

PER E-MAIL

Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud
Gebouw Westraven

5.1.2.e
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT

Datum

14 februari 2023

Contactpersoon

[Redacted]

Ons kenmerk

11209150-004-GEO-0001

Doorkiesnummer

[Redacted]

5.1.2.e

E-mail

[Redacted]@deltares.nl

Aantal pagina's

1 van 5

Onderwerp

Prinses Margrietunnel: Relatie tussen oorzaakonderzoek en herstel operatie

Geachte heer [Redacted], 5.1.2.e

Bij de Prinses Margrietunnel in de A7 is een moot omhoog gekomen, waardoor de tunnel (gedeeltelijk) is gesloten. Het streven van Rijkswaterstaat is om deze tunnel zo snel mogelijk voor het verkeer te heropenen. Momenteel wordt voorzien de gehele fundering te vervangen door nieuwe trekankers te installeren. Dit is een kostbare en tijdrovende activiteit.

Er wordt onderzoek voorzien naar de oorzaak van het omhoogkomen van de tunnelmoot. Een veldonderzoek zal onderdeel zijn van dit oorzaakonderzoek. Niet alleen de resultaten van het totale onderzoek, maar ook de resultaten van het veldonderzoek kunnen consequenties hebben voor de gekozen oplossing voor herstel.

In het overleg van 24 januari heeft u de vraag gesteld om aan te geven welke invloed het voorziene onderzoek naar de oorzaak van falen zal of kan hebben op de geplande herstelwerkzaamheden.

De vraagstelling valt in twee delen uiteen:

- 1 Kan het onderzoek resultaten opleveren die het mogelijk maken om de benodigde werkzaamheden voor het verbeteren van de fundering van de moten die niet omhoog zijn gekomen, te beperken of zelfs overbodig te maken?
- 2 Kan het onderzoek resultaten opleveren die voor alle tunnels in Nederland met een vergelijkbaar funderingssysteem relevant zijn?

In deze brief gaan we eerst in meer algemene zin in op de vraag of het veldonderzoek de omvang van de herstelwerkzaamheden kan beïnvloeden. Daarin wordt een recent uitgewerkt faalmechanisme verder onderzocht, omdat het vermoeden bestaat dat daar extra aanknopingspunten liggen voor snel uitvoerbaar onderzoek dat de besluitvorming kan onderbouwen. Nagegaan wordt of de veldwerkzaamheden tot een onderbouwing van de noodzaak tot volledige vervanging kunnen leiden. De brief sluit af met de conclusie en een advies.

1 Beperking van de omvang van de herstel werkzaamheden

1.1 Specifiek voor de Prinses Margriettunnel

Om te kunnen garanderen dat de herstelwerkzaamheden in de tunnel voor een individuele (niet omhoog gekomen) moot niet nodig zijn, moet worden aangetoond dat de fundering van die moot op dit moment volledig betrouwbaar is en dit gedurende de resterende levensduur zal blijven.

Dit kan slechts worden gegarandeerd als uit een ontwerpberekening blijkt dat het ontwerp aan de thans geldende (ontwerp-)eisen voldoet. Hierbij ligt een ontwerpberekening volgens de huidige norm voor de hand. Daarnaast moet door een onderzoek in het veld worden aangetoond dat de constructie aan de veronderstelde specificaties voldoet. Dit is het geval als aan alle drie volgende voorwaarden wordt voldaan:

- De voorspanstaven niet gebroken zijn en nog voldoende spanning hebben.
- De materiaal eigenschappen van staal en beton aan de aangenomen voorwaarden voldoen.
- De blijvende vervorming van de palen klein is geweest.

Als het ontwerp niet aan de huidige normen voldoet, moet er een model bestaan dat aangeeft dat dit in de toekomst zo blijft, waarbij dit model de huidige situatie vanaf de bouw redelijk beschrijft.

De spanning in de voorspanstaven kan worden bepaald door de conussen te openen en de staven te beproeven. Dit kan uitsluitend in de veldpalen worden gecontroleerd, de palen onder de wand zijn niet toegankelijk. Daarom kan waarschijnlijk niet voor zowel de randpalen als de veldpalen aan de eerste en tweede eis worden voldaan. De oostelijke wand van moot 26 had in de meting in 2021 en tijdens het falen de grootste vervorming. Omdat daardoor de indruk bestaat dat het bezwijken bij palen onder de wand is begonnen, is dit een ernstige beperking.

De materiaal eigenschappen van de constructie (staal en beton) zullen moeten worden bepaald. Dit zal wel gepaard gaan met beschadiging van de constructie, omdat er monsters moeten worden genomen voor nader onderzoek. Zaak is hierbij dat beide type staven (32 mm en 36 mm) worden getest en dat ook beton uit de palen moet worden gehaald.

Het is momenteel niet duidelijk hoe de stand van de palen onder de vloer kan worden gemeten. Een gebroken staaf kan worden verwijderd, waarna het voorspankanaal voor inspectie toegankelijk is. Als echter de staaf in de paal intact is en niet uit het kanaal wordt verwijderd, zal een alternatieve aanpak nodig zijn. Een mogelijke aanpak wordt in de volgende paragraaf uitgewerkt op basis van een verondersteld faalmechanisme.

1.2 Mechanisme horizontale verplaatsing

Bij Vlaketunnel is spanningscorrosie van de voorspanstaven vastgesteld. Er is geen duidelijke oorzaak gevonden waardoor het zoute water de voorspanstaven kon bereiken.

Op basis van recente bevindingen lijkt het beperkte vermogen van dit type paal om horizontale belastingen en buigende momenten op te nemen een aannemelijke oorzaak. Uit de metingen bij de Prinses Margrietunnel is gebleken dat er horizontale verplaatsingen optreden, onder andere door de seizoensinvloeden, die niet alleen van tijdelijke, maar ook van blijvende aard zijn. De orde van grootte is zodanig, dat de inklemmingsmomenten aan de paalkop ten gevolge van deze verplaatsingen groot zijn ten opzichte van het opneembare moment, omdat verwacht mag worden dat de verschilverplaatsingen tussen plaat en ondergrond geconcentreerd zijn in een dunne schuif-zone onder de plaat. Omdat er naast de voorspanstaaf geen extra wapening in de paalkop aanwezig is, leidt het overschrijden van de buigtrekspanning in de paalkop tot een doorgaande scheurvorming in de paal.

Dit lijkt een aannemelijk mechanisme en sluit aan bij de waarneming in de Vlaketunnel dat de meeste staven vlak onder de paalkop waren gebroken. Dit is een positie vlak bij de scheur en dus de bron van het corroderende water. Door het losscheuren van de paal van de vloer, ontstaat hier een (buig-)slappe verbinding, waardoor de paalkop ten opzichte van de vloer kan roteren. Ook kan de horizontale stijfheid van de verbinding afnemen, waardoor de vloer horizontaal ten opzichte van de paal kan verplaatsen. De voorspanstaaf zal daardoor extra buigspanningen moeten opnemen of tegen de beton komen te liggen, wat mogelijk leidt tot extra schuifspanning. Naast de mogelijke indringing van grondwater kan deze extra spanning in de voorspanstaaf leiden tot een hogere spanningscorrosie.

Deze overweging leidt tot de aanbeveling dit mechanisme in de Prinses Margrietunnel te onderzoeken. Het onderzoek wordt uitgevoerd op niet bezweken moten naast palen waarvan de voorspanstaaf niet is gebroken. Dit onderzoek kan waarschijnlijk op de volgende manier worden uitgevoerd:

- Direct naast de conus wordt een kernboring tot de stalen plaat uitgevoerd, waarna de boorkern wordt gebruikt voor materiaaltesten op het beton in de vloer.
- In de stalen plaat wordt een klein inspectie gat aangebracht.
- Door het gat wordt met een minicamera gecontroleerd op de aanwezigheid van een (openstaande) scheur onder de plaat.
- De kernboring wordt doorgezet tot in de paal voor een tweede inspectie en de boorkern wordt gebruikt voor een tweede set materiaal testen op het beton in de paal.
- In het boorgat wordt een tweede visuele inspectie uitgevoerd waarbij zo mogelijk de scheurwijdte en het verloop hiervan over de paalkop (hoekverdraaiing van de paalkop ten opzichte van de vloer) worden vastgesteld.

Het is zinvol deze metingen te doen op zowel moten vlak naast de omhoog gekomen moot, alsook op de moten wat verder weg van de omhoog gekomen moot. Bij gebroken palen kan het beschikbare voorspankanaal worden gebruikt om de hoek tussen de paal en de vloer te bepalen. Bij niet omhoog gekomen moten kan visueel worden nagegaan of er een opening tussen de paal en de vloer zichtbaar is.

1.3 Geotechnisch bezwijken en paalgroepeffect

De palen staan relatief dicht bij elkaar, zodat er sprake zal zijn van een paalgroep effect. Sinds het ontwerp van de Prinses Margrietunnel zijn nieuwe inzichten bereikt ten aanzien van het gedrag van trekpalen in groepen. De belangrijkste aspecten hiervan zijn dat de trekcapaciteit van een groep lager is dan de som van de trekcapaciteiten van de enkele paal en dat de axiale paalstijfheid van een paal in de groep kleiner is dan de stijfheid van een paal

aan de rand van de groep. Trekkrachten op randpalen zijn daardoor groter dan gemiddeld. Tijdens het ontwerp was dit geen onderdeel van de toetsing.

Door het ontwerp te toetsen aan de huidige normen voor paalgroepen kan dit worden beoordeeld. Indien de groep voldoet aan deze norm kan worden verondersteld dat dit geen risico is.

1.4 Algemeen voor dit type funderingen

Het onderzoek kan een resultaat opleveren dat voor alle funderingen van tunnels met trekpalen relevant is en een toetsing van bestaande tunnels aan de huidige (trekpaal) ontwerpregels of zelfs een aanpassing van de huidige ontwerpregels noodzakelijk maakt. Een dergelijke aanpassing van de ontwerpregels zou vanzelfsprekend van belang zijn voor het ontwerp van de herstel maatregel.

Aanpassing van ontwerpregels is een langdurig proces. Het lijkt gezien de maatschappelijke tijdsdruk op de herstelwerkzaamheden niet mogelijk hierop te wachten, zodat voor de Prinses Margrietunnel voor een robuuste herstelmaatregel moet worden gekozen waarbij voldoende zekerheid wordt geboden dat ook aan een in de toekomst aan te passen ontwerp voldaan zal worden.

2 Noodzaak tot volledig herstel van een mootfundering

Naast toetsing aan de huidige ontwerpregels voor trekpalen kan het veldonderzoek alleen al een onderbouwing geven om wel tot volledige vervanging van de fundering van een moot over te gaan. Als wordt aangetoond dat de mootfundering met redelijke zekerheid niet aan één van de drie onder paragraaf 1.2 genoemde eisen voldoet, dan is de noodzaak tot een volledige herstel operatie aangetoond.

Controle op die drie eisen kan worden uitgevoerd door:

- 1 De aanwezigheid van gebroken voorspanstaven kan worden aangetoond door voldoende conussen te openen en de integriteit van de voorspanstaven en grootte van de voorspanning te testen (zoals bij de Vlaketunnel en de Heinenoord tunnel is uitgevoerd).
- 2 Uit de geopende conus kan bij een intacte staaf een stuk van de kop van de voorspanstaaf worden afgenomen om de materiaaleigenschappen van de voorspanstaaf te bepalen. Er kunnen kernboringen in de vloer en de palen worden uitgevoerd om de eigenschappen van het beton te bepalen.
- 3 Uit de scheefstand van de staven en vorm van de voorspankanalen bij gebroken staven kan de vorm van de palen worden vastgesteld.

Zoals gemeld kunnen deze werkzaamheden uitsluitend worden uitgevoerd voor de veldpalen. Voor het onderbouwen van de noodzaak tot volledige vervanging is dit nauwelijks een beperking. Er is nauwelijks reden om te veronderstellen dat de randpalen wel voldoen als de veldpalen onvoldoende zijn.

De eis dat de paalgroep aan de huidige norm voldoet is in onze ogen een noodzakelijke voorwaarde om de bestaande fundering te kunnen goedkeuren. Indien de paalgroep niet voldoet is vervanging noodzakelijk. Deze toets staat in eerste instantie los van het onderzoek naar de integriteit van de constructie en is redelijk snel uit te voeren. Wel zal na uitvoering van het verder geotechnisch en geohydrologisch onderzoek (met onder meer sonderingen, boringen, peilbuismetingen en laboratorium testen) moeten worden geverifieerd dat de destijds en nu bij de toetsing aangenomen grondeigenschappen kloppen.

Indien uit de voorgestelde inspecties van een voldoende aantal veldpalen blijkt dat de voorspanstaven in het veld niet zijn gebroken, de materiaaleigenschappen van de constructie

aan de eisen voldoen en de paalkoppen geen rotaties en verplaatsingen hebben ondergaan, dan kan worden overwogen de veldpalen wel te accepteren. Hierbij wordt wel opgemerkt dat dit een ongewis pad is dat een deugdelijke statitische onderbouwing zal moeten krijgen, vermoedelijk meer palen testen en beproeven. Dit betreft een omvangrijke operatie. De geconstateerde horizontale verplaatsingen van de tunnelmoten maken deze aanpak risicovol.

3 Conclusie en advies

Deze overwegingen bij elkaar genomen wordt niet verwacht dat op korte termijn inspecties mogelijk zijn die in voldoende mate garanderen dat er moten zijn met trekpalen die niet hoeven te worden versterkt.

Indien uit de inspectie van een voldoende aantal veldpalen blijkt dat deze niet aan de eisen voldoen, is de noodzaak om de hele fundering te vervangen voldoende aangetoond.

Daarnaast adviseren wij u de paalgroep effecten op basis van de huidige inzichten te evalueren. Deze werkzaamheden zijn ook een noodzakelijk onderdeel van het calamiteiten onderzoek.

Op basis van het belang voor de fundering van tunnels met een vergelijkbaar paaltype, adviseren wij u het globaal beschreven onderzoek zo snel mogelijk uit te voeren. Dit ondanks de beperkte waarde van het onderzoek voor de herstelwerkzaamheden voor de Prinses Margrietunnel op de korte termijn.

Hoogachtend,



5.1.2.e

Paraaf

de heer
de heer

