RAPPORT

RijnlandRoute N206 Ir. G. Tjalmaweg

Validatie van de evenwichtsberekening KW03 Verdiepte Ligging

Klant: Provincie Zuid-Holland

Referentie: M&IBE9889R059D01

Status: Definitief

Datum: 28 juni 2022

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Inhoud

1. Doel 1

2. Nadere toelichting KW03 Verdiepte ligging 2

3. Validatie 3

3.1 Validatie functionele eisen en doelstellingen 3

3.2 Validatie eisen als uitgangspunten 4

4. Resultaten validatie en verificatie 5

4.1 Wijzigingen UO t.o.v. VO/DO berekeningen 5

4.2 Verificatie berekeningen 6

5 Conclusies 7

1. Doel

‘KW03 (Kunstwerk 03) Verdiepte Ligging’ wordt als onderdeel van het project ‘RijnlandRoute N206 Ir. G. Tjalmaweg’ door Boskalis ontworpen en uitgevoerd. De Provincie Zuid-Holland heeft Royal HaskoningDHV gevraagd een controletoets uit te voeren op de door de aannemer Boskalis gemaakte Uitvoerings Ontwerp (UO) berekeningen voor dit kunstwerk. Op basis van de UO-berekeningen is door Boskalis namelijk geconstateerd dan meer verticaal gewicht benodigd is dan oorspronkelijk voorzien in het Definitief Ontwerp en dat Beaumix hiervoor een geschikt materiaal is. De controletoets door RHDHV heeft als doel vast te stellen of er inderdaad extra verticaal gewicht op de folieconstructie benodigd is om voldoende veiligheid tegen opdrijven van de folieconstructie te waarborgen en om te verifiëren dat Beaumix daarvoor geschikt is en de juiste civieltechnische eigenschappen heeft.

De nieuwe berekeningen zijn door Boskalis toegelicht in een drietal overleggen met opdrachtgever Provincie Zuid-Holland en het backoffice team van Royal HaskoningDHV voor de Provincie Zuid-Holland. De overleggen hebben plaatsgevonden op 25 mei 2022, 30 mei 2022 en 7 juni 2022.

Vervolgens zijn door Boskalis definitieve evenwichtsberekeningen aangeleverd bestaande uit de volgende documenten:

- Memo ‘Nadere toelichting verticaal evenwicht KW03 N206-MEM-61017’ d.d. 14 juni 2022
- Excel berekening ‘Bijlage A-controle evenwicht_14-06-2022.xls’
- Document ‘2022-06-16 Toelichting bij aanvullende vragen N206_def.pdf’

In deze rapportage zijn de resultaten van de controletoets vastgelegd. De aangeleverde documentatie is gecontroleerd, waarbij een verificatie is gedaan of de juiste uitgangspunten zijn gehanteerd en of de resultaten navolgbaar zijn. Hierbij wordt nader ingegaan op de gestelde eisen die van toepassing zijn, de wijzigingen in de berekening ten opzichte van de oorspronkelijke berekening en verificatie van de berekeningen.

2. Nadere toelichting KW03 Verdiepte ligging

Voor ‘KW03 Verdiepte Ligging’ wordt een waterdichte ‘bakconstructie’ gerealiseerd middels een folieconstructie, met aan de zijkanten een gewapende grondconstructie als horizontale grondkering.

Ter toelichting: De waterdichte folie ligt in de Verdiepte Ligging enkele meters onder het niveau van het wegdek van de Tjalmaweg en loopt aan de zijkanten omhoog, gesteund door met kunststof gewapende grond in de Verdiepte Ligging.

De folieconstructie ontleent het evenwicht in de verticale stabiliteit aan het gewicht van de grond en de wegconstructie die op de folie zijn aangebracht. Dit voor het opnemen van de opwaartse waterdruk tegen de onderkant van de folie. Het evenwicht is hierbij geanalyseerd op basis van normen en richtlijnen met voldoende veiligheid voor een ontwerplevensduur van de Verdiepte Ligging van 100 jaar.

Die veiligheid is de marge tussen het extra neerwaartse gewicht van de grond en de wegconstructie op de folie ten opzichte van de opwaartse waterdruk tegen de onderkant van de folie in de Verdiepte Ligging. De benodigde veiligheid van het evenwicht is in het Bouwbesluit vastgelegd in de Eurocode norm (EC). Specifiek voor folieconstructies is als handreiking voor het ontwerp tevens het handboek folieconstructies (CUR 221) van toepassing gesteld en zijn de Richtlijnen voor het Ontwerp van Kunstwerken (ROK versie 1.4) van toepassing gesteld.

Het ontwerp van de folieconstructie en de gewapende grond is in een eerder stadium door Boskalis uitgewerkt in een Voorlopig Ontwerp (VO) en Definitief Ontwerp (DO). Uit een interne kwaliteitscontrole van Boskalis tijdens de uitvoering kwam naar voren dat meer veiligheid benodigd is dan dat is aangehouden in de oorspronkelijke ontwerpberekeningen. Dit is nodig om beter aan te sluiten op de Eurocode en om robuustheid in het ontwerp te waarborgen. Om deze reden zijn door Boskalis nieuwe berekeningen uitgevoerd. Dit heeft geleid tot een gewijzigd ontwerp (UO) voor de grondaanvulling op de folieconstructie.

3. Validatie

3.1 Validatie functionele eisen en doelstellingen

De validatie betreft het toetsen van de berekening op de gevraagde functionele eisen (doelstellingen) zoals weergegeven in de Vraagspecificatie als contractdocument voor dit project. Uitgangspunt hierbij is dat het systeem op elk punt geschikt is voor het beoogd gebruik.

De functionele eisen en doelstellingen ten aanzien van het evenwicht van de KW03 Verdiepte Ligging zijn als volgt geformuleerd in de 'Vraagspecificatie deel 1- Eisen van het Contractnummer DOS-2017-0003519 van de RijnlandRoute N206 Ir. G. Tjalmaweg':

SYS-00003	**Betrouwbaarheid**
	Het Systeem 'RijnlandRoute N206 Tjalmaweg' dient voldoende betrouwbaar te functioneren gedurende de ontwerplevensduur.

Beschikbaarheid

SYS-00002	**Beschikbaarheid**
	Het Systeem 'RijnlandRoute N206 Tjalmaweg' dient gedurende een periode van minimaal 100 jaar te kunnen functioneren.

Veiligheid

SYS-00007	**Veiligheid**
	Het Systeem 'RijnlandRoute N206 Tjalmaweg' dient de veiligheid voor beheerders, gebruikers en de omgeving te waarborgen en te voldoen aan alle geldende veiligheidseisen zoals die volgen uit wet- en Regelgeving en de Overeenkomst.

3.2 Validatie eisen als uitgangspunten

Ten aanzien van de Overeenkomst gelden de onderstaande specifieke eisen die als belangrijkste uitgangspunten gelden voor het verticaal evenwicht van de folieconstructie:

Betrouwbaarheid

SYS-00530	**Polderconstructie - folieconstructies restzetting kielspit**
	Bij toepassing van een folieconstructie dient de restzetting van het kielspit 30 jaar na Opleverdatum Realisatie maximaal 0,10 m te bedragen. Bij de aanleg van het kielspit dient de restzetting te worden gecompenseerd.

SYS-00524	**Polderconstructie - folieconstructies diepte folie**
	Bij toepassing van een folieconstructie dient voor het ontwerp van de diepteligging van het folie rekening te worden gehouden met een gereduceerd aanvulniveau van 1,25 m beneden het laagste punt van bovenkant verharding.
Toelichting	In verband met toekomstig beheer en onderhoud kan een (gedeeltelijke) ontgraving plaats vinden.

SYS-00521	**Polderconstructie - folieconstructies aanwijzingen**
	Bij toepassing van een folieconstructie gelden de aanwijzingen volgens het document 'CUR-Aanbeveling 221:2009 - Folieconstructies "Voor verdiept aangelegde infrastructuur"' en paragraaf 13.13 van het document 'RTD 1001:2017 - Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken' (ROK).

SYS-00545	**Polderconstructie - folieconstructies volumiek gewicht aanvulmateriaal**
	De volumieke gewichten van het aanvulmateriaal binnen een folieconstructie dienen bij het ontwerp onderbouwd te worden op basis van onderzoek en advies. Achteraf dienen de behaalde volumieke gewichten geverifieerd te worden door middel van metingen ter plaatse. De representatieve waarde van het droge volumegewicht van het aanvulmateriaal gamma,d = 16 kN/m3 en verzadigd volumegewicht gamma,n = 19 kN/m3 (zie CUR221 paragraaf 4.6.2.1, pagina 75) mogen eventueel worden vervangen door hogere waarden, mits aangetoond.

Opmerking bij SYS-00524: in de validatiegesprekken is de eis verduidelijkt door aan te geven dat alleen in 'sleuven' (benodigd i.v.m. werkzaamheden aan kabels en leidingen) gerekend hoeft te worden met een gereduceerd aanvulniveau van 1,25 meter. Voor 'groot onderhoud' volstaat dat uit wordt gegaan van het verwijderen van de verhardingsconstructie (asfalt en funderingsmateriaal).

4. Resultaten validatie en verificatie

De bevindingen ten aanzien van de toets op de Boskalis evenwichtsberekening zijn onderverdeeld in de onderstaande aspecten.

4.1 Wijzigingen UO t.o.v. VO/DO berekeningen

Onderstaande berekeningsaspecten zijn herzien ten opzichte van het VO/DO:

a. 1D versus 2D
b. Norm-overstijgende toets
c. Belastingsfactor tijdelijke situaties
d. Stijghoogte grondwater in tijdelijke onderhoudssituaties
e. Volumegewicht aanvulmateriaal

Ad a) 1D versus 2D
In de Voorontwerpfase en de Definitieve Ontwerpfase is rekening gehouden met 2-dimensionale (2D-) spreiding van gronddrukken. In de huidige analyse is beoordeeld dat dit spreidingsaspect niet wordt meegenomen om zodanig meer robuustheid te introduceren. Er is nu gerekend met 1-dimensionale (1D-) spreiding, wat leidt tot een lagere berekende neerwaartse spanning en een lagere berekende veiligheid. De afweging van Boskalis om in het UO uit te gaan van 1-dimensionale spreiding is duidelijk en de aanpak is conform de gestelde eisen.

Ad b) Norm-overstijgende toets
Gezien de specifieke situatie van de folieconstructie met de gewapende grond als grondkerende constructie is in de huidige berekening een norm-overstijgende toets uitgevoerd. Deze toets verifieert de veiligheid van diepe glijvlakken van de gewapende grondconstructie in de situatie met hoge opwaartse waterdrukken tegen de onderzijde van de folie. Dit mechanisme was in de VO/DO berekeningen niet separaat getoetst en is in de huidige berekeningen aanvullend uitgevoerd. Deze afweging van Boskalis is duidelijk en de aanpak sluit aan bij het Bouwbesluit.

Ad c) Belastingsfactor tijdelijke situaties
In de VO/DO berekeningen is voor tijdelijke situaties conform CUR 221 uitgegaan van een belastingsfactor op gunstig blijvend gewicht van 0,95. In de herziene berekeningen is gerekend met een factor 0,90 welke in combinatie met de overschrijdingskans van de geohydrologische data aansluit op de Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK). De aanpassing leidt tot een lagere berekende neerwaartse spanning en daarmee een lagere berekende veiligheid in tijdelijke situaties. Deze wijziging van Boskalis is duidelijk en de aanpak is conform de gestelde eisen.

Ad d) Stijghoogte grondwater in tijdelijke onderhoudssituaties
In het VO/DO ontwerp zijn de tijdelijke onderhoudssituaties ontworpen met rekenwaarden van de stijghoogten van het grondwater die beschreven zijn in CUR 221. In het UO zijn rekenwaarden gehanteerd die afgeleid zijn van de bovenliggende Eurocode en aansluiten bij de filosofie van de ROK. Dit leidt tot een hogere belasting. Deze afweging van Boskalis is duidelijk en de aanpak sluit aan bij het Bouwbesluit.

Daarnaast is voor het scenario ‘groot onderhoud’ in het VO/DO uitgegaan van een extreme stijghoogte die gemiddeld één keer per 10 jaar voorkomt. In de huidige beschouwing is uitgegaan van een stijghoogte die vaker voorkomt en die 10% van de tijd wordt overschreden. De belasting neemt hierdoor af. Hiermee wordt bereikt dat de veiligheid van de constructie toeneemt omdat sprake is van een strengere randvoorwaarde ten aanzien van stijghoogten van het grondwater tijdens de uitvoering van ‘groot

onderhoud' ten opzichte van het VO/DO. Deze afweging van Boskalis is duidelijk en de aanpak is conform de gestelde eisen.

Ad e) Volumegewicht aanvulmateriaal
De minimaal te hanteren volumegewichten van aanvulmaterialen op het folie zijn beschreven in CUR 221 en aangegeven in de eisen. Hier mag van worden afgeweken indien dit wordt onderbouwd. Boskalis heeft onderzoek gedaan naar de volumegewicht eigenschappen van Beaumix. Door middel van het onderzoek is aangetoond dat het volumegewicht van Beaumix hoger is dan aangehouden in het VO/DO en hoger is dan de minimale volumegewichten van aanvulmateriaal die volgens de eisen gehanteerd dienen te worden voor aanvulmateriaal indien er geen onderzoek beschikbaar is. Naast de gunstige volumegewicht eigenschappen biedt Beaumix ook meerwaarde door de gunstige sterkte-eigenschappen. Boskalis kiest voor de toepassing van Beaumix in de aanvulling omdat daarmee kan worden aangetoond dat de veiligheid van de constructie gewaarborgd is. Deze afweging van Boskalis is duidelijk en de aanpak is conform de gestelde eisen.

4.2 Verificatie berekeningen

De definitieve evenwichtsberekeningen zijn geverifieerd. Dit is gedaan door te beoordelen of de juiste uitgangspunten zijn gehanteerd, berekeningen correct zijn uitgevoerd en of de resultaten navolgbaar zijn. De berekeningen sluiten aan bij de normen en tonen aan dat aan de gestelde eisen wordt voldaan.

5 Conclusies

Bij het opstellen van het UO is Boskalis tot de conclusie gekomen dat er meer verticaal gewicht op de folieconstructie benodigd is dan oorspronkelijk voorzien in het Definitief Ontwerp. Door de toepassing van Beaumix kan het benodigde extra verticaal gewicht worden gerealiseerd.

De Provincie Zuid-Holland heeft Royal HaskoningDHV gevraagd een controletoets uit te voeren op de door de aannemer Boskalis gemaakte Uitvoerings Ontwerp (UO) berekeningen. In deze rapportage zijn de toetsresultaten vastgelegd.

De conclusies zijn:

- De berekeningen van Boskalis zijn navolgbaar en correct uitgevoerd.
- Om aan de gestelde eisen te voldoen dient het volumegewicht van een deel van het aanvulmateriaal hoger te zijn dan de gestelde minimale volumegewichten in CUR 221. Dit wordt door Boskalis aangetoond in de documenten van de aangeleverde definitieve evenwichtsberekening.
- Boskalis kiest voor de toepassing van Beaumix als aanvulmateriaal met een relatief hoog volumegewicht. Beaumix is een geschikt materiaal om toe te passen als aanvulling in de folieconstructie op basis van de civieltechnische eigenschappen volumegewicht en sterkte. Dit wordt door Boskalis aangetoond in de documenten van de aangeleverde definitieve evenwichtsberekening.
- Met de toepassing van Beaumix wordt voldaan aan de vereiste veiligheid van het evenwicht van de constructie.