



Datum
31 december 2019

Projectnummer
01.2010 - 001

keermuur Oukoop

beoordeling stabiliteit bij ontgraving WRK II

ir. M.J. van Alphen

Colofon

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Opdrachtgever | |
| Afdeling | Leidingwerken |
| Projectleiding | R. van Ham / P.R. van der Werf |
| Projectnummer | 01.2010-001 |

| | |
|----------------------|---------------------|
| Opdrachtnemer | |
| Afdeling | Onderzoek en Advies |
| Projectleiding | M.J. van Alphen |
| Projectnummer | 01.2010-001 |

| | |
|----------------|--|
| Rapport | |
| Rapportage | M.J. van Alphen |
| Versie | 1 |
| Rapportnummer | 20.000110 |
| Trefwoorden | Bodem, Geotechniek, keermuur, constructie, Draadbreukbuizen, WRK II |

Inhoud

| | |
|---|----------|
| Inhoud | 5 |
| 1 Inleiding | 9 |
| 2 Conclusie | 9 |
| 3 Berekening en uitgangspunten | 9 |
| 3.1 Beschikbaar grondonderzoek | 9 |
| 3.2 Waterstanden | 10 |
| 3.3 Geometrie | 10 |
| 3.3.1 Keermuur | 11 |
| 3.3.2 Trekstang | 11 |
| 3.3.3 Schoorconstructie | 11 |
| 3.3.4 Sleufkist | 11 |
| 3.3.5 Stempel sleufkist | 11 |
| 3.4 Invoer fasering | 12 |
| 3.5 Resultaten berekening | 13 |
| 3.5.1 maximale vervorming u model | 13 |
| 3.5.2 Vervorming keermuur | 14 |
| 3.5.3 Vervorming sleufkist | 14 |
| 3.5.4 Resultaat berekende veiligheid bij ontgraving | 15 |

Bijlagen

| | |
|----------|----------------------------|
| 1 | Overzichtstekening R-07-05 |
| 2 | Situatietekening |

1 Inleiding

Na inspectie van de WRK II-leiding in 2017 en 2018 en uit berekeningen van de reststerkte bleek dat meerdere buizen niet meer voldoen aan de sterkte-eisen. Na aanleiding van dit resultaat is besloten is om deze buizen te vervangen. Afdeling Leidingwerken van Waternet is in 2019 gestart met de vervanging van circa 200 betonnen buizen.

Ter plaatse van het tracédeel tussen de Angstel en de rijksweg A2, ten noorden van de Oukoper Molen, worden in 2020 vijftien buizen vervangen. Gevraagd is om de invloed van de benodigde ontgraving op de aanwezige keermuur te beoordelen.

2 Conclusie

Volgens de uitgevoerde Plaxis berekeningen blijkt er voldoende veiligheid aanwezig te zijn om de ontgraving naast de waterkering uit te voeren. *Eis: $M_{st,benodigd} \geq 1,0$; Aanwezige veiligheid: $M_{st,ontgraving} = 1,55$.*

Als maatgevende situatie is ontgraving van de Oostelijke WRK II leiding vastgesteld. Omdat deze leiding het meest dichtbij het grondlichaam van de waterkering ligt.

Bij ontgraving van de Westelijke WRK II leiding vormt, voor de veiligheid van de waterkering, de aanwezigheid van de Oostelijke WRK II leiding een positieve invloed. De ligging van de Oostelijke leiding vangt de ontspanning van grond, met bijbehorende vervorming, ten gevolge van de ontgraving van buisdelen van de Westelijke leiding af. Dit omdat de Oostelijke leiding tussen de Westelijke leiding en de waterkering in ligt.

3 Berekening en uitgangspunten

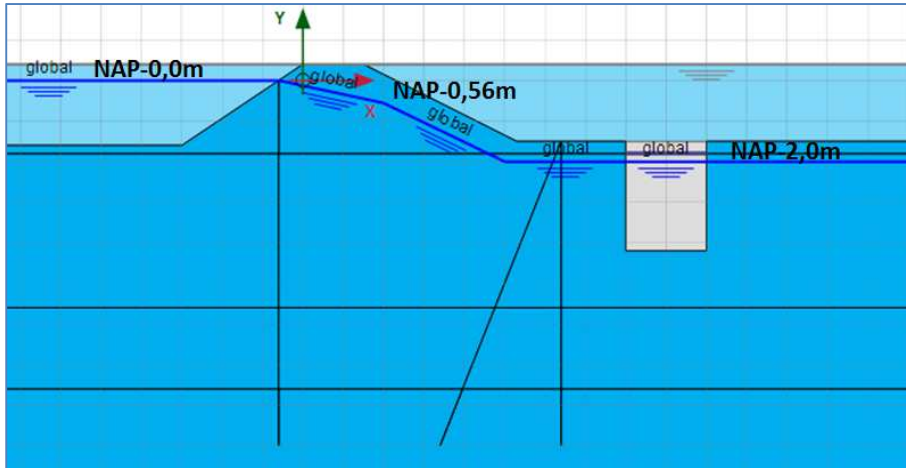
3.1 Beschikbaar grondonderzoek

Voor dit project is aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Dit is uitvoerig omschreven in rapport met kenmerk '19.045998 WRK II – Oukoop 01.2010-001', opgesteld door G. in 't Veld.

De maatgevende locaties betreffen de te vervangen buisdelen van de WRK II Oostleiding nabij molen Oukoop. Omdat deze leiding het meest dicht bij de waterkering ligt zal de invloed van de ontgraving op de waterkering het grootst zijn. Op basis van de in de buurt gelegen Ackermann boring O08-12 is de volgende grondopbouw geschematiseerd:

| grondsoort | b.k. laag [NAP...m] | o.k. laag [NAP...m] | γ^{nat}/γ_{dr} [kN/m ³] | c'_{ref} [kN/m ²] | ϕ' [°] | E_{50}^{ref} [kN/m ²] | E_{oed}^{ref} [kN/m ²] | E_{ur}^{ref} [kN/m ²] |
|------------------|------------------------|------------------------|--|------------------------------------|----------------|--|---|--|
| Klei antropogeen | 0,4 | -1,8 | 15/15 | 2,5 | 22,5 | 9000 | 3590 | 18500 |
| Klei siltig | -1,8 | -5,6 | 15/15 | 5,05 | 28,6 | 10000 | 5046 | 25000 |
| Veen | -5,6 | -7,6 | 10,3/10,3 | 1,66 | 29,7 | 2000 | 1518 | 10000 |
| Pleistoceen | -7,6 | -15,0 | 18/20 | 1 | 30 | 30000 | 30000 | 90000 |

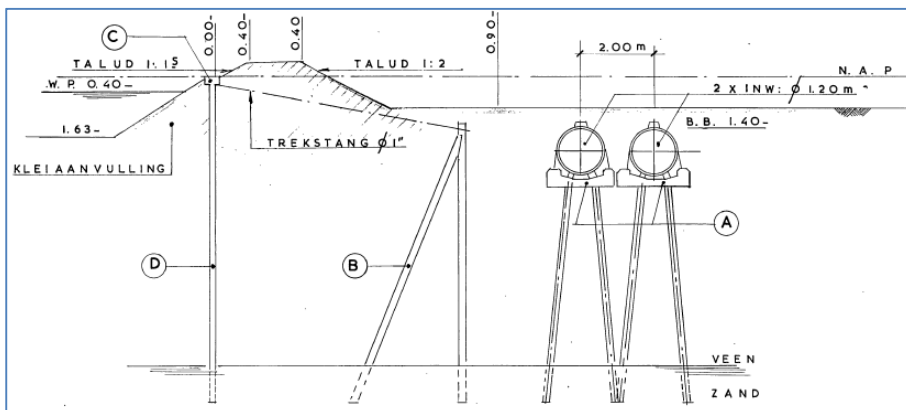
3.2 Waterstanden



Het grondwater is enigszins conservatief gemodelleerd. Op de boezem is maatgevend hoogwaterpeil aangehouden (NAP+0,0m). Door het grondlichaam van de waterkering is het verloop van de grondwaterstand van de binnenkruinlijn (NAP-0,56m) naar de binnenteen (NAP-2,0m) gemodelleerd. De grondwaterstand bevindt zich daarbij een halve meter onder het maaiveld

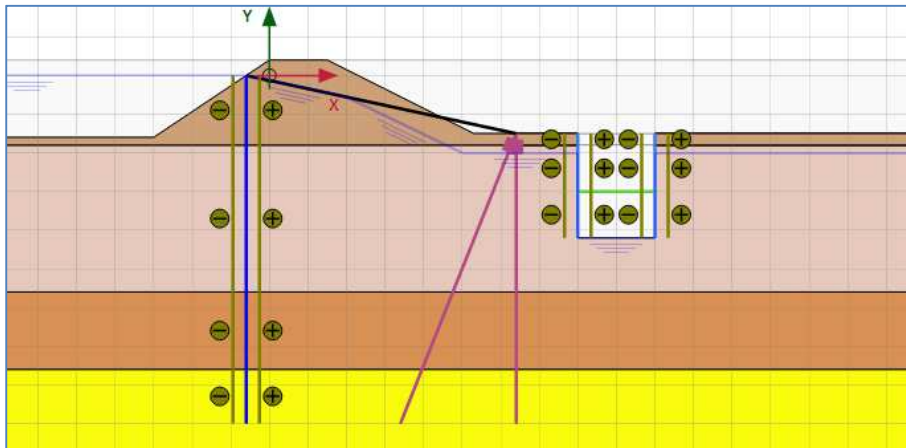
3.3 Geometrie

Op de WRK II routetekening R-07-05 is een principedetail opgenomen van de keerconstructie die voor de geplande ontgraving zal worden beschouwd. In onderstaand figuur is dit detail (in spiegelbeeld, kijkend in zuidelijke richting) weergegeven.



Het maaiveld is in de afgelopen 50 jaar gezakt van NAP-0,90m zoals op tekening R-07-05) naar NAP-1,5m. Het huidige maaiveldniveau is in de schematisatie meegenomen

Met behulp van het eindig elementen programma Plaxis (versie 2019) is bovenstaande geometrie voor de berekening als volgt geschematiseerd:



Er is gebruik gemaakt van het programma Plaxis om de interactie tussen de grond, de ontgraving en de constructie, welke uit meerdere onderdelen bestaat (zoals in het vervolg is beschreven), te kunnen berekenen.

3.3.1 Keermuur

Op het netwerk van Waternet is een tekening gevonden van de keermuur (tekening R-25-08). Het betreft een betonnen damwand (damplank type C) met een messing-groef verbinding. De afmeting van de planken bedraagt (bxh=) 400x150mm. In de tabel op tekening wordt een lengte van 8m en van 9m aangegeven. Er is van 9m uitgegaan. Dit komt overeen met het principe detail van tekening R-07-05.

3.3.2 Trekstang

Volgens tekening gaat om een 1" stang overeenkomstig met een diameter van 25mm. Ingevoerde EA waarde in de berekening bedraagt $103,1 \times 10^3$ kN. De hart op hartmaat is opgemeten uit tekening R-07-05 en bedraagt 5,0m.

3.3.3 Schoorconstructie

De schoorconstructie bestaat uit het houten palenjuk. Er zijn geen gegevens van de palen bekend. Gezien de lengte wordt uitgegaan van een gemiddelde paaldiameter van $\phi 180$ mm. Uitgaande van een K17 kwaliteit is de stijfheid (E_{mod}) van naaldhout aangenomen op 8000N/mm². Ook hier is een hart op hartmaat van 5,0m aangehouden (overgenomen uit tekening R-07-05).

3.3.4 Sleufkist

Voor de ontgraving voor het te vervangen leidingdeel wordt een sleufkist gebruikt. Er is uitgegaan van toepassing van snijschot met een enkel stempel. De hart op hartmaat van de Oostelijke en Westelijke WRK II leiding bedraagt 2,0m. Deze breedte is ook aangenomen voor de werkende breedte van de sleufkist die over de te vervangen buis van de Oostelijke leiding zal worden geplaatst. Voor een indicatie van de stijfheid van de sleufkist is uitgegaan van HE100A liggertjes die h.o.h. 500mm van elkaar liggen. Zodoende komt men voor de in te voeren stijfheid van de sleufkist tot een EI van 1466 kNm²/m.

3.3.5 Stempel sleufkist

Ook hier is weer een aanneme gedaan om tot een in te voeren stijfheid van het stempel (node to node anchor) in de berekening te komen. Uitgaande van een

stempel $\phi 120-10$ met een hart op hartmaat van 3,0m komt men tot een EA van 732×10^3 kN.

3.4 Invoer fasering

| ID | Calculation... | Loading type... | Pore pressure... | Time interval | Estimated on... | Ignore undr... | Reset displ... | Updated me... | Max steps (D) | First step | Last step |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------|------------|-----------|
| Initial phase [InitialPhase] | | | | 0,000 day | 0,000 day | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1000 | 0 | 0 |
| bestaande situatie [Phase_1] | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0,000 day | 0,000 day | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1000 | 1 | 5 |
| stabiliteit [Phase_2] | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0,000 day | 0,000 day | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 100 | 6 | 105 |
| keermuur aan [Phase_3] | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0,000 day | 0,000 day | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1000 | 106 | 109 |
| sleufbekisting aan [Phase_4] | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0,000 day | 0,000 day | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1000 | 110 | 111 |
| grondwater omlaag [Phase_5] | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1,000 day | 1,000 day | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1000 | 112 | 118 |
| ontgraving + stempel [Phase_6] | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 100,0 day | 101,0 day | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1000 | 119 | 123 |
| stabiliteit [Phase_7] | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0,000 day | 101,0 day | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 100 | 124 | 223 |

Voor de opbouw van de berekening worden alle onderdelen die in de fases voorkomen in één keer, gezamenlijk, in het model geconstrueerd. Daarna kunnen fases worden aangemaakt waarbij constructie onderdelen actief of inactief kunnen worden gemaakt. Zodoende kan men verschillende fases in de tijd modelleren waarbij interactie tussen grond en constructie plaatsvindt.

Bij keermuur Oukoop zijn de meest voorname fases.

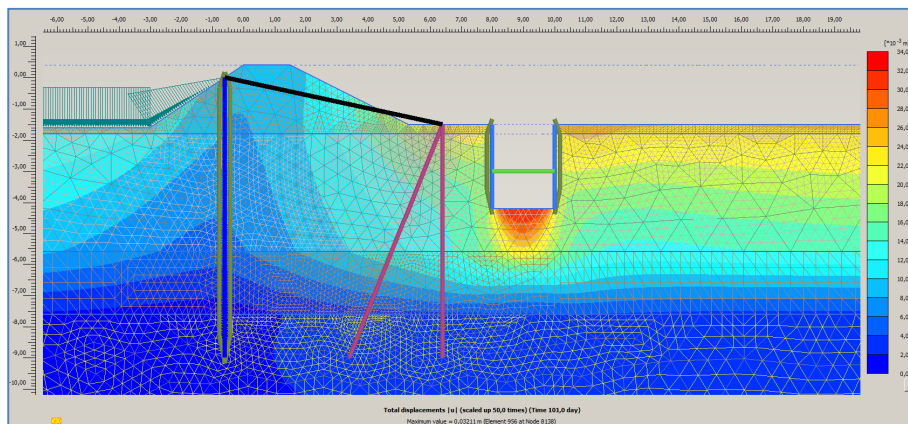
- De initiële fase.
Dit is het startpunt van de berekening. Daarbij wordt een k0 procedure uitgevoerd bij een horizontaal maaiveld. Of een gravity loading bij een (niet) horizontaal maaiveld. Dit is een evenwichtsberekening waarbij op basis van de ingevoerde geometrie een begintoestand voor de grondspanningen wordt berekend.
- Bestaande situatie
In de bestaande situatie wordt de aanwezige bestaande geometrie van het grondlichaam (de dijk) ingevoerd. Omdat er nu een 'vorm' wordt ingevoerd en deze met de initiële spanningen uit de vorige fase worden gecombineerd, kunnen er vervormingen optreden.
- Stabiliteit
Om de stabiliteitsfactor te bepalen van de bestaande situatie is 'stabiliteit' als fase opgenomen. Hier wordt doormiddel van een stabiliteitsberekening de stabiliteit van de huidige situatie, vóór ontgraving, vastgesteld.
- Keermuur aan / sleufbekisting aan
Deze twee fases zijn separaat ingevoerd om eventueel te kunnen 'spelen' met het actief, inactief maken van constructieonderdelen.

- Grondwater omlaag
In de rapportage van collega Geert in 't Veld is naar voren gekomen dat een spanningsbemaling noodzakelijk is om opbarsten van de bouwkuip te voorkomen. In deze fase is daarom de grondwaterstand omlaag gebracht tot NAP-4,2m. Het maaiveld bevindt zich op NAP-1,5m en er vindt een ontgraving plaats van 2,7m.
- Ontgraving + stempel
In deze fase worden de grondmoten binnen de sleufkist inactief gemaakt en wordt het stempel geactiveerd.
- Stabiliteit
De stabiliteitsfactor van de ontgraven situatie wordt in deze fase bepaald. Dit ter vergelijking van de stabiliteit in de bestaande situatie
Er is 100 dagen ingevoerd om er zeker van te zijn dat grondspanningen zich op de nieuwe situatie hebben ingesteld. Dit is een enigszins conservatieve aanname. Verwachting is dat de vervanging van de individuele buisdelen minder tijd in beslag zal nemen.

3.5 Resultaten berekening

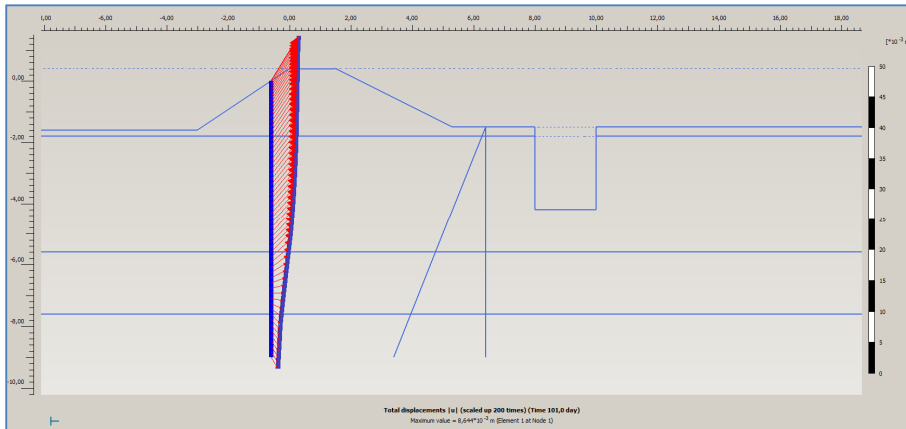
3.5.1 maximale vervorming |u| model

Als resultaat van de berekening wordt een totale vervorming van maximaal 3cm berekend ter plaatse van de ontgraving. Horizontale vervorming van het grondlichaam valt binnen deze maximale vervorming |u| van 3cm.



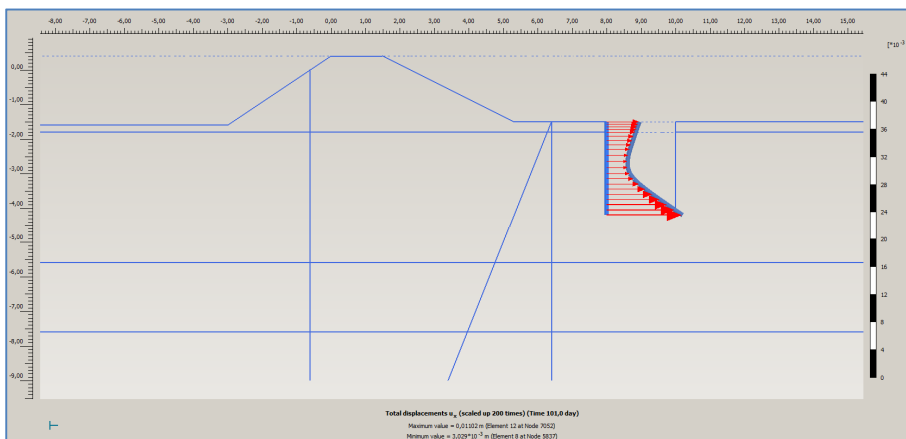
3.5.2 Vervorming keermuur

De vervorming van de keermuur is met 0,4mm te verwaarlozen. ($8,6 \times 10^{-3} \text{m}$ in fase 6 – $8,2 \times 10^{-3} \text{m}$ in fase 3)



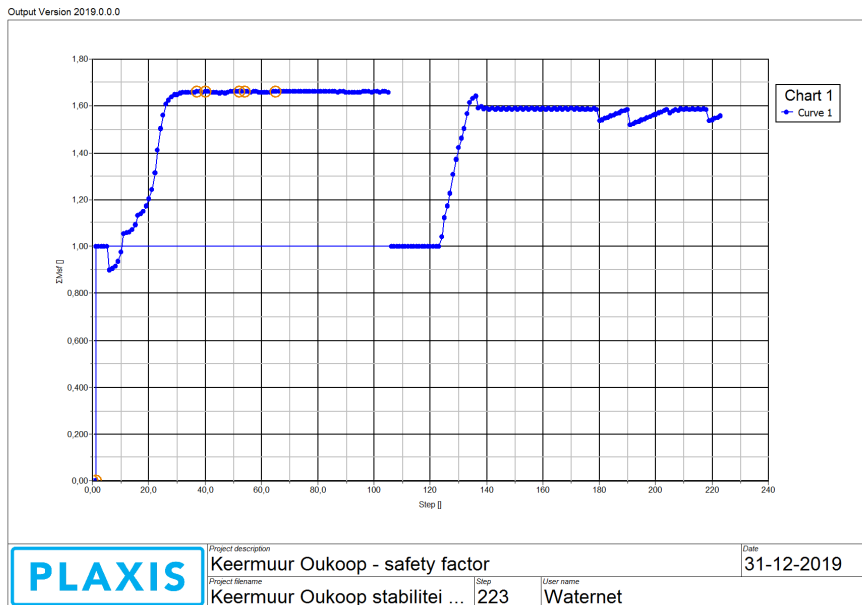
3.5.3 Vervorming sleufkist

Berekende vervorming van de sleufkist bij een ontgravingdiepte van 2,7m bedraagt net minder dan 1cm.



Aangezien info over de sleufkist niet voorhanden is, is een aanname voor de stijfheid gedaan van de sleufkist vergelijkbaar met HE100 liggertjes met een h.o.h. maat van 500mm.

3.5.4 Resultaat berekende veiligheid bij ontgraving

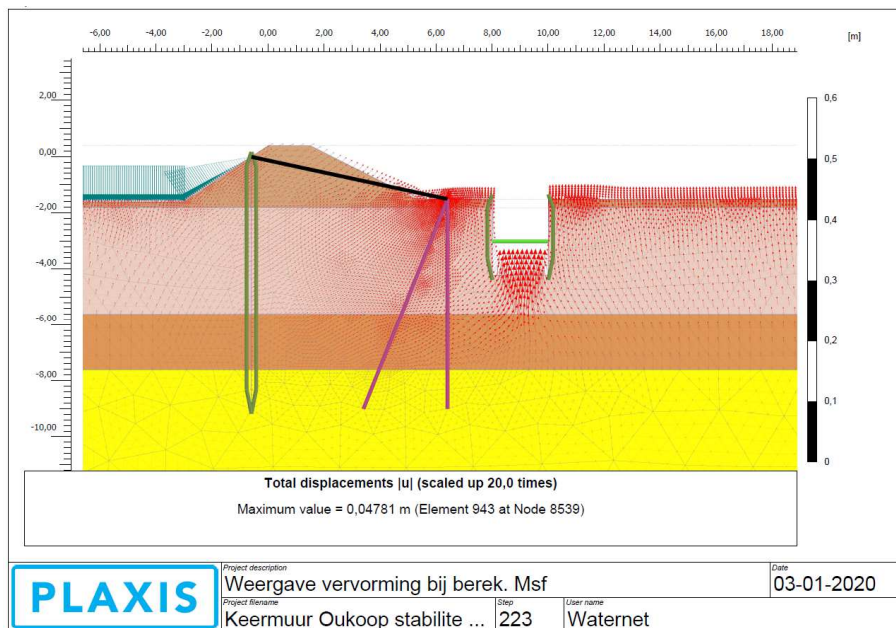


Met behulp van het eindige elementenprogramma Plaxis, versie 2019 is ook de veiligheidsfactor berekend. Uitgaande van een benodigde veiligheidsfactor $M_{sf,benodigd} \geq 1,0$ zijn de rekenresultaten beoordeeld.

In bovenstaande figuur zijn 2 curven weergegeven. De 1^e curve (van step 0 tot step 105 op de x-as) geeft de berekende veiligheid van de bestaande situatie weer ($M_{sf,curve 1} = 1,65$). De 2^e curve (vanaf step 105) is de berekende veiligheid na toepassing van de sleufbekisting ($M_{sf,curve 2} = 1,55$).

Zoals is af te lezen uit de figuur ($M_{sf,curve 2} \geq M_{sf,benodigd}$) blijkt er voldoende veiligheid aanwezig om de ontgraving naast de waterkering uit te voeren.

Om de maatgevende locatie van vervorming bij de stabiliteitsberekening te visualiseren is in onderstaande figuur de grafische presentatie opgenomen.



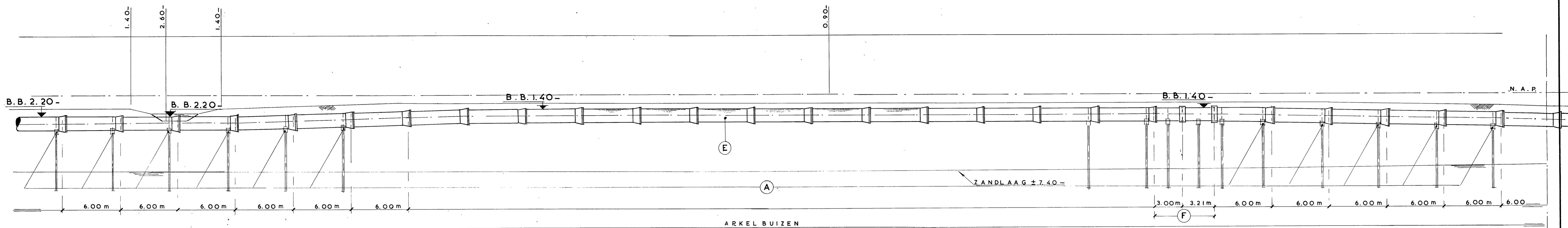
Als maatgevende situatie is ontgraving van de Oostelijke WRK II leiding aangenomen. Omdat deze leiding het meest dichtbij het grondlichaam van de waterkering ligt.

Bij ontgraving van de Westelijke WRK II leiding vormt, voor de veiligheid van de waterkering, de aanwezigheid van de Oostelijke WRK II leiding een positieve invloed. De ligging van de Oostelijke leiding vangt de ontspanning van grond, met bijbehorende vervorming, ten gevolge van de ontgraving van buisdelen van de Westelijke leiding af. Dit omdat de Oostelijke leiding tussen de Westelijke leiding en de waterkering in ligt.

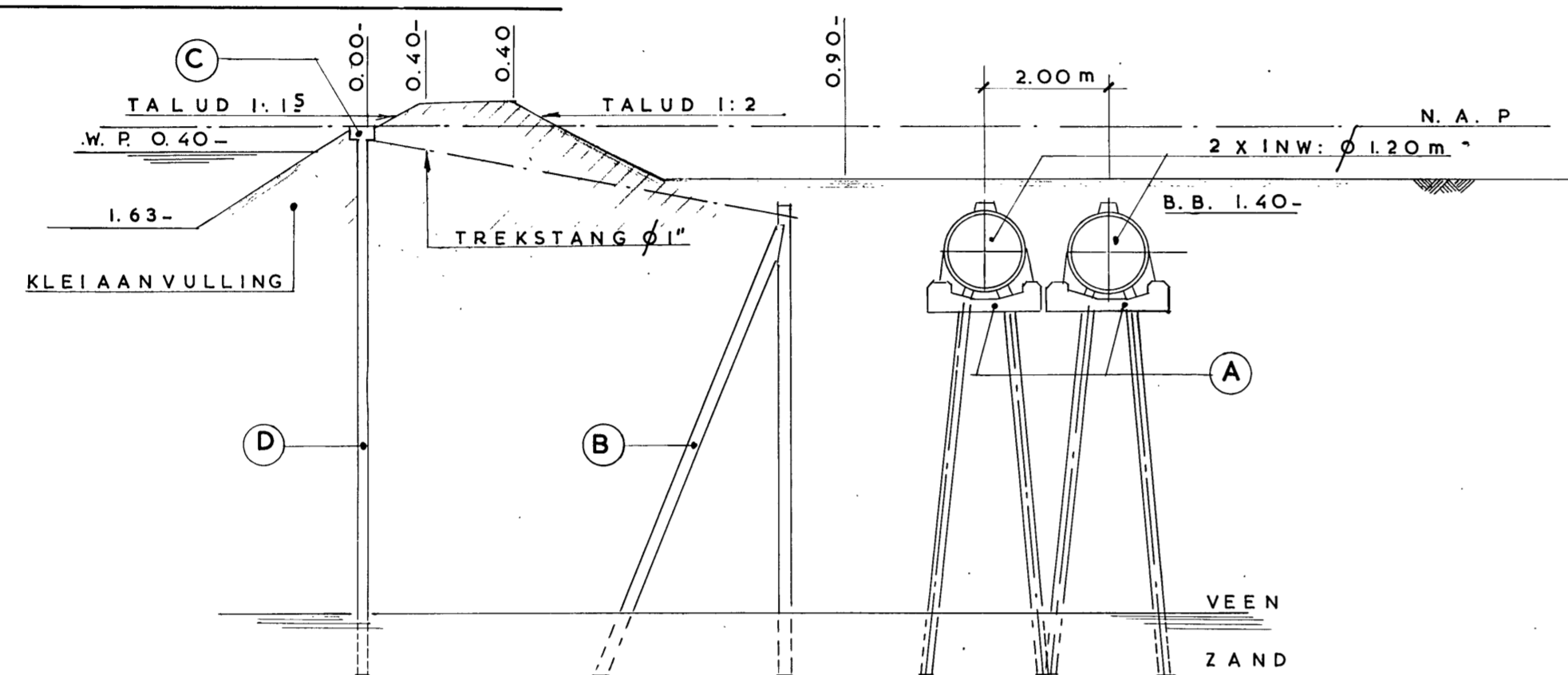
Kantekening

In de berekening is uitgegaan van een ontgraving in combinatie met een benodigde spanningsbemaling om opbarsten van de bouwputbodem te voorkomen. Een en ander zoals is omschreven in rapport met kenmerk '19.045998 WRK II – Oukoop 01.2010-001', opgesteld door G. in 't Veld.

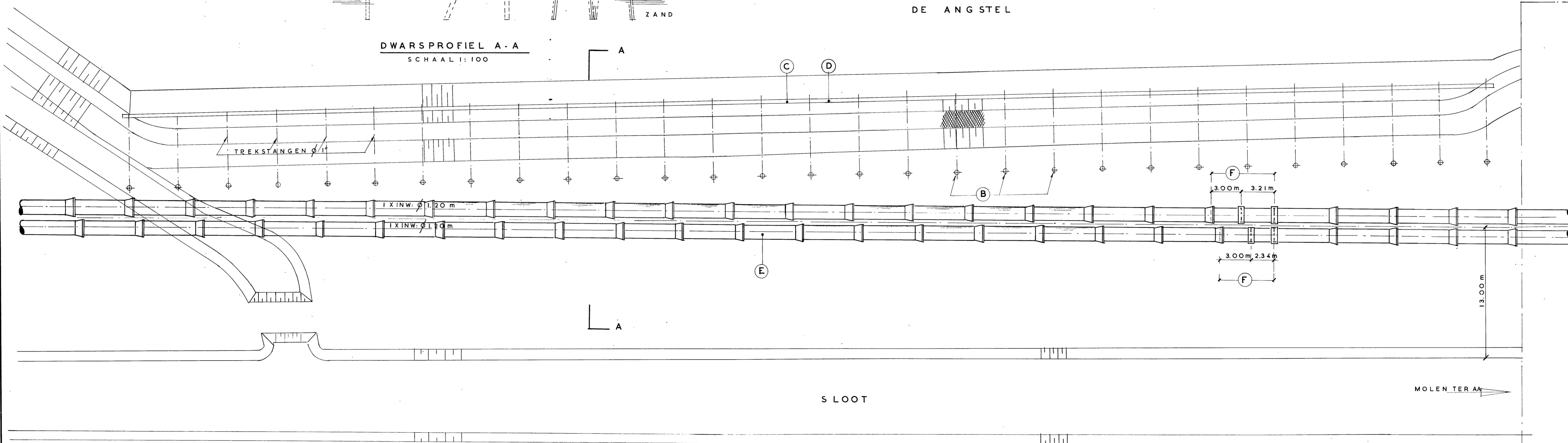
Aanvullend is in de berekening van de stabiliteitsbeschouwing uitgegaan van toepassing van een sleufkist bij alle ontgravingswerkzaamheden. Een open ontgraving is niet beschouwd.



LENGTEPROFIEL OVER DE OOSTLIJKE LEIDING



DWARSPROFIEL A-A
SCHAAL 1:100



SLOOT

MOLEN TER AA

VOOR AANSLUITING ZIE TEK. N° R-03-09

| LETTER | BENAMING | TEKENING N° | SCHAAL 1: 100-1:200 | REVISIE |
|--------|------------------------------|-------------|--|----------------------------|
| A | KESPEN LANG 1.90 | R-25-01 | GETEKEND: <i>[Signature]</i> | GEZIEN: <i>[Signature]</i> |
| B | HOUTEN JUKKEN | R-25-12 | ARCHIEF: | |
| C | GEW: BETON DEKBALK | R-25-11 | VOOR WATERTRANSPORTMAATSCHAPPIJ RIJN KENNEMERLAND-N.V. | |
| D | GEW: BETON DAMPLANKEN TYPE-C | R-25-08 | TRANSPORTLEIDING JUTFAAS-VIJFHUIZEN | |
| E | ARKELBUIZEN LANG 6.00m | R-11-01-01 | 2 X INW: Ø 1.20m | |
| F | ARKELHULPSTUK - L - | R-11-01-02 | OMLEGGING ANGSTELDIJK | |
| | | | GEMEENTEWATERLEIDINGEN AMSTERDAM | A1 N° R-07-05 |

Te vervangen buis in westleiding

**Betonnen keerwand
zie tek. R-07-05**

**Mogelijk te vervangen buis
in oostleiding**

Te vervangen buis in oostleiding

