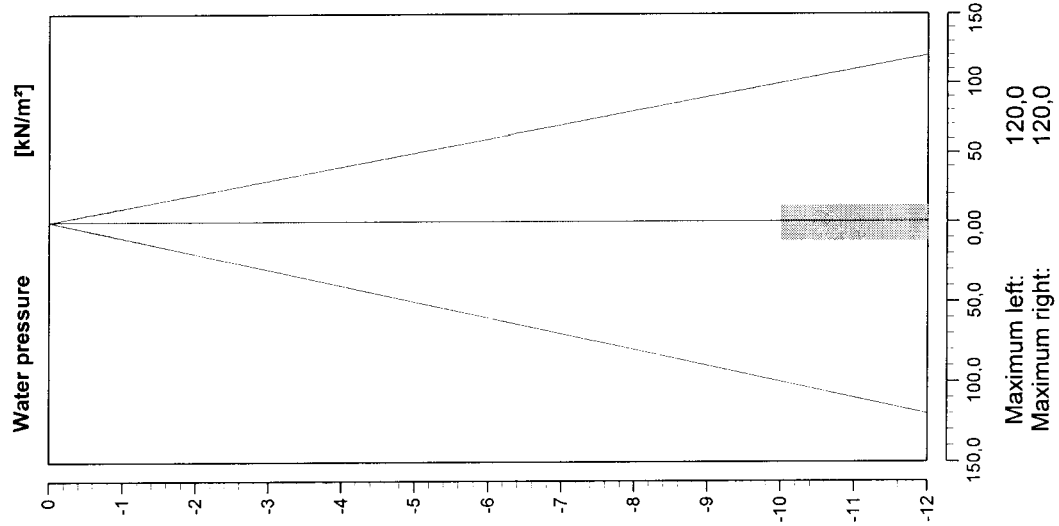
MSheet 5.4 : run2l.shi

Annex -

form.

A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

drw.

9-1-02

-

Bijlage 6R
K uit PLAXIS 3D en grondverpl. + 11 mm, s= 1,0

ctr.

MSheet 5.4 : run2l.shi

form.

Annex -

A4

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6R**
: K uit PLAXIS 3D en grondverpl. + 11 mm, s= 1,0

Date : 9-1-02
Time : 9:59:19

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run21.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run21.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run21.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From - [m]	To	Stiffness EI [kNm2/m"]	Acting width [m]
1	0.00 -	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.38
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	3.12

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 917.00 1224.00

Soil layer properties : zand

```

-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.22
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion : 0.00 [kN/m2] Kp : 7.25
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                            [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
  
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```

-----
Surface LEFT : (Surface no. 1)                      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate    Y-coordinate    Point X-coordinate    Y-coordinate
no.    [m] from PILE    [m] from level    no.    [m] from PILE    [m] from level
1            0.00            0.00            1            0.00            0.00
  
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```

-----
Layer Soil layer    Level top side    Wosp-T    Wosp-B
no    Name            soil layer [m]    [kN/m2]    [kN/m2]
1      klei            0.00            0.00       0.00
2      zand            -10.00           0.00       0.00
  
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.051
  3        -4.00       0.057
  4        -6.00       0.053
  5        -8.00       0.042
  6       -10.00       0.020
  7       -12.00       0.016
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 4

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str Stat| Ef.Str Stat| WatStL WatStR
no   m      mm   kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   % | kN/m2  kN/m2
-----|-----|-----|-----
  1  0.00   57.1    0.0   -0.0 |  0.00 A  |  0.00 P  |  0.00  0.00
  2 -0.50   56.4    0.2    1.0 |  1.52 A  | 12.48 P  |  5.00  5.00
  2 -0.50   56.4    0.2    1.0 |  1.52 A  | 12.48 P  |  5.00  5.00
  3 -1.00   55.7    1.3    3.8 |  3.04 A  | 24.96 P  | 10.00 10.00
  3 -1.00   55.7    1.3    3.8 |  3.04 A  | 24.96 P  | 10.00 10.00
  4 -1.50   55.0    4.2    7.9 |  4.56 A  | 23.61 63| 15.00 15.00
  4 -1.50   55.0    4.2    7.9 |  4.56 A  | 23.61 63| 15.00 15.00
  5 -2.00   54.3    8.8   10.2 |  6.68   | 13.16 26| 20.00 20.00
  5 -2.00   54.3    8.8   10.2 |  6.68   | 13.16 26| 20.00 20.00
  6 -2.50   53.5   14.1   10.9 | 11.37   | 13.43 22| 25.00 25.00
  6 -2.50   53.5   14.1   10.9 | 11.37   | 13.43 22| 25.00 25.00
  7 -3.00   52.7   19.6   10.9 | 16.22 22| 13.54   | 30.00 30.00
  7 -3.00   52.7   19.6   10.9 | 16.22 22| 13.54   | 30.00 30.00
  8 -3.50   51.7   24.9   10.0 | 21.26 24| 13.46   | 35.00 35.00
  8 -3.50   51.7   24.9   10.0 | 21.26 24| 13.46   | 35.00 35.00
  9 -4.00   50.6   29.4    8.1 | 26.53 27| 13.15   | 40.00 40.00
  9 -4.00   50.6   29.4    8.1 | 26.53 27| 13.15   | 40.00 40.00
  
```

10	-4.50	49.3	32.9	5.7		29.43	26	15.21		45.00	45.00
10	-4.50	49.3	32.9	5.7		29.43	26	15.21		45.00	45.00
11	-5.00	47.8	35.1	3.1		32.55	26	17.05		50.00	50.00
11	-5.00	47.8	35.1	3.1		32.55	26	17.05		50.00	50.00
12	-5.50	46.1	36.0	0.3		35.91	26	18.65		55.00	55.00
12	-5.50	46.1	36.0	0.3		35.91	26	18.65		55.00	55.00
13	-6.00	44.1	35.3	-3.0		39.53	26	19.99		60.00	60.00
13	-6.00	44.1	35.3	-3.0		39.53	26	19.99		60.00	60.00
14	-6.50	42.0	33.0	-6.3		41.46	26	23.02		65.00	65.00
14	-6.50	42.0	33.0	-6.3		41.46	26	23.02		65.00	65.00
15	-7.00	39.7	29.1	-9.4		43.59	25	25.85		70.00	70.00
15	-7.00	39.7	29.1	-9.4		43.59	25	25.85		70.00	70.00
16	-7.50	37.2	23.6	-12.5		45.90	25	28.50		75.00	75.00
16	-7.50	37.2	23.6	-12.5		45.90	25	28.50		75.00	75.00
17	-8.00	34.5	16.6	-15.5		48.37	24	30.99		80.00	80.00
17	-8.00	34.5	16.6	-15.5		48.37	24	30.99		80.00	80.00
18	-8.50	31.8	8.1	-18.0		47.72	22	36.60		85.00	85.00
18	-8.50	31.8	8.1	-18.0		47.72	22	36.60		85.00	85.00
19	-9.00	29.0	-1.3	-19.4		47.03	21	42.25		90.00	90.00
19	-9.00	29.0	-1.3	-19.4		47.03	21	42.25		90.00	90.00
20	-9.50	26.2	-11.1	-19.7		46.26		47.98	20	95.00	95.00
20	-9.50	26.2	-11.1	-19.7		46.26		47.98	20	95.00	95.00
21	-10.00	23.5	-20.8	-18.8		45.32		53.88	22	100.00	100.00
21	-10.00	23.5	-20.8	-18.8		17.60 A		207.97	36	100.00	100.00
22	-10.50	20.9	-23.0	7.6		18.92 A		131.51	21	105.00	105.00
22	-10.50	20.9	-23.0	7.6		18.92 A		131.51	21	105.00	105.00
23	-11.00	18.4	-15.4	21.0		20.24 A		61.64	9	110.00	110.00
23	-11.00	18.4	-15.4	21.1		20.24 A		61.64	9	110.00	110.00
24	-11.50	16.1	-4.9	17.7		88.03	12	21.56 A		115.00	115.00
24	-11.50	16.1	-4.9	17.6		88.03	12	21.56 A		115.00	115.00
25	-12.00	13.7	0.0	0.0		157.00	21	22.88 A		120.00	120.00

Maxima :		57.1	36.0	22.2							

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right

Effective :	137.35	137.35
Water :	252.00	252.00
Total :	389.35	389.35

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 15.2 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 15.2 %

Vertical force balance

Vertical force active : -67.59 [kN/m"]
Vertical force passive : 72.97 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 5.38 [kN/m"]

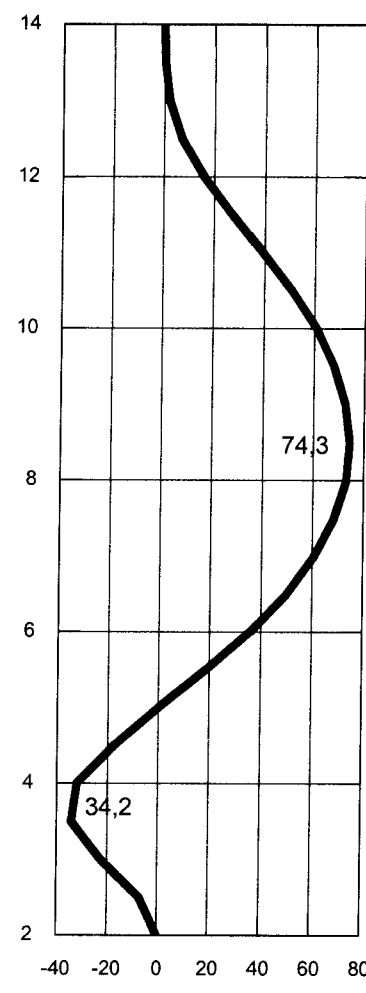
Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

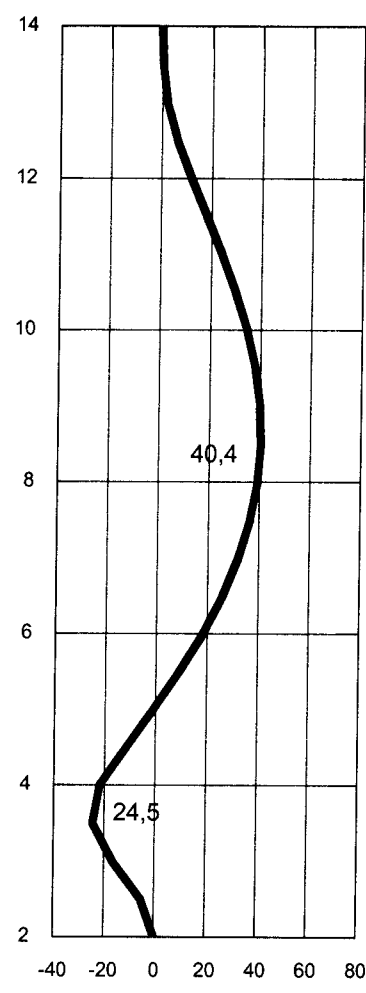
Displacement : 57.1 [mm]
Moment : 36.0 [kNm/m"]
Shear force : 22.2 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----



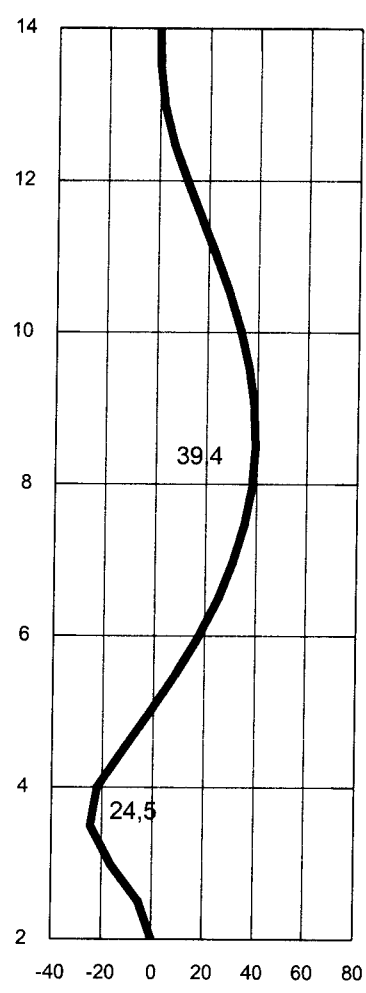
M [kNm]

38,4



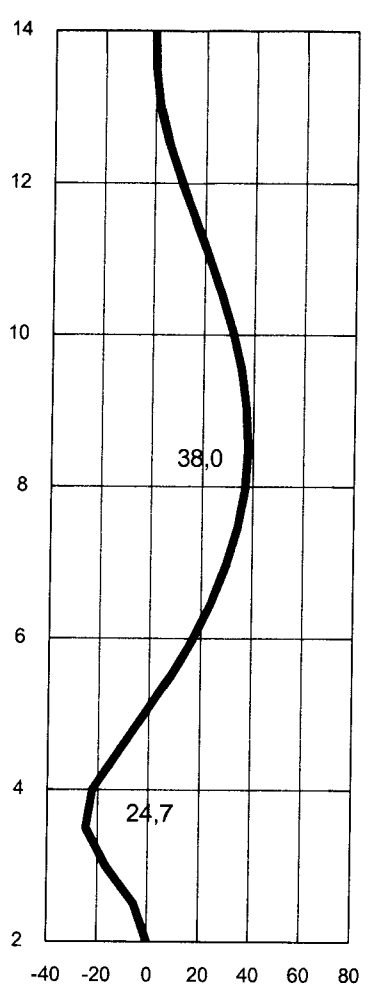
M [kNm]

42,7



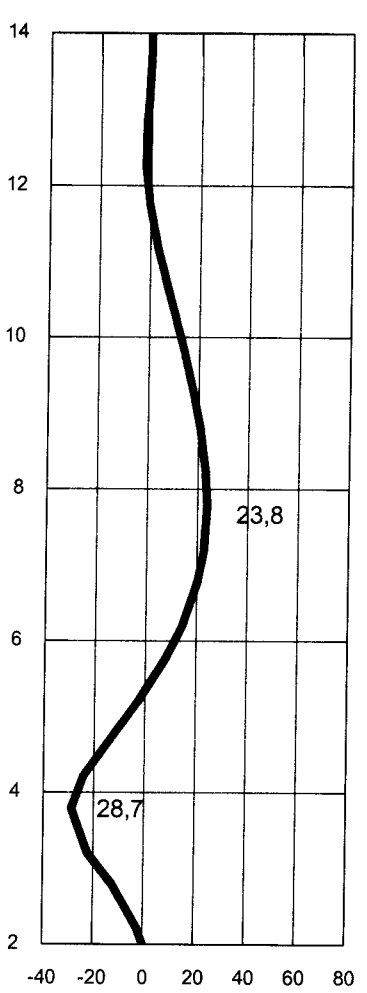
M [kNm]

43,5



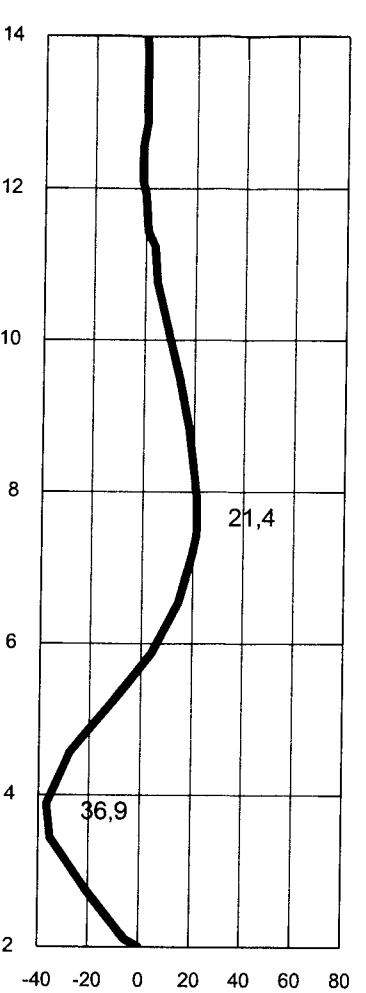
M [kNm]

44,6



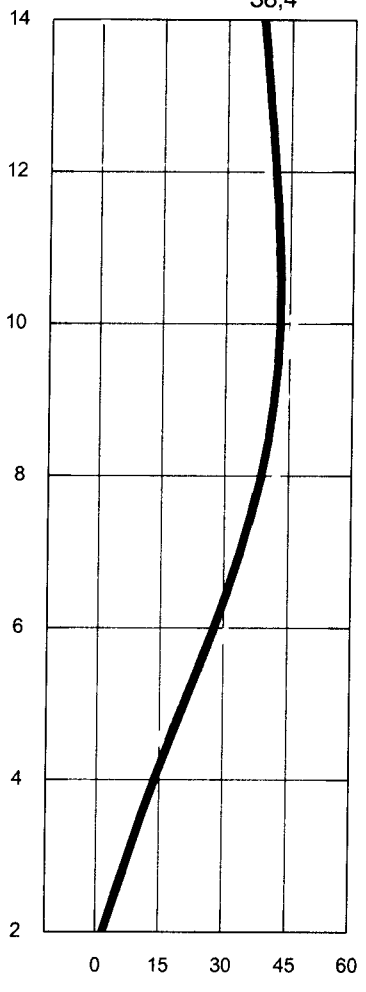
M [kNm]

73,3

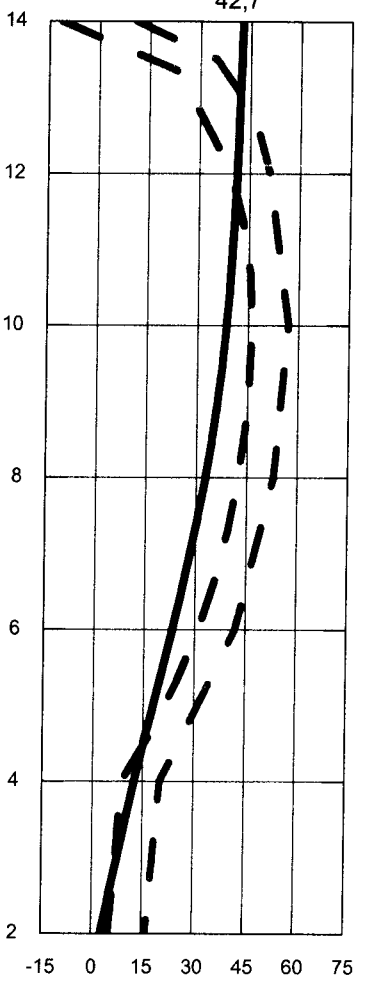


M [kNm]

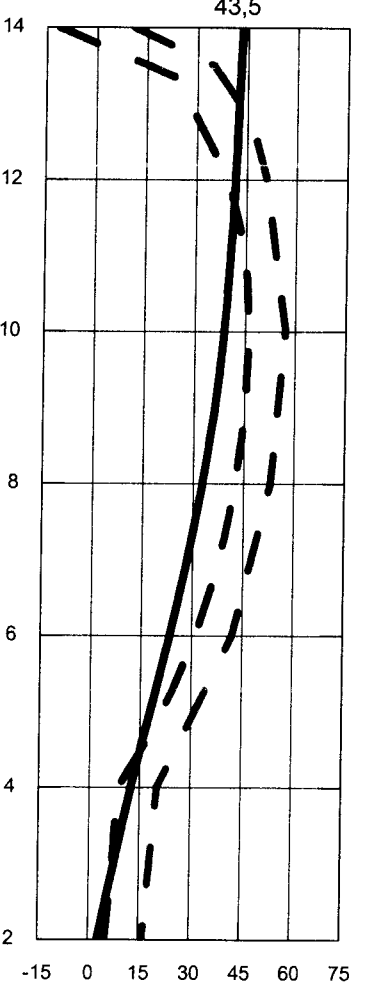
74,9



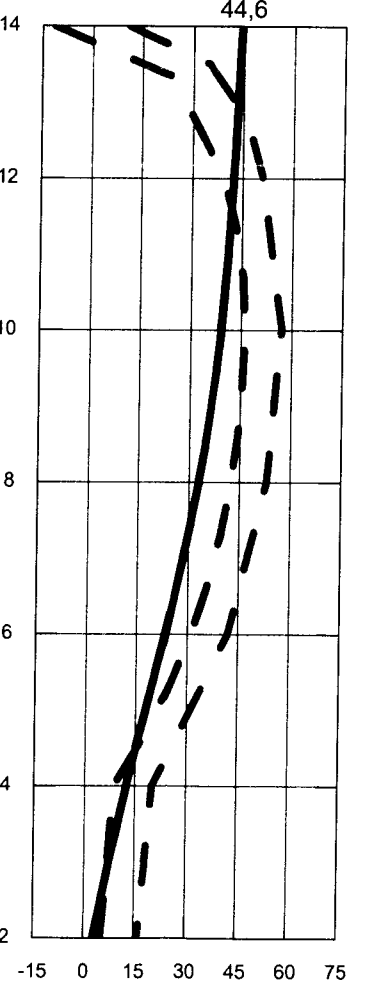
u [mm]
Run 2b
MSHEET



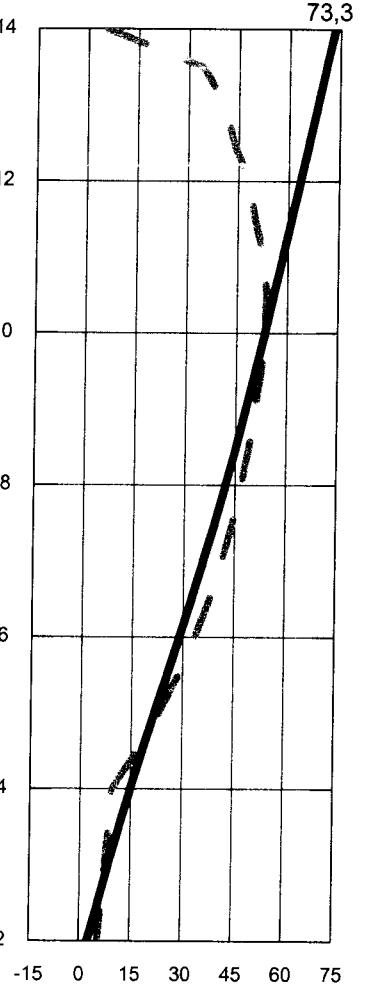
u [mm]
Run 2_5
MSHEET



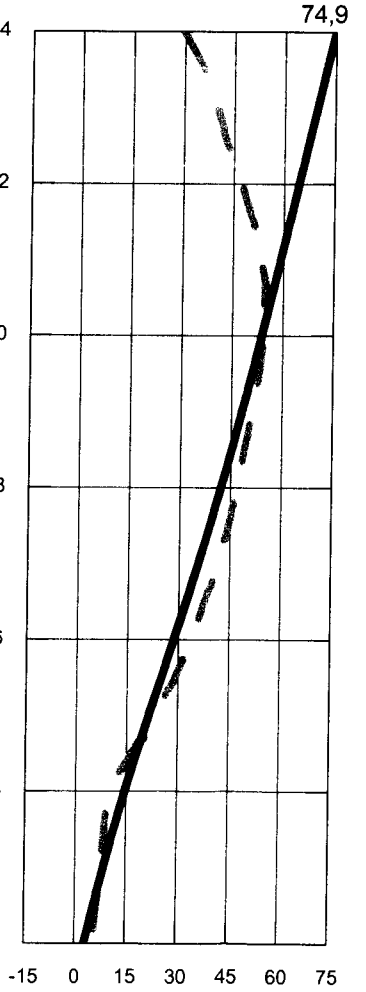
u [mm]
Run 2_6
MSHEET



u [mm]
Run 2_13
MSHEET



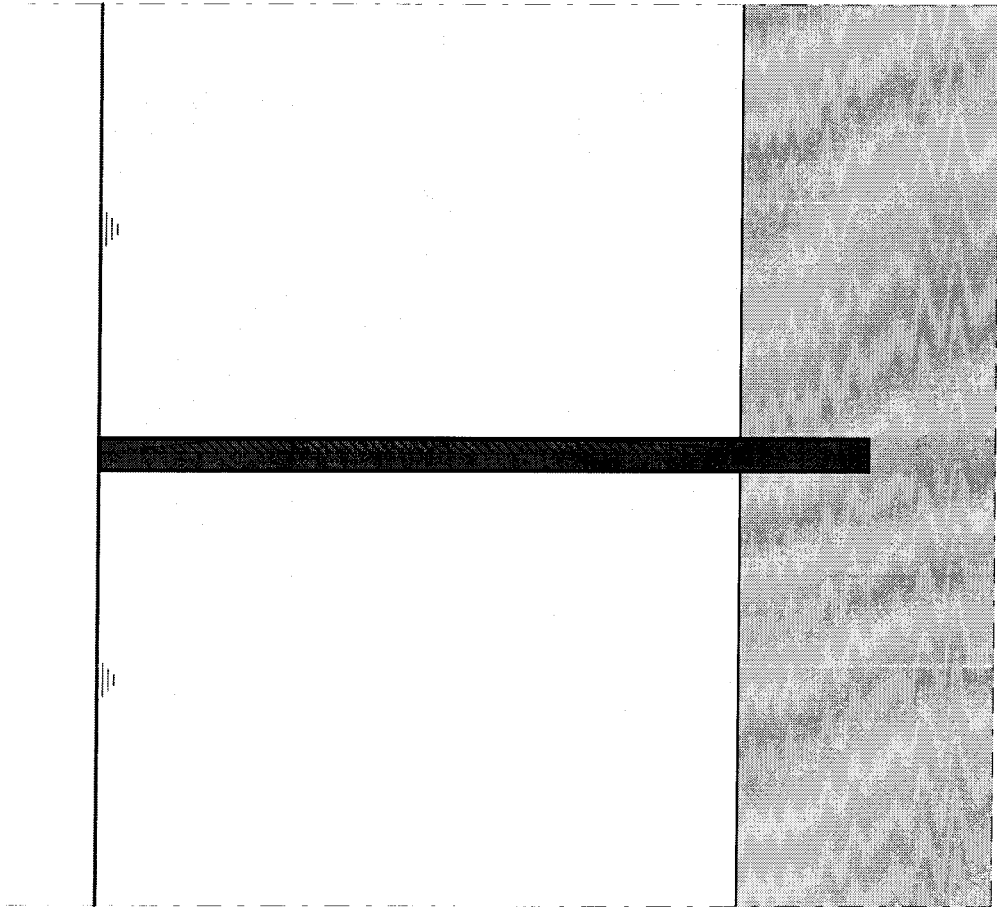
u [mm]
Run 6b
PL3D_balk




u [mm]
Run 7a
PL3D_volume

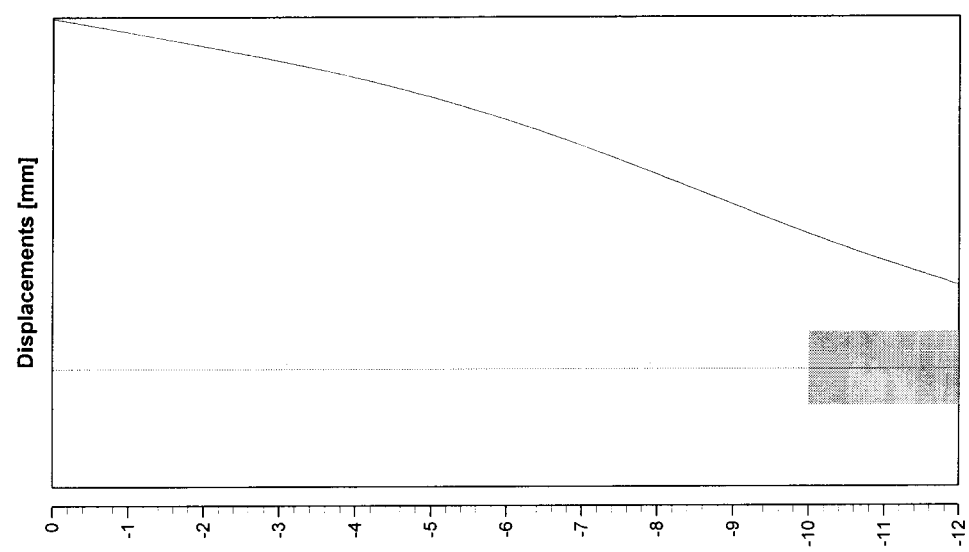
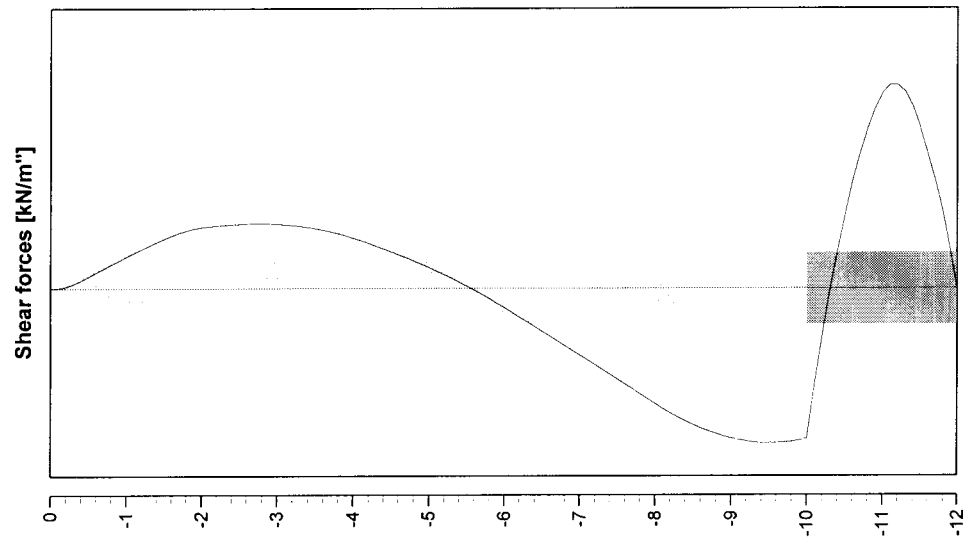
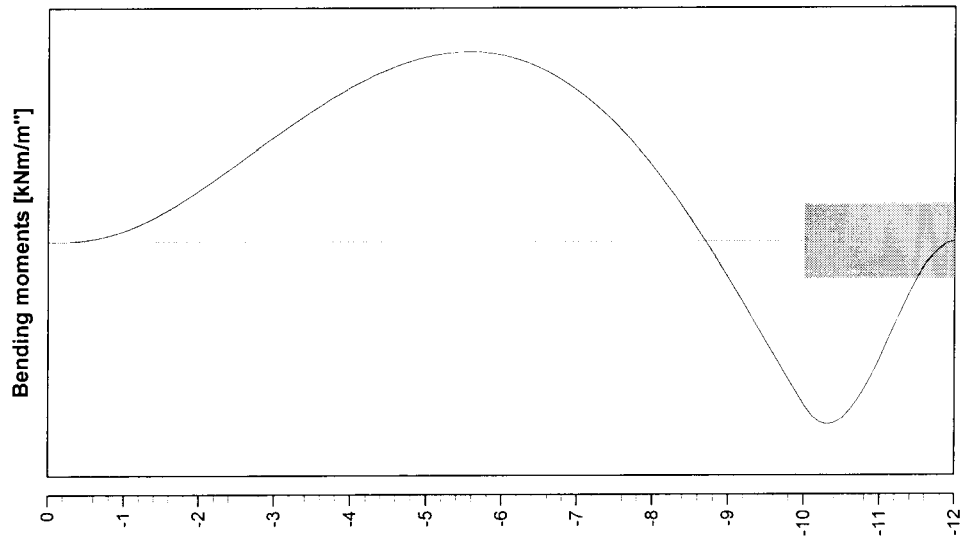
- = paalverplaatsing
- = grondverplaatsing uit PLAXIS 2D
- = grondverplaatsing ingevoerd in MSHEET
- = grondverplaatsing oorspronkelijk in MSHEET
- = grondverplaatsing uit PLAXIS 3D

Outline view - Stage: New Stage



	Phone Fax	date 9-1-02	drw. -
Bijlage 6T K voor punt M = 459 en s uit PLAXIS 3D	-	ctr.	-
MSheet 5.4 : run2_19.shi	Annex -	form. A4	-

Forces and Displacements - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

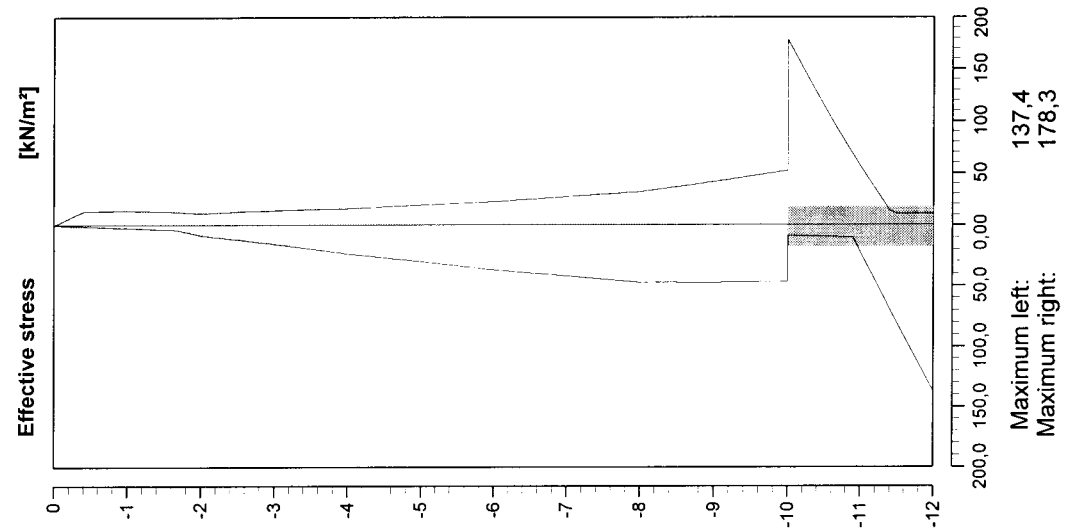
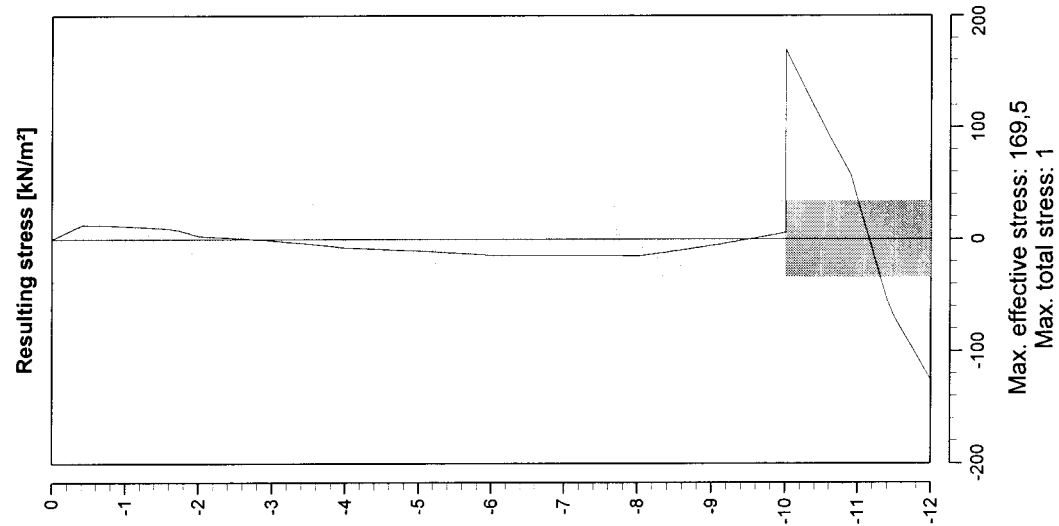
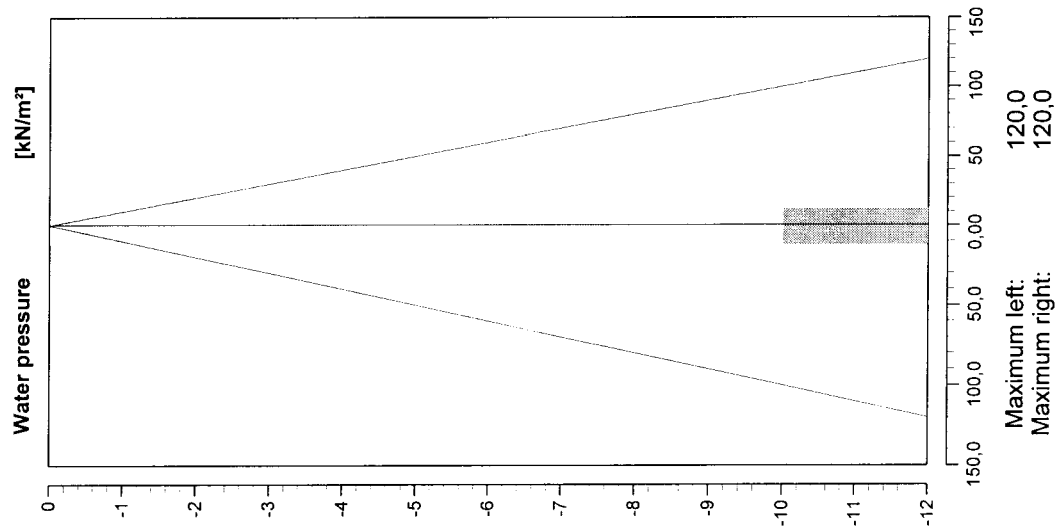
Bijlage 6T
K voor punt M = 459 en s uit PLAXIS 3D
MSheet 5.4 : run2_19.shi

Annex -

form.

A4

Stress states - Stage: New Stage



Phone
Fax

date

9-1-02

drw.

-

Bijlage 6T
K voor punt M = 459 en s uit PLAXIS 3D

Annex -

ctr.

form.
A4

MSheet 5.4 : run2_19.shi

Program : MSheet
Version : 5.4.8.2
License :
Company : GeoDelft

Problem identification : **Bijlage 6T**
: K voor punt M = 459 en s uit PLAXIS 3D

Date : 9-1-02
Time : 10:03:18

Output file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_19.sho
Input file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_19.shi
Drawing data file : F:\..\Afstud\H6_MSHEET\nieuw\run2_19.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Number of curves on spring characteristic: 1
Unloading curve on spring characteristic : No
Number of construction stages : 1
Unit weight of water : 10.00 [kN/m3]

Sheet piling properties

Length : 12.00 [m]
Level top side : 0.00 [m]
Number section : 1

Section no	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Acting width [m]
1	0.00	-12.00	4.186E+0004	0.35

Soil layer properties : klei

Unit weight unsat.	:	15.00 [kN/m3]	Ka	:	0.28
saturated	:	18.00 [kN/m3]	Ko	:	0.62
Cohesion	:	0.00 [kN/m2]	Kp	:	4.24

Shaft friction delta : 22.50 [degrees]
 Phi : 22.50 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 200.00 1000.00

Soil layer properties : zand

```
-----
Unit weight unsat. : 20.00 [kN/m3] Ka : 0.11
                   saturated : 22.00 [kN/m3] Ko : 0.43
Cohesion           : 0.00 [kN/m2] Kp : 14.50
Shaft friction delta : 35.00 [degrees]
Phi                 : 35.00 [degrees]
Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
                   [kN/m3] K[1] 49600.00 49600.00
-----
```

 ----- C O N S T R U C T I O N S T A G E 1 -----

Echo of the stage data

```
-----
Surface LEFT : (Surface no. 1)      Surface RIGHT : (Surface no. 2)
-----
Point X-coordinate    Y-coordinate    Point X-coordinate    Y-coordinate
no.    [m] from PILE    [m] from level    no.    [m] from PILE    [m] from level
  1            0.00            0.00    1            0.00            0.00
-----
```

Water level left / right : 0.00 / 0.00 [m]

Soil properties LEFT & RIGHT : (Soil profile New Profile)

```
-----
Layer Soil layer      Level top side      Wosp-T      Wosp-B
no      Name            soil layer [m]      [kN/m2]      [kN/m2]
  1      klei            0.00            0.00            0.00
  2      zand            -10.00           0.00            0.00
-----
```

Used method on the left side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Used method on the right side of the sheet piling: Ka,Ko,Kp

Soil displacements :

```

-----
Point   Level [m]   Displ. [m]
  1         0.00       0.000
  2        -2.00       0.051
  3        -4.00       0.057
  4        -6.00       0.053
  5        -8.00       0.042
  6       -10.00       0.020
  7       -12.00       0.016
  
```

Calculation results of construction stage : 1

Number of iteration : 3

```

-----
Nd  Level   Displ  Moment  ShearF | Ef.Str  Stat| Ef.Str  Stat| WatStL  WatStR
no   m      mm    kNm/m"  kN/m"  | kN/m2   %| kN/m2   %| kN/m2   kN/m2
-----|-----|-----|-----
 1  0.00    59.7   -0.0    0.0 |  0.00  A  |  0.00  P  |  0.00   0.00
 2 -0.50    58.6    0.2    1.3 |  1.12  A  | 13.48  79|  5.00   5.00
 2 -0.50    58.6    0.2    1.3 |  1.12  A  | 13.48  79|  5.00   5.00
 3 -1.00    57.4    1.4    3.4 |  2.24  A  | 13.89  41| 10.00  10.00
 3 -1.00    57.4    1.4    3.4 |  2.24  A  | 13.89  41| 10.00  10.00
 4 -1.50    56.2    3.6    5.3 |  3.36  A  | 13.19  26| 15.00  15.00
 4 -1.50    56.2    3.6    5.3 |  3.36  A  | 13.19  26| 15.00  15.00
 5 -2.00    55.0    6.6    6.6 |  8.47   | 11.37  17| 20.00  20.00
 5 -2.00    55.0    6.6    6.6 |  8.47   | 11.37  17| 20.00  20.00
 6 -2.50    53.8   10.0    6.9 | 11.89   | 12.91  15| 25.00  25.00
 6 -2.50    53.8   10.0    6.9 | 11.89   | 12.91  15| 25.00  25.00
 7 -3.00    52.5   13.5    6.9 | 15.55  15| 14.21   | 30.00  30.00
 7 -3.00    52.5   13.5    6.9 | 15.55  15| 14.21   | 30.00  30.00
 8 -3.50    51.1   16.9    6.4 | 19.47  16| 15.25   | 35.00  35.00
 8 -3.50    51.1   16.9    6.4 | 19.47  16| 15.25   | 35.00  35.00
 9 -4.00    49.6   19.8    5.4 | 23.68  17| 16.00   | 40.00  40.00
 9 -4.00    49.6   19.8    5.4 | 23.68  17| 16.00   | 40.00  40.00
  
```

10	-4.50	48.0	22.2	3.9		26.79	18	17.85		45.00	45.00
10	-4.50	48.0	22.2	3.9		26.79	18	17.85		45.00	45.00
11	-5.00	46.3	23.7	2.2		30.03	18	19.57		50.00	50.00
11	-5.00	46.3	23.7	2.2		30.03	18	19.57		50.00	50.00
12	-5.50	44.4	24.4	0.3		33.42	18	21.14		55.00	55.00
12	-5.50	44.4	24.4	0.3		33.42	18	21.14		55.00	55.00
13	-6.00	42.4	23.9	-2.1		36.97	18	22.55		60.00	60.00
13	-6.00	42.4	23.9	-2.1		36.97	18	22.55		60.00	60.00
14	-6.50	40.2	22.3	-4.6		39.45	18	25.03		65.00	65.00
14	-6.50	40.2	22.3	-4.6		39.45	18	25.03		65.00	65.00
15	-7.00	37.9	19.3	-7.1		41.99	18	27.45		70.00	70.00
15	-7.00	37.9	19.3	-7.1		41.99	18	27.45		70.00	70.00
16	-7.50	35.5	15.1	-9.7		44.58	18	29.82		75.00	75.00
16	-7.50	35.5	15.1	-9.7		44.58	18	29.82		75.00	75.00
17	-8.00	33.0	9.6	-12.3		47.21	17	32.15		80.00	80.00
17	-8.00	33.0	9.6	-12.3		47.21	17	32.15		80.00	80.00
18	-8.50	30.5	2.9	-14.5		47.46	16	36.86		85.00	85.00
18	-8.50	30.5	2.9	-14.5		47.46	16	36.86		85.00	85.00
19	-9.00	27.9	-4.8	-16.0		47.48	16	41.80		90.00	90.00
19	-9.00	27.9	-4.8	-16.0		47.48	16	41.80		90.00	90.00
20	-9.50	25.4	-12.9	-16.5		47.25	15	46.99		95.00	95.00
20	-9.50	25.4	-12.9	-16.5		47.25	15	46.99		95.00	95.00
21	-10.00	22.9	-21.1	-16.0		46.70		52.50	15	100.00	100.00
21	-10.00	22.9	-21.1	-16.0		8.80 A		178.29	15	100.00	100.00
22	-10.50	20.6	-22.7	7.9		9.46 A		114.28	9	105.00	105.00
22	-10.50	20.6	-22.7	7.9		9.46 A		114.28	9	105.00	105.00
23	-11.00	18.3	-15.0	20.8		22.35		56.77	4	110.00	110.00
23	-11.00	18.3	-15.0	20.9		22.35		56.77	4	110.00	110.00
24	-11.50	16.2	-4.7	17.3		80.64	6	10.78 A		115.00	115.00
24	-11.50	16.2	-4.7	17.1		80.64	6	10.78 A		115.00	115.00
25	-12.00	14.1	0.0	0.0		137.39	9	11.44 A		120.00	120.00

-----|
Maxima : 59.7 24.4 21.8 |

Horizontal soil pressure on the sheet piling [kN/m"]

	Left	Right
Effective :	128.11	128.11
Water :	252.00	252.00
Total :	380.11	380.11

No passive side found of the sheet piling.

Left Effect.resistance/max.passive resistance : 8.4 %
Right Effect.resistance/max.passive resistance : 8.4 %

Vertical force balance

Vertical force active : -62.12 [kN/m"]
Vertical force passive : 66.71 [kN/m"]
Resulting vertical force (no dead weight) : 4.59 [kN/m"]

Vertical force passive/active is horizontal force passive/active side times
tangent(delta)

A minus sign means a downward force.

Maxima of all construction stages

Displacement : 59.7 [mm]
Moment : 24.4 [kNm/m"]
Shear force : 21.8 [kN/m"]

----- End of MSheet output file -----

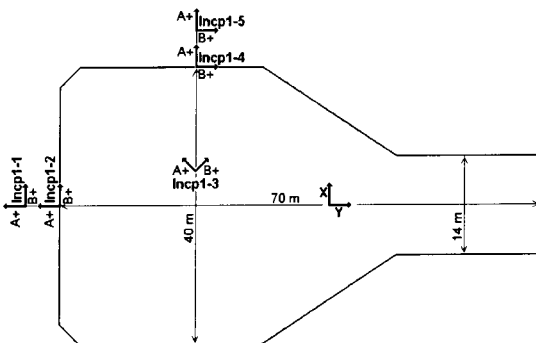
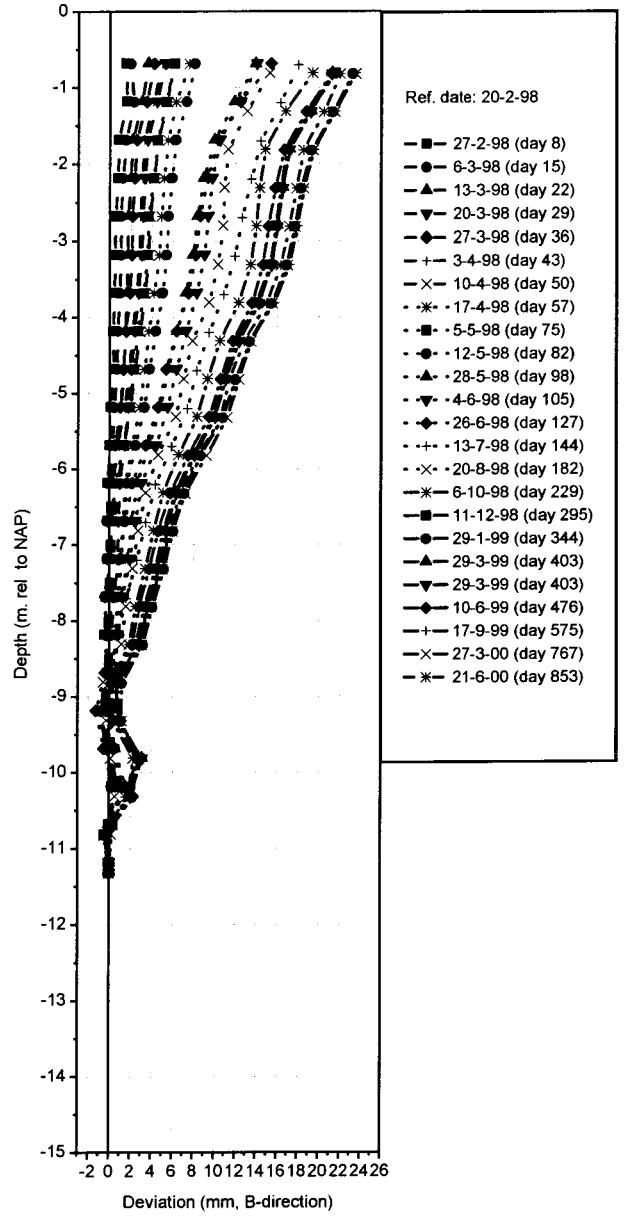
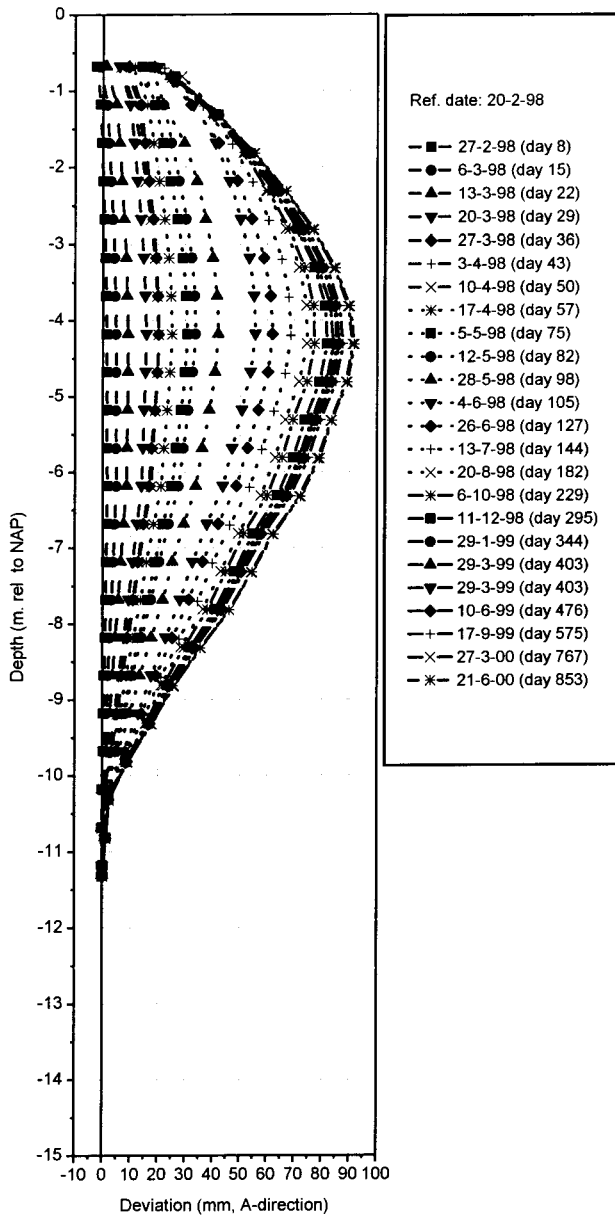
BIJLAGEN HOOFDSTUK 7

		filenaam
BIJLAGE 7A	overzicht metingen HW1	
BIJLAGE 7B	grondparameters door derden geleverd	hw1aa
BIJLAGE 7C	zettingen gefit	
BIJLAGE 7D	grondparameters "gefitte" berekening	hw1b(basis)
BIJLAGE 7E	Mohr-Coulomb berekening	hw1b_6
BIJLAGE 7F	Soft Soil Creep berekening ("best fit")	hw1c
BIJLAGE 7G	overzicht van alle grondparameters	

Overzicht van rekenbestanden in hoofdstuk 7

Omschrijving	Type	file
Grondparameters door derden aangeleverd, Soft Soil Creep model	PLAXIS 2D	hw1aa
Grondparameters van "gefitte" berekening, Soft Soil Creep model	PLAXIS 2D	hw1b(basis)
Grondparameters en berekening Mohr-Coulomb grondmodel	PLAXIS 2D	hw1b_6
Best-fit berekening met Soft Soil Creep model	PLAXIS 2D	hw1c

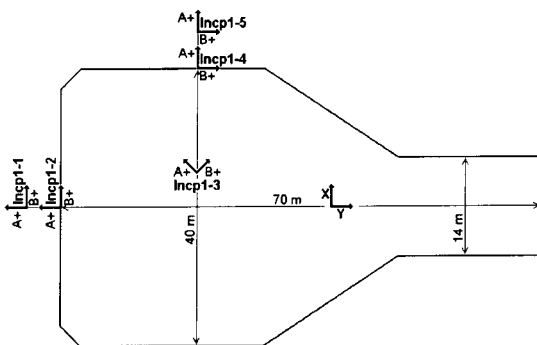
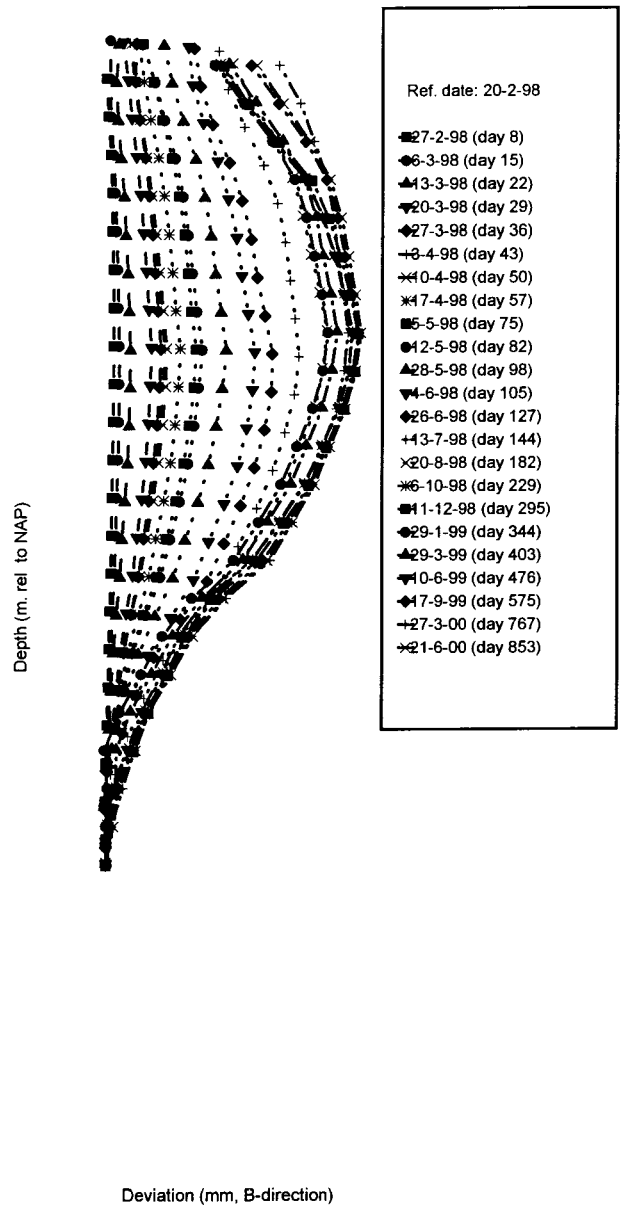
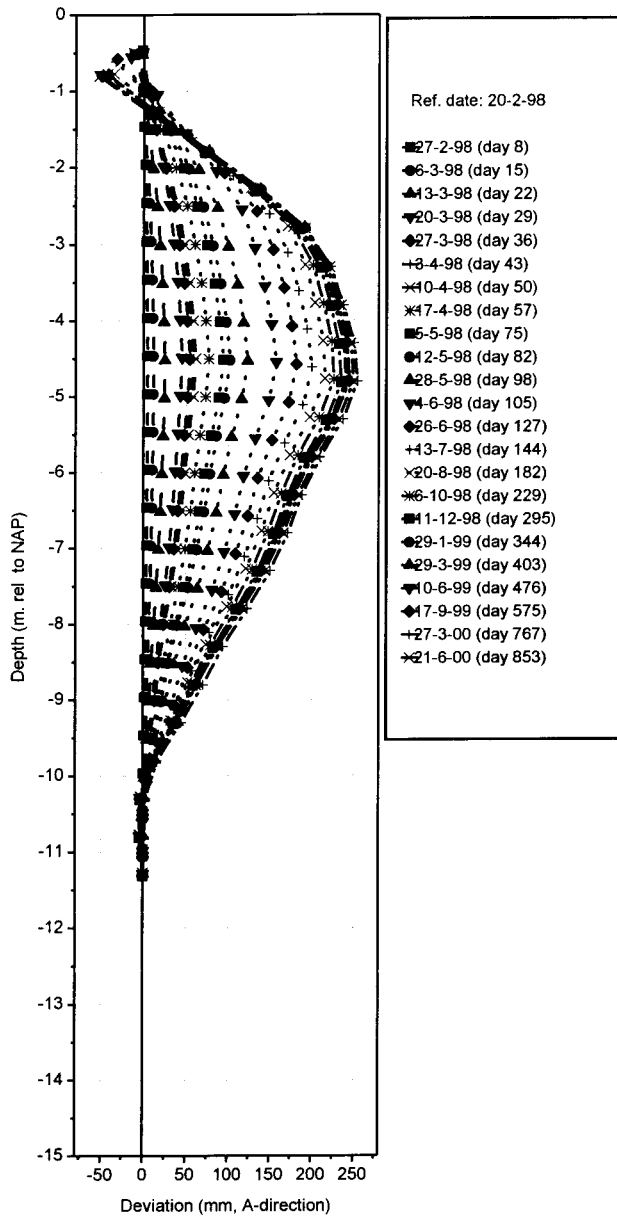
Bijlage 7A
Inclinometer 1-1



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

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

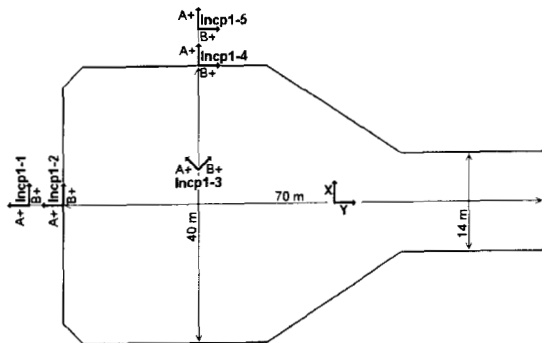
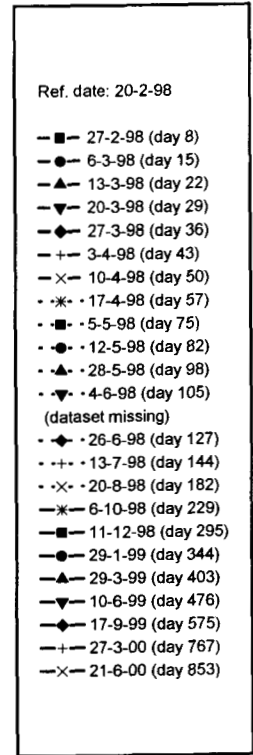
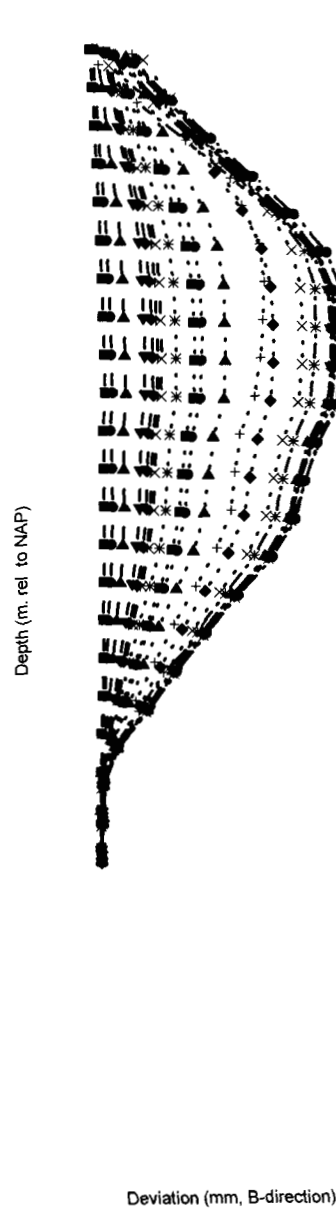
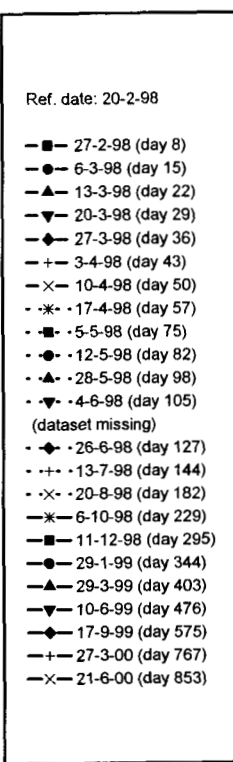
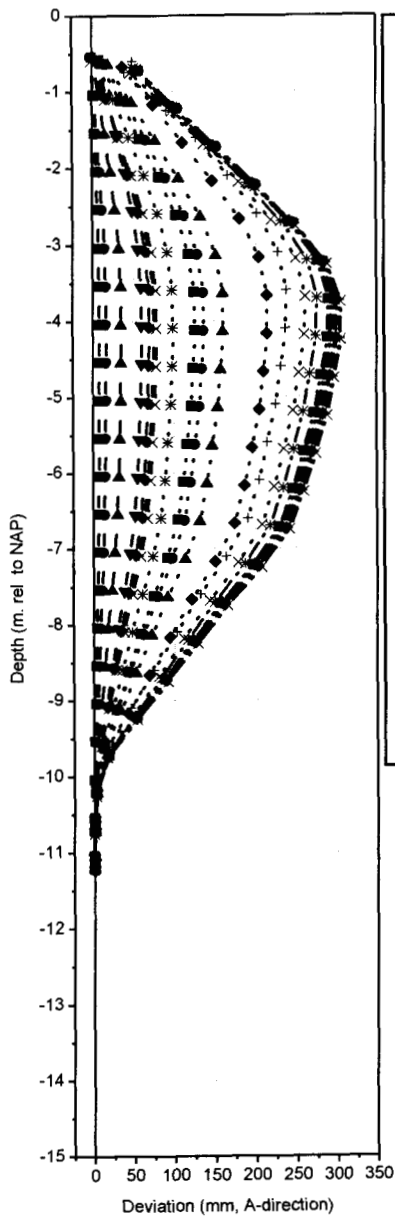
Bijlage 7A
Inclinometer 1-2



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

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

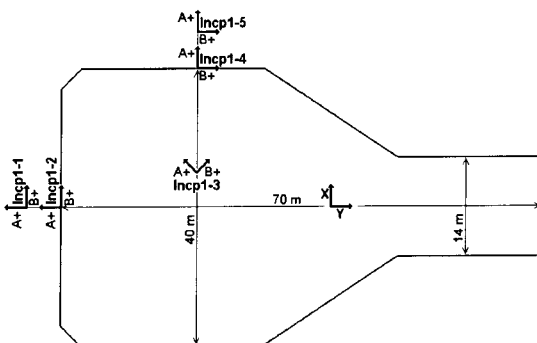
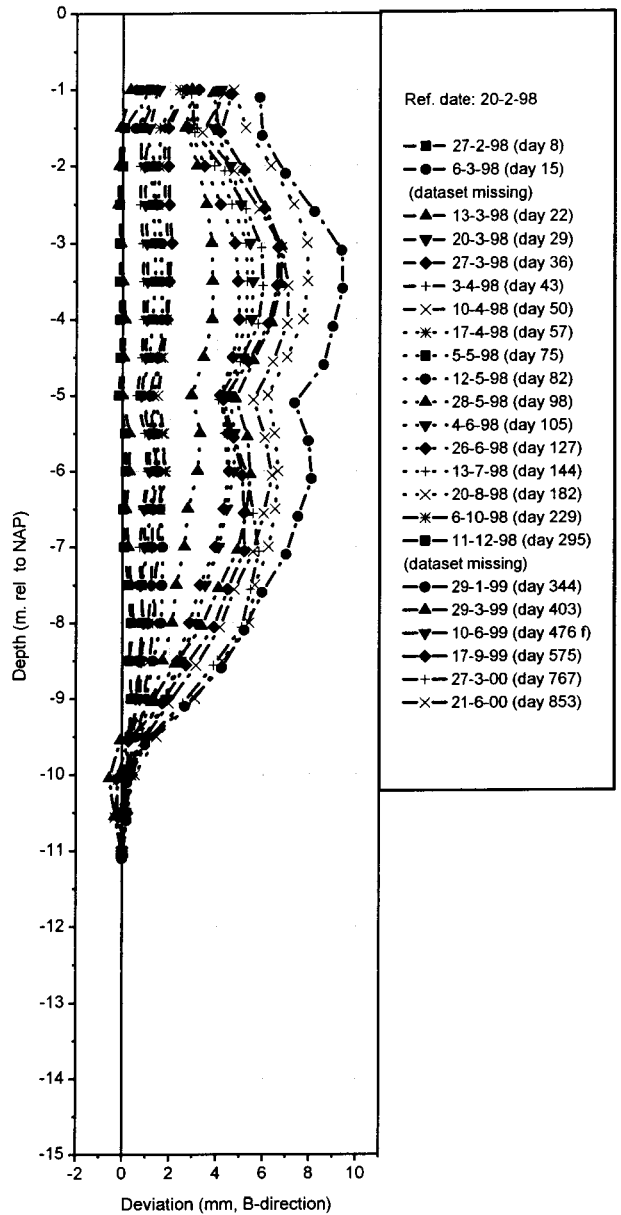
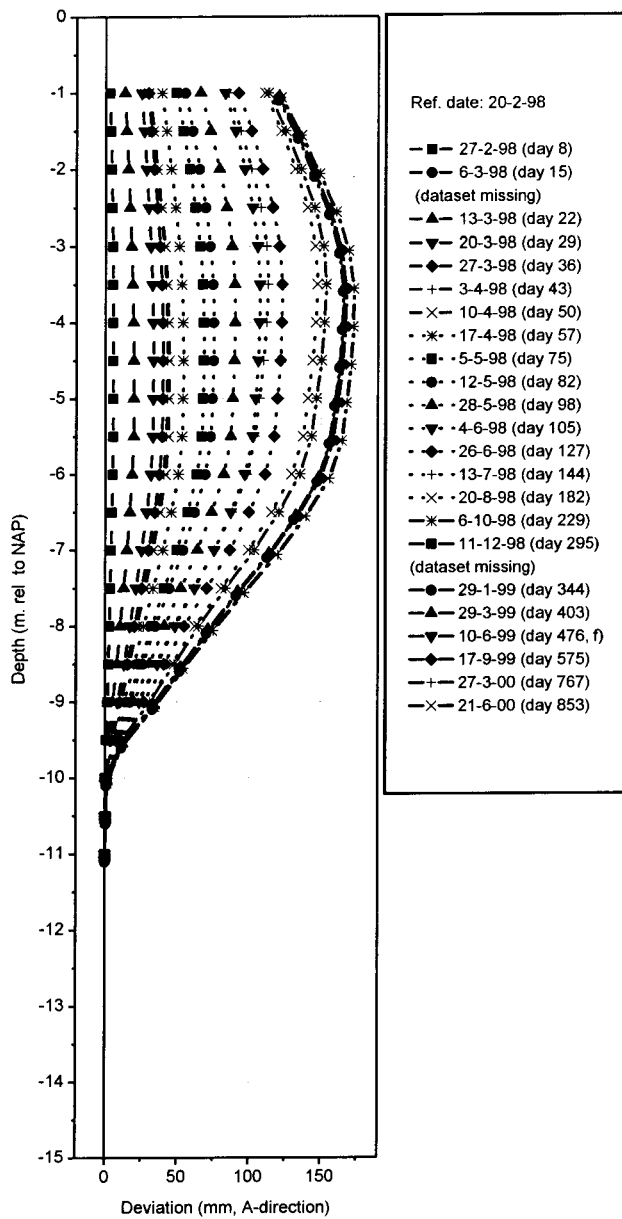
Bijlage 7A
Inclinometer 1-4



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

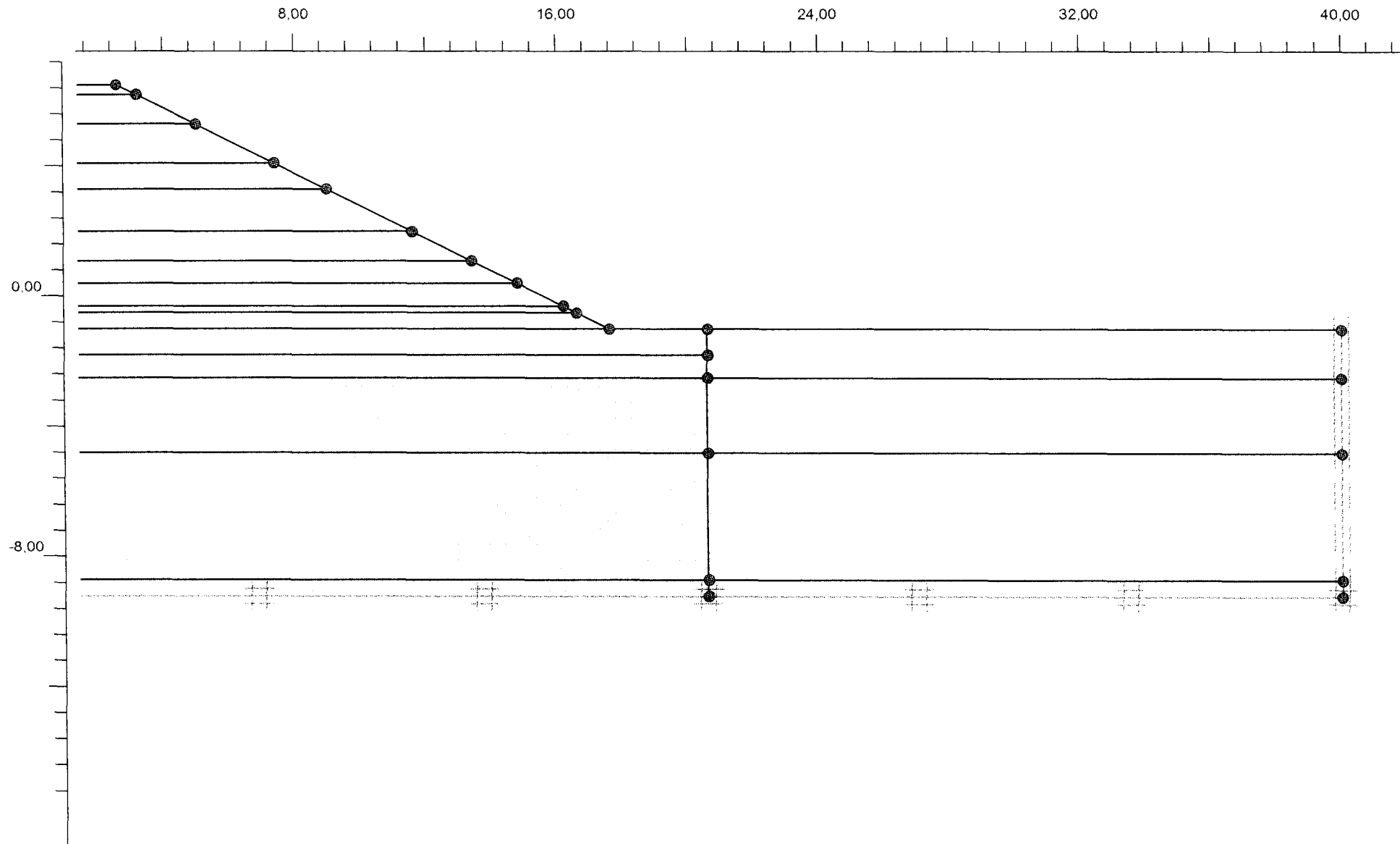
INCLINOMETERS
NO-RECESS TEST SITE HOEKSCHE WAARD, HW1
HORIZONTAL DISPLACEMENT MONITORING

Bijlage 7A
Inclinometer 1-5



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

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



Project description

Bijlage 7B: model

Project name

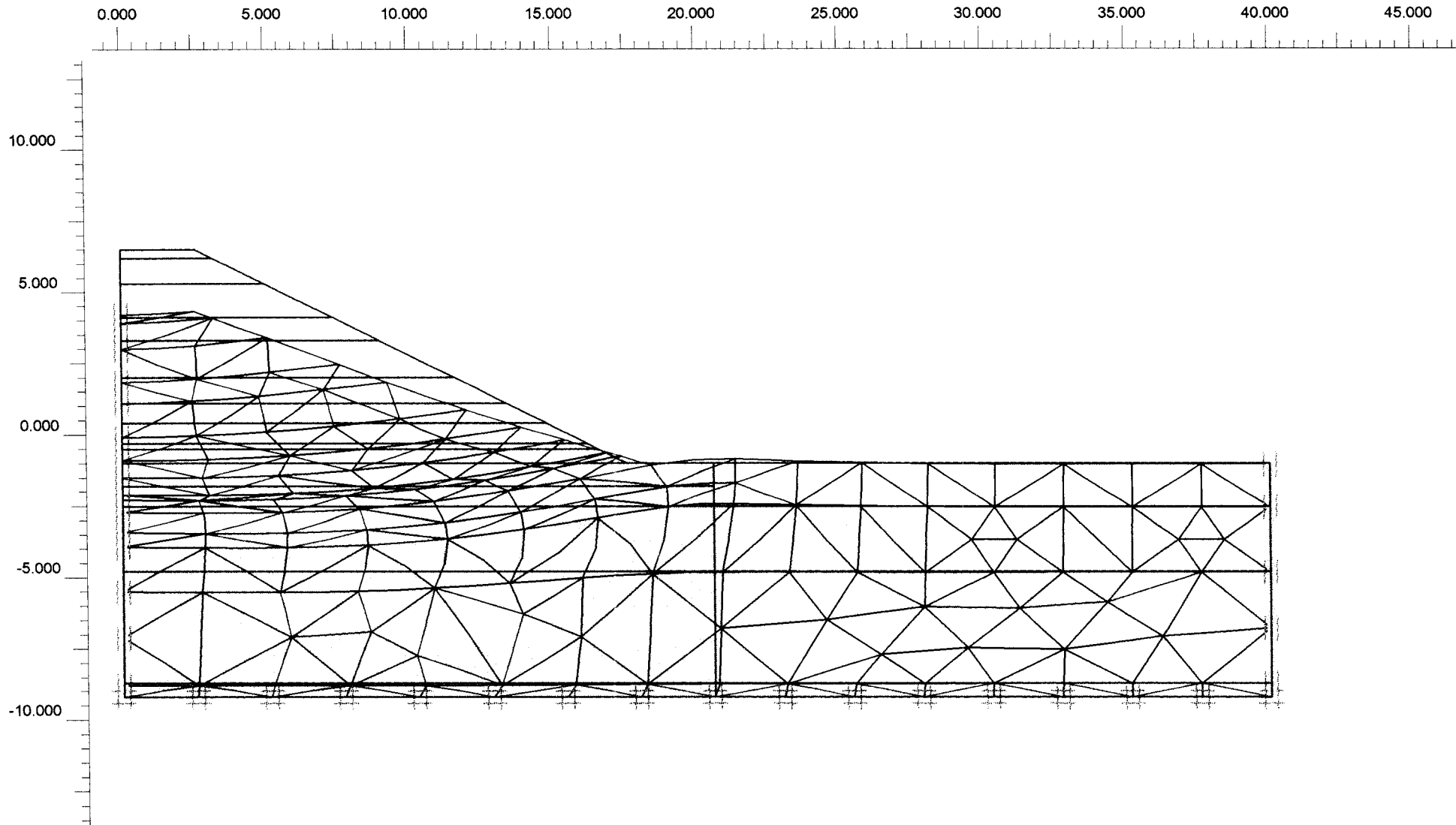
hw1aa.plx

Date

31-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement 2,31 m
 (displacements at true scale)



Project description

Bijlage 7B: deformed mesh

Project name

hw1aa

Step

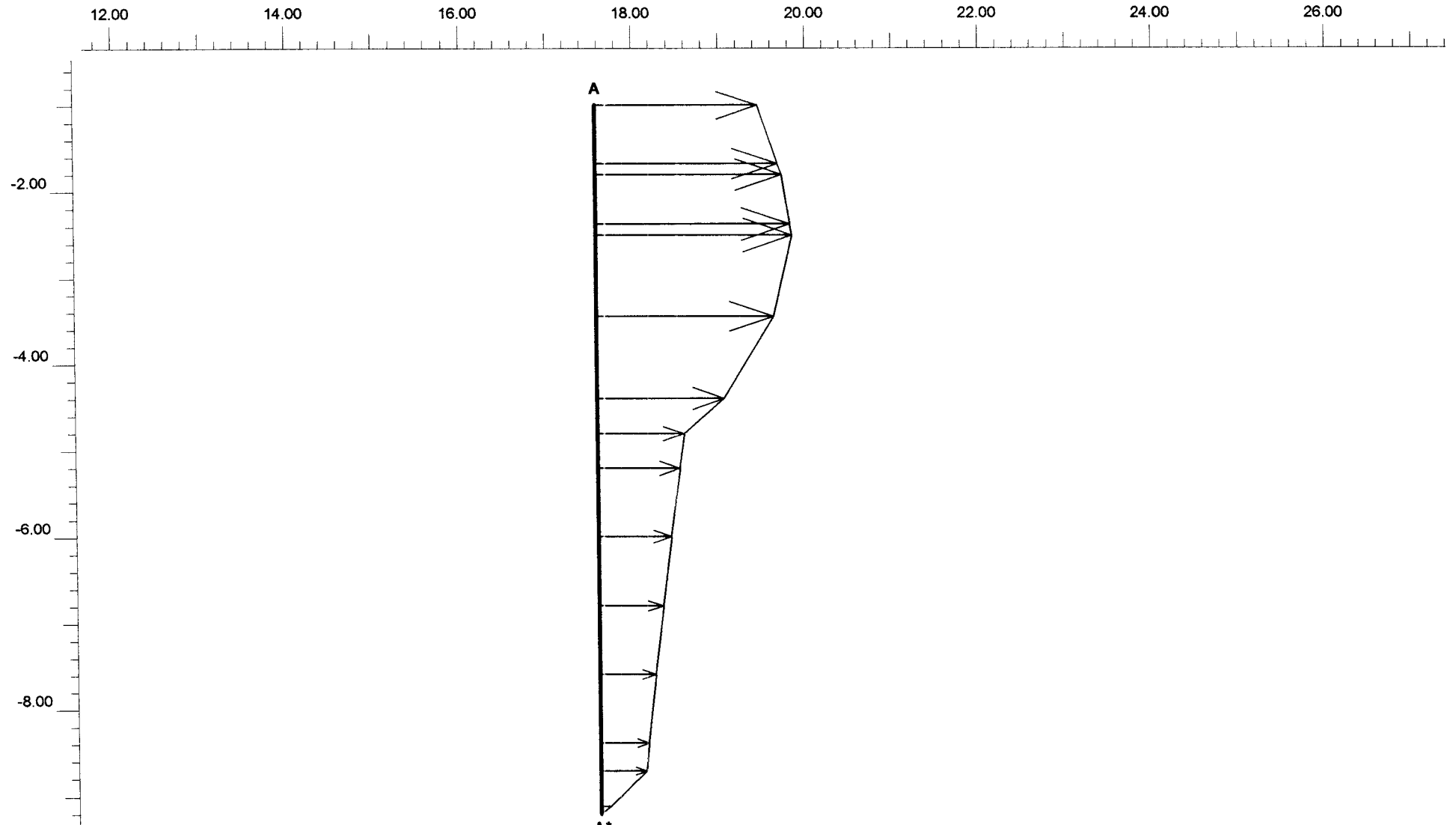
201

Date

31-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



** Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement 1,00 m



Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 7B: hor. verpl. aan teen ophoging

Project name

hw1aa

Step

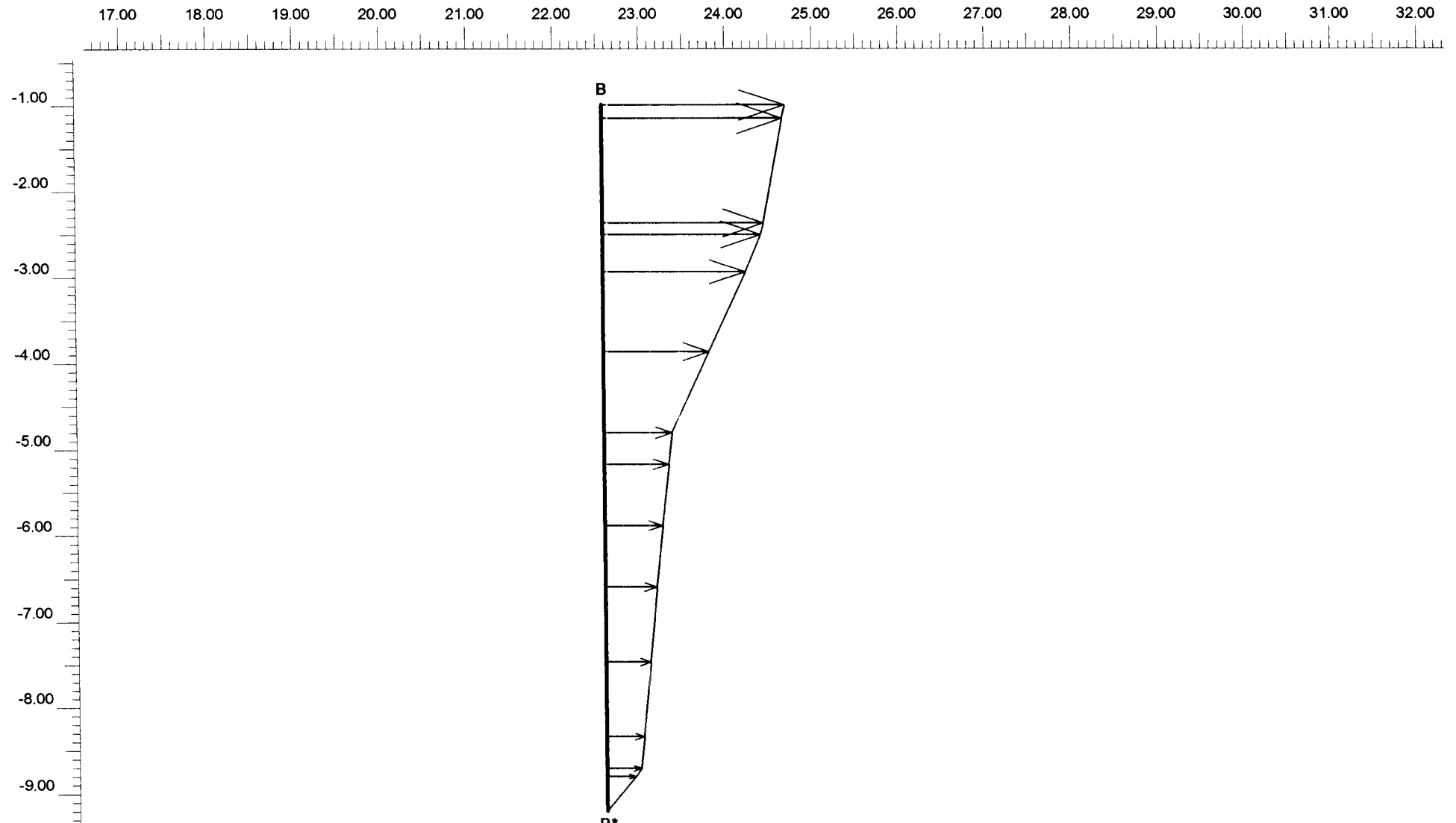
201

Date

31-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



**** Horizontal displacements**
 Extreme horizontal displacement $545,06 \cdot 10^{-3}$ m

Bijlage 7B
file hwl1aa

file	nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]	λ^* [-]	κ^* [-]	μ^* [-]	ν_{ur} [-]	$K_{\sigma_0}^{nc}$ [-]	M [-]
hwl1aa	1	MC	embankement	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2	-	-	-	-	-	-
	2	SSC	clay top dr.	undrained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,699	0,86
	3	SSC	clay top	undrained	17,0	17,0	0,000864	0,000864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,699	0,86
	4	SSC	peat lower dr.	undrained	12,5	12,5	0,43	0,43	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,879	0,57
	5	SSC	peat lower	undrained	12,5	12,5	0,043	0,043	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,879	0,57
	6	SSC	clay organic dr.	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,652	1,19
	7	SSC	clay organic	undrained	14,4	14,4	0,0000864	0,0000864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,652	1,19

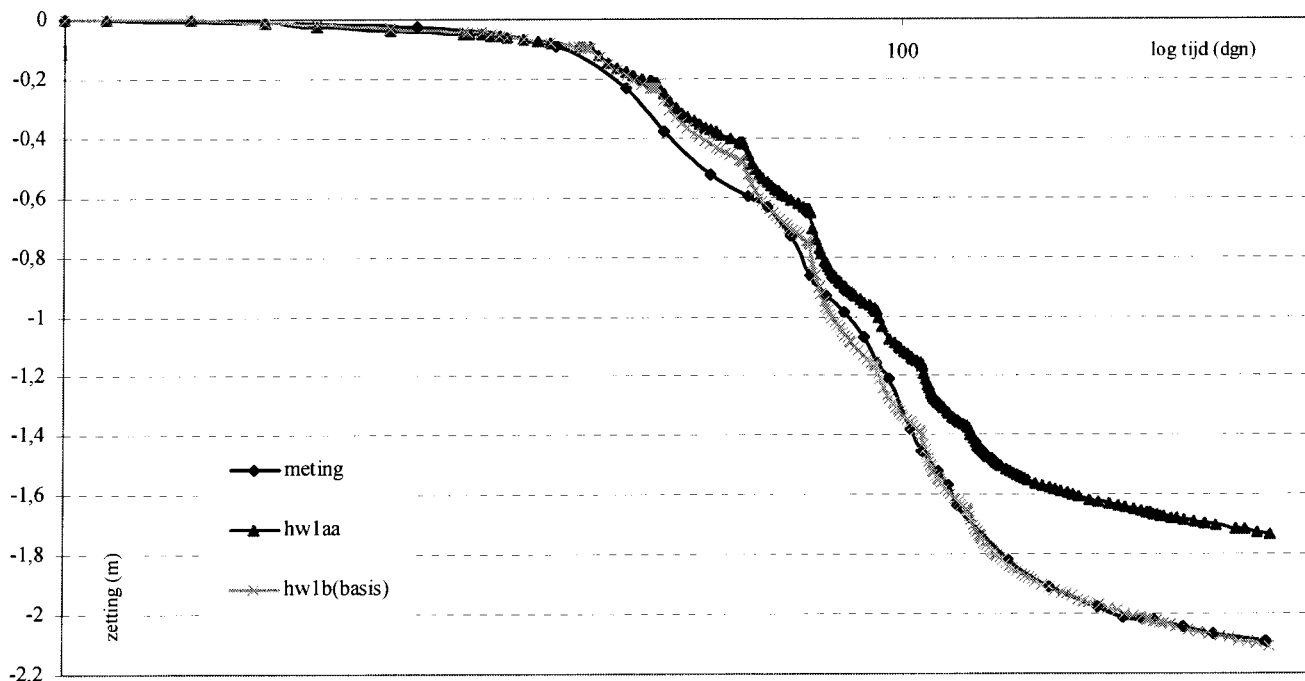
clay	λ^*	0,11																	
	κ^*	0,0580	λ/κ	1,9	peat	λ^*	0,150												
	μ^*	0,0043	λ/μ	25,6		κ^*	0,0350	λ/κ	4,3	clay organ	λ^*	0,090							
						μ^*	0,0040	λ/μ	37,5		κ^*	0,0120	λ/κ	7,5					
											μ^*	0,0034	λ/μ	26,5					

De zettingen

De zetting in de loop van de tijd wordt geanalyseerd. Uit figuur 1 volgt dat de gemeten en de berekende zetting niet met elkaar overeenkomt (meting versus *hw1aa*). De grondparameters (λ^* , κ^* en μ^*) worden zodanig aangepast (“gefit”) dat de zettingen wel overeenkomen (voor parameters, zie file *hw1b(basis)* tevens [bijlage 7D](#)). Dit staat ook in figuur 1 weergegeven. De volgende aanpassingen zijn doorgevoerd (bij de oorspronkelijke parameters was er geen vaste verhouding tussen λ^* , κ^* en μ^* bekend):

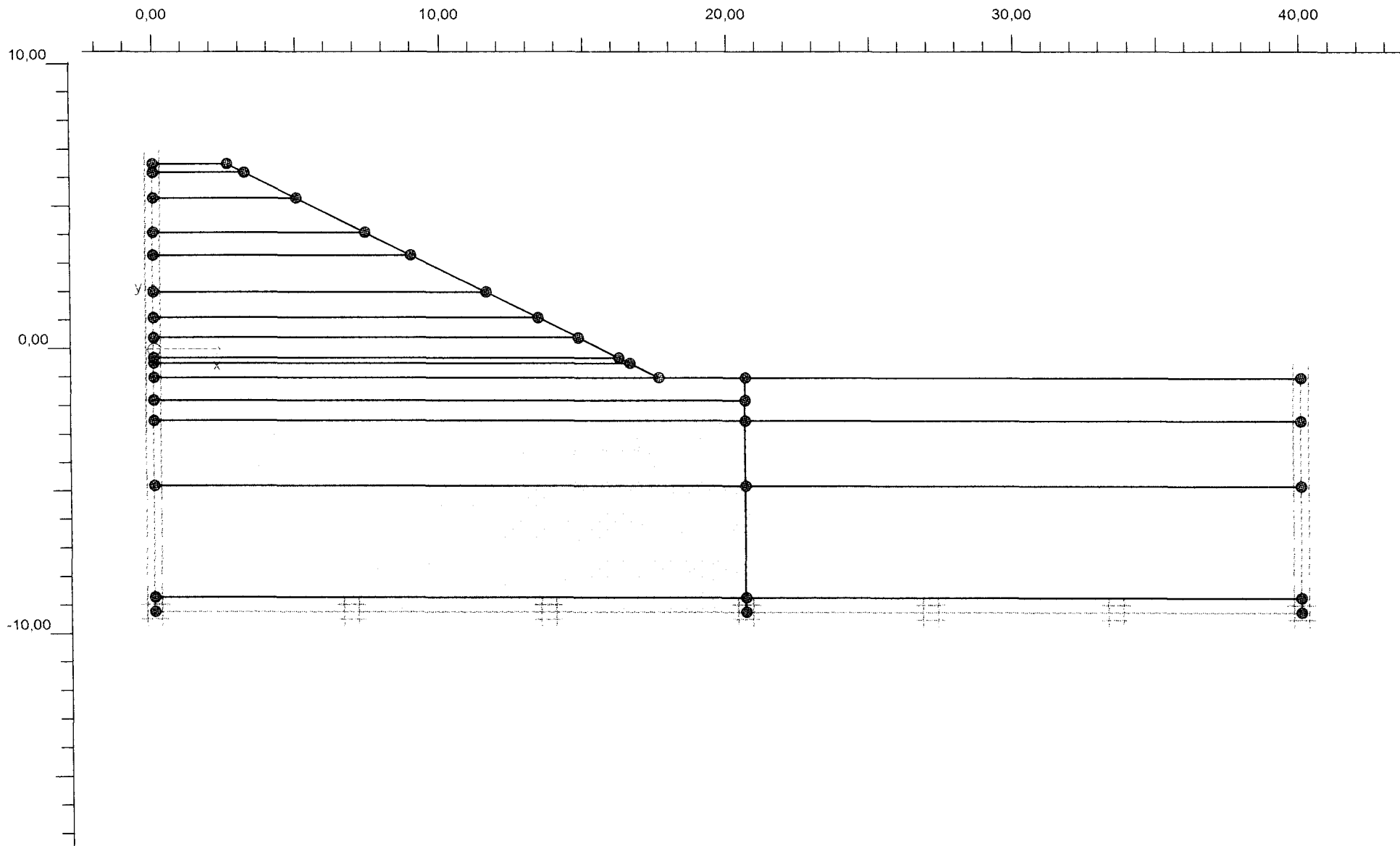
$$\lambda^* \cdot 1,2 \quad \text{en} \quad \frac{\lambda^*}{\kappa^*} \approx 5 \quad \text{en} \quad \frac{\lambda^*}{\mu^*} \approx 28,5 \quad \text{en} \quad \frac{\lambda^* - \kappa^*}{\mu^*} \approx 22$$

λ^*	[-]	gemodificeerde compressie index	bepalend voor de helling (stijfheid na grensspanning)
κ^*	[-]	gemodificeerde zwellingsindex	bepalend voor ontlasten / herbelasten (ontlaststijfheid)
μ^*	[-]	gemodificeerde kruip index	bepalend voor de lange termijn (de mate van kruip)



Figuur 1: Berekende zetting en gemeten zetting.

Met de gemeten zetting als basis wordt de vergelijking tussen het MC-model, het SSC-model en de tabellen van IJsseldijk-Loof uitgevoerd.



Project description

Bijlage 7D: model

Project name

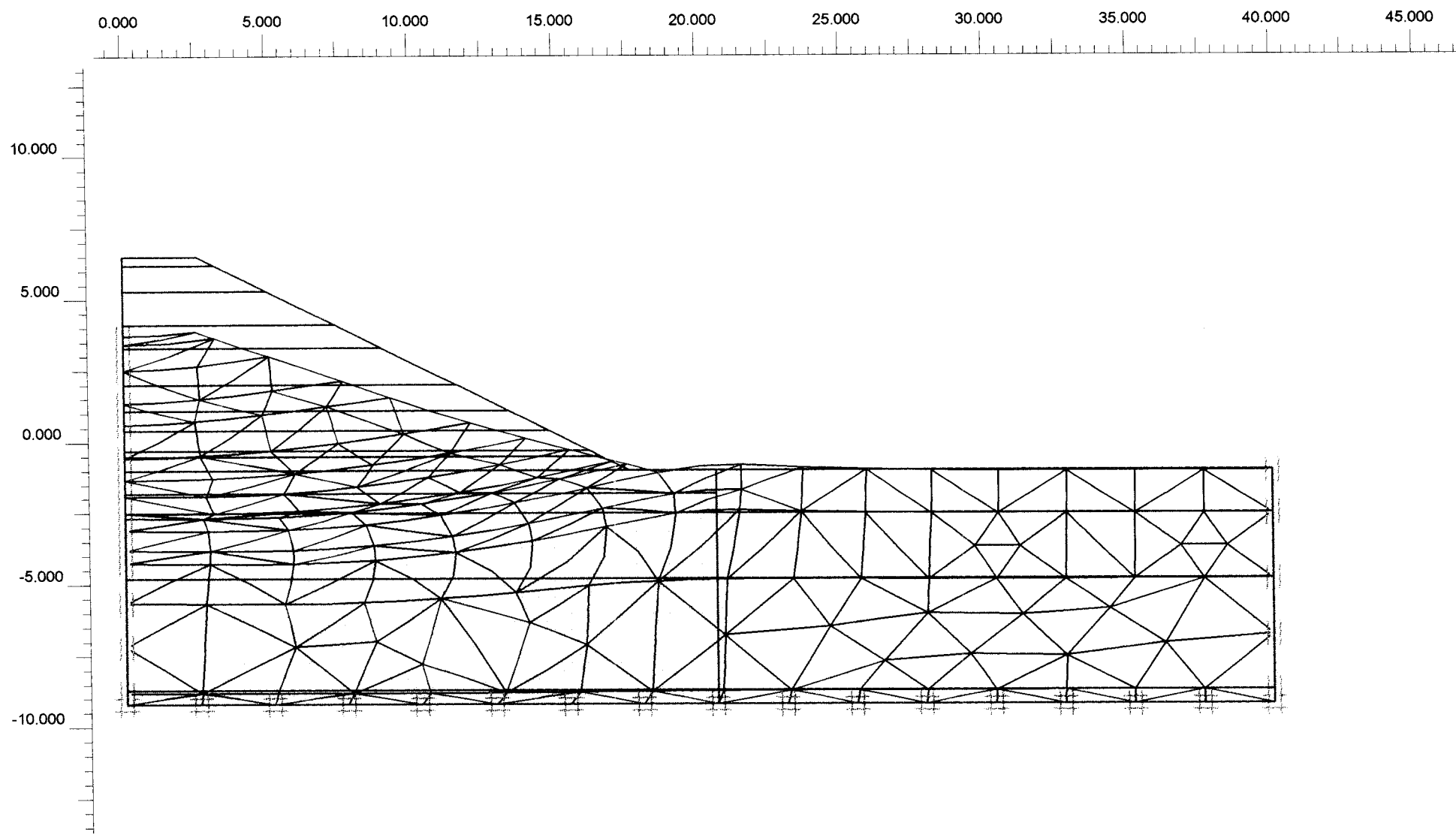
hw1b(basis).plx

Date

31-1-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Deformed Mesh
 Extreme total displacement 2,79 m
 (displacements at true scale)



Project description

Bijlage 7D: deformed mesh

Project name

hw1b(basis)

Step

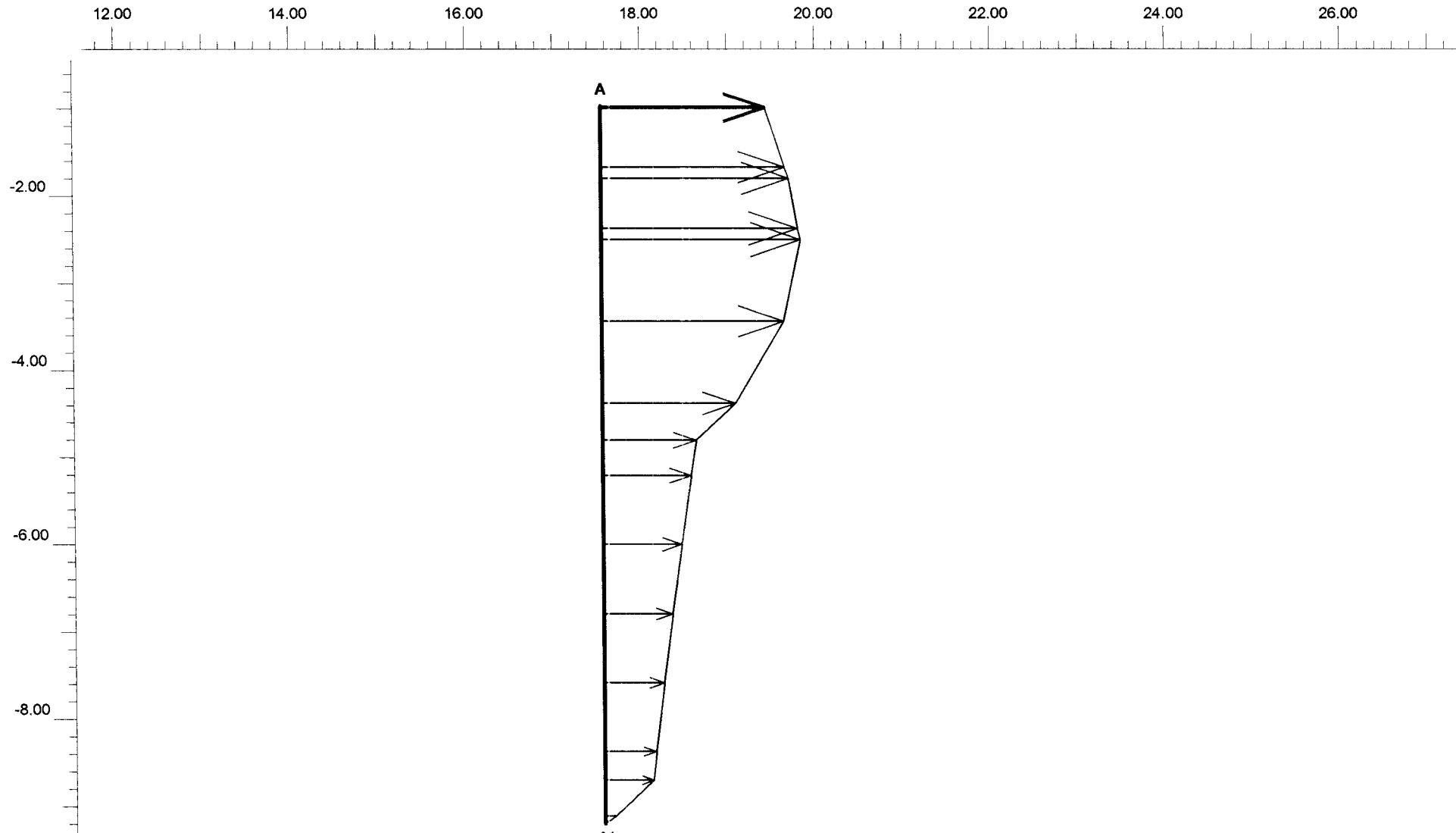
214

Date

31-01-02

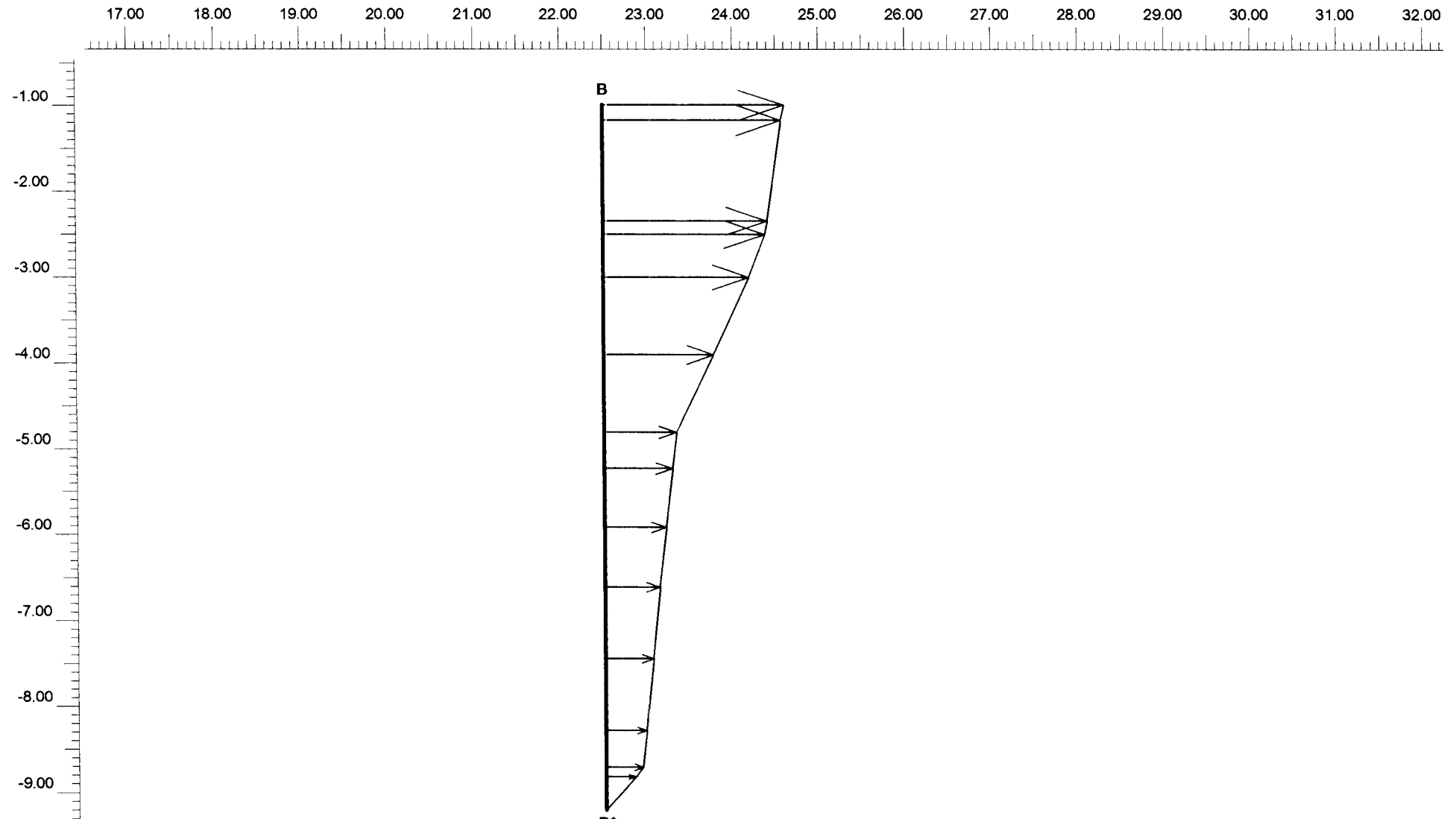
User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



** Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement 1,18 m

<i>Project description</i>			
Bijlage 7D: hor. verpl. aan teen ophoging			
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
hw1b(basis)	214	31-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.



**** Horizontal displacements**
 Extreme horizontal displacement $637,50 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 7D: hor. verpl. op 5 m. afstand van de teen

Project name

hw1b(basis)

Step

214

Date

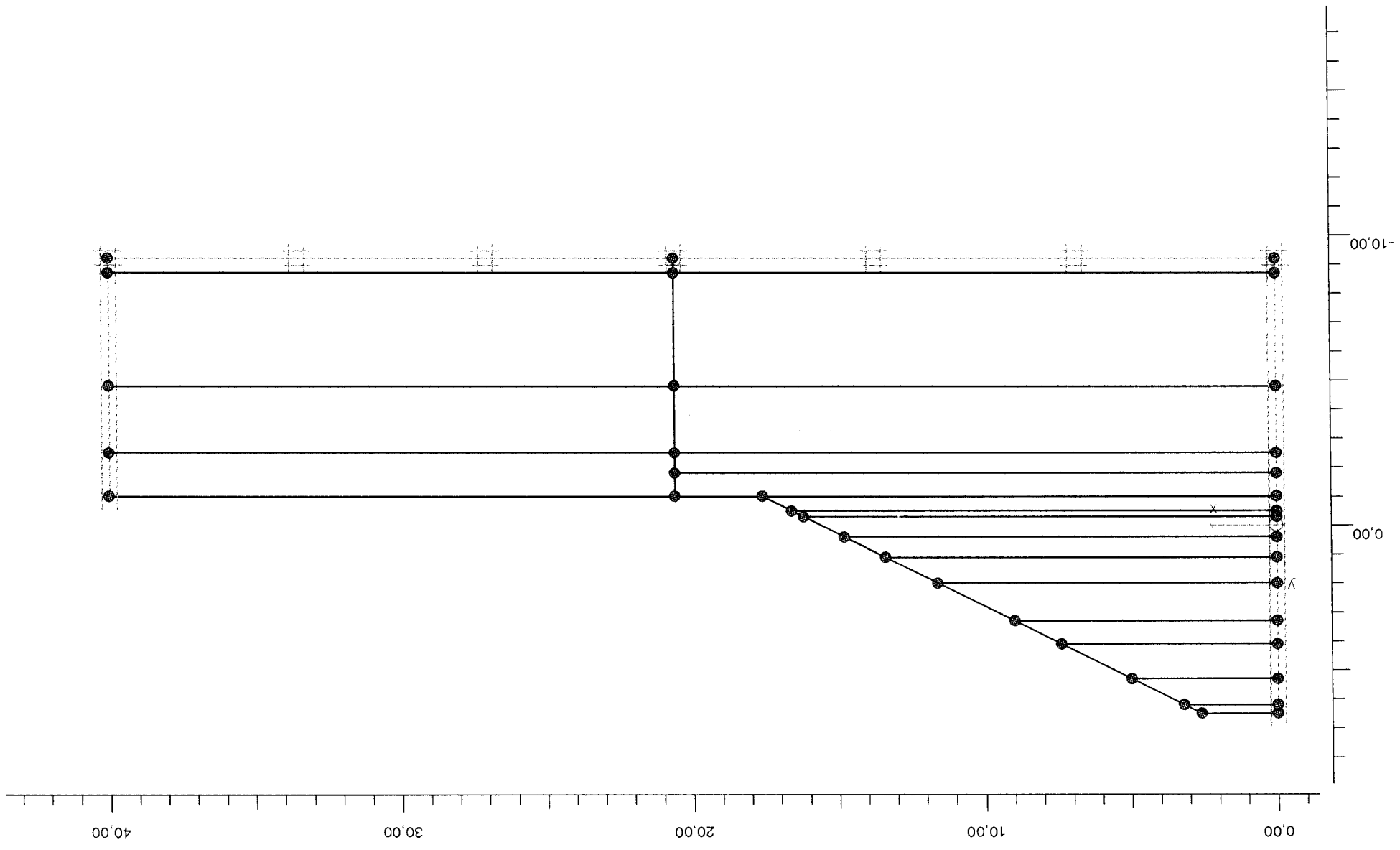
31-01-02

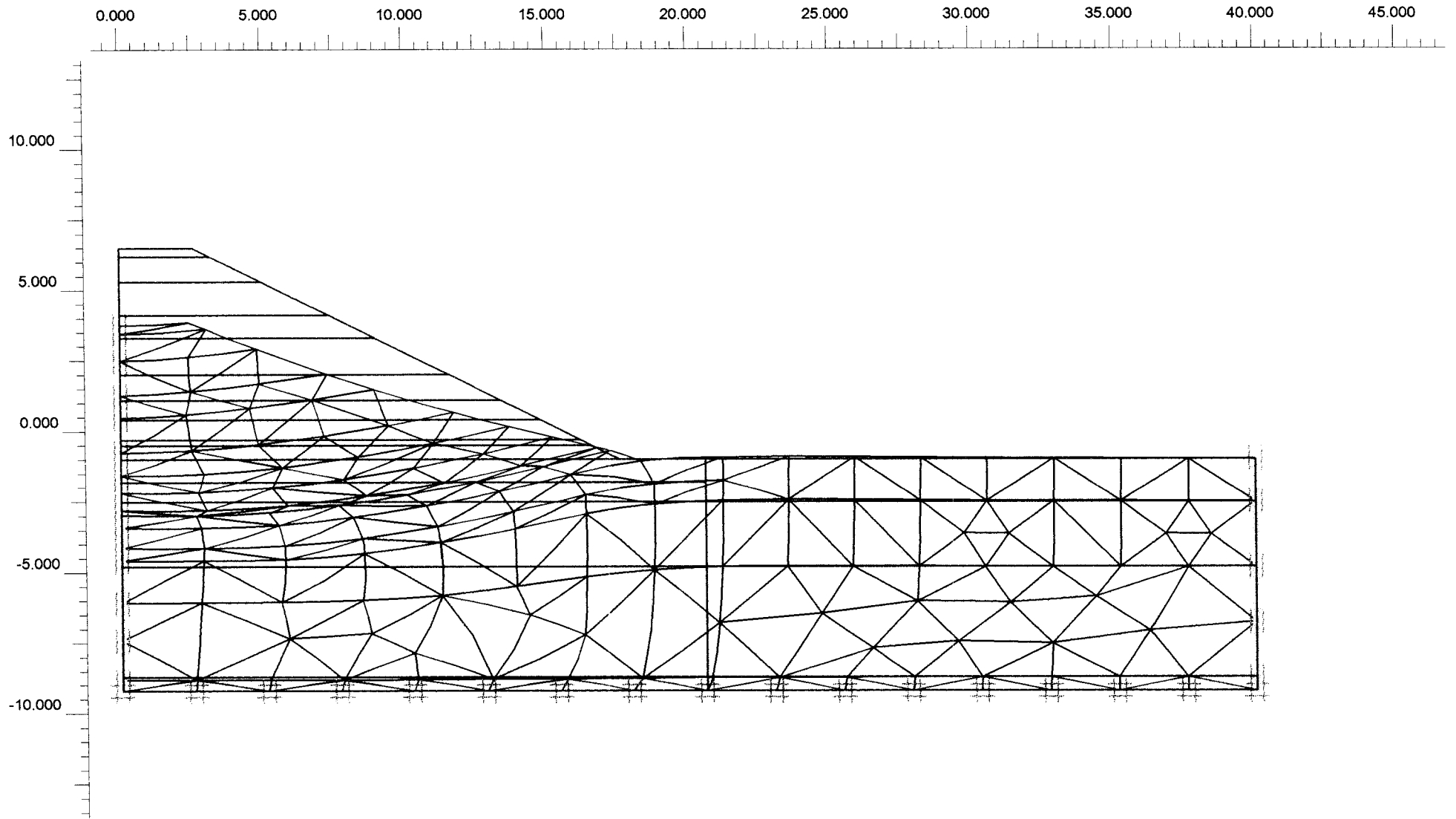
User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Bijlage 7D
file hw1b(basis)

file	nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	v [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]	λ^* [-]	κ^* [-]	μ^* [-]	v_{ur} [-]	K^{nc}_0 [-]	M [-]
hw1b (basis)	1	MC	embankement	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2	-	-	-	-	-	-
	2	SSC	clay top dr.	undrained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	-	-	8	22	0	0,132	0,0264	0,0046	0,15	0,699	1,04
	3	SSC	clay top	undrained	17,0	17,0	0,000864	0,000864	-	-	8	22	0	0,132	0,0264	0,0046	0,15	0,699	1,04
	4	SSC	peat lower dr.	undrained	12,5	12,5	0,43	0,43	-	-	4	15	0	0,180	0,0360	0,0063	0,15	0,879	0,58
	5	SSC	peat lower	undrained	12,5	12,5	0,043	0,043	-	-	4	15	0	0,180	0,0360	0,0063	0,15	0,879	0,58
	6	SSC	clay organic dr.	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,108	0,0216	0,0038	0,15	0,652	1,16
	7	SSC	clay organic	undrained	14,4	14,4	0,0000864	0,0000864	-	-	4	29	0	0,108	0,0216	0,0038	0,15	0,652	1,16
				clay	λ^* 0,132 κ^* 0,0264 μ^* 0,0046		λ/κ 5,0 λ/μ 28,7	peat		λ^* 0,180 κ^* 0,0360 μ^* 0,0063		λ/κ λ/μ	5,0 28,6	clay organ	λ^* κ^* μ^*		λ/κ λ/μ	5,0 28,4	





Deformed Mesh
 Extreme total displacement 2,84 m
 (displacements at true scale)

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 7E: deformed mesh

Project name

hw1b_6

Step

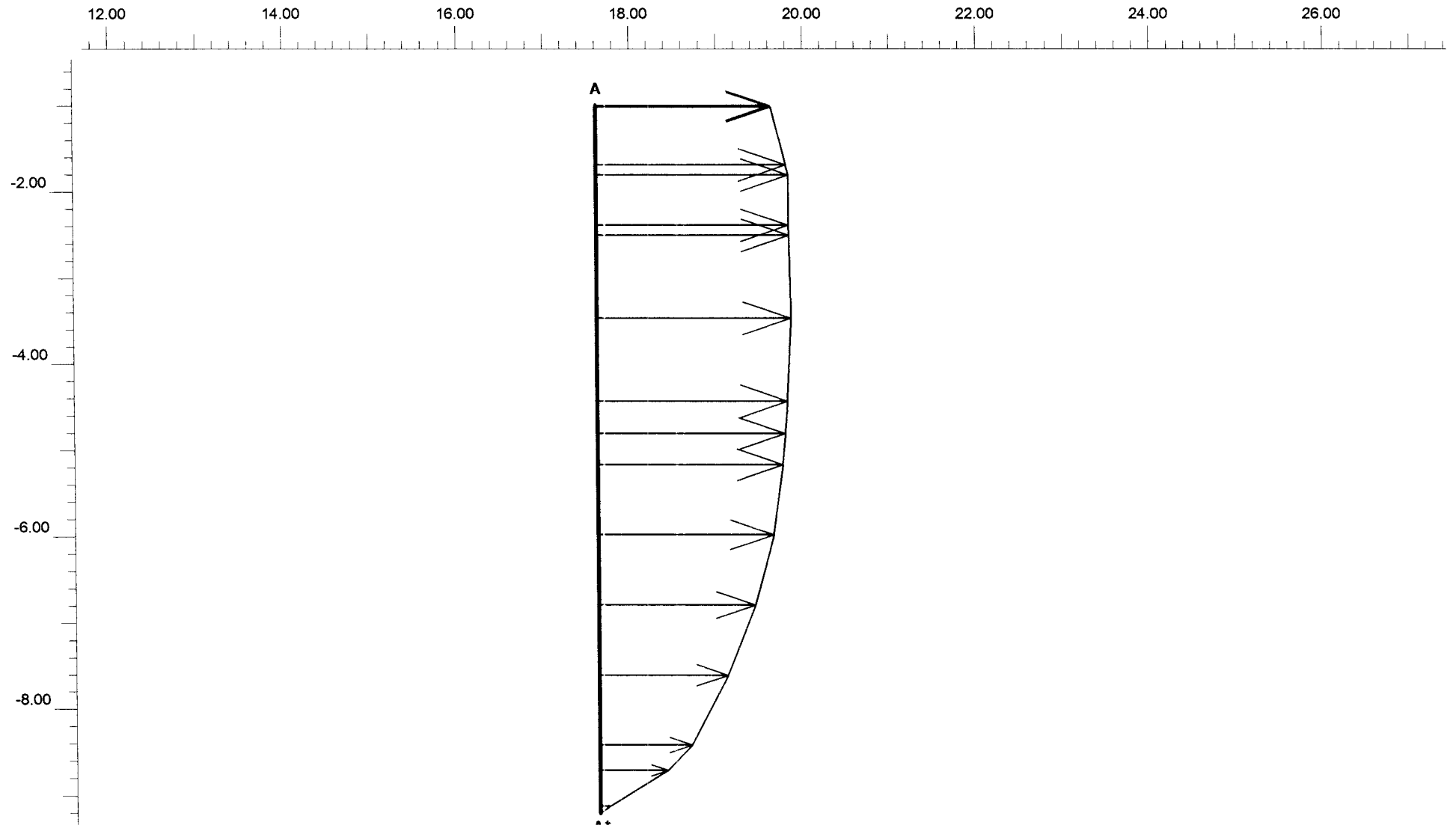
140

Date

31-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 7E: hor. verpl. aan teen ophoging

Project name

hw1b_6

Step

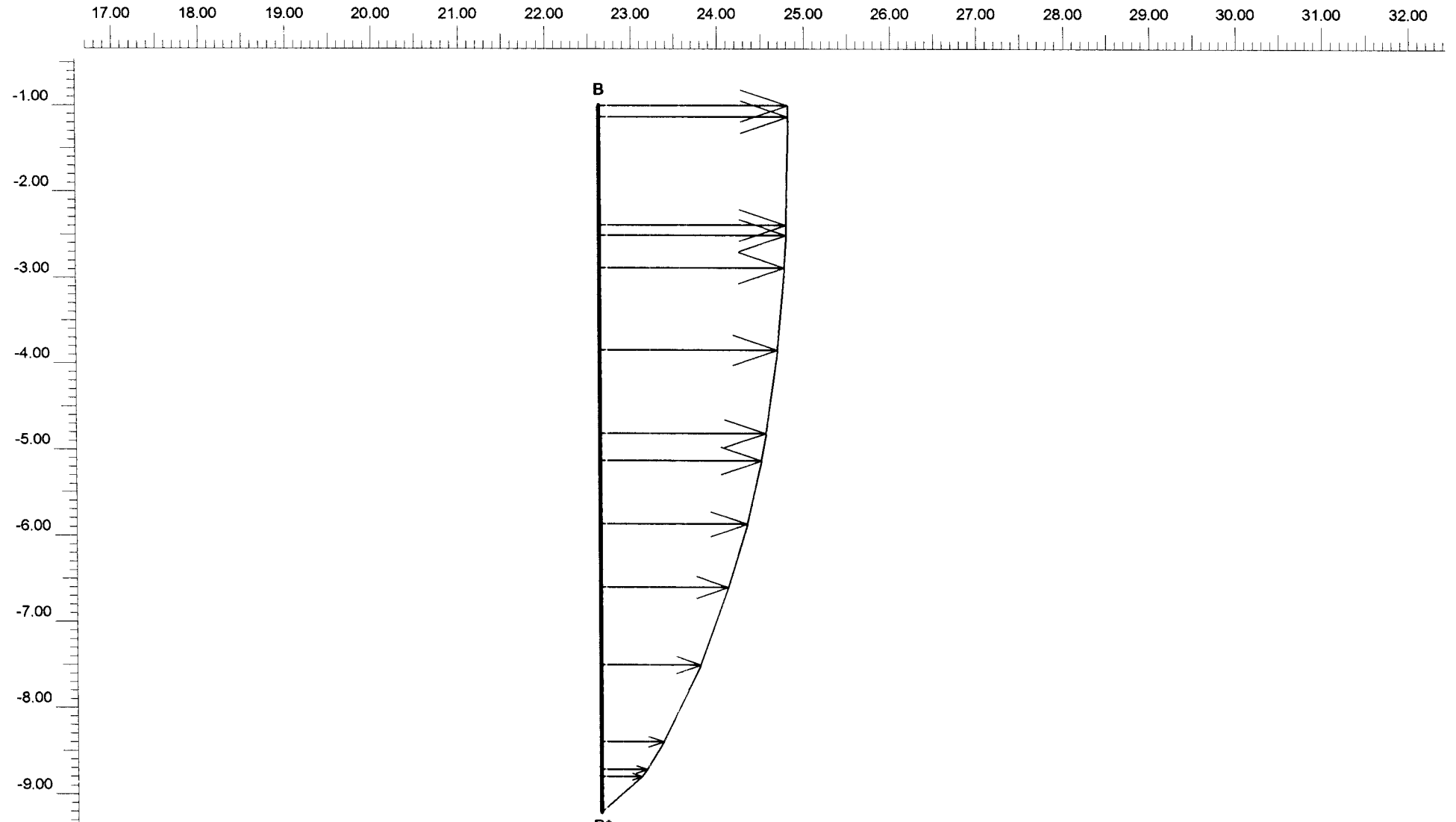
140

Date

31-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $511,25 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 7E: hor. verpl. op 5 m. afstand van teen ophoging

Project name

hw1b_6

Step

140

Date

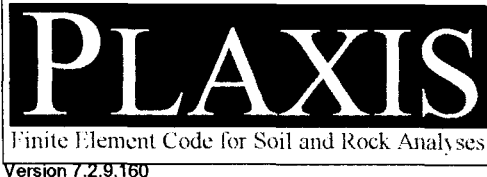
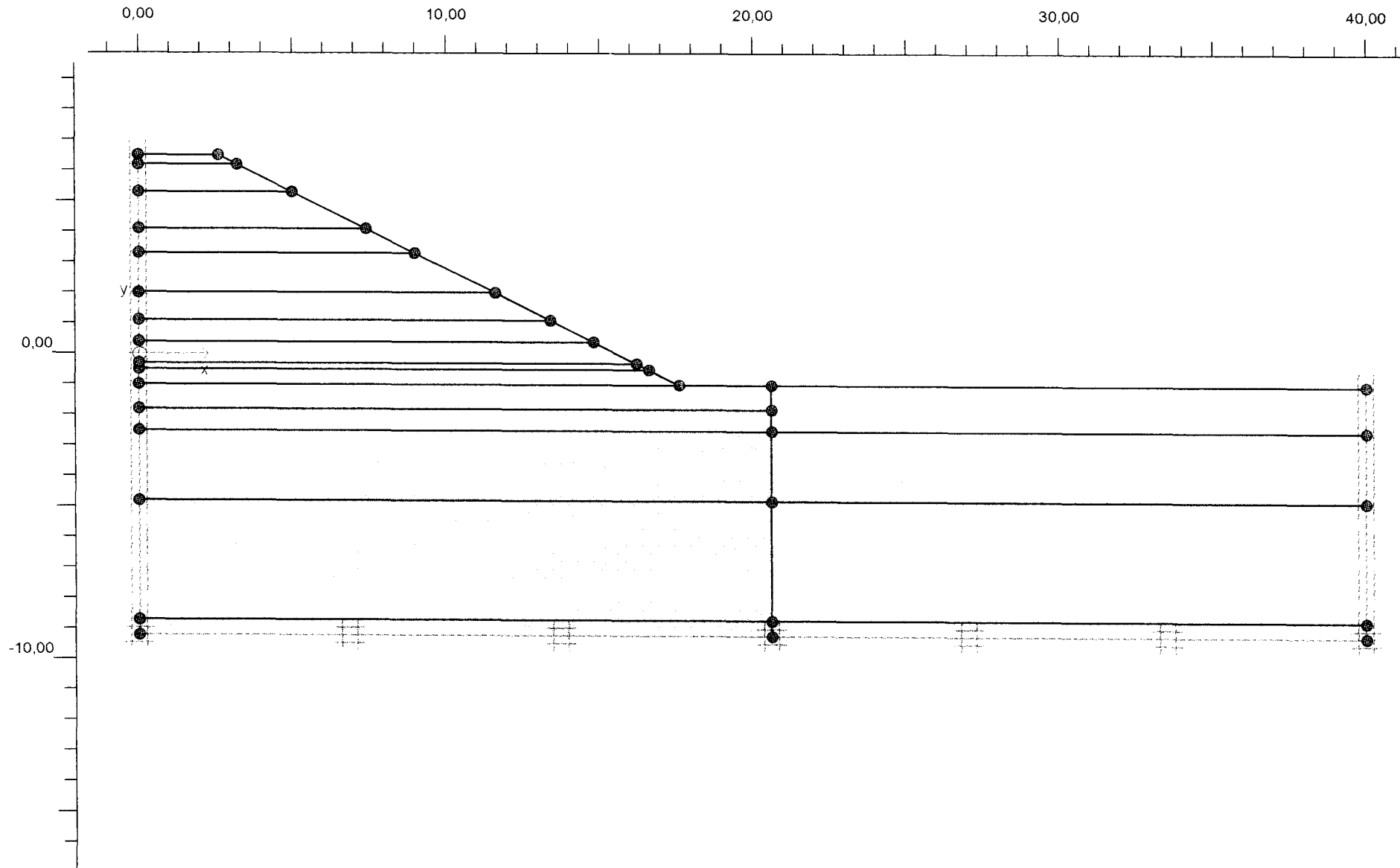
31-01-02

User name

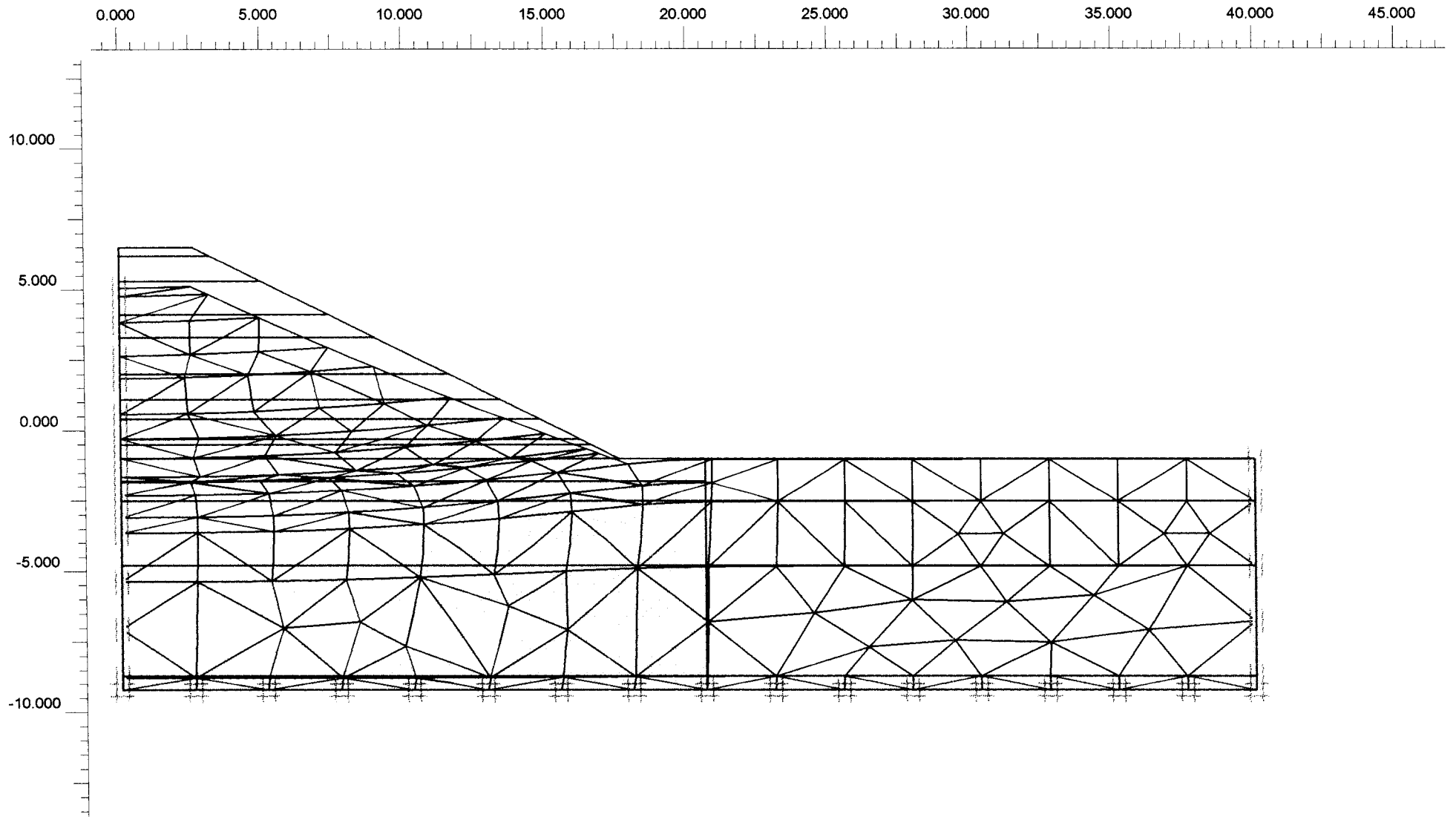
FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Bijlage 7E
file hw1b_6

file	laag nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	v	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]
hw1b_6	1	MC	embankement	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2
	2	MC	homogeneous soil	drained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	0,30	386,1	7,5	15	0



<i>Project description</i>			Bijlage 7F: model		
<i>Project name</i>		<i>Date</i>	<i>User name</i>		
hw1c.plx		31-1-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.		



Deformed Mesh
 Extreme total displacement 1,47 m
 (displacements at true scale)



Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 7F: deformed mesh

Project name

hw1c

Step

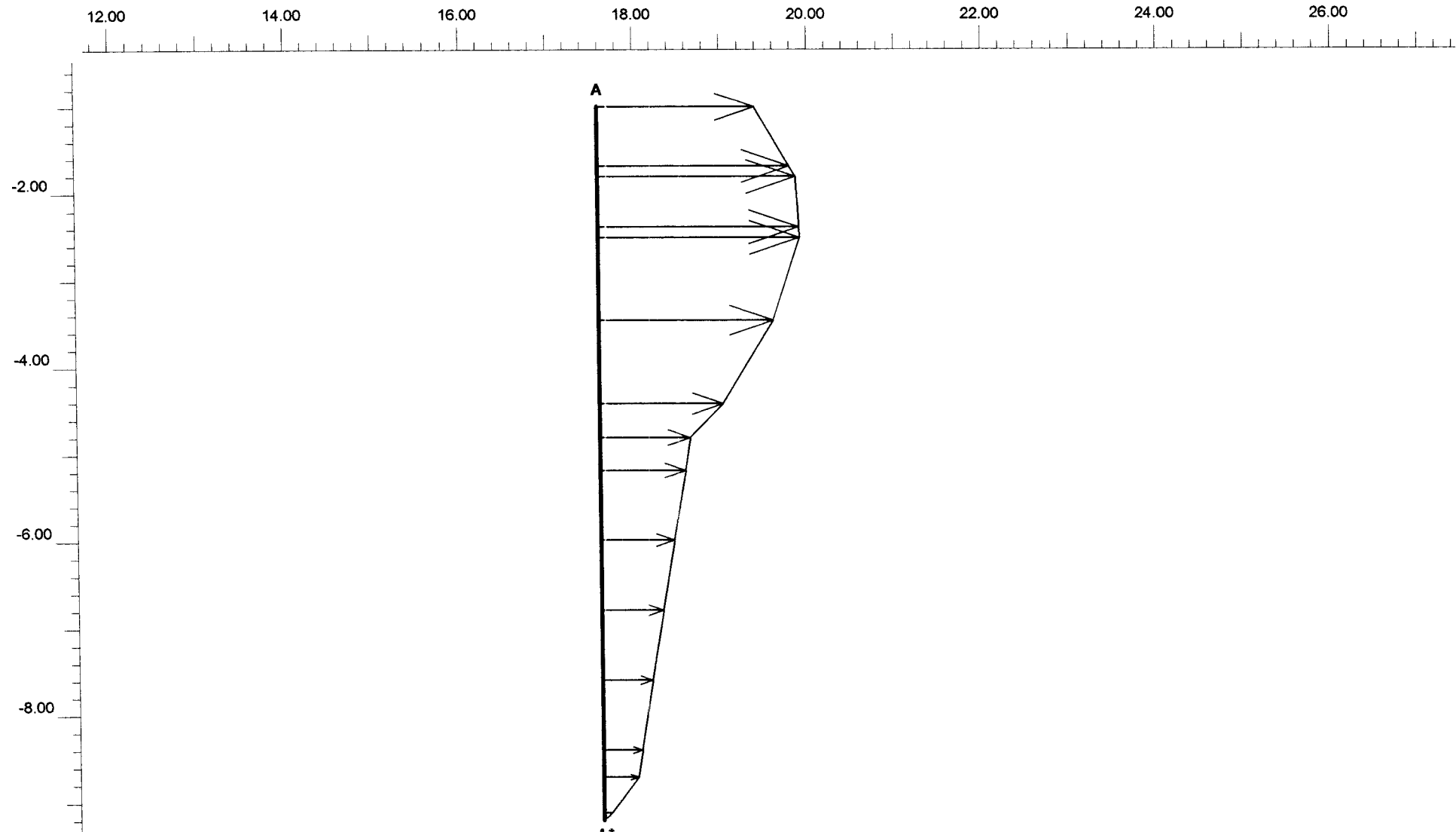
138

Date

31-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $362,61 \cdot 10^{-3}$ m

PLAXIS

Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Bijlage 7F: hor. verpl. aan teen ophoging

Project name

hw1c

Step

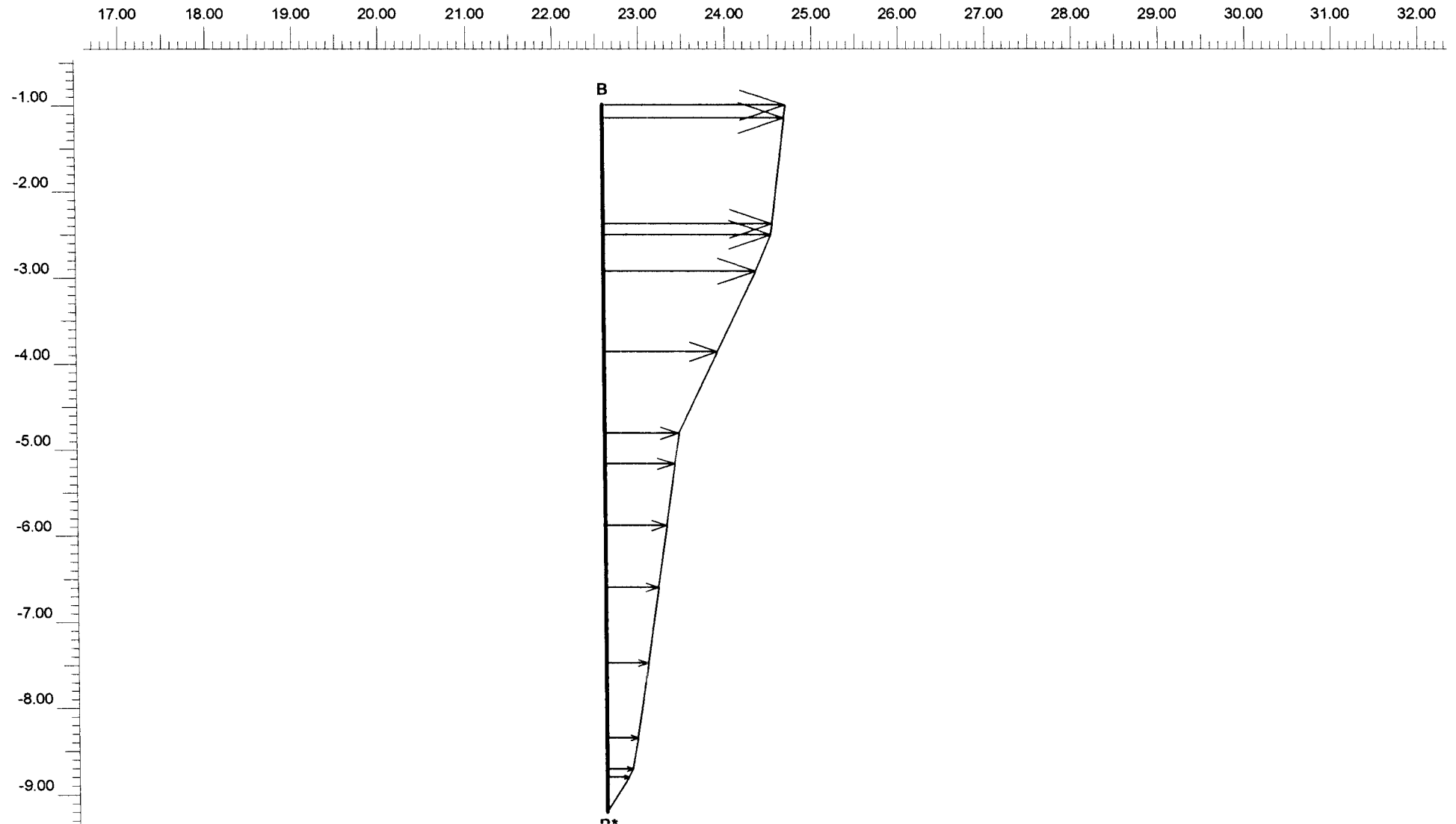
138

Date

31-01-02

User name

FUGRO Ingenieursbureau b.v.



Horizontal displacements
 Extreme horizontal displacement $137,12 \cdot 10^{-3}$ m



Version 7.2.9.147

<i>Project description</i>			
Bijlage 7F: hor. verpl. op 5 m. afstand van teen ophoging			
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>
hw1c	138	31-01-02	FUGRO Ingenieursbureau b.v.

Bijlage 7F
file hw1c

file	laag nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_c [m/day]	k_y [m/day]	v	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]	λ^* [-]	κ^* [-]	μ^* [-]	v_{ur} [-]	K^{oc}_0 [-]	M
hw1c OCR 1,6	1	MC	embankement	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2	-	-	-	-	-	-
	2	SSC	clay top dr.	undrained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,625	1,23
	3	SSC	clay top	undrained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,625	1,23
	4	SSC	peat lower dr.	undrained	12,5	12,5	0,43	0,43	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,741	0,94
	5	SSC	peat lower	undrained	12,5	12,5	0,043	0,043	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,741	0,94
	6	SSC	clay organic dr.	undrained	14,4	14,4	0,00864	0,00864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,515	1,54
	7	SSC	clay organic	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,515	1,54
				clay	λ^* 0,11 κ^* 0,0580 μ^* 0,0043		λ/κ 1,9 λ/μ 25,6	peat		λ^* 0,150 κ^* 0,0350 μ^* 0,0040		λ/κ 4,3 λ/μ 37,5	clay organ	λ^* 0,090 κ^* 0,0120 μ^* 0,0034		λ/κ 7,5 λ/μ 26,5			

Bijlage 7G
overzicht van alle grondparameters

file	laag nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_s [m/day]	k_y [m/day]	v	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]	λ^*	κ^*	μ^*	v_{ur}	K^{*n}	M	
hw1aa OCR L4	1	MC	embankment	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2	-	-	-	-	-	-	-
	2	SSC	clay top dr.	undrained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,699	0,86	1,9
	3	SSC	clay top	undrained	17,0	17,0	0,000864	0,000864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,699	0,86	25,6
	4	SSC	peat lower dr.	undrained	12,5	12,5	0,43	0,43	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,879	0,57	4,3
	5	SSC	peat lower	undrained	12,5	12,5	0,043	0,043	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,879	0,57	37,5
	6	SSC	clay organic dr.	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,652	1,19	7,5
	7	SSC	clay organic	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,652	1,19	26,5

file	laag nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_s [m/day]	k_y [m/day]	v	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]	λ^*	κ^*	μ^*	v_{ur}	K^{*n}	M	
hw1b (basis)	1	MC	embankment	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2	-	-	-	-	-	-	-
	2	SSC	clay top dr.	undrained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	-	-	8	22	0	0,132	0,0264	0,0046	0,15	0,699	1,04	5,0
	3	SSC	clay top	undrained	17,0	17,0	0,000864	0,000864	-	-	8	22	0	0,132	0,0264	0,0046	0,15	0,699	1,04	28,7
	4	SSC	peat lower dr.	undrained	12,5	12,5	0,43	0,43	-	-	4	15	0	0,180	0,0360	0,0063	0,15	0,879	0,58	5,0
	5	SSC	peat lower	undrained	12,5	12,5	0,043	0,043	-	-	4	15	0	0,180	0,0360	0,0063	0,15	0,879	0,58	28,6
	6	SSC	clay organic dr.	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,108	0,0216	0,0038	0,15	0,652	1,16	5,0
	7	SSC	clay organic	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,108	0,0216	0,0038	0,15	0,652	1,16	28,4

file	laag nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_s [m/day]	k_y [m/day]	v	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]	λ^*	κ^*	μ^*	v_{ur}	K^{*n}	M	
hw1b_6	1	MC	embankment	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2	-	-	-	-	-	-	-
	2	MC	homogeneous soil	drained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	0,30	386,1	7,5	15	0	-	-	-	-	-	-	-

file	laag nummer	grondmodel	identification	"type"	γ_d [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	k_s [m/day]	k_y [m/day]	v	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [graden]	ψ [graden]	λ^*	κ^*	μ^*	v_{ur}	K^{*n}	M	
hw1c OCR L6	1	MC	embankment	drained	18,0	20,0	8,64	8,64	0,33	25000	4	32	2	-	-	-	-	-	-	-
	2	SSC	clay top dr.	undrained	17,0	17,0	0,00864	0,00864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,625	1,23	1,9
	3	SSC	clay top	undrained	17,0	17,0	0,000864	0,000864	-	-	8	22	0	0,110	0,0580	0,0043	0,15	0,625	1,23	25,6
	4	SSC	peat lower dr.	undrained	12,5	12,5	0,43	0,43	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,741	0,94	4,3
	5	SSC	peat lower	undrained	12,5	12,5	0,043	0,043	-	-	4	15	0	0,150	0,0350	0,0040	0,15	0,741	0,94	37,5
	6	SSC	clay organic dr.	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,515	1,54	7,5
	7	SSC	clay organic	undrained	14,4	14,4	0,000864	0,000864	-	-	4	29	0	0,090	0,0120	0,0034	0,15	0,515	1,54	26,5