

Geotechnisch advies

Effect bouwverkeer op paalfundering hoogspanningsmast

Project: De Corridor te Breukelen

Opdrachtgever: Gemeente Stichtse Vecht
Postbus 1212
3600 BE Maarssen

Document:	R23AA0201.006.RL rev 1.docx	
Revisie:	1	
Status:	Definitief	
Datum:	29-04-2025	
Opgesteld door:	Ing. R. Los	R.L.
Gecontroleerd door:	Ing. J.P. v.d. Berg	J.B.

Documentbeheer:

Revisie	Status	Datum	Omschrijving	Door
0.a	CONCEPT	21-02-2025	Conceptversie.	Ing. R. Los
1.a	CONCEPT	28-02-2025	Tweede concept versie.	Ing. R. Los
1	DEFINITIEF	29-04-2025	Rapportage definitief gemaakt.	Ing. R. Los

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	4
1.1	PROJECTBESCHRIJVING	4
1.2	SCOPE	4
1.3	SOFTWARE	4
2	UITGANGSPUNTEN	5
2.1	REFERENTIEDOCUMENTEN	5
2.2	NORMEN EN RICHTLIJNEN	5
2.3	UITGANGSPUNTEN GEOMETRIE & MATERIALEN	6
2.4	GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL	10
2.5	GRONDPROFIEL & GEOTECHNISCHE PARAMETERS	12
2.6	GRONDWATERSTANDEN	12
2.7	BELASTINGEN.....	13
2.8	ONTWERPBENADERING, PARTIËLE FACTOREN EN TOETSING.....	14
2.9	UITGANGSPUNTEN M.B.T. VERTICAAL DRAAGVERMOGEN	14
2.10	EISEN & RANDVOORWAARDEN	14
3	2D PLAXIS-ANALYSE	15
3.1	FASERING.....	15
3.2	RESULTATEN.....	16
4	CONCLUSIE & AANBEVELINGEN	20
4.1	CONCLUSIES	20
4.2	AANBEVELINGEN	20

1. Inleiding

1.1 Projectbeschrijving

In verband de aanleg van een milieustraat en bijbehorende toegangsweg vinden er op een perceel ten noorden van het bestaande bedrijventerrein “De Breukelerwaard” en tussen de A2 en het Amsterdam-Rijnkanaal werkzaamheden plaats. Langs de toegangsweg en het perceel van de Milieustraat ligt het (bestaande) tracé van bovengrondse hoogspanningsleidingen. Twee hoogspanningsmasten zijn gelegen binnen het invloedsgebied van de te realiseren toegangsweg en milieustraat.

In rapportage ref. [4] is de invloed van de voorbelasting en ophogingen op de bestaande paalfundering van de hoogspanningsmasten beschouwd. Zowel de fasering van de ophoging, als de lange duur-effecten in de nieuwe situatie zijn beschouwd.

Om de werkzaamheden uit te voeren is een tijdelijke rijplatenbaan aangebracht, welke o.a. werd gebruikt voor het benodigde grondtransport. Zie onderstaande figuur voor een weergave hiervan uit tekening ref. [2], met de hoogspanningsmast 35 rood omcirkeld.



Figuur 1: Weergave rijplatenbaan uit tekening ref. [2], met de hoogspanningsmast 35 rood omcirkeld

Naar aanleiding van metingen van Tennet aan de hoogspanningsmasten zijn de werkzaamheden stilgelegd. IFCO heeft in opdracht van de Gemeente Stichtse Vecht aanvullende Plaxis berekeningen uitgevoerd om inzichtelijk te maken of de tijdelijke bouwweg invloed heeft op mast 35.

1.2 Scope

In onderhavige rapportage wordt de invloed van het bouwverkeer over de rijplatenbaan op één van de masten (mast 35) beschouwd.

1.3 Software

De berekeningen zijn uitgevoerd middels: PLAXIS 2D, versie: 2023.1.0.136.

2 Uitgangspunten

2.1 Referentiedocumenten

De volgende referentiedocumenten liggen ten grondslag aan dit rapport en worden samengevat in Tabel 1.

Tabel 1: Referentiedocumenten.

Ref.	Document	Datum
[1]	NL202033586-915 Nieuwe situatie met matenplan_Wijz J 20250217-1.pdf	17-02-2025
[2]	NL202033586-941 Revisie ontsluitingsweg met inmeetpunten.pdf	11-02-2025
[3]	Tijdslijn IFCO Breukelerwaard.xlsx	-
[4]	R23AA0201.002.RL rev 3.pdf ⁽¹⁾	27-11-2024
[5]	NL202029218-001_locatie sonderingen-20220412.pdf	12-04-2022
[6]	24SP1860-Gegevens totaal.pdf	10-07-2024

⁽¹⁾ Dit betreft het geotechnisch advies dat door IFCO is opgesteld om de invloed van de voorbelasting en ophogingen op de bestaande paalfundering van de hoogspanningsmasten te bepalen.

2.2 Normen en richtlijnen

De gehanteerde normen en richtlijnen worden samengevat in Tabel 2.

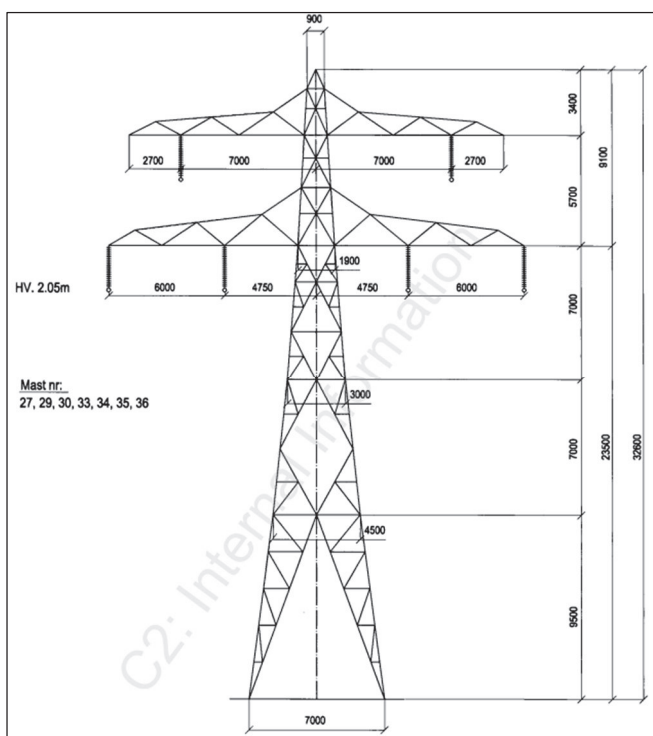
Tabel 2: Normen, richtlijnen & artikelen.

Ref.	Document	Datum
[7]	NEN 9997-1+C2:2017	2017
[8]	NEN-EN 1992-1-1+C2:2011	2011
[9]	CUR-rapport 228 Ontwerprichtlijn door grond horizontaal belaste palen	2010

2.3 Uitgangspunten geometrie & materialen

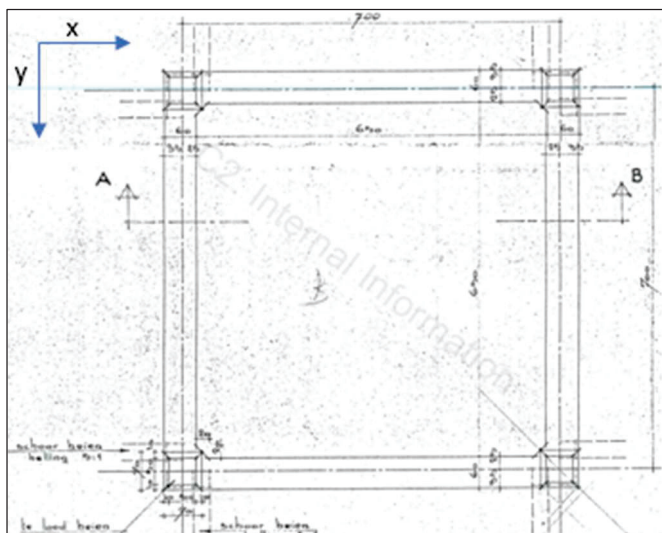
Gegevens hoogspanningsmasten:

Zie onderstaande figuur voor een weergave van de mast op basis van ref. [4]. Tekening uit ref. [4] is gedateerd uit 2010. De hoogspanningsmast is dus ca. 14 jaar geleden aangebracht. Mogelijk is de fundering ouder.



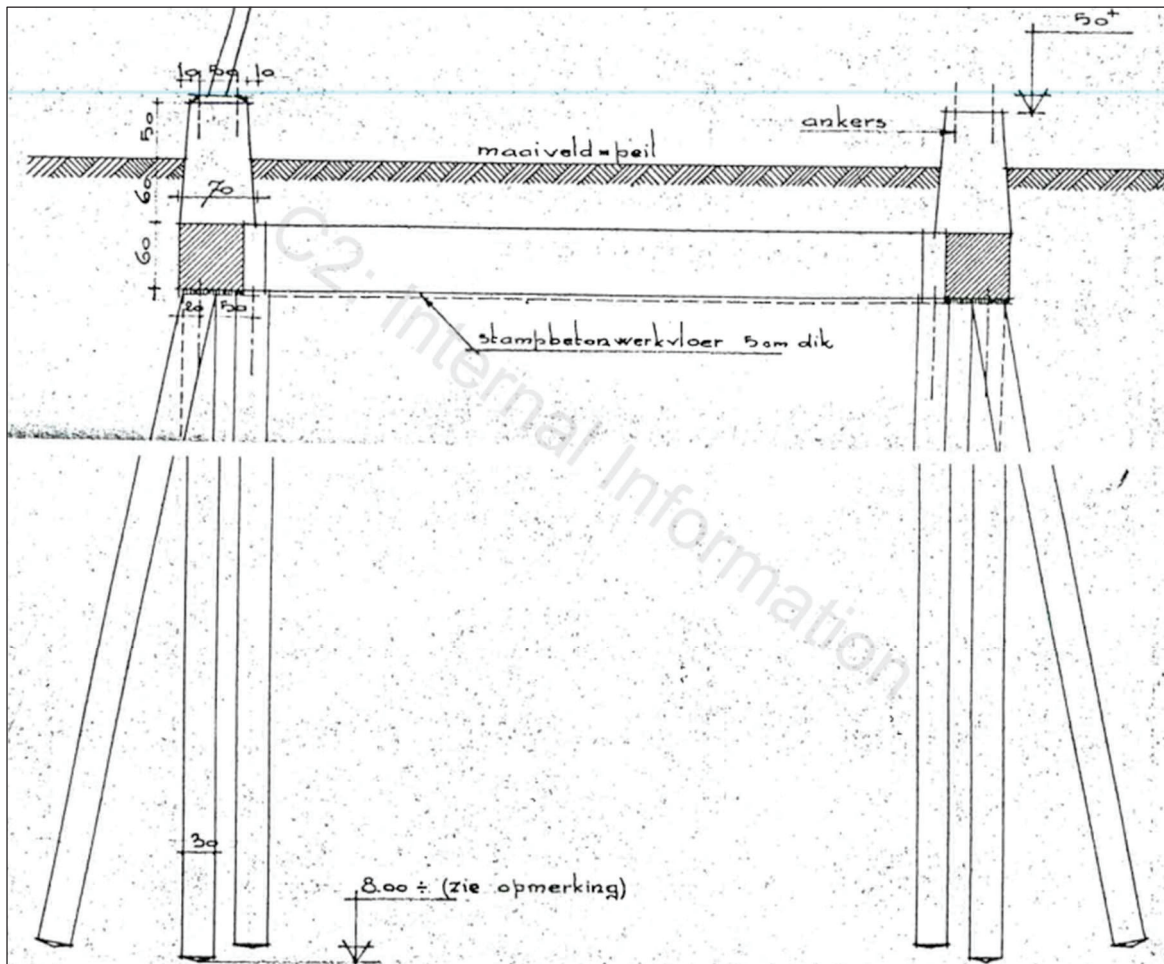
Figuur 2: Afmetingen hoogspanningsmast op basis van tekening uit ref. [4]

Zie onderstaande figuur voor het bovenaanzicht van de 4 poeren (o.b.v. tekening uit ref. [4]), met per poer een te lood paal, een schoorpaal (5:1) in de x-richting en een schoorpaal (5:1) in de y-richting.



Figuur 3: Bovenaanzicht van de 4 poeren, met per poer 2 schoorpalen (5:1) en 1 te loodpaal

Zie onderstaande figuur voor de doorsnede van de paalfundering onder de poeren (o.b.v. tekening uit ref. [4]).



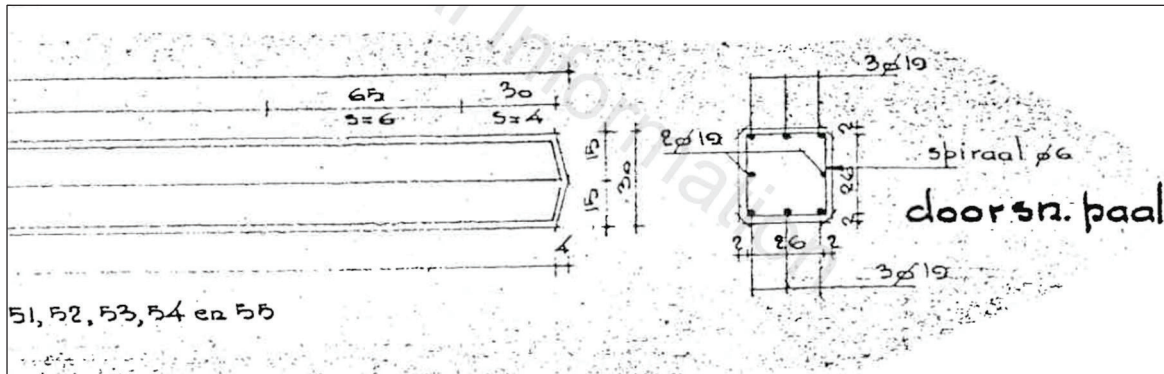
Figuur 4: Doorsnede paalfundering onder de poeren met PPN = -8,00 m NAP

Uit bovenstaande tekening blijkt dat de poeren onderling verbonden zijn middels een betonbalk met hoogte $h = 0,60$ m en breedte $b = 0,60$ m. De balken en paalkoppen zijn momentvast verbonden (niet scharnierend).

Onderstaand de gehanteerde eigenschappen voor de betonbalk in het model:

- E-modulus: $E = 3,00E+07 \text{ kN/m}^2$ (uitgaande van C20/25, ongescheurd);
- Gewicht: $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$;
- Hoogte: $h = 0,6 \text{ m}$;
- Breedte: $b = 0,6 \text{ m}$;
- Onderlinge afstand: $hoh = 7,00 \text{ m}$;
- Doorsnede: $A = 0,36 \text{ m}^2$;
- Traagheidsmoment: $I = 0,0108 \text{ m}^4$;
- Gewicht: $w = 1,29 \text{ kN/m/m}$;
- Rekstijfheid: $EA = 1,54E+06 \text{ kN/m}$;
- Buigstijfheid: $EI = 4,63E+04 \text{ kNm}^2/\text{m}$;
- Poisson's ratio: $\nu = 0,2$.

Zie onderstaande figuur voor het detail van de paalfundering (o.b.v. tekening uit ref. [4]).



Figuur 5: Detail paalfundering (prefab betonpaal met wapening)

Onderstaand de gehanteerde eigenschappen voor de betonnen paalfundering in het model:

- E-modulus: $E = 3,00E+07 \text{ kN/m}^2$ (uitgaande van C20/25, ongescheurd);
- Gewicht: $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$;
- Hoogte: $h = 0,30 \text{ m}$;
- Breedte: $b = 0,30 \text{ m}$;
- Onderlinge afstand: $h_{oh} = 7,00 \text{ m}$;
- Wapening: 8 rond 19 mm;
- Staalkwaliteit wapening: B500B (aangenomen)

Onder een langdurige belasting⁽¹⁾ reageert een betondoorsnede minder stijf t.g.v. kruipeffecten. In berekeningsfasen waarbij hiervan sprake is, is de stijfheid conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011 gereduceerd. Onderstaand de bepaling van de gereduceerde stijfheid in geval van een langdurige belasting:

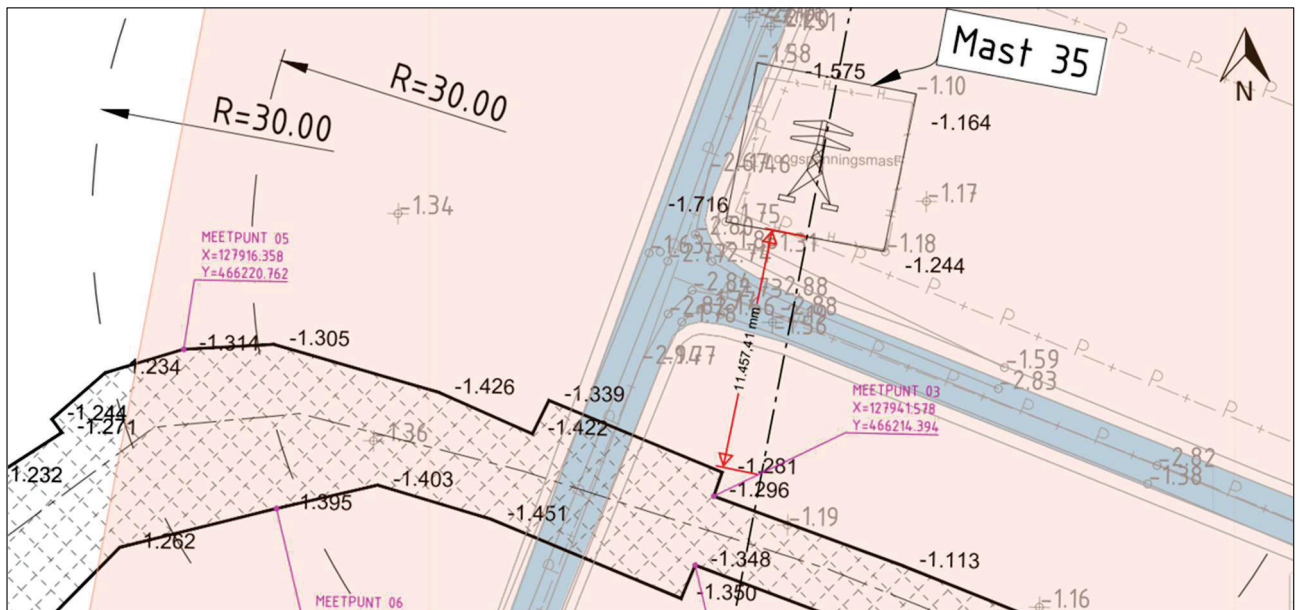
- E-modulus langdurig: $E'_{b\phi} = E'_b / (1 + \phi_t) = 1,57E+07 \text{ kN/m}^2$;
- E-modulus kortdurend: $E'_b = 3,00E+07 \text{ kN/m}^2$ (uitgaande van C20/25, ongescheurd);
- Kruipcoëfficiënt: $\phi_t = 0,91$ (conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011).

⁽¹⁾ Er is nu sprake van een kortdurende belasting. Betreffend uitgangspunt is conservatief.

Ligging hoogspanningsmasten:

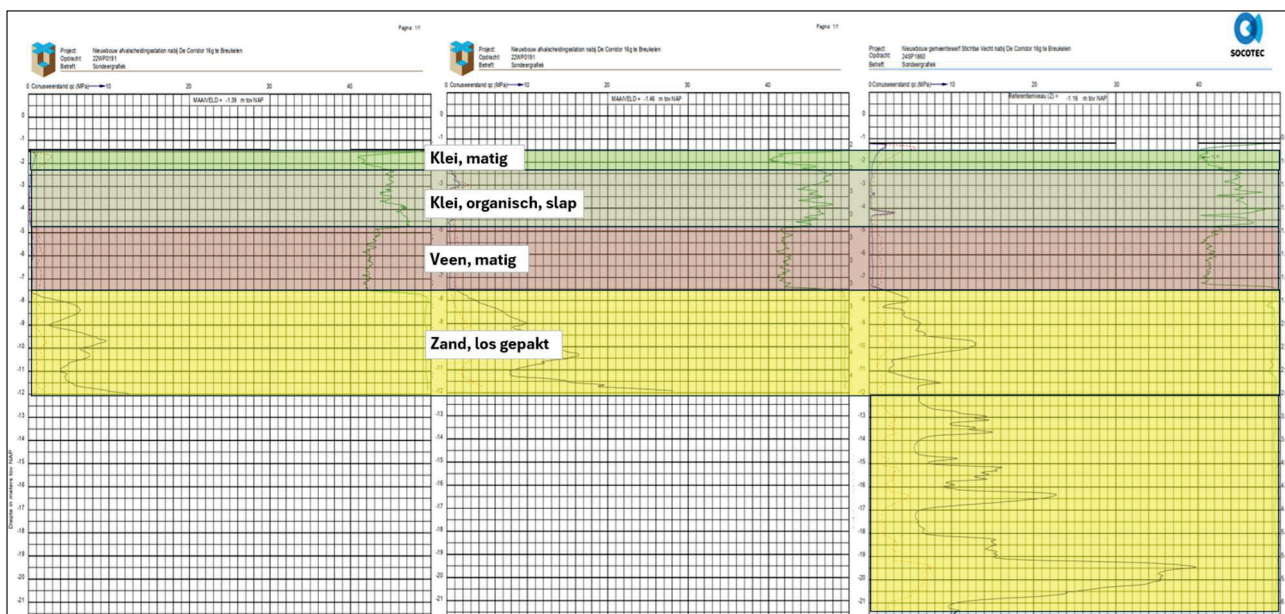
De afstand van de rand hoogspanningsmast tot rand rijplatenbaan is, middels tekening ref. [2], vastgesteld op: ca. 11,4 m (naar beneden afgerond).

Zie onderstaand een weergave van tekening ref. [2], met bijbehorende maatvoering.



Figuur 6: Weergave tekening ref. [2], met afstand rijplatenbaan-hoogspanningsmast

Op basis van sonderingen DKM019, DKM020 en DKM118 is een geotechnisch lengteprofiel opgesteld, voorzien van classificatie van de grondlagen op basis van conusweerstand q_c en wrijvingsgetal R_f . Zie onderstaande figuur voor betreffend lengteprofiel, van links naar rechts: DKM019, DKM020 en DKM118.



Figuur 9: Geotechnisch lengteprofiel, met van links naar rechts DKM019, DKM020 en DKM118

In rapportage ref. [4] wordt voor het huidige maaiveldniveau ter plaatse van de hoogspanningsmasten uitgegaan van: -1,35 m NAP. In onderhavige rapportage worden dezelfde uitgangspunten hieromtrent aangehouden als in rapportage ref. [4].

2.5 Grondprofiel & geotechnische parameters

Op basis van onderstaande uitgangspunten aangehouden voor het grondprofiel en geotechnische parameters.

Tabel 3: Grondprofiel & geotechnische parameters - op basis van sonderingen DKM019 t/m DKM023

B.K. [m NAP]	Grondsoort	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' [gr]	ψ [gr]	c' [kPa]	k [m/d]
-1,35	Klei, matig	17	17	17,5	0,0	5,0	0,05
-2,25	Klei, organisch, slap	13	13	15,0	0,0	0,1	0,05
-4,75	Veen, matig $q_c = 0,2$ MPa	13	13	15,0	0,0	2,5	0,05
-7,75	Zand, los gepakt, $q_c = 5$ MPa	17	19	30,0	0,0	0,1	20,0

In onderhavige rapportage worden dezelfde uitgangspunten hieromtrent aangehouden als in rapportage ref. [4].

Het materiaalmodel dat in rapportage ref. [4] voor de cohesieve grondlagen is toegepast betreft: Soft Soil Creep (SSC). Dit model is geschikt voor het uitvoeren van consolidatieberekeningen, waarbij tijdsafhankelijke effecten (zoals kruip) gedurende een dag/enkele dagen tot jaren kunnen worden meegenomen.

In onderhavige rapportage wordt het effect van bouwverkeer, dat over een rijplatenbaan rijdt, op de hoogspanningsmast beschouwd. Dit is een (zeer) kortstondige belasting, waarbij nagenoeg uitsluitend ongedraineerd grondgedrag een rol speelt. Hierom is voor dit vraagstuk uitgegaan van het Hardening Soil Small Strain (HSSS) materiaalmodel en "drainage type" Undrained A.

Tabel 4: Grondparameters - niet-cohesieve lagen (HSSS)

Grondsoort	E_{50}^{ref} [kN/m ²]	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	G_0 [kN/m ²]	$\gamma_{0.7}$ [-]	m [-]	POP [kN/m ²]	v_{ur} [-]	$R_{\text{int;beton}}$ [-]
Klei, matig	6.000	3.318	24.000	45.000	2,9E-04	0,8	10	0,2	0,85
Klei, organisch, slap	1.500	750	12.000	24.500	4,0E-04	0,8	7,5	0,2	0,85
Veen, matig	3.000	1.500	24.000	32.000	3,3E-04	0,9	7,5	0,2	0,85
Zand, los gepakt, $q_c = 5$ Mpa	20.000	20.000	60.000	91.946	1,573E-04	0,55	0,00	0,15	0,90

2.6 Grondwaterstanden

Conform rapportage ref. [4] is de volgende waarde voor de grondwaterstand aangehouden:

- Freatisch niveau: -1,95 m NAP;
- Stijghoogte 1^e watervoerende zandlaag: -1,95 m NAP.

2.7 Belastingen

Eigen gewicht hoogspanningsmasten:

Conform rapportage ref. [4] is een eigen gewicht van de mast à 8.248 kg aangehouden.

Terreinbelasting op rijplatenbaan:

Uitgegaan is van een maatgevende belasting, zijnde een 50t vrachtwagen. Onderstaand is e.e.a. uitgewerkt m.b.t. betreffende belasting, waarbij belastingmodel 1 uit NEN -EN 1991-2 is aangehouden.

Belasting vanuit geconcentreerde dubbele aslasten (tandemstelsel):

Rekenwaarde wioldruk:	$q_{i;wiel;d} = \gamma_Q \alpha_q q_k =$	752 [kN/m ²]	
Partiële materiaalfactor veranderlijke belasti	$\gamma_Q =$	1,0 [-]	vergelijk met karakteristieke waarde uit ontwerp
Correctiefactor aantal vrachtwagens:	$\alpha_q =$	0,8 [-]	NEN-EN 1991-2; uitgaande van 20.000 vrachtwagens /jaar/rijstrook
Karakteristieke waarde wioldruk:	$q_{i;wiel;k} =$	940 [kN/m ²]	NEN-EN 1991-2; uitgaande van 1 rijstrook
Rekenwaarde wiellast tandemstelsel:	$F_{i;wiel;d} =$	120 [kN]	met $A_{wielprent} = 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$
Totale belasting vanuit tandemstelsel:	$4 \times F_{i;wiel;d} =$	481 [kN]	
Gelijkmatig verdeelde equivalente belasting	$4 \times F_{i;wiel;d} / A =$	125 [kN/m ²]	
Belasting voorzijde incl. spreiding:	$q_{1;d;voor} =$	8 [kN/m ²]	
Belasting achterzijde incl. spreiding:	$q_{1;d;achter} =$	7 [kN/m ²]	

Gelijkmatig verdeelde belasting:

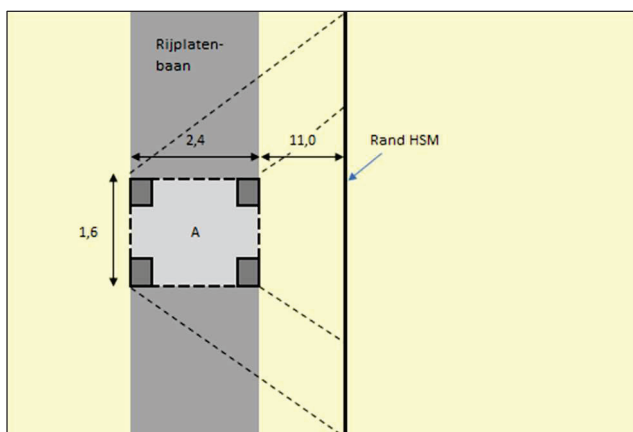
Rekenwaarde gelijkmatig verdeelde belasting	$q_{i;d} = \gamma_Q \alpha_q q_k =$	7,2 [kN/m ²]	
Partiële materiaalfactor veranderlijke belasti	$\gamma_Q =$	1,0 [-]	het gaat om een vervormingsvraagstuk (BGT)
Correctiefactor aantal vrachtwagens:	$\alpha_q =$	0,8 [-]	NEN-EN 1991-2; uitgaande van 20.000 vrachtwagens /jaar/rijstrook
Karak.waarde gelijkmatig verdeelde belasting	$q_{i;k} =$	9,0 [kN/m ²]	NEN-EN 1991-2; uitgaande van 1 rijstrook

Totale belasting:

Belasting voorzijde incl. spreiding:	$q_{tot;d;voor} =$	16 [kN/m ²]
Belasting achterzijde incl. spreiding:	$q_{tot;d;achter} =$	14 [kN/m ²]
	$q_{tot;d;gem} =$	15 [kN/m ²]

Opmerkingen:

- Voor de correctiefactor α_q is een conservatieve waarde aangehouden;
- Zie onderstaande figuur voor een schematische weergave van het assenstelsel en de spreiding richting de hoogspanningsmast (HSM). Opgemerkt wordt dat veiligheidshalve wordt uitgegaan van 11,0 m i.p.v. 11,4 m.



Figuur 10: schematische weergave van het assenstelsel en de spreiding richting de hoogspanningsmast (HSM)

Aard van de terreinbelasting op rijplatenbaan:

Conform [3] blijkt dat er gedurende enige tijd sprake is geweest van ca. 50 à 80 stuks vrachten per dag. Er is vanuit gegaan dat bij de transportbewegingen het materieel de hoogspanningsmast enkel heeft gepasseerd.

2.8 Ontwerpbenadering, partiële factoren en toetsing

De controles in de beschouwing worden uitgevoerd in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Partiële factoren zijn derhalve niet van toepassing.

De optredende momenten in de paalfundering worden (ter info) vergeleken met een indicatieve waarde voor het opneembaar moment in de BGT.

2.9 Uitgangspunten m.b.t. verticaal draagvermogen

Zie hiervoor rapportage ref. [4].

2.10 Eisen & randvoorwaarden

Voor deze beschouwing zijn geen specifieke eisen en randvoorwaarden omschreven.

3 2D PLAXIS-analyse

3.1 Fasering

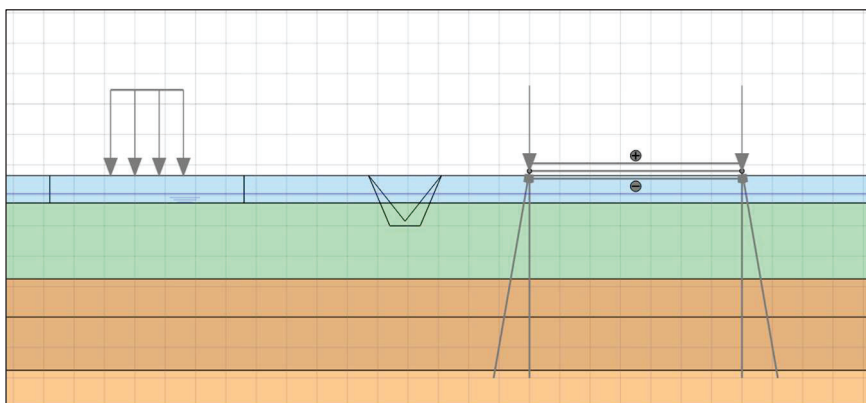
Onderstaand de aangehouden fasering.



Onderstaand een grafische weergave per fase.

Initiële situatie:

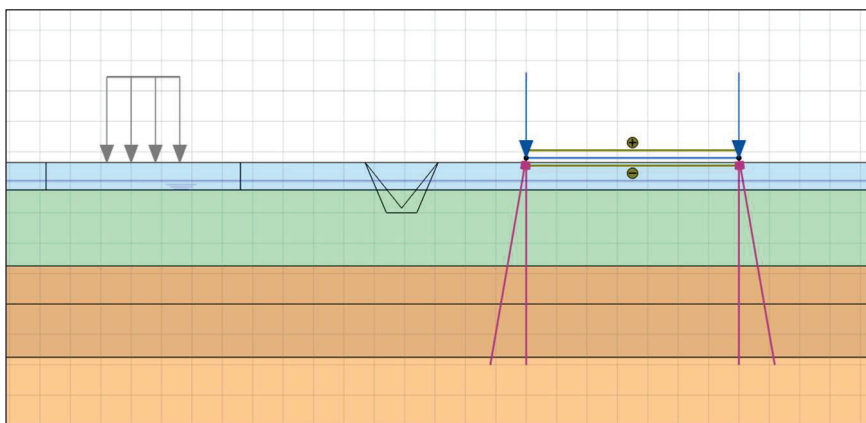
Initiële situatie, zonder: hoogspanningsmast of terreinbelasting.



Figuur 11: Initiële situatie met maaiveld op -1,35 m NAP

Aanbrengen hoogspanningsmast:

Aanbrengen hoogspanningsmast (fundering en gewicht vanuit constructie).



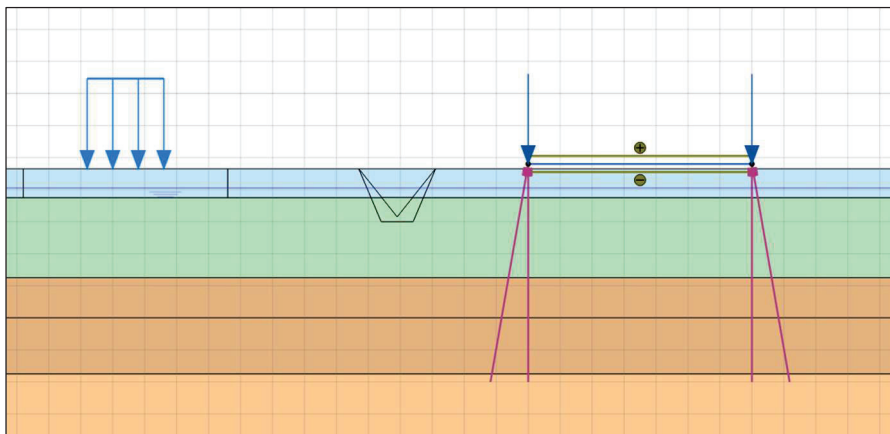
Figuur 12: Aanbrengen hoogspanningsmast

Bouwverkeer op rijplatenbaan:

Belasting vanuit voorbij rijdend grondtransport.

Tussen de rijplatenbaan en de hoogspanningsmast is een kleine watergang (sloot) aanwezig.

Veiligheidshalve is deze in het model niet meegenomen (locatie is wel zichtbaar). Dit is een conservatief uitgangspunt, gezien deze een gunstig effect (minder grondverplaatsing) zal hebben op de optredende grondvervormingen ter plaatse van de hoogspanningsmast.



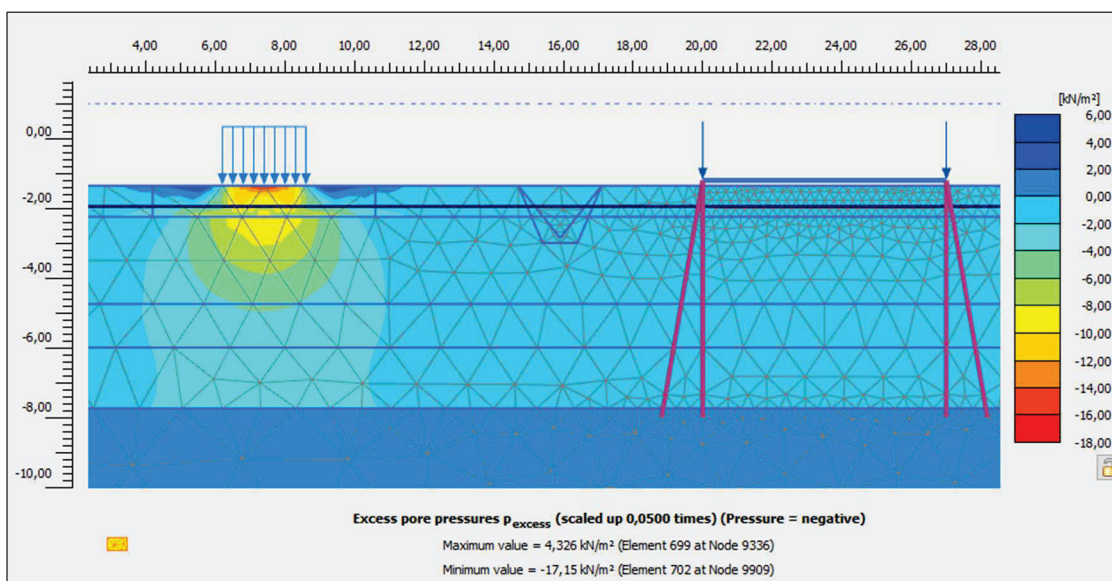
Figuur 13: Belasting vanuit voorbij rijdend grondtransport

Geen bouwverkeer:

Zie fase "Aanbrengen hoogspanningsmast".

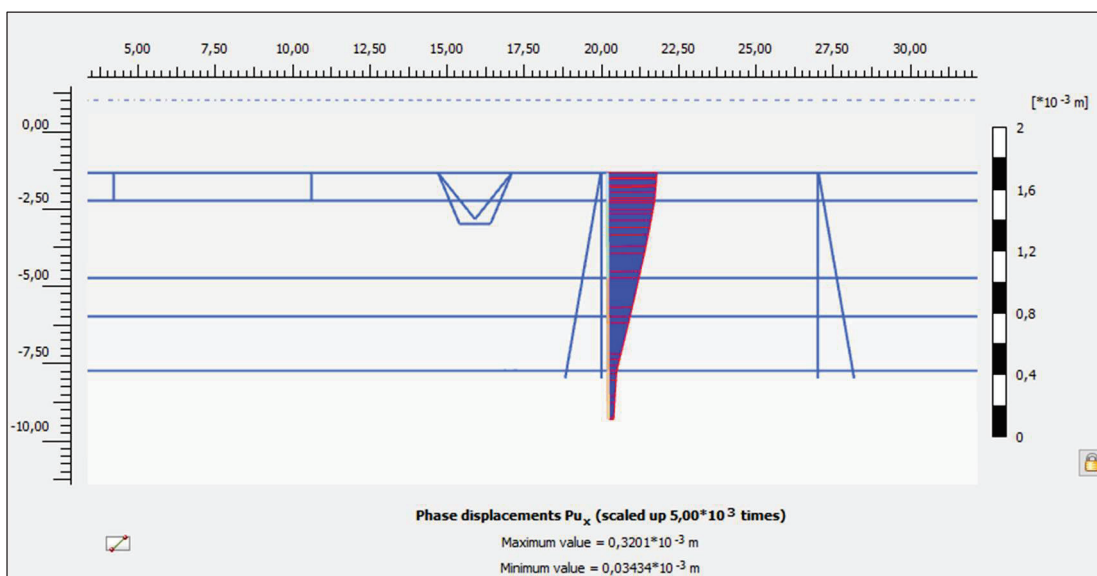
3.2 Resultaten

Zie onderstaande figuur voor de wateroverspanningen bij het aangrijpen van de belasting (15 kN/m^2) op maaiveldniveau. De wateroverspanningen zijn ongeveer gelijk aan de belasting op maaiveldniveau, wat logisch is gezien wordt uitgegaan van volledig ongedraineerd grondgedrag. Het is duidelijk te zien dat ter plaatse van de hoogspanningsmast geen wateroverspanningen optreden.



Figuur 14: Weergave optredende wateroverspanningen bij terreinbelasting à 15 kN/m^2

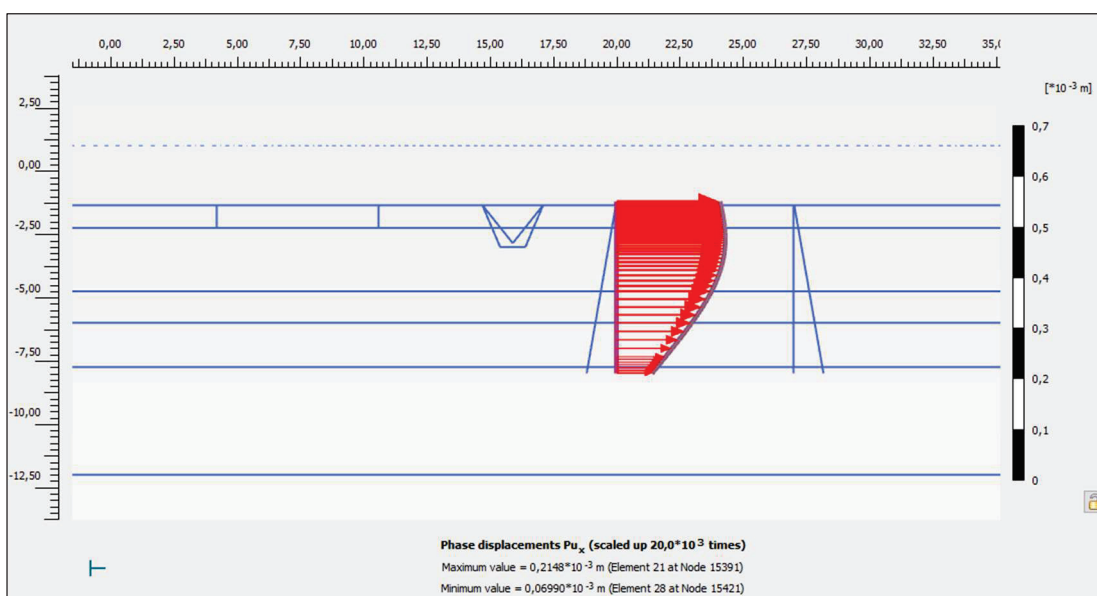
Zie onderstaande figuur voor de horizontale grondverplaatsingen ter plaatse van de rand van de hoogspanningsmast.



Figuur 15: Horizontale grondverplaatsingen ter plaatse van de rand van de hoogspanningsmast

De berekende horizontale grondverplaatsingen (door de terreinbelasting) ter plaatse van de hoogspanningsmast betreft: 0,3 mm → dus is nihil.

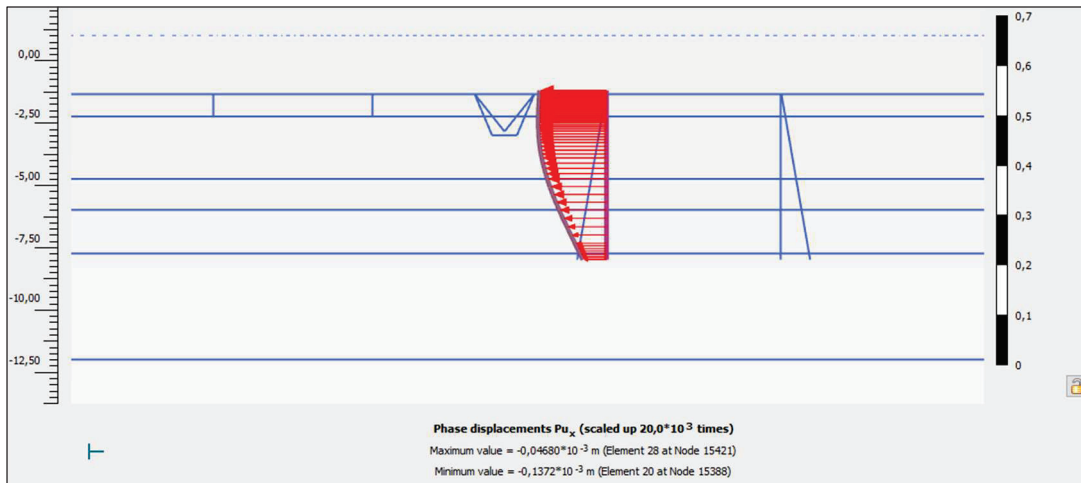
Zie onderstaande figuur voor de horizontale verplaatsing van de paalfundering.



Figuur 16: Horizontale verplaatsing van de paalfundering

De berekende horizontale (kop)verplaatsing van de paalfundering (door de terreinbelasting) betreft: 0,2 mm → dus is nihil.

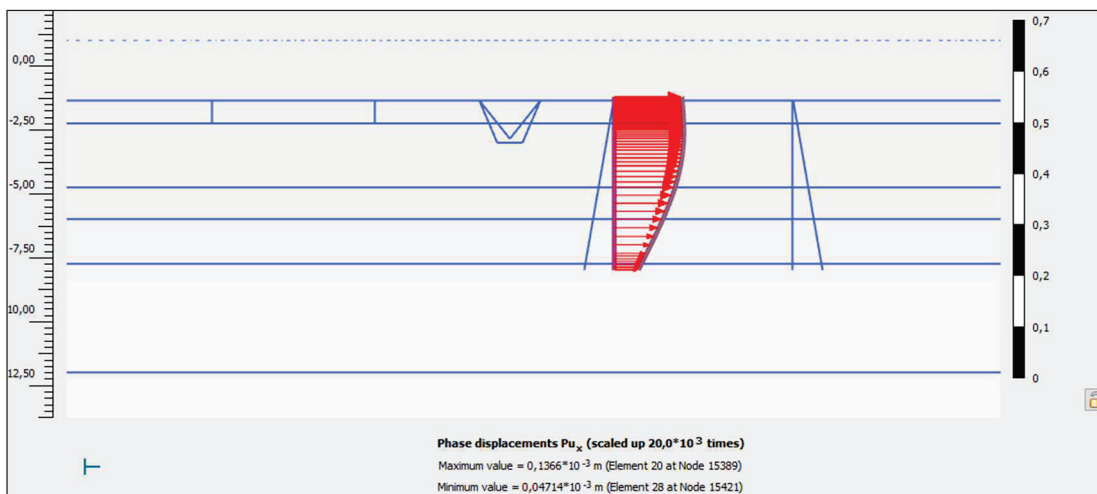
Nadat het bouwverkeer voorbij is gereden, is er ter plaatse van de hoogspanningsmast geen terreinbelasting aanwezig. De paalfundering verplaatst dan in tegengestelde richting. Zie onderstaande figuur.



Figuur 17: Horizontale verplaatsing van de paalfundering - nadat terrein belast is geweest

De berekende horizontale (kop)verplaatsing van de paalfundering betreft:
0,14 mm → dus is nihil. Dit is in tegengestelde richting t.o.v. voorgaande belasting.

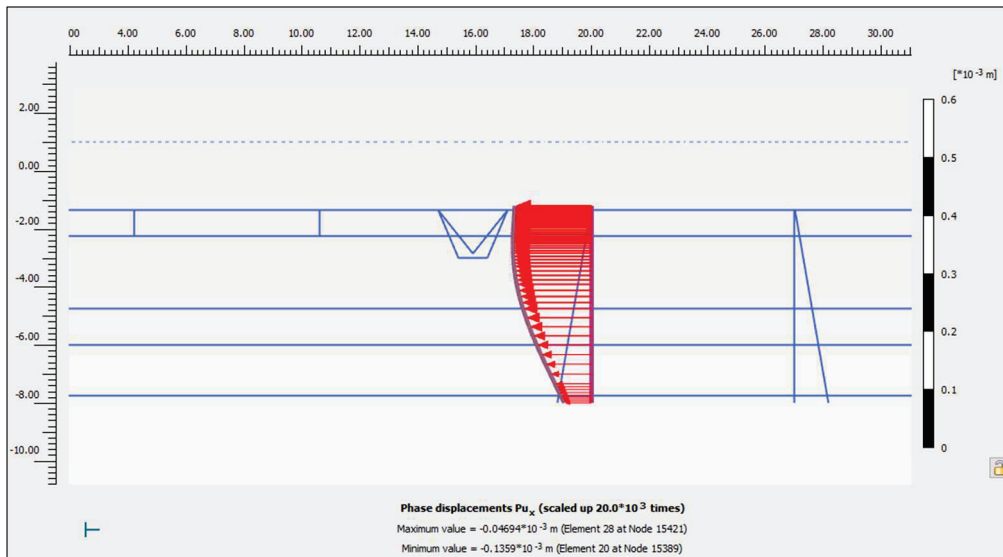
In onderstaande figuur wordt de horizontale verplaatsing van de paalfundering door het nogmaals belasten van het terrein weergegeven.



Figuur 18: Horizontale verplaatsing van de paalfundering - nogmaals belasten terrein

De berekende horizontale (kop)verplaatsing van de paalfundering (door de terreinbelasting) betreft:
0,14 mm → dus is nihil. Dit is in tegengestelde richting t.o.v. voorgaande belasting.

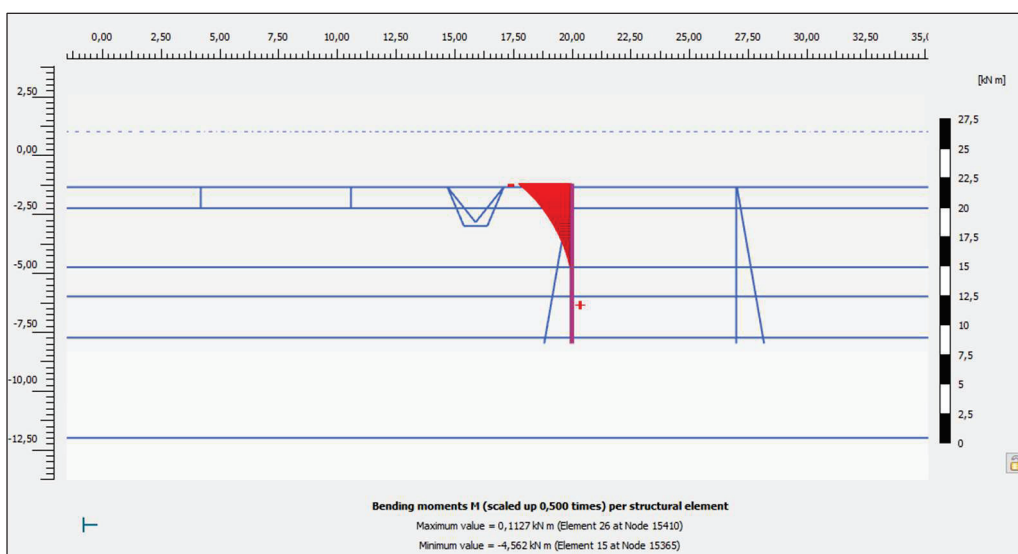
Nadat het bouwverkeer weer voorbij is gereden, is er ter plaatse van de hoogspanningsmast geen terreinbelasting aanwezig. De paalfundering verplaatst dan weer in tegengestelde richting. Zie onderstaande figuur.



Figuur 19: Horizontale verplaatsing van de paalfundering - nadat terrein weer belast is geweest

De berekende horizontale (kop)verplaatsing van de paalfundering betreft: $0,14 \text{ mm} \rightarrow$ dus is nihil. Dit is in tegengestelde richting t.o.v. voorgaande belasting. Ook blijkt dat er bij herhaaldelijk belasten geen sprake is van verder toenemende vervormingen.

Zie ter info onderstaande figuur voor een weergave van het optredend paalmoment t.g.v. het aangrijpen van de terreinbelasting op maaiveld.



Figuur 20: Weergave van het optredend paalmoment t.g.v. het aangrijpen van de terreinbelasting op maaiveld

Het berekende optredende paalmoment betreft: $M_k = 4,6 \text{ kNm/paal}$. Alhoewel dit een BGT-waarde betreft, wordt dit als acceptabel gezien omdat dit ca. een factor 9 lager is dan de indicatieve waarde voor het opneembaar paalmoment ($42,5 \text{ kNm/paal}$) zoals in ref. [4] opgenomen.

4 Conclusie & aanbevelingen

4.1 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde beschouwingen wordt geconcludeerd dat, ter plaatse van de beschouwde doorsnede bij mast 35, het effect van de terreinbelasting op de hoogspanningsmast nihil is. Onderstaand een korte samenvatting voor de berekende vervormingen en optredend paalmoment.

Vervormingen:

In onderstaande tabel een weergave van de maximale horizontale paalkopverplaatsing bij het herhaaldelijk belasten en ontlasten van de rijplatenbaan ter hoogte van de hoogspanningsmast. Bij de omschreven verplaatsingen is eveneens de verplaatsingsrichting aangegeven, waarbij “→” de verplaatsing van de rijplatenbaan af betekent en “←” de verplaatsing naar de rijplatenbaan toe.

Tabel 5: Maximale horizontale paalkopverplaatsing bij het herhaaldelijk belasten en ontlasten van de rijplatenbaan

Berekeningsfase	Paalkopverplaatsing t.o.v. voorgaande fase
Bouwverkeer	ca. 0,20 mm →
Geen bouwverkeer	ca. 0,14 mm ←
Bouwverkeer	ca. 0,14 mm →
Geen bouwverkeer	ca. 0,14 mm ←

Opgemerkt wordt dat de horizontale verplaatsingen een afnemende amplitude per cyclus vertonen. Met andere woorden: de vervorming in absolute zin neemt per belastingcyclus (in zeer beperkte mate) af. Er is sprake geweest van ca. 50 à 80 stuks vrachten per dag. Gezien de vervorming per cyclus (in zeer beperkte mate) afneemt is de uitgevoerde beschouwing met 2 cycli voldoende representatief voor de situatie die zich heeft voorgedaan.

Paalmoment:

Het berekende optredende paalmoment betreft: $M_k = 4,6 \text{ kNm/paal}$. Alhoewel dit een BGT-waarde betreft, wordt dit als acceptabel gezien omdat dit ca. een factor 9 lager is dan de indicatieve waarde voor het opneembaar paalmoment ($42,5 \text{ kNm/paal}$) zoals in ref. [4] opgenomen.

4.2 Aanbevelingen

Er zijn geen aanbevelingen.