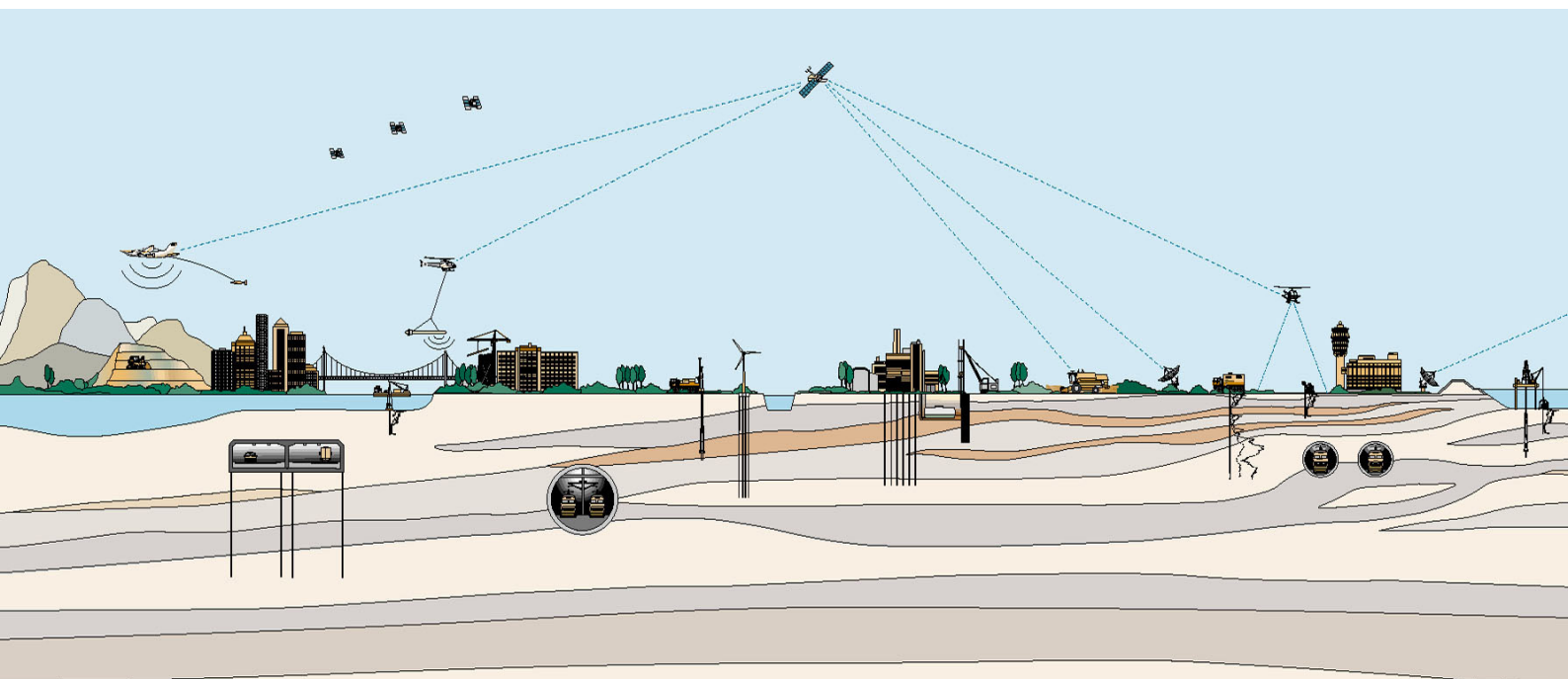


AANVULLENDE ANALYSE
betreffende

A15/N3 - AANLEG OP- EN AFRITTEN

Opdrachtnummer: 1015-0267-000



AANVULLENDE ANALYSE
betreffende

A15/N3 - AANLEG OP- EN AFRITTEN

Opdrachtnummer: 1015-0267-000

Opdrachtgever : Rijkswaterstaat Zuid-Holland
Postbus 8185
3503 RD Utrecht

Datum grondonderzoek : 21 augustus 2015

Projectleider : ing. W.A. Nohl
Principal Consultant Geo-Consultancy

Opgesteld door : ing. A. Cherkaoui / ir. B. Schoenmaker
Adviseur Geotechniek

Gecontroleerd door : ir. F.J.M. Hoefsloot
Principal Consultant Geo-Consultancy

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	11 september 2015	Concept	
2	19 oktober 2015	Definitief	
3	18 januari 2016	Toevoegen KW4 en aanpassingen	

FILE: 1015-0267-000_31.R02_v3a

INHOUDSOPGAVE

Blz.

1. INLEIDING	1
1.1 Projectomschrijving	2
2. AANVULLENDE ANALYSES	3
2.1 Algemeen	3
2.2 Grondparameters en laagindeling	5
2.3 Modelering	8
2.4 Berekeningsresultaten Plaxis	10
2.4.1 Traditioneel ophogen	10
2.4.2 Oplossing met paalmatrassysteem	11
2.5 Landhoofdaansluitingen ten noorden van de spoortunnel (Dwarsprofiel 5)	13
2.6 Effect belasting uit de palen onder het landhoofd op de tunnelconstructie	14
2.7 Kunstwerk 3 (KW3)	14
2.8 Kunstwerk 4 (KW4)	16
2.8.1 Overspanning van 31,7 m (landhoofd op 5 m van tunnelbak)	16
2.8.2 Overspanning van 45,0 m (landhoofd op 10 m van tunnelbak)	17
3. RISICO-INVENTARISATIE BOUWMETHODEN	19
3.1 Aardenbaan ten noorden van de spoortunnel (Dwarsprofiel 5)	19
3.2 Aansluiting aardenbanen op KW3 en KW4	19
3.3 Oplossing ter plaatse van bestaande waterpartij	20
3.4 Vervormingscriterium en installatie-effecten op de tunnelmoten	21

BIJLAGEN

Nr.

Appendices

- 1 Situatietekening nieuw, project aansluiting A15-N3/N214 Voorontwerp van Grontmij tekening nr. W503-11-01-06 d.d. 19-02-2013.
- 2 Dwarsprofielen as MWA1, MWB1, MWC1 en MWE1, project aansluiting A15-N3/N214 Voorontwerp van Grontmij, tekening nr. W503-11-03-01 d.d. 19-02-2013.
- 3 Viaduct KW 3 bovenaanzicht en doorsneden, project A15-N3 van Grontmij tekening nr. W403-21-03-01, revisie C1 d.d. 11-11-2011.
- 4 Viaduct KW 4 bovenaanzicht en doorsneden, project A15-N3 van Grontmij tekening nr. W403-21-03-11, revisie C1 d.d. 10-11-2011.

1. INLEIDING

Op 24 juni 2015 ontving Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam van Rijkswaterstaat Zuid-Holland te Utrecht de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek en zettingsberekeningen, voor het project A15/N3 - Aanleg op- en afritten.

De aansluiting van de weg N3 op rijksweg A15 wordt aan de noordzijde van de A15 gewijzigd, waarbij de oprit van N3 naar A15 richting Rotterdam en de afrit van A15 naar N3 noordelijker worden gesitueerd. Deze kruisen dan de oostelijke tunnelbak van de Sophia-spoortunnel van de Betuweroute met 2 viaducten. Voorts kan de nieuwe verhoogde aardenbaan van de oprit en de afrit de tunnelbak beïnvloeden.

Door ProRail is geëist, dat de tunnelbak door de reconstructie minimaal (hoogstens 1,5 mm) mag verplaatsen. Door Grontmij is een voorontwerp gemaakt, dat is vastgelegd in Grontmij rapport "Geotechnische variantenstudie ophogingen en funderingen", concept d.d. 23 november 2011.

Door Rijkswaterstaat is gevraagd om de haalbaarheid van de verplaatsingen door de aanleg van de aardenbaan en de viaducten in relatie tot de verplaatsingseisen van ProRail nader te onderzoeken. De studie moet aanhaken aan het Grontmij rapport. Daarnaast dient de studie aan te geven op welke wijze de ophoging en de aanleg van de viaducten mogelijk is.

In dit rapport zijn de door Grontmij uitgevoerde "Geotechnische variantenstudie ophogingen en funderingen" uitgebreid met aanvullende berekeningen waaruit blijkt welke horizontale verplaatsingen ontstaan bij verschillende bouwmethoden.

Hieruit kan de haalbaarheid en noodzaak worden vastgesteld van de verschillende bouwmethoden. De inzet van bijzondere bouwmethoden (bijvoorbeeld anders dan ophogen met zand) is direct afhankelijk van de verplaatsingseisen van de tunnelbak zoals door ProRail aangegeven.

Dit rapport bevat:

- een inleiding en korte projectomschrijving (hoofdstuk 1);
- aanvullende analyses van de vervormingen en de resultaten hiervan (hoofdstuk 2);
- een risico-inventarisatie van de bouwmethoden (hoofdstuk 3).

1.1 Projectomschrijving

In dit gebied zijn twee viaducten geprojecteerd, die de tunnelbak van de Sophiaspoortunnel, in de Betuweroute, kruisen. Aansluitend op de kunstwerken zijn aardenbanen geprojecteerd. De as van de aardenbanen buigt af naar de bestaande aansluiting van de N3 om hierop aan te sluiten. Deels loopt de aardenbaan aan de noordzijde parallel aan de tunnelbak van de Betuweroute. Een luchtfoto van de projectlocatie is weergegeven in Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Luchtfoto van de projectlocatie (bron: Google Earth)

Om de haalbaarheid van de verschillende bouwmethoden te bepalen dient inzicht te worden verkregen in de te verwachten horizontale grondverplaatsingen ter plaatse van de tunnelbak.

De verplaatsingen van de tunnelbak zijn in dit rapport tevens geanalyseerd. Door het aanbrengen van belastingen op het maaiveld, maar ook door het overbrengen van de belasting van de ophoging naar de Pleistocene zandlaag zijn de eventuele effecten in de laag van Kedichem meegenomen.

2. AANVULLENDE ANALYSES

2.1 Algemeen

Grontmij heeft een geotechnische variantenstudie uitgevoerd naar verschillende bouwmethoden ("Geotechnische variantenstudie ophogingen en funderingen", concept d.d. 23 november 2011). Om de haalbaarheid van de verschillende bouwmethoden te bepalen dient inzicht te worden verkregen in de te verwachten horizontale grondverplaatsingen ter plaatse van de tunnelbak van de Sophiaspoortunnel. Dit is voornamelijk van toepassing voor een tweetal varianten:

- Een traditionele ophoging met zand en zetting versnellende maatregelen in de vorm van verticale drainage.
- Een ophoging in zand op een paalmatras.

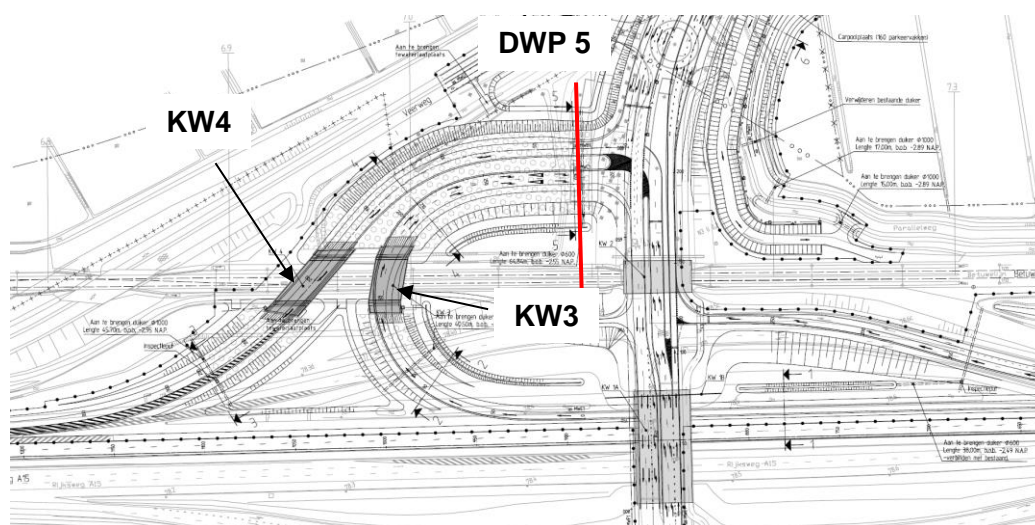
Voor beide varianten is een nadere analyse van de beïnvloeding van de tunnelbak van de Betuweroute noodzakelijk.

Er worden strenge eisen gesteld aan de maximale vervorming van de bestaande toerit van de Sophiaspoortunnel. ProRail heeft een maximale vervorming aangegeven van 1,5 mm. De maatgevende locaties zijn:

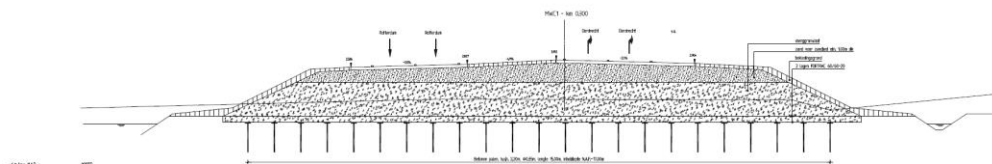
- De aardenbaan ten noorden en evenwijdig aan de spoortunnel; hier is dwarsprofiel 5 met de grootste ophoging, maatgevend.
- De landhoofdaansluitingen van de aardenbaan bij KW3 en KW4; de landhoofden liggen op relatief korte afstand uit de zijkant van de tunnel en de te realiseren aardenbanen zijn relatief hoog.

Voor het bepalen van de verplaatsingen is een doorsnede beschouwd van de aardenbaan parallel aan de spoorbaan (dwarsprofiel 5), zoals weergegeven in Figuur 2-1 en Figuur 2-2.

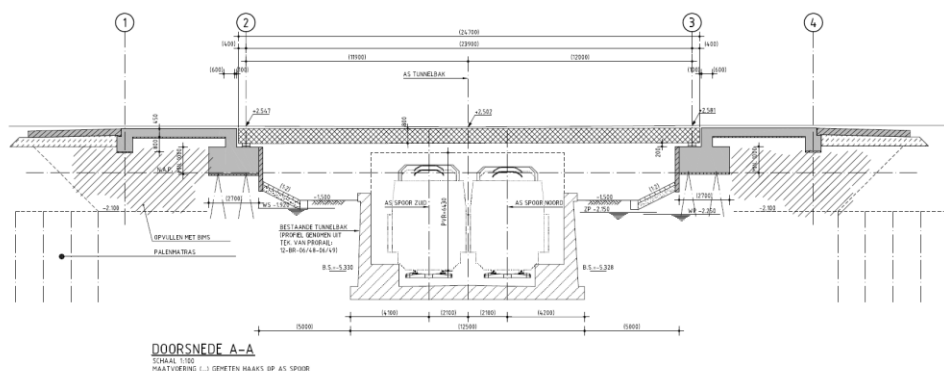
Daarnaast is de situatie ter plaatse van KW3 en KW4, zoals in Figuur 2-3 en Figuur 2-4 gegeven, beschouwd.



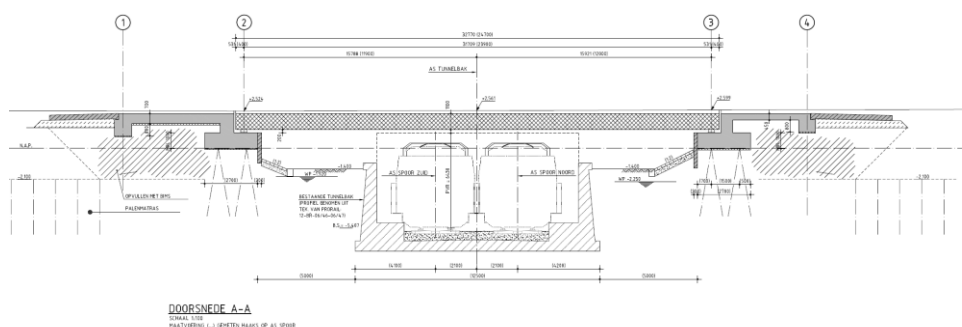
Figuur 2-1: Nieuwe situatie en in rood aangegeven de locatie van dwp 5 (bron: zie appendix 1)



Figuur 2-2: Dwarsprofiel 5 (bron: zie appendix 2)



Figuur 2-3: KW3 (bron: zie appendix 3)



Figuur 2-4: KW4 (bron: zie appendix 4)

In de volgende paragraaf wordt eerst een toelichting gegeven op de keuze van de bodemlaagindeling en grondparameters. In paragraaf 2.3 is de wijze van modellering gegeven en in paragraaf 2.4 zijn de resultaten gepresenteerd en beschreven voor de verschillende oplossingen.

2.2 Grondparameters en laagindeling

Fugro heeft het door Rijkswaterstaat aangeleverde archief en het beschikbare grondonderzoek uit eigen archief geïnventariseerd. Tevens is er door Fugro aanvullend veldwerk- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd. De resultaten hiervan, eventuele afwijkingen van de opdracht en opmerkingen zijn separaat gepresenteerd in de volgende documenten:

- Inventarisatiedocument beschikbaar grondonderzoek, rapport nr. 1015-0267-000_31.R01 d.d. 12 oktober 2015.
- Rapportage "Geotechnisch Veldwerk", Fugro rapport nr. 1015-0267-001.KR01 d.d. 5 augustus 2015.
- Rapportage "Laboratoriumonderzoek", Fugro rapport nr. 1015-0267-002.LR01 d.d. 16 september 2015.

De samendrukbaarheid en dikte van de diepe kleilaag speelt een overheersende rol in het vervormingsgedrag van deze laag en de invloed hiervan op de tunnelbak. De dikte van het samendrukbare deel van de kleilaag is per sondering bepaald door sommatie van de lagen met een conusweerstand kleiner of gelijk aan 4,0 MPa.

Tabel 2-1: Variatie dikte samendrukbare kleilaag (basis: sonderingen DKMP1 t/m DKMP6)

DKMP	1	2	3	4	5	6
Bovenkant klei [m+NAP] ¹⁾	-25,6	-21,6	-22,1	-22,7	-23,3	-24,2
Onderkant Klei [m+NAP]	-45,4	-31,8	-42,9	-40,7	-40,8	-30,3
Dikte kleilaag ²⁾ [m]	9,4	7,4	9,8	9,2	9,0	3,3
Max. diepte sondering [m+NAP]	-46,1	-31,8	-43,7	-43,5	-40,9	-30,0
Sondering te ondiep	-	ja	-	-	-	ja

1) De bovenkant ligt gemiddeld op NAP -23,3 m.

2) De kleilaag wordt veelvuldig onderbroken door zandlagen; de dikte is bepaald door sommatie van de lagen met een conusweerstand kleiner of gelijk aan 4,0 MPa.

Voor het uitvoeren van de vervormingsberekeningen in Plaxis is een set grondparameters opgesteld. Voor de toplaag is gekozen voor het Mohr-Coulombmodel in verband met het geringe spanningsniveau waardoor de stijfheid in het HS small-model zou worden onderschat.

Voor de diepe kleilaag zijn oriënterende berekeningen gemaakt met diverse grondmodellen; Soft Soil Creep-model, Soft Soil-model en het HS-model. De resultaten van ééndimensionale samendrukkingsberekeningen zijn vergeleken met het resultaat van een NEN-Bjerrum isotachenberekening.

Directe proeven op dit materiaal zijn niet uitgevoerd omdat de boringen niet tot in de kleilaag zijn doorgezet. De samendrukbaarheid is geschat op basis van een drietal bronnen: Samendrukkingsproeven op Kedichem project Rotterdam (Tabel 2-2).

- Betuweroute, bouwput Sophiaspoortunnel; Hardening Soil-model, $E_{50}^{ref} = 8.500 \text{ kPa}$, $E_{oed}^{ref} = 5.500 \text{ kPa}$ en $E_{ur}^{ref} = 38.000 \text{ kPa}$ (referentie: COB F200 – Praktijkonderzoek Sophiaspoortunnel, opgeleverd in de deelcommissie F210 Zwel 1999 t/m 2002).
- NEN 9997-1 tabel 2b, Leem matig vast, $CR = 0,0511$, $RR = 0,0170$ en $C_\alpha = 0,002$.

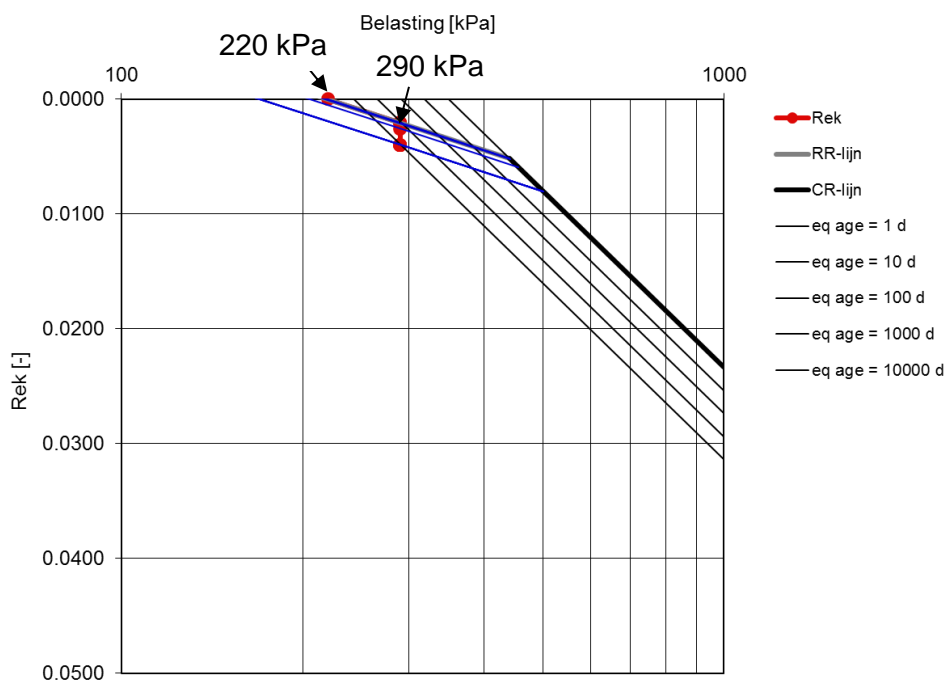
Tabel 2-2: Samendrukkingsproeven op Kedichem project Rotterdam (uit eigen archief)

Monsternr.	7	8	14	9
Diepte [m+NAP]	-35,6	-38,9	-46,0	-53,1
Conusweerstand [MPa]	3	8	3	6
CR	0,1672	0,2265	0,0988	0,0877
SR	0,0227	0,0180	0,0101	0,0097
C_α	0,0036	0,0063	0,0023	0,0019
Grensspanning [kPa]	468	719	446	824

De samendrukbaarheid van de diepe kleilagen is onderzocht in een eendimensionaal NEN-Bjerrum isotachenmodel. Het isotachenmodel gaat uit van de huidige effectieve spanningstoestand in de grond en een bijbehorende momentane kruipreksnelheid. Deze laatste wordt beschreven door ofwel de intrinsieke tijd (equivalente leeftijd), overconsolidatiegraad (OCR), grensspanning (p_g') of "pre-overburden pressure" (POP) of de momentane kruipreksnelheid. Voor de Kedichemkleilaag is een reële schatting van de parameters gedaan:

CR = 0,0511, RR = 0,0170 en $C_\alpha = 0,002$
 OCR = 2,0
 p_g' = 440 kPa bij $\sigma_v' = 220$ kPa
 POP = 220 kPa
 t_{eq} = 370 jaar
 $d\varepsilon_{s0}/dt = 1,5 \cdot 10^{-8}$ 1/dag = $5,5 \cdot 10^{-6}$ 1/jaar

Bij een gemiddelde verticale korrelspanning in de Kedichemkleilaag op NAP -30 m en een belastingverhoging van 70 kPa geeft het eendimensionale NEN-Bjerrum een directe rek (na consolidatie) van 0,002 en een totale rek van 0,004 na 30 jaar. Bij een laagdikte van ca. 9,4 m resulteert dit in een directe zetting (na consolidatie) van 19 mm en een totale zetting van 38 mm na 30 jaar. Het resultaat van de eendimensionale berekening is gegeven in Figuur 2-5. Geconcludeerd wordt dat de verwachte plastische kruipvervorming van gelijke orde is als de directe elastische zetting na consolidatie.



Figuur 2-5: resultaat eendimensionale NEN-Bjerrum isotachenmodel

In het Plaxis Soft Soil Creep-model is de relatie tussen equivalente leeftijd, OCR en momentane kruipreksnelheid iets anders gedefinieerd als gevolg van de neutrale horizontale gronddrukcoëfficiënt. Om dezelfde vervorming te krijgen in een eendimensionale Plaxisberekening kan wel dezelfde equivalente leeftijd worden toegepast echter hier hoort een aanzienlijke grotere OCR bij. Om het inzicht in de verschillende aspecten te behouden is ervoor gekozen om in Plaxis het Hardening Soil-model toe te passen en de vervorming na 30 jaar kruip in rekening te brengen door een verdubbeling van de berekende directe vervorming. Op basis van het uitgevoerde grondonderzoek en de beschikbare sonderingen uit het archief is een representatieve bodemschematisatie gemaakt zoals weergegeven in Tabel 2-3.

Tabel 2-3: Bodemschematisatie Plaxismodel

Nr.	Grondsoort	Bovenkant grondlaag [NAP +/- m]	Laagdikte [m]
1	Toplaag	-1,5	1,0
2	Veen	-2,5	3,0
3	Klei, zw siltig	-5,5	6,5
4	Zand mv	-12,0	11,3
5	Klei / Leem	-23,3	1,7
6	Zand mv	-25,0	3,0
7	Klei / Leem	-28,0	5,0
8	Zand mv	-33,0	3,0
9	Klei / Leem	-36,0	2,7
10	Zand mv	-38,7	11,3

De stijfheids- en sterkteparameters van de grondlagen die in het Plaxismodel zijn toegepast zijn weergegeven in Tabel 2-4.

Tabel 2-4: Stijfheidsparameter en sterkteparameters HS small modelparameters

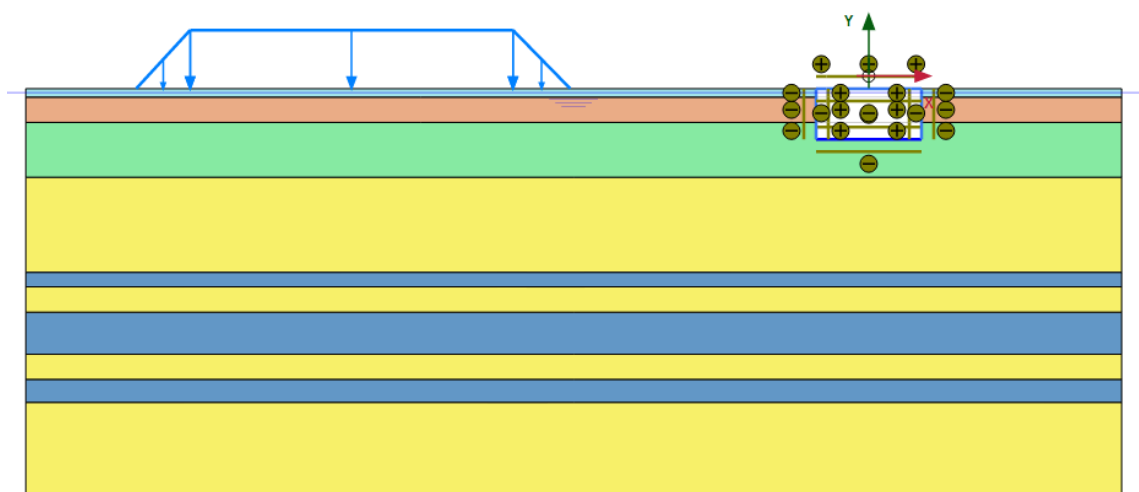
Nr.	$\gamma_{\text{unsat}}/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	ϕ' [°]	ψ [°]	ν_{ur} [-]	E_{50}^{ref} [kN/m ²]	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	m [-]	$\gamma_{0,7}$ [-]	G_0^{ref} [kN/m ²]
1	13/13	5,0	20,0	-	$E' = 2.000 \text{ kN/m}^2 \nu = 0,3$						
2	11/11	3,0	20,0	-	0,2	1.000	500	3.000	1,0	0,1E-03	3.000
3	14/14	3,0	20,0	-	0,2	1.400	700	4.200	0,9	0,1E-03	4.200
4	18/20	-	32,5	2,5	0,2	35.000	35.000	105.000	0,5	0,1E-03	105.000
5	18/20	3,0	30,0	-	0,2	8.500	5.500	38.000	1,0	-	-
6	18/20	-	32,5	2,5	0,2	35.000	35.000	105.000	0,5	0,1E-03	105.000
7	18/20	3,0	30,0	-	0,2	8.500	5.500	38.000	1,0	-	-
8	18/20	-	32,5	2,5	0,2	35.000	35.000	105.000	0,5	0,1E-03	105.000
9	18/20	3,0	30,0	-	0,2	8.500	5.500	38.000	1,0	-	-
10	18/20	-	32,5	2,5	0,2	35.000	35.000	105.000	0,5	0,1E-03	105.000

Voor de diepe zand- en klei-/leemlaag is een overconsolidatiegraad (OCR) gebruikt van 1,3 en 2,0, respectievelijk.

2.3 Modelering

De modelleringen zijn uitgevoerd in Plaxis 2D versie 2015.01. Hierbij is voornamelijk rekening gehouden met de bijdrage in de vervorming van de diepgelegen samendrukbare lagen van de formatie van Kedichem. In de Plaxisberekening is een grondwaterstand van MV -0,5 m (ca. NAP -2,0 m) aangehouden.

In dit model is een traditionele ophoging en een paalmatrasconstructie geanalyseerd. Op basis van de analyse is een inschatting van de verplaatsingen ter plaatse van de kunstwerken gemaakt en is indicatief de afstand tussen de landhoofden van de viaducten en de tunnelbak aangegeven. In Figuur 2-6 is de geometrie van het Plaxismodel weergegeven.



Figuur 2-6: Geometrie van het Plaxismodel (situatie met belasting op maaiveld)

In het model is een uniforme belasting aangenomen van ca. 70 kPa. De zandophoging bedraagt conform aangeleverde tekeningen van Grontmij ca. 3,5 à 4,2 m. De tekeningen van de aansluiting A15/N3 zijn tevens toegevoegd als bijlage van dit rapport.

De tunnelconstructie (zonder palen) is als plaat-elementen ("plate-elements") gemodelleerd in het Plaxismodel. Voor het model zijn de volgende eigenschappen ingevoerd:

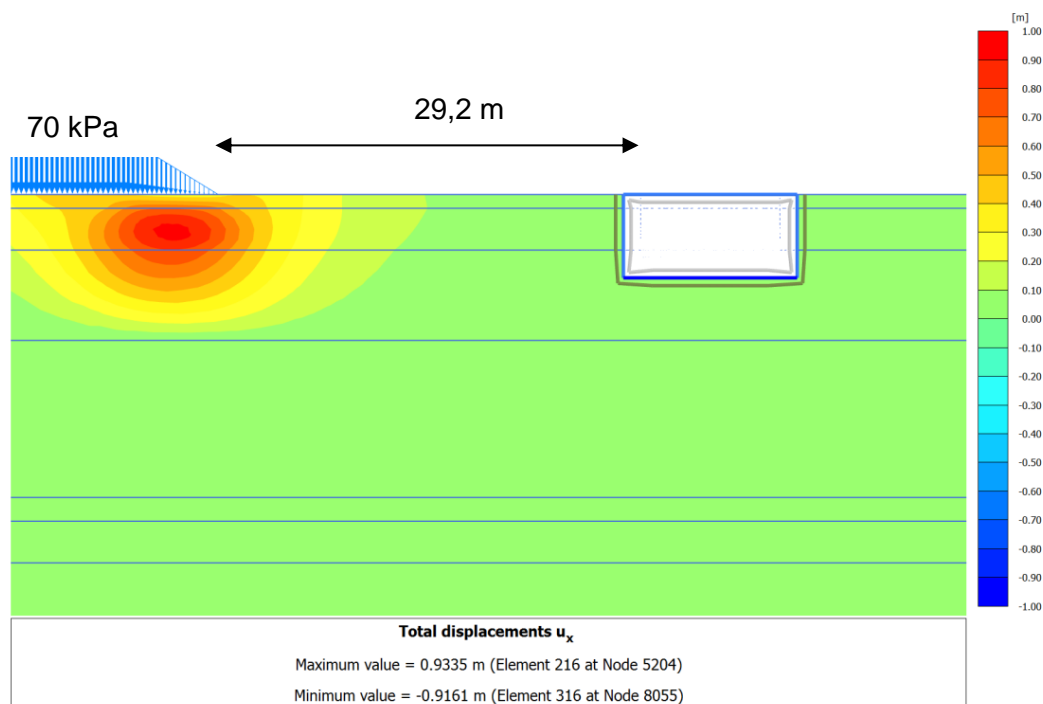
d	= 0,5	[m]
EI	= 208×10^3	[kNm ² /m ¹]
EA	= 1×10^7	[kN/m ¹]
v	= 0,2	[-]

De breedte van de tunnelbak bedraagt ca. 12,5 m. Om de palen te compenseren is voor de tunnelvloer een eigen gewicht toegekend van 74 kN/m/m', zodanig dat bij de gekozen afmetingen er geen effectieve spanningstoename is ter plaatse van de onderkant van de tunnelbak.

2.4 Berekeningsresultaten Plaxis

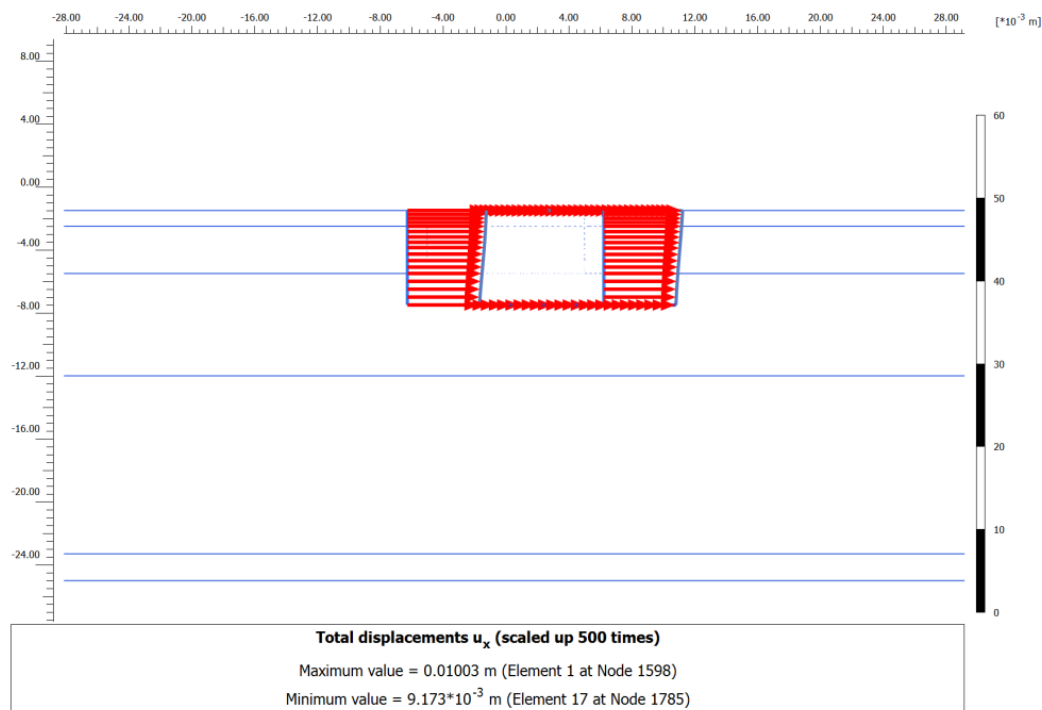
2.4.1 Traditioneel ophogen

De teen van de aardenbaan ligt ca. 29,2 m uit de zijkant van de tunnel zoals weergegeven in Figuur 2-7.



Figuur 2-7: Horizontale grondvervorming u_x (kleurschaal van -1,0 tot 1,0 m in 20 stappen)

Uit de Plaxisresultaten volgt dat bij een traditionele ophoging met zand de berekende horizontale vervorming en verticale vervorming van de tunnelbak respectievelijk orde 10 mm en 5 mm bedraagt. De horizontale vervorming van de tunnelbak is weergegeven in Figuur 2-8.



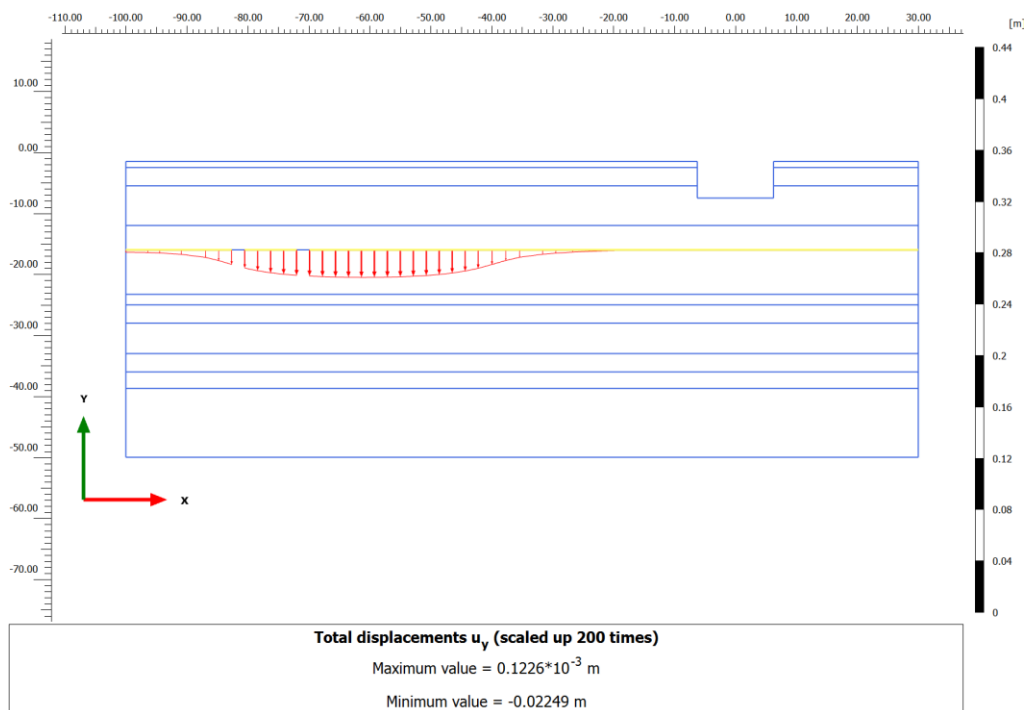
Figuur 2-8: Horizontale vervorming u_x van de tunnelconstructie

Geconcludeerd kan worden dat zonder aanvullende maatregelen ontoelaatbaar grote vervormingen (eis is 1,5 mm) zullen ontstaan ter plaatse van de tunnelbak van de Betuweroute. Dit kan mogelijk schade tot gevolg hebben. Er dienen dus maatregelen genomen te worden, bijvoorbeeld toepassing van een paalmatrasconstructie (in combinatie met EPS-constructie) om de risico's voor de omgeving te beheersen.

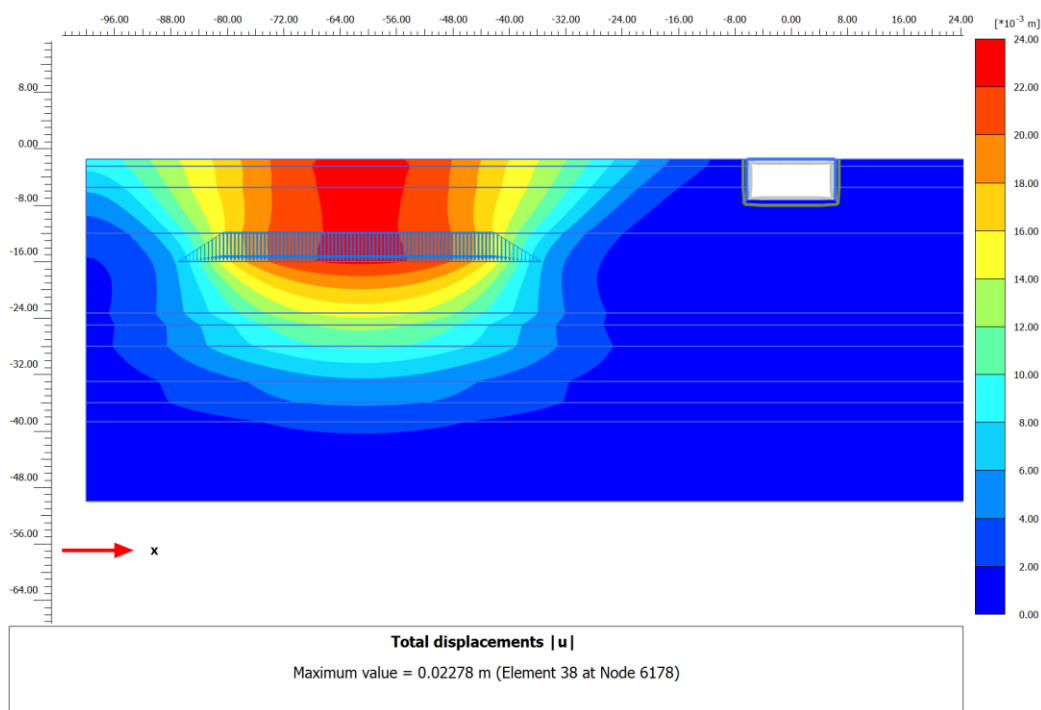
2.4.2 Oplossing met paalmatrassysteem

Bij toepassing van een paalmatrassysteem met een paalpunt op ca. NAP -16 m bedraagt de verticale vervorming onder het paalpuntniveau ca. 20 à 25 mm zoals weergegeven in Figuur 2-9. De totale grondvervormingen in het Plaxismodel zijn weergegeven in Figuur 2-10.

Rekening dient te worden gehouden met een bijkomende verticale kruipvervorming in de diepe Kedichemkleilaag van ca. 20 mm.

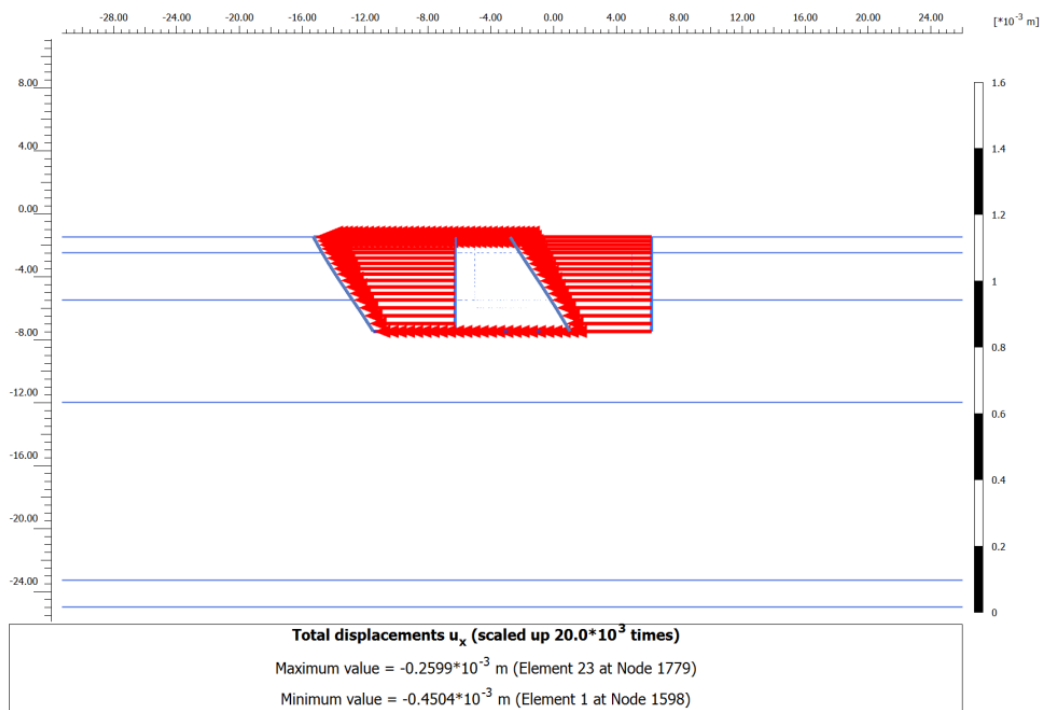


Figuur 2-9: Verticale vervorming u_y op paalpuntniveau paalmatras u_y (NAP -16,0 m)



Figuur 2-10: Totale grondvervorming $|u|$ bij toepassing paalmatrassysteem (kleurschaal van, 0 tot 24 mm in 12 stappen)

De berekende horizontale vervorming op de rand van de tunnel is 0,5 mm zoals weergegeven in Figuur 2-11; de berekende verticale vervorming is 0,2 mm (op paalpuntniveau van ca. NAP -16 m). Rekening houdend met een bijkomende vervorming ten gevolge van kruip bedraagt de totale horizontale vervorming ter plaatse van de tunnelconstructie 1,0 mm.



Figuur 2-11: Horizontale vervorming u_x van de tunnelconstructie bij toepassing paalmatrassysteem

2.5 Landhoofdaansluitingen ten noorden van de spoortunnel (Dwarsprofiel 5)

Bij deze aansluitingen liggen de aardenbanen aanzienlijk dicht bij de tunnelconstructie. Hier lijkt een traditionele ophoging om de aardenbaan te realiseren volstrekt niet haalbaar met betrekking tot het vervormingscriterium van de tunnel. In Plaxis zijn de afstanden van de tunnelwand tot het paalmatrassysteem gevarieerd van 15 tot 30 m. In Tabel 2-5 zijn de resultaten van de Plaxisanalyse weergegeven als gevolg van toepassing van een paalmatras in combinatie met een zandophoging.

Tabel 2-5: Horizontale vervorming van de tunnelconstructie

Horizontale afstand [m]	Horizontale vervorming u_x [mm]	Verticale vervorming u_y [mm]	Totale vervorming $ u $ [mm]	Totale Vervorming inclusief kruip $ u $ [mm]
30	0,5	0,2	0,5	1,0
20	1,4	0,8	1,6	3,2
15	2,3	1,8	3,0	6,0

Op basis van het bovenstaande is gebleken dat bij toepassing van een paalmatrassysteem op een afstand van 15 à 20 m in combinatie met een zandophoging er nog steeds niet aan de eis van ProRail van 1,5 mm wordt voldaan. Een oplossing, waarbij een deel van de aansluitende aardenbaan wordt uitgevoerd als een EPS-constructie op een paalmatras, lijkt

het meest voor de hand te liggen. Door het toepassen van EPS in combinatie met een paalmatras worden de totale zettingen en de horizontale verplaatsingen verminderd. Dit heeft een gunstig effect op de bouwtijd, de stabiliteit en de invloed op de omgeving.

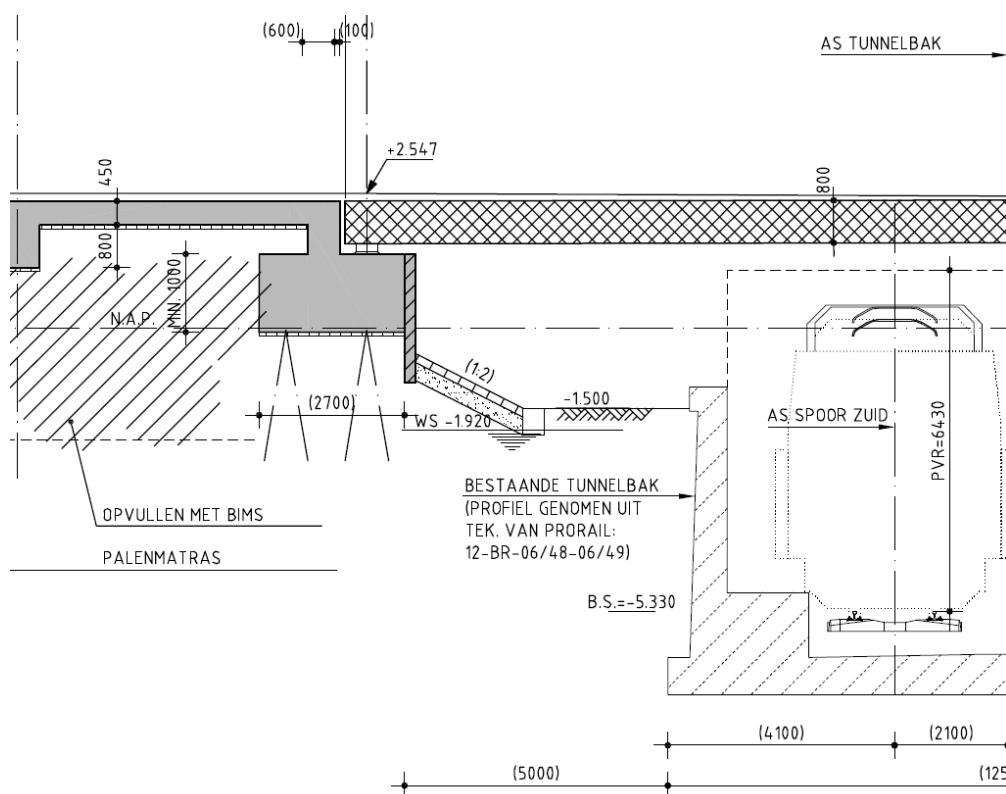
2.6 Effect belasting uit de palen onder het landhoofd op de tunnelconstructie

De belasting uit de landhoofdconstructie zorgt voor een spanningstoename in de formatie van Kedichem op korte afstand van de funderingspalen van de tunnelbak. Een nadere verkenning van de bijbehorende vervormingen van Kedichemkleilaag en de tunnelbak is uitgevoerd.

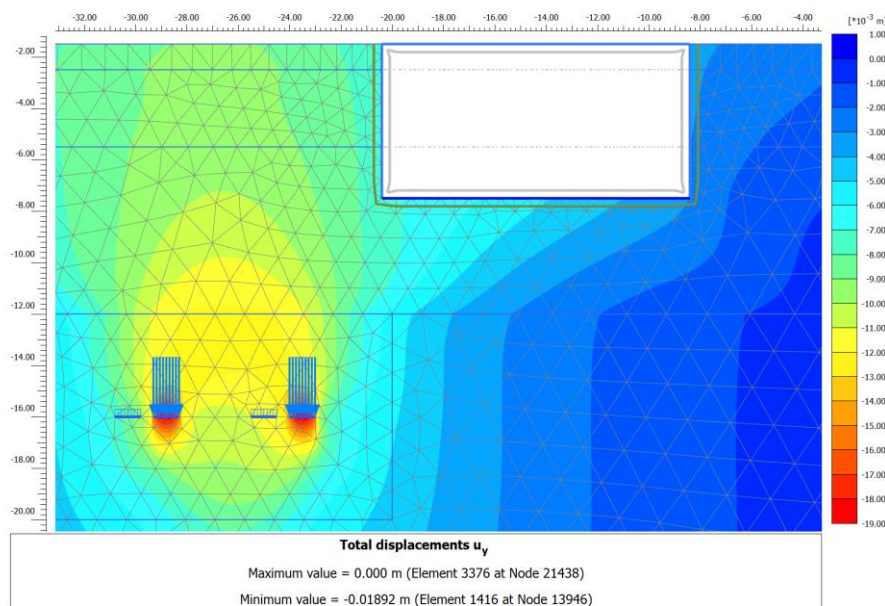
2.7 Kunstwerk 3 (KW3)

Figuur 2-12 toon de situatie bij kunstwerk 3.

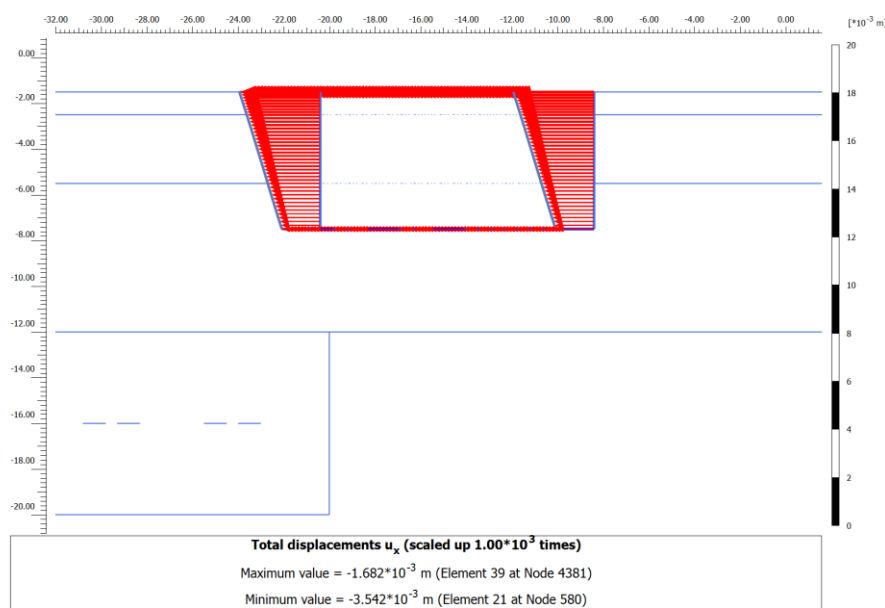
Voor de voorste rij palen direct onder de oplegging van het rijdek bedraagt de karakteristieke waarden van de verticale belasting conform opgave van de opdrachtgever ca. 621 kN/m (= 1864 kN / 3 m). Voor de achterste rij op 1,5 m afstand bedraagt de karakteristieke waarden ca. 80 kN/m (241 kN / 3m). In het model is uitgegaan van een reële belastingafdracht op ca. NAP -16,0 m en een spreiding van de lijnlast over een breedte van 1,0 m. Voor de palen is een schoorstand van 1:6 aangenomen.



Figuur 2-12: Tekening doorsnede A-A tekening nr. W403-21-03-01-C1



Figuur 2-13: Verticale vervorming u_y

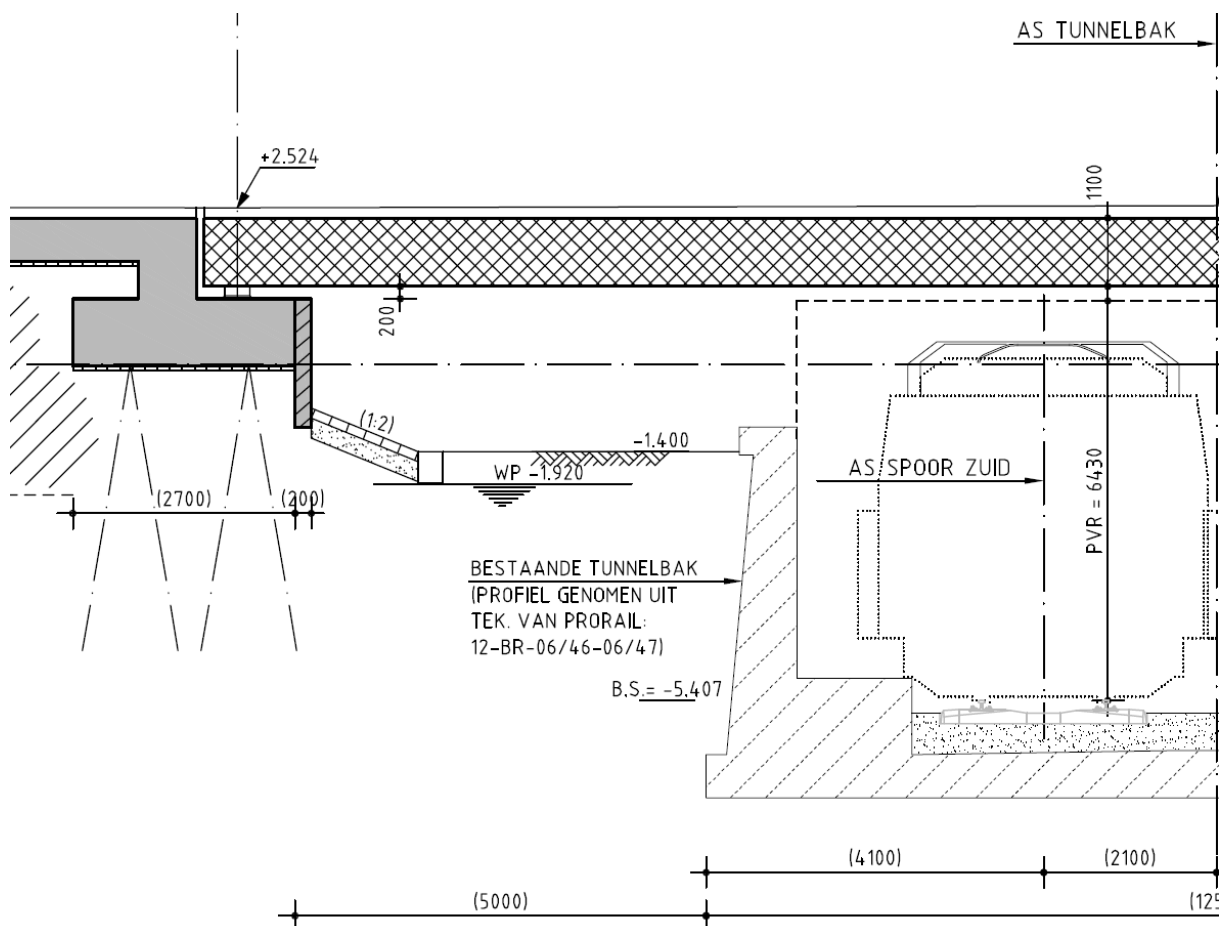


Figuur 2-14: Horizontale vervorming u_x

De berekende horizontale vervorming op de rand van de tunnel bedraagt ca. 3 à 4 mm zoals weergegeven in Figuur 2-14; de berekende verticale vervorming ter plaatse van de tunnel op paalpuntniveau van ca. NAP -16 m bedraagt ca. 6 à 7 mm. Rekening houdend met een bijkomende vervorming ten gevolge van kruip bedraagt de totale horizontale vervorming ter plaatse van de tunnelconstructie 7 à 8 mm en verticaal 12 à 14 mm. Aanbevolen wordt om de voorste rij palen te lood te zetten. De berekende verticale vervorming, inclusief kruip, bedraagt dan nog altijd orde 7 mm ter plaatse van de zijkant van de tunnelconstructie.

2.8 Kunstwerk 4 (KW4)

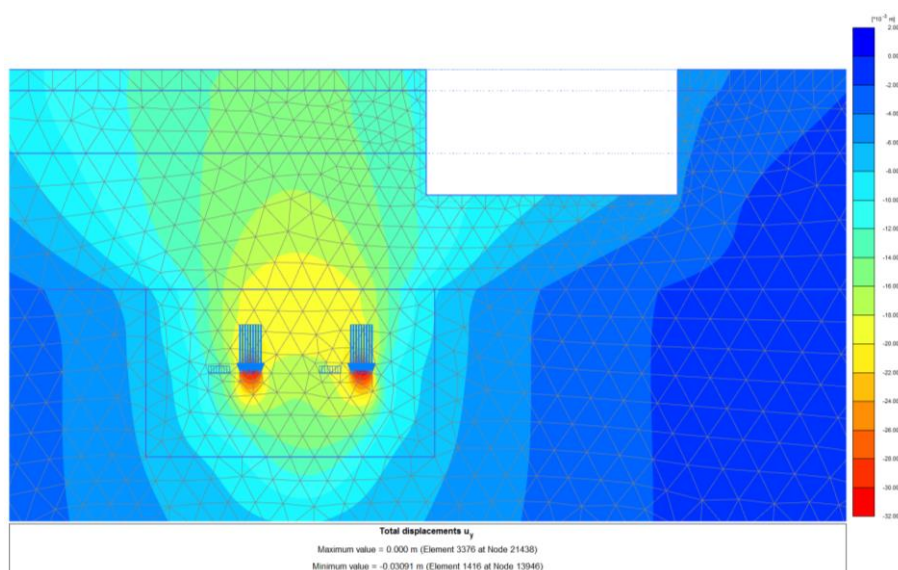
Bij KW4 bedraagt de afstand van het landhoofd tot de tunnelconstructie tevens 5 m, zie figuur 2-15. De totale breedte van het kunstwerk bedraagt ca. 17,9 m. De overspanning van het kunstwerk kan worden vergroot waarmee een afstand van 10 m tot de tunnelbak kan worden gerealiseerd. Beide varianten in overspanning worden hierna beschouwd.



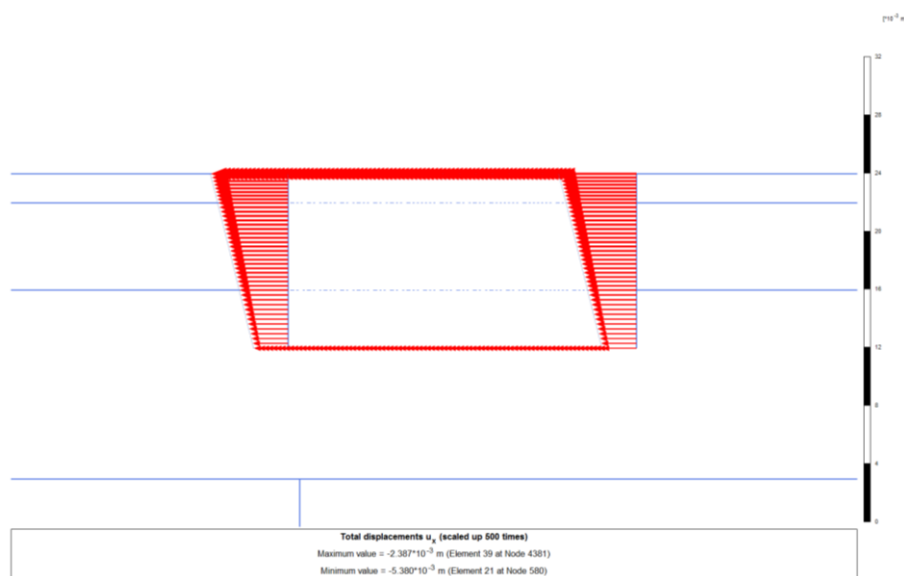
Figuur 2-15: Tekening doorsnede A-A tekening nr. W403-21-03-11-C1

2.8.1 Overspanning van 31,7 m (landhoofd op 5 m van tunnelbak)

Voor de voorste rij palen direct onder de oplegging van het rijdek bedraagt de karakteristieke waarden van de verticale belasting conform opgave van de opdrachtgever ca. 840 kN/m (= 2522 kN / 3 m). Voor de achterste rij op 1,5 m afstand bedraagt de karakteristieke waarden ca. 126 kN/m (379 kN / 3m). In het model is uitgegaan van een reële belastingafdracht op ca. NAP -16,0 m en een spreiding van de lijnlast over een breedte van 1,0 m. Voor de palen is een schoorstand van 1:6 aangenomen.



Figuur 2-16: Verticale vervorming u_y



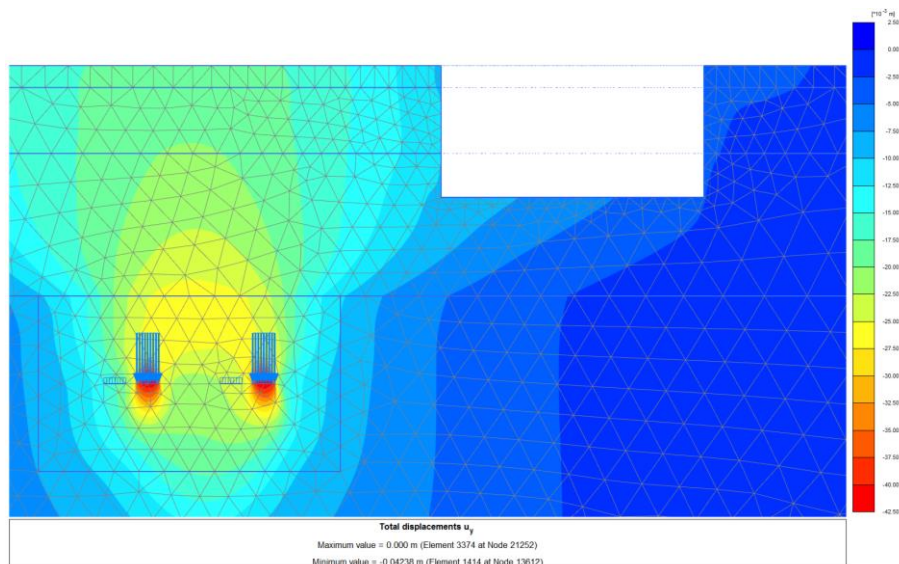
Figuur 2-17: Horizontale vervorming u_x

De berekende horizontale vervorming op de rand van de tunnel bedraagt ca. 5 à 6 mm zoals weergegeven in figuur 2-17; de berekende verticale vervorming ter plaatse van de tunnel op paalpuntniveau van ca. NAP -16 m bedraagt ca. 11 à 12 mm. Rekening houdend met een bijkomende vervorming ten gevolge van kruip bedraagt de totale horizontale vervorming ter plaatse van de tunnelconstructie 10 à 12 mm en verticaal ca. 22 à 24 mm. Aanbevolen wordt om de voorste rij palen te lood te zetten. De berekende verticale vervorming, inclusief kruip, bedraagt dan nog altijd orde 18 mm ter plaatse van de zijkant van de tunnelconstructie.

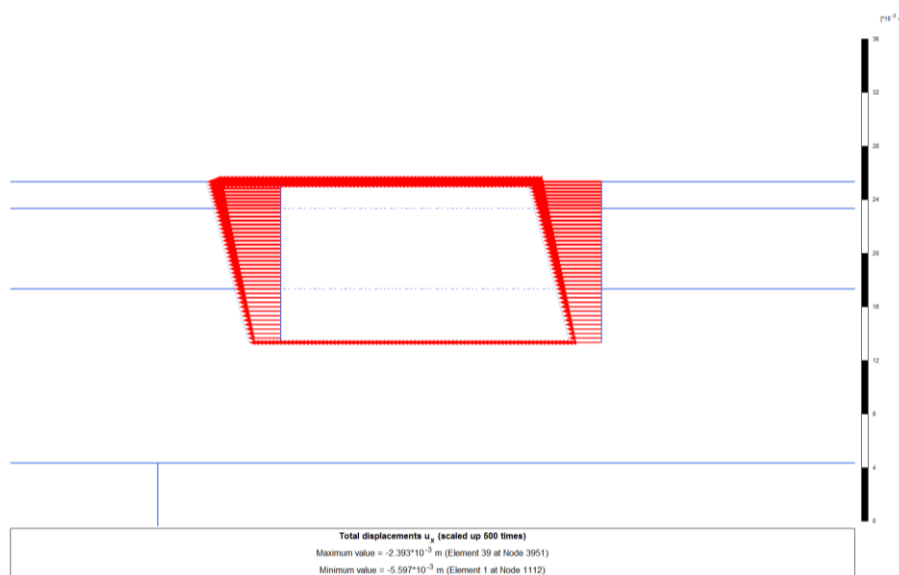
2.8.2 Overspanning van 45,0 m (landhoofd op 10 m van tunnelbak)

Voor de voorste rij palen direct onder de oplegging van het rijdek bedraagt de karakteristieke waarden van de verticale belasting conform opgave van de opdrachtgever ca. 1036 kN/m (= 3108 kN / 3 m). Voor de achterste rij op 1,5 m afstand bedraagt de karakteristieke waarden ca. 127 kN/m (381 kN / 3m). In het model is uitgegaan van een reële belastingafdracht op ca.

NAP -16,0 m en een spreiding van de lijnlast over een breedte van 1,0 m. Voor de palen is een schoorstand van 1:6 aangenomen.



Figuur 2-18: Verticale vervorming u_y



Figuur 2-19: Horizontale vervorming u_x

De berekende horizontale vervorming op de rand van de tunnel bedraagt ca. 5 à 6 mm zoals weergegeven in Figuur 2-19; de berekende verticale vervorming ter plaatse van de tunnel op paalpuntniveau van ca. NAP -16 m bedraagt ca. 9 à 10 mm. Rekening houdend met een bijkomende vervorming ten gevolge van kruip bedraagt de totale horizontale vervorming ter plaatse van de tunnelconstructie 10 à 12 mm en verticaal ca. 18 à 20 mm. Aanbevolen wordt om de voorste rij palen te lood te zetten. De berekende verticale vervorming, inclusief kruip, bedraagt dan nog altijd orde 14 mm ter plaatse van de zijkant van de tunnelconstructie.

3. RISICO-INVENTARISATIE BOUWMETHODEN

Voor het realiseren van de aardenbanen voor de nieuwe aansluiting van de N3 met de A15 is een aantal varianten beschouwd door Grontmij. Voor een aantal bouwmethoden zijn de risico's met betrekking tot de haalbaarheid in kaart gebracht en hierna beschreven.

3.1 Aardenbaan ten noorden van de spoortunnel (Dwarsprofiel 5)

Ten noorden van de spoortunnel wordt een weglichaam aangebracht met een hoogte van ca. 4,2 m en een breedte van ca. 52 m.

Een traditionele aardenbaan opgebouwd uit zand resulteert in horizontale vervormingen van de naastgelegen tunnelbak van ca. 10 mm, hetgeen niet voldoet aan het vervormingscriterium van ProRail. Toepassing van zettingsversnellende maatregelen leiden niet tot een geringere verplaatsing.

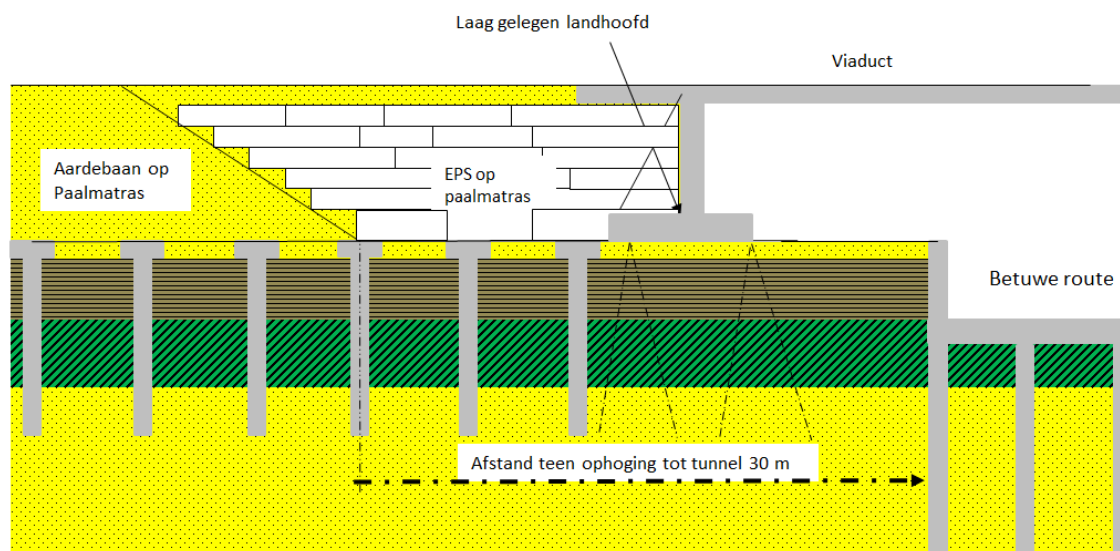
Bij toepassing van een lichtgewichtconstructie zoals EPS is nog altijd een aanzienlijke zanddekking nodig om voldoende stijfheid aan de funderingsconstructie van de weg te geven hetgeen nog steeds resulteert in aanzienlijke verticale en horizontale vervorming van de ondergrond.

Bij toepassing van een paalmatrasconstructie wordt de verticale belasting afgedragen naar een dieper niveau en worden geen significante horizontale vervormingen in het holocene pakket verwacht. De diepgelegen belastingafdracht zorgt echter wel voor een spanningsverhoging in de laag van Kedichem en daardoor voor enige samendrukking van deze laag. Een analyse van de bijbehorende vervormingen geeft aan dat de vervorming van de tunnelbak binnen de gestelde criteria blijft.

3.2 Aansluiting aardenbanen op KW3 en KW4

Bij deze aansluitingen liggen de aardenbanen aanzienlijk dicht bij de tunnelconstructie. Hier is een traditionele ophoging om de aardenbaan te realiseren volstrekt niet haalbaar met betrekking tot het vervormingscriterium van de tunnel. Ditzelfde geldt voor een lichtgewichtconstructie zoals EPS. Bij toepassing van een paalmatrassysteem treden hier nog steeds te grote horizontale en verticale vervormingen op.

Een oplossing lijkt om een deel van de aansluitende aardenbaan uit te voeren als een EPS-constructie op een paalmatras zoals weergegeven in Figuur 3-1. De berekeningsresultaten uit paragraaf 2.5 geven aan dat bij toepassing van een EPS-constructie op een paalmatras de teen van de zandophoging minimaal 30 m uit de zijkant van de tunnelbak moet blijven.



Figuur 3-1: Schets van de oplossing aansluiting aardenbanen KW3 en KW4

Bij toepassing van een paalmatrassysteem met EPS-aanvulling kan de aansluiting van het paalmatras op het kunstwerk het meest logisch gerealiseerd worden door toepassing van een laaggelegen landhoofd.

3.3 Oplossing ter plaatse van bestaande waterpartij

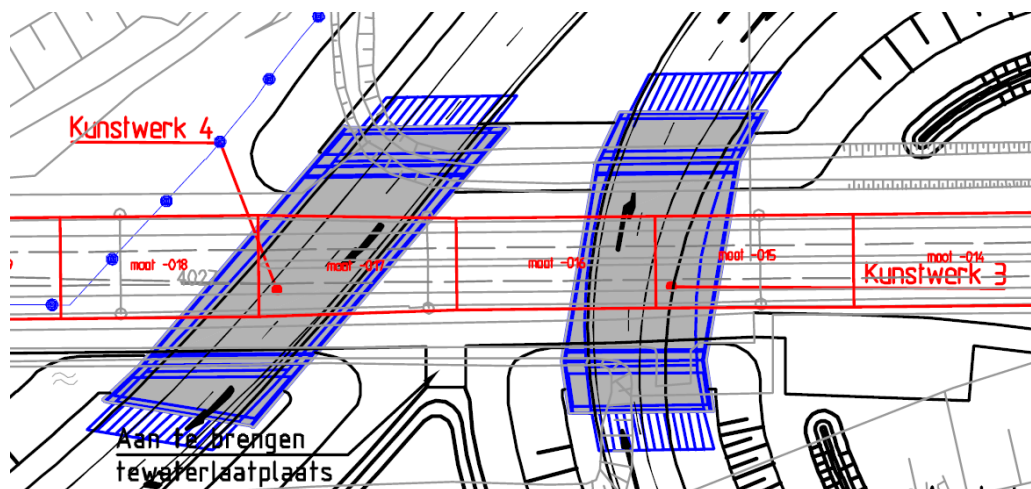
Aan de zuidzijde van KW3 en KW4 bevindt zich een waterpartij met een breedte van ca. 15 m. Voor deze situatie is een aantal oplossingen beschouwd:

- Waterpartij dempen met zand – een dergelijke oplossing genereert te grote zettingen en horizontale grondvervormingen ter plaatse van de tunnelbak.
- Waterpartij dempen met gebiedseigen grond en paalmatrassysteem - dempen van een grote waterpartij met gebiedseigen grond is nauwelijks realiseerbaar en leidt tot een onbetrouwbaar terrein voor het maken van het paalmatrassysteem.
- Waterpartij dempen met lichtgewicht materiaal en paalmatrassysteem - dempen van de grote waterpartij met Argex is waarschijnlijk realiseerbaar. Bij voldoende ophoging boven de (grond)waterstand is een acceptabele werkvloer te realiseren voor het maken van het paalmatrassysteem.
- Waterpartij dempen met schuimbeton en paalmatrassysteem – het aanbrengen van schuimbeton moet in den droge gebeuren waarvoor een bouwput, al of niet horizontaal begrensd, benodigd is. Het leegpompen van de bouwkuip leidt tot relatief grote grondvervormingen in de nabije omgeving. Verwacht wordt dat deze vervormingen niet binnen de toelaatbare grenzen blijven ter plaatse van de tunnelbak.
- Verlengen kunstwerken – Met betrekking tot ondiepe horizontale en verticale grondvervormingen is dit technisch een goede oplossing. Wel resulteert dit, bij toepassing van een tussensteunpunt naast de tunnelbak, in een grotere belastingtoename op paalpuntniveau en dus tot een grotere samendrukking van de formatie van Kedichem.

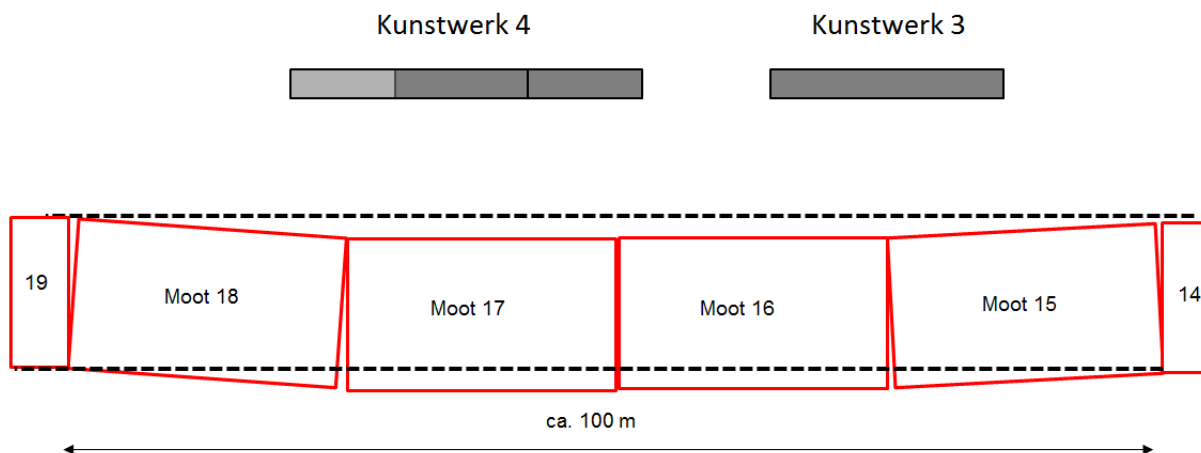
3.4 Vervormingscriterium en installatie-effecten op de tunnelmoten

Het vervormingscriterium van de tunnelconstructie door Prorail aangegeven van maximaal 1,5 mm is naar onze optiek uiterst streng. De praktijk leert dat vervormingseisen van 1,5 mm niet met absolute zekerheid vooraf bepaald c.q. voorspeld kunnen worden gezien de onzekerheden en variaties in bodemeigenschappen. Daarnaast is de betonnen tunnelconstructie onderhevig aan krimpen en uitzetten door koeling en verwarming. Daardoor is er bij uitgebreide monitoring moeilijk onderscheid te maken tussen effecten door werkzaamheden, meetnauwkeurigheden en natuurlijke effecten zoals de invloed van de temperatuur. De ontwerpvoorschriften van Prorail (bijv. ProRail RLN00164 en OVS00056-7.1 versie 3) stellen een vervormingseis voor bijvoorbeeld hulpconstructies van 10 mm. Het lijkt in onze optiek reëler om uit te gaan van een maximale verticale en horizontale verplaatsing van de grond ter plaatse van de tunnel van orde 10 mm.

De berekende totale horizontale vervormingen, inclusief kruip bedraagt op de rand van de tunnel 7 à 8 mm voor KW3 en 9 à 12 mm voor KW4 (landhoofd op 5 m: 10 à 12 mm; landhoofd op 10 m: 9 à 10 mm) ten gevolge van palen onder het landhoofd die ten gevolge van hoge paalbelastingen verticaal zullen vervormen door samendrukking van de laag van Kedichem. Daarbij wordt verwacht dat de tunnelconstructie in zijn geheel mee zal vervormen. De moten zijn verdeeld in secties van ca. 25 m over het tracé. Eventuele verplaatsingen in de voegen mogen bepaalde grenswaarden niet overschrijden om risico's op spoorspatting of verschuiving van de dwarsliggers van het spoor te voorkomen. De mootindeling van de tunnelconstructie ter plaatse van KW3 en KW4 is gegeven in Figuur 3-3.



Figuur 3-2: Overzichtstekening mootindeling bij kunstwerk 3 en 4 (bron: reconstructie aansluiting Rijkswaterstaat Rijksweg A15-N3/214 moten d.d. 28-09-2015)



Figuur 3-3: Verticale langsdoorsnede van de moten bij kunstwerk 3 en 4 tunnelas

De berekende verticale vervorming op de rand van de tunnel bedraagt ca. 7 à 14 mm bij KW3 en ca. 18 à 24 bij KW4 (landhoofd op 5 m: 22 à 24 mm; landhoofd op 10 m: 18 à 20 mm), afhankelijk van de gekozen paalgeometrie onder de landhoofdconstructies en afstand tot de tunnelbak. Wordt deze maximale vervorming geprojecteerd op moot 14 t/m 19 van Figuur 3-2 dan is de verwachting dat er een gelijkmatig verdeelde verticale vervorming van de moten optreedt ten gevolge van de relatief grote stijfheid van de tunnelconstructie. Verwacht wordt dat er geen verticaal vervormingsverschil over de voegen plaats vindt.

De berekende horizontale vervorming op de rand van de tunnel bedraagt ca. 7 à 8 mm bij KW3 en 9 à 12 mm bij KW4 (landhoofd op 5 m: 10 à 12 mm; landhoofd op 10 m: 9 à 10 mm) ten gevolge van de belasting uit één landhoofd. Aangezien de grootste bijdrage van de verticale belasting komt uit het eigen gewicht van het dek en deze beide landhoofden gelijktijdig belast en het feit dat sprake is van een sterke en stijve tunnelconstructie wordt verwacht dat horizontale vervorming van de moten gering is. Vervormingsverschillen tussen de moten onderling zijn niet te verwachten.

Gezien de geringe afstand van de paalfundering van de landhoofdconstructie en de tunnelbakconstructie wordt geadviseerd om een grondverdringend en trillingsarm paalsysteem toe te passen (Tubex of gelijkwaardig). Met dit paalsysteem is de verwachting dat het effect van het inbrengen van de palen op de tunnelbak verwaarloosbaar is indien de eerste palenrij onder het landhoofd van de kunstwerken te lood worden geplaatst.

Daarnaast dient de invloed van het heiwerk onder het paalmatrassysteem op de tunnelconstructie beperkt te worden door de funderingspalen van het landhoofd eerst in te brengen en vervolgens de palen onder het paalmatrassysteem te heien. Het is gebruikelijk dat bij heien van lichte palen op een afstand van ca. 10 m de schade in de omgeving beperkt blijft.

Geadviseerd wordt de vervormingen ter plaatse van de tunnelconstructie, de spoorstaven en eventuele andere gevoelige objecten te monitoren tijdens de werkzaamheden. Dit kan door middel van voegverplaatsingsmeters te plaatsen tussen de tunnelmooten om eventuele vervormingen en hoekverdraaiingen meteen zichtbaar te maken.