

De Krimpenerwaardse matras

ir. W.M. 't Hart

Ballast Nedam Infra Consult + Engineering

INLEIDING

De huidige provinciale weg N210 tussen Krimpen a/d IJssel en Bergambacht in de Krimpenerwaard, ook wel bekend als de C.G. Roosweg, dateert uit het midden van de twintigste eeuw. Het ruim 14 km lange weggedeelte is voor het overgrote gedeelte aangelegd op een fundering van betonnen bakken op houten palen. Dit was voor die tijd een innovatieve oplossing voor een weg door een gebied met een dik, zeer samendrukbaar veen- en kleipakket. Door verschillende oorzaken voldoet de huidige constructie niet meer aan de hedendaagse (veiligheids)eisen. Derhalve heeft de Provincie Zuid-Holland besloten om over te gaan tot vernieuwing van de N210.

In de tweede helft van 2006 is het project gegund aan Ballast Nedam Infra Projecten. Het ontwerp bureau van Ballast Nedam, Infra Consult + Engineering, draagt in samenwerking met Fugro Ingenieursbureau zorg voor het ontwerp.

HET PROJECT

De doelstelling van het project is het realiseren van een duurzame veilige verbinding die de bereikbaarheid van de Krimpenerwaard garandeert, nu en in de toekomst, waarbij de negatieve gevolgen voor het milieu en de leefbaarheid dienen te worden geminimaliseerd. De scope van het project op hoofdlijnen is:

- Het ontwerpen en realiseren van een 14 km

SAMENVATTING

De huidige constructie van de provinciale weg N210 tussen Krimpen a/d IJssel en Bergambacht voldoet niet meer. In een strook van 30 m aan de zuidkant wordt een nieuwe weg aangelegd met een wegfundering op een zettingsvrije met geogrids gewapende granulaat matras op geprefabriceerde betonpalen. De aanvankelijk gebruikte ontwerp methode volgens Bush-Jenner is op basis van voortschrijdend inzicht verlaten en in plaats daarvan is de methode volgens BS 8006 gehanteerd. Met Plaxis-berekeningen is aangetoond dat het ontwerp aan de veilige kant is. Afgelopen zomer is een proefvak van 50 m lengte aangelegd, uitgerust met meetapparatuur.

lange, nieuwe verbinding tussen Krimpen a/d IJssel en Bergambacht, inclusief parallelweg voor langzaam verkeer en alle kunstwerken ten behoeve van de kruisende infrastructuur.

- Het onderhouden van de huidige weg tijdens de realisatie.
- Het beheren en onderhouden van de nieuwe verbinding gedurende 20 jaar na oplevering.
- Inpassen en amoveren van de overblijvende delen van de huidige verbinding.

Het nieuwe tracé ligt grotendeels in een strook van 30 m aan de zuidkant van het huidige tracé (zie figuur 1).

BODEMGESTELDHEID

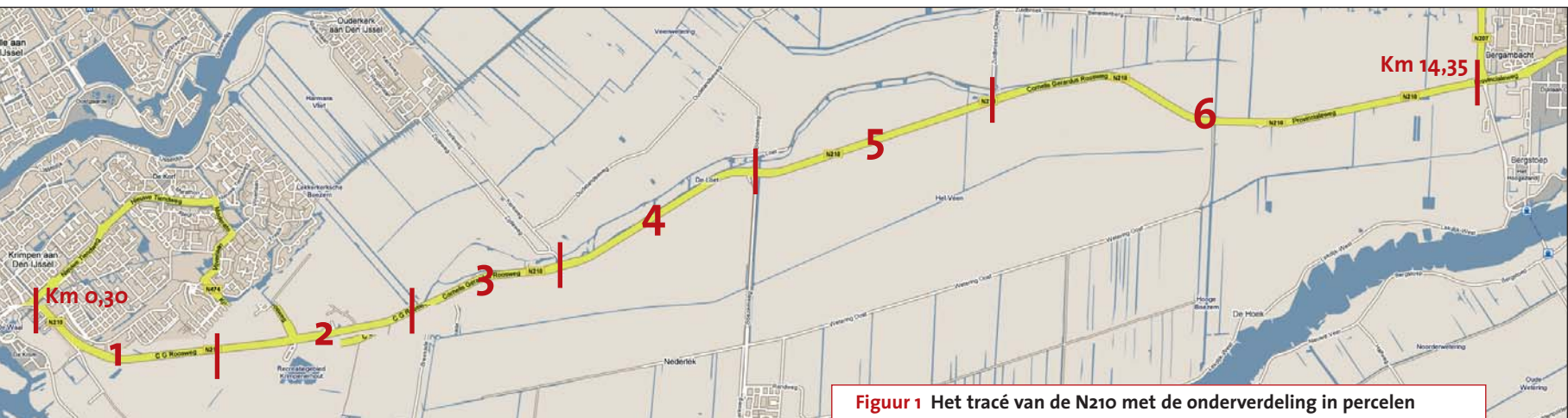
De ondergrond ter plaatse van het tracé bestaat uit een Holoceen pakket van slappe lagen bestaande uit veen en (zwak zandige) klei met daaronder het Pleistocene zand. Het Pleistocene

zand is vrij grof en zwak grindig. De diepte van het Pleistocene zandpakket loopt op van ca. NAP -17 m ter plaatse van Krimpen aan den IJssel tot ca. NAP -10 m ter plaatse van Bergambacht.

Het maaiveldniveau varieert van ca. NAP -1 tot -2 m. De dikte van het samendrukbare pakket varieert dus van ca. 9 tot 15 m.

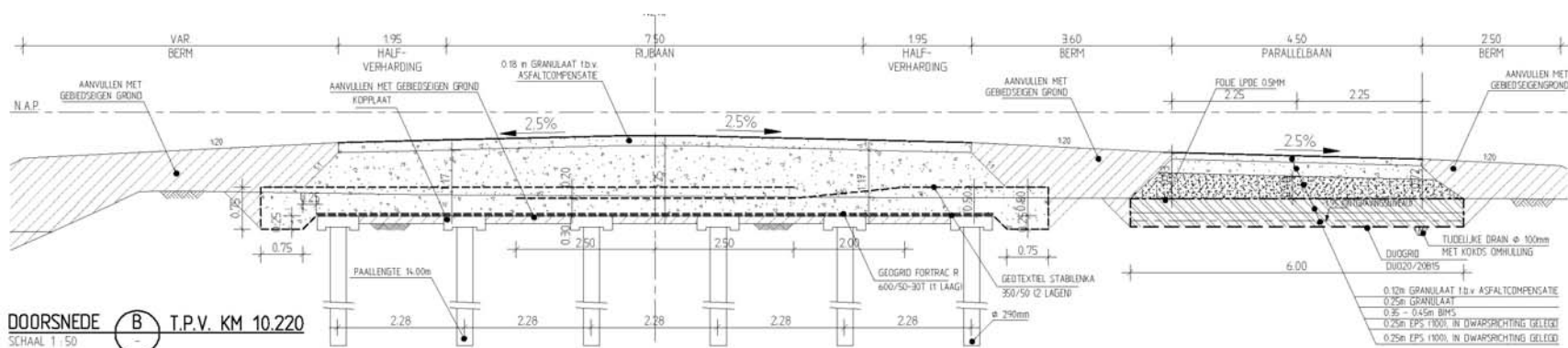
In tabel 1 zijn de karakteristieken van de huidige wegconstructie in relatie tot de ondergrond per perceel gegeven.

In de Krimpenerwaard is sprake van een autonome bodemdaling, veroorzaakt door oxidatie (verbranding) van het veen als gevolg van blootstelling aan de lucht. Toekomstige peilverlagingen en globale opwarming hebben een katalyserend effect. In het 'Milieueffect rapport vernieuwing N210' d.d. augustus 2005 is de te verwachten bodemdaling aangegeven, gerelateerd aan het peilbeheer en bodemgebruik.



Figuur 1 Het tracé van de N210 met de onderverdeling in percelen

Figuur 2 Dwarsdoorsnede ter plaatse van km 10,220



Hieruit blijkt dat rekening dient te worden gehouden met een bodemdaling van ca. 2 mm/jaar ter plaatse van Bergambacht tot ca. 8 mm/jaar ter plaatse van polder Schuwagt (km 4,44 - 7,73).

ONTWERPKEUZE

Tijdens de inschrijving zijn diverse ontwerpvarianten de revue gepasseerd en beoordeeld op aanleg- en onderhoudskosten, bouwtijd en omgevingsinvloeden. Voor de hoofdrijbaan kwam de innovatieve oplossing, een weg-fundering op een zettingsvrije met geogrids gewapende granulaat matras op geprefabriceerde betonpalen, als beste uit de bus. Voor de parallel rijbaan, waarvoor vanzelfsprekend minder stringente eisen zijn gesteld, is voor een meer traditionele evenwichtsconstructie met een EPS fundering gekozen. In dit artikel wordt uitsluitend ingegaan op het ontwerp van de hoofdrijbaan.

DEFINITIEF ONTWERP HOOFDRIJBAAN

Het CUR-rapport 2002-7 "Gewapende granulaat matras op palen: toepassing, ontwerp- en uitvoeringaspecten" is als uitgangspunt gebruikt. Dit CUR-rapport beschrijft een aantal empirisch-analytische methodes voor de berekening van granulaat matrassen.

De diverse methodes geven onderling een grote spreiding in uitkomsten van met name de optredende trekkrachten in de geowapening. De methode Bush-Jenner zit aan de optimistische kant van het spectrum en de methode volgens de British Standard 8006 zit aan de conservatieve kant.

Het verschil in berekende (benodigde) trekkracht kan gemakkelijk een factor 10 belopen. Na gunning is op basis van voortschrijdend inzicht en nadere gesprekken met de diverse leveranciers besloten de voor het aanbiedingsontwerp gebruikte methode Bush-Jenner te verlaten en in plaats daarvan de methode

volgens BS 8006 toe te passen. Aangezien deze methode in tegenstelling tot Bush-Jenner slechts toepasbaar is voor een rechthoekig paalstramien, is ook het oorspronkelijk driehoekige palenstramien verlaten.

De British Standard gaat voor de boogwerking in het granulaat uit van de formules van Marston voor ondergrondse buisleidingen. De geogrid(s) moeten volgens het hangmat principe (membraan model) de resterende belasting (eigengewicht matras en eventueel bovenbelasting) naar de palen afdragen. De verhouding tussen de belasting afgedragen door boogwerking en door membraanwerking is met name afhankelijk van de matrashoogte, de materiaalkeuze en de lengte van de overspanning tussen de paalkopplaten. Zoals gesteld leidt deze methode tot aanzienlijk hogere trekkrachten in de geogrids dan de methode Bush-Jenner.

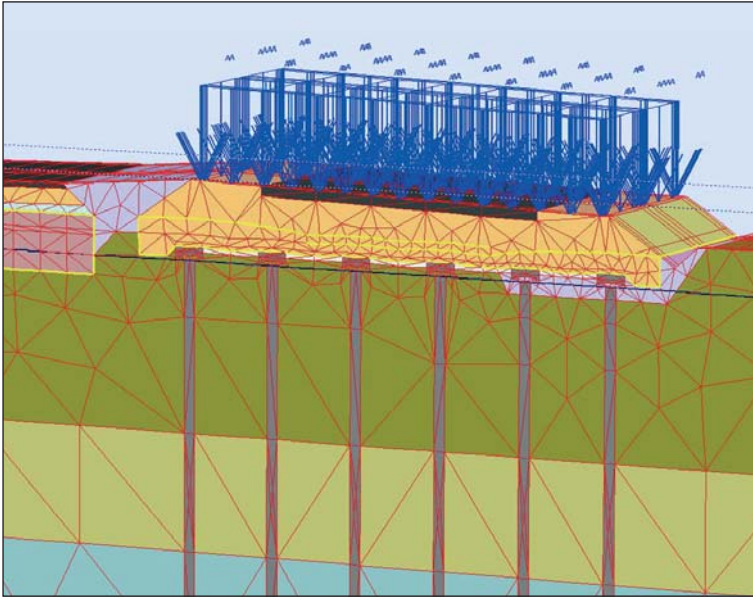
Tabel 1 Karakteristieken van de weg in relatie tot de ondergrond

Perceel	Km	Locatie	Huidige weg	Ondergrond	Hoogte huidige weg/mv polder [m NAP]	Bovenzijde zandpakket [m NAP]
1A	0,3-1,0	Nieuwe Tiendweg – Rotonde Carpe Diem	Bakconstructie op houten palen/ busstrook op betonpalen	Veen* en komafzettingen klei** en leem***	-1,0 / -1,6	ca. -14
1B	1,0-2,5	Rotonde Carpe Diem – N474	Zandlichaam (doorpersmethode)/ busstrook op licht gewicht ophoogmateriaal	Veen* en komafzettingen klei** en leem***	1,0 / -1,6	ca. -14
1B t/m 6	2,5-13,65	N474 – Pompstation	Bakconstructie op houten palen	Veen*, komafzettingen klei** en leem***; periodieke doorsnijding riviergeulen, gevuld met geulafzettingen van zand of klei	-0,9 / -1,6	ca. -13
6	13,65 - 14,35	Pompstation – Bergambacht	Bakconstructie op houten palen	Veen* en komafzettingen klei** en leem***	-0,5/ -1,2	ca. -12

* Formatie van Nieuwkoop (voorheen Hollandveen en Basisveen)

** Formatie van Echteld (voorheen Gorkum)

*** Formatie van Kreftenheye



Figuur 3
Plaxis 3D model

De British Standard schrijft een minimaal benodigde matrashoogte voor, gelijk aan de helft van de overspanning. Bij een vierkant stramien is de maatgevende overspanning L , de diagonaal tussen de paalkopplaten.

$$L = \sqrt{2} (s-a)$$

Waarbij:

L = overspanning [m]

s = h.o.h. afstand [m]

a = paalkopplaatafmeting [m]

Uitgaande van een paalkopplaatafmeting van 0,75 m en een paal h.o.h. afstand van 2,35 m, bedraagt de maatgevende overspanning ca. 2,26 m. Hieruit volgt een minimale matrashoogte van 1,13 m (afgerond: 1,15 m). Rekening houdend met een verkanting van 2,5% over een halve wegbreedte van $11,4/2 = 5,7$ m, bedraagt de matrashoogte in de as van de weg 1,3 m. Indien er sprake is van een buitenbocht, dan kan de matrashoogte lokaal aan de matrasrand oplopen tot ca. 1,45 m.

Het draagvermogen van de palen is bepaald conform de Geotechniek normen NEN 6740 en NEN 6743. Er is uitgegaan van verticaal, centrisch en op druk belaste palen. Voor het bepalen van het draagvermogen van de prefab betonpalen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het project is geplaatst in geotechnische categorie 2;
- bij de draagkrachtberekeningen is rekening

gehouden met het optreden van negatieve kleef langs de paalschacht ten gevolge van autonome bodemdaling (in combinatie met waterstandsverlaging).

- factor $\xi = 0,83$ (geen herverdeling en een sondeerinterval van 25 m)
- materiaalfactor $\gamma_{m;b4} = 1,1$. Het hanteren van 1,1 wordt realistisch geacht, gezien de beperkte toename van de verticale vervorming (ten opzichte van de toepassing van de standaard materiaalfactor 1,25) en de voldoende veiligheid tegen verplaatsing bij bezwijken. Zeker ook, omdat het grootste deel van de vervormingen reeds in de bouwfase kan worden gerealiseerd, aangezien de constructie tijdelijk als bouwweg fungeert.

De palen zijn vierkant 290 mm. Het benodigde draagvermogen $F_{r,net;d}$ bedraagt 530 kN, waarbij $F_{r,net;d}$ de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal is, rekening houdend met negatieve kleef ($F_{r,max;d} - F_{s,nk;d}$).

Als geowapening is uiteindelijk gekozen voor één laag Fortrac R 600/50-30 T geogrid in lengterichting en voor twee lagen Stabilenka 350/50 in dwarsrichting (zie *figuur 2*).

De geowapening werkt uniaxiaal, d.w.z. de (hoge) sterkte wordt slechts in de hoofdrichting geleverd. De capaciteit loodrecht op de hoofdrichting is gering en is in de berekeningen verwaarloosd.

De maatgevende krachten in de geowapening zijn berekend overeenkomstig de formules van BS 8006. Een belangrijke input parameter bij de berekening van de membraan trekkracht is

de rek in de geowapening. Overeenkomstig de opgave van de leverancier is hiervoor 6% in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) en 9,5% in de uiterste grenstoestand (UGT) aangehouden. De maatgevende krachten in langsricting zijn: 287 kN/m voor de “normale” belasting en 356 kN/m voor de calamiteiten belasting. In dwarsrichting is dit 291 kN/m respectievelijk 360 kN/m.

TOETSING MET PLAXIS

De geometrie van de granulaat matras is in een Plaxis 3D model geschematiseerd.

De Plaxis geometrie is weergegeven in *figuur 3*. Schematisering van uniaxiale geowapening is in Plaxis niet mogelijk. In het model is derhalve per laag geowapening een gemiddelde waarde aangehouden.

De meest ongunstige situatie voor de matras is wanneer er onder de matras een spleet ontstaat en er geen directe overdracht van belasting naar de ondergrond plaatsvindt. Vanwege de autonome bodemdaling zal dit naar alle waarschijnlijkheid ook optreden.

Om dit numeriek te simuleren, is direct onder de matras een fictieve laag aangebracht met een lage E-waarde.

In het model zijn onderstaande faseringen toegepast:

- Fase 1: alleen permanente belasting
- Fase 2: aanbrengen reguliere verkeersbelasting van 33 kPa t.p.v. asfalt en halfverharding
- Fase 3: ontlasting verkeersbelasting van 33 kPa
- Fase 4: aanbrengen calamiteitenbelasting van 57 kPa t.p.v. asfalt en halfverharding
- Fase 5: ontlasting verkeersbelasting van 57 kPa.

De verkeersbelasting is als statische belasting ingevoerd. De resultaten van de 3D-analyses zijn in *tabel 2* opgenomen.

Uit de in *tabel 2* gepresenteerde resultaten blijkt dat:

- de optredende trekkracht in de geowapening in dwarsrichting aanzienlijk hoger is dan in lengterichting;
- de trekkracht nauwelijks afneemt na ontlasting;
- de krachten aanzienlijk lager zijn dan gevonden met de empirisch-analytische methode volgens BS 8006 (overigens zijn de krachten wel hoger dan zou volgen uit Bush-Jenner).

Opgemerkt wordt nog dat door de schematische

ring van de luchtspleet als fictief materiaal, een deel van de bovenbelasting een drukspanning in de ondergrond oplevert. In werkelijkheid zal dit niet optreden. Hierdoor zijn de berekeningsresultaten waarschijnlijk aan de optimistische kant.

Op basis van de Plaxis-berekeningen kan worden gezegd dat BS 8006 inderdaad een conservatieve benadering geeft en dat het ontwerp aan de veilige kant is.

MEETVAK

Gezien het innovatieve karakter van het ontwerp en de omvang van het project is besloten om voorafgaand aan de echte bouw een meetvak aan te leggen van ongeveer 50 m lengte uitgerust met meetapparatuur.

Voor het ontwerp zijn de volgende aspecten van belang:

- ontwikkeling van de boogwerking;
- toename van de trekkracht en kruiprek in de geowapening;
- verticale vervormingen van de matras ten gevolge van met name de veranderlijke belasting;
- horizontale vervormingen van de matras en paalfundering ter plaatse van de randen.

Om nader inzicht te krijgen in deze aspecten, wordt in het meetvak op twee raaien gemeten, waarbij de volgende metingen worden uitgevoerd:

- deformaties ter plaatse van de matras, kopplaat en paalfundering alsmede ter controle van de bestaande bakconstructie;
- drukken (krachten) op de palen en ondergrond;
- rekken (daarmee indirect de trekkrachten) in de geowapening;
- waterstanden.

Naast het toetsen van de ontwerpaspecten biedt het maken van het meetvak een uitstekende gelegenheid om de werkmethodes te verifiëren en een stap vooruit te maken in de "learning curve" van het uitvoeringsproces.

STAND VAN ZAKEN

Het meetvak is in de zomermaanden van 2007 gerealiseerd (zie de figuren 4 en 5). De metingen zijn in september gestart. ■



Figuur 4 Plaatsen van de onderste laag Fortrac plus Stabilenka



Figuur 5 Overzicht van de aanleg van het meetvak

Tabel 2 Trekkrachten uit de 3D-PLAXIS-analyses

Maximale trekkracht [kN/m] (dwars/langs)	Fase				
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Laag boven	28 / 7	32 / 9	31 / 8	34 / 11	33 / 10
Laag midden	20 / 8	24 / 12	23 / 11	28 / 14	27 / 13
Laag onder	20 / 10	33 / 10	30 / 10	47 / 10	39 / 10
Laag boven (aan zuidzijde)	Stabilenka				
Laag midden (aan noordzijde)	Stabilenka				
Laag onder	Stabilenka/ Fortrac				