



[Handwritten signature]

Titel : Integraal – Paalproef resultaten



[Handwritten signature]

Project : IJboulevard
Projectnummer : Y16553

Documentnummer : 16553-1453
Versie : 1.0
Status : Definitief
Datum : 11-11-2020

AKKOORD CC/CCV
Paraaf: <i>[Handwritten signature]</i>
ir. J.C. Galjaard RO

Werkpakket : WP-00217
Projectfase : Definitief ontwerp
Opdrachtgever : Gemeente Amsterdam

Van Hattum en Blankevoort



	Naam:	Functie:	Paraaf:	Datum:
Opgesteld:	Sandro Castellani	Specialist geotechniek		
Gecontroleerd:	Antoine Feddema	Senior specialist geotechniek		
Goedgekeurd:	Ralf van Leeuwen	Ontwerpmanager		
Vrijgegeven	Ralf van Leeuwen	Ontwerpmanager		



Document Historie		
Versie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
1.0	Eerste versie	11-11-2020



INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
2	DOEL 1: MONITOREN GRONDOPSPANNING	6
2.1	Opmerkingen vooraf	6
2.2	Monitoren horizontale grondverplaatsingen	7
2.2.1	SAAF-metingen	7
2.2.2	Conclusie	19
3	DOEL 2: MONITOREN VERPLAATSINGEN OMGEVINGSOBJECTEN	20
3.1	Opmerkingen vooraf	20
3.2	Monitoringsdata kistdam	23
3.2.1	Tiltmeters	24
3.2.2	Geodetische meetpunten	26
3.2.3	Conclusie	30
3.3	Monitoringsdata NZ-lijn	31
3.3.1	Rekmeters	32
3.3.2	Conclusie	35
4	DOEL 3: INSTALLEERBAARHEID	36
5	CONCLUSIES EN AANDACHTSPUNTEN	37
5.1	Conclusies	37
5.2	Aandachtspunten	38

BIJLAGEN

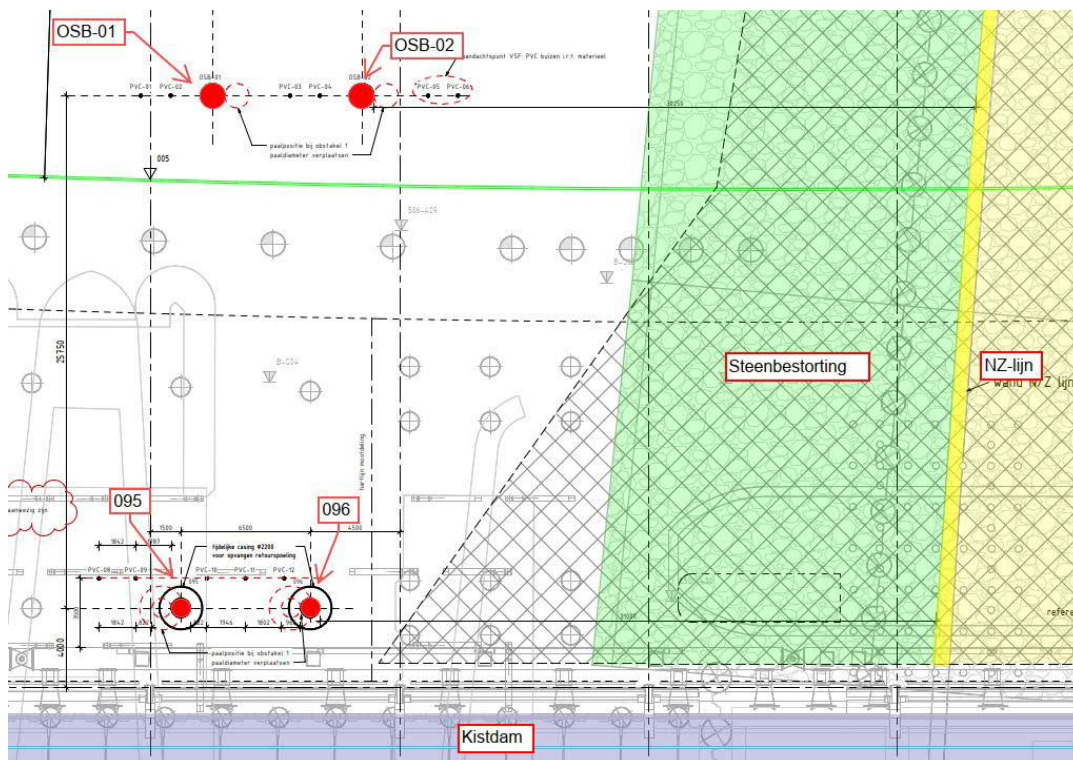
- A Analyse meetdata NZ-lijn (notitie Crux)

1 INLEIDING

Dit rapport behandelt de resultaten van de paalproef die begin oktober 2020 is uitgevoerd. Hierbij zijn 4 proefpalen aangebracht, zie onderstaande figuur voor de locaties:

- 2 TVSI-palen met achterblijvende stalen casing (095 en 096):
 - paalafmetingen Ø965/1067-12mm
 - paalpuntniveau NAP -38,5m (fundatie in Eemklei)
 - palen worden onder toevoeging van grout schroevend op diepte gebracht
 - palen blijven na afloop van de paalproef achter en worden in een later stadium opgenomen in de definitieve constructie
- 2 open stalen buispalen (OSB-01 en OSB-02):
 - paalafmetingen Ø1220-21mm
 - paalpuntniveau NAP -28,0m (fundatie in Eemklei)
 - palen worden met behulp van bentoniet borend op diepte gebracht
 - palen worden na afloop van de paalproef weer draaiend / oscillerend getrokken

Opgemerkt wordt dat open stalen buispaal OSB-01 tijdens de paalproef is aangebracht tot een diepte van ca. NAP -22,6m en daardoor niet de gewenste diepte van NAP -28,0m heeft bereikt. De paal is vermoedelijk op een obstakel gestuit waardoor verder boren niet mogelijk was. Het is niet bekend wat voor obstakel hier in de ondergrond aanwezig is.



Figuur 1: Locatie proefpalen

Donderdag 8 oktober: TVSi-paal 096 geboord

Vrijdag 9 oktober: TVSi-paal 095 geboord

Maandag 12 oktober: OSB-02 en OSB-01 geboord (en daarna ook gelijk weer getrokken)



Het doel van de paalproef is drieledig, zie onderstaand. Bij elk doel is aangegeven in welk hoofdstuk de resultaten van dit specifieke doel nader worden toegelicht. Het rapport wordt afgesloten met de conclusies in hoofdstuk 5. Voor een nadere toelichting van de paalproef, zie het eerder opgestelde plan van aanpak [1].

1. Het bepalen van de grondopspanning door paalinstallatie (hoofdstuk 2)
2. Het meten van de verplaatsingen van de omgevingsobjecten kistdam en NZ-lijn (hoofdstuk 3)
3. Het aantonen van de installeerbaarheid van de palen (hoofdstuk 4)

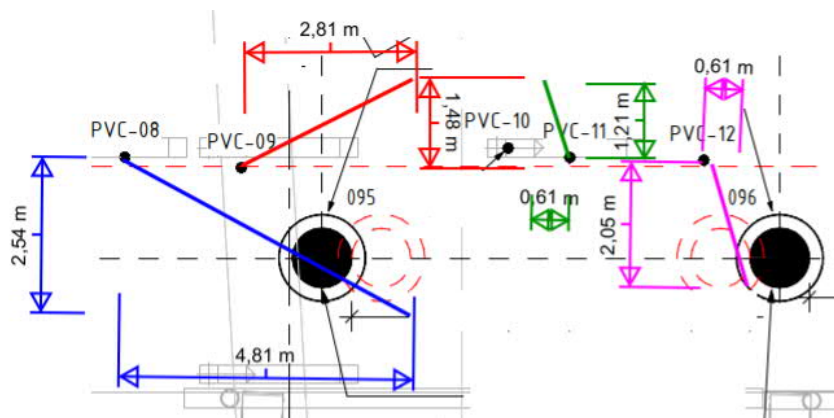
Van toepassing zijnde documenten:

- [1] Paalproef - plan van aanpak; 16553-782;
- [2] Monitoringsplan trillingen, geluid en deformaties; 16553-1139;
- [3] Analyse meetdata NZ-lijn; Crux; NT18151g111;
- [4] Integraal – DO Omgevingsbeïnvloeding; 16553-1452;
- [5] Proefpalen overzicht en details – 16553-782.

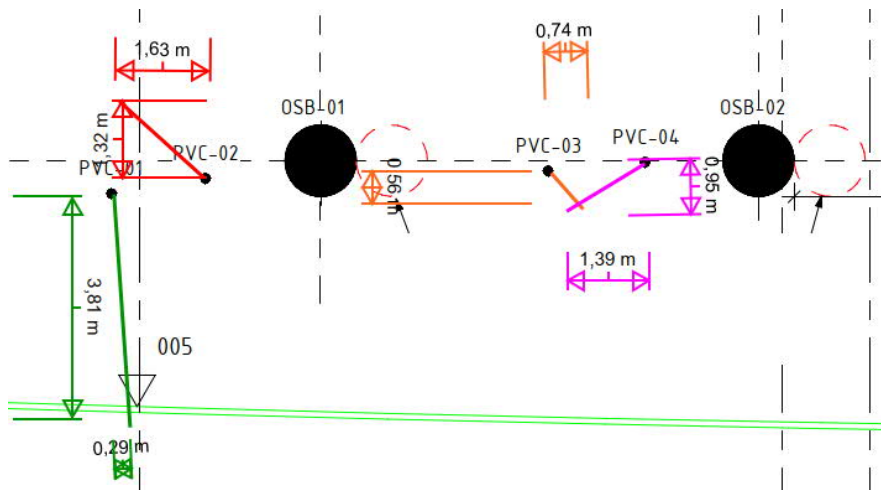
2 DOEL 1: MONITOREN GRONDOPSPANNING

2.1 Opmerkingen vooraf

- Bij het aanbrengen van de PVC-buizen waar de SAAF-metingen (dit zijn inclinometers die de horizontale grondverplaatsing meten en automatisch worden uitgelezen) in worden aangebracht is PVC-10 vermoedelijk op een obstakel gestuit, waardoor deze de gewenste diepte niet heeft gehaald. Deze PVC-buis kon daarom niet worden gebruikt om een SAAF in te plaatsen.
- Sommige PVC-buizen die zijn aangebracht in de ondergrond hebben een forse scheefstand, waardoor deze weglopen (tot wel ca. 5m ten opzichte van de theoretische positie). Vermoedelijk komt dit doordat deze op een obstakel zijn gestuit. De locaties zijn nader weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 2: Posities PVC-buizen TVSi-palen



Figuur 3: Posities PVC-buizen open stalen buispalen

Dit betekent dat door de forse scheefstand de afstand van de SAAF-metingen tot zijkant van de paal afwijken van de 1,5m en 3,0m die zijn beschreven in [1]. Daarnaast kon PVC-08 niet worden gebruikt omdat deze een conflict heeft met TVSi-paal 095. Om dezelfde reden is de SAAF-meting in PVC-12 alleen gebruikt totdat de aan te brengen paal een diepte van ca. NAP -35m had bereikt.

- Tijdens de uitvoering waren er problemen bij het aanbrengen van de SAAF-metingen in de PVC-buizen. Dit is de vermoedelijke reden dat een aantal specifieke SAAF-metingen geen betrouwbare data geven en daarom bij de uitwerking niet verder zijn beschouwd. Dit wordt in paragraaf 2.2.1 nader toegelicht.

2.2 Monitoren horizontale grondverplaatsingen

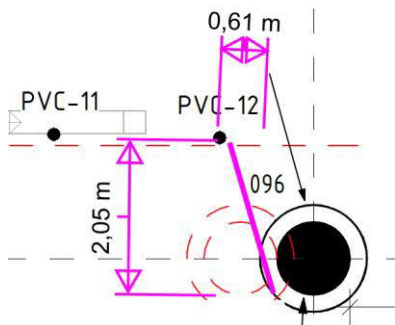
De horizontale grondverplaatsingen zijn bepaald met behulp van SAAF-metingen die in PVC-buizen zijn aangebracht. In paragraaf 2.2.1 wordt nader ingegaan op de gemeten verplaatsingen, waarna in paragraaf 2.2.2 de conclusies worden besproken.

2.2.1 SAAF-metingen

Zoals is beschreven in [1] is op grote afstand van de palen in PVC-07 een SAAF-meting aangebracht om de dagelijkse fluctuatie te meten. Uit deze meting volgt dat de fluctuatie beperkt is tot ca. 1-2mm, waarbij deze fluctuatie voornamelijk aan de bovenzijde van de SAAF-meting optreedt. Deze verplaatsing is dusdanig beperkt dat deze geen invloed heeft op de metingen ten gevolge van het aanbrengen van de palen (zie hieronder).

Boren TVSi-paal 096

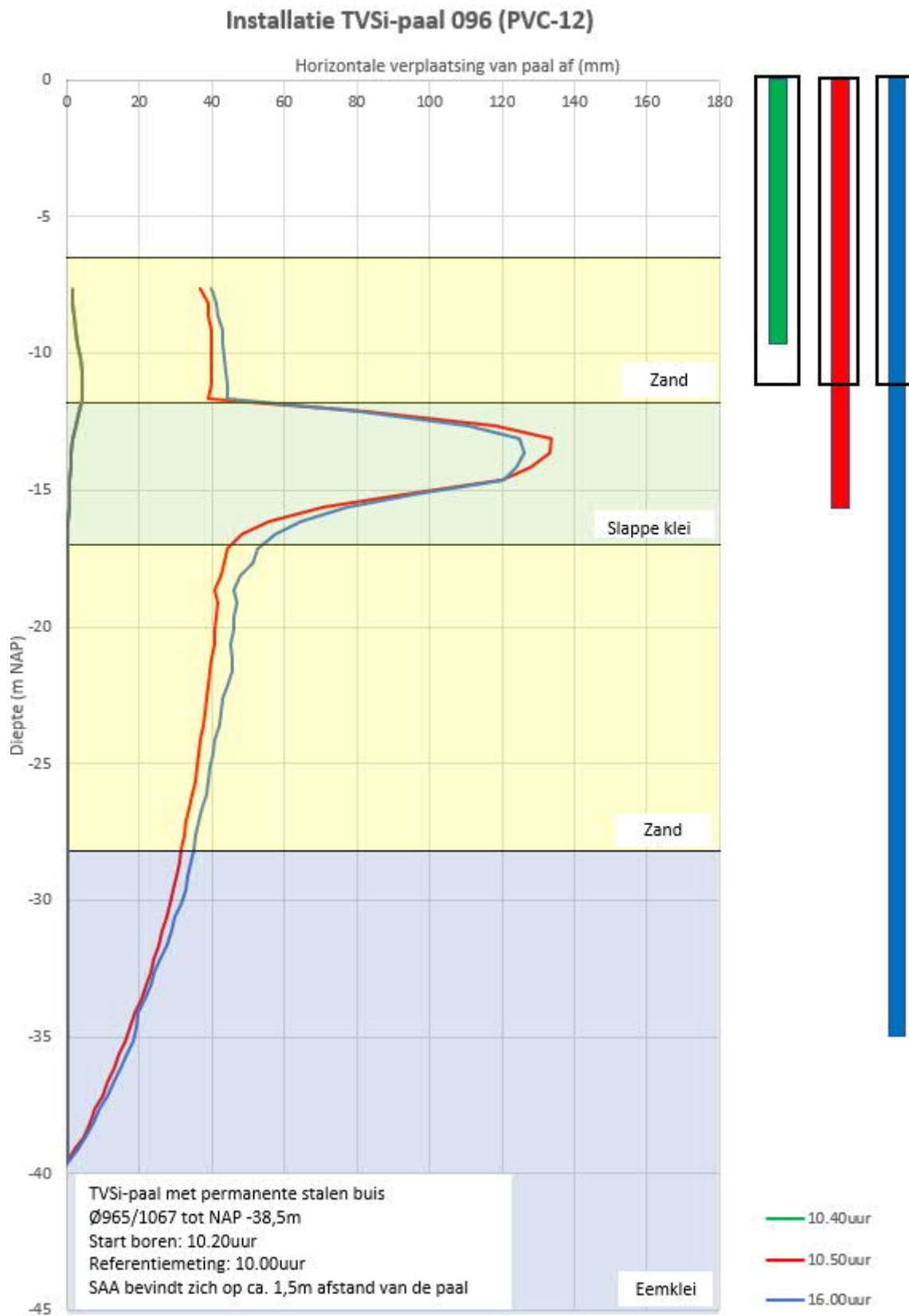
Beschouwd is de gemeten horizontale verplaatsing op basis van de SAAF-meting in PVC-12. Deze bevindt zich op bodemniveau op een afstand van ca. 1,5m van de paal, maar raakt op een diepte van ca. NAP -35m de paal (zie figuur 4). Dit is dan ook de reden dat deze SAAF-meting alleen bruikbare data leverde totdat de aan te brengen paal een diepte van ca. NAP -35m had bereikt. In PVC-11 was ook een SAAF-meting aangebracht, maar deze geeft geen betrouwbare data en wordt hier daarom niet verder beschouwd.



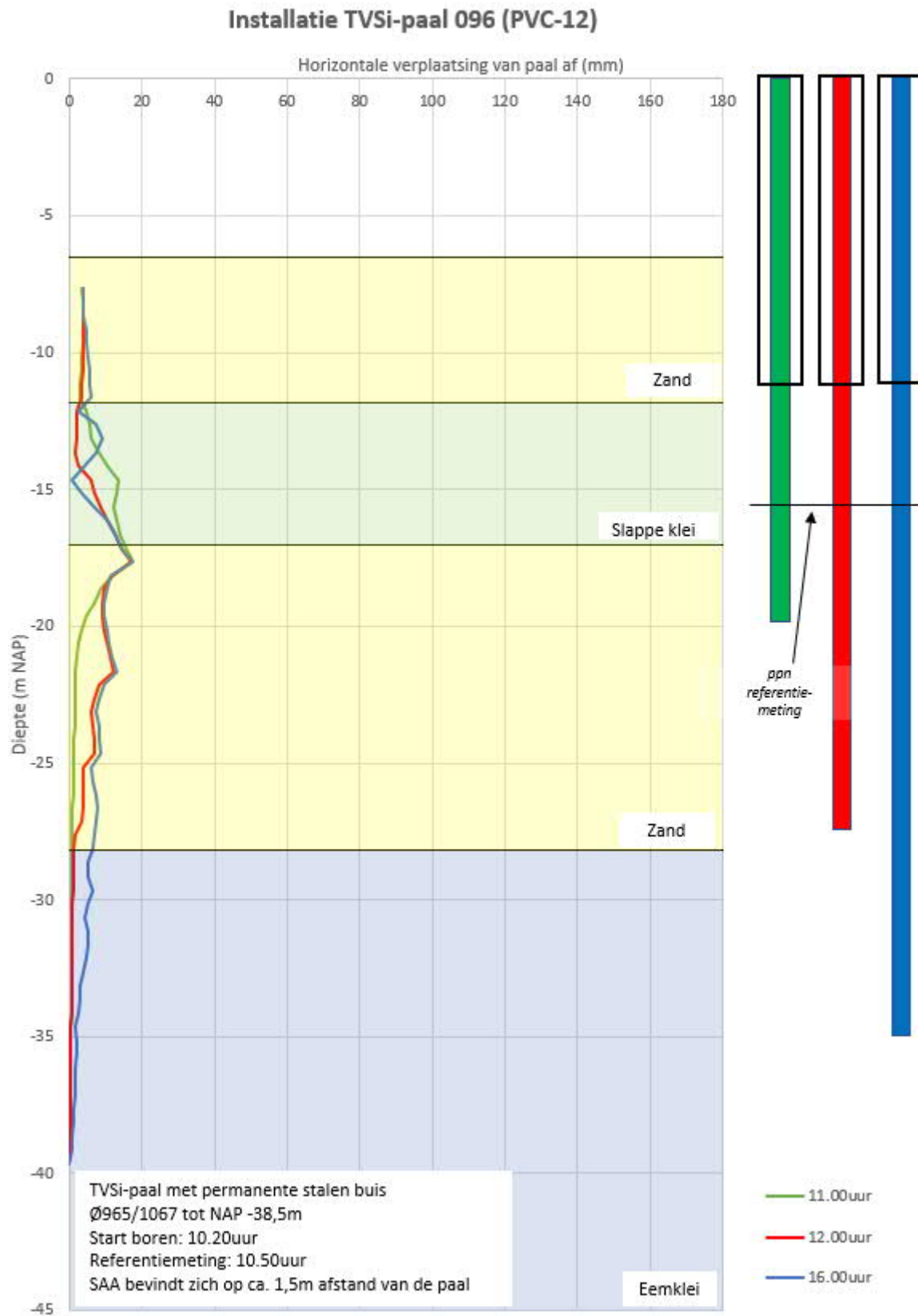
Figuur 4: Locatie beschouwde SAAF-metingen bij boren TVSi-paal 096

Analyse:

- De TVSi-paal is aangebracht binnen een stalen hulpcasing met een diameter van 1420mm die tot een diepte van ca. NAP -11,5m is aangebracht. Uit figuur 5 volgt dat op het moment dat de paal dieper komt dan de stalen hulpcasing (dit is meting van 10.50uur) er een horizontale verplaatsing zou zijn opgetreden van ca. 130mm. Daarbij valt het op dat de bovenkant van SAAF-meting ook ca. 40mm zou zijn verplaatst. Dit is niet realistisch aangezien de paal hier binnen de stalen hulpcasing is gemaakt (en de PVC-buis buiten de hulpcasing is aangebracht). Daarnaast zou op dit moment op een diepte van NAP -25m een horizontale verplaatsing van ca. 35mm zijn opgetreden. Dit is niet realistisch aangezien het paalpuntniveau op dit moment ca. NAP -16m bedroeg. Deze bevindingen zijn ook besproken met Inventec (leverancier van de SAAF-metingen) en de meest waarschijnlijke verklaring is dat dit wordt veroorzaakt door rotatie van de PVC-buizen in de grond. Doordat de PVC-buizen een forse scheefstand hebben (zie paragraaf 2.1) wordt dit nog extra versterkt, aangezien een kleine rotatie van de PVC-buizen hierdoor al leidt tot significante horizontale verplaatsingen. Voor een juiste interpretatie van de verplaatsingen dienen de verplaatsingen daarom te worden gecorrigeerd voor deze rotatie. Dit kan worden gedaan door de horizontale verplaatsing aan de bovenkant gelijk te stellen aan 0mm. Hieruit volgt dat de horizontale verplaatsing in de slappe kleilaag $130 - 40 = \text{ca. } 90\text{mm}$ moet zijn geweest.
- Voor het bepalen van de verplaatsingen in de lagen onder de slappe klei zijn vanwege bovenstaande effecten in figuur 6 de horizontale verplaatsingen weergegeven uitgaande van een referentiemeting om 10.50uur (dit is de eerste meting nadat de paal dieper is gekomen dan de stalen hulpcasing). Uit deze figuur volgt dat in de zandlaag horizontale grondverplaatsingen zijn opgetreden van ca. 5-10mm en in de Eemklei van ca. 5mm.



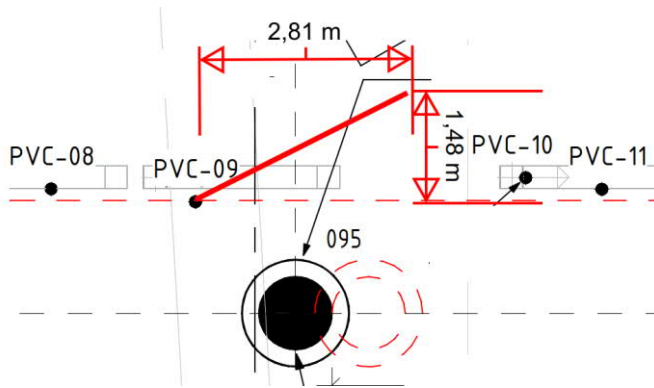
Figuur 5: Horizontale grondverplaatsing door boren TVSi-paal 096; referentiemeting 10.00uur



Figuur 6: Horizontale grondverplaatsing door boren TVSi-paal 096; referentiemeting 10.50uur

Boren TVSi-paal 095

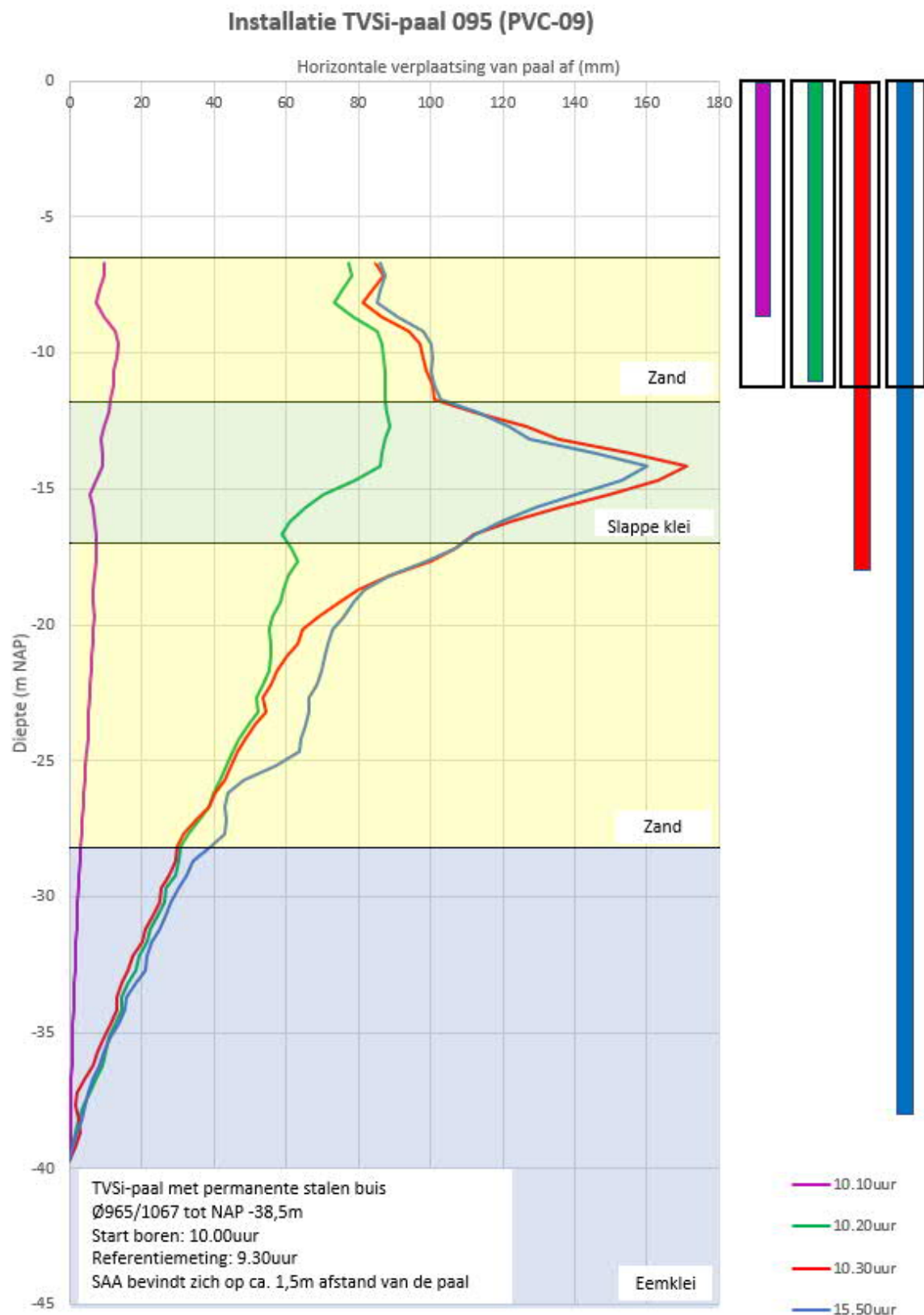
Beschouwd is de gemeten horizontale verplaatsing op basis van de SAAF-meting in PVC-09. Deze bevindt zich op bodemniveau op een afstand van ca. 1,5m van de paal, maar neemt op grotere diepte toe tot een afstand van ca. 2,5m (zie figuur 7). In PVC-11 was ook een SAAF-meting aangebracht, maar deze geeft geen betrouwbare data en wordt hier daarom niet verder beschouwd.



Figuur 7: Locatie beschouwde SAAF-metingen bij boren TVSi-paal 095

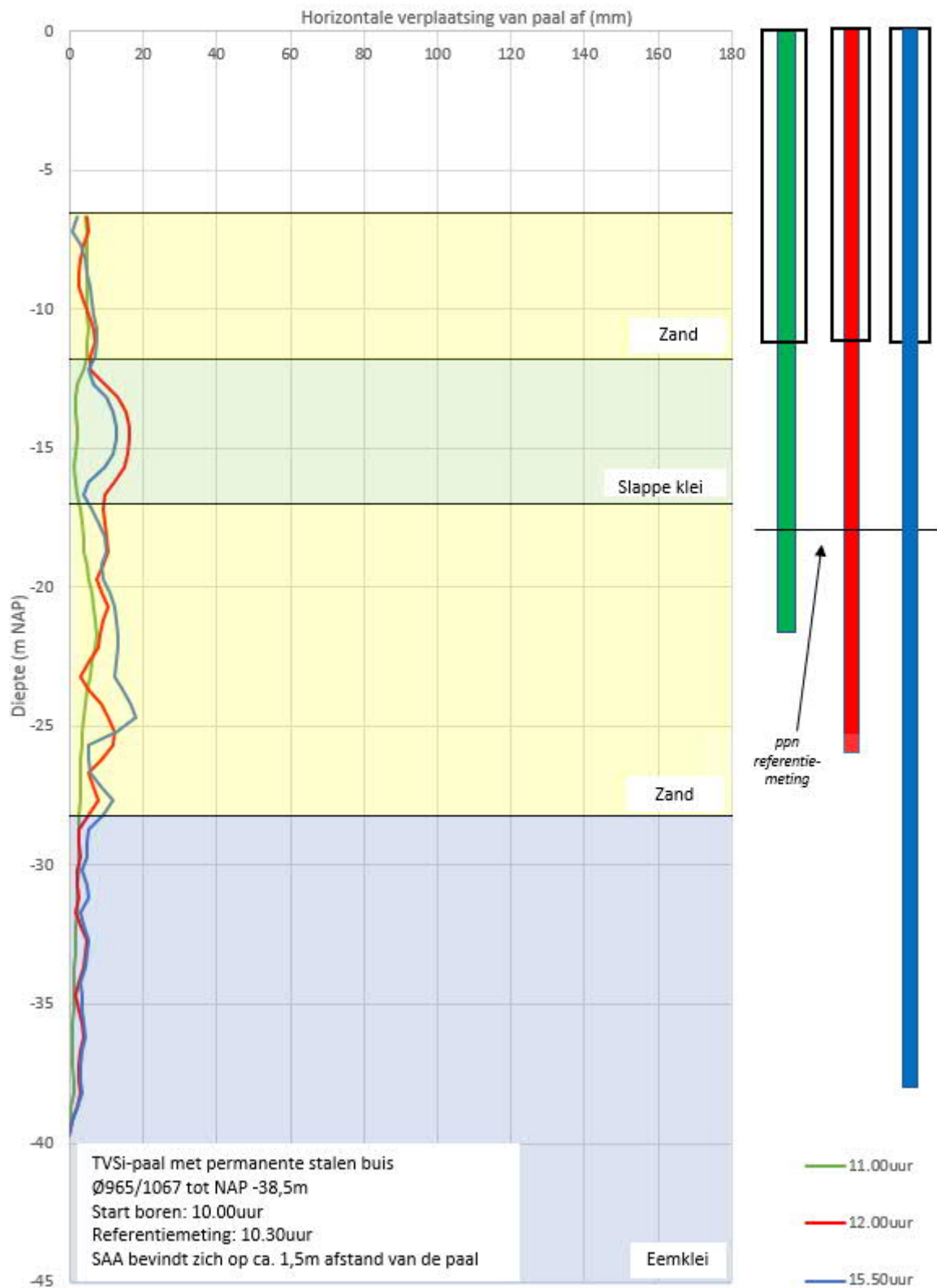
Analyse:

- De TVSi-paal is aangebracht binnen een stalen hulpcasing met een diameter van 1420mm die tot een diepte van ca. NAP -11,5m is aangebracht. Uit figuur 8 volgt dat op het moment dat de paal dieper komt dan de stalen hulpcasing (dit is meting van 10.30uur) er een horizontale verplaatsing zou zijn opgetreden van ca. 170mm. Daarbij valt het op dat de bovenkant van SAAF-meting ook ca. 80mm zou zijn verplaatst. Dit is niet realistisch aangezien de paal hier binnen de stalen hulpcasing is gemaakt (en de PVC-buis buiten de hulpcasing is aangebracht). Daarnaast zou op dit moment op een diepte van NAP -25m een horizontale verplaatsing van ca. 45mm zijn opgetreden. Dit is niet realistisch aangezien het paalpuntniveau op dit moment ca. NAP -18m bedroeg. Deze bevindingen zijn ook besproken met Inventec (leverancier van de SAAF-metingen) en de meest waarschijnlijke verklaring is dat dit wordt veroorzaakt door rotatie van de PVC-buizen in de grond. Doordat de PVC-buizen een forse scheefstand hebben (zie paragraaf 2.1) wordt dit nog extra versterkt, aangezien een kleine rotatie van de PVC-buizen hierdoor al leidt tot significante horizontale verplaatsingen. Voor een juiste interpretatie van de verplaatsingen dienen de verplaatsingen daarom te worden gecorrigeerd voor deze rotatie. Dit kan worden gedaan door de horizontale verplaatsing aan de bovenkant gelijk te stellen aan 0mm. Hieruit volgt dat de horizontale verplaatsing in de slappe kleilaag $170 - 80 = \text{ca. } 90\text{mm}$ moet zijn geweest.
- Voor het bepalen van de verplaatsingen in de lagen onder de slappe klei zijn vanwege bovenstaande effecten in figuur 9 de horizontale verplaatsingen weergegeven uitgaande van een referentiemeting om 10.30uur (dit is de eerste meting nadat de paal dieper is gekomen dan de stalen hulpcasing). Uit deze figuur volgt dat in de zandlaag horizontale grondverplaatsingen zijn opgetreden van ca. 10mm en in de Eemklei van ca. 5mm.



Figuur 8: Horizontale grondverplaatsing door boren TVSi-paal 095; referentiemeting 9.30uur

Installatie TVSi-paal 095 (PVC-09)

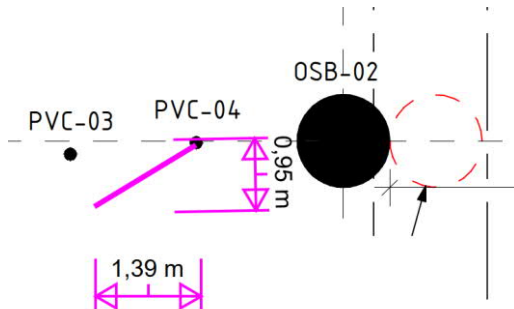


Figuur 9: Horizontale grondverplaatsing door boren TVSi-paal 095; referentiemeting 10.30uur



Boren OSB-02

Beschouwd is de gemeten horizontale verplaatsing op basis van de SAAF-meting in PVC-04. Deze bevindt zich op bodemniveau een afstand van ca. 1,5m van de paal, maar neemt op grotere diepte toe tot een afstand van ca. 2,5m (zie figuur 10). In PVC-03 was ook een SAAF-meting aangebracht, maar deze geeft geen betrouwbare data en wordt hier daarom niet verder beschouwd.



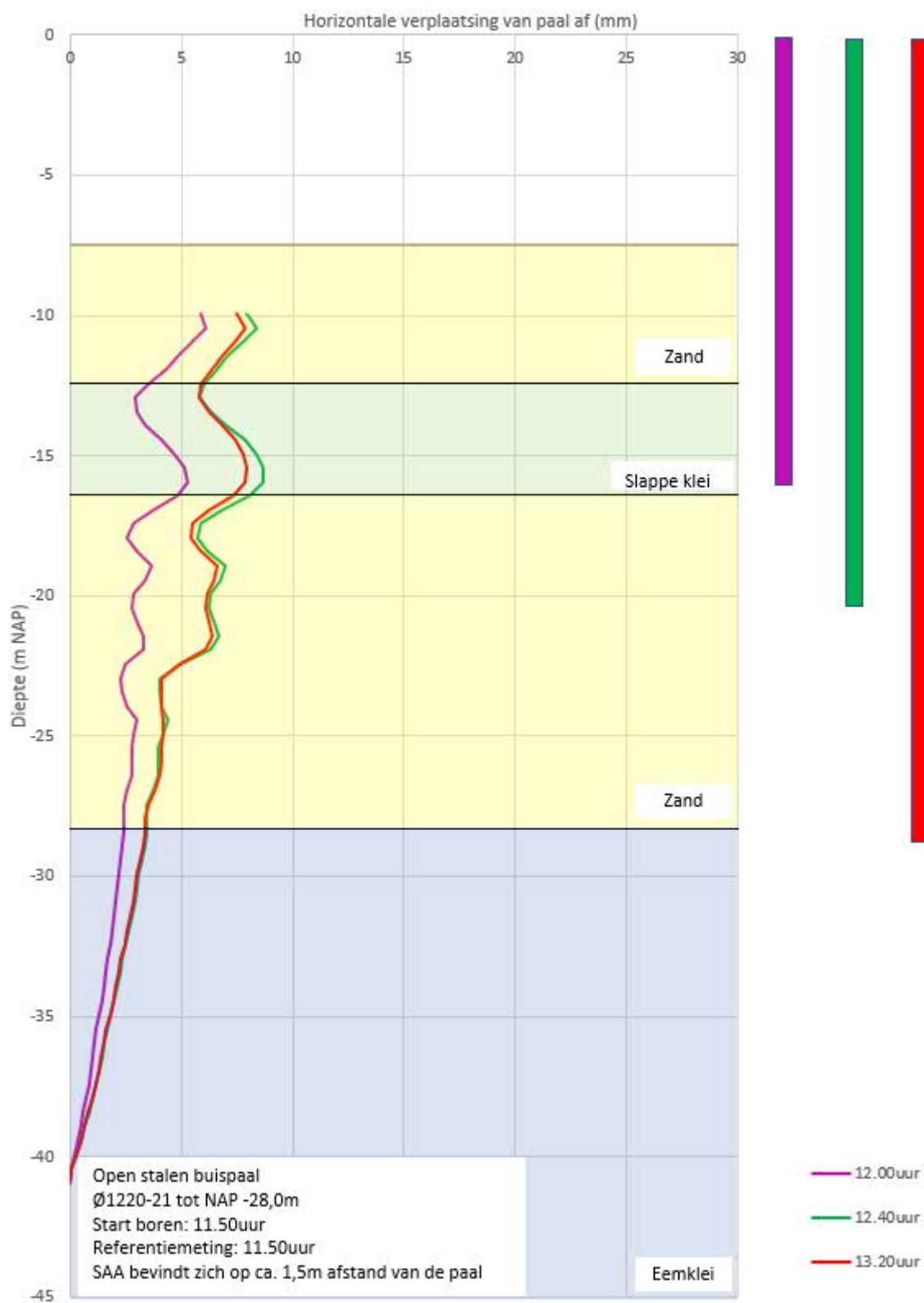
Figuur 10: Locatie beschouwde SAAF-metingen bij boren OSB-02

Analyse:

- Uit figuur 11 volgt dat op het moment dat de paal op een diepte van ca. NAP -16m is (dit is meting van 12.00uur) er een horizontale verplaatsing zou zijn opgetreden van ca. 5mm. Daarbij valt het op dat op een diepte van NAP -25m een horizontale verplaatsing van ca. 3mm zou zijn opgetreden. Dit is niet realistisch aangezien het paalpuntniveau op dit moment ca. NAP -16m bedroeg. Deze bevinding is ook besproken met Inventec (leverancier van de SAAF-metingen) en de meest waarschijnlijke verklaring is dat dit wordt veroorzaakt door rotatie van de PVC-buizen in de grond. Doordat de PVC-buizen een forse scheefstand hebben (zie paragraaf 2.1) wordt dit nog extra versterkt, aangezien een kleine rotatie van de PVC-buizen hierdoor al leidt tot significante horizontale verplaatsingen. Voor een juiste interpretatie van de verplaatsingen dienen de verplaatsingen daarom te worden gecorrigeerd voor deze rotatie. Dit kan worden gedaan door aan te nemen dat op een diepte van NAP -33,0m (4D onder het paalpuntniveau) geen horizontale grondverplaatsing is opgetreden. Hieruit volgt dat de horizontale grondverplaatsing ca. 0-5mm moet zijn geweest (zie ook figuur 12 waarin de horizontale grondverplaatsingen zijn weergegeven bij een referentiemeting van 12.00uur).



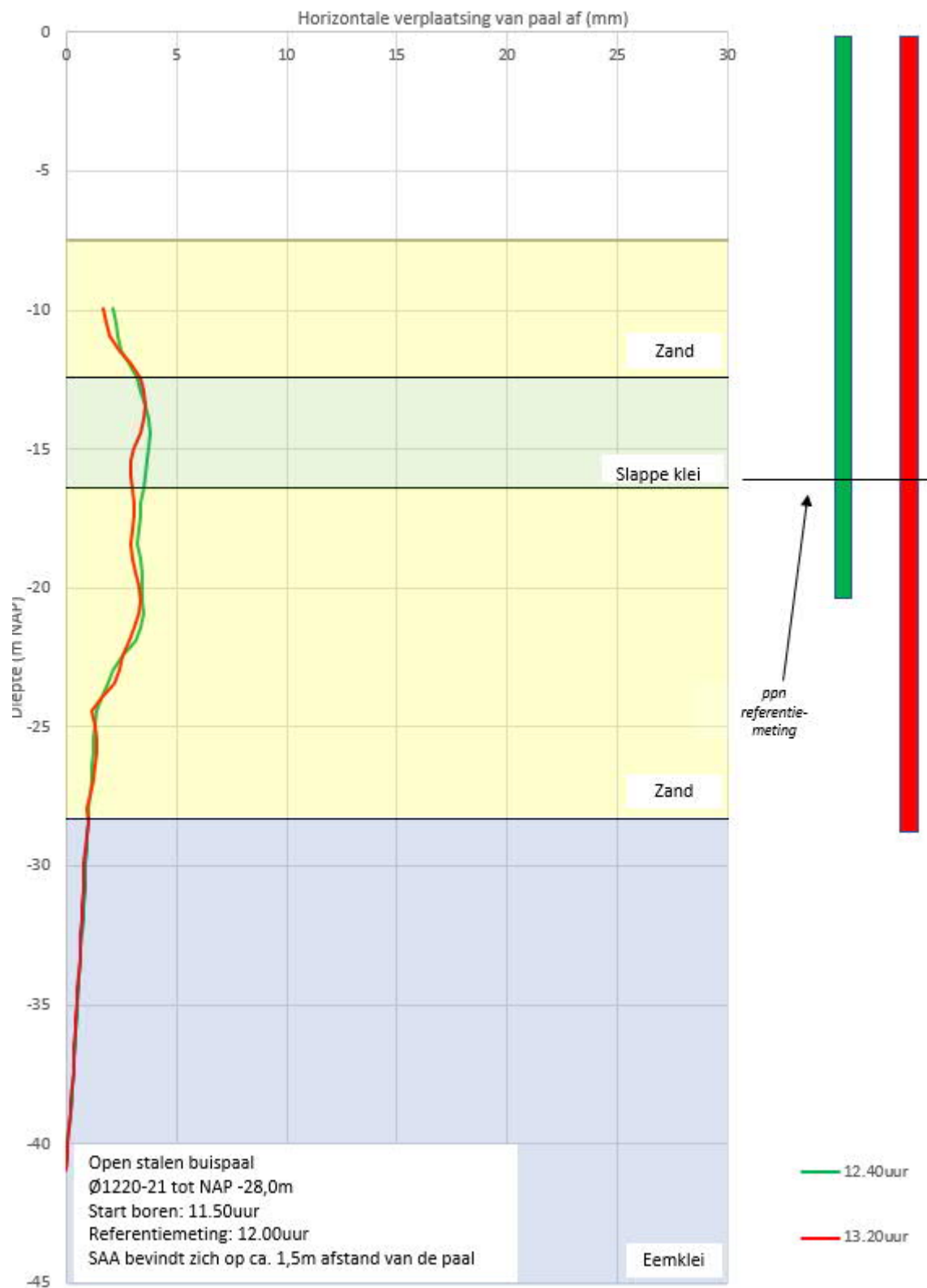
Installatie OSB-02 (PVC-04)



Figuur 11: Horizontale grondverplaatsing door boren OSB-02; referentiemeting 11.50uur



Installatie OSB-02 (PVC-04)

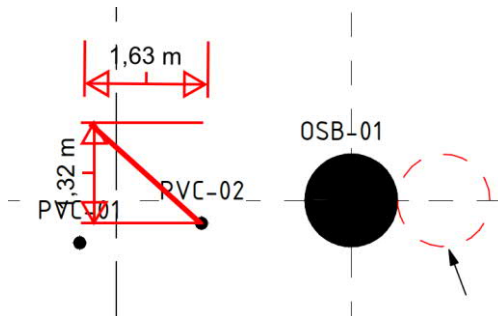


Figuur 12: Horizontale grondverplaatsing door boren OSB-02; referentiemeting 12.00uur



Boren OSB-01

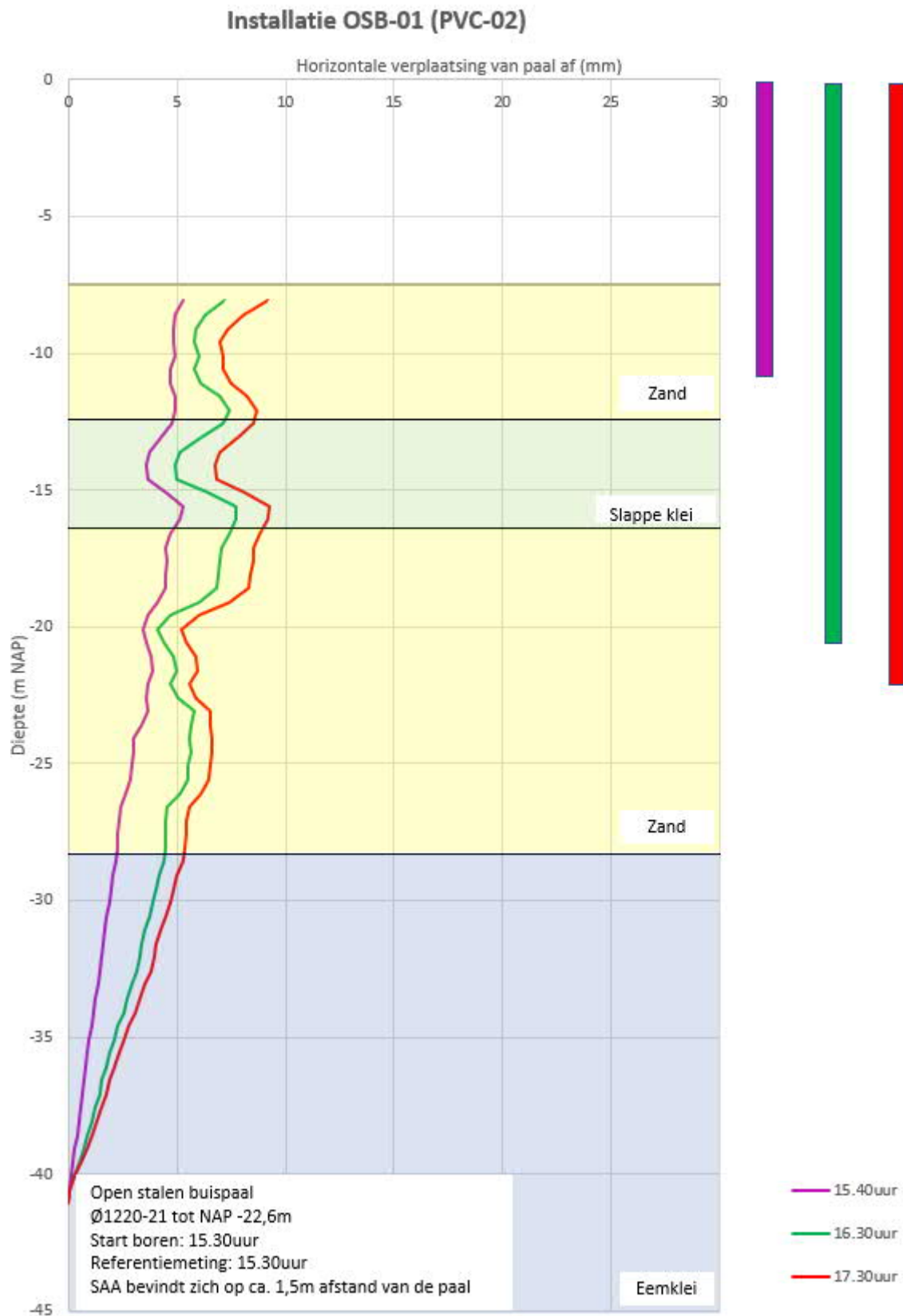
Beschouwd is de gemeten horizontale verplaatsing op basis van de SAAF-meting in PVC-02. Deze bevindt zich op bodemniveau een afstand van ca. 1,5m van de paal, maar neemt op grotere diepte toe tot een afstand van ca. 3,0m (zie figuur 13). In PVC-01 was ook een SAAF-meting aangebracht, maar deze geeft geen betrouwbare data en wordt hier daarom niet verder beschouwd.



Figuur 13: Locatie beschouwde SAAF-metingen bij boren OSB-01

Analyse:

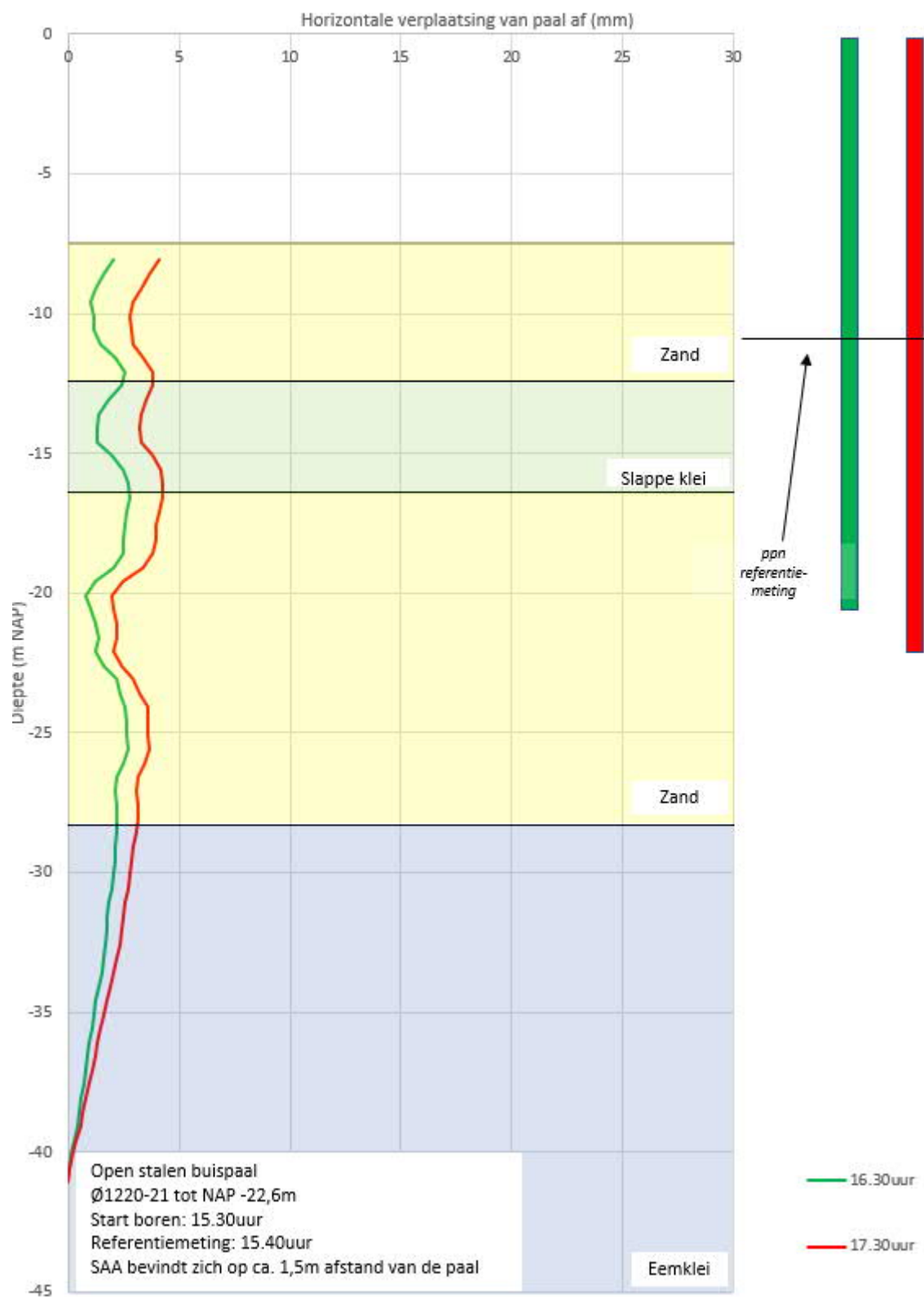
- Uit figuur 14 volgt dat op het moment dat de paal op een diepte van ca. NAP -11m is (dit is meting van 15.40uur) er een horizontale verplaatsing zou zijn opgetreden van ca. 5mm. Daarbij valt het op dat op een diepte van NAP -25m een horizontale verplaatsing van ca. 3mm zou zijn opgetreden. Dit is niet realistisch aangezien het paalpuntniveau op dit moment ca. NAP -11m bedroeg. Deze bevinding is ook besproken met Inventec (leverancier van de SAAF-metingen) en de meest waarschijnlijke verklaring is dat dit wordt veroorzaakt door rotatie van de PVC-buizen in de grond. Doordat de PVC-buizen een forse scheefstand hebben (zie paragraaf 2.1) wordt dit nog extra versterkt, aangezien een kleine rotatie van de PVC-buizen hierdoor al leidt tot significante horizontale verplaatsingen. Voor een juiste interpretatie van de verplaatsingen dienen de verplaatsingen daarom te worden gecorrigeerd voor deze rotatie. Dit kan worden gedaan door aan te nemen dat op een diepte van NAP -27,5m (4D onder het paalpuntniveau) geen horizontale grondverplaatsing is opgetreden. Hieruit volgt dat de horizontale grondverplaatsing ca. 0-5mm moet zijn geweest (zie ook figuur 15 waarin de horizontale grondverplaatsingen zijn weergegeven bij een referentiemeting van 15.40uur).



Figuur 14: Horizontale grondverplaatsing door boren OSB-01; referentiemeting 15.30uur



Installatie OSB-01 (PVC-02)



Figuur 15: Horizontale grondverplaatsing door boren OSB-01; referentiemeting 15.40uur



2.2.2 Conclusie

- Door het boren van de TVSi-palen is in de slappe kleilaag op een diepte van ca. NAP -13m / NAP -15m een maximale horizontale grondverplaatsing opgetreden van ca. 80-90mm (dit is de grondverplaatsing op een afstand van ca. 1,5m vanaf zijkant paal). Deze grondverplaatsing is bij beide TVSi-palen opgetreden. Dit lijkt een cumulatief effect te zijn doordat de palen binnen een stalen hulpcasing worden gemaakt.
Grofweg kan worden aangenomen dat binnen de hulpcasing de grond over een diepte van ca. 5m wordt verdrongen en dat die er nu over de onderste meter wordt uitgeperst. Zonder hulpcasing zouden dan naar verwachting horizontale verplaatsingen zijn opgetreden van ca. 80-90mm / 6m = ca. 10-15mm. Gezien de grondslag lijkt dit een realistische waarde, waardoor het aannemelijk is te stellen dat dit inderdaad een cumulatief effect is.
In de daaronder gelegen zandlagen (aanwezig van ca. NAP -15m / NAP -18m tot ca. NAP -27m / NAP -29m) zijn horizontale verplaatsingen optreden van ca. 5-10mm. De horizontale grondverplaatsingen in de Eemklei (dieper dan NAP -27m / NAP -29m) bedragen ca. 5mm.
- Door het boren van de open stalen buispalen is op een afstand van ca. 1,5m vanaf zijkant paal een horizontale grondverplaatsing opgetreden van ca. 0-5mm.
- Ondanks dat de SAAF-meting bij TVSi-paal 096 op grotere diepte tot vlak nabij de paal kwam en de afstand van de SAAF-meting bij TVSi-paal 095 tot de paal op dezelfde diepte ca. 2,5m bedroeg, is dit niet terug te zien in de gemeten verplaatsingen. Dit betekent dat de gemeten verplaatsingen binnen dezelfde meetrange vallen. Bij de open stalen buispalen is dit onderscheid niet te maken, aangezien de SAAF-metingen hier op nagenoeg dezelfde afstand van de buispalen zijn aangebracht.
- In [1] is beschreven dat met behulp van de SAAF-metingen van de paalproef het Plaxis 3D-model dat is opgesteld voor het bepalen van de omgevingsbeïnvloeding zal worden gevalideerd. Dit zal nader worden beschouwd in [4]. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bovenstaande bevindingen.

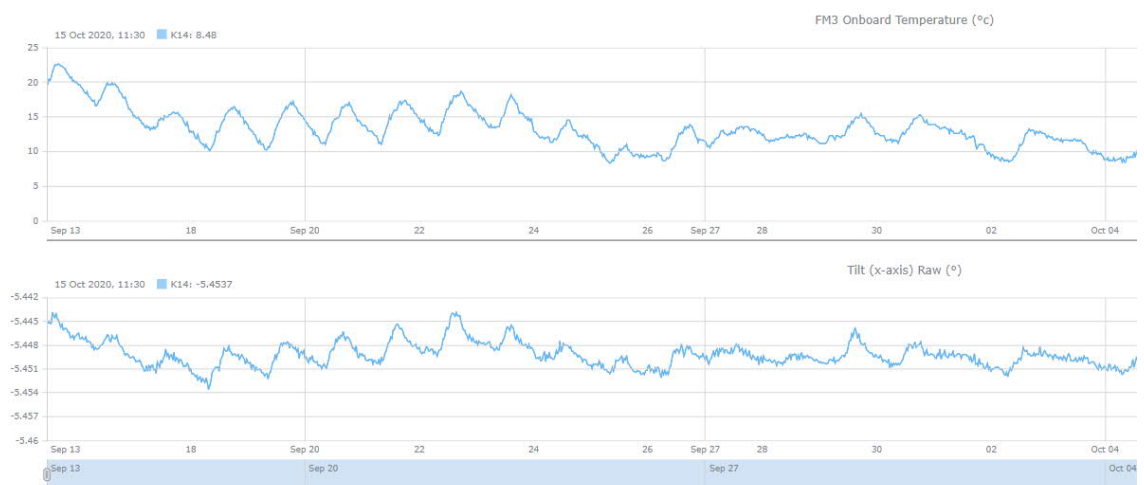
3 DOEL 2: MONITOREN VERPLAATSLINGEN OMGEVINGSOBJECTEN

3.1 Opmerkingen vooraf

- Uit de monitoringsdata in de weken voorafgaand aan de paalproef is gebleken dat zowel de tiltmeters op de kistdam als in de NZ-lijn gevoelig zijn voor temperatuur. De omrekening van de tilt naar verplaatsingen leidt daarbij voor beide constructies tot significante verplaatsingen, die niet realistisch zijn. Daarom is voor de paalproef gekozen voor onderstaande aanpak:

- Kistdam:

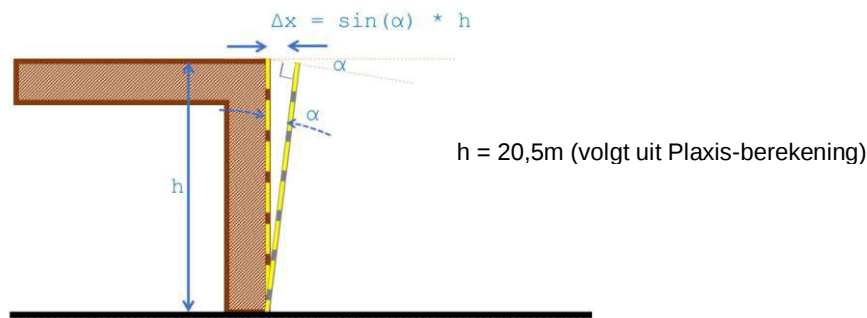
De tiltmeters op de kaspanten van de kistdam reageren sterk op temperatuurswisselingen, zie figuur 16. Hierin is duidelijk te zien dat de gemeten tilt nagenoeg exact de fluctuatie van de temperatuur volgt.



Figuur 16: Gemeten temperatuur en tilt bij K14 (periode 15 september tot 5 oktober)

Met de methode voor de omrekening van tilt naar horizontale verplaatsingen (zie figuur 17), zouden er door de gemeten tilt significante horizontale verplaatsingen zijn opgetreden. Deze lijken niet realistisch en worden vermoedelijk veroorzaakt doordat deze omrekening specifiek geldt voor het effect paalinstallatie en niet correct lijkt voor temperatuurseffecten.

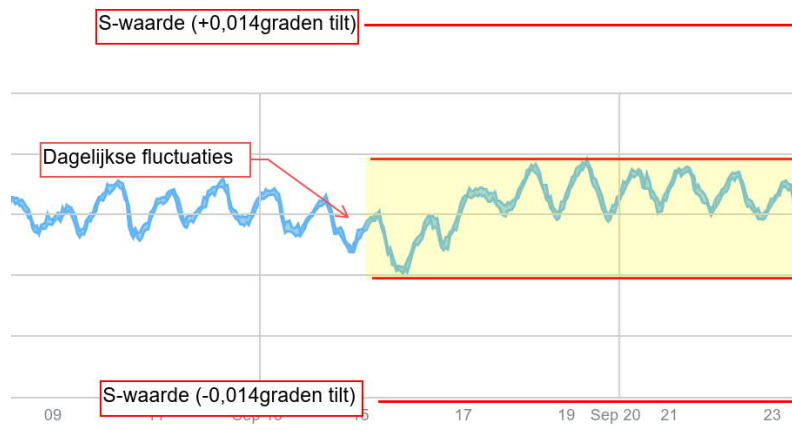
Bij paalinstallatie komt de verplaatsing namelijk uit de ondergrond (door de opspanning van de grond) waardoor de kistdam zal roteren om het dwarskrachtnulpunt zoals is weergegeven in figuur 17. Temperatuurswisselingen daarentegen zijn het gevolg van opwarming van de kaspanten. Dit zal niet direct leiden tot verplaatsingen in de ondergrond, waardoor hier een andere omrekening bij hoort.



Figuur 17: Omrekening tilt naar horizontale verplaatsing [2]

Omdat de omrekening die hoort bij temperatuureffecten niet bekend is, is voor de paalproef besloten om niet te monitoren op de verplaatsingen, maar op de gemeten tilt. De signaleringswaarden voor de verplaatsing zijn daarbij omgerekend naar signaleringswaarden voor de tilt (conform de omrekening die is beschreven in [2]). De signaleringswaarde van 5mm zoals beschreven in [1] komt dan overeen met een tilt van 0,014graden.

Als referentie voor de tilt is daarbij de tilt aangehouden over een periode van 7 dagen voorafgaand aan de paalproef. Dit geeft de dagelijkse fluctuatie weer. De bovengrens signaleringswaarde is vervolgens bepaald door bovenop de maximale gemeten tilt in deze periode de bijkomende tilt van 0,014graden op te tellen. De ondergrens van de signaleringswaarde en de interventiewaarden zijn op dezelfde wijze bepaald.



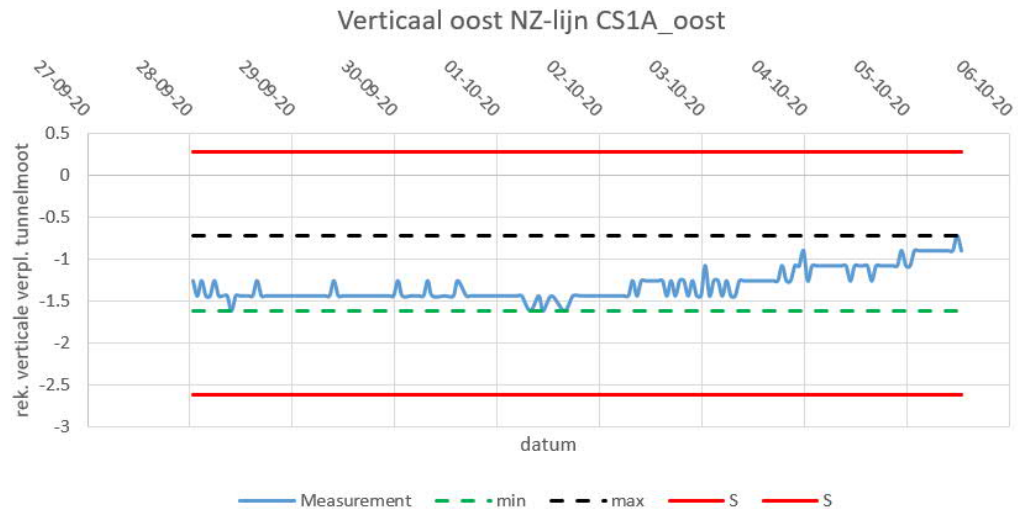
Figuur 18: Bepalen signaleringswaarden kistdam

- NZ-lijn:
 Bij de NZ-lijn wordt de horizontale voegverplaatsing tussen de tunnelmoten gemeten. Deze zijn vervolgens omgerekend naar een verticale verplaatsing van de tunnelmoten en een horizontale verplaatsing loodrecht op de tunnelas (conform contracteis VSE-0050). Deze omrekening lijkt echter niet correct, aangezien dit tot onrealistische verplaatsingen leidt. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door temperatuurseffecten. Dit is nader toegelicht in [3] (zie bijlage A).
 Voor de paalproef is er daarom voor gekozen om, net als bij de kistdam, de verplaatsingen over een periode van 7 dagen voorafgaand aan de paalproef als referentie te beschouwen aangezien dit de dagelijkse fluctuatie weergeeft. De bovengrens van de signaleringswaarde is vervolgens bepaald door bovenop de maximale gemeten verplaatsing in deze periode de signaleringswaarde van 1mm [1] op te tellen (zie figuur 19). De ondergrens van de signaleringswaarde en de interventiewaarden zijn op dezelfde wijze bepaald.

Voor de productiepalen wordt in [3] (zie bijlage A) onderstaande aanbeveling gedaan:

Deze variatie in gemeten rek over de voeg en tilt in de tunnel betekenen echter wel dat de omrekening van de waarden zoals beoogd in de tender niet toereikend is voor de monitoring van de tunnel tijdens de bouwwerkzaamheden. Omdat deze omrekening echter is gebaseerd op een beschikbare ruimte van de voegbreedte, een waarde die nagenoeg direct wordt gemeten, wordt aanbevolen om alleen deze waarde te gebruiken voor de sturing en toetsing in de monitoring.

Afgesproken is dat dit in de evaluatie van de monitoring van de paalproef nader zal worden beschouwd.



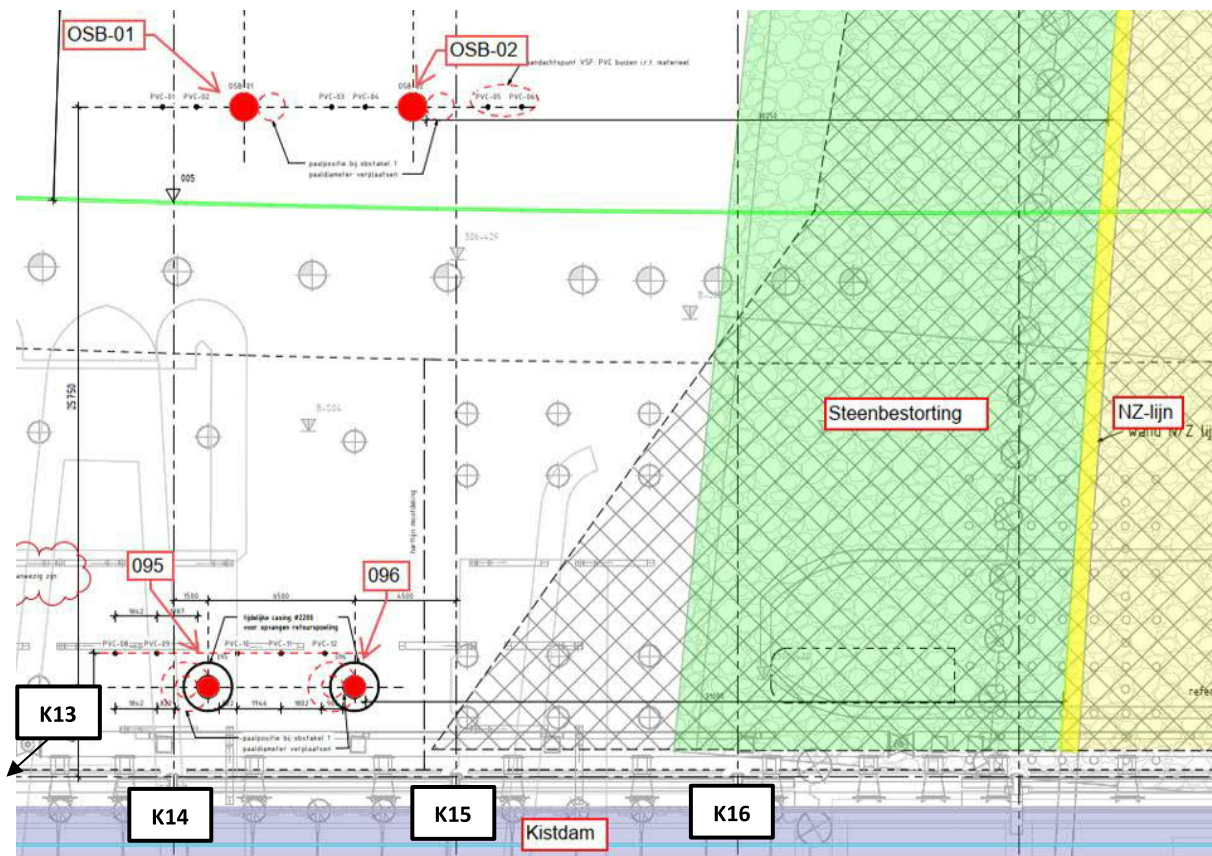
Figuur 19: Bepalen signaleringswaarden NZ-lijn

- Op zaterdagavond 10 oktober (dit is in het weekend nadat de TVSi-palen zijn aangebracht, maar de open stalen buispalen nog niet) is de signaleringswaarde van sensor CS1a_Sh (de horizontale verplaatsing loodrecht op de tunnelas ter plaatse van de zinkvoeg) overschreden. Dit is besproken met opdrachtgever en MET en gezamenlijke conclusie was dit het gevolg was van dagelijkse fluctuaties in combinatie met temperatuurseffecten (zie bovenstaande effect) en niet door werkzaamheden aan de paalproef. De signaleringswaarde van deze meetsensor is vervolgens aangepast waarbij opnieuw is gekeken naar de dagelijkse fluctuaties over de afgelopen 7 dagen.
- Aanvullend op wat is beschreven in [1], zijn de meest dichtstbijzijnde geodetische meetpunten op de kistdam tijdens de paalproef ook ingemeten. Hier is voor gekozen om een relatie te kunnen leggen met de resultaten van de tiltmeters. De resultaten hiervan worden ook besproken in dit hoofdstuk.

3.2 Monitoringsdata kistdam

De kistdam is tijdens de paalproef gemonitord met behulp van tiltmeters en geodetische meetpunten. In onderstaande figuur is de locatie en benaming van de monitoringsinstrumenten weergegeven. De tiltmeters en de geodetische meetpunten bevinden zich beiden op de kapspanten en daarom hebben ze ook dezelfde naam. Bij elk kapspant is dus zowel een tiltmeter als een geodetisch meetpunt aanwezig.

Opgemerkt wordt dat de tiltmeters alleen worden gebruikt voor signalering tijdens de werkzaamheden en dat de geodetische metingen worden gebruikt voor de vastlegging van de opgetreden verplaatsingen.



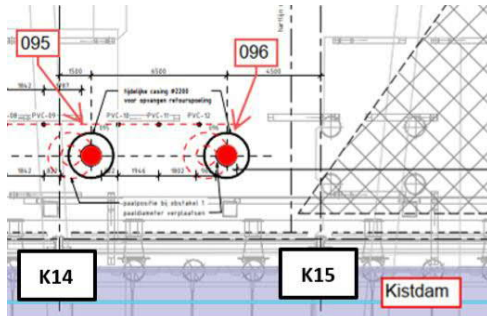
Figuur 20: Locatie monitoringsinstrumenten kistdam

De resultaten van de tiltmeters en de geodetische meetpunten worden behandeld in de paragrafen 3.2.1 en 3.2.2. In paragraaf 3.2.3 worden de conclusies behandeld. Hierin wordt alleen de invloed van het aanbrengen van de TVSi-palen 096 en 095 op de kistdam is beschouwd. De open stalen buispalen OSB-01 en OSB-02 zijn aangebracht op een afstand van ca. 30m van de kistdam, waardoor hier geen invloed van te verwachten is.

3.2.1 Tiltmeters

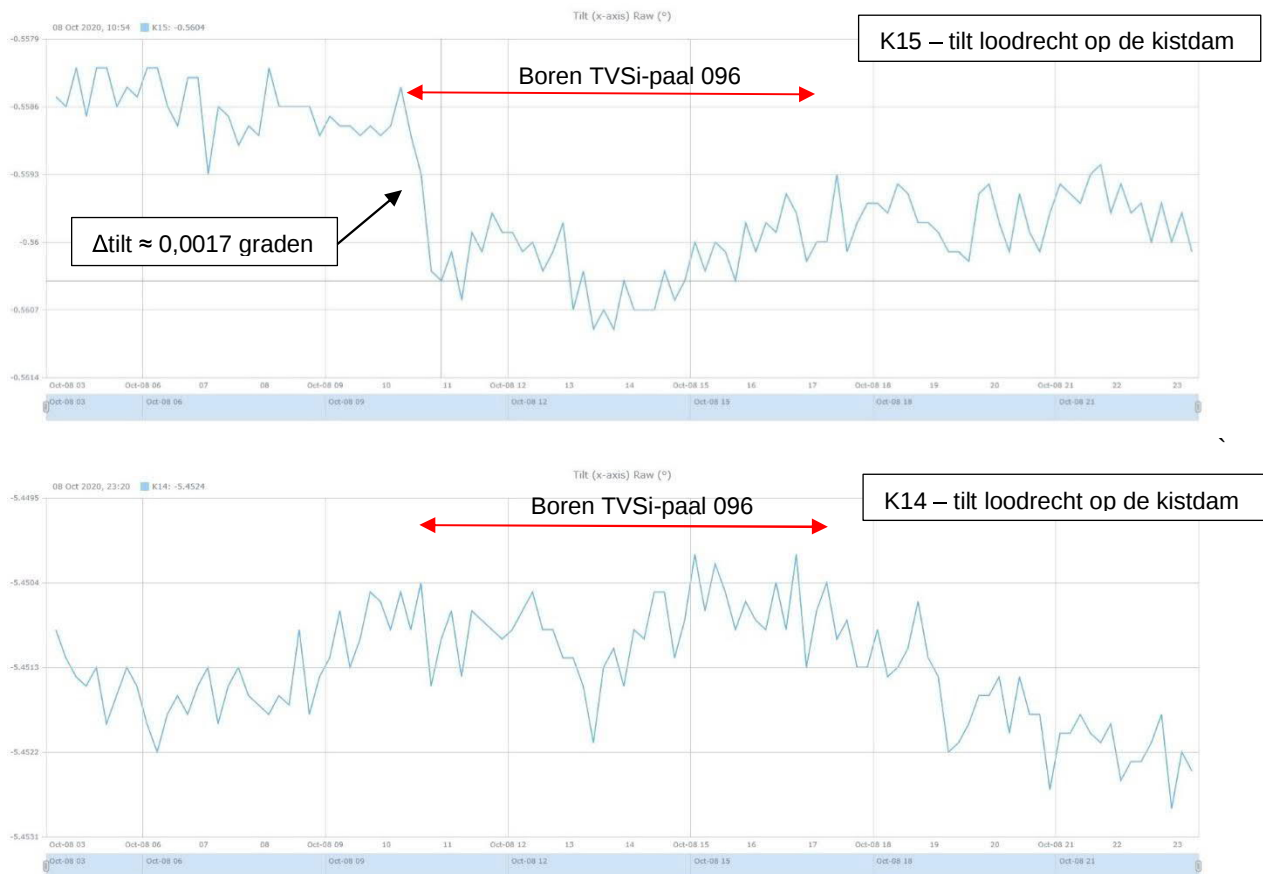
Boren TVSi-paal 096

Weergegeven is de gemeten tilt loodrecht op de kistdam van de tiltmeters K14 en K15 (deze bevinden zich het dichtst bij paal 096).



Afstand TVSi-paal 096 – K14: 9,5m
 Afstand TVSi-paal 096 – K15: 5,8m

Figuur 21: Afstand tiltmeters tot TVSi-paal 096



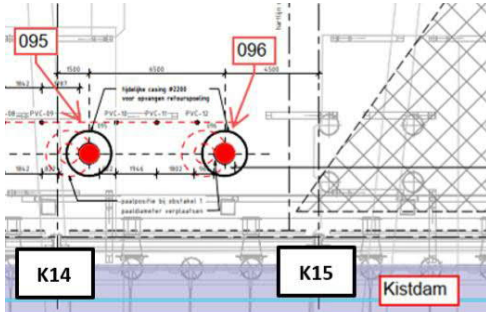
Figuur 22: Resultaten tiltmeters tgv paalinstallatie 096

Analyse:

- De tilt bij K15 neemt bij de start van het boren af en blijft daarna redelijk constant. De plotseling sprong in de tilt bedraagt $0,5563 - 0,5586 = 0,0017$ graden. Met de omrekening die is beschreven in [2], komt dit overeen met een verwachte horizontale verplaatsing van ca. $\sin(0,0017) \times 20500 = 0,6\text{mm}$ richting het IJ.
- Bij K14 is, buiten de dagelijkse fluctuatie, geen duidelijke verandering van de tilt waarneembaar.

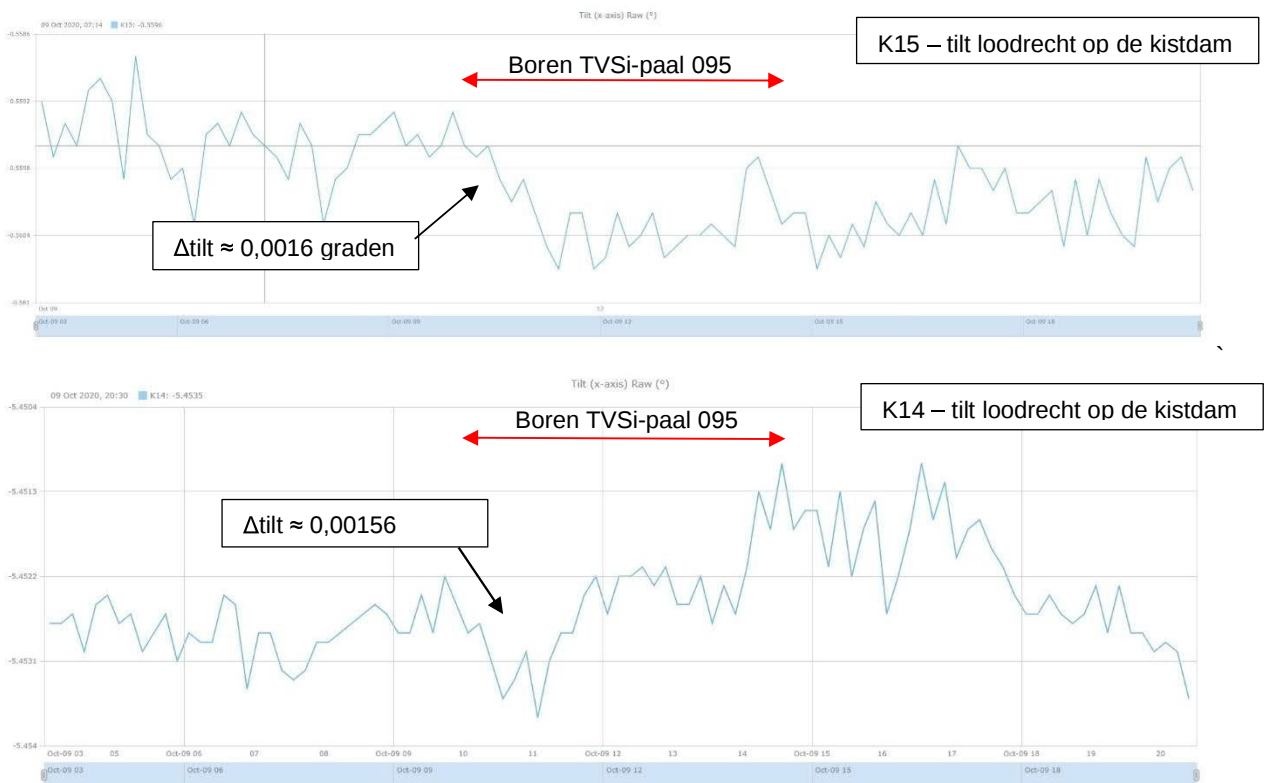
Boren TVSi-paal 095

Weergegeven is de gemeten tilt loodrecht op de kistdam van de tiltmeters K14 en K15 (deze bevinden zich het dichtst bij paal 095).



Afstand TVSi-paal 095 – K14: 5,1m
 Afstand TVSi-paal 095 – K15: 11,7m

Figuur 23: Afstand tiltmeters tot TVSi-paal 095



Figuur 24: Resultaten tiltmeters tgv paalinstallatie 095

Analyse:

- De tilt bij K15 neemt bij de start van het boren af en blijft daarna redelijk constant. De plotseling sprong in de tilt bedraagt $0,5607 - 0,5593 = 0,0014$ graden. Met de omrekening die is beschreven in [2], komt dit overeen met een verwachte horizontale verplaatsing van ca. $\sin(0,0014) \times 20500 = 0,5\text{mm}$ richting het IJ.
- Bij K14 is aan het begin van het boorproces een afname van de tilt waarneembaar, daarna loopt de tilt weer op. De afname van de tilt in het begin bedraagt $5,4537 - 5,4522 = 0,0015$ graden, wat overeenkomt met een horizontale verplaatsing van ca. $0,5\text{mm}$ richting het IJ. Het is onduidelijk of de toename van de tilt die daarna optreedt het gevolg is van de paalinstallatie, vermoedelijk is dit het gevolg van de dagelijkse fluctuatie.



3.2.2 Geodetische meetpunten

De geodetische meetpunten zijn gedurende een periode van 3 dagen overdag gemiddeld ca. 1x per uur ingemeten. Op 7 oktober werden nog geen werkzaamheden uitgevoerd, waardoor deze metingen inzicht geven in de dagelijkse fluctuaties en de meetfouten. Op 8 en 9 oktober zijn vervolgens de TVSI-palen 096 en 095 aangebracht. Deze paragraaf begint met een analyse van de dagelijkse fluctuatie en de meetfouten. Daarna zal meer gedetailleerd worden ingegaan op de gemeten verplaatsingen ten gevolge van het aanbrengen van de palen.

Dagelijkse fluctuatie

In de figuur op de volgende pagina zijn de meetresultaten weergegeven van de volledige meetreeks over een periode van 3 dagen. Hieruit volgen onderstaande waarden voor de dagelijkse fluctuatie:

- Horizontaal loodrecht op de kistdam: maximaal ca. 4mm
- Horizontaal evenwijdig aan de kistdam: maximaal ca. 4mm
- Verticaal: maximaal ca. 2mm

Hiervoor is voornamelijk gebruik gemaakt van de meting op 7 oktober (toen er nog geen werkzaamheden werden uitgevoerd), maar ook van de metingen bij K13 en K16. Deze kapspanten bevinden zich namelijk op een afstand van minimaal ca. 13m van de proefpalen, waardoor het niet de verwachting is dat deze zijn verplaatst door het aanbrengen van de palen. Deze dagelijkse fluctuatie komt nagenoeg overeen met de signaleringswaarden van de kistdam (5mm horizontaal en 1mm verticaal). Hierdoor is het lastig om te bepalen welk gedeelte van de gemeten verplaatsingen komt door de dagelijkse fluctuaties en welk gedeelte door de paalinstallatie. Door te kijken naar de trend is echter getracht hier zo goed mogelijk invulling aan te geven.

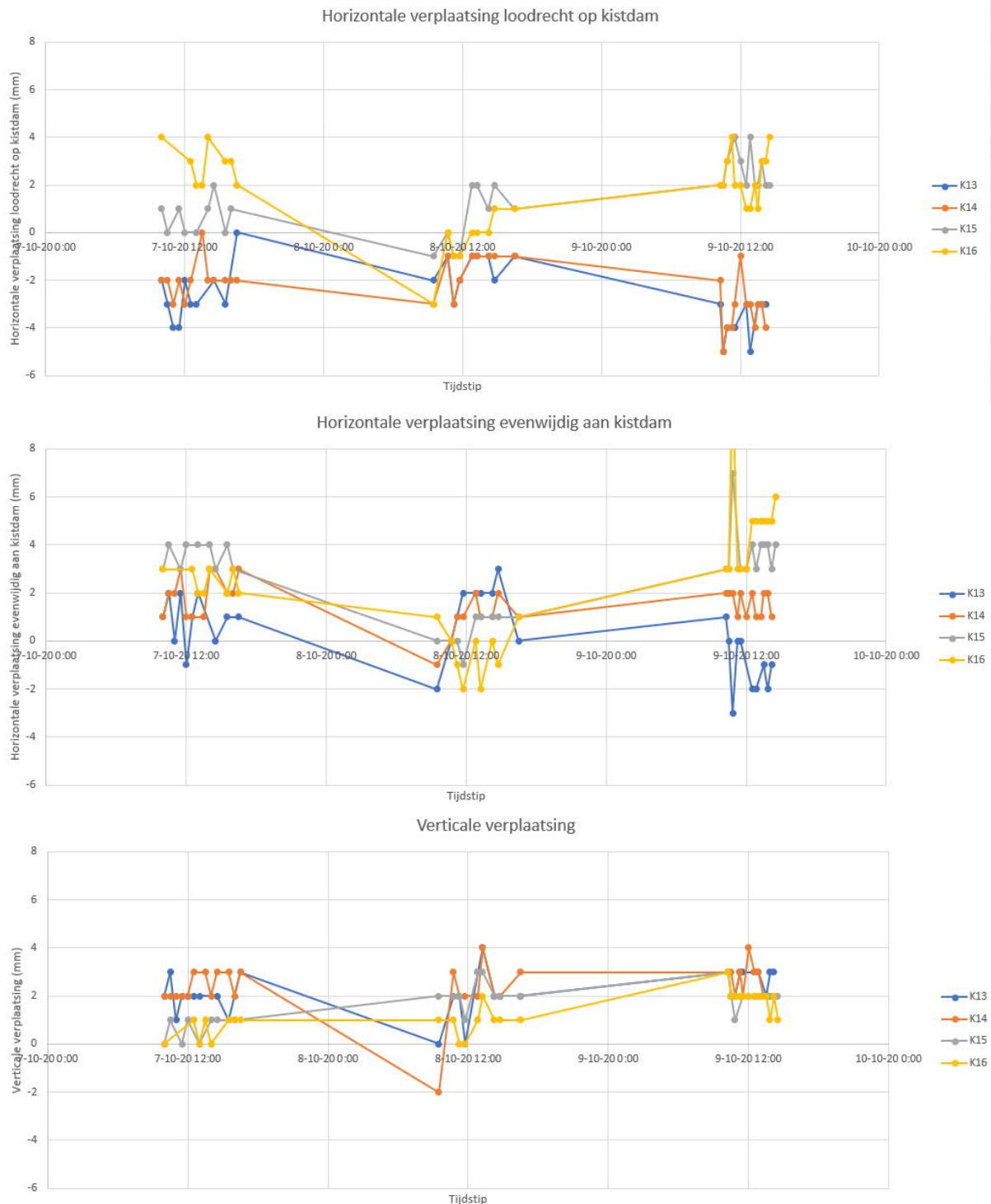
Meetfouten

Opgemerkt wordt dat uit de metingen soms onverklaarbare verplaatsingen optreden. Deze zijn zeer waarschijnlijk het gevolg van meetfouten:

- De horizontale verplaatsing loodrecht op de kistdam bij K16 wijkt op 8 oktober significant af ten opzichte van de metingen op 7 oktober. De reden hiervoor is onbekend. Op 9 oktober lijken de gemeten verplaatsingen wel weer overeen te komen met de metingen van 7 oktober. Opgemerkt wordt dat de data van 8 oktober wel gewoon kan worden gebruikt voor het bepalen van de dagelijkse fluctuatie op 8 oktober.
- Een aantal meetpunten vertonen soms vreemde onverklaarbare sprongen. Voorbeelden zijn de horizontale verplaatsing evenwijdig aan de kistdam op 9 oktober 10.50uur (K13, K15 en K16) en de verticale verplaatsing op 8 oktober 9.30uur (K14).

Deze bevindingen zullen besproken worden met de uitvoerder van de geodetische meetdata.

Dagelijkse fluctuatie



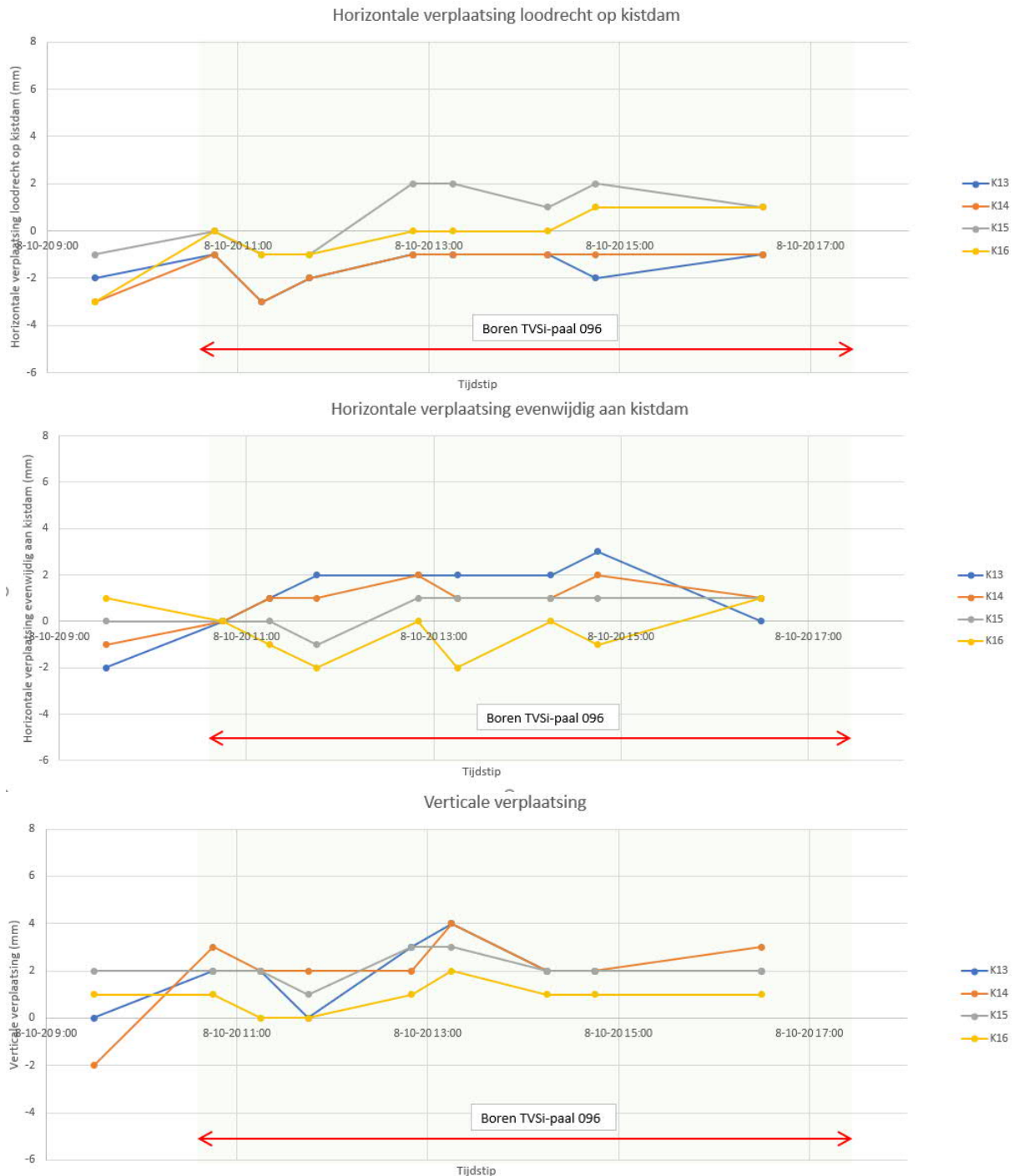
Figuur 25: Resultaten geodetische metingen over periode van 3 dagen

Analyse:

- Horizontaal loodrecht op de kistdam: dagelijkse fluctuatie maximaal ca. 4mm
- Horizontaal evenwijdig aan de kistdam: dagelijkse fluctuatie maximaal ca. 4mm
- Verticaal: dagelijkse fluctuatie maximaal ca. 2mm

Aanbrengen TVSi-paal 096

Ter info: dit zijn dezelfde verplaatsingen als in figuur 25, nu alleen weergegeven op 8 oktober, de dag dat TVSi-paal 096 is aangebracht.



Figuur 26: Resultaten geodetische metingen tgv paalinstallatie 096

Analyse:

- Horizontaal loodrecht op de kistdam: K15 lijkt maximaal ca. 1mm te zijn toegenomen
- Horizontaal evenwijdig aan de kistdam: geen duidelijke invloed waarneembaar
- Verticaal: geen duidelijke invloed waarneembaar

Aanbrengen TVSi-paal 095

Ter info: dit zijn dezelfde verplaatsingen als in figuur 25, nu alleen weergegeven op 9 oktober, de dag dat TVSi-paal 095 is aangebracht.



Figuur 27: Resultaten geodetische metingen tgv paalinstallatie 095

Analyse:

- Horizontaal loodrecht op de kistdam: geen duidelijke invloed waarneembaar
- Horizontaal evenwijdig aan de kistdam: geen duidelijke invloed waarneembaar
- Verticaal: geen duidelijke invloed waarneembaar



3.2.3 Conclusie

- Vanwege de grote dagelijkse fluctuaties van de verplaatsingen (uit de geodetische meetpunten volgt 4mm voor horizontale verplaatsingen en 2mm voor verticale verplaatsingen) is het lastig om te bepalen welk gedeelte van de gemeten verplaatsingen komt door de dagelijkse fluctuaties en welk gedeelte door de paalinstallatie. Door te kijken naar de trend is echter getracht hier zo goed mogelijk invulling aan te geven.
- Uit de metingen volgt dat de kistdam door het aanbrengen van de palen ca.1mm is verplaatst in horizontale richting het IJ. De verplaatsingen op basis van de tiltmeters en de geodetische meetpunten komen daarbij redelijk met elkaar overeen. In horizontale richting loodrecht op de kistdam en in verticale richting lijken geen verplaatsingen te zijn opgetreden door het aanbrengen van de palen.
- Dit betekent dat de gemeten verplaatsingen onder de signaleringswaarde van 5mm zoals beschreven in [1] zijn gebleven.

3.3 Monitoringsdata NZ-lijn

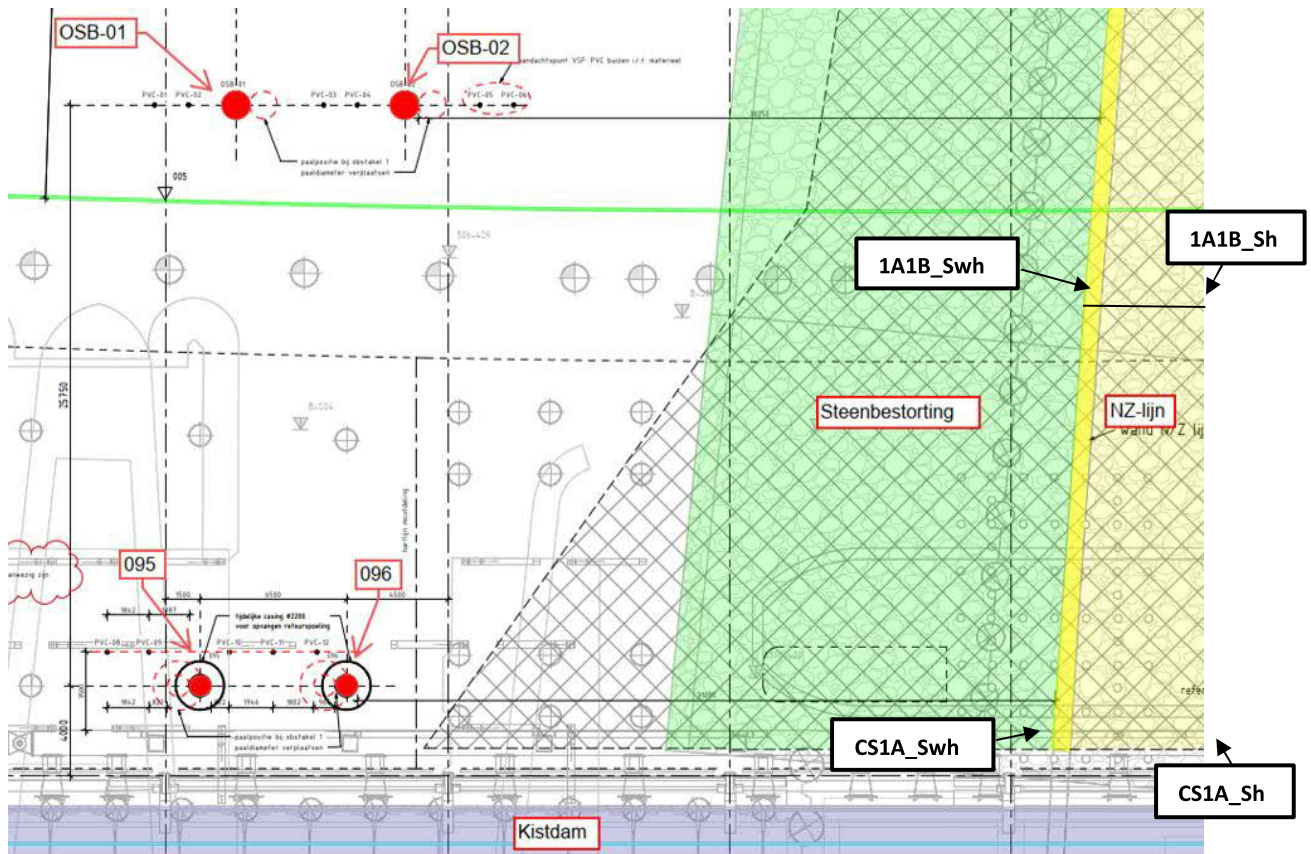
De NZ-lijn is tijdens de paalproef gemonitord met behulp van rekmeters. Deze meetdata is vervolgens omgerekend naar verticale verplaatsingen en verplaatsingen loodrecht op de tunnelas. Dit is nader toegelicht in [3] (zie bijlage A). Hierdoor zijn de verplaatsingen berekend op onderstaande locaties die in deze paragraaf nader worden beschouwd:

Verticaal:

- CS1A_Soh: zinkvoeg tussen moot 1a en kistdam, oostzijde
- CS1A_Swh: zinkvoeg tussen moot 1a en kistdam, westzijde
- 1A1B_Soh: mootvoeg tussen moot 1a en 1b, oostzijde
- 1A1B_Swh: mootvoeg tussen moot 1a en 1b, westzijde
- 1B1C_Soh: mootvoeg tussen moot 1b en 1c, oostzijde
- 1B1C_Swh: mootvoeg tussen moot 1b en 1c, westzijde

Horizontaal loodrecht op de tunnelas:

- CS1A_Sh: zinkvoeg tussen moot 1a en kistdam
- 1A1B_Sh: mootvoeg tussen moot 1a en 1b
- 1B1C_Sh: mootvoeg tussen moot 1b en 1c

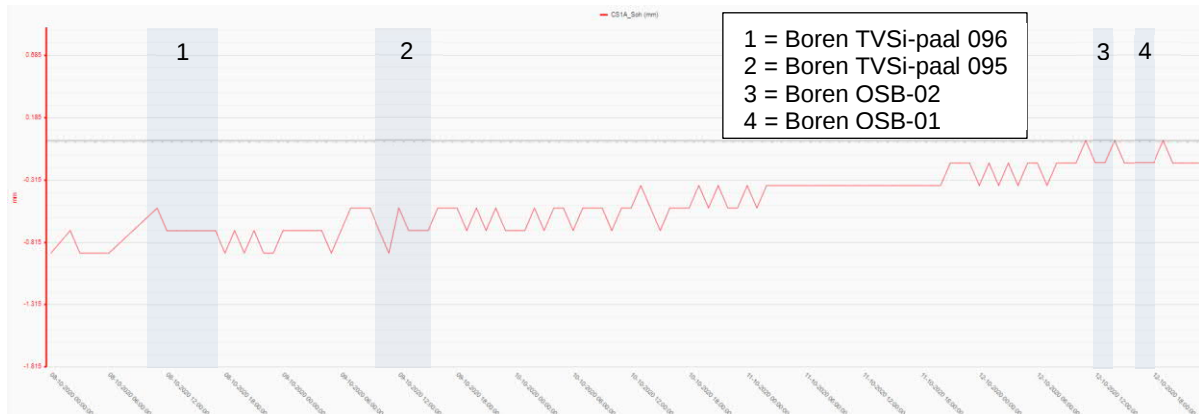


Figuur 28: Locatie monitoringsinstrumenten NZ-lijn (niet alle instrumenten zijn weergegeven)

De resultaten van de rekmeters worden behandeld in paragraaf 3.3.1, waarna de conclusies worden behandeld in paragraaf 3.3.2. In deze paragraaf wordt de invloed van het aanbrengen van zowel de TVSi-palen 095 / 096 als de open stalen buispalen OSB-01 / OSB-02 op de NZ-lijn beschouwd. De afstand van deze palen tot de rand van de NZ-lijn bedraagt ca. 30m.

3.3.1 Rekmeters

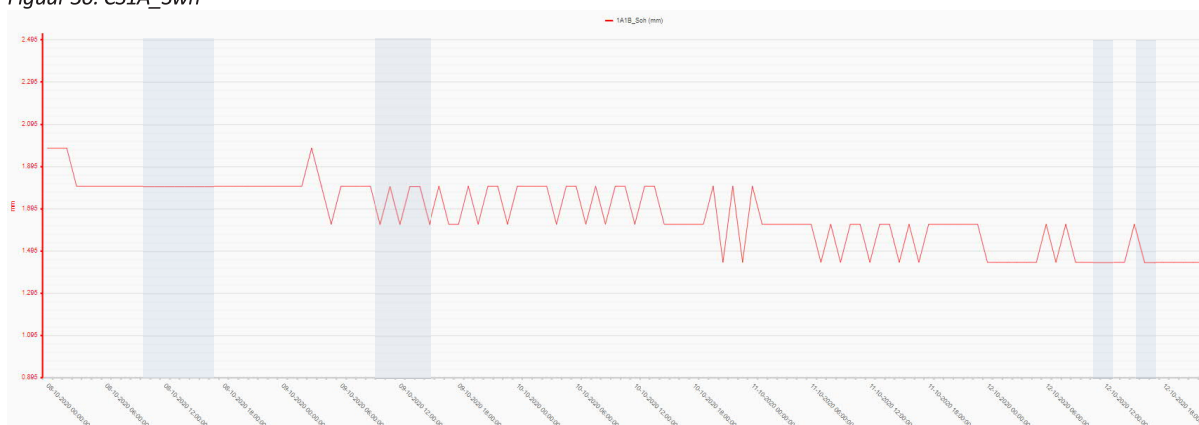
Verticale verplaatsingen



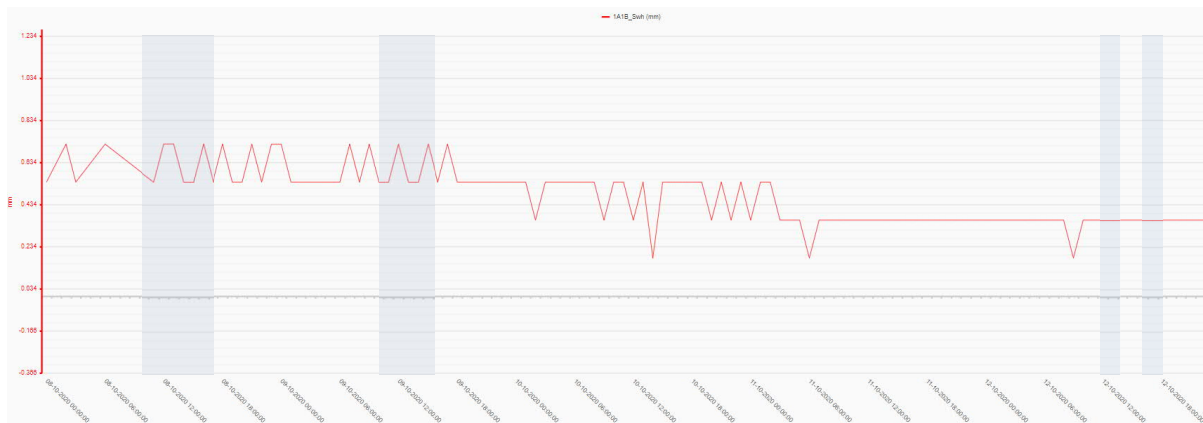
Figuur 29: CS1A_Soh (mm)



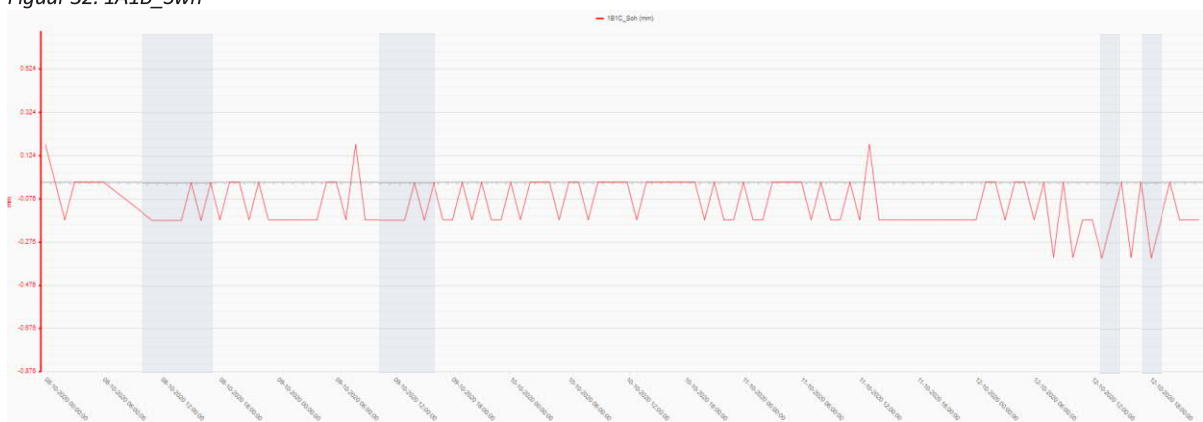
Figuur 30: CS1A_Swh



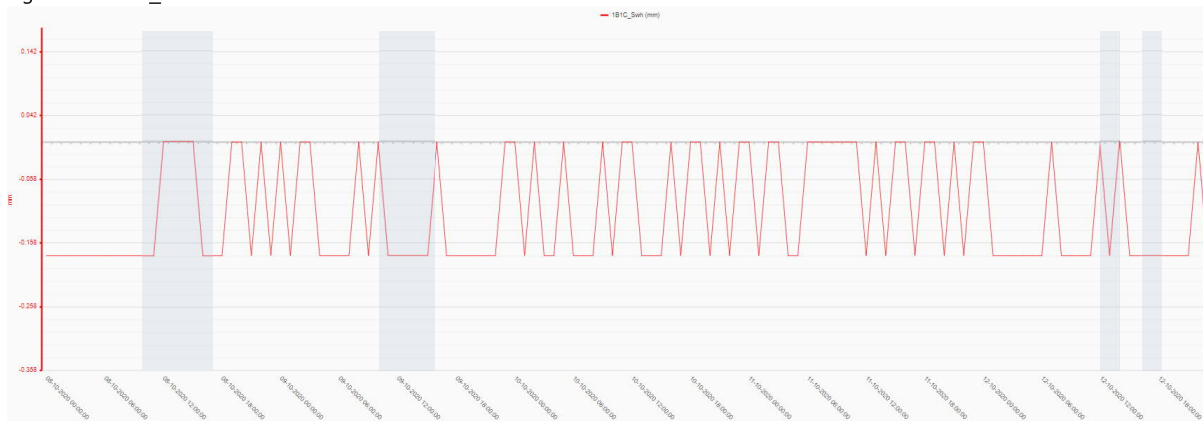
Figuur 31: 1A1B_Soh



Figuur 32: 1A1B_Swh



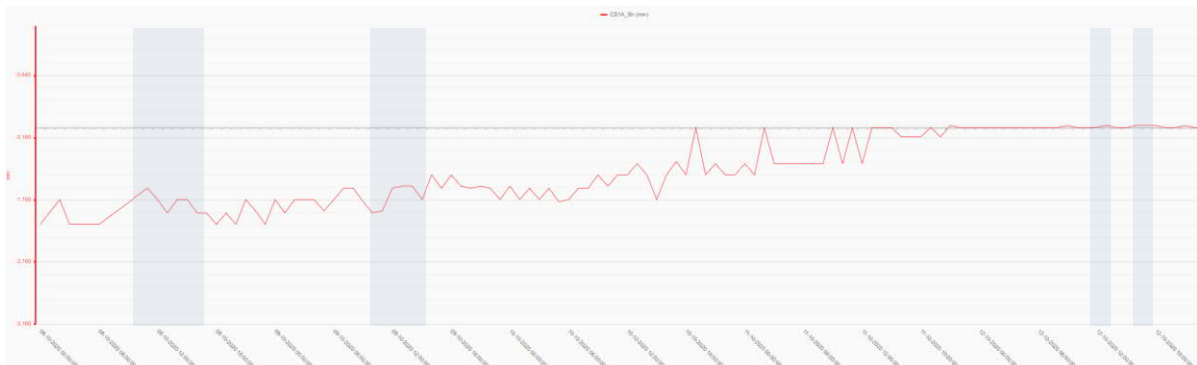
Figuur 33: 1B1C_Soh



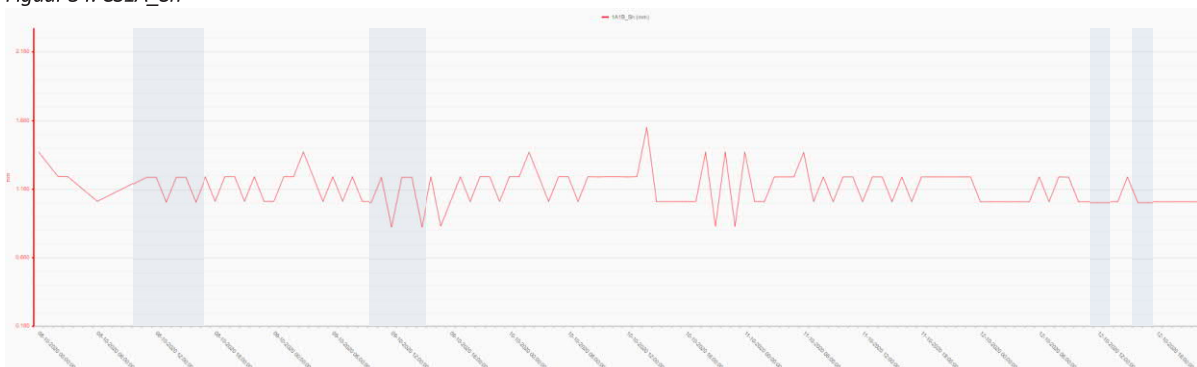
Analyse:

- Verticale verplaatsing: geen duidelijke invloed waarneembaar
- Bij de zinkvoeg (CS1A_Swh en CS1A_Soh) is gedurende de paalproef weliswaar een verticale verplaatsing gemeten van ca. 1mm, maar deze is niet gerelateerd aan de werkzaamheden aangezien deze voornamelijk in het weekend van 10 en 11 oktober is opgetreden toen er geen werkzaamheden plaatsvonden. Deze verplaatsing wordt vermoedelijk veroorzaakt door temperatuur. De dagelijkse fluctuatie van deze 2 meetpunten is ook duidelijk terug te zien indien een langere meetperiode wordt beschouwd.

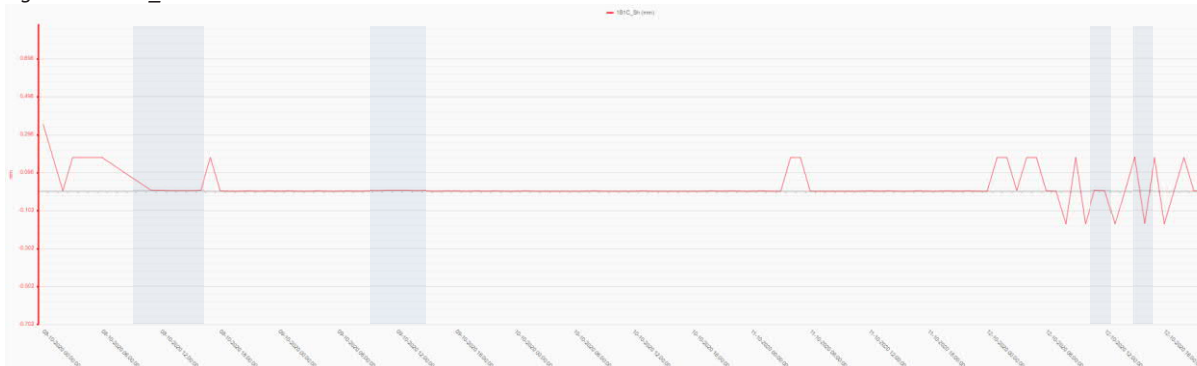
Horizontale verplaatsingen loodrecht op de tunnelas



Figuur 34: CS1A_Sh



Figuur 35: 1A1B_Sh



Figuur 36: 1B1C_Sh

- Horizontale verplaatsing loodrecht op tunnelas: geen duidelijke invloed waarneembaar
- Bij de zinkvoeg (CS1A_Sh) is gedurende de paalproef weliswaar een horizontale verplaatsing gemeten van ca. 1mm, maar deze is niet gerelateerd aan de werkzaamheden aangezien deze voornamelijk in het weekend van 10 en 11 oktober is opgetreden toen er geen werkzaamheden plaatsvonden. Deze verplaatsing wordt vermoedelijk veroorzaakt door temperatuur. De dagelijkse fluctuatie van deze 2 meetpunten is ook duidelijk terug te zien indien een langere meetperiode wordt beschouwd.



3.3.2 Conclusie

- Uit de metingen volgt dat de NZ-lijn door het aanbrengen van de palen niet lijkt te zijn verplaatst in verticale richting en horizontaal loodrecht op de tunnelas.
- Dit betekent dat de gemeten verplaatsingen onder de signaleringswaarden van 1mm zoals beschreven in [1] zijn gebleven.



4 DOEL 3: INSTALLEERBAARHEID

Alle palen zijn aangebracht conform de werkmethode die is beschreven in het werkplan. Hiermee is de installeerbaarheid van de palen aangetoond. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat OSB-01 vanwege een vermoedelijk obstakel op ca. NAP -22,6m niet op diepte is gekomen (het is onbekend wat voor obstakel). Dit staat echter los van de installeerbaarheid van de palen zelf. Hiervoor is in het risicodossier een risico opgenomen dat zich op ook grote diepte en grote afstand van de kistdam nog obstakels in de ondergrond kunnen bevinden. Welke beheersmaatregelen nodig zijn om dit risico te mitigeren, zal nader worden beschouwd binnen het projectteam.

In onderstaande tabel is de afwijking van de theoretische positie van de bovenkant van de paal en de scheefstand weergegeven. Hieruit volgt dat aan de eisen ten aanzien van scheefstand (+/-1% voor de TVSi-palen en +/-4% voor de open stalen buispalen) wordt voldaan. Voor de TVSi-palen wordt ook voldaan aan de plaatsingstolerantie van +/-200mm. Bij de open stalen buispalen staat paal OSB-02 net buiten de plaatsingstolerantie. Dit komt doordat hier bij de open stalen buispalen minder aandacht aan is besteed, omdat deze palen na afloop toch weer zouden worden getrokken.

Paal	afwijking van theoretische positie		scheefstand
	Δx (mm)	Δy (mm)	
TVSi 096	17	50	0,2%
TVSi 095	42	44	0,5%
OSB-02	227	29	0,9%
OSB-01	32	14	0,1%



5 CONCLUSIES EN AANDACHTSPUNTEN

5.1 Conclusies

Doel 1: Monitoring grondopspanning

- Door het boren van de TVSi-palen is in de slappe kleilaag op een diepte van ca. NAP -13m / NAP -15m een maximale horizontale grondverplaatsing opgetreden van ca. 80-90mm (dit is de grondverplaatsing op een afstand van ca. 1,5m vanaf zijkant paal). In de daaronder gelegen zandlagen (aanwezig van ca. NAP -15m / NAP -18m tot ca. NAP -27m / NAP -29m) zijn horizontale verplaatsingen optreden van ca. 5-10mm. De horizontale grondverplaatsingen in de Eemklei (dieper dan NAP -27m / NAP -29m) bedragen ca. 5mm.
- Door het boren van de open stalen buispalen is op een afstand van ca. 1,5m vanaf zijkant paal een horizontale grondverplaatsing opgetreden van ca. 0-5mm.
- In [1] is beschreven dat met behulp van de SAAF-metingen van de paalproef het Plaxis 3D-model dat is opgesteld voor het bepalen van de omgevingsbeïnvloeding zal worden gevalideerd. Dit zal nader worden beschouwd in [4]. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bovenstaande bevindingen.

Doel 2: Monitoren verplaatsingen omgevingsobjecten

- Uit de metingen volgt dat de kistdam door het aanbrengen van de palen ca.1mm is verplaatst in horizontale richting het IJ. In horizontale richting loodrecht op de kistdam en in verticale richting lijken geen verplaatsingen te zijn opgetreden door het aanbrengen van de palen. Dit betekent dat de gemeten verplaatsingen onder de signaleringswaarde van 5mm zoals beschreven in [1] zijn gebleven.
- Uit de metingen volgt dat de NZ-lijn door het aanbrengen van de palen niet lijkt te zijn verplaatst in verticale richting en horizontaal loodrecht op de tunnelas. Dit betekent dat de gemeten verplaatsingen onder de signaleringswaarden van 1mm zoals beschreven in [1] zijn gebleven.

Doel 3: Installeerbaarheid

- Palen zijn conform werkmethodiek zoals beschreven in het werkplan aangebracht. Daarnaast zijn alle palen binnen de benodigde tolerantie aangebracht. Hiermee is de installeerbaarheid aangetoond.



5.2 Aandachtspunten

Monitoring kistdam

- Vanwege de grote dagelijkse fluctuaties van de verplaatsingen (uit de geodetische meetpunten volgt 4mm voor horizontale verplaatsingen en 2mm voor verticale verplaatsingen) is het lastig om te bepalen welk gedeelte van de gemeten verplaatsingen komt door de dagelijkse fluctuaties en welk gedeelte door de paalinstallatie. Hier dient voor de uitvoering van de productiepalen nader invulling aan te worden gegeven (dit zal nader worden beschouwd).

Monitoring NZ-lijn

- In [3] (zie bijlage A) is door Crux de aanbeveling gedaan om voor de productiepalen niet langer te monitoren op verticale verplaatsingen en horizontale verplaatsingen loodrecht op de tunnelas (conform de contracteis), maar op de voegbreedte. Dit dient nader te worden uitgewerkt.

Obstakels in ondergrond

- Paal OSB-01 is vanwege een vermoedelijk obstakel op ca. NAP -22,6m niet op diepte gekomen (het is onbekend wat voor obstakel). Hiervoor is in het risicodossier een risico opgenomen dat zich op ook grote diepte en grote afstand van de kistdam nog obstakels in de ondergrond kunnen bevinden.

Bijlage A

Analyse meetdata NZ-lijn (notitie Crux)

Gemeente Amsterdam, Verkeer en Openbare Ruimte
Dhr. R. Dayala
p.a. Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam
Weesperstraat 430
1018 DN Amsterdam

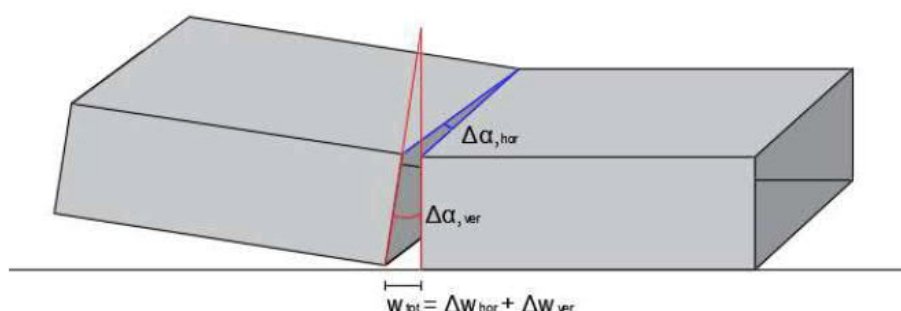
Notitie

1 Algemeen

In opdracht van het Ingenieursbureau Amsterdam heeft CRUX diverse geotechnische advieswerkzaamheden uitgevoerd voor de aanbestedingsfase van de te realiseren fietsparkeergarage en aanvaarbescherming aan de IJboulevard in Amsterdam.

Een van de beschouwde onderdelen betrof de invloed van de nieuwe constructie op de verplaatsingen van de NZ-lijn. Deze mogelijke invloed bestond uit een verticale zetting ten gevolge van de spanningsverhoging in de Eemkleilaag en een horizontale verplaatsing in het geval van een aanvaring.

Voor de toetsing van deze invloed is door Royal Haskoning DHV een analyse uitgevoerd (ref: BG5852-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0008; d.d. 06-11-2019) naar de nog opneembare restcapaciteit van de tunnel. In deze analyse is de huidige rotatie van de maatgevende voegovergang (eerste mootvoeg tussen moot 1a&1b) vertaald naar een gaping ter plaatse van de maatgevende voegen (zie Figuur 1). Deze reeds aanwezige gaping is vervolgens vergeleken met de maximaal toelaatbare uitrekcapaciteit van het voegprofiel.



Figuur 1 bepaling gaping voegovergang

Op basis van de hieruit bepaalde restcapaciteit is vervolgens circa 45% toegekend als verplaatsingsruimte voor het project IJboulevard. De op deze wijze bepaalde grenswaarde voor de verticale en horizontale verplaatsing van de tunnel is vervolgens gebruikt voor de beoordeling van de tenderontwerpen van de aannemers (zie Figuur 2). Omdat de maximale uitrekking van het voegprofiel afhankelijk is van zowel de verticale als horizontale component

Onderwerp

analyse meetdata NZ-lijn

Projectnummer

18151

Ons kenmerk

NT18151g1

Versie

1

Datum

23 september 2020

Pagina's

11

Opgesteld

ing. F.K. de Jong

Gecontroleerd

dr.-Ing. H.D. Netzel

Vrijgave

dr.-Ing. H.D. Netzel

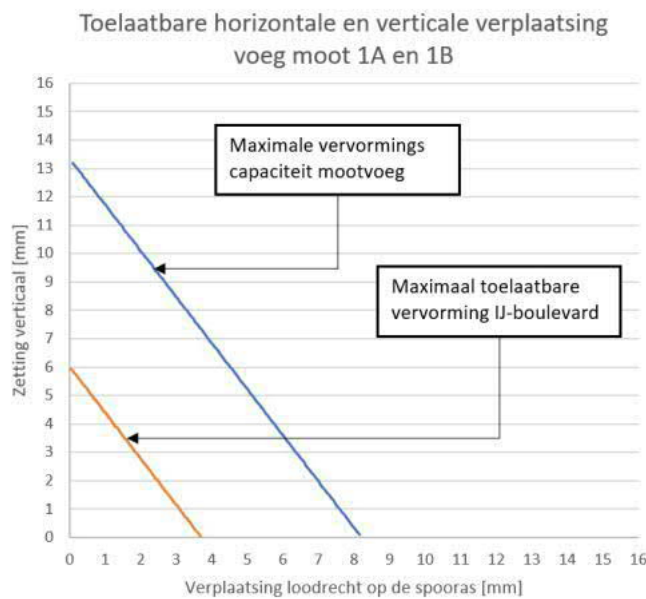
Bijlagen

Bijlage I visualisatie
maximaal gemeten
verplaatsing (verscaling
x10)

Formulier

RA-03-v19.0305

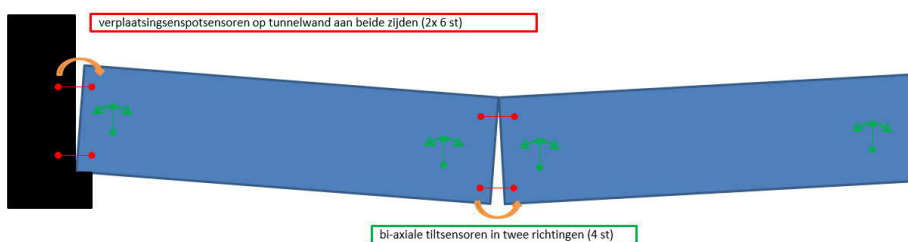
kent deze grenswaarde een onderlinge verhouding tussen de horizontale en verticale verplaatsing.



Figuur 2 grenswaarde project IJboulevard (ref: BG5852-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0008)

2 Opzet monitoring

Voor de monitoring van de tunnel is hetzelfde principe gebruikt als waar de grenswaarden op zijn bepaald. Door het plaatsen van rekmeters over de voegen op ten minste twee punten per zijde kan dezelfde analyse gemaakt worden waar de optredende gaping wordt terugvertaald naar een maximale zakking. Het verschil in gaping aan beide zijden van de tunnel geeft vervolgens weer inzicht in de horizontale verplaatsing (Zie ook Figuur 1). Omdat de zinktunnel aansluit op het centraal station dat ter plaatse van de metrohal is gefundeerd op de 3^e zandlaag kan de relatieve hoekverdraaiing zoals gemeten bij de zinkvoeg (eerste voeg naar zinktunnel) vertaald worden naar een absolute zetting van de tunnel ten opzichte van de start van de meting.



Figuur 3 schematische weergave monitoring

Ter controle van de bepaalde rotaties over de voeg zijn tevens tilsensoren geplaatst die volgens de verwachting het zelfde beeld moeten laten zien als de reksensoren. De bovenstaande monitoringsopzet gaat net als de bepaling van de grenswaarden uit van volledige starre en stijve tunnelmotten die enkel een verplaatsing ondergaan ter plaatse van de voegovergangen als gevolg van mechanische verplaatsing van de elementen.

3 Eerste analyse meetdata

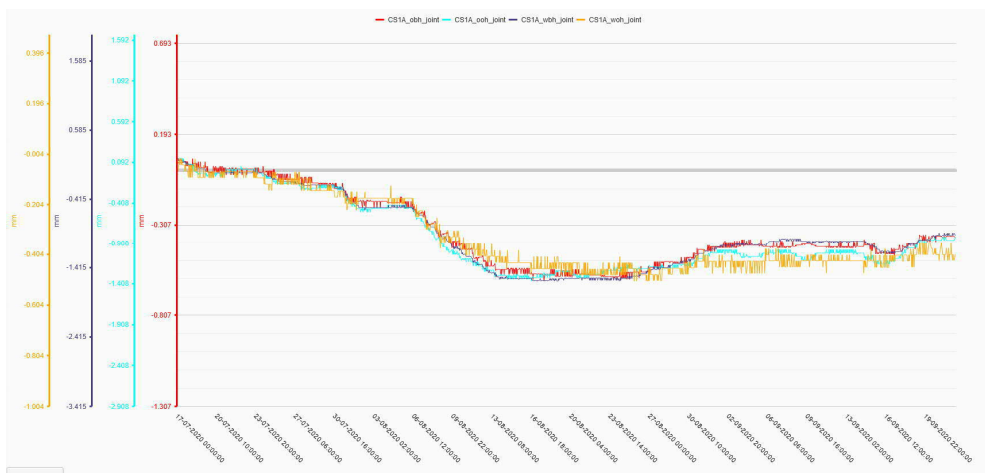
3.1 Algemeen

Het monitoringsysteem zoals geschetst in het voorgaande hoofdstuk is aangebracht in de tunnel, de meetreeksen zijn op 0 gesteld op 16-07-2020 wat derhalve gezien wordt als start meting. De doorvertaling van de gemeten rekken over de voegen naar verplaatsing ter plaatse van de voegprofielen en verticale en horizontale verplaatsing is eveneens toegevoegd aan het systeem en door CRUX gecontroleerd op een juiste verwerking.

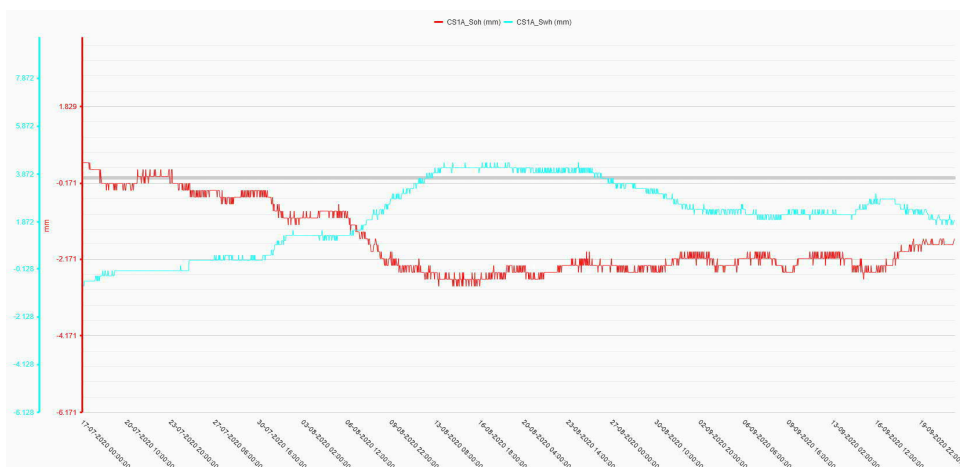
3.2 Analyse meetdata

3.2.1 Moot 1

De metingen over de zinkvoeg (metrostation CS naar moot 1) laten ter hoogte van de voegprofielen gedurende de gehele meetperiode een negatieve verplaatsing zien wat inhoudt dat de voeg wordt dichtgedrukt. Aan de oostzijde wordt de voeg in het dak minder dichtgedrukt dan de voeg in de vloer, aan de westzijde is het echter andersom (zie Figuur 4). Dit betekent dat op basis van de voegmeting de oostzijde van de tunnel naar beneden beweegt terwijl de westzijde omhoog beweegt. Dit gedrag is terug te zien in de berekende verplaatsing aan het einde van moot 1 (zie Figuur 5).



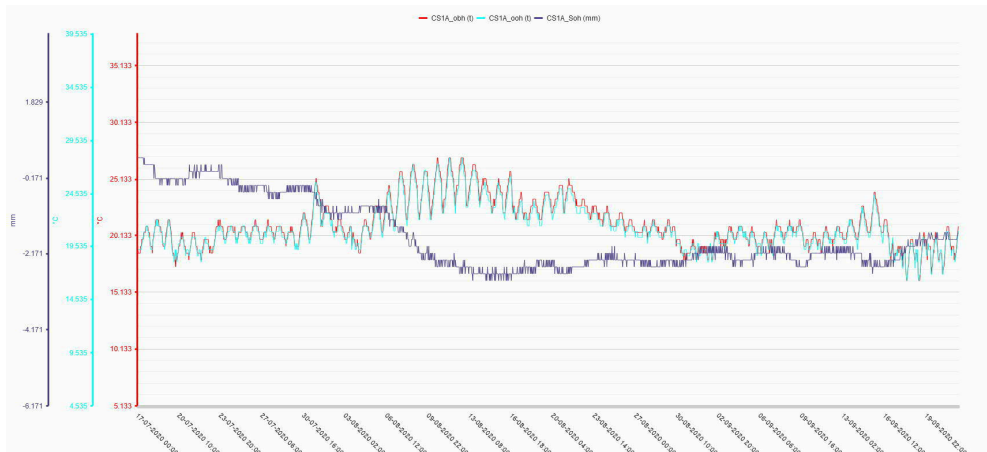
Figuur 4 horizontale voegverplaatsing op voegniveau zinkvoeg



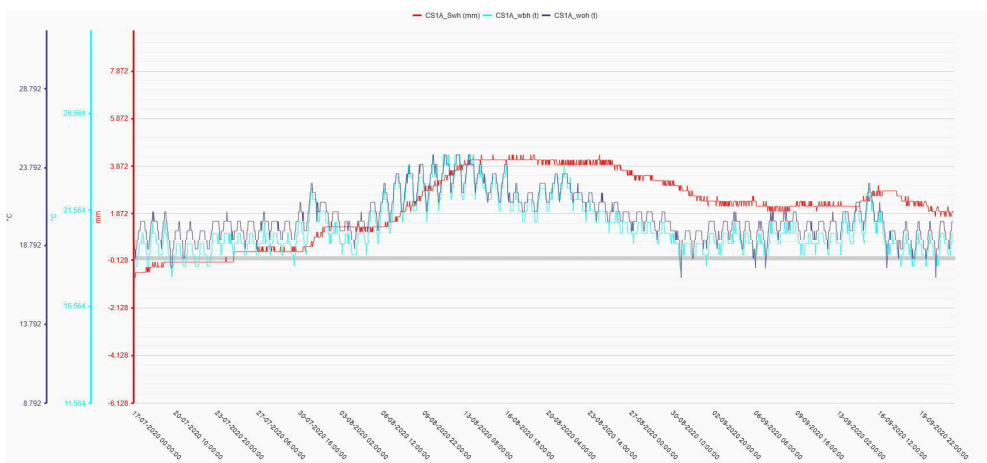
Figuur 5 berekende verticale tunnelverplaatsing einde moot 1

Een mogelijke verklaring voor de geobserveerde beweging van de voegmoten in een periode waarin geen noemenswaardige mechanische invloed wordt verwacht (geen werkzaamheden) is de thermische invloed. Wanneer de berekenende verplaatsing aan de oost en westzijde wordt uitgezet tegen de gemeten temperatuur (zie Figuur 6 en Figuur 7) is te zien dat de sterkste toename in verplaatsing samenvalt met een opwarming in de tunnel van een gemiddelde temperatuur van ca. 20 graden naar ca. 25 graden.

Om een duidelijke beeld te krijgen van de fluctuerende seizoenale temperatuur invloed op de verplaatsingen ter plaatse van de voegen is een langere meetreeks benodigd die ook doorloopt in de perioden dat de tunnel verder afkoelt.



Figuur 6 berekende verticale tunnelverplaatsing oostzijde versus temperatuur

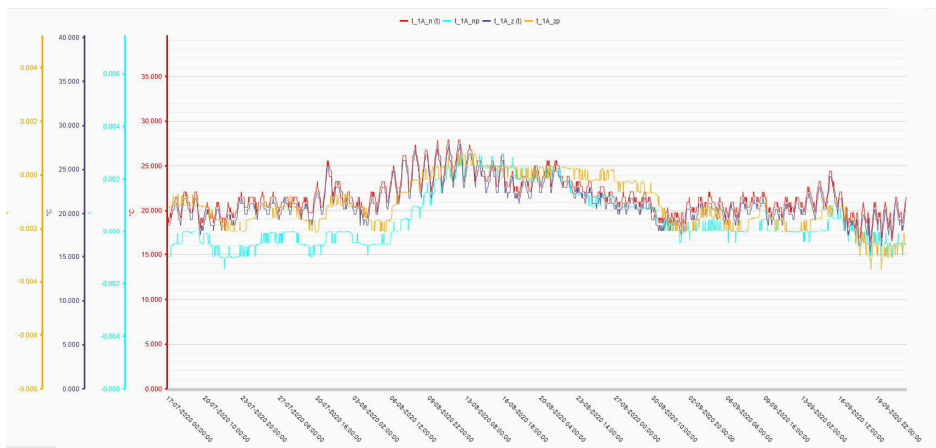


Figuur 7 berekende verticale tunnelverplaatsing westzijde versus temperatuur

Wat verder opvalt is dat deze voorover hellende rotatie niet terug te zien is in de tiltmeter welke eveneens bevestigd is aan de oostzijde en in dezelfde periode een tegenovergestelde helling vertoont aan de zuidzijde (zie blauwe lijn in Figuur 8, negatieve helling in de pitch betekend in dit geval een achter overhellende rotatie).

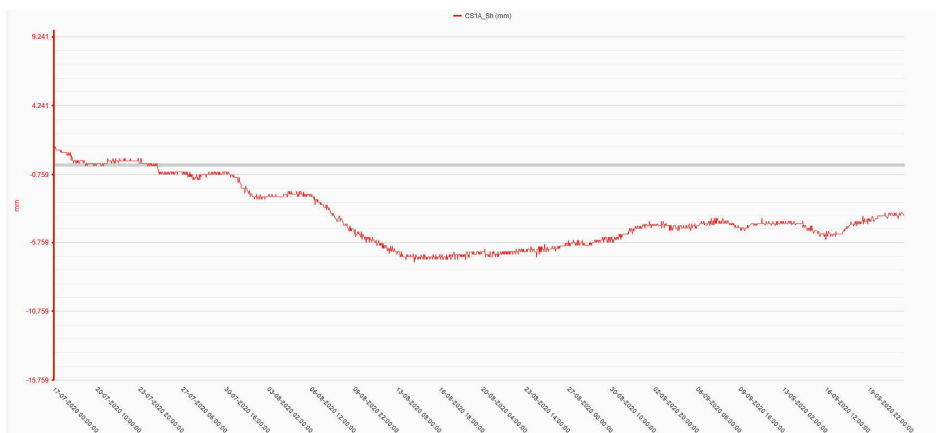
Een mogelijke verklaring voor het verschil is wederom naar verwachting de temperatuursinvloed in de meting. Zoals te zien in de gemeten tilt reageert deze zeer sterk op de fluctuaties in temperatuur (sterkte reactie dan de voegmetingen). Omdat de tiltmeters zijn gemonteerd boven het promatec en de voegmeters eronder kan dit een verklaring zijn voor de grotere gemeten

temperatuur sprong (ca. 19 graden tot max 28 graden) en het verschil in de gemeten rotatie. De rekmeters over de voegen meten de uitzetting en krimp van het beton terwijl er bij de tiltmeters eveneens een mogelijk invloed vanuit de promatec wordt gemeten.



Figuur 8 hoek tiltmeters oostzijde moot 1

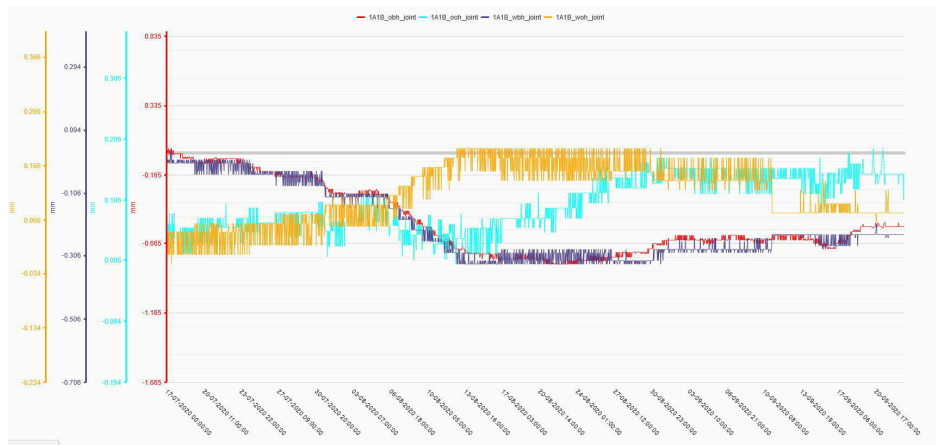
De verschillen in de gemeten voegverplaatsing leiden daarbij tot een grote onzekerheid in de berekende horizontale verplaatsing (zie Figuur 9, negatieve verplaatsing betreft verplaatsing richting het westen) doordat de oostzijde een voor overhellende beweging laat zien en de westzijde een achter overhellende is de horizontale verplaatsing (afhankelijk van het verschil in rotaties) per definitie groot.



Figuur 9 berekende horizontale tunnelverplaatsing einde moot 1

3.2.2 Moot 2

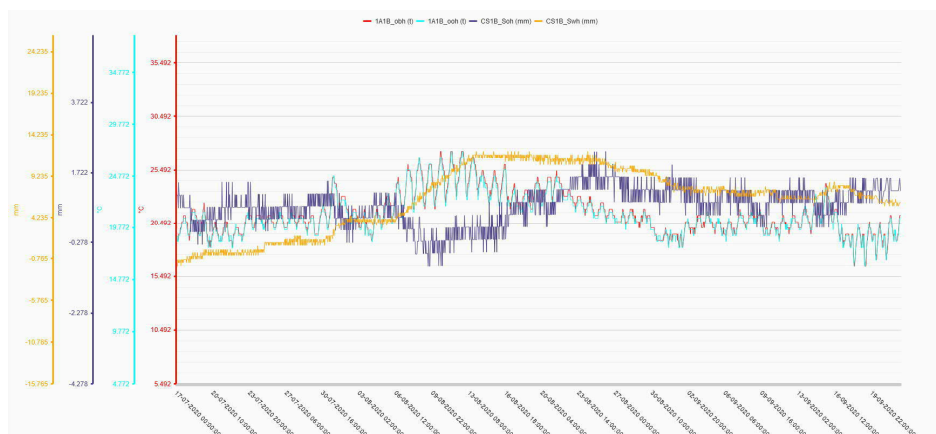
Analyse van de gemeten verplaatsingen over de eerste mootvoeg (1A/1B) laat een beeld zien van voegen in het dak die worden dichtgedrukt (zie Figuur 10) en aan de onderzijde licht verder open komen te staan, in dit geval laten beide zijden echter hetzelfde beeld van een achter overhellende rotatie. De resultaten van bij het voegprofiel aan de westzijde onder laat hierbij echter wel afwijkende waarden zien (tegengestelde verplaatsing). Analyse van de daadwerkelijk gemeten waarden (zie Figuur 11) laat zien dat meetpunt 1A1B west onder nagenoeg geen beweging ondergaat terwijl de overige meetpunten worden dichtgedrukt. Dit afwijkende meetresultaat en de daaruit volgende helling lijkt daarbij de verklaring voor de significante toename in berekende cumulatieve verplaatsing aan de westzijde bij het eind van moot 2 (zie Figuur 12).



Figuur 10 horizontale voegverplaatsing op voegniveau mootvoeg

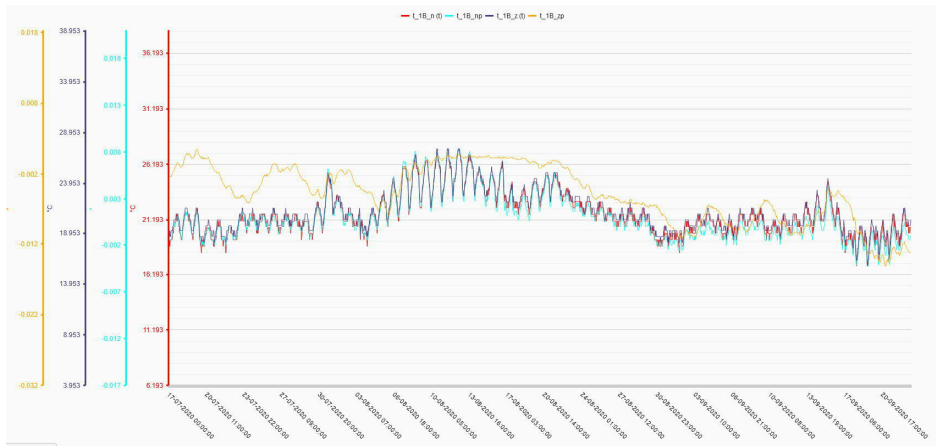


Figuur 11 gemeten horizontale voegverplaatsing op meetpunten eerste mootvoeg



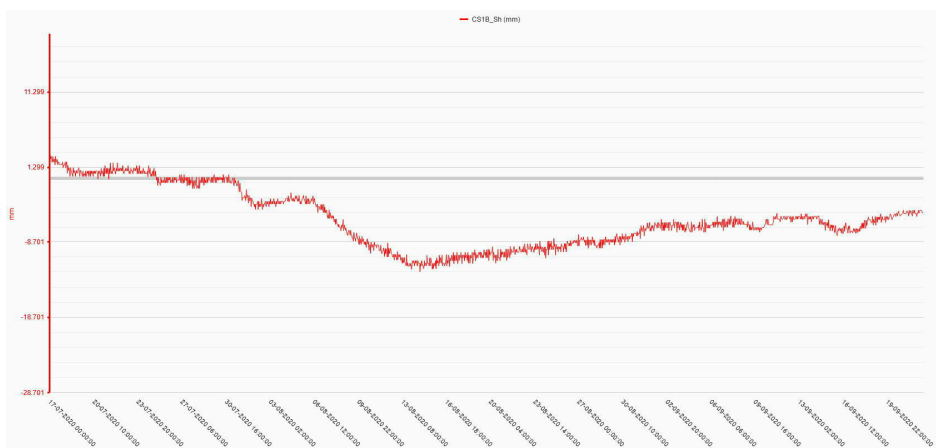
Figuur 12 cumulatieve verticale tunnelverplaatsing einde moot 2

De achter overhellende rotatie aan de oostzijde wordt eveneens teruggevonden in de gemeten tilt aan de zuidzijde van moot 2, zie Figuur 13.. De tilt aan de noordzijde laat echter een grotendeel voor overhellende rotatie zien samen met een directe correlatie met de temperatuurschommeling,



Figuur 13 hoek tiltmeters oostzijde moot 2

Doordat het meetpunt aan de westzijde onder nagenoeg geen verplaatsing laat zien leidt dit tot wederom een groot verschil in berekende rotatie met als gevolg een toename van de cumulatieve horizontale verplaatsing, zie Figuur 14.



Figuur 14 berekende cumulatieve horizontale tunnelverplaatsing einde moot 2

3.3 Resume

Op basis van de analyse van de meetdata over de zinkvoeg en eerste mootvoeg is te zien dat de eerdere veronderstelling (gehanteerd in de bepaling van de grenswaarden) dat de tunnel enkel verplaatsingen laat zien ten gevolge van mechanische invloeden niet volledig correct is. De gemeten verplaatsingen sinds de start van de registratie duiden daarbij op een verplaatsingsinvloed die zeer waarschijnlijk te relateren is aan de temperatuurschommeling in de tunnel. De gemeten voegverplaatsing is in vrijwel alle gevallen echter ook een negatieve waarden wat betekend dat de voeg wordt dichtgedrukt. Risico technisch is deze invloed in dit stadium dus ook niet relevant voor het risico op een te grote opening cq. het scheuren van het voegprofiel.

Deze variatie in gemeten rek over de voeg en tilt in de tunnel betekenen echter wel dat de omrekening van de waarden zoals beoogd in de tender niet toereikend is voor de monitoring van de tunnel tijdens de bouwwerkzaamheden. Omdat deze omrekening echter is gebaseerd op een beschikbare ruimte van de voegbreedte, een waarde die nagenoeg direct wordt gemeten, wordt aanbevolen om alleen deze waarde te gebruiken voor de

sturing en toetsing in de monitoring, hierbij gelden wel de volgende aandachtspunten:

- De metingen lopen sinds begin juni en laten daarom de invloed zien van temperatuurschommelingen in de zomerperiode. De meetperiode dient verlengt te worden om ten minste ook de koudere winterperiode te omvatten om een volledig beeld van de fluctuatie te krijgen. Deze ruimte is er planning technisch omdat de daadwerkelijke werkzaamheden pas volgend jaar aanvangen. Wel valt de paalproef binnen deze periode maar omdat de verwachte invloed op de tunnel hierbij echter niet noemenswaardig is wordt dit niet door CRUX niet beoordeeld als limiterend. Gezien de beperkte uitvoeringsduur kan overwogen worden om de trend op de dag zelf te volgen en te vergelijken met de natuurlijke variatie van de voorgaande dagen. Indien deze niet significant wordt beïnvloed kan gesteld worden dat de proef geen negatief effect heeft gehad op de tunnel.
- De grenswaarden voor het project zijn bepaald op basis van een percentage van de maatgevende voeggaping. In de analyse van de aannemer zijn echter strengere sturingswaarden gedefinieerd welke logischerwijs ook tot een strengere maximale gaping leiden. Hoe deze strengere waarden zich verhouden tot de gemeten meetnauwkeurigheid dient nader geanalyseerd te worden.
- De grenswaarden zelf zijn gebaseerd op een 3D scan van mug waarbij de onzekerheid in dikte van de Promatec lagen is verdisconteerd in de bepaald hoekverdraaiing. Overwogen kan worden om deze onzekerheid verder te verkleinen door de daadwerkelijke voegbreedte ter plaatse van de meetpunten in te meten zodat de relatieve verplaatsing meting gekoppeld als worden aan een absolute waarde.

Bijlage I visualisatie maximaal gemeten verplaatsing (verschaling x10)

