



Eindrapport

EPS-fundering voor infrastructuur

Toepasbaarheid bij fluctuerende waterstand

Danny Boogert
Stefan Leenaars

EPS-fundering voor infrastructuur

Toepasbaarheid bij fluctuerende waterstand

Afstudeergegevens

Onderwijsinstelling:

Hogeschool Utrecht
Faculteit: Natuur & Techniek
Afdeling: Bouwnijverheid
Opleiding: Civiele Techniek
Nijenoord 1, 3552 AS Utrecht
Postbus 182, 3500 AD Utrecht
Tel: (030)2308108

Afstudeermentor:
E-mail:

P. van Valen
pieter.vanvalen@hu.nl

Studenten:

Danny Boogert (1126706)
Arendshorst 166
3815 VT Amersfoort
Tel: 033-4727128
Mob: 06-48354461
E-mail: dannyboogie@hotmail.com

Stefan Leenaars (1121815)
Amsterdamsestraatweg 249
3551 CD Utrecht
Tel: -
Mob: 06-24700983
E-mail: stayfan@lycos.nl

Afstudeerbedrijf:

Dura Vermeer Divisie Infra
Kruisweg 835, 2132 NG Hoofddorp
Postbus 3098, 2130 KB Hoofddorp
Tel: 023-5692345
Internet: www.duravermeer.nl

Bedrijfsbegeleider:
E-mail:

ir. R. Naus
r.naus@duravermeerinfra.nl

Voorwoord

In het kader van de afronding van de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Utrecht hebben wij dit afstudeeronderzoek verricht. In september 2005 zijn wij begonnen met het afstuderen bij Dura Vermeer in Hoofddorp. Dura Vermeer behoort tot een van de grootste bouwbedrijven van Nederland. Het bedrijf is praktisch in alle sectoren van de bouwwereld actief. Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij de afdeling Advies & Ontwikkeling van de divisie Infrastructuur.

Het was een uiterst geschikte opdracht voor ons, omdat het een mix is van geotechniek, waterbouw, wegebouw en uitvoeringstechnieken en zodoende goed aansloot bij onze verschillende afstudeerprofielen.

Dit resultaat was zeker niet tot stand gekomen zonder de hulp van een aantal mensen. Daarom willen wij allereerst Robbert Naus en Marc de Ruiter bedanken voor de goede begeleiding en de adviezen voor het verbeteren van dit afstudeeronderzoek. Daarnaast willen wij Pieter van Valen en Frans van Heerden bedanken voor de goede begeleiding vanuit de Hogeschool Utrecht. Verder gaat onze dank uit naar alle mensen die tijdens ons afstuderen praktische en inhoudelijke hulp hebben geboden.

Hoofddorp, januari 2006

Danny Boogert & Stefan Leenaars

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	6
1.1 PROBLEEMSTELLING	6
1.2 DOELSTELLING.....	6
1.3 ONDERZOEKSVRAGEN	6
1.4 METHODIEK	6
2 VOORONDERZOEK	7
2.1 TECHNIEKEN VOOR BOUWEN OP SLECHT DRAAGKRACHTIGE BODEMS.....	7
2.1.1 Inventarisatie beschikbare technieken	7
2.1.2 Analyse.....	11
2.1.3 Overzicht	14
2.2 EPS IN DE PRAKTIJK	14
2.2.1 Het materiaal EPS.....	14
2.2.2 Renaissancelaan te Alphen aan de Rijn	16
2.2.3 Kadijkselaan te Bergambacht	17
2.3 EPS BINNEN HET WATERBELEID 21 ^E EEUW.....	19
2.3.1 Waterbeheer 21 ^e eeuw.....	19
2.3.2 Stedelijke watersystemen.....	19
2.3.3 Infrastructuur binnen nieuw waterbeleid	20
3 HET ONDERZOEK.....	21
3.1 OMSCHRIJVING BODEMPROFIEL.....	21
3.2 UITGANGSPUNTEN EN RICHTLIJNEN.....	22
3.2.1 Constructieve en functionele eisen	22
3.2.2 Verkeersklasse.....	23
3.2.3 Opbouw wegconstructie	23
3.2.4 Belastingen.....	23
3.2.5 Grondwaterstand.....	24
3.3 GEDRAG VAN EPS IN EEN WEGFUNDERING	24
3.3.1 Mogelijke problemen.....	24
3.3.2 Algemeen.....	25
3.3.3 Technische uitwerking.....	26
3.3.4 Resultaten.....	33
3.4 PROBLEEMANALYSE.....	33
3.5 CONCLUSIES.....	35
4 VARIANTENSTUDIE.....	36
4.1 DE VARIANTEN	36
4.1.1 Aanpassen van de wegconstructie	36
4.1.2 Combinatie EPS en gedeeltelijke zetting.....	38
4.1.3 Toepassen van afstandhouders.....	40
4.1.4 Verankering met geogrid.....	43
4.1.5 Alternatief geogrid	45
4.1.6 Verankering met trekankers	46
4.2 VERGELIJKING VAN DE VARIANTEN.....	48
4.2.1 Overzicht	48
4.2.2 Beoordeling.....	48
4.2.3 Beslismodel	54
4.2.4 Berekening voor grondprofiel 2B en 3B.....	55
5 CONCLUSIES	56
6 AANBEVELINGEN	58
REFERENTIES	59

Samenvatting

In bepaalde gebieden van Nederland is een slecht draagkrachtige bodem aanwezig, in de vorm van veen en een slappe kleibodem. Om een infrastructuur in deze gebieden aan te leggen, kan er van verschillende technieken gebruik worden gemaakt. De beschikbare technieken kunnen globaal verdeeld worden in 3 categorieën; grondverbetering, funderen en een evenwichtsconstructie. Het onderzoek is toegespitst op een evenwichtsconstructie met geëxpandeerd polystyreen (EPS) in de fundering.

Volgens het Waterbeleid 21^e Eeuw zal in sommige gebieden het waterpeil in de toekomst meer moeten kunnen fluctueren, waar men in de 20^e eeuw een stationair grondwaterpeil nastreefde. Dit levert problemen op voor de huidige lichtgewicht wegconstructies, omdat deze gedimensioneerd zijn met een stationair grondwaterpeil als uitgangspunt. Deze constructies kunnen, als gevolg van het fluctuerende grondwaterpeil, opdrijven en er kunnen zettingen optreden.

Voor het onderzoek is de volgende vraagstelling opgesteld:

Is een evenwichtsconstructie met EPS-fundering realiseerbaar binnen het Waterbeleid 21^e Eeuw en zo niet, welke oplossingen zijn hiervoor te vinden?

Wanneer er gebruik wordt gemaakt van EPS, kan er voor gekozen worden om de EPS-laag boven of onder het waterpeil aan te leggen. Indien EPS onder het waterpeil wordt toegepast, zouden er zettingen op kunnen treden bij verlaging van het waterpeil. Uit berekeningen volgt echter dat de constructie bij een waterpeilverlaging niet sneller zal zetten dan de omgeving doet.

Als het EPS boven het waterpeil wordt toegepast, bestaat er bij een verhoging van het waterpeil het gevaar voor opdrijven van de constructie. Dit is een nadelig verschijnsel, omdat bij de volgende waterpeilverlaging de constructie niet meer op dezelfde, vlakke ondergrond zal komen te liggen. Om opdrijven tegen te gaan worden de volgende mogelijke oplossingen uitgewerkt:

- Aanpassen van de wegconstructie. Hierbij wordt de wegconstructie aangepast zodat een evenwichtsconstructie mogelijk blijft.
- Gedeeltelijke zetting. Door de bodem voor te belasten krijgt deze meer draagkracht, waardoor een evenwichtsconstructie mogelijk is.
- Afstandhouders. Lichtgewicht materialen die onder de waterspiegel worden toegepast in de fundering. Hierdoor neemt de korrelspanning niet toe en is een evenwichtsconstructie mogelijk.
- Bescherming tegen opdrijven met behulp van geogrid. Dit geogrid wordt over de fundering gespannen en verankerd in de grond, waardoor opdrijven voorkomen wordt.
- Bescherming tegen opdrijven door toepassing van trekankers. De trekankers houden de constructie op de goede plaats en zorgen ervoor dat deze niet opdrijft.

In bepaalde situaties kan door het combineren van de verschillende varianten tot de beste oplossing gekomen worden. Om een keuze te kunnen maken tussen de verschillende methoden, is er een beslismodel opgesteld waarin verschillende aspecten van een bepaalde situatie worden bekeken en deze worden uitgezet tegen de kosten. Met behulp van deze beslismodel kan er per situatie een indicatie worden gegeven welke methode voor de situatie geschikt is.

1 Inleiding

Nederland en water zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Met een uitgebreid systeem van malen en polders houden wij ons land droog, dat op sommige plaatsen op wel 6,5 meter onder de zeespiegel ligt.

Een groot gedeelte van deze polders bestaat uit slappe gronden zoals klei en veen. Deze slecht draagkrachtige gronden vereisen extra aandacht bij het bouwen. Zo kan een kleine verhoging van de belasting al leiden tot een verstoring van het evenwicht in de bodem, met in veel gevallen zettingen tot gevolg. Door het toepassen van lichtgewicht funderingsmaterialen kan het toch mogelijk zijn het evenwicht in de bodem te behouden.

In het afgelopen decennium hebben de rivieren een aantal keren te maken gehad met extreme waterpeilen. Zo hoog dat er gevreesd werd voor de dijken die de achtergelegen polders moesten beschermen. Er ontstond al gauw een nationale discussie dat de dijken in Nederland te laag waren. Maar gezien de situatie waar Nederland zich in bevindt, met enerzijds een stijgende zeewaterspiegel en anderzijds het dalen van ons land, is het eindeloos op blijven hogen van de dijken geen duurzame oplossing. Daarom is er een commissie opgericht die zich heeft verdiept in het waterbeleid om het klaar te maken voor de 21^e eeuw.

1.1 Probleemstelling

Het waterpeil in de polders moet meer mogen fluctueren is een van de adviezen van de commissie Waterbeleid 21^e Eeuw¹. Bij de huidige evenwichtconstructies is altijd uitgegaan van een stationair waterpeil. Een fluctuerende waterstand in combinatie met een lichtgewicht funderingsmateriaal kan tot opdrijven leiden.

1.2 Doelstelling

De techniek gebaseerd op het behouden van een evenwichtssituatie in de bodem onderzoeken en bekijken wanneer de problemen precies optreden en hoe deze problemen opgelost kunnen worden.

1.3 Onderzoeksvragen

Aan de hand van probleemstelling en de doelstelling zijn een aantal onderzoeksvragen opgesteld:

- Hoe gedraagt EPS zich bij een fluctuerende waterstand?
- Is het mogelijk om een evenwichtconstructie toe te passen in een gebied met een slecht draagkrachtige bodem, waar incidenteel een verhoging van het waterpeil optreedt?
- Wat zijn de kaders waarbinnen juist geen problemen optreden?
- Als er problemen zijn, hoe zijn deze dan op te lossen?

1.4 Methodiek

Om een oplossing aan te dragen voor het probleem van opdrijven, is het eerst noodzakelijk te bekijken hoe het opdrijven precies tot stand komt. Het gedrag van EPS in een wegconstructie wordt daarom eerst onderzocht. Hieruit zullen de kaders opgesteld worden, zodat een duidelijk beeld ontstaat wanneer het probleem op zal treden en hoe groot het probleem is. Vervolgens worden meerdere varianten opgesteld die een oplossing kunnen bieden voor de optredende problemen.

¹ Waterbeleid voor de 21^e Eeuw ; Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw ; 2000

2 Vooronderzoek

In dit hoofdstuk wordt eerst een inventarisatie gemaakt van de beschikbare technieken voor het bouwen op slecht draagkrachtige bodem. Hierdoor wordt de plaats van een evenwichtsconstructie binnen het geheel duidelijk. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 gekeken hoe EPS in de praktijk toegepast wordt. In paragraaf 2.3 worden de nieuwe kaders van het Waterbeleid 21^e Eeuw op gesteld.

2.1 ***Technieken voor bouwen op slecht draagkrachtige bodems***

Het bouwen op een slecht draagkrachtige bodem vraagt extra aandacht. Wanneer een nieuwe weg aangelegd wordt, leidt dit tot hogere belastingen op de ondergrond. Als gevolg hiervan neemt de grond- en korrelspanning in de bodem toe. De structuur van de slecht draagkrachtige grond kan deze belasting niet aan en er treden zettingen op. Deze zettingen ontstaan doordat het water tussen de korrels uit wordt geperst zodat een compactere en draagkrachtigere structuur ontstaat. Dit proces van zetten neemt veel tijd in beslag en is niet overal gelijkmatig. Daarom zijn er in de loop der jaren verschillende technieken ontwikkeld om toch te kunnen bouwen op slecht draagkrachtige bodems. In onderstaande paragrafen worden deze technieken nader belicht.

2.1.1 ***Inventarisatie beschikbare technieken***

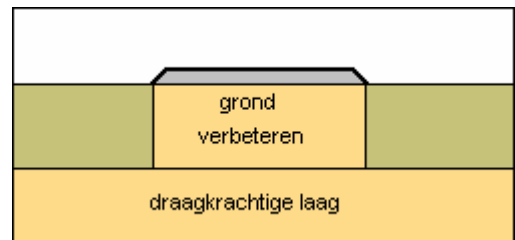
Algemeen

Het bouwen op instabiele bodems vereist speciale bouwmethoden en technieken om verzakkingen tijdens de gebruiksfase te voorkomen. Hierbij kan globaal onderscheid worden gemaakt in 3 categorieën:

1. Grondverbetering

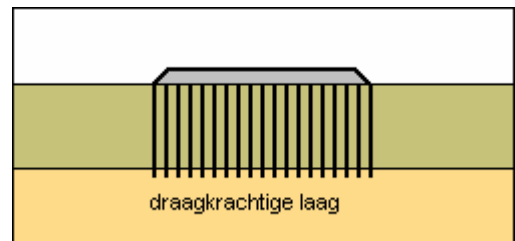
Hierbij wordt de ondraagkrachtige laag zodanig aangepast dat deze de belasting van de wegconstructie kan opnemen. Dit kan op 2 manieren gerealiseerd worden:

- A. verwijderen van de slappe laag.
- B. slappe laag verstevigen.



2. Funderen

De belasting van de wegconstructie wordt overgedragen op de dieper gelegen draagkrachtige grond. De ondraagkrachtige laag wordt op die manier niet overbelast. Funderen op palen is een voorbeeld van een dergelijk constructie.



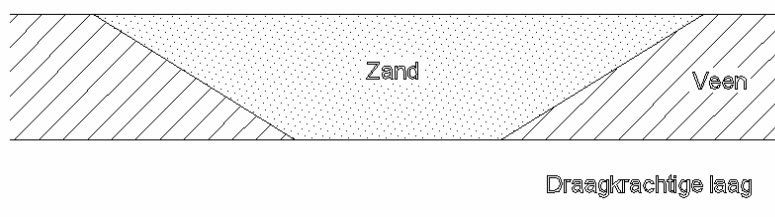
3. Evenwicht

Uitgangspositie bij deze categorie technieken is het behouden van het evenwicht in de ondraagkrachtige laag door lichte funderingsmaterialen toe te passen. De massa van de afgegraven grond is gelijk aan de massa van de wegconstructie plus de massa van het funderingsmateriaal.



Afgraven en zandaanvulling

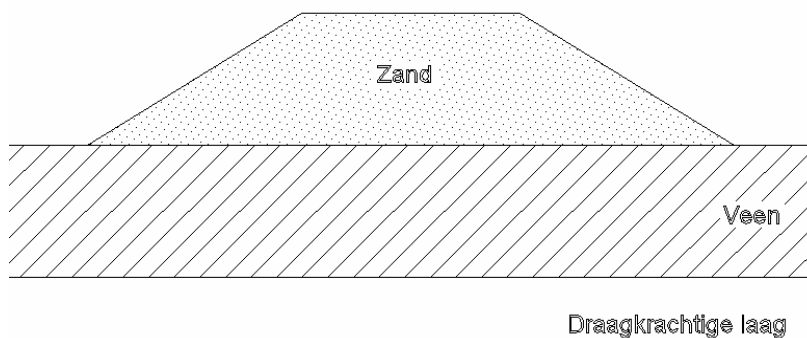
De traditionele manier van het aanleggen van een weg is door middel van een zandaanvulling. Dit houdt in dat er een cunet gegraven wordt op de plaats van het toekomstige tracé. De onstabiele grond die hier uit komt, wordt vervangen door een draagkrachtige laag zand. Deze laag zand is stabiel genoeg om als fundering te dienen voor de weg en de belastingen die hierop komen. Dit wordt gedaan om een stabiele ondergrond te verkrijgen voor de weg. Omdat de onstabiele laag aan de oppervlakte soms wel meters dik kan zijn, is het mogelijk dat er diep gegraven moet worden om een laag te vinden die draagkrachtig genoeg is om als fundering te dienen. Bij deze methode is het slechts mogelijk om 4 à 5 meter af te graven. Als er dieper moet worden gegraven dan neemt het noodzakelijke talud zoveel ruimte in beslag dat het economisch voordeliger wordt om eerst een bouwkuip aan te leggen. Het is dus bij de methode van afgraven met een talud mogelijk dat de draagkrachtige laag niet bereikt kan worden. In dat geval is deze methode geen optie.



Figuur – 2.1

Overhoogte

Het toepassen van overhoogte is een manier om de zettingen, die tijdens de gebruiksfase op kunnen treden, voor te zijn. Op het te realiseren tracé wordt een pakket zand gelegd zodat de ondergrond, ten gevolge van de aangebrachte belasting, zal gaan zetten. De dikte van het zandpakket kan oplopen tot enkele meters. Door deze grote belasting wordt de gronddruk in het pakket groter. Een gevolg hiervan is dat het aanwezige grondwater uit het pakket geperst wordt en door de druk kan de grond ook zijdelings weggedrukt worden. Hierdoor kunnen er aan de zijkant van de ophoging grondwallen ontstaan. Dit is geen wenselijk proces en door middel van monitoring met behulp van zakkaken en landmetingen moet getracht worden dit vroegtijdig te signaleren en te voorkomen.

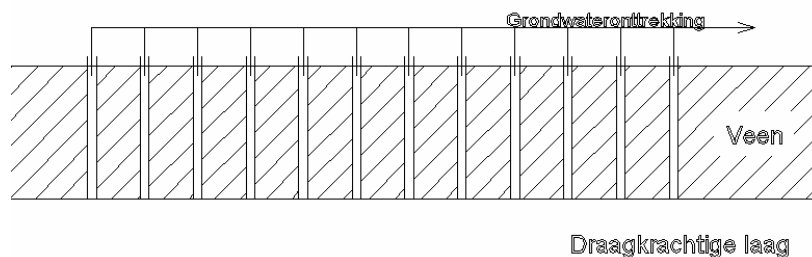


Figuur – 2.2

Verticale drainage

De meest toegepaste manier om een snellere zetting van het grondpakket te creëren is het toepassen van verticale drainage. Deze verticale drains worden in de grond geplaatst waar versnelde consolidatie nodig is. Dit wordt meestal toegepast in combinatie met overhoogte. De techniek is erop gebaseerd dat grondwater in horizontale richting kan wegstromen naar drains. Vervolgens stroomt het water, vanwege de overdruk, door de drains naar de oppervlakte. Hierdoor neemt de grondwaterspanning af en de korrelspanning toe. Dit heeft als gevolg dat de grond versneld zal consolideren, waardoor een stabiele fundering voor het weglichaam gecreëerd is.

Een variant van de verticale drainage is het toepassen van drainage in verticale zandsleuven. Aan de zijken van het te realiseren traject worden sleuven gegraven tot de gewenste drainagediepte. In de sleuf wordt een verticale drain geplaatst. Vervolgens worden de sleuven gevuld met zand, waardoor het een goed waterdoorlatend pakket is. Door de goede waterdoorlatendheid stroomt het grondwater in de sleuf. Hierdoor ontstaat een verschil in het grondwaterpeil, waardoor het water naar de zandsleuf zal blijven stromen. Op deze manier zakt het grondwaterpeil in het grondpakket, en zal de grond consolideren. Ook deze techniek wordt meestal toegepast in combinatie met overhoogte.



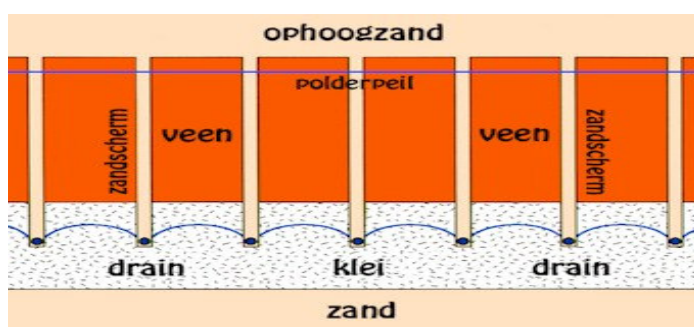
Figuur – 2.3

IFCO Methode

De IFCO-methode staat voor “Intensief Forceren Consolidatie Ondergrond”.

De methode is gebaseerd op enerzijds het verlagen van het grondwater en anderzijds het aanbrengen van onderdruk in de bodem. Hierdoor neemt de waterspanning in de grond af, en dus neemt de korrelspanning toe. Dit heeft als gevolg dat de grondlaag zal gaan consolideren. Bij deze methode worden verticale zandschermen in de te stabiliseren veenlaag aangelegd. Onderin deze goed doorlatende zandlaag worden horizontale drains geplaatst. Op deze horizontale drains worden de pompen aangesloten die het grondwater naar de oppervlakte pompen. Eerst wordt er alleen water omhoog gepompt, maar na verloop van tijd wordt ook lucht afgezogen en ontstaat er onderdruk in het zandscherm. Eventueel kan de gronddruk op de te consolideren laag extra verhoogd worden door het toepassen van een bovenbelasting, bijvoorbeeld ophoogzand.

Bij deze methode neemt de schuifsterkte van de grond tijdens verlaging van de grondwaterstand toe, waardoor de stabiliteit van de bodem gedurende de behandeling verbetert.²



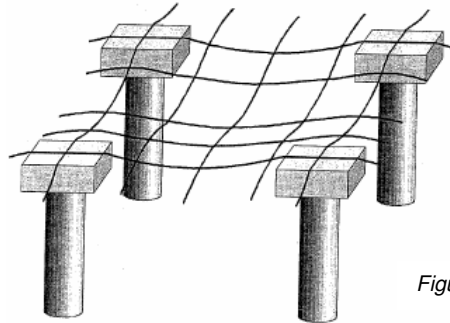
Figuur – 2.4

² www.ifco.nl / www.ifco-methode.nl

AuGeo-paalsystemen

Bij dit systeem wordt getracht de slecht draagkrachtige grond zo min mogelijk te belasten door de krachten die in de wegconstructie aanwezig zijn direct naar de dieper gelegen draagkrachtige laag over te brengen.³

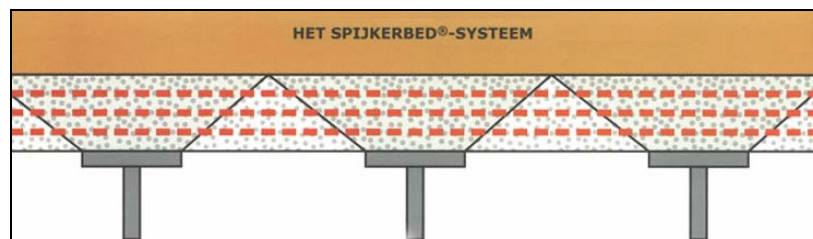
AuGeo-palen zijn uit PVC vervaardigde palen die worden opgevuld met een (lichtgewicht) vulmateriaal en worden vergroot met een voetplaat en paalkop. De AuGeo-palen worden op korte afstand van elkaar geplaatst (ongeveer 1 meter). Een drainstitcher drukt een stalen buis met een losse voetplaat in de grond. Wanneer de juiste diepte is bereikt wordt in de stalen buis een PVC-buis geplaatst welke direct wordt opgevuld met licht vulmateriaal. Wanneer dit materiaal is uitgehard wordt de stalen buis getrokken. De losse voetplaat blijft achter in de grond. Over de paalkoppen wordt een belastingspreidende laag van circa 0,5 meter aangebracht, bestaande uit funderingsmateriaal en 2 lagen geogrid. Er ontstaat een boogwerking waarbij het grootste deel van de krachten via de belastingspreidende laag aan de AuGeo-palen wordt doorgegeven.



Figuur – 2.5

Spijkerbed

De Spijkerbed techniek is grotendeels gelijk aan het AuGeo-paalsysteem. Meestal worden bij de spijkerbedtechniek prefab betonpalen toegepast welke verder uit elkaar staan. Doordat er minder funderingspalen gebruikt worden, is de dimensionering van de belastingspreidende laag verschillend ten opzichte van de AuGeo-methode.⁴



Figuur – 2.6

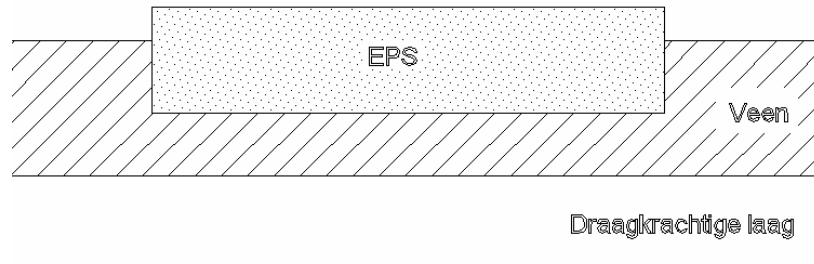
EPS

De afkorting EPS staat voor 'geëxpandeerd polystyreen', beter bekend als piepschuim. Al ruim 20 jaar wordt dit materiaal gebruikt in de GWW-sector. EPS heeft als specifieke eigenschap heel licht te zijn, daarom wordt het vaak toegepast als lichtgewicht funderingsmateriaal. Vooral in gebieden met een slappe bodem biedt EPS belangrijke voordelen ten opzichte van andere funderingsmaterialen. Door EPS toe te passen in de fundering blijft het evenwicht in de bodem behouden. De massa van de afgegraven grond komt overeen met de massa van de EPS-fundering en de wegconstructie, hierdoor ontstaan geen zettingen. Het EPS wordt geleverd in blokken of platen. Bij het verwerken is het belangrijk dat de blokken op een vlakke ondergrond worden geplaatst. Dit is eenvoudig te bereiken door eerst een kleine laag zand aan te brengen in het cunet, met eventueel een geogrid. Wanneer dit niet gebeurt kunnen plaatselijke vervormingen optreden in het wegdek. Om de stabiliteit van de weg te waarborgen wordt EPS

³ Ir. R.W.M. Naus & Ir. M.J. de Ruiter ; Toelichting Augeo-Paalsysteem ; Rapportnummer 99.421 ; Dura Vermeer NV

⁴ www.spijkerbed.nl

doorgaans aangebracht in 2 lagen welke in verband worden gelegd. De blokken EPS moeten afgedekt worden met een folie om ze te beschermen tegen oplosmiddelen als benzine.⁵

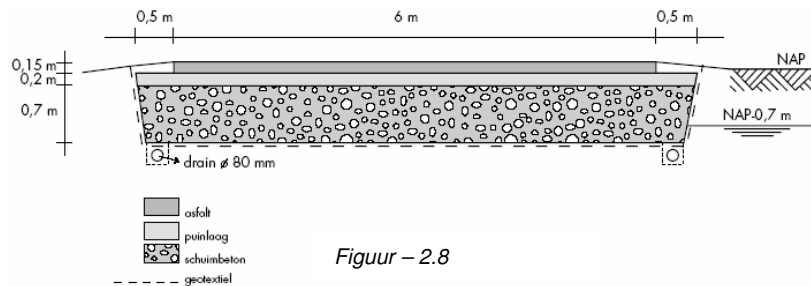


Figuur – 2.7

Schuimbeton

In zijn meest elementaire vorm bestaat schuimbeton uit cement, water, fijne toeslagstoffen (vliegassen ed), schuimmiddel en lucht. Schuimbeton wordt dan ook tot de lichtgewicht funderingsmaterialen gerekend. Afhankelijk van de toepassing varieert het eigen gewicht tussen de 400 en 1600 kilo per m³. Door het toepassen van schuimbeton als funderingsmateriaal wordt het evenwicht in de bodem niet verstoord en worden zettingen voorkomen. Sterkte, thermische isolatie en duurzaamheid zijn andere gunstige kenmerken van schuimbeton.⁶

In onderstaand figuur wordt een dwarsdoorsnede getoond van een weg waarbij schuimbeton is toegepast als funderingsmateriaal.



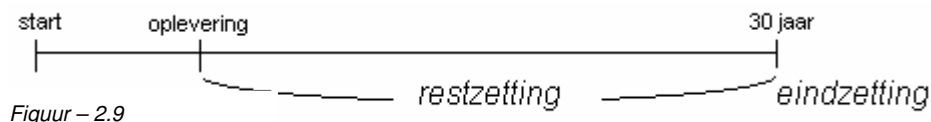
Figuur – 2.8

2.1.2 Analyse

In deze paragraaf worden per criterium de kenmerken van de verschillende technieken voor bouwen op instabiele bodem besproken. Hierbij wordt als uitgangspunt de EPS-constructie genomen.

Zettingen

Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen twee soorten zettingen; eindzetting en restzetting. De eindzetting is de totale zetting die is opgetreden na 30 jaar. De zetting die optreedt vanaf het moment van oplevering tot 30 jaar na aanvang van het project wordt de restzetting genoemd.



Figuur – 2.9

Omdat bij de EPS-constructie het evenwicht in de bodem niet of nauwelijks wordt verstoord, blijft de eindzetting beperkt tot enkele centimeters. Dit in tegenstelling tot traditionele technieken waarbij de eindzetting enkele meters kan bedragen, zoals constructies waarbij een ophoging van zand wordt gemaakt of waarbij gebruik wordt gemaakt van versnelde consolidatie. Voor de funderingsconstructies op palen is er

⁵ EPS in de GWW-sector ; Stybenex ; pag. 4

⁶ www.schuimbetoninfo.nl

eigenlijk geen sprake van eindzetting aangezien de slecht draagkrachtige grond praktisch onbelast blijft.

De restzetting bij de EPS-constructie is minimaal. Zettingen zijn een gevolg van het opnieuw instellen van een evenwicht in de bodem, maar bij deze fundering wordt het evenwicht in de bodem niet verstoord. De zettingen bij de versnelde consolidatie technieken zijn vele male groter. Bij de paalconstructies is de restzetting ook minimaal, echter hierbij zou de restzetting wel grote problemen kunnen veroorzaken wanneer de ondergrond onder de constructie eventueel wegzakt en de palen bloot komen te liggen.

Stabiliteit

Bij de methoden waar grondverbetering wordt toegepast; wordt het evenwicht verstoord in de bodem. Dit levert vaak grote problemen op voor de stabiliteit. Er ontstaat een afschuifvlak in de grond waardoor het gevaar bestaat dat de fundering verzakt. De aandrijvende kracht bij de afschuivende beweging wordt gevormd door de eigen gewichtsbelastingen van de grondlagen, de ophoging zelf en daarbovenop de verkeersbelasting. Dit probleem treedt niet op bij de methoden gebaseerd op behoud van evenwicht in de bodem. Wel is het bij de constructie met EPS van belang dat er een goede hechting is tussen het EPS en het aangrenzende materiaal. Bij het gebruik van schuimbeton als lichtgewicht materiaal ontstaat deze hechting vanzelf doordat het in het werk gestort wordt en zo het grillige oppervlak van de ondergrond overneemt. De funderingsconstructie op palen wordt geplaatst op de draagkrachtige laag. Hierdoor ontstaat een stabiele constructie. Wel kunnen er stabiliteitsproblemen ontstaan wanneer er toch zettingen in de bodem optreden en de bovenkant van de palen bloot komen te liggen.

Bouwtijd

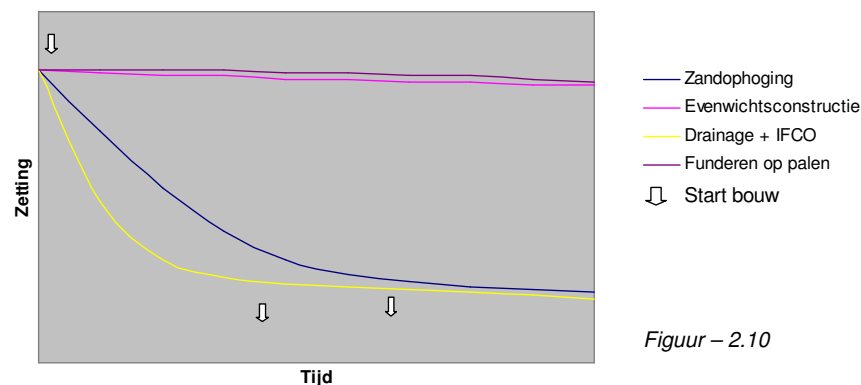
Onder de bouwtijd van een project wordt de tijd die nodig is om het werk uit te voeren verstaan. De tijd die nodig is vanaf de aanbesteding tot de oplevering van het werk is een belangrijk criterium.

De bouwtijd van de evenwichtsconstructie is minimaal, omdat er bij deze techniek niet gewacht hoeft te worden met bouwen tot de ondergrond voldoende gezet is. Er kan eerder begonnen worden met de bouw en er mag een minimale zetting verwacht worden. Hierdoor zal dus de totaal benodigde bouwtijd aanzienlijk verminderd worden.

Bij funderen op palen is de zetting ook minimaal, omdat de palen bij deze methode op de draagkrachtige laag gefundeerd worden. Ook bij deze methode hoeft er niet gewacht te worden tot de ondergrond voldoende is gezet om te kunnen bouwen, waardoor de constructie snel gerealiseerd kan worden.

Bij alle technieken waarbij grondverbetering wordt toegepast, is de bouwtijd aanzienlijk langer dan wanneer de evenwichtsconstructie wordt gehanteerd. Dit omdat er veel tijd verloren gaat aan het verbeteren en/of verwijderen van de instabiele grondlaag.

Als de grond gedraineerd wordt, treedt de benodigde zetting voor de bouw echter sneller op dan wanneer er alleen opgehoogd wordt. Indien deze technieken gecombineerd worden, zal dit de kortst mogelijke bouwtijd voor grondverbetering opleveren. In dit geval zal de bouwtijd alsnog langer zijn dan bij de evenwichtsconstructies, omdat eerst gewacht moet worden totdat de grond de benodigde zetting heeft bereikt. In figuur 2.10 wordt per techniek weergegeven wanneer de grond is uitgezet en begonnen kan worden met de bouw.



Figuur – 2.10

Kosten

Het geven van een kostenindicatie is sterk afhankelijk van de situatie. Het is daarom niet mogelijk een overzicht te geven van de kosten per m² van de verschillende constructies. In onderstaande tabel staan de materiaalkosten per m³ weergegeven. Deze kosten zijn exclusief transport en verwerking omdat ook deze factoren sterk van de situatie afhankelijk zijn.⁷

<i>Materiaal</i>	<i>kostenindicatie per m³</i>
Zand	€ 8,-
EPS 60 / EPS 100	€ 40,-
Schuimbeton	€ 45,-

Tabel – 2.1

De eenheidsprijs van zand is vele malen lager dan EPS en schuimbeton. Hier staat tegenover dat er bij de ophoogconstructie en ook de versnelde zetting met overhoogte, wel veel zand nodig is. EPS is goedkoper dan schuimbeton. Het is lichter, waardoor er minder van nodig is om een evenwichtsconstructie te creëren. Wel is schuimbeton goedkoper in transport omdat het ter plekke wordt gemengd.

Bij het funderen door middel van een paalconstructie heeft de bodemsituatie minder invloed. De diepte van de draagkrachtige laag bepaalt de lengte van de palen.

Ruimtebeslag

Indien er gekozen wordt voor de methode van afgraving en zandaanvulling is het ruimtebeslag alleen tijdens de bouwfase erg groot. Er moet een cunet afgegraven worden, rekening houdend met het natuurlijke talud van de bodem. Hierdoor is er tijdens de aanleg veel extra ruimte aan de zijkant van de weg nodig. Tijdens de gebruiksfase zal dit aangevuld zijn tot maaiveld, waardoor het ruimtebeslag na de bouw minder is.

Ook voor zandophoging geldt dat het ruimtebeslag tijdens de bouwfase groter is dan tijdens de gebruiksfase.

Het ruimtebeslag bij het toepassen van de drainage-, IFCO-, AuGeo-, EPS, schuimbeton- en spijkerbedmethode is het ruimtebeslag tot een minimum beperkt, namelijk de breedte van het te realiseren traject.

Indien de weg boven het maaiveld komt te liggen, moet er een talud gemaakt worden aan weerszijden van het traject. Dit neemt extra ruimte in beslag. Het ruimtebeslag door het talud is afhankelijk van het hoogteverschil en van de hoek van het natuurlijk talud van de bodem. In tegenstelling tot los gestorte materialen, die zonder wapening of met minimale treksterkte meestal tot een wegontwerp leiden waarbij de hoek van natuurlijk talud de bepalende factor is, kan met EPS een funderingsconstructie worden gemaakt waarbij de randbeëindiging zelfs verticaal kan zijn.

Duurzaamheid

Indien er grondverbetering in de vorm van zandophoging of zandaanvulling wordt toegepast, is er zelfs na lange tijd nog sprake van restzettingen. Tijdens de gebruiksfase kan het zijn dat de weg nog verder zet en kunnen er scheuren in de wegconstructie ontstaan omdat er ongelijke zettingen optreden. Om deze reden dient een fundering als deze vaak verbeterd te worden. Dit houdt in dat de asfaltlaag opengebroken dient te worden en vervolgens de fundering opgehoogd. Er moeten dus vaak aanpassingen en verbeteringen van de fundering uitgevoerd worden, waardoor de constructie niet duurzaam is en vaak onderhouden moet worden. De enige uitzondering hierop is grondverbetering met behulp van de IFCO-methode, waarbij de restzetting minimaal is omdat vrijwel alle zetting al is opgetreden bij het proces van versneld consolideren.

Een funderingsconstructie op palen is een duurzame constructie, omdat de funderingspalen tot in de draagkrachtige laag staan. Er is dus wel enige zetting te verwachten als er belasting op de palen zal komen, maar deze zetting is zeer gering. Hierdoor zal de weg gedragen worden, zelfs als de grond zelf inklinkt. Wel kan er scheurvorming rond de oplegpunten ontstaan als de ondergrond te ver inklinkt, wat meer onderhoudsmaatregelen met zich meebrengt.

⁷ www.bouwkostenonline.nl

EPS staat in de GWW-sector bekend als een zeer duurzaam materiaal. Er zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd waaruit is gebleken dat EPS na enkele jaren nog steeds nauwelijks vocht opneemt (minder dan 5%), de druksterkte in zijn geheel niet terugloopt en de volumieke massa nog steeds voldoet aan de bij het ontwerp gestelde eisen. Daarnaast behoeven wegen met EPS-fundering doorgaans veel minder onderhoud dan conventionele funderingsmethoden. Dit omdat het evenwicht in de grond niet wordt verstoord en er dus nauwelijks restzettingen zijn.

2.1.3 Overzicht

In onderstaande tabel worden per techniek de eerder besproken criteria nog eens overzichtelijk naast elkaar gezet.⁸ Hierbij moet opgemerkt worden dat de bouwkosten indicatief zijn omdat deze sterk afhankelijk zijn van de situatie.

Beoordeling technieken		EindZetting	Restzetting	Stabiliteit	Bouwtijd	Kosten	Ruimtebeslag	Duurzaamheid	Onderhoud
Traditioneel met zand		m	m	--	j	++	-	--	--
Versnelde consolidatie	Overhoogte	m	dm	--	j	+	-	--	--
	Verticale drains	m	dm	-	j	++	-	--	--
	IFCO	m	dm	0	j/m	+	-	-	0
Funderingsconstr. op palen	AuGeo	cm	cm	+	w	--	+	+	+
	Spijkerbed	cm	cm	+	w	--	+	+	+
Lichtgewicht	EPS	cm	cm	++	w	-	+	++	++
	Schuimbeton	cm	cm	++	w	-	+	++	++
Verklaring afkortingen:									
Eindzettingen en restzettingen: m = meters; dm = decimeters; cm = centimeters									
Bouwtijd: j = jaren; m = maanden; w = weken									
Overige aspecten: -- = zeer slecht of zeer duur; - = slecht of duur; 0 = matig; + = goed of goedkoop; ++ = zeer goed of zeer goedkoop									

Tabel – 2.2

2.2 EPS in de praktijk

In paragraaf 2.2.1 wordt het materiaal EPS verder toegelicht. In de paragrafen daarna wordt de toepassing van EPS vanuit een praktisch oogpunt benaderd. Met behulp van 2 voorbeelden zal het proces van uitvoering doorlopen worden om zo een beter beeld te krijgen hoe EPS wordt gebruikt in de praktijk.

2.2.1 Het materiaal EPS

Algemeen

Iedere kubieke meter EPS bevat ongeveer 10 miljoen bolletjes, ook wel parels genoemd. Elke parel telt ca. 3.000 gesloten cellen die met lucht gevuld zijn. Concreet bestaat EPS qua volume slechts voor ongeveer 2% uit polystyreen en voor 98% uit lucht. Deze celstructuur met stilstaande lucht, de beste thermische isolator, maakt EPS bijzonder geschikt als isolatiemateriaal. EPS is licht van gewicht en daardoor eenvoudig te verwerken. Voor de GWW-sector is verder van belang dat EPS ongevoelig is voor water/vocht bij onderdompeling en dat er geen waterdamptransport in het materiaal optreedt. Bovendien kan het de mechanische belastingen verdragen dankzij de specifieke celstructuur. EPS is daarnaast duurzaam en degenereert niet in de loop der tijd. EPS is een 'monomateriaal', wat wil zeggen: bestaande uit één materiaalsoort, waardoor het bij uitstek voor recycling in aanmerking komt. Bovendien is het grondwaterneutraal.⁹

⁸ Ir. M.J. de Ruiter ; Lichtgewicht ophoogmaterialen in de wegenbouw ; Presentatiesheets ; Dura Vermeer NV

⁹ EPS in de GWW-sector ; Stybenex

Productie

De productie van EPS is uiteen te splitsen in twee delen, te weten:

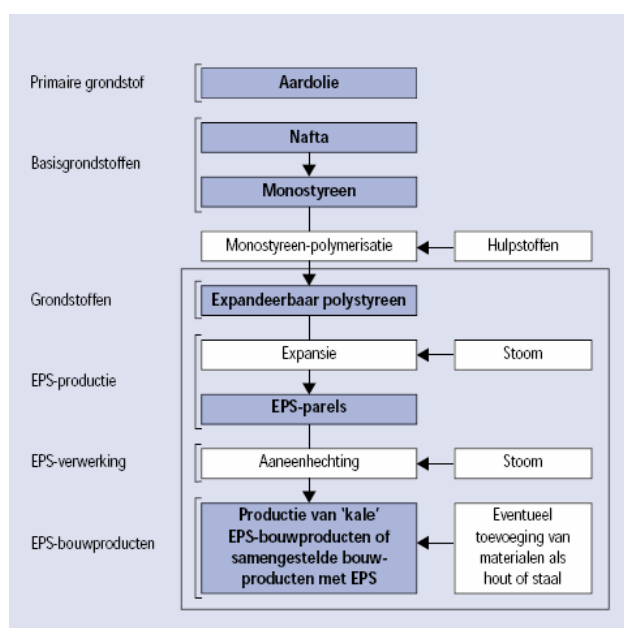
1. de productie van aardolie tot expandeerbaar polystyreen
2. de productie van expandeerbaar polystyreen tot EPS-producten.

Productiefase 1:

Uit de fossiele grondstof aardolie wordt via raffinage nafta verkregen. Uit een fractie van de nafta wordt via katalytisch reformeren (isomerisatie, cyclisatie en dehydrogenatie) de nafta omgezet in aromaten, waaruit benzeen wordt gedestilleerd, een bouwstof voor monostyreen. Een andere fractie van de nafta wordt m.b.v. de hydro-kraker (katalysator/warmte en waterstof) gekraakt tot kleine koolwaterstofverbindingen. Het aldus gevormde etheen (een van de koolwaterstofverbindingen) wordt na fractionatie en destillatie tezamen met benzeen gebruikt voor de vorming van monostyreen. Dit gebeurt middels alkylatie en dehydrogenatie. Door polymerisatie en het toevoegen van het blaasmiddel pentaan (ca. 6 gewichts-%) ontstaat de grondstof expandeerbaar polystyreen: kleine, harde bolletjes (polystyreen-beads) die in verschillende grootten aan de EPS-verwerkende industrie worden geleverd. Expandeerbaar polystyreen wordt desgewenst in een brandvertragend gemodificeerde uitvoering geproduceerd, de zogenoemde SEkwaliteit. Hiertoe wordt een geringe hoeveelheid brandvertrager toegevoegd.

Productiefase 2:

Het opvallende bij de tweede productiefase van EPS is dat er niets anders behoeft te worden gebruikt dan stoom. Expandeerbaar polystyreen is een thermoplast, waarin een vloeistof met een laag kookpunt (pentaan) is opgenomen. Stoom van 100-105°C verwarmt en verzacht het expandeerbaar polystyreen. Daardoor wordt het pentaan intern verdampt en zodoende gasvormig, en expandeert de polystyreen-bead zowel onder invloed van het pentaan als van het diffunderende stoom tot de zogeheten EPSparel. Hierdoor ontstaat een gesloten celstructuur in elke geëxpandeerde EPS-parel, waar bij afkoeling het pentaan en de stoom inwendig condenseren en vervolgens door de ontstane onderdruk 98% holle ruimte in de parel treedt. Door diffusie verdwijnt gedurende en na dit proces het pentaan uit het EPS en wordt vervangen door lucht. De aldus verkregen losse EPSparels zijn in principe gereed als eindproduct voor ondermeer naisolatie doeleinden. Voor het overgrote deel worden ze echter vervolgens met stoom van 115-125°C in blok-, band- of vormautomaten aaneengesloten tot het homogene EPS-bouwmateriaal. Dit wordt hetzij 'kaal' aan de markt aangeboden zoals platen en blokken aan de GWW-sector, hetzij in de vorm van isolatiemateriaal als onderdeel van een samengesteld eindproduct in de woning- en utiliteitsbouw. Hiertoe zijn diverse nageschakelde technieken mogelijk, afhankelijk van de gewenste toepassing.



Figuur – 2.11

Lange duur druksterkte

Voor de toepassing als funderingsmateriaal is met name de lange duur druksterkte van belang. De lange duur druksterkte is het toelaatbare continue belastingniveau gedurende 50 jaar, teneinde ongewenste kruipeffecten te beperken.

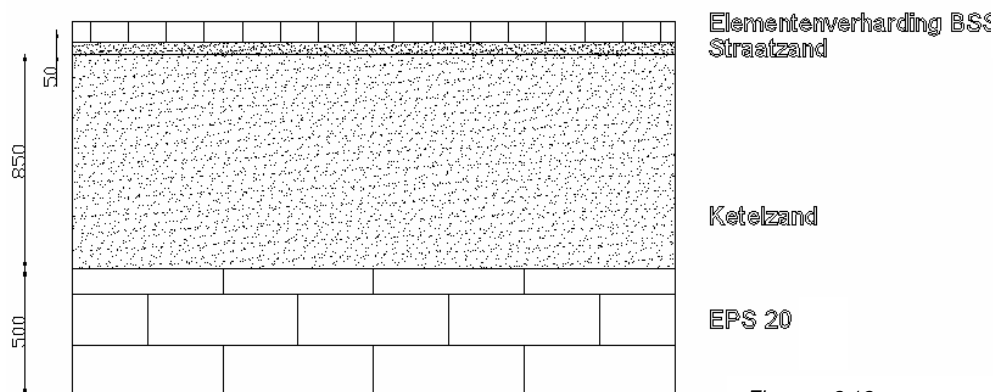
Lange duur druksterkte	Type EPS				
	EPS60	EPS100	EPS130	EPS165	EPS200
$\sigma_{10\%}$	20	30	40	50	60

Tabel – 2.3

2.2.2 Renaissancelaan te Alphen aan de Rijn

Aan de hand van de aanleg van de wegconstructie van de Renaissancelaan te Alphen aan de Rijn zullen de verschillende uitvoeringsaspecten bij EPS-constructies nader belicht worden. In het gebied waar de weg gerealiseerd diende te worden, was er sprake van een slecht draagkrachtige veengrond. Tevens moest er riolering in het wegtraject geplaatst worden. Het werk is in 2003 gerealiseerd en opgeleverd.¹⁰

Er zijn voor de aanleg van deze wegconstructie een drietal uitvoeringsmethoden bedacht en uitgewerkt. Deze methoden zijn: ophoging met zand om de ondergrond te laten consolideren, ophoging met zand in combinatie met verticale drainage, en de wegfundering uitvoeren in EPS. Het werk is uiteindelijk uitgevoerd met toepassing van een EPS-fundering en een klinkerverharding. De weg, zoals deze uitgevoerd is, heeft een schematische doorsnede zoals hieronder weergegeven is.



Figuur – 2.12

Globaal kunnen de werkzaamheden als volgt samen worden gevat:

- Ontgravingwerkzaamheden
- Rioleringswerkzaamheden en drainage
- Aanbrengen fundering
- Elementenverhardingen aanbrengen
- Werk door derden (straatverlichting, bebording enz.)

Ontgravingwerkzaamheden

Er wordt gestart met het graven van een cunet voor de EPS-fundering. Hierbij moet gelet worden op de huidige kabels en leidingen, die in het traject van de weg liggen.

Rioleringswerkzaamheden en drainage

Allereerst worden de straatkolken uitgezet en op de juiste plaats en hoogte gesteld. Na het plaatsen van de kolk en het aansluiten van de afvoerleiding hiervan, wordt de kolk aangevuld met zand (eventueel zand afkomstig uit het cunet) en vervolgens wordt dit zandlichaam met behulp van een trilplaat verdicht.

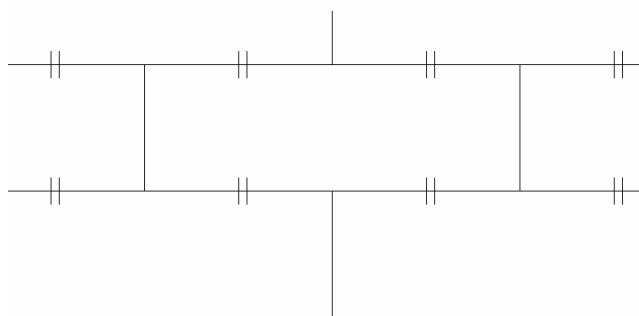
Hierna worden de kolken m.b.v. PVC buizen op een nabijgelegen HWA afvoerleiding aangesloten, die het water afvoert naar het oppervlaktewater. De sleuven waar de afvoerleidingen in geplaatst zijn, worden vervolgens aangevuld met zand en tenslotte verdicht.

¹⁰ K.R. Oosterhof ; Plan van Aanpak Aanleg van de Renaissancelaan te Alphen aan de Rijn ; Dura Vermeer Divisie Infra BV ; 2003

Aanbrengen weglichaam

Nadat de ontgravingswerkzaamheden gereed zijn en de riolering geplaatst is, kan de EPS fundering in het cunet gelegd worden. Tussen de verschillende lagen EPS worden kramplaatjes gelegd, zodat de lagen niet horizontaal verschuiven ten opzichte van elkaar. Deze plaatjes worden in de onderste te koppelen laag gedrukt. Vervolgens wordt de volgende laag EPS hierop gelegd en op de kramplaatjes gedrukt. Door de verschillende lagen te koppelen, ontstaat één EPS-pakket in plaats van drie op elkaar geplaatste lagen, waardoor de fundering stabiel is.

Hierop worden twee lagen zand aangebracht; ketelzand en straatzand. Vervolgens kan de wegverharding aangebracht worden. Dit begint met het aanbrengen van de trottoirbanden



Figuur – 2.13

en de opsluitbanden voor de klinkerverharding. Deze worden beiden op zand gesteld. Voor het aanbrengen van de verharding voor de rijstrook wordt een laag zand aangebracht dat vervolgens verdicht en geprofileerd wordt. Hierop wordt de verharding geplaatst, waarna deze afgetrild wordt en afgestrooid met zand. Als laatste onderdeel van de wegverharding wordt de molgoot aangebracht en worden de trottoirtegels gelegd.

2.2.3 Kadijkselaan te Bergambacht

De gemeente Bergambacht is gelegen in een gebied met een slappe ondergrond van veen. Wegens voortdurende zettingen en een stijgend waterpeil is de noodzaak ontstaan om de Kadijkselaan te reconstrueren. Omdat dit werk nog niet gerealiseerd is en er alleen plannen voor gemaakt zijn, zal dit project worden gebruikt om de verschillende manieren duidelijk te maken waarop EPS als fundering kan worden gebruikt.

De Kadijkselaan is in het verleden gebouwd door de slechte grond gedeeltelijk af te graven en aan te vullen met zand. Omdat de veenlaag onder de weg bleef zitten, is de weg steeds opgehoogd met een nieuwe laag asfalt om dit te compenseren; met verdere zettingen als gevolg. Dientengevolge varieert de dikte van de verhardingsconstructie tussen 1,20 m en 2,60 m.¹¹ Het huidige wegniveau van de Kadijkselaan is gemiddeld NAP -1,55m. In bijlage 2 is een doorsnede van een boorkern weergegeven, die daar is genomen.

De situatie moet aangepast worden met de volgende uitgangspunten:

- De huidige grondwaterstand is NAP -1,82 m;
- Het toekomstige grondwaterstand is NAP -1,71 m;
- Het aanlegniveau van de Kadijkselaan na reconstructie is NAP -1,05 m. Hierbij is rekening gehouden met een zetting van ongeveer 0,25 m in 30 jaar.

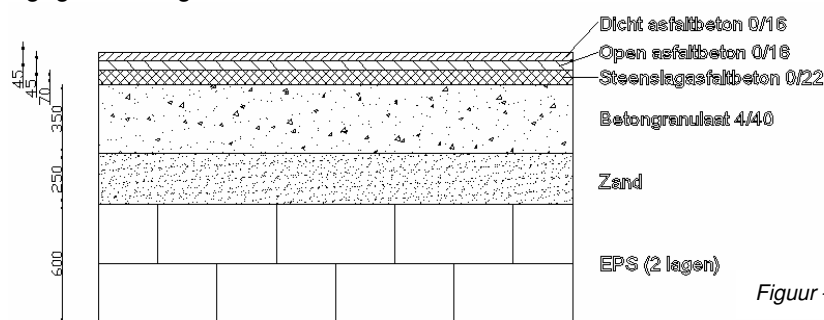
In opdracht van de gemeente is er een vijftal aanpakken ontwikkeld om het probleem op te lossen. Hierbij kwam een evenwichtsconstructie met EPS als fundering als beste naar voren.

Er kan gekozen worden uit 2 manieren om de wegconstructie te verbeteren: partiële reconstructie en totale reconstructie.

Bij de partiële reconstructie wordt het bovenste verhardingsmateriaal vervangen door lichtgewicht ophoogmateriaal (bijvoorbeeld EPS). Hierdoor wordt de verticale korrelspanning bovenin het samendrukbare veenpakket gereduceerd en zal de zetting dus

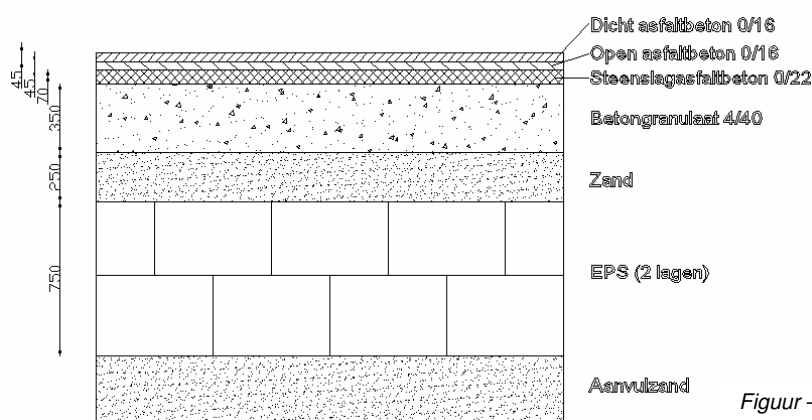
¹¹ Gemeentewerken Rotterdam ; Verhardingsadvies Reconstructie Kadijkselaan te Bergambacht ; 2000

afnemen en uiteindelijk ook stoppen. De mogelijke verhardingsopbouw voor deze situatie wordt weergegeven in figuur 2.14.



Figuur – 2.14

Er kan ook gekozen worden voor een totale reconstructie, waarbij het totale pakket aan verhardingsmateriaal wordt vervangen door lichtgewicht materiaal (bijvoorbeeld EPS). Het verschil met de partiële reconstructie is dat de EPS-laag dikker uitgevoerd wordt (750 mm in plaats van 600 mm) en dat er onder de EPS-laag een zandaanvulling tot de natuurlijke bodem zal zijn. De opbouw van deze constructie wordt weergegeven in figuur 2.15.



Figuur – 2.15

Voor beide methoden moet er met de volgende punten rekening gehouden worden:

- De toegankelijkheid van kabels en leidingen is problematisch, omdat deze onder een dik pakket asfalt liggen. Om dit op te lossen kunnen de kabels door de tuinen van de omwonenden worden gelegd. Dit kan als tijdelijke oplossing gedurende de bouwfase van de nieuwe situatie gebeuren, maar dit kan ook als definitieve oplossing fungeren. Bijkomend voordeel hiervan is dat met eventuele wegwerkzaamheden in de toekomst geen rekening gehouden hoeft te worden met de kabels en leidingen. Het advies van de gemeente in dezen is ook dat de voorzieningen definitief door de tuinen worden gelegd.
- Tijdens de uitvoering dient de grondwaterstand verlaagd te worden. Omdat de veenlaag onder het weglichaam is samengedrukt, is deze slecht waterdoorlatend. De grondwaterstand in de omgeving blijft constant, hierdoor bestaat het gevaar dat de veenlaag opbarst door de verhoogde opwaartse grondwaterdruk.
- Omdat het EPS uit losse blokken bestaat, moet er aandacht worden besteed aan de openingen die tussen de blokken kunnen ontstaan. Tijdens de bouw van de fundering moet er voor gezorgd worden dat de blokken niet van elkaar af komen te liggen, omdat de stabiliteit van de fundering dan zal afnemen.
- Er wordt met twee lagen EPS op elkaar gewerkt, dus moet er ook gelet worden op de naad tussen deze lagen. Indien deze horizontale lagen niet goed op elkaar aansluiten, kunnen de twee delen van elkaar afschuiven. Dit geldt ook voor de aansluiting tussen de verhardingsconstructie en de bovenste laag EPS.
- Voor zowel de partiële als de volledige reconstructie dient de EPS-laag van oliewerende, vloeistofdichte folie te worden voorzien ter voorkoming van de aantasting door oplosmiddelen. Bij partiële reconstructie moet het EPS aan alle zijden van de folie voorzien worden, omdat de kans bestaat dat oliehoudende producten via de bovenkant van de oude verharding het EPS bereiken. Deze folie zorgt er tevens voor dat er geen ongedierte in het EPS gaat nestelen.

2.3 *EPS binnen het Waterbeleid 21^e Eeuw*

In de eerste en tweede paragraaf worden delen van het adviesrapport van de Commissie Waterbeheer 21^e Eeuw besproken waarna in de derde paragraaf bekeken wordt welke onderdelen daaruit van belang zijn voor de toekomstige toepassing van EPS als lichtgewicht funderingsmateriaal.

2.3.1 *Waterbeheer 21^e eeuw*

Water en Nederland zijn al sinds jaar en dag onlosmakelijk met elkaar verbonden. Het water levert ons vele voordelen op, denk maar aan de ligging van de Rotterdamse haven ten opzichte van het achterland. Toch wordt water vaker gezien als vijand dan als bondgenoot. In de jaren 90 hebben de bewoners van de riviergebieden meerdere malen te maken gehad met een extreem hoog waterpeil. Zo hoog dat in een aantal gevallen evacuatie noodzakelijk werd geacht. Als reactie hierop is meteen begonnen met het ophogen van de dijken op plaatsen waar dat het hardst nodig was. Maar is dit wel de oplossing?

Het waterbeheer van de twintigste eeuw heeft als uitgangspositie gehad: het technisch beheersen van het water. Technische ingrepen zorgden ervoor dat bij veel regen het water snel en gecontroleerd werd afgevoerd. Wat gepaard gaat met hoge rivierafvoeren. In de vorige eeuw is het verhard oppervlak van Nederland op sommige plaatsen wel verdubbeld. Bij een regenbui wordt het water via een uitgebreid drainage- en rioleringsstelsel snel afgevoerd en wordt er dus geen water vastgehouden in de bodem. Daarnaast zijn ook de mogelijkheden om water tijdelijk te bergen sterk afgenomen doordat het boezemland steeds vaker wordt volgebouwd.

Samengevat krijgen de rivieren minder ruimte om in een korte tijd meer water te verwerken.

Om veiligheid te creëren en schade door wateroverlast te beperken stelt de Commissie Waterbeheer 21^e Eeuw een drie-stap-strategie voor:¹²

1. Overtollig water zoveel mogelijk bovenstrooms vasthouden in de bodem en in oppervlaktewater.
2. Zonodig water tijdelijk bergen in retentiegebieden langs waterlopen waarvoor ruimte moet worden gecreëerd.
3. Pas als 1 en 2 te weinig opleveren, water afvoeren naar elders. Als dat niet kan, het water bij zeer extreme omstandigheden gecontroleerd opvangen in daarvoor aangewezen gebieden.

Om een andere aanpak van het waterbeheer mogelijk te maken mag niet nóg meer ruimte van het water worden afgepakt. Ruimte voor het water moet de kern van het nieuwe waterbeleid worden. Hiervoor moet water mede worden erkend als sturend principe in de ruimtelijke ordening van water. Door meervoudig ruimtegebruik kan worden voorkomen dat onnodig extra claims worden gelegd op de toch al zo schaarse ruimte.

2.3.2 *Stedelijke watersystemen*

Hoewel Nederland bekend staat als een land waar voldoende neerslag valt, hebben de meeste grote steden te maken met verdroging van de ondergrond en het zakken van de grondwaterstand. Dit wordt veroorzaakt door het hoge percentage verhard oppervlak in de stedelijke gebieden. Bijna alle neerslag die valt wordt via een uitgebreid rioleringsstelsel direct afgevoerd. Hierdoor krijgen de rivieren te maken met grotere piekafvoeren. Dus terwijl de stedelijke gebieden verdrogen, kunnen de rivieren de pieken niet meer aan. Het zou dus voor beide problemen beter zijn om het water langer in de wijk te houden. Enerzijds krijgt het water dan de tijd om te infiltreren in de bodem waardoor de grond niet verdroogt. Anderzijds wordt de rivieren meer tijd gegund om het water af te voeren.

¹² Waterbeleid voor de 21^e Eeuw ; Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e Eeuw ; 2000

Er zijn al verschillende projecten geweest waarbij getracht wordt het water in de wijk te houden. Voorbeelden hiervan zijn wadi's en parken die af en toe worden gebruikt als tijdelijke waterberging.

Een wadi is een lager gelegen stuk grond in een wijk waaronder een grindkoffer wordt aangelegd. Water afkomstig van de daken en straten wordt niet via het riool afgevoerd, maar wordt door middel van een gootjes-systeem naar de wadi geleid. Een wadi is altijd zo ingericht dat het geen problemen oplevert als de grond tijdelijk onder water staat, hierbij valt te denken aan speelveldjes en uitlaatplaatsen. Het water heeft nu de tijd om via de grindkoffer te infiltreren in de grond. Eventueel kan een wadi ook uitgerust worden met een overloopsysteem, zodat bij een te hoge waterstand in de wadi het water alsnog afgevoerd wordt door het riool en er op die manier geen schade ontstaat aan de aangelegde huizen.

Naast gebieden aanwijzen die bij hevige neerslag onder mogen lopen is het ook een optie om permanent meer water in de wijk te hebben door een combinatie te maken van wonen en recreëren aan of op het water.

2.3.3 *Infrastructuur binnen nieuw waterbeleid*

Voor al de hiervoor genoemde mogelijkheden geldt uiteraard wel dat de bebouwing en infrastructuur wel op deze nieuwe manier van waterhuishouding aangepast moeten zijn. Met name voor de infrastructuur is dit momenteel nog niet het geval. Bij het construeren van wegen wordt nog altijd uitgegaan van een stationair grondwaterpeil.

In de lager gelegen gebieden van Nederland is er vaak sprake van een slecht draagkrachtige bodem. Om hier wegen te construeren wordt vaak gebruik gemaakt van een lichtgewicht constructie met EPS. Juist deze techniek levert grote problemen op wanneer de grondwaterstand stijgt tot maaiveld, of zelfs nog daar boven. Enerzijds is er dus het grote voordeel dat het zo licht is en weinig zettingen veroorzaakt, anderzijds levert een fluctuerende grondwaterstand grote problemen op. Er zal dus gezocht moeten worden naar een constructie waarbij toch gebruik gemaakt wordt van de goede eigenschappen van EPS en waarbij het opdrijvend vermogen bij hoge waterstanden gecompenseerd wordt.

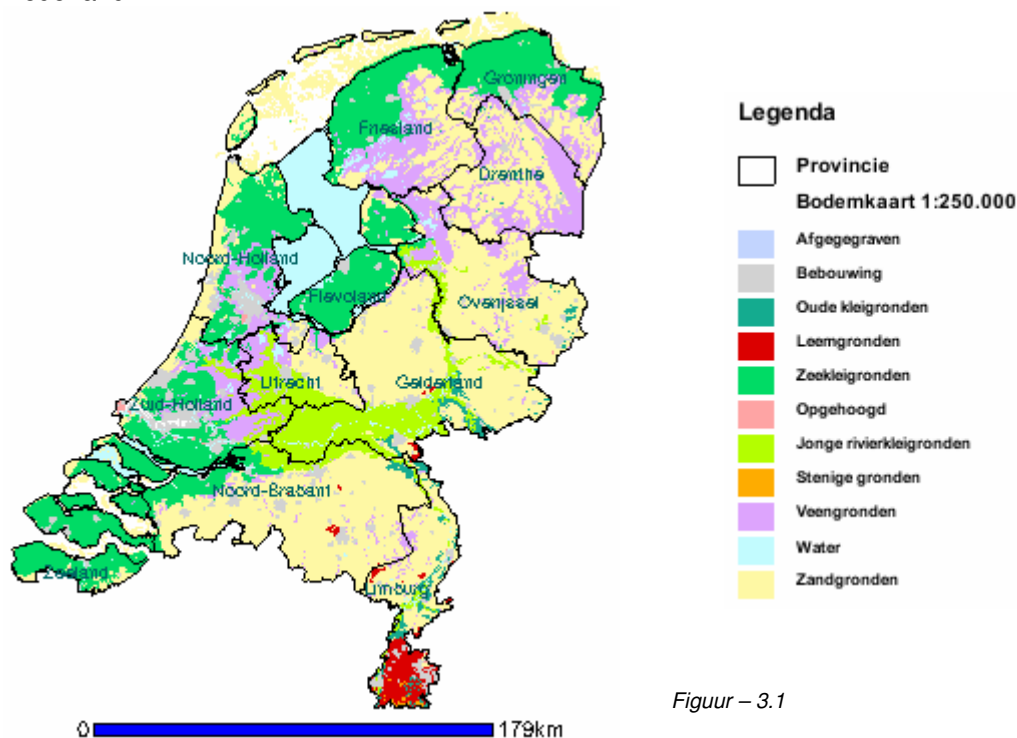
3 Het onderzoek

In dit hoofdstuk wordt onderzoek gedaan naar het gedrag van EPS in een wegfundering bij een fluctuerende waterstand. Om dit onderzoek te doen zijn een aantal gegevens noodzakelijk, zoals de bodem waarop gebouwd moet worden en het type weg. In de eerste twee paragrafen wordt een representatieve bodem bepaald en een wegconstructie gedimensioneerd. In paragraaf 3.3 zal het onderzoek uitgevoerd worden. Het doel van het hoofdstuk is het gedrag van EPS te analyseren zodat een algemene uitspraak gedaan kan worden in welke situaties een wegfundering met EPS problemen oplevert binnen het Waterbeleid 21^e Eeuw.

3.1 Omschrijving bodemprofiel

Nederland heeft door zijn ontstaansgeschiedenis een sterk variërende bodemopbouw. Waar de bodem in het zuidoosten van Nederland voornamelijk bestaat uit zand, treft men in het westen en de riviergebieden een klei/veen grond aan. Met name deze laatste gebieden vragen om extra aandacht als het om bouwen gaat. Ook binnen deze klei/veen gronden is het uiteindelijke ontwerp nog sterk afhankelijk van de laagopbouw van de bodem. Om toch een verdeling aan te brengen binnen deze bodemprofielen heeft men standaard bodemprofielen opgesteld. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen 3 geologische hoofdgebieden: veen, zeeklei en rivierklei. Per geologisch hoofdgebied zijn een aantal basisgrondprofielen bepaald, waarin in een concrete vorm de laagdiktes van de verschillende lagen wordt omschreven.

Omdat EPS als funderingsmateriaal voornamelijk wordt toegepast in gebieden met een slecht draagkrachtige grond is het van belang een representatief basisgrondprofiel te gebruiken. Om dit te kunnen bepalen is er gebruik gemaakt van een bodemkaart van Nederland.¹³

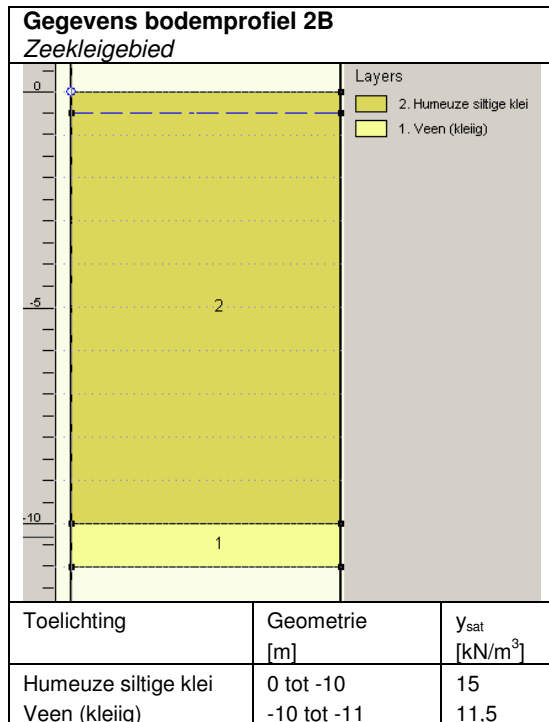


Figuur – 3.1

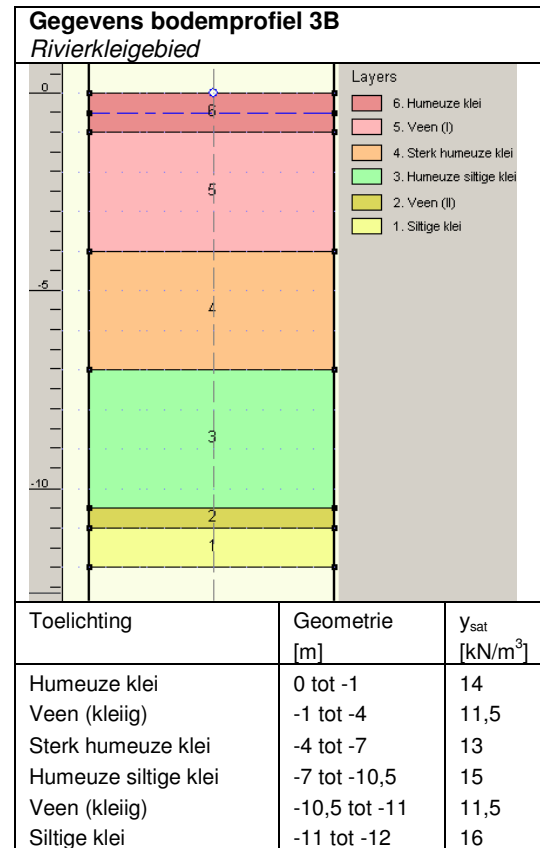
Hieruit is op te maken dat zeekleigronden en rivierkleigronden een groot deel van het bodemprofiel in de randstad beslaan.

¹³ www.bodemdata.nl

Voor het onderzoek zal er dan ook van deze 2 bodemprofielen uitgegaan worden. Hieronder zijn de gegevens van de bodemprofielen weergegeven.¹⁴



Tabel – 3.1



Tabel – 3.2

3.2 Uitgangspunten en richtlijnen

Om de constructie te kunnen ontwerpen zijn er een aantal uitgangspunten opgesteld. Aan de hand van deze punten worden de maatgevende waarden bepaald waarbinnen de constructie ontworpen wordt. In deze paragraaf worden de randvoorwaarden verder uitgewerkt.

3.2.1 Constructieve en functionele eisen

De aan te leggen onderbouw dient als fundering van de verhardingsconstructie. De onderbouw en de ondergrond moeten daarom aan bepaalde eisen voldoen. Omdat de totale constructie in de gebruiksfase aan bepaalde normen moet voldoen, zijn de volgende eisen aan de weg gesteld:¹⁵

- De onderbouw moet voldoende sterk zijn om het eigen gewicht en de belastingen die op het wegdek worden uitgeoefend, naar de ondergrond over te brengen.
- Er mag geen schade aan de wegconstructie optreden als gevolg van ongelijke zettingen in de ondergrond.
- De funderingsconstructie en aardebaan moeten voldoende stijfheid bezitten om deformaties (zoals indrukking en golfvorming) door het wegverkeer op te nemen zonder dat er schade optreedt aan de asfaltverharding.
- De wegconstructie moet bestand zijn tegen erosie, vorst, vocht, mechanische krachten tijdens de uitvoering en chemische invloeden.
- Bouwtijd en ruimtebeslag moeten beiden geminimaliseerd worden.

¹⁴ Handleiding ontwerpen verbreding aardebaan van wegen en spoorwegen ; CROW Publicatie 155 ; CROW ; 2001 ; Ede ; pag. 119-120

¹⁵ Handleiding ontwerpen verbreding aardebaan van wegen en spoorwegen ; CROW Publicatie 155 ; CROW ; 2001 ; Ede ; pag. 21

- De constructie moet duurzaam zijn.
- De invloed van de constructie op de omgeving moet acceptabel zijn. Dit houdt in dat er voldaan moet worden aan eisen ten aanzien van trillingen en vervormingen van omliggende gebieden, ondergrondse infrastructuur en de waterhuishouding.

3.2.2 Verkeersklasse

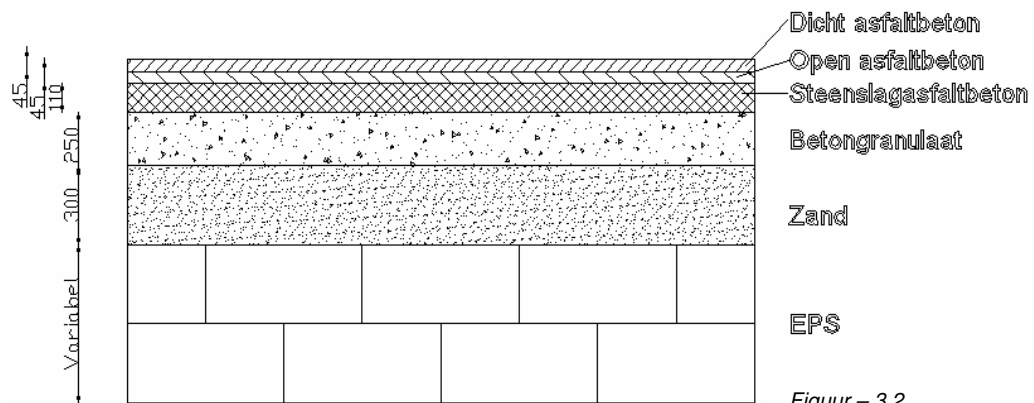
Om de verhardingsconstructie en de onderliggende fundering te kunnen bepalen, is het noodzakelijk om te weten welk verkeer van de weg gebruik zal gaan maken. Het ontwerp van de wegconstructie zal gebaseerd zijn op de verkeersintensiteit van een provinciale weg. Deze wegen vormen de belangrijke verbindingen voor het regionale verkeer en ze komen voor op een provinciaal wegenplan, wat door de provincie is vastgesteld. De weg is ingedeeld in verkeersklasse 3 (provinciale weg). Het dwarsprofiel hiervan is terug te vinden in bijlage IV.

3.2.3 Opbouw wegconstructie

De gehele constructie is, van onder tot boven, als volgt opgebouwd:¹⁶

- EPS 100; waarvan de dikte per situatie varieert. Er wordt met EPS 100 geconstrueerd omdat dit EPS-type de druk kan opnemen die op de funderingsconstructie zal komen. Het volumieke gewicht van EPS 100 is 20 kg/m^3 .
- 30 cm zand. Deze laag wordt voornamelijk toegepast om te voorkomen dat de bovenliggende funderingslaag geen schade geeft aan het EPS. Ook draagt de zandlaag bij aan de spreiding van de bovenbelasting. Zand heeft een volumieke massa van 1900 kg/m^3 .
- 25 cm betongranulaat. Deze laag wordt toegepast om de belasting op de weg voldoende te spreiden voor het onderliggende EPS. Betongranulaat heeft een volumieke massa van 2400 kg/m^3 .
- 20 cm asfalt. De asfaltlaag is opgedeeld in dicht asfaltbeton, open asfaltbeton en steenslagasfaltbeton. Deze asfaltlaag heeft een volumieke massa van 2400 kg/m^3 .

De constructieopbouw, zoals er verder mee gerekend wordt, is hieronder weergegeven.



Figuur – 3.2

3.2.4 Belastingen

De volgende twee belastingsoorten zijn van belang voor de dimensionering van de totale constructie: verkeersbelasting (veranderlijk) en het eigen gewicht van de constructie (permanent).

Voor de verkeersbelasting is het zwaarste voertuig wat van de weg gebruik zal kunnen gaan maken van belang. Volgens de wet mogen voertuigen een maximale aslast hebben van 11,5 ton. Bij het dimensioneren moet er echter ook rekening gehouden worden met transporten die hiervoor een ontheffing hebben. Daarnaast kan de belasting door oneffenheden in de weg ook hoger worden. Daarom is het gebruikelijk om een veiligheidsfactor aan te houden en moet de constructie een aslast van 24 ton kunnen opnemen. Deze belasting moet door het asfalt en de funderingslaag direct onder het asfalt

¹⁶ Ir. M.J. de Ruiter ; Bouwen op slappe bodem ; Dura Vermeer NV

worden gespreid, dusdanig dat de druk op het onderliggende EPS niet de maximale druksterkte van het EPS overschrijdt. De maximale korte-duur druksterkte van EPS100 is 100 kN/m^2 . Om onder deze maximale druksterkte te blijven, is een belastingspreidende funderingslaag (zand en betongranulaat) nodig van 55 cm. Op deze funderingslaag komt het wegdek met een asfaltlaag van 20 cm, welke nodig is om een aslast van 24 ton op te nemen.

De permanente belasting van deze twee lagen op het EPS bedraagt $16,5 \text{ kN/m}^2$. De extreme verkeersbelasting als gevolg van een aslast van 24 ton is $12,0 \text{ kN/m}^2$. De totale belasting op de EPS-laag is $12,0 \text{ kN/m}^2 + 16,5 \text{ kN/m}^2 = 28,5 \text{ kN/m}^2$. Dit is kleiner dan de toegestane 30 kN/m^2 . Zie tabel 2.3.

3.2.5 Grondwaterstand

De grondwaterstand van het maatgevende bodemprofiel is - 0,5 m maaiveld. Voor het ontwerp wordt er van uitgegaan dat de grondwaterstand kan fluctueren van - 1,0 m maaiveld tot + 1,0 m maaiveld.

3.3 Gedrag van EPS in een wegfundering

In deze paragraaf wordt onderzocht hoe het EPS zich gedraagt in een wegconstructie. Voor zowel de normale situatie als een extreme situatie, waarbij het waterpeil verhoogd of verlaagd is, wordt onderzocht wat de invloed is van de plaats van het EPS op de wegconstructie.

3.3.1 Mogelijke problemen

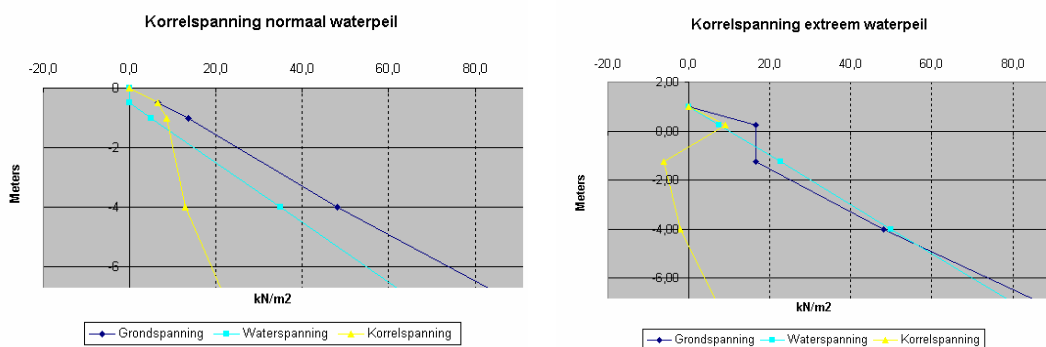
Hieronder worden twee mogelijke problemen beschreven die op kunnen treden als gevolg van de nieuwe kaders zoals in het Waterbeleid 21^e Eeuw beschreven staan.

Zettingen

De constructie zou kunnen gaan zettingen op het moment dat de grondwaterstand verlaagd wordt. Door de grondwaterstandverlaging neemt de korrelspanning toe. Toename van de korrelspanning resulteert in slecht draagkrachtige bodems in zettingen.

Opdrijven

Door het toepassen van een materiaal met een lagere volumieke massa dan water bestaat de kans op opdrijven. Indien de grondwaterspanning onder de constructie groter wordt dan de neerwaartse druk die de constructie levert, kan er opdrijving optreden. In de grafiek hieronder is deze situatie weergegeven.



Figuur – 3.3

In de nieuwe situatie wordt de korrelspanning negatief, wat betekent dat de constructie opdrijft. Dit is een ongewenst effect, omdat de constructie daardoor zijn stijfheid en stabiliteit verliest. Tevens zal de wegconstructie, als de waterstand weer gezakt is, niet meer op de originele, vlakke ondergrond rusten vanwege afkalving van de bodem onder het EPS. Hierdoor komt de weg ongelijk op de ondergrond te liggen, waardoor scheurvorming in het asfalt kan optreden.

3.3.2 Algemeen

Naast de externe ontwerpisen is het voor de dimensionering ook van belang waar het EPS in de constructie wordt geplaatst t.o.v. de waterstand. Globaal kan de plaatsing opgedeeld worden in 3 categorieën:

- Boven de grondwaterstand
- Onder de grondwaterstand
- In een ophoging

Opdrijvend vermogen

EPS heeft een lagere volumieke massa dan water. Wanneer EPS onder het waterniveau wordt toegepast, wordt door het water een tegenwaartse druk gegeven. Deze tegenwaartse druk wordt vaak omschreven als het opdrijvend vermogen van een materiaal. Door het gebruik van deze term wordt het idee gewekt dat het efficiënter is EPS onder het waterniveau toe te passen. Op deze wijze wordt immers het opdrijvend vermogen maximaal benut. Aan de hand van een voorbeeld verderop in dit hoofdstuk zal aangetoond worden dat het voor de efficiëntie niet uitmaakt waar het EPS in de bodem wordt geplaatst. Omdat het voor het begrijpen van het voorbeeld belangrijk is om te kunnen rekenen met EPS, wordt dit eerst behandeld voor de drie eerder genoemde situaties.

Hieronder zal kort uiteen gezet worden wat de verschillende opties inhouden.

EPS boven de grondwaterstand

Het EPS wordt toegepast in de zone tussen het waterpeil en het maaiveld. Door grond te vervangen door EPS kun je de zwaardere wegconstructie compenseren en behoudt de bodem zijn evenwicht.

De te verwachten problemen zijn de stijging van het waterpeil. Wanneer het waterpeil hoger staat dan onderkant EPS krijgt het materiaal steeds meer oprijfvermogen. Wanneer dit oprijfvermogen groter wordt dan de belasting op het EPS, kan de constructie gaan opdrijven.

EPS onder de grondwaterstand

Het EPS wordt toegepast in de zone onder het waterpeil. Er wordt, net als bij de vorige situatie, grond vervangen door EPS om de extra massa van de wegconstructie te compenseren. Daarnaast is ook het maximale opdrijvende vermogen aanwezig.

Wanneer het waterpeil echter verder daalt, verliest het materiaal zijn oprijfvermogen en is de constructie niet meer in evenwicht. De korrelspanning zal toenemen, met zettingen als gevolg. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de daling van het waterpeil in de sloten niet een directe verlaging van het waterpeil in de bodem tot gevolg heeft. Zeker omdat het hier slecht doorlatende grondsoorten betreft.

EPS in een ophoging

Wanneer EPS wordt toegepast in een ophoging wordt het materiaal niet alleen gebruikt als compensatiemateriaal, maar ook als lichtgewicht ophoogmateriaal. Gevolg is wel dat er grotere hoeveelheden EPS toegepast moeten worden. De waterpeilstijging die binnen het Waterbeleid 21^e Eeuw wordt gesteld veroorzaakt extra opdrijvend vermogen.

3.3.3 Technische uitwerking

In deze paragraaf wordt voor de drie eerder besproken mogelijke toepassingsgebieden van het EPS de constructie gedimensioneerd volgens de nu geldende richtlijnen. Vervolgens zal, zoals in het Waterbeleid 21^e Eeuw beschreven staat, de grondwaterstand veranderd worden. Hieruit komt het gedrag van EPS binnen het Waterbeleid 21^e Eeuw naar voren.

Algemene Aanpak

De uitgangspositie is het construeren van een evenwichtsconstructie. De korrelspanning in de nieuwe situatie mag niet groter zijn dan in de oorspronkelijke situatie. Omdat de wegconstructie zwaarder is dan de grondsoort die er in de beginsituatie aangetroffen wordt, zal de korrelspanning toenemen als er geen extra voorzieningen getroffen worden. Door een deel van de oorspronkelijke grond te vervangen door EPS, met een nagenoeg verwaarloosbaar gewicht, kan er een constructie gerealiseerd worden waarbij de korrelspanning aan de onderkant van het EPS niet gestegen is ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Omdat het EPS een verwaarloosbaar gewicht heeft ten opzichte van de overige constructiematerialen, wordt er bij de berekeningen van uit gegaan dat EPS een volumieke massa heeft van 0 kg/m^3 . Zonder het toepassen van EPS zou de korrelspanning in de bodem, door het aanleggen van de wegconstructie, stijgen. Dit verschil moet gecompenseerd worden door het EPS. De mate waarin EPS het gewicht van de wegconstructie compenseert is sterk afhankelijk van de grondsoort die door het EPS vervangen wordt. Wanneer een grondsoort met een volumieke massa van 13 kN/m^3 vervangen wordt door EPS dan levert dat een reductie van de korrelspanning op van 13 kN/m .

Opdrijvend vermogen

Zoals in paragraaf 3.3.2 reeds besproken is, doet de term opdrijvend vermogen vermoeden dat het efficiënter is om EPS onder de waterspiegel toe te passen. Op die manier wordt immers het maximale opdrijfvermogen gebruikt. Dit is onterecht. Uitgangspositie van een evenwichtsconstructie is een gelijke korrelspanning in de begin en eindsituatie. Als vergelijking voor de korrelspanning geldt: *Grondspanning – Waterspanning = Korrelspanning*

Bij het dimensioneren van een evenwichtsconstructie is het waterpeil in de beginsituatie gelijk aan die in de eindsituatie. Uit de vergelijking valt de waterspanning weg. Er blijft over $\Delta \text{Grondspanning} = \Delta \text{Korrelspanning}$

Indien de verhoging van de korrelspanning, door het aanbrengen van de wegconstructie, gereduceerd moet worden, kan dit door het reduceren van de grondspanning. Dit is dus onafhankelijk van het waterpeil.

Anders wordt het wanneer het waterpeil veranderd wordt, hetgeen door het Waterbeleid 21^e Eeuw wordt voorgesteld. In dat geval verandert de waterspanning en gaat het opdrijfvermogen wel een rol spelen.

De uitwerking van de drie mogelijke toepassingsgebieden van EPS worden via hetzelfde stappenplan behandeld:

- 1: Beschrijving situatie en opstellen ontwerpkaders
- 2: Wegconstructie dimensioneren
- 3: Bepalen oorspronkelijke evenwicht in de bodem
- 4: Berekenen benodigde EPS-laag
- 5: Bodemevenwicht nieuwe situatie berekenen
- 6: Waterpeil veranderen

Voor elke situatie kan deze aanpak gebruikt worden. Aan de hand van de eerste situatie zal de berekening één maal volledig uitgewerkt worden. Voor de overige situaties zal volstaan worden met de noodzakelijke uitvoergegevens.

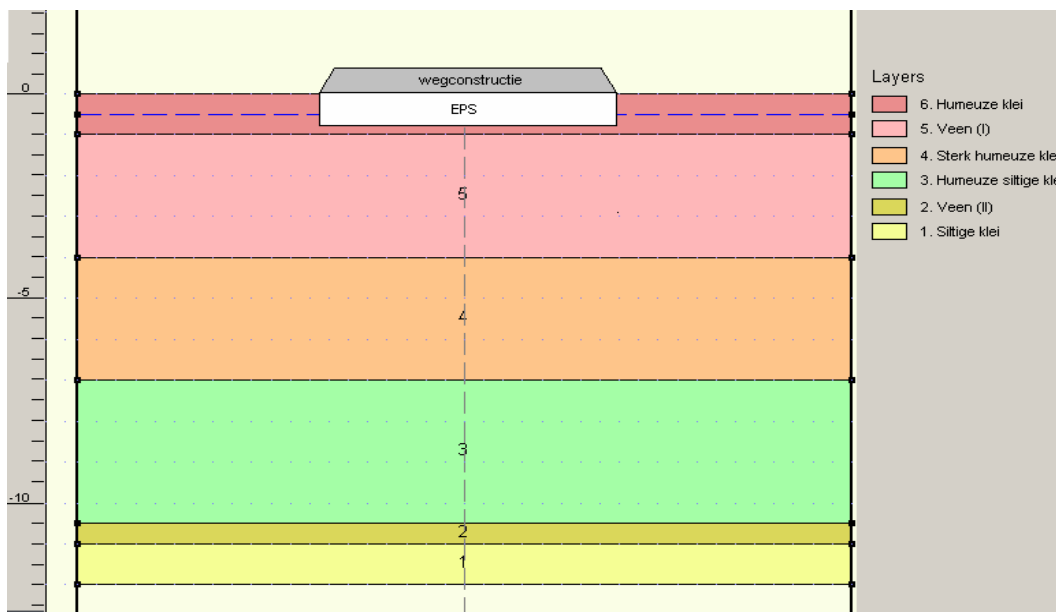
EPS boven het waterpeil

1

Omschrijving

In paragraaf 3.1 zijn twee grondprofielen beschreven. Bij dit onderzoek wordt uitgegaan van profiel 3B. Deze bodem heeft de meest ongunstige eigenschappen; de minst draagkrachtige grondsoorten en de laagste volumieke massa.

Het EPS wordt bij deze variant boven het waterpeil geplaatst, die zich op -0,5 m maaiveld bevindt. De ruimte om het EPS in te construeren is dus beperkt tot 50 cm. Wanneer de laagdikte van het EPS te dun blijkt te zijn om een evenwichtsconstructie te ontwerpen zal toch onder de grondwaterstand gedimensioneerd moeten worden.



Figuur – 3.4

2

Wegconstructie dimensioneren

Hierbij wordt uitgegaan van de gegevens uit paragraaf 3.2.3

Wegconstructie			
Toelichting	Dikte [m]	Vol massa [kN/m ³]	Spanning [kN/m ²]
Asfalt	0,2	24	4,8
Betonggranulaat	0,25	24	6
Zand	0,3	19	5,7
Totaal	0,75		16,5

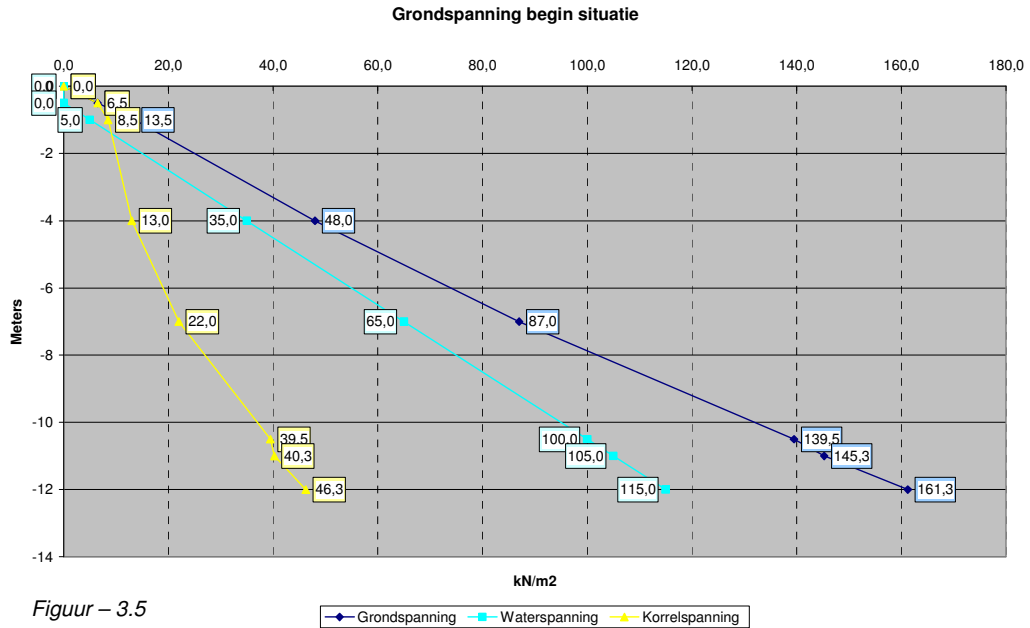
Tabel – 3.3

3

Bepalen oorspronkelijk evenwicht in de bodem

Korrelspanning oorspronkelijke situatie					
Toelichting	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Waterpeil -0,5 m					
Maaiveld	0	0	0,0	0,0	0,0
Humeuze klei (droog)	-0,5	13	6,5	0,0	6,5
Humeuze klei (verzadigd)	-1	14	13,5	5,0	8,5
Veen (kleiig)	-4	11,5	48,0	35,0	13,0
Sterk humeuze klei	-7	13	87,0	65,0	22,0
Humeuze siltige klei	-10,5	15	139,5	100,0	39,5
Veen (kleiig)	-11	11,5	145,3	105,0	40,3
Siltige klei	-12	16	161,3	115,0	46,3

Tabel – 3.4



Figuur – 3.5

4

Berekenen benodigde EPS-laag

Het niveau van de bovenkant van de EPS-laag is eerder bepaald. Door de korrelspanning op dat niveau naast die van de oorspronkelijke situatie te leggen kan berekend worden wat de laagdikte van het EPS moet zijn.

De korrelspanning op maaiveld was oorspronkelijk 0 kN/m^2 en is door het aanbrengen van de wegconstructie $16,5 \text{ kN/m}^2$ geworden. Dit verschil moet door het EPS gecompenseerd worden.

In de eerste laag droge humeuze klei wordt $0,5\text{m} \cdot 13 \text{ kN/m}^3 = 6,5 \text{ kN/m}^2$ gecompenseerd.

Restant wat nog gecompenseerd moet worden: $16,5 \text{ kN/m}^2 - 6,5 \text{ kN/m}^2 = 10,0 \text{ kN/m}^2$

In de tweede laag verzadigde humeuze klei wordt $0,5\text{m} \cdot 14 \text{ kN/m}^3 = 7,0 \text{ kN/m}^2$ gecompenseerd

Restant $10,0 \text{ kN/m}^2 - 7,0 \text{ kN/m}^2 = 3,0 \text{ kN/m}^2$

De resterende $3,0 \text{ kN}$ moet opgevangen worden door een laag welke $11,5 \text{ kN/m}$ compensatie oplevert.

$3,0 \text{ kN/m}^2 / 11,5 \text{ kN/m}^3 = 0,26 \text{ m}$

Dit levert een benodigde EPS-dikte op van $0,5 + 0,5 + 0,26 = 1,26 \text{ m}$

5

Bodemeevenwicht nieuwe situatie

Korrelspanning na aanbrengen EPS					
Toelichting	Geometrie	Vol. massa	Grondspanning	Waterspanning	Korrelspanning
Waterpeil -0,5 m	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
	0,75	0	0,0	0,0	0,0
EPS start	0	22	16,5	0,0	16,5
EPS eind	-1,26	0	16,5	7,6	8,9
Veen (kleiig)	-4	11,5	48,0	35,0	13,0
Sterk humeuze klei	-7	13	87,0	65,0	22,0
Humeuze siltige klei	-10,5	15	139,5	100,0	39,5
Veen (kleiig)	-11	11,5	145,3	105,0	40,3
Siltige klei	-12	16	161,3	115,0	46,3

Tabel – 3.5

De EPS laagdikte voldoet, omdat de korrelspanning dieper in de bodem niet is toegenomen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie.

6

Waterbeleid 21^e Eeuw

Wanneer het waterpeil in deze situatie stijgt, gaat het opdrijvend vermogen van het EPS een rol spelen. Door het waterpeil te verhogen naar +1m boven maaiveld en opnieuw de korrelspanning te berekenen wordt duidelijk of de constructie op zal drijven. Indien de korrelspanning een negatieve waarde krijgt betekent dit in de praktijk dat de constructie opdrijft.

Korrelspanning bij nieuw waterpeil					
Toelichting	Geometrie	Vol. massa	Grondspanning	Waterspanning	Korrelspanning
Waterpeil +1,0 m	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
	0,75	0	2,5	2,5	0,0
EPS start	0	22	19,0	10,0	9,0
EPS eind	-1,26	0	19,0	22,6	-3,6
Veen (kleiig)	-4	11,5	50,5	50,0	0,5
Sterk humeuze klei	-7	13	89,5	80,0	9,5
Humeuze siltige klei	-10,5	15	142,0	115,0	27,0
Veen (kleiig)	-11	11,5	147,8	120,0	27,8
Siltige klei	-12	16	163,8	130,0	33,8

Tabel – 3.6

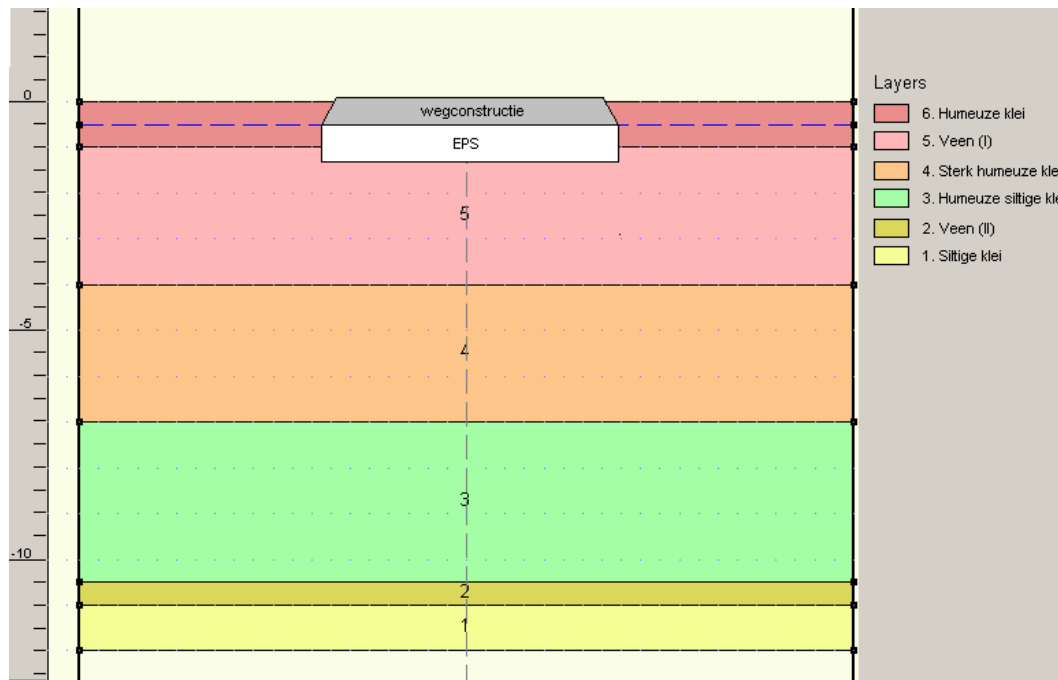
Conclusie: de constructie drijft op!

EPS onder het waterpeil

1

Omschrijving

Het EPS wordt bij deze variant geheel onder het waterpeil geplaatst. Het oprijvend vermogen van het EPS wordt volledig gebruikt.



2

3

Stap 2 en 3 zijn gelijk aan de vorige situatie.

Figuur – 3.6

4

Berekenen benodigde EPS-laag

De berekening van de benodigde laagdikte EPS gaat op een zelfde manier als eerder besproken.

De benodigde EPS-dikte is 0,76 m.

5

Bodemevenwicht nieuwe situatie

Korrelspanning na aanbrengen EPS					
Toelichting	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Waterpeil -0,5 m					
EPS start	0,25	0	0,0	0,0	0,0
EPS eind	-0,5	22	16,5	0,0	16,5
Veen (kleiig)	-1,26	0	16,5	7,6	8,9
Sterk humeuze klei	-4	11,5	48,0	35,0	13,0
Humeuze siltige klei	-7	13	87,0	65,0	22,0
Veen (kleiig)	-10,5	15	139,5	100,0	39,5
Siltige klei	-11	11,5	145,3	105,0	40,3
	-12	16	161,3	115,0	46,3

Tabel – 3.7

6

Waterbeleid 21^e Eeuw

In deze situatie maakt het niet uit of het waterpeil nog verder stijgt. Het opdrijvende vermogen van het EPS wordt al maximaal gebruikt. Binnen het waterbeleid wil men ook gebieden voorbemalen zodat er een buffer is gecreëerd in geval van een aankomende piekafvoer. De waterstand wordt verlaagd tot -1 m maaiveld.

Korrelspanning bij nieuw waterpeil					
Toelichting	Geometrie	Vol. massa	Grondspanning	Waterspanning	Korrelspanning
Waterpeil -1,0 m	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
	0,25	0	0,0	0,0	0,0
EPS start	-0,5	22	16,5	0,0	16,5
EPS eind	-1,26	0	16,5	2,6	13,9
Veen (kleiig)	-4	11,5	48,0	30,0	18,0
Sterk humeuze klei	-7	13	87,0	60,0	27,0
Humeuze siltige klei	-10,5	15	139,5	95,0	44,5
Veen (kleiig)	-11	11,5	145,3	100,0	45,3
Siltige klei	-12	16	161,3	110,0	51,3

Tabel – 3.8

Nu is er een duidelijke toename van de korrelspanning. Een verhoging van de korrelspanning heeft zettingen tot gevolg. Het is echter niet alleen de bodem onder de wegconstructie waar het waterpeil verlaagd wordt, ook het waterpeil in de rest van het gebied wordt verlaagd.

Korrelspanning bij nieuw waterpeil zonder EPS					
Toelichting	Geometrie	Vol. massa	Grondspanning	Waterspanning	Korrelspanning
Waterpeil -1,0 m	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
Maaiveld	0	0	0,0	0,0	0,0
Humeuze klei (droog)	-0,5	22	6,5	0,0	6,5
Humeuze klei (verzadigd)	-1	0	13,5	0,0	13,5
Veen (kleiig)	-4	11,5	48,0	30,0	18,0
Sterk humeuze klei	-7	13	87,0	60,0	27,0
Humeuze siltige klei	-10,5	15	139,5	95,0	44,5
Veen (kleiig)	-11	11,5	145,3	100,0	45,3
Siltige klei	-12	16	161,3	110,0	51,3

Tabel – 3.9

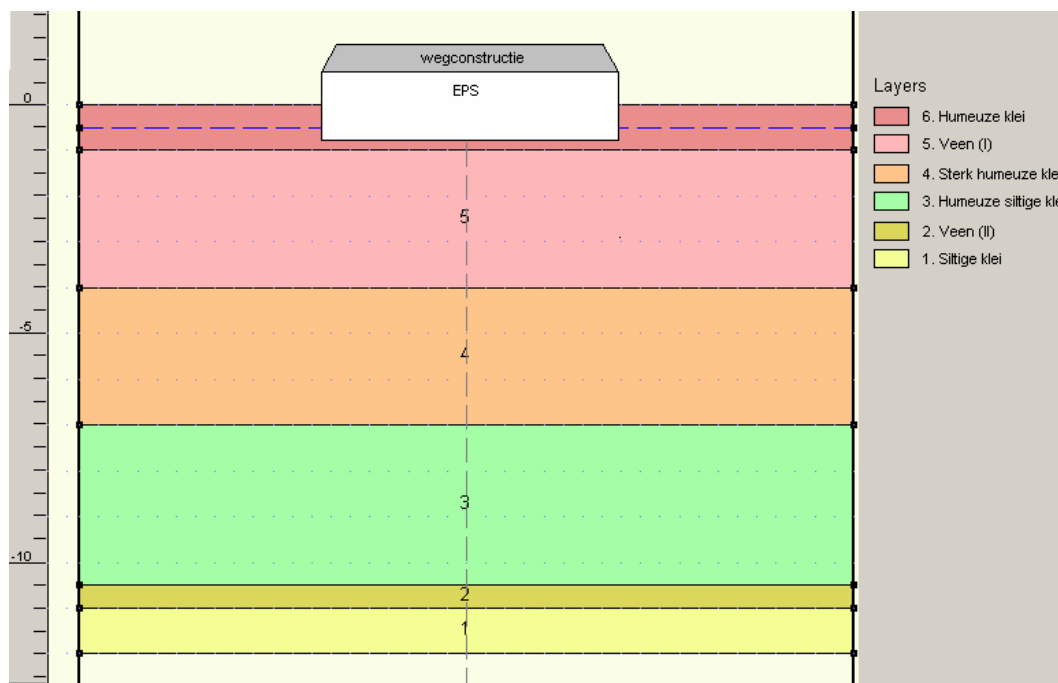
De korrelspanning in de bodem welke zich niet onder de wegconstructie bevindt stijgt gelijk met de korrelspanning onder de wegconstructie. Het gebied langs de weg vertoont dus gelijke zettingen als de weg.

EPS in een ophoging

1

Omschrijving

Het EPS wordt gebruikt als ophoogmiddel voor de constructie. Uitgangspositie is dat het ook een evenwichtsconstructie wordt.



Figuur – 3.7

2

3

Stap 2 en 3 zijn gelijk aan de eerdere situaties.

4

De benodigde EPS-dikte is 1,51 m.

5

Bodemevenwicht nieuwe situatie

Korrelspanning na aanbrengen EPS					
Toelichting	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Waterpeil -0,5 m					
EPS start	1,50	0	0,0	0,0	0,0
EPS eind	0,25	22	16,5	0,0	16,5
EPS eind	-1,26	0	16,5	7,6	8,9
Veen (kleiig)	-4	11,5	48,0	35,0	13,0
Sterk humeuze klei	-7	13	87,0	65,0	22,0
Humeuze siltige klei	-10,5	15	139,5	100,0	39,5
Veen (kleiig)	-11	11,5	145,3	105,0	40,3
Siltige klei	-12	16	161,3	115,0	46,3

Tabel – 3.10

6

Waterbeleid 21^e Eeuw

De waterstand wordt verhoogd naar +1,0 meter maaiveld.

Korrelspanning bij nieuw waterpeil					
Toelichting Waterpeil +1,0 m	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
	1,50	0	0,0	0,0	0,0
EPS start	0,25	22	16,5	2,5	14,0
EPS eind	-1,26	0	16,5	22,6	-6,1
Veen (kleiig)	-4	11,5	48,0	50,0	-2,0
Sterk humeuze klei	-7	13	87,0	80,0	7,0
Humeuze siltige klei	-10,5	15	139,5	115,0	24,5
Veen (kleiig)	-11	11,5	145,3	120,0	25,3
Siltige klei	-12	16	161,3	130,0	31,3

Tabel – 3.11

Als gevolg van de stijging van het waterpeil krijgt het EPS meer opdrijvend vermogen. De korrelspanning wordt negatief en er zal opdrijving plaatsvinden.

3.3.4 Resultaten

In de onderstaande tabel zijn de resultaten van de vorige paragrafen weergegeven.

Onderzoeksresultaten			
	EPS boven waterpeil	EPS onder waterpeil	EPS in ophoging
Hoogte wegconstructie	0,75m	0,75m	0,75m
EPS-dikte	1,26m	0,76m	1,51m
Bovenkant EPS tov maaiveld	0m	-0,5m	0,25m
Onderkant EPS tov maaiveld	-1,26m	-1,26m	-1,26m
Problemen	Opdrijven	Zettingen	Opdrijven

Tabel – 3.12

In de situaties waarbij het EPS boven het waterpeil wordt toegepast heeft de stijgende waterstand toename van het opdrijvend vermogen tot gevolg. De wegconstructie biedt in beide gevallen te weinig weerstand tegen opdrijven.

In het geval waar EPS onder het waterpeil toegepast wordt, zijn geen problemen met opdrijven. Wel heeft het droogvallen van het EPS bij een verlaging van het waterpeil zettingen tot gevolg. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze zettingen niet groter zijn dan de zettingen die in het naast gelegen gebied optreden als gevolg van diezelfde waterpeilverlaging.

3.4 Probleemanalyse

Aan de hand van het onderzoek in paragraaf 3.3 wordt hier getracht het gedrag van het EPS in een wegconstructie bij fluctuerende waterstanden theoretisch te verklaren. Het doel hiervan is het vaststellen van de grenzen waarbinnen het toepassen van EPS geen problemen oplevert.

EPS-aanlegniveau

Wanneer de hiervoor behandelde gevallen nader bekeken worden valt op dat in alle gevallen de onderkant van het EPS op exact dezelfde diepte ligt. Uit nader onderzoek is gebleken dat bij deze wegconstructie en dit bodemprofiel het EPS altijd tot deze diepte aangelegd moet worden.

Deze diepte komt overeen met de diepte in de oorspronkelijke bodem waar een grondspanning heerst die gelijk is aan de massa van de wegconstructie. Dit is als volgt te verklaren: een bepaalde wegconstructie oefent een kracht uit op de ondergrond. Op een laag in een bodem oefenen de bovenliggende lagen ook een druk uit, de grondspanning. Wanneer een aantal lagen uit de bodem weggehaald worden, die dezelfde massa hebben

als de wegconstructie, verandert er voor de ondergelegen laag niets. Het evenwicht in de grond blijft behouden. De waterspanning heeft immers in beide gevallen dezelfde invloed. De diepte, die in het vervolg het EPS-aanlegniveau genoemd zal worden, is wel afhankelijk van de bodemopbouw en de wegconstructie. Wanneer de wegconstructie zwaarder wordt geconstrueerd zal het EPS-aanlegniveau dieper komen te liggen. Er moeten immers meer bodemlagen weggehaald worden om een zelfde massa te bereiken als de massa van de wegconstructie. En wanneer de bodem uit lichtere materialen zal bestaan zal het EPS-aanlegniveau ook dieper komen te liggen. Deze lagen hebben minder massa per laag dus moeten er meer lagen weggehaald worden om tot dezelfde massa te komen als de wegconstructie.

Het EPS-aanlegniveau (A) is de diepte waar de grondspanning in de oorspronkelijke bodem gelijk is aan het eigen gewicht van de constructie.

$$\sigma_{\text{grond}} = \sigma_{\text{weg}}$$

Waarin:

$$\sigma_{\text{weg}} = h_{\text{weg}} * \gamma_{\text{weg}}$$

$$\sigma_{\text{grond}} = h_{\text{grond}} * \gamma_{\text{grond}}$$

h_{weg} = wegconstructiedikte

h_{grond} = laagdikte

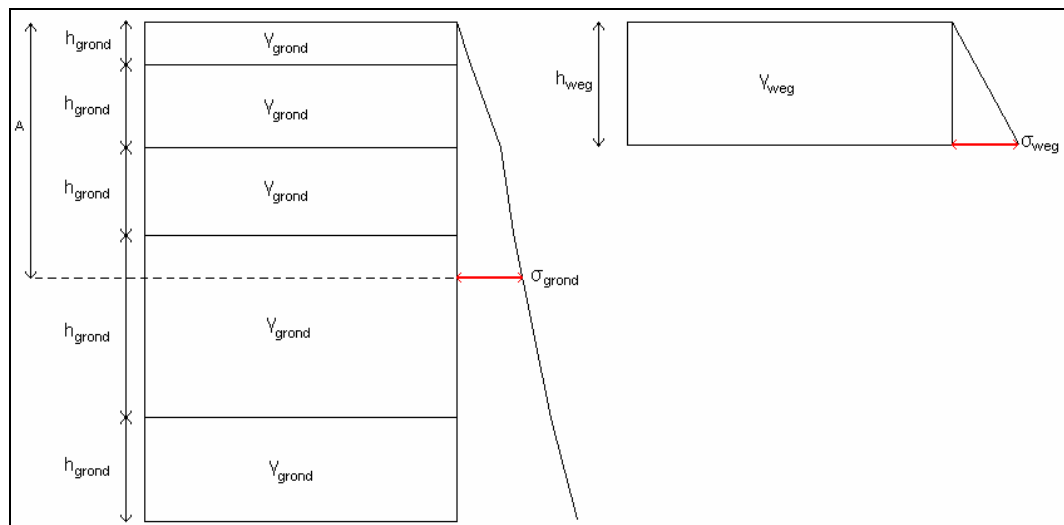
γ_{weg} = volumieke massa wegconstructie

γ_{grond} = volumieke massa grond

Hierbij moet opgemerkt worden dat σ_{grond} per grondlaag berekend moet worden.

$$\text{Nu volgt: } A = \sum_{\sigma_{\text{grond}}}^0 h_{\text{grond}}$$

Bovenstaande vergelijking staat hieronder schematisch weergegeven.



Figuur – 3.8

EPS-dikte

Voor een optimale situatie moet de EPS-laag beginnen op het EPS-aanlegniveau en mag een maximale dikte hebben die wordt begrensd door het oprijvend vermogen van dit materiaal. Wanneer het oprijvend vermogen groter wordt dan het gewicht van de wegconstructie drijft de constructie op. Hierbij moet uitgegaan worden van de ongunstigste situatie:

- De gehele wegconstructie ligt onder het waterniveau, de grondspanning wordt dan verminderd met de waterspanning.
- Het EPS heeft het maximaal oprijvend vermogen.

In de volgende vergelijking wordt de korrelspanning aan de onderkant van het wegdek gelijk gesteld aan het oprijvend vermogen van het EPS.

Beide volgens het principe: grondspanning minus waterspanning is korrelspanning.

$$h_{weg} * \gamma_{weg} - h_{weg} * \gamma_{water} = -(h_{EPS} * \gamma_{EPS} - h_{EPS} * \gamma_{water})$$

Waarin:

h_{weg} = hoogte van de wegconstructie
 γ_{weg} = volumieke massa van de wegconstructie
 γ_{water} = volumieke massa van water $\approx 10 \text{ kN/m}^3$
 h_{EPS} = dikte EPS-laag
 γ_{EPS} = volumieke massa van EPS $\approx 0 \text{ kN/m}^3$

Vereenvoudigd levert dat onderstaande vergelijking op:

$$h_{EPS} = h_{weg} * \left(\frac{\gamma_{weg}}{\gamma_{water}} - 1 \right)$$

Maximaal wegniveau

Het EPS-aanlegniveau is bekend, net als de maximale dikte van de EPS-laag en de dikte van de wegconstructie. Hieronder staat weergegeven hoe de hoogst mogelijke wegniveau bereikt kan worden met een type wegconstructie en een evenwichtsconstructie.

Maximaal wegniveau = EPS-aanlegniveau + maximale EPS-dikte + wegconstructiedikte

Minimaal wegniveau = EPS-aanlegniveau + wegconstructiedikte

Ook in deze situatie blijft het evenwicht in de bodem gehandhaafd. Het eigen gewicht van de constructie heeft in dat geval dezelfde grondspanning tot gevolg als daar oorspronkelijk in de bodem aanwezig was.

Bovenstaande vergelijkingen in formulevorm:

$$A_{weg_{max}} = A + h_{weg} * \left(\frac{\gamma_{weg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) + h_{weg}$$

$$A_{weg_{min}} = A + h_{weg}$$

Waarin:

A_{weg} = wegniveau
 A = EPS-aanlegniveau
 h_{weg} = wegconstructiedikte
 γ_{weg} = volumieke massa van de weg

Opmerkelijk in deze vergelijking is, dat het waterpeil een zeer geringe invloed heeft op het maximaal te bereiken niveau 'bovenkant wegdek'. Enkel het verschil van een grondsoort tussen γ_{grond} en γ_{sat} levert een klein verschil op.

3.5 Conclusies

Uit de vergelijking die in de vorige paragraaf is opgesteld kunnen een aantal dingen geconcludeerd worden:

- De maximale dikte van de EPS-laag is niet afhankelijk van het bodemprofiel.
- De maximale dikte van de EPS-laag is niet afhankelijk van de normale waterstand in een gebied. Maatgevend voor de maximale dikte is de extreme waterstand.
- Het EPS-aanlegniveau is in gebieden met een slecht draagkrachtige grond niet afhankelijk van de waterstand, mits deze in de uitgangssituatie onder maaiveld staat. De γ_{grond} is voor veen en kleigronden namelijk hetzelfde als γ_{sat} .
- Hoe zwaarder de wegconstructie uitgevoerd wordt, hoe dieper het EPS-aanlegniveau zakt, maar hoe dikker de EPS-laag mag zijn.

4 Variantenstudie

In dit hoofdstuk worden eerst de verschillende varianten besproken. Aan het eind van het hoofdstuk worden de besproken varianten vergeleken en wordt een beslismodel opgesteld.

4.1 ***De varianten***

In deze paragraaf worden verschillende constructies besproken die een oplossing bieden voor de in hoofdstuk 2 gevonden problemen. De opbouw van de paragraaf is bij elke variant gelijk. Eerst wordt de constructie omschreven, daarna wordt het probleem beschreven waar de variant een oplossing voor kan bieden. Vervolgens wordt de oplossing uitgewerkt.

De volgende constructies komen aan bod:

- **Aanpassen van de wegconstructie**
Hierbij wordt de wegconstructie dusdanig aangepast, dat een evenwichtsconstructies mogelijk blijft.
- **Gedeeltelijke zetting**
Door de bodem voor te belasten verkrijgt deze meer draagkracht. Er wordt enkel voorbelast tot de voor de evenwichtsconstructie noodzakelijke waarden.
- **Afstandhouders**
Er worden materialen toegepast met een volumieke massa welke ongeveer gelijk is aan die van water. Door deze materialen onder de waterspiegel toe te passen wordt de korrelspanning niet verhoogd.
- **Bescherming tegen opdrijven door geogrid**
Door een geogrid aan te leggen over de EPS-laag heen en deze voldoende te verankeren wordt opdrijven voorkomen indien het waterpeil stijgt.
- **Bescherming tegen opdrijven door trekankers**
Met behulp van trekankers wordt de constructie met EPS tegengehouden als het waterpeil stijgt en het oprijvend vermogen toeneemt.

4.1.1 ***Aanpassen van de wegconstructie***

Omschrijving

De eisen waaraan een wegconstructie moet voldoen komt voort uit de functie die de weg in de gebruiksfase gaat krijgen. Aan een plattelandsweg worden andere eisen gesteld dan aan een autosnelweg. Toch leiden deze eisen niet tot maar één mogelijke constructie. Er zijn verschillende funderingsmaterialen beschikbaar, die allemaal kunnen leiden tot een andere constructiehoogte en volumieke massa van de wegconstructie. Zolang voldaan wordt aan alle gestelde eisen, is dit geen probleem.

Probleem

Het gewenste wegniveau kan niet worden behaald met de huidige wegconstructie en een evenwichtsconstructie.

Oplossing

Het EPS-aanlegniveau en de maximale EPS-dikte zijn direct afhankelijk van de wegconstructie die gekozen is. Bij deze aanpak wordt de wegconstructie als uitgangspunt genomen. Indien blijkt dat het gewenste wegniveau niet gehaald kan worden met deze constructie, kan het een oplossing zijn om de wegconstructie anders te dimensioneren. Om dit te onderzoeken wordt eerst nagegaan hoe het EPS-aanlegniveau en de EPS-dikte afhankelijk zijn van de wegconstructie.

-EPS-dikte

$$h_{\text{EPS}} = h_{\text{weg}} * \left(\frac{\gamma_{\text{weg}}}{\gamma_{\text{water}}} - 1 \right)$$

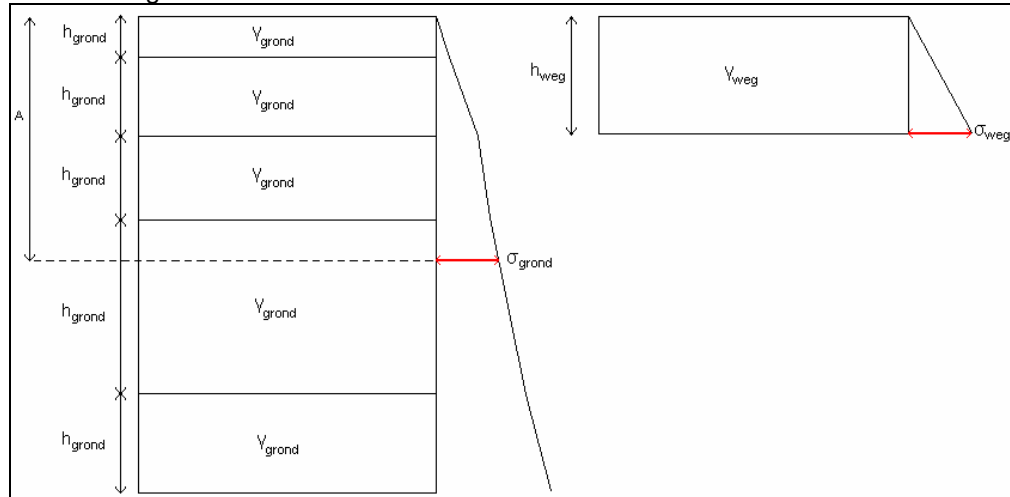
Analyse:

Als h_{weg} groter wordt dan wordt h_{EPS} hoger

Als de wegconstructie dikker wordt uitgevoerd, mag ook de EPS-laag dikker zijn.

Als γ_{weg} groter wordt dan wordt h_{EPS} hoger

Als de wegconstructie een hogere volumieke massa heeft mag de EPS-laag dikker zijn.

-EPS-aanlegniveau

Figuur – 4.1

Als σ_{weg} stijgt neemt A toe, omdat ook de overeenkomende σ_{grond} dieper komt te liggen. De verhouding tussen de stijging van A en die van h_{weg} is gelijk aan die van $y_{\text{grond}} : y_{\text{weg}}$. Als y_{weg} groter is dan y_{grond} zal het EPS-aanlegniveau sneller dalen dan de wegconstructiedikte stijgt. Dit heeft dus een daling van het maximaal bereikbare wegniveau tot gevolg.

Om te bepalen in welke mate deze variant rendabel is, wordt de efficiëntiefactor opgesteld. Hierin wordt de verhouding tussen het vergroten van de wegconstructiedikte en het maximale wegniveau weergegeven.

$$Eff = \gamma_{\text{weg}} * \left(\frac{1}{\gamma_{\text{water}}} - \frac{1}{\gamma_{\text{grond}}} \right)$$

Hierin is:

Eff. = efficiëntiefactor
 y_{weg} = volumieke massa wegconstructie
 y_{grond} = volumieke massa grondlaag
 y_{water} = volumieke massa water

Conclusie

Het dikker en/of zwaarder worden van de wegconstructie heeft dus enerzijds een stijging van de maximale EPS-dikte tot gevolg en anderzijds een daling van het EPS-aanlegniveau. Wanneer de stijging van de EPS-dikte en de wegconstructiedikte groter is dan de daling van het EPS-aanlegniveau resulteert dit in een stijging van het maximale wegniveau.

In formule vorm is dit: $\Delta h_{\text{EPS}} + \Delta h_{\text{weg}} > \Delta A$

Het dieper wegzakken van het EPS-aanlegniveau levert problemen op in de uitvoering als daardoor het bouwen met een cunet niet meer mogelijk is.

4.1.2 Combinatie EPS en gedeeltelijke zetting

Omschrijving

De mate waarin een bodem in staat is om krachten op te nemen is afhankelijk van de bodemopbouw. Veen en klei zijn grondsoorten die extra krachten slecht verdragen, zand is juist erg draagkrachtig. Wanneer de druk op de slecht draagkrachtige grondsoorten vergroot wordt, heeft dit zettingen tot gevolg. Omdat dit een bekend verschijnsel is, wordt de bodem voorbelast voor men begint aan de bouw van de constructie. Wanneer de benodigde zetting behaald is kan begonnen worden met het realiseren van, in dit geval, de weg. De bodem is nu in staat om meer druk op te nemen.

Probleem

Het gewenste wegniveau ligt hoger dan het maximaal haalbare wegniveau dat te bereiken is met enkel een EPS-constructie. Het maximaal te bereiken wegniveau is mede afhankelijk van het EPS-aanlegniveau. Door de bodem voor te belasten kan de grondspanning verhoogd worden en stijgt het EPS-aanlegniveau.

Oplossing

De maximale EPS-dikte en de wegconstructiedikte zijn bekend. De dimensionering van de wegconstructie volgt uit de verkeersbelasting en de vereiste belastingspreidende laag. De EPS-dikte is afhankelijk van de wegconstructie. Uit de vergelijking, die eerder in dit rapport is opgesteld, volgt dat het EPS-aanlegniveau verhoogd moet worden.

Maximaal wegniveau = EPS-aanlegniveau + maximale EPS-dikte + wegconstructiedikte

Ook te schrijven als:

EPS-aanlegniveau = Maximaal wegniveau - wegconstructiedikte - maximale EPS-dikte

Verhogen van het EPS-aanlegniveau

Het EPS-aanlegniveau is de diepte waar de grondspanning in de oorspronkelijke bodem gelijk is aan het eigen gewicht van de constructie. Omdat in deze situatie het EPS-aanlegniveau als uitgangspositie genomen wordt, moeten de bodemeigenschappen in de oorspronkelijke situatie dusdanig veranderen dat de grondspanning op het benodigde EPS-aanlegniveau gelijk wordt aan het eigen gewicht van de constructie.

Een mogelijkheid tot vergroten van de grondspanning is het aanbrengen van een zandpakket. Omdat men bij een evenwichtsconstructie doorgaans te maken heeft met een slecht draagkrachtige bodem, zal het aanbrengen van dit zandpakket zettingen tot gevolg hebben.

In welke mate de grond moet zetten om de vereiste bodemeigenschappen te bereiken, is niet bekend.

Wel bekend zijn de vereiste bodemeigenschappen. Dit zijn het EPS-aanlegniveau en de grondspanning die op dat niveau aanwezig moet zijn, wat gelijk is aan het eigengewicht van de constructie.

De eindsituatie van de zetting is met deze gegevens theoretisch te benaderen. Bekend zijn de gewenste grondspanning op het EPS-aanlegniveau en de materiaaleigenschappen van zand ($\gamma_{\text{grond}} = 17 \text{ kN/m}^2$ en $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^2$)

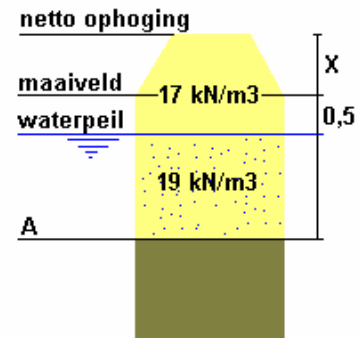
Theoretische benadering eindsituatie				
	Geometrie (m)	Grondsoort	Vol. massa (kN/m ³)	Grondspanning (kN/m ²)
Netto ophoging	X			0
Maaiveld	0	Zand	17	
Waterpeil	-0.5	Zand	17	
EPS-aanlegniveau	A	Zand	19	Eigengewicht wegconstructie (e.g.)

Tabel – 4.1

De netto ophoging kan hieruit berekend worden.

$$X = \frac{e.g. - (-0,5 - A) * 19 - (0 - (-0,5)) * 17}{17}$$

$$X = \frac{e.g. - (-0,5 - A) * 19 - 8,5}{17}$$



Figuur 4.2

Wanneer aan het eind van de zettingperiode dus een netto ophoging van X meter zand tot stand is gekomen, voldoet het nieuwe bodemprofiel aan de gestelde eisen en kan een evenwichtsconstructie aangebracht worden.

Hierbij geldt wel de eis : bruto ophoging $\geq$ netto ophoging – EPS-aanlegniveau.

Als dit niet zo is, klopt de theoretische benaderde eindsituatie van de zetting niet. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat vanaf het EPS-aanlegniveau zand aanwezig is.

De netto ophoging

Doordat de netto ophoging bekend is, kan de bruto ophoging berekend worden. Het berekenen van zettingen in bodems is een zeer complex werk. Er zijn verschillende programma's op de markt die tot zeer nauwkeurige simulaties kunnen komen. (bijvoorbeeld Msettle van Geodelft¹⁷)

Met een zettingsprogramma kan het benodigde zandpakket worden bepaald en de tijd die nodig is om de vereiste netto ophoging te realiseren.

Aanbrengen evenwichtsconstructie

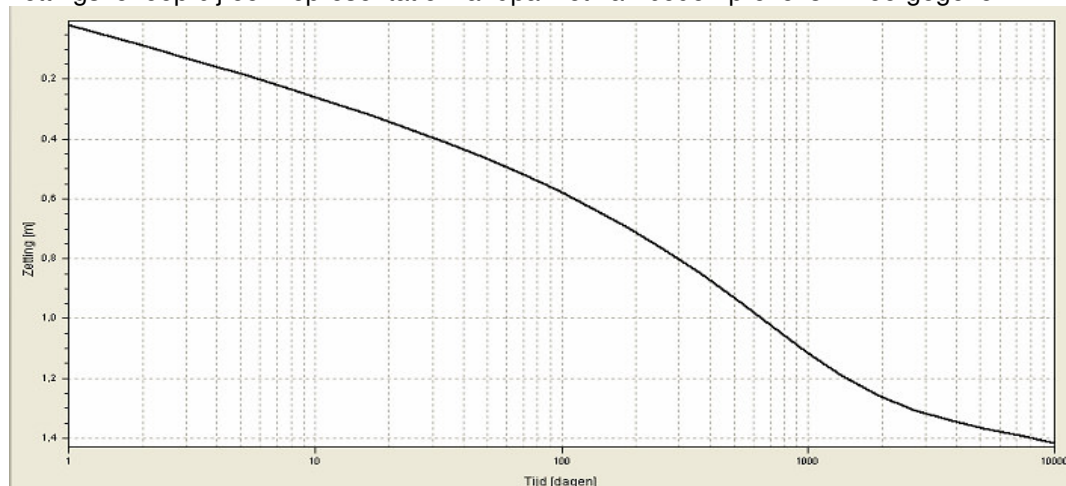
Wanneer de grond is gezet en de benodigde netto ophoging bereikt is kan volgens het gebruikelijke traject de evenwichtsconstructie ontworpen worden.

$$A_{weg\ max} = A + h_{weg} * \left(\frac{\gamma_{weg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) + h_{weg}$$

Het EPS-aanlegniveau is nu dusdanig veranderd dat het maximale wegniveau gelijk is aan de gewenste hoogte.

Versnellen van het zettingsproces

Het proces van zetten heeft in slecht draagkrachtige bodemprofielen veel tijd nodig. Doorgaans wordt gerekend dat na 30 jaar de grond pas volledig gezet is. Hieronder is het zettingsverloop bij een representatief zandpakket van bodemprofiel 3B weergegeven.



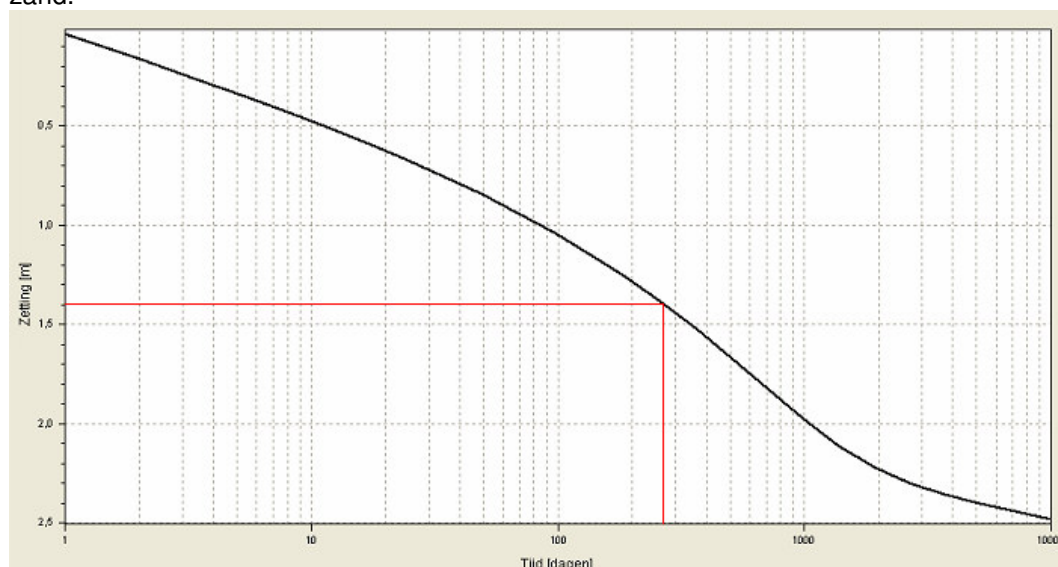
Figuur – 4.3

¹⁷ www.geodelft.nl

Eén van de grootste voordelen van een evenwichtsconstructie met EPS is de bouwtijd die verkort wordt. Doordat bij deze variant een combinatie wordt gemaakt van zetten en een evenwichtsconstructie, wordt de verkorting van de bouwtijd teniet gedaan door de lange tijd die de bodem nodig heeft om te zetten. Om deze variant toch een serieuze optie te laten zijn, moet een methode voor versnelde zetting toegepast worden. Er zijn verschillende methoden beschikbaar om de zettingstijd te verkorten, deze zijn reeds besproken in het vooronderzoek. Om een indicatie te krijgen van de tijdwinst die behaald kan worden, is hieronder de methode van het toepassen van overhoogte weergegeven.

Overhoogte

Er wordt een extra hoeveelheid zand aangebracht, hierdoor wordt de korrelspanning extra vergroot en vindt het zettingsproces sneller plaats. Hieronder is het zettingsverloop weergegeven van dezelfde situatie als figuur 4.3 maar nu met 2 meter overhoogte aan zand.



Figuur – 4.4

Het is duidelijk te zien dat de gewenste zetting, in dit voorbeeld 1,4 meter, eerder wordt bereikt. Na +/- 120 dagen kan het extra zand afgegraven worden en kan de evenwichtsconstructie aangebracht worden.

Voor deze techniek is wel extra zand nodig, wat meer kosten met zich meebrengt.

Conclusie

Het proces van zetten is een veel beproefde techniek. Nadat een nieuw evenwicht in de bodem tot stand is gekomen kan een normale evenwichtsconstructie gebruikt worden om de weg aan te leggen. Als het water stijgt tot het extreme waterpeil dan is de constructie nog steeds in evenwicht en stabiel.

Om het consolidatieproces te versnellen zijn verschillende technieken beschikbaar. Een combinatie tussen verticale drainage en overhoogte kan een aanzienlijke reductie van de bouwtijd op leveren.

4.1.3 Toepassen van afstandhouders

Omschrijving

Een materiaal kan als afstandhouder fungeren wanneer het een volumieke massa heeft die ongeveer gelijk is aan de volumieke massa van water ($\pm 10 \text{ kN/m}^3$). Wanneer deze materialen onder de waterspiegel worden toegepast resulteert dat niet of nauwelijks in een toename van de korrelspanning. Grondspanning minus waterspanning is immers korrelspanning. Als door de constructie een verhoging van de korrelspanning optreedt op een bepaald niveau, kan door afstandhouders te plaatsen toch een evenwicht gecreëerd worden. Om dit te realiseren moeten vanaf het punt waar de verhoogde korrelspanning heerst, tot aan het niveau waar in de oorspronkelijke situatie die korrelspanning heerste,

afstandhouders geplaatst worden. Hierbij geldt wel als eis dat de afstandhouder te allen tijde onder het waterpeil toegepast moet worden. Wanneer de waterspanning weg valt zal de afstandhouder tot een toename van de korrelspanning van 10 kN/m leiden. Voorbeelden van materialen die geschikt zijn als afstandhouder zijn:

- Flugzand ($y_{\text{grond}} = 12,0 \text{ kN/m}^3$; $y_{\text{sat}} = 14,0 \text{ kN/m}^3$)
- Yali-Bims ($y_{\text{grond}} = 11,0 \text{ kN/m}^3$; $y_{\text{sat}} = 12,5 \text{ kN/m}^3$)

In plaats van een lichtgewicht materiaal met een volumieke massa van 10 kN/m^3 kan ook een laag EPS met 40 á 50% holle ruimtes als afstandhouder fungeren. Wanneer het waterpeil stijgt, worden de holle ruimtes gevuld en heeft het totale pakket een volumieke massa die ongeveer gelijk is aan die van water. Wanneer het water zakt, verdwijnt het water uit de holle ruimtes en heeft het pakket enkel de massa van het EPS. Deze techniek heeft wel als consequentie dat het EPS van hogere kwaliteit moet zijn om toch de druk van de bovengelegen constructie aan te kunnen. In de holle ruimtes kan vuil ophopen of kunnen ongedierte nestelen, dit zijn enkele nadelen van deze techniek.

Probleem

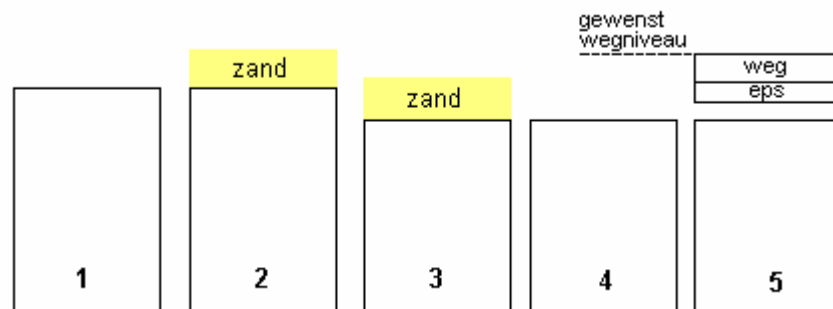
Hieronder zijn twee situaties weergegeven waarin het toepassen van afstandhouders een mogelijkheid is.

Evenwichtsconstructie

Het gewenste wegniveau wordt niet gehaald met enkel een evenwichtsconstructie, ondanks dat de maximale EPS-dikte wordt toegepast. In de wegfundering wordt een laag afstandhouder toegepast, dit kan boven of onder het EPS zijn, zodat het gewenste wegniveau wel kan worden behaald.

Variant gedeeltelijke zetting

Het aanbrengen van het representatief zandpakket heeft meer zetting tot gevolg dan het benodigde EPS-aanlegniveau diep ligt. Er is theoretisch sprake van een zwevende constructie. Hieronder wordt het probleem met behulp van een figuur omschreven.



Figuur – 4.5

1. De oorspronkelijke situatie.
2. Er wordt een zandlaag aangebracht met dezelfde massa als de uiteindelijke wegconstructie.
3. De grond zet als gevolg van het aangebrachte zandpakket.
4. Het zand wordt weer afgegraven.
5. De grond is verder gezet dan het benodigde EPS-aanlegniveau.

Het lijkt voor de hand te liggen om niet het gehele zandpakket af te graven, maar slechts tot het benodigde EPS-aanlegniveau. Het probleem hierbij is echter dat het totale zandpakket overeenkomt met de massa van de wegconstructie. Indien er voor wordt gekozen om een deel van het zandpakket te laten zitten dan zal de belasting in de eindsituatie bestaan uit de wegconstructie + de resterende zandlaag. Dit totale pakket leidt tot een hogere korrelspanning dan waar de grond mee is voorbelast en heeft op die manier extra zettingen tot gevolg.

In plaats van zand kan ook een lichtgewicht funderingsmateriaal toegepast worden tussen de gezette grond en het EPS-aanlegniveau.

Oplossing

Situatie 1

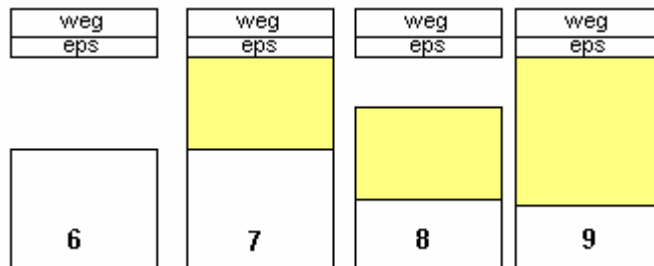
In dit geval wordt op de gebruikelijke wijze een evenwichtsconstructie ontworpen. De afstandhouder moet gezien worden als deel van de wegconstructie. In paragraaf 4.1.1 staat een methode beschreven om de effectiviteit te berekenen van het verdikken van de wegconstructie. Deze methode is ook voor afstandhouders toe te passen.

$$Eff = \gamma_{weg} * \left(\frac{1}{\gamma_{water}} - \frac{1}{\gamma_{grond}} \right)$$

Uit deze formule is af te leiden dat het toepassen van afstandhouder hier geen toegevoegde waarde heeft. γ_{weg} inclusief de laag afstandhouder neemt af, omdat de volumieke massa van de afstandhouder veel lager ligt dan die van de wegconstructie. Dit heeft als gevolg dat de efficiëntiefactor daalt. Het is doeltreffender om de wegconstructie te verdikken met zware materialen, als het wegniveau moet worden verhoogd.

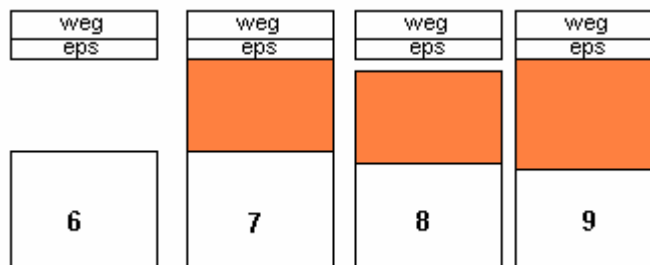
Situatie 2

In deze situatie moet er een ruimte opgevuld worden tussen het gezette maaiveld en het EPS-aanlegniveau. Dit opvullen zal altijd gepaard gaan met een toename van de grondspanning. Vanwege de reeds toegepaste maximale EPS-dikte mag er geen materiaal meer toegepast worden dat opdrijvend vermogen heeft (een volumieke massa kleiner dan 10 kN/m³) enerzijds. Wanneer dit wel zou gebeuren wordt het opdrijvend vermogen van de EPS-laag en de afstandhouder samen groter dan de neerwaartse druk van de wegconstructie. Anderzijds is het voor de onvermijdelijke extra zetting voordelig om een zo licht mogelijk materiaal toe te passen. Hoe lichter het materiaal, hoe minder extra zetting noodzakelijk is. Met behulp van figuur 4.6 wordt dit toegelicht.



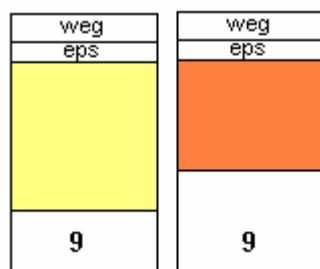
Figuur – 4.6

6. Een uitvergroete situatie van stap 5 in figuur 4.5.
7. De lege ruimte wordt opgevuld met zand.
8. Dit heeft een extra zetting tot gevolg omdat het zand de korrelspanning verhoogt.
9. Stap 7 & 8 moeten net zo lang herhaald worden totdat uiteindelijk het oude maaiveld draagkrachtig genoeg is om de wegconstructie plus het extra opvulzand te dragen.



Figuur – 4.7

In bovenstaand figuur wordt het opvulzand vervangen door een lichtgewicht opvulmateriaal. De zetting als gevolg van het materiaal is kleiner dan bij zand. Het lichtgewicht opvulmateriaal heeft immers een kleinere volumieke massa en leidt zo tot een minder hoge korrelspanning. De bodem hoeft dus minder te zetten. Zie de vergelijking in figuur 4.8.



Figuur – 4.8

Het voordeel hiervan is verkorten van de zettingstijd. Hoe minder de grond moet zetten, hoe sneller dit gerealiseerd kan worden. De optie met lichtgewicht opvulmateriaal is dus tijd-technisch voordeliger.

Conclusie

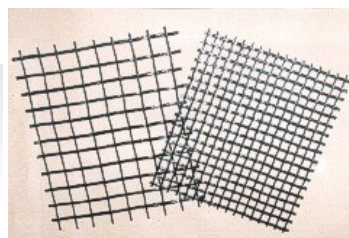
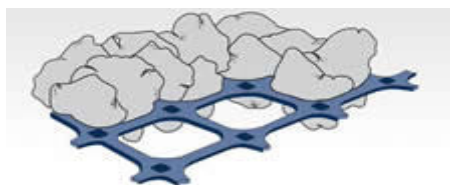
Het toepassen van alleen afstandhouders is niet rendabel. De efficiëntiefactor ligt laag, juist omdat de volumieke massa ongeveer gelijk is aan water.

In combinatie met de techniek van gedeeltelijke zetting kan het toepassen van afstandhouders een aanzienlijke reductie opleveren van de benodigde hoeveelheid zand en de te bereiken eindzetting. Met name dit laatste punt is een groot voordeel. Het proces van zetten gaat langzaam, een kleine reductie van de eindzetting levert een grote verkorting van de bouwtijd op.

4.1.4 Verankering met geogrid

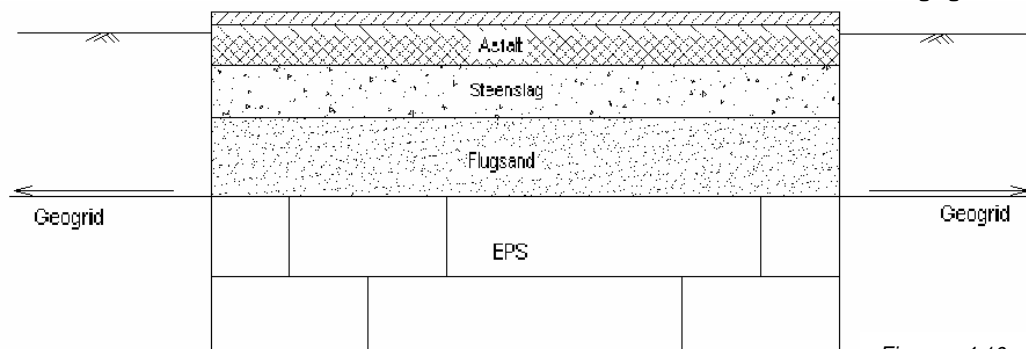
Omschrijving

Een geogrid is een kunststof net. Geweven geogrid wordt meestal gebruikt voor het aanbrengen van een scheiding tussen funderingslaag en ondergrond, maar het is ook toepasbaar tussen funderingslagen met verschillende grondslag. De grondkorrels kunnen, vanwege de open structuur van het geogrid, ook in de mazen van het net gaan zitten. Hierdoor ontstaat er een sterke hechting tussen de grond en het geogrid en dat maakt dit materiaal geschikt voor verankering in de grond.¹⁸



Figuur – 4.9

Indien een constructie binnen de kaders Waterbeleid 21^e Eeuw op kan drijven kan het ook op de plaats worden gehouden met behulp van een geogrid. Door het geogrid over de constructie heen te spannen en voldoende te verankeren, kan het opdrijven ervan voorkomen worden. Een situatieschets van deze constructie is hieronder weergegeven.



Figuur – 4.10

¹⁸ www.tensar.nl

Probleem

De constructie drijft op bij een verhoogde grondwaterstand.

Uitwerking

De lengte van het geogrid kan berekend worden met behulp van de volgende formule:¹⁹

$$L_{aanh} = \frac{F_{r;aanh;d}}{2 * f_{aanh} * \sigma'_{v;d}} * 0,5$$

Hierin is:

- L_{aanh} de lengte waarover krachtsoverdracht plaatsvindt per uitstekende zijde in m.
- $F_{r;aanh;d}$ de rekenwaarde van de aanhechtingskracht in kN/m. Deze waarde moet in de formule gelijk worden gesteld aan de opdrijvende kracht die het geogrid tegen moet gaan.
- De factor 2 vanwege de aanhechting van het geogrid aan de boven- en onderzijde
- De factor 0,5 omdat de kracht per zijde de helft is van de totale kracht die opgenomen moet worden
- f_{aanh} de aanhechtingsfactor
- $\sigma'_{v;d}$ de rekenwaarde van de verticale korrelspanning in kN/m²

De aanhechtingsfactor kan berekend worden met:

$$f_{aanh} = \frac{a' * \tan \phi'_{rep}}{\gamma_m}$$

Hierin is:

- a' een materiaalafhankelijke factor en kan bij een leverancier van geogrid worden opgevraagd
- ϕ'_{rep} de hoek van inwendige wrijving
- γ_m een grondparameter, afhankelijk van de grondsoort

Uit deze formule blijkt, dat de grondspanning die op de diepte van het geogrid heerst, een belangrijke factor is in de verankeringslengte van het geogrid. Dit houdt in, dat de meest gunstige situatie zich voordoet als het geogrid zo diep mogelijk in de grond aangebracht wordt. Op deze manier is de massa van de bovenliggende laag het zwaarst en houdt een groter gewicht het geogrid op zijn plaats.

De opdrijvende kracht van het funderingslichaam is de EPS-laag. Als er voorkomen kan worden, dat deze laag omhoog komt, zullen de bovenliggende funderingslagen ook niet gaan opdrijven. Als er EPS in een fundering wordt toegepast, is het dus het meest praktisch om het geogrid net boven deze EPS-laag te plaatsen. Hierdoor drijft de constructie niet op en het geogrid is zo diep als mogelijk in de bodem geplaatst. Het is dan echter wel mogelijk dat het geogrid, als gevolg van de optredende trekkracht, in het EPS snijdt. Om dit te voorkomen kan het praktischer zijn om het geogrid iets hoger aan te brengen. Door het geogrid in de bovenliggende granulaire laag te plaatsen ontstaat er een betere belastingspreiding van het geogrid naar het EPS.

Het toepassen van een geogrid als verankering tegen opdrijven neemt veel bouwruimte in beslag. Omdat het niet mogelijk is, om het geogrid horizontaal de grond in te persen, moet er buiten het toekomstige wegprofiel uitgegraven worden. Tot de te plaatsen diepte moet de grond worden afgegraven. De afgegraven grond wordt, na het plaatsen van het geogrid, weer terug op het geogrid gestort. Dit houdt in, dat het toepassen van een dergelijke verankering alleen mogelijk is in gebieden waar deze ruimte beschikbaar is zonder dat de omgeving er hinder van ondervindt.

¹⁹ Fugro Ingenieursbureau ; Rapport VARA-gebouw Hilversum steilewand 2 west ; hoofddorp ; 2005

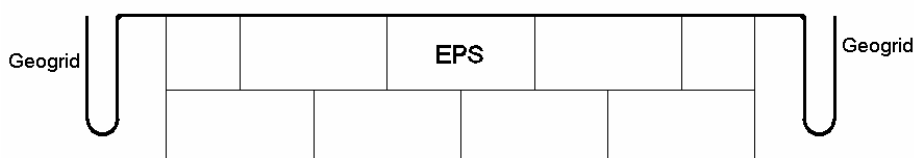
Conclusie

Als het water stijgt tot het maximale waterpeil, drijft een onverankerde constructie in deze situatie op als gevolg van het extra toegepaste EPS. Om dit tegen te gaan kan een verankering met behulp van een geogrid uitkomst bieden. Als de juiste verankeringslengte wordt toegepast, houdt het geogrid de constructie op zijn plaats. Indien er voldoende ruimte beschikbaar is om het geogrid te kunnen plaatsen, is het een goede optie om de optredende problemen op te lossen.

4.1.5 Alternatief geogrid

Omschrijving

Waar een verankering met een geogrid over de EPS-laag een goede oplossing is, is daar niet altijd genoeg ruimte voor. Voorbeelden hiervan zijn wegen in een wooncentrum of wegen die langs water lopen. Als dit het geval is, kan het geogrid ook op een andere manier in de bodem geplaatst worden waarbij het ruimtegebruik in de dwarsrichting afneemt. Hieronder is een schets van deze situatie weergegeven.



Figuur – 4.11

Probleem

De constructie drijft op bij een verhoogde grondwaterstand en er is beperkte ruimte beschikbaar langs de weg.

Uitwerking

Het geogrid wordt weer direct over het EPS geplaatst, waardoor opdrijven wordt voorkomen en de maximale gronddekking op het geogrid aanwezig is. Door het geogrid aan de zijkanten van het EPS in een lus te leggen, hoeft er niet verder naar de zijkant afgegraven te worden en blijft de verankeringslengte voldoende. Om het geogrid op deze manier in een geul aan te brengen, moet er eerst een geul afgegraven worden. Dit kan met behulp van een horizontale drainagemachine. Als de sleuf is gegraven kan het geogrid erin geplaatst worden, waarna de geul moet worden aangevuld met het oorspronkelijke bodemmateriaal. Er is dus geen extra aanvulmateriaal nodig.

Er kan ook voor gekozen worden om het geogrid aan de zijkant van het EPS de grond in te drukken. Hierdoor wordt de grond onder het geogrid weggeperst. Bij deze methode van aanbrengen is er wel extra aanvulmateriaal nodig om het ontstane gat op te vullen.

Een aandachtspunt voor beide verankeringen met behulp van geogrid is de zetting naast de wegconstructie. Indien er direct naast de weg een bovenbelasting op de grond komt, bijvoorbeeld door bebouwing, bestaat de kans dat de grond hierdoor gaat zetten.

Indien de grond gaat zetten naast een wegconstructie die tegen opdrijven is verankerd met behulp van een geogrid, bestaat de kans dat het geogrid de grond in wordt getrokken en er dus een hogere spanning in het geogrid ontstaat. Als gevolg hiervan kunnen er drie dingen gebeuren:

1. De wegconstructie wordt door het geogrid mee de grond in getrokken.
2. Het geogrid verliest de grip op het grondpakket en schuift door de grond, waardoor de wegconstructie wel op de goede plek blijft liggen.
3. Er ontstaat een té grote trekkracht in het geogrid en hierdoor breekt het af.

Conclusie

Van de alternatieve toepassing van het geogrid, is het grote voordeel ten opzichte van de horizontale toepassing, het beperkte ruimtegebruik. Deze methode is met name geschikt voor gebieden waar de ruimte beperkt is. Wel is het een kostbaar alternatief omdat het geogrid dieper in de grond geplaatst moet worden dan de bovenkant van het EPS. Hiervoor zijn óf extra graafwerkzaamheden nodig, óf er is een speciale machine nodig om het geogrid de grond in te persen.

4.1.6 Verankering met trekankers

Omschrijving

Trekankers zijn stalen buizen die de grond in worden gedrukt en aan een constructie bevestigd, met als doel dat de resulterende opwaartse kracht die op deze constructie werkt wordt opgevangen door de ankers. Aan het einde van de stalen buis is een ankerlichaam geplaatst, dat tegendruk moet bieden aan de opwaartse kracht. Hierbij kan worden gedacht aan een kopschot of een groutprop. Vanwege een fluctuerende waterstand is corrosie van de ankerstang een probleem. Dit kan verholpen worden door gebruik te maken van corrosiebestendige middelen, zoals bitumen of een epoxy-coating.

Probleem

De constructie zal gaan opdrijven bij een verhoogde grondwaterstand.

Uitwerking

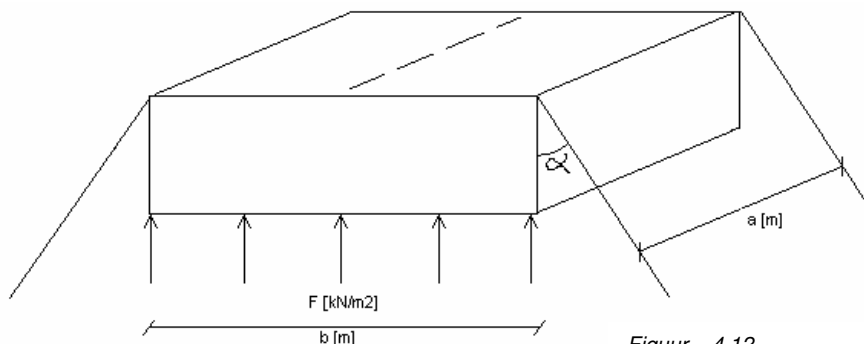
Een mogelijke oplossing tegen opdrijven is het verankeren van de constructie in de ondergrond met behulp van trekankers. Deze ankers houden de constructie op de juiste plek en bieden voldoende weerstand tegen opdrijven. Dit houdt wel in dat, als de waterstand stijgt tot boven maaiveld, de wegconstructie mogelijk onder water komt te liggen. Tijdens het ontwerp van de wegconstructie moet er dus rekening mee gehouden worden in de positionering van het weglichaam t.o.v. maaiveld. Voor het toepassen van trekankers in de bodem kan gebruik worden gemaakt van verschillende soorten ankers. Hierbij kan worden gedacht aan groutankers, leeuwankers, ankers met kopschotten enz. Indien de ankers licht uitgevoerd kunnen worden vanwege een kleine opdrijvende kracht, is het verstandig om voor een gemakkelijke en snelle uitvoering te kiezen wat betreft het trekanker. Als er bij een weg met EPS-fundering voor een bewerkelijk soort trekanker wordt gekozen, valt de verankering namelijk relatief duur uit t.o.v. de wegconstructie. Om deze reden is het toepassen van groutankers aan te raden bij dit soort constructies.

Wel moet er rekening mee worden gehouden dat het plaatsen van een trekanker vooral voordelen biedt in een stevige ondergrond. Indien de trekankers over een gedeelte van de staaflengte door een veen- of slappe kleilaag lopen, wordt de kleef van deze laag niet meegenomen in de trekberekening, en zal de kracht dus geheel door het ankerlichaam (groutprop) moeten worden opgenomen. De reden is dat in deze slappe lagen er een aanzienlijke verplaatsing van het anker moet optreden wil de kleef van deze lagen volledig tot ontwikkeling komen. Bij zand en vaste klei is de verplaatsing die nodig is voor een volledige kleefontwikkeling aan de ankerstaaf zeer gering.

De kracht die deze trekankers op moeten nemen is afhankelijk van de volgende factoren:

- Resulterende opdrijfkracht (F)
- Breedte wegconstructie (b)
- Plaatsingshoek trekankers (α)
- Hart-op-hart afstand van de trekankers (a)

In de figuur hieronder zijn de verschillende variabelen in een figuur weergegeven.



Figuur – 4.12

De kracht die per trekanker opgenomen moet worden, is met de volgende formule te berekenen:

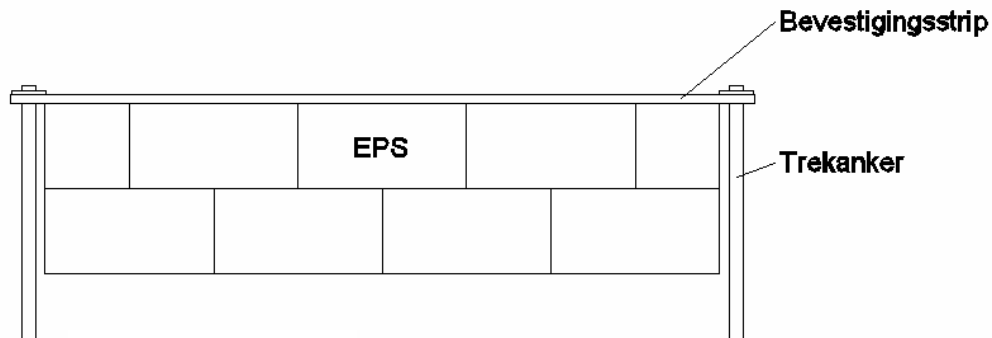
$$F_{anker} = a * \sqrt{\left(\frac{1}{2} * F * b\right)^2 + \left(\frac{1}{2} * F * b * \tan \alpha\right)^2}$$

Dit resulteert in een totale trekkracht per anker die nodig is om te voorkomen dat de constructie zal gaan opdrijven.

Uit deze formule blijkt dat de kleinste kracht op het anker zich voordoet als de plaatsingshoek van het trekanker zo klein mogelijk is. Omdat de kracht die opgenomen moet worden door de trekankers verticaal is, kunnen de ankers de meeste kracht opnemen als deze verticaal in de bodem geplaatst worden. Dit houdt in, dat deze plaatsingshoek met een lichter anker kan worden volstaan, wat economisch aantrekkelijker is.

Voor de trekkracht in de ankers is het mogelijk om de ankers 30 tot 40 meter uit elkaar te plaatsen. Dit zal in de meeste gevallen echter aanzienlijk minder zijn, omdat de opbolling tussen de ankers dan te groot zal worden, met scheuren in het asfalt en verlaagd rijcomfort als gevolg. Ook is het zo dat de EPS-blokken niet goed genoeg met elkaar verbonden zijn om de opdrijvende kracht tussen de ankers op te kunnen nemen. Om deze reden wordt er over de EPS-laag een laag geogrid gelegd, om de constructie als geheel tegen opdrijven te behoeden. Over dit geogrid komen metalen of kunststof strips. Deze strips dienen als bevestigingspunten voor de trekankers (de ankers kunnen immers niet direct aan het EPS bevestigd worden) en als lastspreiders van de trekkrachten op het EPS.

Hieronder is deze constructie schematisch weergegeven.



Figuur – 4.13

Bij de verankeringsmethode met een trekanker bestaat er ook een risico als de omliggende grond gaat zetten, zoals omschreven bij het geogrid. Als dit het geval is, zal door de zetting een grotere druk op het trekanker komen. Als gevolg van de grotere druk op het anker zou de wegconstructie de grond in getrokken kunnen worden of de ankerstaaf wordt losgetrokken van de bevestigingsstrip, waardoor de constructie niet meer bestand is tegen opdrijven.

Conclusie

Indien de ruimte naast het weglichaam beperkt is, vormt een verankering met behulp van een trekanker een mogelijke oplossing. Dit is uitsluitend mogelijk als de trekankers tot in een grondlaag die geschikt is voor verankering aangebracht kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan zand- en kleigronden. De meest ideale plaatsingshoek voor de trekankers is verticaal, omdat er alleen een opwaartse kracht gecompenseerd hoeft te worden. Bij de plaatsing moet gelet worden op de h.o.h. afstand van de trekankers, omdat bij een té grote onderlinge afstand de constructie op kan bollen, met scheurvorming van het asfalt tot gevolg.

4.2 Vergelijking van de varianten

Hier worden de in paragraaf 4.1 besproken varianten overzichtelijk naast elkaar gezet. Alle varianten worden getoetst op duurzaamheid, stabiliteit, bouwtijd, uitvoering, ruimtebeslag, duurzaamheid en kosten. In paragraaf 4.2.2 wordt per variant per criterium besproken hoe tot de beoordeling is gekomen.

4.2.1 Overzicht

In onderstaande tabel worden de varianten met elkaar vergeleken. Hierbij moet opgemerkt worden dat het voor kan komen dat een variant niet in elke situatie toepasbaar is.

Beoordeling varianten	Aanpassen wegconstructie	Gedeeltelijke zetting	Afstandhouders	Geogrid	Ruimtebesparend Geogrid	Trekankers
Zetting	+	-	+	+	+	+
Stabiliteit	+	0	+	0	0	0
Bouwtijd	++	--	0	0	+	0
Uitvoering	+	0	-	-	-	--
Ruimtebeslag	+	0	+	--	-	-
Duurzaamheid	+	-	+	+	+	+
Kosten	++	+	-	-	--	--
Verklaring afkortingen: -- = zeer ongunstig; - = ongunstig; 0 = matig; + = gunstig; ++ = zeer gunstig						

Tabel – 4.2

4.2.2 Beoordeling

Aanpassen wegconstructie

Zettingen (+)

Bij deze variant wordt de wegconstructie dusdanig aangepast dat een gewone evenwichtsconstructie gerealiseerd kan worden. Het evenwicht in de bodem blijft bewaard. De zettingen zijn dan ook minimaal.

Stabiliteit (+)

De constructie is voor zowel het normale peil als het extreme waterpeil in evenwicht. Er zijn geen stabiliteitsproblemen te verwachten.

Bouwtijd (++)

Een van de grote voordelen van een evenwichtsconstructie is de korte bouwtijd. Omdat er bij deze variant volgens de gebruikelijke aanlegmethoden voor evenwichtsconstructies gewerkt wordt, is de bouwtijd beperkt tot enkele weken.

Uitvoering (+)

De uitvoering van deze variant komt overeen met de uitvoering van een gewone evenwichtsconstructie en levert geen grote problemen. Alleen wanneer de aangepaste wegconstructie een hogere resulterende volumieke massa heeft dan de oorspronkelijke wegconstructie, heeft dit tot gevolg dat ook het EPS-aanlegniveau zal dalen. Dit kan qua uitvoering wel tot problemen leiden. Als het cunet te diep wordt kan het noodzakelijk zijn om extra maatregelen te nemen. Zo kan het nodig zijn een bouwkuip te maken zodat de stabiliteit van het cunet vergroot wordt en de overlast door grondwater beperkt blijft. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat, indien deze extra maatregelen noodzakelijk zijn, dit een nadelig effect heeft op de bouwkosten. De andere varianten kunnen in dat geval economisch voordeliger zijn.

Ruimtebeslag (+)

De benodigde ruimte blijft beperkt tot het cunet dat gegraven moet worden.

Duurzaamheid (+)

Bij deze variant wordt enkel gebruik gemaakt van duurzame materialen. Het EPS is nauwelijks aan veroudering onderhevig.

Kosten (++)

Ten opzichte van de andere varianten, waarbij extra maatregelen moeten worden getroffen in de bouwfase of zelfs in de uitvoeringsfase, is dit een goedkope variant. De aanpassing wordt gemaakt in de ontwerpfase. Daarna wordt een normale evenwichtsconstructie aangelegd. Wel moet er, zoals ook al bij het punt uitvoering is besproken, rekening mee worden gehouden dat, indien er een bouwkuip noodzakelijk is, de kosten zullen stijgen en andere varianten een beter alternatief kunnen zijn.

Gedeeltelijke zetting**Zettingen (-)**

De oorspronkelijke bodem heeft te weinig draagkracht op het gewenste EPS-aanlegniveau. Om de draagkracht te verhogen wordt de grond voorbelast. Het evenwicht in de bodem wordt verstoord. Grotendeels herstelt het evenwicht in de bodem zich voor en in de bouwfase, maar ook in de gebruiksfase zal de grond restzettingen vertonen.

Stabiliteit (0)

De wegconstructie kan tijdens de gebruiksfase nog restzettingen vertonen. Omdat deze zettingen niet overal gelijk zullen zijn, kan er scheurvorming optreden in het asfalt.

Bouwtijd (--)

Voordat begonnen kan worden met het aanbrengen van de evenwichtsconstructie moet de bodem voorbelast worden. Het proces van zetten kan versneld worden door het toepassen van verticale drainage of overhoogte. Toch zal de bouwtijd ten opzichte van een traditionele evenwichtsconstructie langer zijn.

Uitvoering (0)

Consolideren is een proces waar veel ervaring mee is, de techniek zelf zorgt dus niet voor problemen op het gebied van uitvoering. Wel moet het mogelijk zijn om de grote benodigde hoeveelheden zand op de bouwplaats te krijgen. Indien de bouwtijd verkort wordt door middel van verticale drainage, moet er een drainsticher aangevoerd kunnen worden.

Ruimtebeslag (0)

Om er zeker van te zijn dat de bodem, op de plaats waar de wegconstructie moet komen, goed en gelijk gezet is, moet het zandlichaam iets breder zijn dan de uiteindelijke weg.

Duurzaamheid (-)

Het evenwicht in de bodem is tijdens de bouwfase verstoord. Grotendeels is dit evenwicht door het zettingproces hersteld, maar tijdens de gebruiksfase zal men altijd te maken hebben met restzettingen. Als de restzetting buiten de tolerantie komt, moet de weg opgehoogd worden. Dit kan niet door een extra laag asfalt aan te brengen. De evenwichtsconstructie is gedimensioneerd op de oorspronkelijke wegconstructie. Als er een nieuwe laag asfalt wordt aangebracht, voldoet de hoeveelheid EPS niet meer en zal er een toename van de korrelspanning plaatsvinden in de bodem. Dit heeft weer zettingen tot gevolg.

De weg met gedeeltelijke zettingconstructie behoeft tijdens de gebruiksfase dus nog aandacht.

Kosten (+)

Zand is een bouwstof die relatief goedkoop is. De benodigde hoeveelheid zand is niet maatgevend in het bouwproces. Wanneer het wenselijk is de zettingtijd te verkorten, door middel van bijvoorbeeld verticale drainage of overhoogte, heeft dit extra kosten tot gevolg.

Afstandhouders

Zettingen (+)

Bij deze variant wordt tussen de wegconstructie en het EPS een laag met afstandhouders toegepast. Deze afstandhouders maken deel uit van de evenwichtsconstructie en het evenwicht in de bodem blijft bewaard. De zettingen zijn dan ook minimaal.

Stabiliteit (+)

De constructie is voor zowel het normale peil als het extreme waterpeil in evenwicht. Er zijn geen stabiliteitsproblemen te verwachten.

Bouwtijd (0)

Een van de grote voordelen van een evenwichtsconstructie is de korte bouwtijd. Omdat er bij deze variant volgens de gebruikelijke aanlegmethoden voor evenwichtsconstructies gewerkt wordt, is de bouwtijd beperkt tot enkele weken.

Uitvoering (-)

Omdat de efficiëntiefactor laag is bij afstandhouders zakt het EPS-aanlegniveau hard, voor een kleine stijging van het maximale wegniveau. Wanneer het wegniveau veel hoger moet zijn dan met de evenwichtsconstructie gehaald kan worden, is er een diep cunet nodig. Hierdoor kan het nodig zijn een bouwkuip aan te brengen voordat met de werkzaamheden kan worden gestart.

Ruimtebeslag (+)

De benodigde ruimte blijft beperkt tot het cunet dat gegraven moet worden en eventueel een bouwkuip.

Duurzaamheid (+)

Bij deze variant wordt enkel gebruik gemaakt van duurzame materialen. Het EPS is nauwelijks aan veroudering onderhevig.

Kosten (-)

Omdat voor een geringe toename van het wegniveau het EPS-aanlegniveau veel zakt, is het in veel situaties noodzakelijk om een bouwkuip aan te brengen. Dit is erg kostbaar.

Verankering met geogrid

Zettingen (+)

Deze constructie is licht uitgevoerd met behulp van een evenwichtsconstructie, waardoor de weg opdrijft als de waterstand verhoogd wordt. Omdat een evenwichtsconstructie gebruikt wordt tijdens het ontwerp van de fundering, zal hier dus ook geen zetting optreden onder de constructie.

Zettingen naast de wegconstructie moeten voorkomen worden, omdat de constructie door de kracht op het geogrid extra kan gaan zetten, of het geogrid scheurt door de grote trekkracht.

Stabiliteit (0)

Bij een constructie die verankerd is met behulp van een geogrid wat over het EPS is gespannen, is de stabiliteit in de normale toestand goed. Omdat het funderings- en weglichaam geconstrueerd is met behulp van de evenwichtsmethode, kan de ondergrond de constructie zonder problemen dragen.

Er moet echter gekeken worden naar de stabiliteit bij een verhoogde grondwaterstand, zoals in het Waterbeleid 21^e Eeuw vermeld staat. Door het verankeren van de constructie met behulp van een geogrid zal de constructie niet op gaan drijven, en is de stabiliteit ook bij een verhoogde grondwaterstand verzekerd. Wel zou het geogrid uit kunnen rekken als gevolg van de trekkracht hierop. Als dit gebeurt, drijft de constructie op (in zeer geringe mate) en is de vlakke ondergrond niet gegarandeerd.

Bouwtijd (0)

Bij deze methode van verankeren is er geen voorbelasting nodig, wat de bouwtijd ten goede komt. Er gaat, ten opzichte van een onverankerde wegconstructie, wel meer bouwtijd aan het plaatsen van het geogrid verloren. Er is een dubbele handeling per locatie nodig, omdat de afgegraven grond, na het plaatsen van het geogrid, weer terug geplaatst moet worden. Door deze handeling is de bouwtijd korter dan wanneer er zetting plaats moet vinden, maar langer dan het plaatsen van een evenwichtsconstructie zonder verankering.

Uitvoering (-)

Het verschil tussen deze methode en een gewone evenwichtsconstructie bij de uitvoering, is het aanbrengen van het geogrid. Aan de zijkanen van de funderingsconstructie moet voldoende werkruimte zijn om de strook grond af te graven die nodig is voor een goede verankering van het geogrid. Er moet voldoende ruimte zijn om de afgegraven grond tijdelijk op te kunnen slaan, totdat het geogrid is geplaatst en de grond terug kan worden gestort. Bij deze methode moet gedacht worden aan de rijplaten langs de constructie voor het benodigde materieel.

Ruimtebeslag (--)

Bij een verankering met behulp van een over het EPS gespannen geogrid moet de grond, die op het geogrid komt te liggen, afgegraven worden omdat het geogrid er niet horizontaal ingeperst kan worden. Hierdoor is er, afgezien van de benodigde ruimte voor de wegconstructie, een brede strook grond nodig om deze constructie te kunnen realiseren.

Ook na de bouwtijd, in de gebruiksfase, mag er bij deze constructie geen bovenbelasting op het aangrenzende terrein komen in verband met te grote krachten op het geogrid.

Duurzaamheid (+)

Omdat het geogrid een kunststof is, treden er geen problemen op met betrekking tot corrosie. De constructie zal niet zinken omdat de grondspanning niet verhoogd wordt, en het geogrid gaat het opdrijven tegen. Er hoeven geen extra onderhoudswerkzaamheden te worden verricht aan de funderingsconstructie, alleen aan de bovenste (asfalt)lagen. Daarom is een verankering met een geogrid duurzaam.

Kosten (-)

Omdat er veel grond afgegraven wordt om het geogrid te kunnen plaatsen, is het een duurdere oplossing dan een gewone evenwichtsconstructie.

Alternatieve verankering met geogrid**Zettingen (+)**

Voor de zettingen van een constructie die verankerd is met een alternatieve geogrid-verankering, gelden dezelfde argumenten als een normale geogrid-verankering.

Stabiliteit (0)

Voor de stabiliteit van deze constructie geldt hetzelfde als een constructie met normale geogrid-verankering.

Bouwtijd (+)

Bij deze methode van het aanbrengen van het geogrid, wordt de bouwtijd aanzienlijk verkort. Het uitrollen van het geogrid en het in de grond plaatsen hiervan, is de extra tijd die bij deze constructie nodig is. Als het de grond in gedrukt kan worden, houdt dat de minimale bouwtijd van deze verankeringsconstructie in. Er moet dan nog wel aanvulmateriaal in de ontstane sleuf worden geplaatst, maar dit kan tegelijk met de aanvulling van de gehele constructie vanaf EPS tot maaiveld.

Als er voor gekozen wordt om een sleuf te graven en vervolgens hier het geogrid in te plaatsen, moet deze sleuf eerst gerealiseerd worden. Dit kan gebeuren met een mobiele kraan, maar met behulp van een horizontale drainagemachine kan dit sneller gerealiseerd worden.

Ook bij deze oplossing tegen opdrijven is voorzettingen van de ondergrond niet nodig.

Uitvoering (-)

Voor de uitvoering van deze constructie geldt hetzelfde als een constructie met normale geogrid-verankering.

Ruimtebeslag (-)

Ten opzichte van een verankering met geogrid, waarbij de grond moet worden afgegraven, neemt deze methode minder ruimte in beslag, omdat de grond niet over de gehele verankeringslengte afgegraven hoeft te worden. Toch is het een nadelig optie voor de benodigde ruimte, omdat er nog steeds ruimte aan de zijkanten van de wegconstructie nodig is om dit uit te voeren.

Duurzaamheid (+)

Ook hier gelden dezelfde argumenten als bij een normale verankering met behulp van een geogrid.

Kosten (--)

De kosten bij deze manier van het toepassen van een geogrid zijn hoger dan het horizontaal leggen van het geogrid. Om het geogrid de grond ingeperst te krijgen is speciaal materieel nodig, waardoor de kosten voor deze manier van verankeren oplopen.

Trekankers**Zettingen (+)**

De constructie is licht geconstrueerd met behulp van een evenwichtsconstructie, waardoor de weg opdrijft als de waterstand verhoogd wordt. Omdat een evenwichtsconstructie gebruikt wordt tijdens het ontwerp van de fundering, treedt er geen zetting op onder de constructie. De korrelspanning direct onder het EPS in de nieuwe situatie is immers even groot als de oorspronkelijke korrelspanning als gevolg van het bovenliggende grondpakket. Zettingen naast de wegconstructie moeten voorkomen worden, omdat er anders wel zettingen van de constructie kunnen ontstaan.

Stabiliteit (0)

De constructie is dusdanig geconstrueerd dat het natuurlijk evenwicht in de bodem gelijk is aan de oorspronkelijke situatie. Dit houdt in dat de bodem de krachten die onder de fundering optreden gemakkelijk kan dragen en de stabiliteit van de weg is in deze situatie goed. Het draait bij deze constructie echter om de stabiliteit die aanwezig is als de grondwaterstand verhoogd wordt, en er gevaar is voor opdrijven. Als dit het geval is, houden de trekankers de constructie op zijn plaats en drijft de weg niet op. Nadelig is wel dat de trekankers een kleine verplaatsing nodig hebben om de volledige kracht op te kunnen nemen, waardoor de constructie (in zeer geringe mate) op zal kunnen drijven. Hierdoor is de stabiliteit niet gewaarborgd.

Bouwtijd (0)

De bouwtijd van deze constructie zal meer bedragen dan een gewone evenwichtsconstructie met een EPS-fundering, omdat het voor de uitvoering van trekankers noodzakelijk is dat er een krachtspreidende laag tegen opdrijven over het EPS geplaatst moet worden. Dit moet over de gehele lengte van de EPS-laag. Hier overheen komen de strips waaraan de trekankers bevestigd kunnen worden. Vervolgens kunnen de trekankers geplaatst worden. Deze handelingen zorgen ervoor dat de bouwtijd langer bedraagt. Daarentegen is er bij deze constructie geen voorbelasting nodig, waardoor het proces van consolideren overgeslagen wordt en direct begonnen kan worden met de aanleg van de funderingslagen.

Uitvoering (--)

Bij een verankering met behulp van trekankers is de plaatsing een aandachtspunt. Voor de funderingsconstructie en het aanbrengen van de verschillende lagen hiervan treden er geen problemen op. Het probleem bij de uitvoering bij deze variant is het aanbrengen van de trekankers. Dit moet machinaal gebeuren en als er geconstrueerd wordt met een dunne laag EPS of een soort EPS met een lagere maximale druksterkte, kan het materieel wat nodig is voor het plaatsen van de ankers niet over de constructie rijden omdat het EPS dan beschadigd wordt. Dit houdt in dat het materieel langs de

wegconstructie moet rijden om de ankers te kunnen plaatsen. Omdat er een slappe bodem aanwezig is in gebieden waar deze constructie toegepast wordt, is het noodzakelijk om rijplaten voor dit materieel langs de constructie te leggen, waardoor de uitvoering gecompliceerder wordt.

Ruimtebeslag (-)

De trekankers kunnen de grond in geboord worden vanaf het EPS-pakket, tenzij het een licht pakket is. Dan moet het materieel vanaf de zijkant van de constructie de ankers plaatsen, waardoor een strook naast de constructie ook gebruikt wordt tijdens de bouwfase. Als het EPS het materieel, wat nodig is om de trekankers te plaatsen, wel zonder problemen kan dragen, is het ruimtebeslag tijdens de bouwfase minimaal.

Indien de trekankers worden toegepast moet er echter wel rekening mee worden gehouden dat er direct naast de weg geen bovenbelasting meer geplaatst mag worden. Hierdoor is er naast de weg een strook waar niet gebouwd mag worden, waardoor het totale ruimtebeslag van deze constructie meer is dan alleen de ruimte die nodig is voor de wegconstructie.

Duurzaamheid (+)

Bij een constructie met trekankers dient er alleen onderhoud gepleegd te worden aan de wegconstructie. De funderingsconstructie is onderhoudsvrij, er treden geen zettingen op en er is geen sprake van opdrijven. Indien de ankers geheel onder de grondwaterspiegel blijven, is er geen probleem. In de zone van het anker waarin de grondwaterstand kan fluctueren, kan roestvorming optreden. Om dit tegen te gaan moeten de ankers omhuld worden met een coating.

Kosten (--)

De extra kosten die extra gemaakt worden ten opzichte van een onverankerde evenwichtsconstructie zijn de kosten voor het geogrid, de bevestigingsstrips voor de ankers en de trekankers zelf, die ook nog een coating moeten krijgen om roestvorming tegen te gaan.

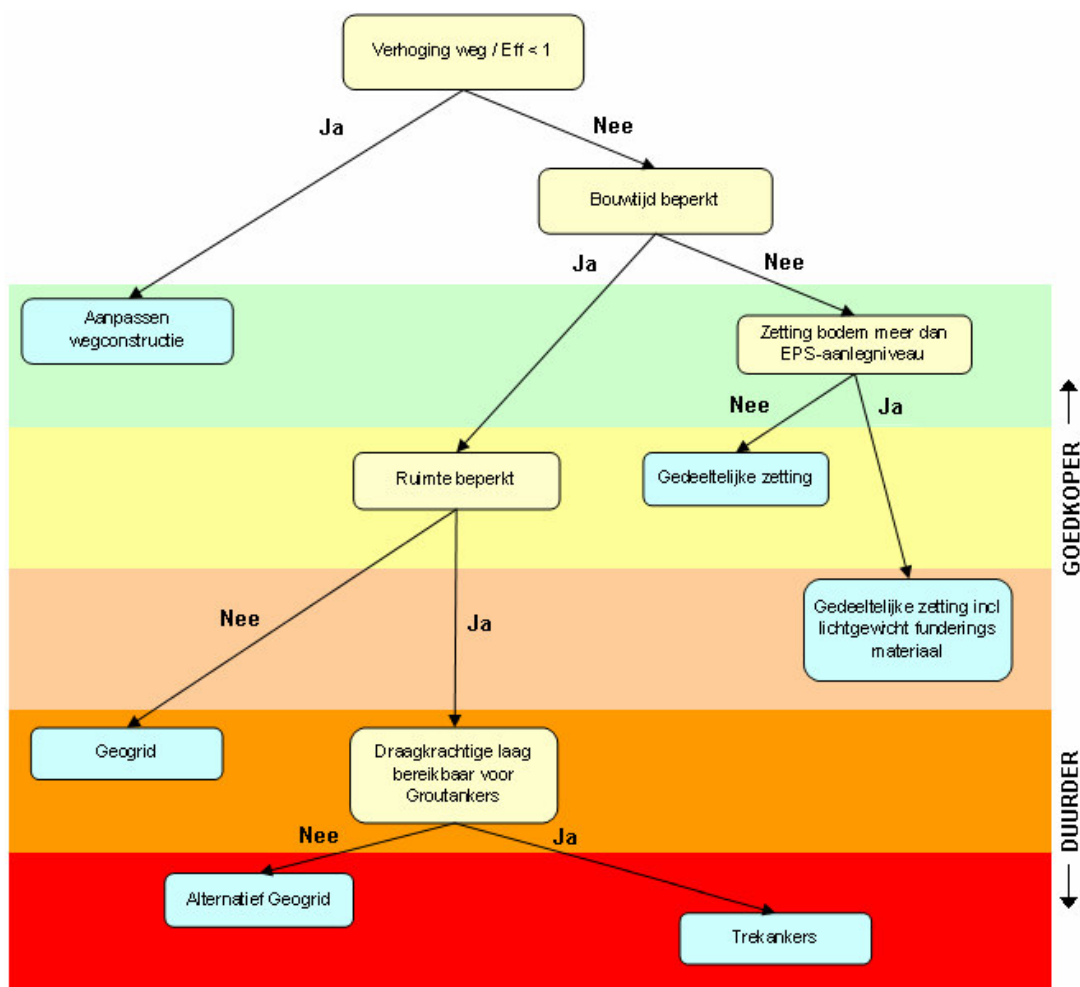
Vanwege deze extra kosten en de relatief hoge prijs van de trekankers in vergelijking met de funderings- en wegconstructie, zijn de kosten een negatief aspect van deze methode.

4.2.3 Beslismodel

In voorgaande paragrafen zijn de kenmerken van de varianten besproken en met elkaar vergeleken. In deze paragraaf wordt een beslismodel opgesteld waarin voor een situatie de beste variant gevonden kan worden. Daarnaast is nog een doel van het beslismodel het inzichtelijk maken van de onderlinge relaties en verschillen tussen de varianten.

Kosten worden als uitgangspunt genomen in dit beslismodel. Er is onderscheid gemaakt in 5 kostenklassen, welke overeenkomen met de beoordeling in het overzicht van paragraaf 4.2.1. Bij het doorlopen van het beslismodel is zo altijd direct te zien wat een bepaalde eis of beperking voor gevolgen heeft voor de kosten.

Het beslismodel is puur indicatief, er is geprobeerd het model zo op te stellen dat voor een bepaalde situatie de beste variant naar voren komt. Het is echter raadzaam om ook naar de omliggende varianten te kijken.



Figuur – 4.14

Als basis voor het beslismodel zijn de varianten doorgerekend voor de in hoofdstuk 2 besproken grondprofielen. Deze berekeningen zijn te vinden in bijlage V. In de volgende paragraaf worden kort de resultaten van deze berekeningen weergegeven.

4.2.4 Berekening voor grondprofiel 2B en 3B

In deze paragraaf worden de eerder besproken varianten doorgerekend voor het grondprofiel 2B en 3B uit paragraaf 3.1

Uitgangssituatie

Er moet in een landelijk gebied een provinciale weg aangelegd worden. Door de waterschappen is het gebied aangewezen als noodwaterbuffer. Tijdens extreme waterafvoeren kan het gebied onder water worden gezet tot maximaal 1 meter boven maaiveld. Omdat het verkeer doorgang moet vinden wordt de weg ook op 1 meter boven maaiveld aangelegd.

Bij de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat de toekomstige weg zal komen te liggen in de bodem met een opbouw zoals de eerder besproken grondprofielen 2b en 3b.

Eisen

Bovenkant wegconstructie	+1 m t.o.v. maaiveld
Normaal waterpeil	-0,5 m t.o.v. maaiveld
Extreem waterpeil	+1 m t.o.v. maaiveld

Tabel – 4.3

Bij het ontwerp van de wegconstructie in de grondprofielen gelden de ontwerpeisen zoals genoemd in paragraaf 3.2. Er wordt een wegbreedte aangehouden van 10 meter.

Resultaten

In onderstaande tabel worden alleen de gegevens weergegeven die voor alle varianten van toepassing waren. Specifieke resultaten staan in tabel 4.

2B	Aanpassen wegconstructie	Gedeeltelijk zetten	Geogrid	Aangepast geogrid	Trekankers
EPS-aanlegniveau	-2,01	-0,65	-1,10	-1,10	-1,10
EPS-dikte	1,34	0,90	1,35	1,35	1,35
Opdrijven	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja

Tabel – 4.4

3B	Aanpassen wegconstructie	Gedeeltelijk zetten	Geogrid	Aangepast geogrid	Trekankers
EPS-aanlegniveau	-4,67	-0,65	-1,26	-1,26	-1,26
EPS-dikte	3,10	0,90	1,51	1,51	1,51
Opdrijven	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja

Tabel – 4.5

	Profiel 2B	Profiel 3B	Eenheid
Zetten			
Hoeveelheid zand	0,87	1,70	[m]
Met afstandhouder	Niet nodig	0,95	[m]
Benodigde afstand	Niet nodig	0,4	[m]

Geogrid			
Resulterende opdrijfkracht	4,5	6,1	[kN/m ²]
Aanhechtingsfactor	0,345	0,263	[-]
Verankeringslengte	1,3	2,9	[m]

Trekanker			
Resulterende opdrijfkracht	4,5	6,1	[kN/m ²]
Plaatsingshoek	0	0	[°]
Ankerkracht vierkantnet (a = 10,7 m)	257,9	348,8	[kN]
Ankerkracht ½ vierkantnet (a = 5,35 m)	128,9	174,4	[kN]
Ankerkracht per meter	24,1	32,6	[kN]

Tabel – 4.6

5 Conclusies

In hoeverre het mogelijk is om een evenwichtsconstructie met EPS toe te passen binnen de kaders van het Waterbeleid 21^e Eeuw is sterk afhankelijk van de eigenschappen van het gebied en het type weg dat gerealiseerd moet worden. Er zijn situaties waarbij het niet mogelijk is zonder extra maatregelen een evenwichtsconstructie met EPS aan te leggen, de constructie zou dan opdrijven of zetten. In dat geval kan er via een 3-stap-strategie naar een mogelijke oplossing worden gezocht.

3-stap-strategie

Bij de gevallen waar een constructie met EPS problemen oplevert binnen de nieuwe kaders van het Waterbeleid 21^e Eeuw kan onderscheid gemaakt worden tussen 3 oplossingscategorieën.

1. De constructie aanpassen
2. De omgeving aanpassen
3. De gevolgen die de omgeving op de constructie heeft tegengaan

Bij varianten in de eerste categorie wordt anders gedimensioneerd zodat gestelde eisen, zoals wegniveau, wel gehaald kunnen worden. Vervolgens wordt een evenwichtsconstructie aangebracht die bij zowel het normale als het extreme waterpeil stabiel is.

Omdat de omgeving/bodem grote invloed heeft op de dimensionering van de evenwichtsconstructie kunnen ook juist deze externe eigenschappen aangepast worden zodat een normale evenwichtsconstructie mogelijk is. Bij een extreme waterstand is de constructie stabiel en in evenwicht.

Wanneer het niet mogelijk is om, door aanpassingen in het ontwerp van de constructie of de bodem waarin de constructie wordt aangelegd, een evenwichtsconstructie aan te leggen die ook bij het extreme waterpeil stabiel is, moeten maatregelen getroffen worden om de constructie toch stabiel te houden.

Varianten combineren

Voor het geval een normale evenwichtsmethode niet mogelijk is, zijn er meerdere varianten die het uiteindelijk toch mogelijk maken om een constructie te dimensioneren waarbij het evenwicht in de bodem behouden wordt. Elke variant heeft specifieke kenmerken die voor de oplossing van het probleem zorgen.

Dit hoeft niet te betekenen dat de uiteindelijke oplossing binnen één variant ligt. Juist door de verschillende technieken met elkaar te combineren kan een efficiënte oplossing ontstaan.

In de 3-stap-strategie zijn de varianten ingedeeld in categorieën. Daarbij is het aanpassen van de constructie het meest gunstig en het tegengaan van de gevolgen het meest ongunstig. Het is dan ook raadzaam om bij het maken van combinaties zoveel mogelijk uit te gaan van categorie 1 en aanvullen met varianten uit de 2 onder gelegen categorieën.

Opdrijvend vermogen

De term opdrijvend vermogen doet onterecht vermoeden dat het materiaal een bepaalde kracht bezit om zichzelf in water naar de oppervlakte te stuw. Het is de aantrekkingskracht van de aarde die deze kracht levert. Materialen met een hogere volumieke massa worden sterker aangetrokken. Omdat water op aarde meestal in vloeibare vorm voorkomt en de capaciteit heeft zich te herschikken worden materialen met een lagere volumieke massa dan water naar de oppervlakte geduwd. (verder van de kern van de aarde af).

Vaak wordt opdrijvend vermogen als iets positiefs gezien bij het dimensioneren van evenwichtsconstructies. Zeker binnen de kaders van het Waterbeleid 21^e Eeuw is dit onterecht.

Uitgaande van een constant waterpeil maakt het niet uit waar het EPS wordt geplaatst ten opzichte van het waterpeil. Het EPS moet de afstand overbruggen tussen onderkant constructie, waar een bepaalde grondspanning heerst, en het niveau waar die grondspanning in de oorspronkelijke bodem aanwezig was.

Wanneer het waterpeil fluctueert en de waterspanning een rol gaat spelen heeft het opdrijvende vermogen een negatief effect. Opdrijvend vermogen kan in die situatie beter omschreven worden als “het vermogen om de korrelspanning te verlagen.” Materiaal met een lagere volumieke massa dan water zal als gevolg van het stijgen van het waterpeil, verlaging van de korrelspanning tot gevolg hebben. De grondspanning stijgt immers minder snel dan de waterspanning.

Indien de afname van de korrelspanning, die het EPS veroorzaakt, groter is dan de aanwezige korrelspanning aan de bovenzijde van de EPS-laag, zal een negatieve waarde voor de korrelspanning gevonden worden. De constructie wordt instabiel en drijft in sommige gevallen zelfs op.

Hoe hoger de EPS-laag in de constructie geplaatst is, hoe lager de korrelspanning aan de bovenzijde van deze laag. Het omslagpunt zit op het niveau als de korrelspanning aan de bovenzijde van de EPS-laag gelijk is aan het vermogen van het materiaal om de korrelspanning af te laten nemen. Het dieper wegstoppen van de EPS-laag is dus gunstig om zo geen instabiliteit te laten ontstaan. Hier staat tegenover dat het voor de uitvoering en bouwkosten erg ongunstig is om diep te construeren. Daarom is het advies om zo dicht mogelijk in de buurt van het omslagpunt te construeren.

6 Aanbevelingen

In hoofdstuk 3 van het rapport is het gedrag van een EPS-fundering bij een fluctuerend waterpeil onderzocht. In sommige situaties is hieruit gebleken dat de constructie opdrijft. Hierbij is uitgegaan van de meest ongunstige situatie; namelijk dat er geen wrijving is tussen de zijkanen van de wegconstructie en de grond, en dat er onder de constructie geen zuig-effecten optreden door de opwaartse beweging. Het is waardevol om hier een studie naar te doen, omdat deze effecten een gunstige bijdrage zouden kunnen leveren aan de uitwerking van een constructie.

Bij de variantenstudie worden mogelijkheden aangedragen om het opdrijven van een constructie tegen te gaan. Geogrid is, in geringe mate, uitrekbaar en een trekanker moet eerst goed op spanning komen voor het de maximale trek kan hebben. Hierdoor is het mogelijk dat, voordat de verankering geheel onder spanning staat, de constructie eerst licht verplaatst. Dit heeft consequenties voor de constructie zowel tijdens dit proces, als wanneer het waterpeil weer daalt en het EPS weer op de grond komt te rusten.

Er wordt geadviseerd om bij verankering met trekankers en geogrid nader onderzoek te doen naar het aangrijpmoment van de verankering en de consequenties die eventuele opdrijving met zich mee brengt.

Referenties

Literatuur

EPS in de GWW-sector ; Stybenex

EPS White Book ; Eumeps Construction ; 2003

Ir. R.W.M. Naus & Ir. M.J. de Ruiter ; Toelichting Augeo-Paalsysteem ; Rapportnummer 99.421; Dura Vermeer NV ; 1999

Ir. M.J. de Ruiter ; Lichtgewicht ophoogmaterialen in de wegenbouw ; Presentatiesheets ; Dura Vermeer NV

Ir. M.J. de Ruiter ; Bouwen op slappe bodem ; Dura Vermeer NV

Construeren met grond ; CUR publicatie 162 ; Stichting CUR; 1992 ; Gouda

Kerende constructies in gewapende grond ; CUR publicatie 198 ; Stichting CUR; 2000 ; Gouda

Dunne asfaltverhardingen: dimensionering en herontwerp ; CROW publicatie 157 ; CROW; 2002 ; Ede

Toepassingsrichtlijn voor EPS in de wegenbouw ; CROW Publicatie 150 ; CROW ; 2000 ; Ede

Handleiding ontwerpen verbreding aardebaan van wegen en spoorwegen ; CROW Publicatie 155 ; CROW ; 2001 ; Ede

Geokunststoffen in de wegenbouw en als grondwapening ; CUR publicatie 175 ; Stichting CUR ; 1995 ; Gouda

Arnold Verruijt ; Grondmechanica ; Technische Universiteit Delft ; 2003 ; Delft

Waterbeleid voor de 21^e Eeuw ; Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw ; 2000

Asfalt in wegen- en waterbouw ; VBW Asfalt ; 2000 ; Breukelen

K.R. Oosterhof ; Plan van Aanpak Aanleg van de Renaissancelaan te Alphen aan de Rijn ; Dura Vermeer Divisie Infra BV ; 2003

Geotechniek I ; Dictaat nr. 281 ; Hogeschool Utrecht

Geotechniek II ; Dictaat nr. 282 ; Hogeschool Utrecht

Geotechniek II Werkboek ; Dictaat nr. 273 ; Hogeschool Utrecht

Grondmechanica Funderingstechniek I ; Dictaat nr. 235 ; Hogeschool Utrecht

Waterkeringen ; Dictaat nr. 241 ; Hogeschool Utrecht

Ir. I.W. Nortier & Ir. P. De Koning ; Toegepaste Vloeistofmechanica ; Educatieve Partners Nederland BV ; 1996 ; Houten

Funderingswapeningen ; Tensar International

Engineering with Geosynthetics ; Huesker

Gemeentewerken Rotterdam ; Verhardingsadvies Reconstructie Kadijkselaan te Bergambacht ; 2000

Fugro Ingenieursbureau ; Rapport VARA-gebouw Hilversum steile wand 2 west ; Hoofddorp ; 2005

Multimedia

De IFCO Methode ; CD-ROM ; Dura Vermeer NV

Internet

IFCO methode ; www.ifco.nl

IFCO methode ; www.ifco-methode.nl

Schuimbeton ; www.schuimbetoninfo.nl

Software om zettingen te berekenen ; www.geodelft.nl

Vereniging van fabrikanten van EPS-bouwproducten ; www.stybenex.nl

Producent EPS ; www.unidek.nl

Bodem opbouw Nederland ; www.bodemdata.nl

Producent geoproducten in de GWW-sector ; www.ockels-geoprodukten.nl

Producent geogrid ; www.tensar.nl

Overzicht van de leveranciers van alle funderingstechnieken ; www.funderen.nl

Prijzen bouwproducten ; www.bouwkostenonline.nl

Spijkerbed-methode ; www.spijkerbed.nl

Personen

Ir. R.W.M. (Robert) Naus – Dura Vermeer Infrastructuur Advies & Ontwikkeling

Ir. M.J. (Marc) de Ruiter – Dura Vermeer Infrastructuur Advies & Ontwikkeling

Ir. S.B. (Steven) de Boer – Dura Vermeer Business Development

Ir. L.A.M. (Laurens) Smal – Dura Vermeer Infrastructuur

Ir. R.S. (Rajesj) Sukhrai – Advin Noordwest

Ing. H.C. (Henk) Slappendel – Dura Vermeer Infrastructuur



Bijlagen

EPS-fundering voor infrastructuur

Toepasbaarheid bij fluctuerende waterstand

Danny Boogert
Stefan Leenaars

Inhoudsopgave

BIJLAGE I BEGRIPPEN- EN SYMBOLENLIJST	3
BIJLAGE II BOORKERN KADIKSELAAN	6
BIJLAGE III GRONDPROFIELEN 2B EN 3B	8
BIJLAGE IV RONA-DWARSPROFIEL	11
BIJLAGE V BEREKENING VARIANTEN VOOR GRONDPROFIELEN 2B EN 3B.....	13
BIJLAGE VI RAPPORTEN MSETTLE	27
BIJLAGE VII PROJECTADMINISTRATIE.....	32

Bijlage I

Begrippen- en symbolenlijst

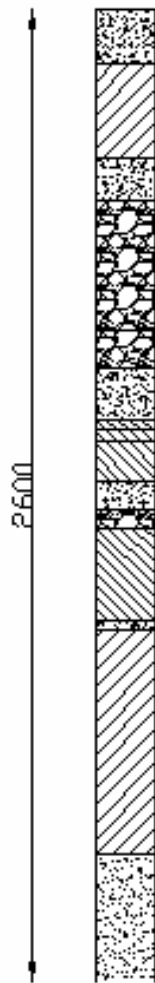
Begrip	Omschrijving
Aardebaan	Funderingslaag onder de wegconstructie
Afschuifvlak	Het vlak waarlangs een grondlichaam afschuift
Afstandhouders	Materialen met een volumieke massa gelijk aan water
Boezemland	Niet ingepolderd land dat zonder bemaling zijn afwatering op een boezem heeft
Boorkern	Een uit het asfalt geboorde cilinder (verticaal)
Bouwfase	De tijd waarin een constructie gebouwd wordt
Bouwtijd	De tijd die nodig is om het werk uit te voeren
Bovenstrooms	Stroomopwaarts
Consolidatie	Het proces van zetten van de bodem
Drain	Materiaal dat waterdoorlatend is, maar geen grond doorlaat. Hierdoor kan water aan de grond onttrokken worden
Drainstitcher	Machine die verticale drains in de grond plaatst
Duurzaam(heid)	De mate waarin een constructie nog voldoet over een lange tijdspanne
Eindzetting	De zetting van een constructie na 30 jaar na oplevering
Epoxy coating	Bescherm laag om metalen tegen roestvorming te beschermen
EPS	Geëxpandeerd Polystyreen, beter bekend als piepschuim
EPS Aanlegniveau	De onderkant van de laag EPS t.o.v. maaiveld
Evenwichtsmethode	Methode van uitvoeren gebaseerd op het behoud van evenwicht in de bodem
Freatisch vlak	Waterpeil
Gebruiksfase	De fase na oplevering van een kunstwerk; als deze in gebruik wordt genomen
Geogrid	Een kunststof net met een hoge treksterkte; voornamelijk gebruikt als grondverankering
Grindkoffer	Waterdoorlatend grindlichaam
Grondspanning	Spanning in de grond
Grondwal	Lange heuvel van grond
Groutankers	Trekanker dat zijn kracht ontleent aan een groutprop
Groutprop	Een in de grond gespoten mengsel van cement en water, wat uithardt tot een hechtende prop
GWW	Grond-, Weg- en Waterbouw
Hoek van inwendige wrijving	Materiaaleigenschap van een grondsoort met betrekking op wrijving
Horizontale drainagemachine	Machine om sleuven te graven om de horizontale drainage in te plaatsen
HWA	Hemel Water Afvoer
Korrelspanning	Spanning tussen de grondkorrels (= grondspanning – waterspanning)
Kramplaatjes	Kunststof plaatjes die tussen verschillende lagen EPS worden geplaatst om te voorkomen dat deze lagen gaan schuiven
Leeuwankers	Een geschroefde ankerpaal, bestaande uit prefab elementen
Molgoot	Goot naast een wegconstructie, bedoeld om hemelwater af te voeren naar de kolken
Monitoring	Systeem om een bepaald proces controleren
NAP	Normaal Amsterdams Peil; ijkpunt voor waterstanden
Natuurlijk talud	De natuurlijke hoek waaronder het materiaal zich ophoopt
Opdrijfvermogen	De mogelijkheid dat een constructie omhoog komt als gevolg van opwaartse waterdruk
Overhoogte	Een ophoging aangebracht op maaiveld om belasting op de bodem te creëren
Restzetting	De zetting van een constructie tijdens de bouwfase
Retentiegebied	Gebieden die ingericht zijn om bij hoog water als noodwaterbuffer te dienen
Schuifsterkte	De mate waarin een constructie bestand is tegen schuifspanningen
Schuimbeton	Lichtgewicht beton door toepassing van schuimmiddelen
Stabiliteit	Vastheid van evenwicht
Straatkolk	Straatput die dient om regenwater af te voeren
Talud	Helling / glooiing
Verhardingsconstructie	Asfaltlaag / lagen
Verkeersklasse	Een maat om aan te geven hoe zwaar de weg belast zal worden
Voorbelasting	Een belasting op het maaiveld aanbrengen, bijvoorbeeld d.m.v. overhoogte
Wadi	Tijdelijke waterbuffer
Waterpeil	Hoogte van het water
Waterspanning	Spanning in de grond als gevolg van waterdruk
Wegconstructiehoogte	Dikte van de wegconstructie

Wegniveau	Niveau bovenkant wegdek
Zakbaak	Een vast punt op het maaiveld waarmee de zetting gemeten kan worden
Zandscherm	Een verticaal, in de grond aangebracht scherm van zand
Zetting	Daling van het maaiveld als gevolg van verhoging van de korrelspanning

Symbol	Omschrijving	Eenheid
A	EPS-aanlegniveau	[m]
a'	Materiaalfactor	[-]
A _{weg}	Wegniveau	[m]
A _{weg,max}	Maximale wegniveau	[m]
A _{weg,min}	Minimale wegniveau	[m]
C _p	Primaire samendrukkingscoëfficiënt onder (lager dan) de grensspanning (Koppejan)	[-]
C _p '	Primaire samendrukkingscoëfficiënt boven (hoger dan) de grensspanning (Koppejan)	[-]
C _s	Secundaire samendrukkingscoëfficiënt onder (lager dan) de grensspanning (Koppejan)	[-]
C _s '	Secundair samendrukkingscoëfficiënt boven (hoger dan) de grensspanning (Koppejan)	[-]
C _v	Consolidatiecoëfficiënt	[m ² /s]
Eff.	Efficiëntiefactor	[-]
f _{aaanh}	Aanhechttingsfactor	[-]
F _{r,aaanh;d}	Aanhechttingskracht	[kN/m]
h _{EPS}	Dikte EPS-laag	[m]
h _{grond}	Dikte van de grondlaag	[m]
h _{weg}	Wegconstructiedikte	[m]
L _{aaanh}	Verankeringslengte	[m]
W	Watergehalte	[%]
Δ	Toe- of afname	[-]
σ' _{v,d}	Rekenwaarde van de verticale korrelspanning	[kN/m ²]
σ _{grond}	Grondspanning	[kN/m ²]
σ _{korrel}	Korrelspanning	[kN/m ²]
σ _{water}	Waterspanning	[kN/m ²]
σ _{weg}	Aanwezige grondspanning onder de wegconstructie	[kN/m ²]
φ' _{rep}	Hoek van inwendige wrijving	[°]
γ _{EPS}	Volumieke massa van EPS	[kN/m ³]
γ _{grond}	Volumieke massa van grond boven het waterpeil	[kN/m ³]
γ _m	Grondparameter	[-]
γ _{sat}	Volumieke massa van met water verzadigde grond	[kN/m ³]
γ _{water}	Volumieke massa van water	[kN/m ³]
γ _{weg}	Volumieke massa van de weg	[kN/m ³]

Bijlage II

Boorkern Kadijkselaan



Opbouw van boven naar onder:

- 150 mm steenslagasfaltbeton;
- 250 mm lavahoudend puin;
- 110 mm steenslagasfaltbeton;
- 350 mm hoogovenslakken c.q. schuimslakken;
- 100 mm hoogovenslakken;
- 135 mm steenslagasfaltbeton;
- 30 mm dicht asfaltbeton;
- 30 mm open asfaltbeton;
- 105 mm dicht asfaltbeton;
- 75 mm steenslagasfaltbeton;
- 50 mm hoogovenslakken;
- 250 mm schrale beton;
- 25 mm dicht asfaltbeton;
- 600 mm puin;
- Zandaanvulling tot 2,60 m onder maaiveld.

Figuur - II.1

Bijlage III

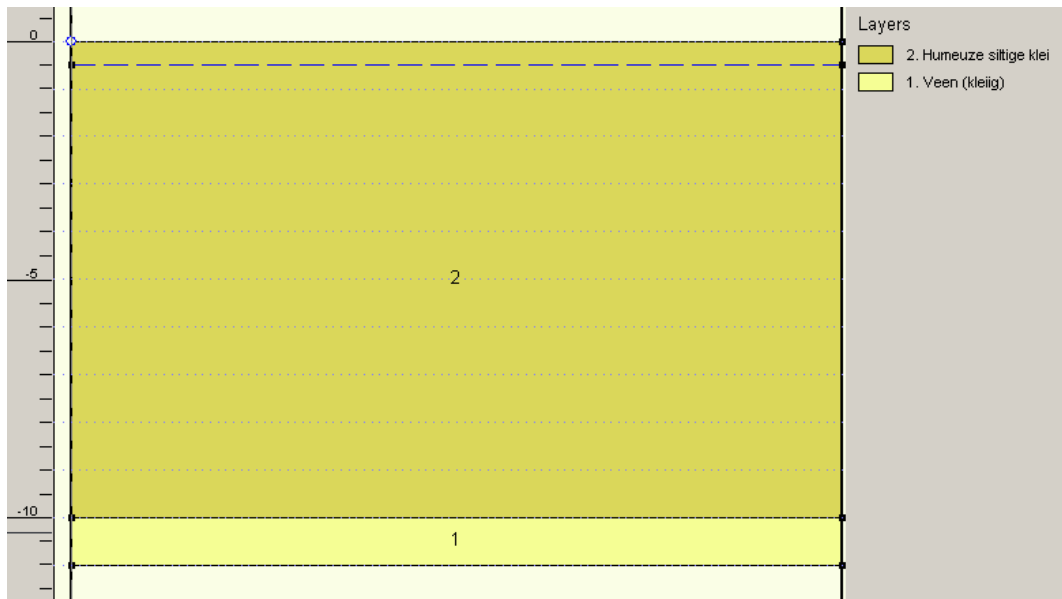
Grondprofielen

Bron:

Handleiding ontwerpen verbreding aardebaan van wegen en spoorwegen ; CROW
Publicatie 155 ; CROW ; 2001 ; Ede; blz 119-120

Gegevens bodemprofiel 2B Zeekleigebied								
Toelichting	Geometrie [m]	W [%]	V_{sat} [kN/m ³]	C_p [-]	$C_{p'}$ [-]	C_s [-]	$C_{s'}$ [-]	C_v [m ² /s]
Humeuze siltige klei	0 tot -10	75	15	30,0	13,0	110	50	$7,0 \cdot 10^{-8}$
Veen (kleilig)	-10 tot -11	250	11,5	20,0	6,0	60	25	$5,0 \cdot 10^{-8}$

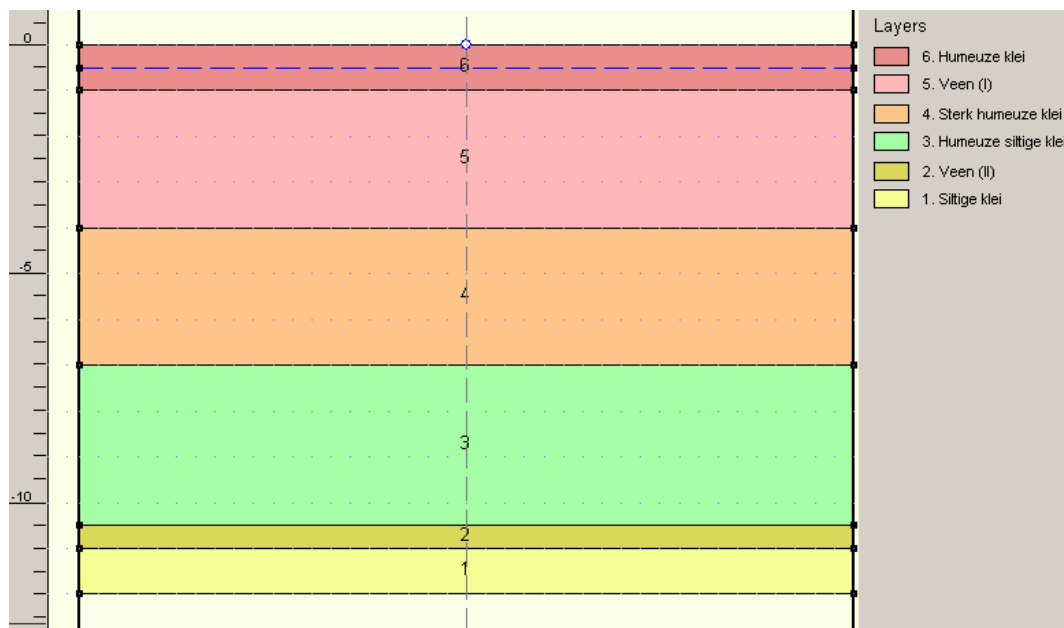
Tabel - III.1



Figuur - III.1

Gegevens bodemprofiel 3B <i>Rivierkleigebied</i>								
Toelichting	Geometrie [m]	W [%]	y_{sat} [kN/m ³]	C_p [-]	$C_{p'}$ [-]	C_s [-]	$C_{s'}$ [-]	C_v [m ² /s]
Humeuze klei	0 tot -1	100	14	25,0	10,0	90	35	$1,0 \cdot 10^{-8}$
Veen (kleiig)	-1 tot -4	250	11,5	20,0	6,0	60	25	$7,0 \cdot 10^{-8}$
Sterk humeuze klei	-4 tot -7	175	13	22,0	8,0	80	30	$5,0 \cdot 10^{-8}$
Humeuze siltige klei	-7 tot -10,5	75	15	30,0	13,0	110	50	$1,0 \cdot 10^{-8}$
Veen (kleiig)	-10,5 tot -11	250	11,5	20,0	6,0	60	25	$2,0 \cdot 10^{-8}$
Siltige klei	-11 tot -12	50	16	45,0	20,0	175	75	$1,0 \cdot 10^{-9}$

Tabel - III.2



Figuur - III.2

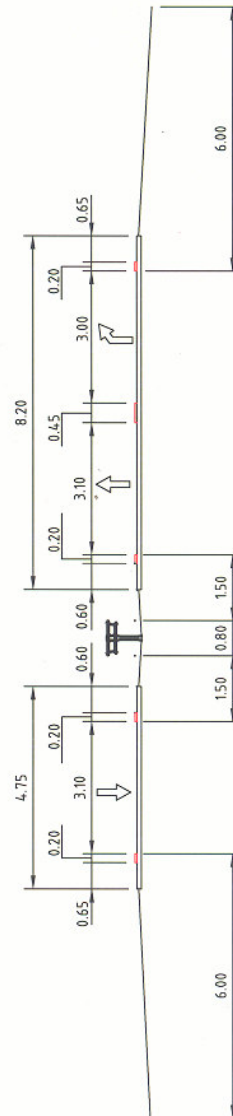
Bijlage IV

RONA (Richtlijnen Ontwerp Niet- Autosnelwegen) dwarsprofiel

Stroomweg type 2 (regionaal) 2x1 (100 km/h)

versie jan. 2005

Nieuwbouw normaal profiel



Op stroomwegen altijd "harde" rijbaanscheiding (geleiderail) toepassen.

Op strooimweg 2x1 kan geen regime 80 km/h toegepast worden en de weg wordt dus automatisch Gebiedsontsluitingsweg.

blad 4

Markering:
Kantstrepen getrokken 0.20m
Deelstrepen 3-9 0.15m

Figuur - IV.1

Bijlage V

Voorbeeldberekening voor bodemprofiel 2B en 3B

V Uitwerking bodemprofielen

Uitgangssituatie:

Er moet in een landelijk gebied een provinciale weg aangelegd worden. Door de waterschappen is het gebied aangewezen als noodwaterbuffer. Tijdens extreme waterafvoeren kan het gebied onder water worden gezet tot maximaal 1 meter boven maaiveld. Omdat het verkeer doorgang moet blijven vinden, wordt de weg ook op 1 meter boven maaiveld aangelegd.

Eisen:

Bovenkant wegconstructie	+1 m t.o.v. maaiveld
Normaal waterpeil	-0,5 m t.o.v. maaiveld
Extreem waterpeil	+1 m t.o.v. maaiveld

Tabel - V.1

Alle varianten worden voor de grondprofielen 2B en 3B doorgerekend.

V.1 Bodemprofiel 2B

Bepalen of normale evenwichtsconstructie mogelijk is

De wegconstructie en het bodemprofiel zijn bekend. De maximale wegconstructiehoogte kan bepaald worden volgens de eerder behandelde methode in het rapport, paragraaf 3.4.

$$A_{weg\ max} = A + h_{weg} * \left(\frac{\gamma_{weg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) + h_{weg}$$

$$\begin{aligned} A &= 1,26 \text{ m} \\ h_{weg} &= 0,75 \text{ m} \\ \gamma_{weg} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{water} &= 10 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$A_{weg\ max} = -1,1 + 0,90 + 0,75 = 0,55 \text{ m}$$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de gewenste hoogte van bovenkant wegdek niet gehaald kan worden met de evenwichtsconstructie alleen.

Variant Wegconstructie

Met behulp van de efficiëntiefactor wordt bepaald hoeveel de wegconstructie dikker moet worden uitgevoerd om een evenwichtsconstructie te kunnen realiseren.

$$Eff = \gamma_{weg} * \left(\frac{1}{\gamma_{water}} - \frac{1}{\gamma_{grond}} \right)$$

$$Eff = 0,73$$

De gewenste verhoging van het maximale wegniveau: $1,0 - 0,55 = 0,45 \text{ m}$

Benodigde verdikking van de wegconstructie: $0,45 / 0,73 = 0,62 \text{ m}$

De EPS-aanlegdiepte wordt in de nieuwe situatie -2,01 m t.o.v. maaiveld. Dit is 90 centimeter dieper dan bij de normale evenwichtssituatie.

Variant evenwichtsconstructie + zettingBepalen benodigd EPS-aanlegniveau

EPS-aanlegniveau = maximaal niveau bovenkant wegdek - wegconstructiedikte - maximale EPS-dikte

$A = 1 \text{ m} - 0,75 \text{ m} - 0,90 \text{ m} = -0,65 \text{ m}$ t.o.v. maaiveld.

Het eigen gewicht van de wegconstructie is bekend; deze is $16,5 \text{ kN/m}^2$

Theoretische benadering eindsituatie

	Geometrie	Grondsoort	Volumieke massa	Grondspanning
Netto ophoging	X			0
Maaiveld	0	Zand	17	
Waterpeil	-0,5	Zand	17	
EPS-aanlegniveau	-0,65	Zand	19	16,5

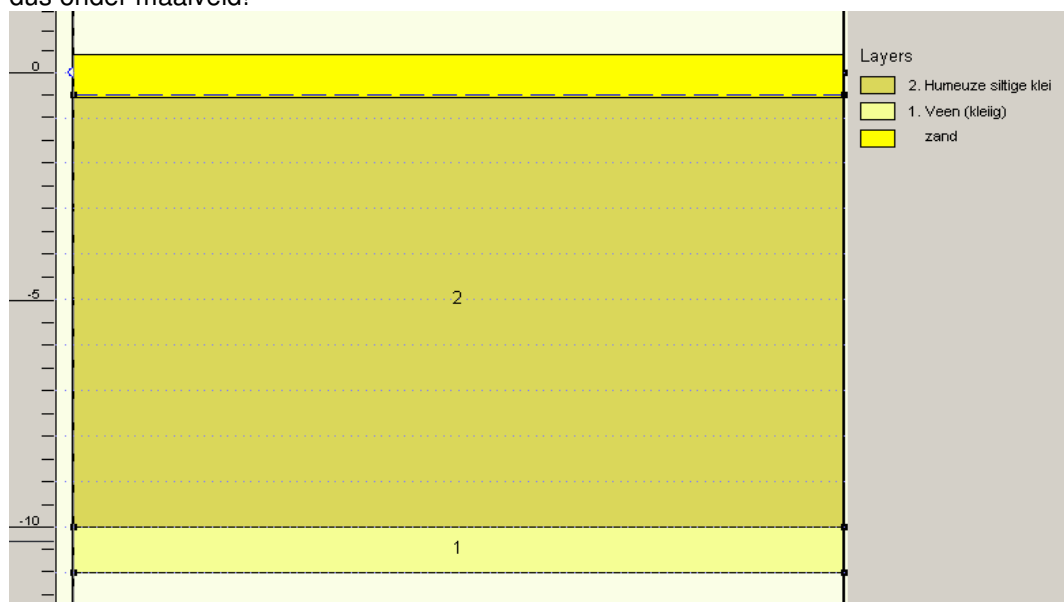
Tabel - V.2

De netto ophoging kan vervolgens berekend worden:

$$X = (16,5 - (-0,5 - -0,65) * 19 - 8,5) / 17 = 0,30 \text{ m}$$

Bepaling van benodigde zandophoging

Door het programma Msettle wordt berekend dat voor een netto ophoging van 0,30 m een zandpakket van 0,80 m aangebracht moet worden. (Bijlage VI.1) In totaal verdwijnt 0,50 m dus onder maaiveld!



$$0,80 \geq 0,30 - (-0,65)$$

Er wordt niet voldaan aan de eis: ophoging $\geq$ netto ophoging - EP *Figuur - V.1*

De theoretische benadering van de bodemsituatie klopt niet. De grond is niet gezakt tot aan het EPS-aanlegniveau.

Wanneer een zandpakket van 0,87 m aan wordt gebracht, is de zetting 0,54 m. De grondspanning die de bodem dan heeft op -0,65 m maaiveld is dan uit te rekenen. Bijlage VI.2 bevat een uitdraai van Msettle voor een ophoging van 0,87 m bij profiel 2B.

$$0,87 - (0,54 - 0,50) * 17 + (0,54 - 0,50) * 19 + (0,65 - 0,54) * 15 = 16,5 \text{ kN}$$

Dit is gelijk aan de massa van de wegconstructie. De evenwichtsconstructie kan nu aangebracht worden.

Het nieuwe bodemprofiel ziet er als volgt uit:

Korrelspanning situatie na zetten					
Toelichting Waterpeil -0,5m	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Nieuw maaiveld	0,33	0	0,0	0,0	0,0
Zand laag dr	-0,5	17	14,1	0,0	14,1
Zand laag sat	-0,54	19	14,9	0,4	14,5
Humeuze siltige klei	-10	15	156,8	95,0	61,8
Veen (kleilig)	-11	11,5	168,3	105,0	63,3

Tabel – V.3

Bovenstaand bodemprofiel is in evenwicht.

Aanbrengen evenwichtsconstructie

Wanneer de grond is uitgezet kan volgens het gebruikelijke traject de evenwichtsconstructie ontworpen worden.

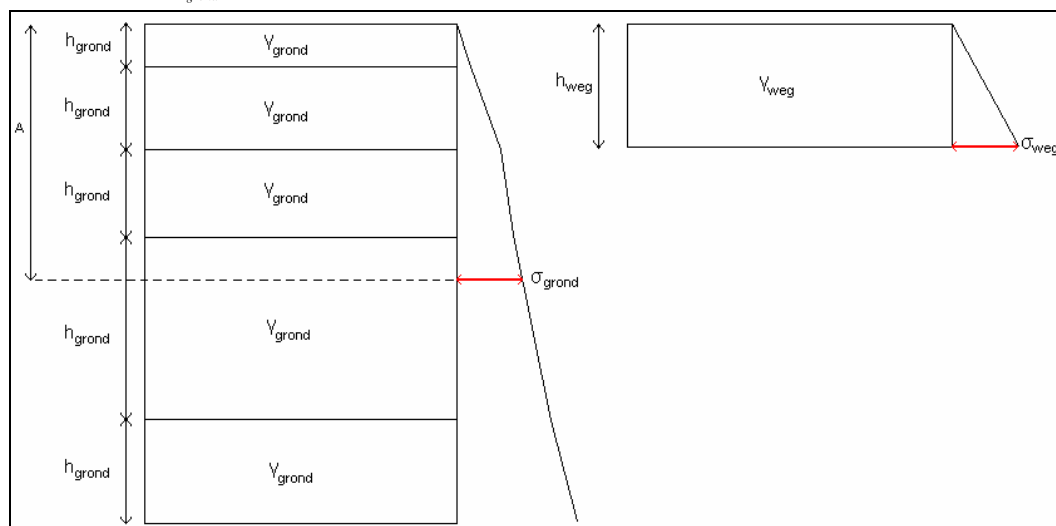
$$A_{weg\ max} = A + h_{weg} * \left(\frac{\gamma_{weg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) + h_{weg}$$

De maximale EPS-dikte en de wegconstructie hoogte zijn niet toegenomen.

Het EPS aanlegniveau moet opnieuw bepaald worden.

Eis: $\sigma_{grond} = \sigma_{weg}$

$$\text{Waarbij: } A = \sum_{\sigma_{grond}}^0 h_{grond}$$



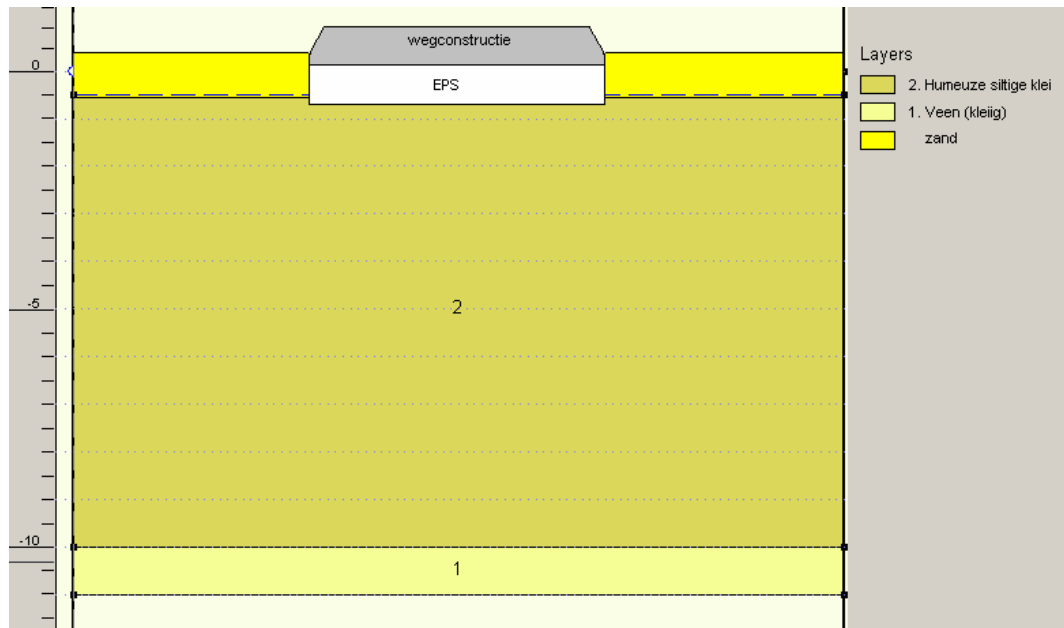
Figuur – V.2

$A = -0,65 \text{ m}$

Maximaal wegniveau = EPS-aanlegniveau + maximale EPS-dikte + wegconstructiedikte.
 $-0,65 + 0,90 + 0,75 = +1,00 \text{ m}$

De EPS-aanlegdiepte is nu dusdanig veranderd dat het maximale aanlegniveau van de weg gelijk is aan de gewenste hoogte.

Het aangebrachte zand wordt geheel afgegraven inclusief een deel van de oorspronkelijk aanwezige grond tot -0,65 m t.o.v. oorspronkelijk maaiveld en de evenwichtsconstructie wordt aangebracht.



Figuur – V.3

Korrelspanning situatie met EPS					
Toelichting	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Waterpeil -0,5m					
	1,0	0	0,0	0,0	0,0
Wegconstructie	0,25	22	16,5	0,0	16,5
EPS	-0,65	0	16,5	1,5	15,0
Humeuze siltige klei	-10	15	156,8	95,0	61,8
Veen (kleiig)	-11	11,5	168,3	105,0	63,3

Tabel – V.4

Waterpeil wordt verhoogd naar +1 m maaiveld.

Korrelspanning situatie na zetten met EPS met nieuw WP					
Toelichting	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Waterpeil 1m					
	1,0	0	0,0	0,0	0,0
Wegconstructie	0,25	22	16,5	7,5	9,0
EPS	-0,65	0	16,5	16,5	0,0
Humeuze siltige klei	-10	15	156,8	110,0	46,8
Veen (kleiig)	-11	11,5	168,3	120,0	48,3

Tabel – V.5

De constructie drijft niet op bij het extreme waterpeil.

Variant trekankers

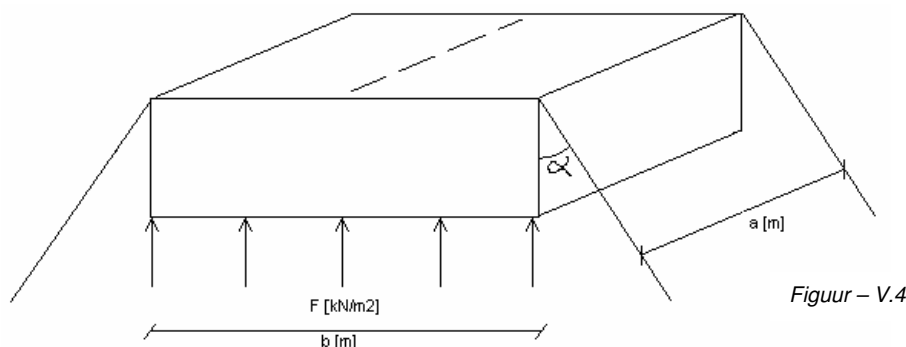
Om de berekeningen te kunnen maken voor een constructie die verankerd is met behulp van trekankers, moet eerst de oprijvende kracht die de trekankers op gaan nemen bekend zijn. In de onderstaande tabel staat de korrelspanning weergegeven die op zal treden bij een verhoogde waterstand.

Korrelspanning na aanbrengen EPS bij nieuw waterpeil					
Toelichting	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Waterpeil +1 m					
Bovenkant weg	+ 1,0	0	0,0	0,0	0,0
EPS start	+ 0,25	22	16,5	7,5	9,0
EPS eind	- 1,10	0	16,5	21,0	- 4,5
Humeuze siltige klei	- 10,0	15	150,0	110,0	40,0
Veen (kleiig)	- 11,0	11,5	161,5	120,0	41,5

Tabel – V.6

Omdat de wegconstructie op een hoogte van +1,0 m maaiveld komt te liggen en het maximale aanlegniveau van het EPS volgens de evenwichtsmethode +0,55 m is, moet de funderingsconstructie verhoogd worden met 0,45 m EPS. Hierdoor neemt de korrelspanning onder het EPS niet toe en er zullen als gevolg van deze EPS-verhoging dus geen extra zettingen optreden. Wel speelt het oprijvend vermogen van het EPS een rol als de waterstand verhoogd wordt. Er is namelijk 45 cm extra oprijvend vermogen, waardoor de totale kracht die de ankers op moeten nemen 4,5 kN/m² is.

Voor de duidelijkheid is hieronder de wegconstructie, met de variabelen die een rol spelen bij de ankerkracht, nogmaals weergegeven.



De kracht die per trekanker opgenomen moet worden, is met de volgende formule te berekenen:

$$F_{anker} = a * \sqrt{\left(\frac{1}{2} * F * b\right)^2 + \left(\frac{1}{2} * F * b * \tan \alpha\right)^2}$$

- Resulterende oprijfkracht $F = 4,5 \text{ kN/m}^2$
- Breedte wegconstructie $b = 10,7 \text{ m}$ (bijlage IV)
- Plaatsingshoek trekankers $\alpha = 0^\circ$ (verticaal, deze hoek is optimaal voor de op te nemen kracht)
- H.o.h. afstand van de trekankers a . Deze moet zó gekozen worden dat de opbolling tussen de trekankers niet te groot wordt voor het rijcomfort en niet schadelijk is voor de weg- en funderingsconstructie. Door deze op 1 te stellen, kan de kracht in de ankers berekend worden per afstand a . Om tot een uiteindelijke kracht te komen die op de trekankers staat, wordt er een voorbeeldberekening gemaakt voor een vierkantennet ($a = 10,7 \text{ m}$) en een h.o.h. afstand van de ankers die hier de helft van is ($a = 5,35 \text{ m}$).

Na het invullen van de gegevens in de formule wordt de trekkracht per meter wegconstructie 24,1 kN. Dit resulteert bij het vierkantennet (a = 10,7 m) in een trekkracht per anker van 257,9 kN en voor het halve vierkantennet (a = 5,35 m) wordt dit 128,9 kN per anker.

Variant Geogrid

Om de lengte van het geogrid te bepalen, moet eerst gekeken worden naar de constructie zelf. Het geogrid kan in deze situatie namelijk niet geheel horizontaal over het EPS gelegd worden, omdat de bovenkant van het EPS 0,25 m boven het maaiveld uitkomt. Dit is op te lossen door het geogrid tussen verschillende lagen EPS te plaatsen, met als eis dat er minstens 0,45 m EPS onder het geogrid blijft. Hierdoor wordt de oprijvende kracht opgevangen door het geogrid en drijft de constructie bóven het EPS ook niet op vanwege het gewicht van de wegconstructie.

Er wordt voor gekozen om het geogrid op een diepte van -0,5 m maaiveld. Hierdoor heeft het geogrid wel gronddekking aan de bovenkant en ligt het hoog genoeg om opdrijven tegen te gaan.

De aanhechtingsfactor kan berekend worden met:

$$f_{aanh} = \frac{a' * \tan \phi'_{rep}}{\gamma_m}$$

Hierin is:

- Materiaalafhankelijke factor $a' = 1,0$ voor geogrids
- De hoek van inwendige wrijving $\phi'_{rep} = 22,5^\circ$; dit is de hoek van inwendige wrijving voor de grondsoort waarin het geogrid komt te liggen
- Grondsoort-afhankelijke parameter $\gamma_m = 1,2$

Na invullen in de formule blijkt dat $f_{aanh} = 0,345$.

Vervolgens kan de verankeringslengte van het geogrid berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$L_{aanh} = \frac{F_{r;aanh;d}}{2 * f_{aanh} * \sigma'_{v;d}} * 0,5$$

- Aanhechtingskracht $F_{r;aanh;d} = 4,5 \text{ kN/m}^2$; dit is de resulterende kracht verticaal omhoog, als gevolg van de grondwaterstandverhoging en het opdrijvend vermogen van het EPS, die moet worden opgevangen door de geogrid-verankering
- De factor 2 vanwege de aanhechting van het geogrid aan de boven- en onderzijde
- De factor 0,5 omdat de kracht per zijde de helft is van de totale kracht die opgenomen moet worden
- Aanhechtingsfactor $f_{aanh} = 0,345$ (zie bovenstaande berekening)
- Rekenwaarde van de verticale korrelspanning ter plaatse van het geogrid $\sigma'_{v;d} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Als deze variabelen in de formule zijn ingevoerd, blijkt dat het geogrid een verankeringslengte van 1,3 m nodig heeft om de constructie tegen de opwaartse druk te zekeren.

Alternatief geogrid

In deze situatie zijn de ondergrond, het materiaal en de optredende krachten hetzelfde als in de horizontale verankering met het geogrid. Voor deze situatie zijn de berekeningen dus dezelfde als bij het horizontaal geplaatste geogrid, met als uitkomst dezelfde verankeringslengte.

V.2 Bodemprofiel 3B

Bepalen of normale evenwichtsconstructie mogelijk is

De wegconstructie en het bodemprofiel zijn bekend. De maximale wegconstructie hoogte kan bepaald worden volgens de eerder behandelde methode in het rapport, paragraaf 3.4.

$$A_{weg_{max}} = A + h_{weg} * \left(\frac{\gamma_{weg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) + h_{weg}$$

Hierin is:

$$\begin{aligned} A &= 1,26 \text{ m} \\ h_{weg} &= 0,75 \text{ m} \\ \gamma_{weg} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{water} &= 10 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$A_{weg_{max}} = -1,26 + 0,90 + 0,75 = 0,39 \text{ m}$$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de gewenste hoogte van bovenkant wegdek niet gehaald kan worden met de evenwichtsconstructie alleen.

Variant Wegconstructie

Met behulp van de efficiëntiefactor wordt bepaald hoeveel de wegconstructie dikker moet worden uitgevoerd om een evenwichtsconstructie te kunnen realiseren.

$$Eff = \gamma_{weg} * \left(\frac{1}{\gamma_{water}} - \frac{1}{\gamma_{grond}} \right)$$

$$Eff = 0,28$$

De gewenste verhoging van het maximale wegniveau: $1,0 - 0,39 = 0,61 \text{ m}$

Benodigde verdikking van de wegconstructie: $0,61 / 0,28 = 2,17 \text{ m}$

Dit is geen realistische verdikking, het EPS-aanlegniveau komt in dat geval op dieper dan 4 meter te liggen.

Variant evenwichtsconstructie + zetting

Bepalen benodigd EPS-aanlegniveau

EPS-aanlegniveau = maximaal wegniveau - wegconstructiedikte – max EPS-dikte

$A = 1 \text{ m} - 0,75 \text{ m} - 0,90 \text{ m} = -0,65 \text{ m}$ t.o.v. maaiveld.

Het eigen gewicht van de wegconstructie is bekend; $16,5 \text{ kN/m}^2$

Theoretische benadering eindsituatie

	Geometrie	Grondsoort	Volumieke massa	Grondspanning
Netto ophoging	X			0
Maaiveld	0	Zand	17	
Waterpeil	-0,5	Zand	17	
EPS-aanlegniveau	-0,65	Zand	19	16,5

Tabel – V.7

De netto ophoging kan vervolgens berekend worden.

$$X = (16,5 - (-0,5 - -0,65) * 19 - 8,5) / 17 = 0,30 \text{ m}$$

Bepaling van benodigde zandophoging

Door het programma Msettle wordt berekend dat voor een netto ophoging van 0,30 m een zandpakket van 1,70 m aangebracht moet worden. (Bijlage VI.3) In totaal verdwijnt 1,40m dus onder maaiveld!



Figuur – V.5

$$1,70 \geq 0,30 - (-0,65)$$

Er wordt voldaan aan de eis: ophoging $\geq$ netto ophoging - EPS aanlegniveau

Het nieuwe bodemprofiel ziet er als volgt uit:

Korrelspanning situatie na zetten					
Toelichting	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Waterpeil -0,5m					
Nieuw maaiveld	0,3	0	0,0	0,0	0,0
zand laag dr	-0,5	17	13,6	0,0	13,6
zand laag sat	-1,4	19	30,7	9,0	21,7
Veen (kleiig)	-4	11,5	60,6	35,0	25,6
Sterk humeuze klei	-7	13	99,6	65,0	34,6
Humeuze siltige klei	-10,5	15	152,1	100,0	52,1
Veen (kleiig)	-11	11,5	157,9	105,0	52,9
Siltige klei	-12	16	173,9	115,0	58,9

Tabel – V.8

Bovenstaand bodemprofiel is in evenwicht.

Aanbrengen evenwichtsconstructie

Wanneer de grond is uitgezet en de benodigde netto ophoging bereikt is, kan volgens het gebruikelijke traject de evenwichtsconstructie ontworpen worden.

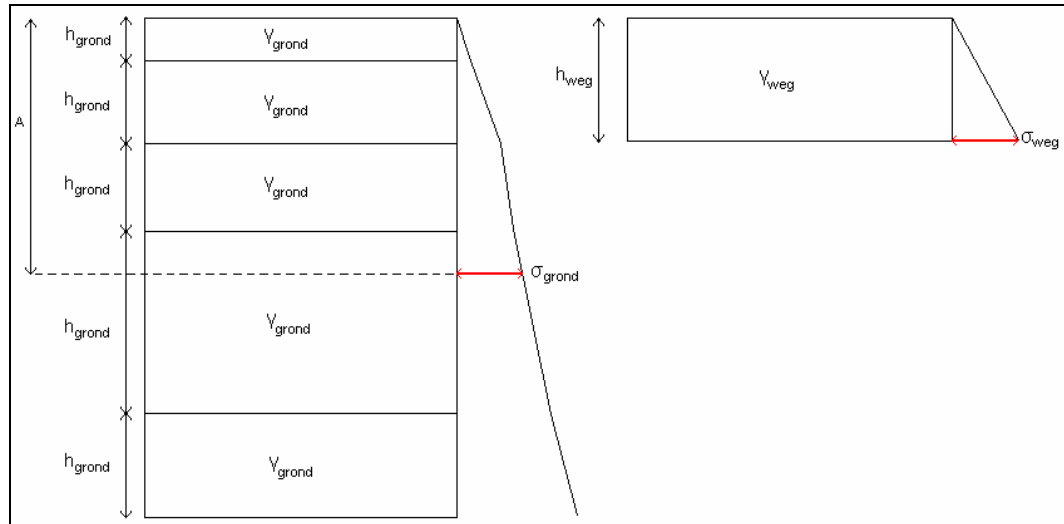
$$A_{weg_{max}} = A + h_{weg} * \left(\frac{\gamma_{weg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) + h_{weg}$$

De maximale EPS-dikte en de wegconstructie hoogte zijn niet toegenomen.

Het EPS aanlegniveau moet opnieuw bepaald worden.

Eis: $\sigma_{\text{grond}} = \sigma_{\text{weg}}$

Waarbij: $A = \sum_{\sigma_{\text{grond}}}^0 h_{\text{grond}}$



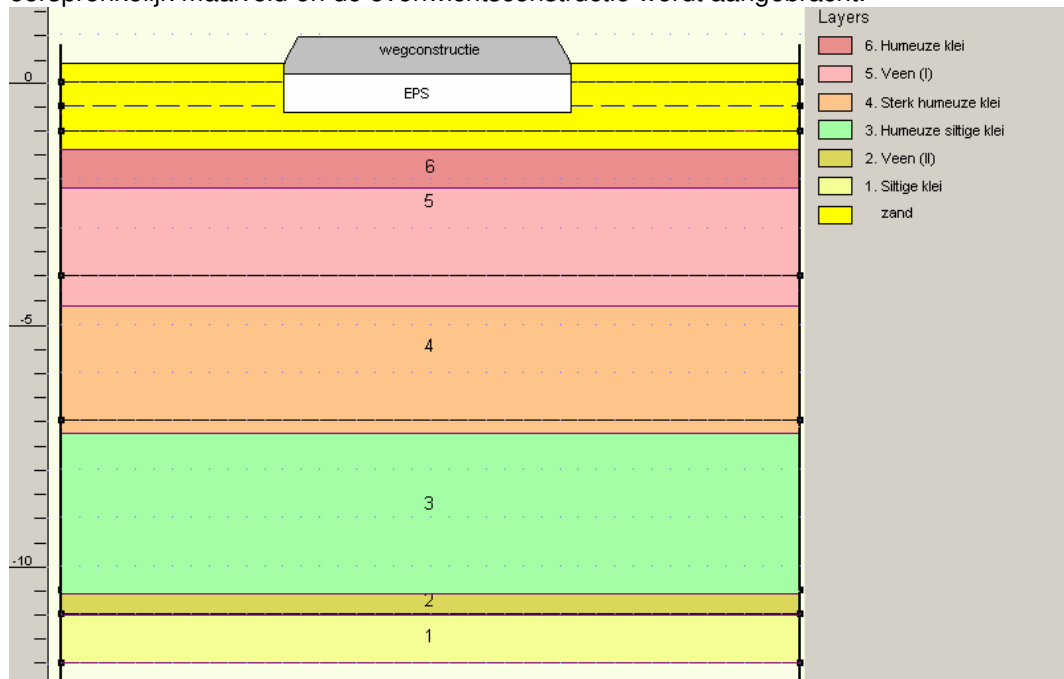
$A = -0.65 \text{ m}$

Figuur – V.6

Maximaal wegniveau = EPS-aanlegniveau + maximale EPS-dikte + wegconstructiedikte.
 $-0,65 + 0,90 + 0,75 = +1,00 \text{ m}$

De EPS-aanlegdiepte is nu dusdanig veranderd dat het maximale aanlegniveau van de weg gelijk is aan de gewenste hoogte.

Het aangebrachte zand wordt gedeeltelijk weer afgegraven tot $-0,65 \text{ m}$ t.o.v. oorspronkelijk maaiveld en de evenwichtsconstructie wordt aangebracht.



Figuur – V.7

Korrelspanning situatie na zetten met EPS					
Toelichting	Geometrie	Vol. massa	Grondspanning	Waterspanning	Korrelspanning
Waterpeil -0,5m	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
	1,0	0	0,0	0,0	0,0
Wegconstructie	0,25	22	16,5	0,0	16,5
EPS	-0,65	0	16,5	1,5	15,0
Zand	-1,4	19	30,7	9,0	21,7
Veen (kleiig)	-4	11,5	60,6	35,0	25,6
Sterk humeuze klei	-7	13	99,6	65,0	34,6
Humeuze siltige klei	-10,5	15	152,1	100,0	52,1
Veen (kleiig)	-11	11,5	157,9	105,0	52,9
Siltige klei	-12	16	173,9	115,0	58,9

Tabel – V.9

Waterpeil wordt verhoogd naar +1m maaiveld.

Korrelspanning situatie na zetten met EPS met nieuw WP					
Toelichting	Geometrie	Vol. massa	Grondspanning	Waterspanning	Korrelspanning
Waterpeil 1m	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
	1,0	0	0,0	0,0	0,0
Wegconstructie	0,25	22	16,5	7,5	9,0
EPS	-0,65	0	16,5	16,5	0,0
Zand	-1,4	19	30,7	24,0	6,7
Veen (kleiig)	-4	11,5	60,6	50,0	10,6
Sterk humeuze klei	-7	13	99,6	80,0	19,6
Humeuze siltige klei	-10,5	15	152,1	115,0	37,1
Veen (kleiig)	-11	11,5	157,9	120,0	37,9
Siltige klei	-12	16	173,9	130,0	43,9

Tabel – V.10

De constructie drijft niet op bij het extreme waterpeil.

Variant zetten in combinatie met afstandhouders

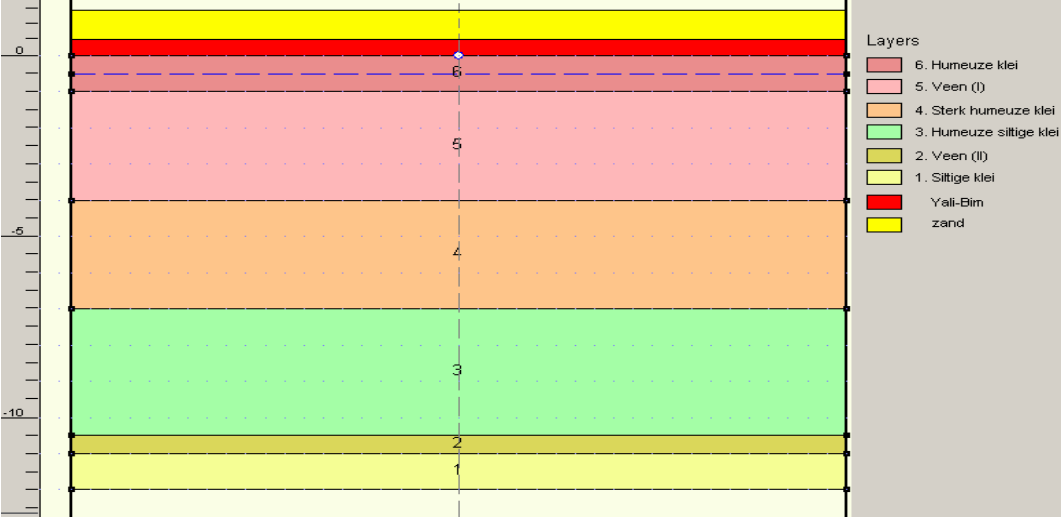
In gevallen waarbij geldt dat de zetting groter is dan het EPS-aanlegniveau, kan het rendabel zijn om afstandhouders toe te passen. Onder de EPS-laag wordt dan geen zand toegepast, maar afstandhouder. Hierdoor kan de totale zetting gereduceerd worden.

Voordat het zand aan wordt gebracht, wordt er een laag Yali-Bims geplaatst met een volumieke massa van 12,5 kN/m³. Daarboven een representatief zandpakket voor de wegconstructie van 0,95 m. Met Msettle kan de laagdikte van de Yali-Bims benaderd worden.

Bijlage VI.4 bevat een uitdraai van Msettle voor de benodigde hoeveelheid Yali-Bims.

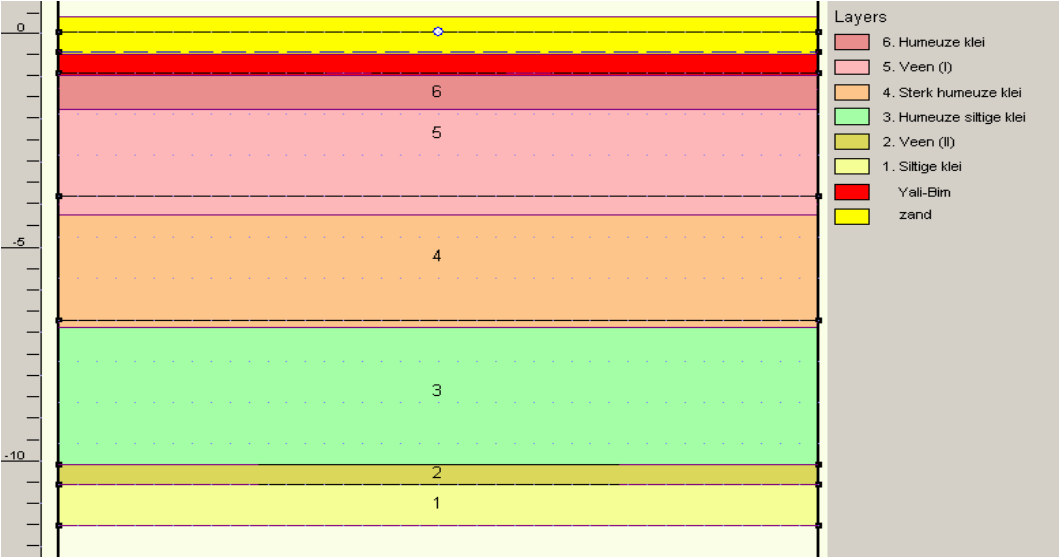
Door een laag van 0,4 m Yali-Bims toe te passen kan de benodigde zetting met 0,35 m gereduceerd worden. En de benodigde hoeveelheid zand met 0,75 m.

Situatie kort na aanbrengen Yali-Bims en zand:



Figuur – V.8

Situatie na zetten:



Figuur – V.9

Situatie na aanbrengen wegconstructie:



Figuur – V.10

Variant trekankers

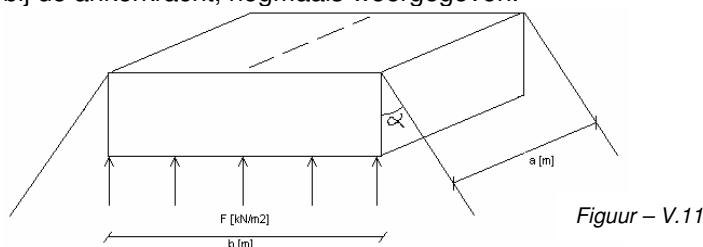
Om de berekeningen te kunnen maken voor een constructie die verankerd is met behulp van trekankers, moet eerst de opdrijvende kracht die de trekankers op gaan nemen bekend zijn. In de onderstaande tabel staat de korrelspanning weergegeven die op zal treden bij een verhoogde waterstand. De tabel zelf, en hoe deze tot stand is gekomen, is te vinden in het onderzoek paragraaf 3.3.3.

Korrelspanning na aanbrengen EPS bij nieuw waterpeil					
Toelichting Waterpeil +1 m	Geometrie [m]	Vol. massa [kN/m ³]	Grondspanning [kN/m ²]	Waterspanning [kN/m ²]	Korrelspanning [kN/m ²]
Bovenkant weg	+ 1,0	0	0,0	0,0	0,0
EPS start	+ 0,25	22	16,5	2,5	14,0
EPS eind	- 1,26	0	16,5	22,6	- 6,1
Veen (kleiig)	- 4,0	11,5	48,0	50,0	- 2,0
Sterk humeuze klei	- 7,0	13	87,0	80,0	7,0
Humeuze siltige klei	- 10,5	15	139,5	115,0	24,5
Veen (kleiig)	- 11,0	11,5	145,3	120,0	25,3
Siltige klei	- 12,0	16	161,3	130,0	31,3

Tabel – V.11

Omdat de wegconstructie op een hoogte van +1,0 m maaiveld komt te liggen en het maximale aanlegniveau volgens de evenwichtsmethode +0,39 m is, moet de funderingsconstructie verhoogd worden met 0,61 m EPS. Hierdoor neemt de korrelspanning onder het EPS niet toe en er zullen als gevolg van deze EPS-verhoging dus geen extra zettingen optreden. Wel speelt het opdrijvend vermogen van het EPS een rol als de waterstand verhoogd wordt. Er is namelijk 61 cm extra opdrijvend vermogen als gevolg van het geplaatste EPS, waardoor de totale kracht die de ankers op moeten nemen 6,1 kN/m² is.

Voor de duidelijkheid is hieronder de wegconstructie, met de variabelen die een rol spelen bij de ankerkracht, nogmaals weergegeven.



De kracht die per trekanker opgenomen moet worden, is met de volgende formule te berekenen:

$$F_{anker} = a * \sqrt{\left(\frac{1}{2} * F * b\right)^2 + \left(\frac{1}{2} * F * b * \tan \alpha\right)^2}$$

- Resulterende opdrijfkracht $F = 6,1 \text{ kN/m}^2$
- Breedte wegconstructie $b = 10,7 \text{ m}$ (bijlage IV)
- Plaatsingshoek trekankers $\alpha = 0^\circ$ (verticaal, deze hoek is optimaal voor de op te nemen kracht)
- H.o.h. afstand van de trekankers a . Deze moet zó gekozen worden dat de opbolling tussen de trekankers niet te groot wordt voor het rijcomfort en niet schadelijk is voor de weg- en funderingsconstructie. Door deze op 1 te stellen, kan de kracht in de ankers berekend worden per afstand a . Om tot een uiteindelijke kracht te komen die op de trekankers staat, wordt er een voorbeeldberekening gemaakt voor een vierkantennet ($a = 10,7 \text{ m}$) en een h.o.h. afstand van de ankers die hier de helft van is ($a = 5,35 \text{ m}$).

Na het invullen van de gegevens in de formule wordt de trekkracht per meter wegconstructie 32,6 kN. Dit resulteert bij het vierkantennet ($a = 10,7$ m) in een trekkracht per anker van 348,8 kN en voor het halve vierkantennet ($a = 5,35$ m) wordt dit 174,4 kN per anker.

Variant Geogrid

Om de lengte van het geogrid te bepalen, moet eerst gekeken worden naar de constructie zelf. Het geogrid kan in deze situatie namelijk niet geheel horizontaal over het EPS gelegd worden, omdat de bovenkant van het EPS 0,25 m boven het maaiveld uitkomt. Dit is op te lossen door het geogrid tussen verschillende lagen EPS te plaatsen, met als eis dat er minstens 0,61 m EPS onder het geogrid blijft. Hierdoor wordt de oprijvende kracht opgevangen door het geogrid en drijft de constructie bóven het EPS ook niet op vanwege het gewicht van de wegconstructie.

Er wordt voor gekozen om het geogrid op een diepte van -0,5 m maaiveld. Hierdoor heeft het geogrid wel gronddekking aan de bovenkant en ligt het hoog genoeg om opdrijven tegen te gaan.

De aanhechtingsfactor kan berekend worden met:

$$f_{aanh} = \frac{a' * \tan \phi'_{rep}}{\gamma_m}$$

Hierin is:

- Materiaalafhankelijke factor $a' = 1,0$ voor geogrids
- De hoek van inwendige wrijving $\phi_{rep} = 17,5^\circ$; dit is de hoek van inwendige wrijving voor de grondsoort waarin het geogrid komt te liggen
- Grondsoort-afhankelijke parameter $\gamma_m = 1,2$

Na invullen in de formule blijkt dat $f_{aanh} = 0,263$.

Vervolgens kan de verankeringslengte van het geogrid berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$L_{aanh} = \frac{F_{r;aanh;d}}{2 * f_{aanh} * \sigma'_{v;d}} * 0,5$$

- Aanhechtingskracht $F_{r;aanh;d} = 6,1$ kN/m²; dit is de resulterende kracht verticaal omhoog, als gevolg van de grondwaterstandverhoging en het opdrijvend vermogen van het EPS, die moet worden opgevangen door de geogrid-verankering
- De factor 2 vanwege de aanhechting van het geogrid aan de boven- en onderzijde
- De factor 0,5 omdat de kracht per zijde de helft is van de totale kracht die opgenomen moet worden
- Aanhechtingsfactor $f_{aanh} = 0,263$ (zie bovenstaande berekening)
- Rekenwaarde van de verticale korrelspanning ter plaatse van het geogrid $\sigma'_{v;d} = 2,0$ kN/m²

Als deze variabelen in de formule zijn ingevoerd, blijkt dat het geogrid een verankeringslengte van 2,9 m nodig heeft om de constructie tegen de opwaartse druk te zekeren.

Alternatief geogrid

In deze situatie zijn de ondergrond, het materiaal en de optredende krachten hetzelfde als in de horizontale verankering met het geogrid. Voor deze situatie zijn de berekeningen dus dezelfde als bij het horizontaal geplaatste geogrid, met als uitkomst dezelfde verankeringslengte.

Bijlage VI

Uitdraai Msetlle

Msettle uitdraai VI.1

Grondprofiel 2B

0,80 m zand

Rapport voor MSettle 7.1

Zettingsberekeningen
Ontwikkeld door GeoDelft

Datum rapport: 16-12-2005
Tijd rapport: 10:46:46

Datum berekening: 16-12-2005
Tijd berekening: 10:46:00

Bestandsnaam: H:\Afstudeerders\Afstuderen Danny & Stefan\Verslag\MSettle\G2BZ80

1 Weergave van de invoer

1.1 Laagscheidingen

Laagnummer	Coördinate					
2 - X -	0,000	100,000				
2 - Y -	0,000	0,000				
1 - X -	0,000	100,000				
1 - Y -	-10,000	-10,000				
0 - X -	0,000	100,000				
0 - Y -	-11,000	-11,000				

1.2 PN-Lijnen

PN-lijnummer	Coördinate					
1 - X -	0,000	100,000				
1 - Y -	-0,500	-0,500				

1.3 Algemene Gegevens

Grondmodel:	Koppejan
Consolidatiemodel:	Terzaghi
Rekmodel:	Lineair
Grondwaterniveau:	Initiëel bepaald door PN-lijnummer 1
Volumiek gewicht grondwater:	10,00 kN/m3
Dispersiecondities laagscheidingen	
- Boven:	gedraineerd
- Onder:	gedraineerd
Spanningsspreiding	
- Grond:	Buisman
- Belastingen:	Geen
Einde consolidatie:	10000,00 dagen
Geen onderhouden hoogte	
Pg (initiëel):	Variabel evenwijdig aan de initiële grondspanning
Pg (Per stap):	Automatisch verhoogd tot de uiteindelijke grondspanning
Geen denkbeeldig maaiveld	
Zonder onderwaterzakken	
Breedte belastingkolom	
Niet-uniforme belastingen :	1,00 m
Trapeziumvormige belastingen :	1,00 m

1.4 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	PN-lijn boven	PN-lijn onder
2	Humeuze siltige klei	0	0
1	Veen (kleiig)	0	0

1.5 Grondeigenschappen

Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht		Grens-spanning [kN/m2]	OCR [-]	Consolid. coëff. [m2/sec]
		Droog [kN/m3]	Nat [kN/m3]			
2	Nee	15,00	15,00	38,5		7,0E-08
1	Nee	11,50	11,50	67,8		5,0E-08

Laag nummer	Primaire compr.constante		Secondaire compr.constante		Compr.constanten Buisman	
	Cp [-]	Cp' [-]	Cs [-]	Cs' [-]	Ap [-]	As [-]
2	30,00	13,00	110,00	50,00	1E09	1E09
1	20,00	6,00	60,00	25,00	1E09	1E09

1.6 Niet-uniforme belastingen

Belasting nummer	Tijd [dagen]	Volumiek gewicht	
		Droog [kN/m3]	Nat [kN/m3]
1	0	17,00	19,00

Belastingnummer	Coördinaten					
1 - X -	0,00	0,50	99,50	100,00		
1 - Y -	0,00	0,87	0,87	0,00		

1.7 Verticalen

Verticaalnummer	X-coördinaten [m]				
1	50,00				

Berekening doorsnede op Z = 10,00 m

2 Resultaat per Verticaal

2.1 Resultaat voor Verticaal 1 (X = 50,00 m; Z = 10,00 m)

Diepte [m]	Initiële spanning			Eindspanning		
	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]
Laag 2						
0,00	0,000	0,000	0,000	14,790	0,000	14,790
-0,10	1,500	0,000	1,500	16,290	0,000	16,290
-0,20	3,000	0,000	3,000	17,790	0,000	17,790
-0,30	4,500	0,000	4,500	19,290	0,000	19,290
-0,40	6,000	0,000	6,000	20,790	0,000	20,790
-0,50	7,500	0,000	7,500	22,290	0,000	22,290
-0,60	9,000	0,000	9,000	23,790	0,000	23,790
-0,70	10,500	0,000	10,500	25,290	0,000	25,290
-0,80	12,000	0,000	12,000	26,790	0,000	26,790
-0,90	13,500	0,000	13,500	28,290	0,000	28,290
-1,00	15,000	0,000	15,000	29,790	0,000	29,790
-2,00	30,000	0,000	30,000	44,790	0,000	44,790
-3,00	45,000	0,000	45,000	59,789	0,000	59,789
-4,00	60,000	0,000	60,000	74,789	0,000	74,789
-5,00	75,000	0,000	75,000	89,789	0,000	89,789
-6,00	90,000	0,000	90,000	104,789	0,000	104,789
-7,00	105,000	0,000	105,000	119,788	0,000	119,788
-8,00	120,000	0,000	120,000	134,786	0,000	134,786
-9,00	135,000	0,000	135,000	149,784	0,000	149,784
-10,00	150,000	0,000	150,000	164,781	0,000	164,781
Laag 1						
-10,00	150,000	0,000	150,000	164,781	0,000	164,781
-10,50	155,750	0,000	155,750	170,530	0,000	170,530
-11,00	161,500	0,000	161,500	176,278	0,000	176,278

Laag nummer	Zwel		Zetting b. Sp		Zetting a. Sp	
	Primair	Secondair	Primair	Secondair 10 dagen	Primair	Secondair 10 dagen
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2511	0,0653
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0151	0,0036
Totaal	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2662	0,0689

Diepte		Laag nummer	Totale zetting (100% c			Percentage van originele laaghoogte [%]
Van	Tot		Primair	Secondair 10 dagen	Na 10000 dagen	
[m]	[m]		[m]	[m]	[m]	
0,00	-10,00	2	0,2511	0,0653	0,5123	5,12
-10,00	-11,00	1	0,0151	0,0036	0,0296	2,96
Totaal			0,2662	0,0689	0,5419	

Lagen	Drainagetype	Tijd [dagen]	Consolidatiegraad [%]				
			1	10	100	1000	10000
2 - 1	ongedraineerd, dubbelz. afstroming	10339	1,57	4,96	15,69	49,58	99,31

3 Zettingen

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	50,00	0,00	0,540

Einde Rapport

Msettle uitdraai VI.2

Grondprofiel 2B

0,87 m zand

Rapport voor MSettle 7.1

Zettingsberekeningen
Ontwikkeld door GeoDelft

Datum rapport: 16-12-2005
Tijd rapport: 10:47:15

Datum berekening: 16-12-2005
Tijd berekening: 10:47:07

Bestandsnaam: H:\Afstudeerders\Afstuderen Danny & Stefan\Verslag\MSettle\G2BZ87

1 Weergave van de invoer

1.1 Laagscheidingen

Laagnummer	Coördinate					
2 - X -	0,000	100,000				
2 - Y -	0,000	0,000				
1 - X -	0,000	100,000				
1 - Y -	-10,000	-10,000				
0 - X -	0,000	100,000				
0 - Y -	-11,000	-11,000				

1.2 PN-Lijnen

PN-lijnummer	Coördinate					
1 - X -	0,000	100,000				
1 - Y -	-0,500	-0,500				

1.3 Algemene Gegevens

Grondmodel:	Koppejan
Consolidatiemodel:	Terzaghi
Rekmodel:	Lineair
Grondwaterniveau:	Initiëel bepaald door PN-lijnummer 1
Volumiek gewicht grondwater:	10,00 kN/m3
Dispersiecondities laagscheidingen	
- Boven:	gedraineerd
- Onder:	gedraineerd
Spanningsspreiding	
- Grond:	Buisman
- Belastingen:	Geen
Einde consolidatie:	10000,00 dagen
Geen onderhouden hoogte	
Pg (initiëel):	Variabel evenwijdig aan de initiële grondspanning
Pg (Per stap):	Automatisch verhoogd tot de uiteindelijke grondspanning
Geen denkbeeldig maaiveld	
Zonder onderwaterzakken	
Breedte belastingkolom	
Niet-uniforme belastingen :	1,00 m
Trapeziumvormige belastingen :	1,00 m

1.4 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	PN-lijn boven	PN-lijn onder
2	Humeuze siltige klei	0	0
1	Veen (kleiig)	0	0

1.5 Grondeigenschappen

Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht		Grens-spanning [kN/m2]	OCR [-]	Consolid. coëff. [m2/sec]
		Droog [kN/m3]	Nat [kN/m3]			
2	Nee	15,00	15,00	38,5		7,0E-08
1	Nee	11,50	11,50	67,8		5,0E-08

Laag nummer	Primaire compr.constante		Secondaire compr.constante		Compr.constanten Buisman	
	Cp [-]	Cp' [-]	Cs [-]	Cs' [-]	Ap [-]	As [-]
2	30,00	13,00	110,00	50,00	1E09	1E09
1	20,00	6,00	60,00	25,00	1E09	1E09

1.6 Niet-uniforme belastingen

Belasting nummer	Tijd [dagen]	Volumiek gewicht	
		Droog [kN/m3]	Nat [kN/m3]
1	0	17,00	19,00

Belastingnummer	Coördinaten					
1 - X -	0,00	0,50	99,50	100,00		
1 - Y -	0,00	0,87	0,87	0,00		

1.7 Verticalen

Verticaalnummer	X-coördinaten [m]				
1	50,00				

Berekening doorsnede op Z = 10,00 m

2 Resultaat per Verticaal

2.1 Resultaat voor Verticaal 1 (X = 50,00 m; Z = 10,00 m)

Diepte [m]	Initiële spanning			Eindspanning		
	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]
Laag 2						
0,00	0,000	0,000	0,000	14,790	0,000	14,790
-0,10	1,500	0,000	1,500	16,290	0,000	16,290
-0,20	3,000	0,000	3,000	17,790	0,000	17,790
-0,30	4,500	0,000	4,500	19,290	0,000	19,290
-0,40	6,000	0,000	6,000	20,790	0,000	20,790
-0,50	7,500	0,000	7,500	22,290	0,000	22,290
-0,60	9,000	0,000	9,000	23,790	0,000	23,790
-0,70	10,500	0,000	10,500	25,290	0,000	25,290
-0,80	12,000	0,000	12,000	26,790	0,000	26,790
-0,90	13,500	0,000	13,500	28,290	0,000	28,290
-1,00	15,000	0,000	15,000	29,790	0,000	29,790
-2,00	30,000	0,000	30,000	44,790	0,000	44,790
-3,00	45,000	0,000	45,000	59,789	0,000	59,789
-4,00	60,000	0,000	60,000	74,789	0,000	74,789
-5,00	75,000	0,000	75,000	89,789	0,000	89,789
-6,00	90,000	0,000	90,000	104,789	0,000	104,789
-7,00	105,000	0,000	105,000	119,788	0,000	119,788
-8,00	120,000	0,000	120,000	134,786	0,000	134,786
-9,00	135,000	0,000	135,000	149,784	0,000	149,784
-10,00	150,000	0,000	150,000	164,781	0,000	164,781
Laag 1						
-10,00	150,000	0,000	150,000	164,781	0,000	164,781
-10,50	155,750	0,000	155,750	170,530	0,000	170,530
-11,00	161,500	0,000	161,500	176,278	0,000	176,278

Laag nummer	Zwel		Zetting b. Sp		Zetting a. Sp	
	Primair [m]	Secondair [m]	Primair [m]	Secondair 10 dagen [m]	Primair [m]	Secondair 10 dagen [m]
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2511	0,0653
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0151	0,0036
Totaal	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2662	0,0689

Diepte		Laag nummer	Totale zetting (100% c)			Percentage van originele laaghoogte [%]
Van [m]	Tot [m]		Primair [m]	Secondair 10 dagen [m]	Na 10000 dagen [m]	
0,00	-10,00	2	0,2511	0,0653	0,5123	5,12
-10,00	-11,00	1	0,0151	0,0036	0,0296	2,96
Totaal			0,2662	0,0689	0,5419	

Lagen	Drainagetype	Tijd [dagen]	Consolidatiegraad [%]				
			1	10	100	1000	10000
2 - 1	ongedraineerd, dubbelz. afstroming	10339	1,57	4,96	15,69	49,58	99,31

3 Zettingen

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	50,00	0,00	0,540

Einde Rapport

Msettle uitdraai VI.3

Grondprofiel 3B

1,70 m zand

Rapport voor MSettle 7.1

Zettingsberekeningen
Ontwikkeld door GeoDelft

Datum rapport: 16-12-2005
Tijd rapport: 10:47:34

Datum berekening: 16-12-2005
Tijd berekening: 10:47:27

Bestandsnaam: H:\Afstudeerders\Afstuderen Danny & Stefan\Verslag\MSettle\G3BZ170

1 Weergave van de invoer

1.1 Laagscheidingen

Laagnummer	Coördinate					
6 - X -	-20,000	20,000				
6 - Y -	0,000	0,000				
5 - X -	-20,000	20,000				
5 - Y -	-1,000	-1,000				
4 - X -	-20,000	20,000				
4 - Y -	-4,000	-4,000				
3 - X -	-20,000	20,000				
3 - Y -	-7,000	-7,000				
2 - X -	-20,000	20,000				
2 - Y -	-10,500	-10,500				
1 - X -	-20,000	20,000				
1 - Y -	-11,000	-11,000				
0 - X -	-20,000	20,000				
0 - Y -	-12,000	-12,000				

1.2 PN-Lijnen

PN-lijnnummer	Coördinate					
1 - X -	-20,000	20,000				
1 - Y -	-0,500	-0,500				

1.3 Algemene Gegevens

Grondmodel:	Koppejan
Consolidatiemodel:	Terzaghi
Rekmodel:	Natuurlijk
Grondwaterniveau:	Initiëel bepaald door PN-lijnnummer 1
Volumiek gewicht grondwater:	9,81 kN/m ³
Dispersiecondities laagscheidingen	
- Boven:	gedraineerd
- Onder:	gedraineerd
Spanningsspreiding	
- Grond:	Buisman
- Belastingen:	Geen
Einde consolidatie:	10000,00 dagen
Geen onderhouden hoogte	
Pg (initiëel):	Variabel evenwijdig aan de initiële grondspanning
Pg (Per stap):	Automatisch verhoogd tot de uiteindelijke grondspanning
Geen denkbeeldig maaiveld	
Met onderwaterzakken	
(alleen voor niet-uniforme belastingen)	
- Criterium einde iteratie :	0,10 m
Breedte belastingkolom	
Niet-uniforme belastingen :	1,00 m
Trapeziumvormige belastingen :	1,00 m

1.4 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	PN-lijn boven	PN-lijn onder
6	Humeuze klei	1	1
5	Veen (I)	1	1
4	Sterk humeuze klei	1	1
3	Humeuze siltige klei	1	1
2	Veen (II)	1	1
1	Siltige klei	1	1

1.5 Grondeigenschappen

Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht		Grens-spanning [kN/m ²]	OCR [-]	Consolid. coëff. [m ² /sec]
		Droog [kN/m ³]	Nat [kN/m ³]			
6	Nee	13,00	14,00	14,3		2,4E-07
5	Nee	11,50	11,50	21,2		2,4E-07
4	Nee	13,00	13,00	28,5		2,4E-07
3	Nee	15,00	15,00	42,4		2,4E-07
2	Nee	11,50	11,50	51,9		2,4E-07
1	Nee	16,00	16,00	55,5		2,4E-07

Laag nummer	Primaire compr.constante		Secondaire compr.constante		Compr.constanten Buisman	
	Cp [-]	Cp' [-]	Cs [-]	Cs' [-]	Ap [-]	As [-]
6	25,00	10,00	90,00	35,00	1E09	1E09
5	20,00	6,00	60,00	25,00	1E09	1E09
4	22,00	8,00	80,00	30,00	1E09	1E09
3	30,00	13,00	110,00	50,00	1E09	1E09
2	20,00	6,00	60,00	25,00	1E09	1E09
1	45,00	20,00	175,00	75,00	1E09	1E09

1.6 Niet-uniforme belastingen

Belasting nummer	Tijd [dagen]	Volumiek gewicht	
		Droog [kN/m ³]	Nat [kN/m ³]
1	0	17,00	19,00

Belastingnummer	Coördinate					
1 - X -	-20,00	-19,00	19,00	20,00		
1 - Y -	0,00	1,70	1,70	0,00		

1.7 Verticalen

Verticaalnummer	X-coördinaten [m]				
1	0,00				

Berekening doorsnede op Z = 0,00 m

2 Resultaat per Verticaal

2.1 Resultaat voor Verticaal 1 (X = 0,00 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Initiële spanning			Eindspanning		
	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]
Laag 6						
0,00	0,000	0,000	0,000	20,965	0,000	20,965
-0,10	1,300	0,000	1,300	22,265	0,000	22,265
-0,20	2,600	0,000	2,600	23,565	0,000	23,565
-0,30	3,900	0,000	3,900	24,865	0,000	24,865
-0,40	5,200	0,000	5,200	26,165	0,000	26,165
-0,50	6,500	0,000	6,500	27,464	0,000	27,464
-0,60	7,900	0,981	6,919	28,864	0,981	27,883
-0,70	9,300	1,962	7,338	30,264	1,962	28,302
-0,80	10,700	2,943	7,757	31,664	2,943	28,721
-0,90	12,100	3,924	8,176	33,064	3,924	29,140
-1,00	13,500	4,905	8,595	34,464	4,905	29,559
Laag 5						
-1,00	13,500	4,905	8,595	34,465	4,905	29,560
-1,80	22,700	12,753	9,947	43,664	12,753	30,911
-2,50	30,750	19,620	11,130	51,713	19,620	32,093
-3,20	38,800	26,487	12,313	59,759	26,487	33,272
-4,00	48,000	34,335	13,665	68,951	34,335	34,616
Laag 4						
-4,00	48,000	34,335	13,665	68,952	34,335	34,616
-4,80	58,400	42,183	16,217	79,338	42,183	37,155
-5,50	67,500	49,050	18,450	88,420	49,050	39,370
-6,20	76,600	55,917	20,683	97,495	55,917	41,578
-7,00	87,000	63,765	23,235	107,856	63,765	44,091
Laag 3						
-7,00	87,000	63,765	23,235	107,856	63,765	44,091
-7,85	99,750	72,103	27,646	120,551	72,103	48,448
-8,75	113,250	80,933	32,317	133,976	80,933	53,043
-9,60	126,000	89,271	36,729	146,638	89,271	57,367
-10,50	139,500	98,100	41,400	160,026	98,100	61,926
Laag 2						
-10,50	139,500	98,100	41,400	160,026	98,100	61,926
-10,75	142,375	100,552	41,822	162,866	100,552	62,314
-11,00	145,250	103,005	42,245	165,705	103,005	62,700
Laag 1						
-11,00	145,250	103,005	42,245	165,706	103,005	62,701
-11,50	153,250	107,910	45,340	173,629	107,910	65,719
-12,00	161,250	112,815	48,435	181,547	112,815	68,732

Laag nummer	Zwel		Zetting b. Sp		Zetting a. Sp	
	Primair	Secondair	Primair	Secondair 10 dagen	Primair	Secondair 10 dagen
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
6	0,0000	0,0000	0,0432	0,0120	0,0708	0,0202
5	0,0000	0,0000	0,0975	0,0325	0,2079	0,0499
4	0,0000	0,0000	0,0601	0,0165	0,1219	0,0325
3	0,0000	0,0000	0,0323	0,0088	0,0610	0,0159
2	0,0000	0,0000	0,0054	0,0018	0,0152	0,0037
1	0,0000	0,0000	0,0045	0,0012	0,0085	0,0023
Totaal	0,0000	0,0000	0,2431	0,0728	0,4853	0,1244

Diepte		Laag nummer	Totale zetting (100% c			Percentage van originele laaghoogte [%]
Van [m]	Tot [m]		Primair [m]	Secondair 10 dagen [m]	Na 10000 dagen [m]	
0,00	-1,00	6	0,1140	0,0322	0,2429	24,29
-1,00	-4,00	5	0,3055	0,0824	0,6351	21,17
-4,00	-7,00	4	0,1821	0,0491	0,3783	12,61
-7,00	-10,50	3	0,0933	0,0247	0,1920	5,48
-10,50	-11,00	2	0,0206	0,0055	0,0425	8,49
-11,00	-12,00	1	0,0130	0,0034	0,0266	2,66
Totaal			0,7284	0,1972	1,5173	

Diepte		Laag nummer	Totale zetting op			
Van [m]	Tot [m]		Lineair		Natuurlijk	
			[m]	[%]	[m]	[%]
0,00	-1,00	6	0,2429	24,29	0,2157	21,57
-1,00	-4,00	5	0,6351	21,17	0,5724	19,08
-4,00	-7,00	4	0,3783	12,61	0,3554	11,85
-7,00	-10,50	3	0,1920	5,48	0,1868	5,34
-10,50	-11,00	2	0,0425	8,49	0,0407	8,14
-11,00	-12,00	1	0,0266	2,66	0,0262	2,62
Totaal			1,5173		1,3972	

Lagen	Drainagetype	Tijd [dagen]	Consolidatiegraad [%]				
			1	10	100	1000	10000
6 - 1	ongedraineerd, dubbelz. afstroming	3546	2,68	8,47	26,80	79,84	100,00

3 Zettingen

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	0,00	0,00	1,395

Einde Rapport

Msettle uitdraai VI.4

Grondprofiel 3B

0,95 m zand
0,40 m Yali - Bim

Rapport voor MSettle 7.1

Zettingsberekeningen
Ontwikkeld door GeoDelft

Datum rapport: 16-12-2005
Tijd rapport: 10:49:55

Datum berekening: 16-12-2005
Tijd berekening: 10:49:47

Bestandsnaam: H:\..\Afstuderen Danny & Stefan\Verslag\MSettle\G3BZ95Y40

1 Weergave van de invoer

1.1 Laagscheidingen

Laagnummer	Coördinate					
6 - X -	-20,000	20,000				
6 - Y -	0,000	0,000				
5 - X -	-20,000	20,000				
5 - Y -	-1,000	-1,000				
4 - X -	-20,000	20,000				
4 - Y -	-4,000	-4,000				
3 - X -	-20,000	20,000				
3 - Y -	-7,000	-7,000				
2 - X -	-20,000	20,000				
2 - Y -	-10,500	-10,500				
1 - X -	-20,000	20,000				
1 - Y -	-11,000	-11,000				
0 - X -	-20,000	20,000				
0 - Y -	-12,000	-12,000				

1.2 PN-Lijnen

PN-lijnnummer	Coördinate					
1 - X -	-20,000	20,000				
1 - Y -	-0,500	-0,500				

1.3 Algemene Gegevens

Grondmodel:	Koppejan
Consolidatiemodel:	Terzaghi
Rekmodel:	Natuurlijk
Grondwaterniveau:	Initiëel bepaald door PN-lijnnummer 1
Volumiek gewicht grondwater:	9,81 kN/m ³
Dispersiecondities laagscheidingen	
- Boven:	gedraineerd
- Onder:	gedraineerd
Spanningsspreiding	
- Grond:	Buisman
- Belastingen:	Geen
Einde consolidatie:	10000,00 dagen
Geen onderhouden hoogte	
Pg (initiëel):	Variabel evenwijdig aan de initiële grondspanning
Pg (Per stap):	Automatisch verhoogd tot de uiteindelijke grondspanning
Geen denkbeeldig maaiveld	
Met onderwaterzakken	
(alleen voor niet-uniforme belastingen)	
- Criterium einde iteratie :	0,10 m
Breedte belastingkolom	
Niet-uniforme belastingen :	1,00 m
Trapeziumvormige belastingen :	1,00 m

1.4 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	PN-lijn boven	PN-lijn onder
6	Humeuze klei	1	1
5	Veen (I)	1	1
4	Sterk humeuze klei	1	1
3	Humeuze siltige klei	1	1
2	Veen (II)	1	1
1	Siltige klei	1	1

1.5 Grondeigenschappen

Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht		Grens-spanning [kN/m ²]	OCR [-]	Consolid. coëff. [m ² /sec]
		Droog [kN/m ³]	Nat [kN/m ³]			
6	Nee	13,00	14,00	14,3		2,4E-07
5	Nee	11,50	11,50	21,2		2,4E-07
4	Nee	13,00	13,00	28,5		2,4E-07
3	Nee	15,00	15,00	42,4		2,4E-07
2	Nee	11,50	11,50	51,9		2,4E-07
1	Nee	16,00	16,00	55,5		2,4E-07

Laag nummer	Primaire compr.constante		Secondaire compr.constante		Compr.constanten Buisman	
	Cp [-]	Cp' [-]	Cs [-]	Cs' [-]	Ap [-]	As [-]
6	25,00	10,00	90,00	35,00	1E09	1E09
5	20,00	6,00	60,00	25,00	1E09	1E09
4	22,00	8,00	80,00	30,00	1E09	1E09
3	30,00	13,00	110,00	50,00	1E09	1E09
2	20,00	6,00	60,00	25,00	1E09	1E09
1	45,00	20,00	175,00	75,00	1E09	1E09

1.6 Niet-uniforme belastingen

Belasting nummer	Tijd [dagen]	Volumiek gewicht	
		Droog [kN/m ³]	Nat [kN/m ³]
1	0	17,00	19,00
2	0	11,00	12,50

Belastingnummer	Coördinaten					
1 - X -	-20,00	-19,00	19,00	20,00		
1 - Y -	0,00	0,95	0,95	0,00		
2 - X -	-20,00	-19,00	19,00	20,00		
2 - Y -	0,00	0,40	0,40	0,00		

1.7 Verticalen

Verticaalnummer	X-coördinaten [m]				
1	0,00				

Berekening doorsnede op Z = 0,00 m

2 Resultaat per Verticaal

2.1 Resultaat voor Verticaal 1 (X = 0,00 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Initiële spanning			Eindspanning		
	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]	S-totaal [kN/m ²]	S-water [kN/m ²]	S-eff. [kN/m ²]
Laag 6						
0,00	0,000	0,000	0,000	15,626	0,000	15,626
-0,10	1,300	0,000	1,300	16,926	0,000	16,926
-0,20	2,600	0,000	2,600	18,226	0,000	18,226
-0,30	3,900	0,000	3,900	19,526	0,000	19,526
-0,40	5,200	0,000	5,200	20,826	0,000	20,826
-0,50	6,500	0,000	6,500	22,126	0,000	22,126
-0,60	7,900	0,981	6,919	23,526	0,981	22,545
-0,70	9,300	1,962	7,338	24,926	1,962	22,964
-0,80	10,700	2,943	7,757	26,326	2,943	23,383
-0,90	12,100	3,924	8,176	27,725	3,924	23,801
-1,00	13,500	4,905	8,595	29,125	4,905	24,220
Laag 5						
-1,00	13,500	4,905	8,595	29,126	4,905	24,221
-1,80	22,700	12,753	9,947	38,325	12,753	25,572
-2,50	30,750	19,620	11,130	46,374	19,620	26,754
-3,20	38,800	26,487	12,313	54,421	26,487	27,934
-4,00	48,000	34,335	13,665	63,615	34,335	29,280
Laag 4						
-4,00	48,000	34,335	13,665	63,615	34,335	29,280
-4,80	58,400	42,183	16,217	74,004	42,183	31,821
-5,50	67,500	49,050	18,450	83,090	49,050	34,040
-6,20	76,600	55,917	20,683	92,170	55,917	36,253
-7,00	87,000	63,765	23,235	102,539	63,765	38,774
Laag 3						
-7,00	87,000	63,765	23,235	102,540	63,765	38,774
-7,85	99,750	72,103	27,646	115,247	72,103	43,143
-8,75	113,250	80,933	32,317	128,689	80,933	47,756
-9,60	126,000	89,271	36,729	141,371	89,271	52,100
-10,50	139,500	98,100	41,400	154,785	98,100	56,685
Laag 2						
-10,50	139,500	98,100	41,400	154,785	98,100	56,685
-10,75	142,375	100,552	41,822	157,634	100,552	57,081
-11,00	145,250	103,005	42,245	160,482	103,005	57,477
Laag 1						
-11,00	145,250	103,005	42,245	160,482	103,005	57,477
-11,50	153,250	107,910	45,340	168,423	107,910	60,513
-12,00	161,250	112,815	48,435	176,361	112,815	63,546

Laag nummer	Zwel		Zetting b. Sp		Zetting a. Sp	
	Primair	Secondair	Primair	Secondair 10 dagen	Primair	Secondair 10 dagen
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
6	0,0000	0,0000	0,0432	0,0120	0,0479	0,0137
5	0,0000	0,0000	0,0975	0,0325	0,1167	0,0280
4	0,0000	0,0000	0,0601	0,0165	0,0671	0,0179
3	0,0000	0,0000	0,0323	0,0088	0,0324	0,0084
2	0,0000	0,0000	0,0054	0,0018	0,0079	0,0019
1	0,0000	0,0000	0,0045	0,0012	0,0043	0,0012
Totaal	0,0000	0,0000	0,2431	0,0728	0,2764	0,0711

Diepte		Laag nummer	Totale zetting (100% c			Percentage van originele laaghoogte [%]
Van [m]	Tot [m]		Primair [m]	Secondair 10 dagen [m]	Na 10000 dagen [m]	
0,00	-1,00	6	0,0911	0,0257	0,1938	19,38
-1,00	-4,00	5	0,2143	0,0605	0,4564	15,21
-4,00	-7,00	4	0,1272	0,0344	0,2649	8,83
-7,00	-10,50	3	0,0647	0,0172	0,1337	3,82
-10,50	-11,00	2	0,0133	0,0037	0,0281	5,63
-11,00	-12,00	1	0,0088	0,0023	0,0181	1,81
Totaal			0,5195	0,1439	1,0951	

Diepte		Laag nummer	Totale zetting op			
Van [m]	Tot [m]		Lineair		Natuurlijk	
			[m]	[%]	[m]	[%]
0,00	-1,00	6	0,1938	19,38	0,1762	17,62
-1,00	-4,00	5	0,4564	15,21	0,4234	14,11
-4,00	-7,00	4	0,2649	8,83	0,2536	8,45
-7,00	-10,50	3	0,1337	3,82	0,1312	3,75
-10,50	-11,00	2	0,0281	5,63	0,0274	5,47
-11,00	-12,00	1	0,0181	1,81	0,0179	1,79
Totaal			1,0951		1,0296	

Lagen	Drainagetype	Tijd [dagen]	Consolidatiegraad [%]				
			1	10	100	1000	10000
6 - 1	ongedraineerd, dubbelz. afstroming	3546	2,68	8,47	26,80	79,84	100,00

3 Zettingen

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	0,00	0,00	1,028

Einde Rapport

Bijlage VII

Projectadministratie

Geplande uren

Uren

Literatuuronderzoek

Inventarisatie huidige technieken	68
Analyse beschreven technieken	82
Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	54

Onderzoek naar toepasbaarheid

Onderzoek naar praktijkgebied	136
Wegprofiel bepalen	136
Uitvoeringsmethode bepalen	109
Analyse optredende problemen	136
Uitwerking oplossingen	136

Uitwerking onderzoek

Variantenstudie	136
Variantenvergelijking en beslismodel	95
Aanbeveling / conclusie	68

Eindverslag

82

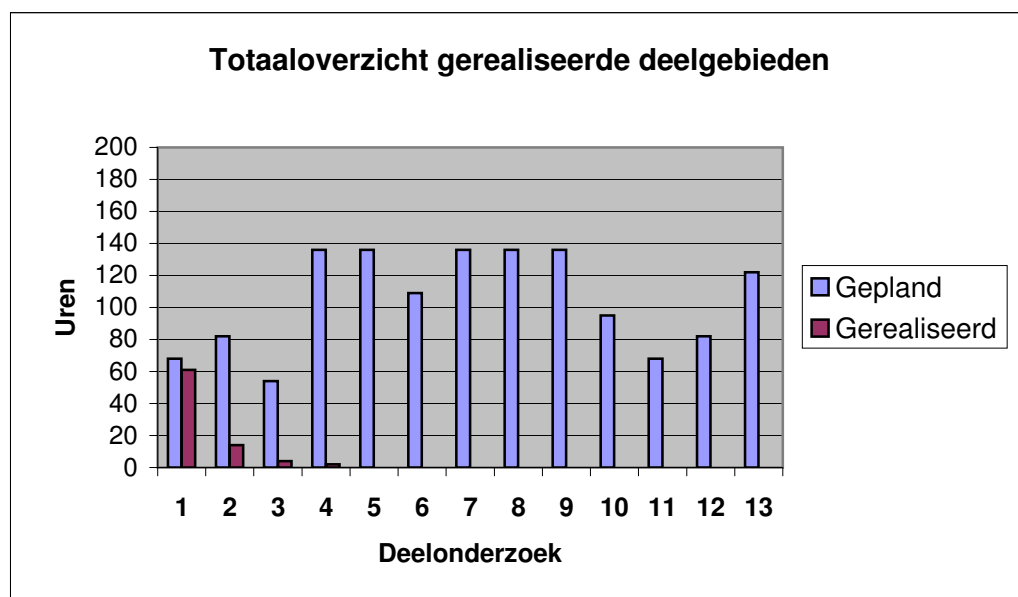
Presentatie

122

Totaal 1360

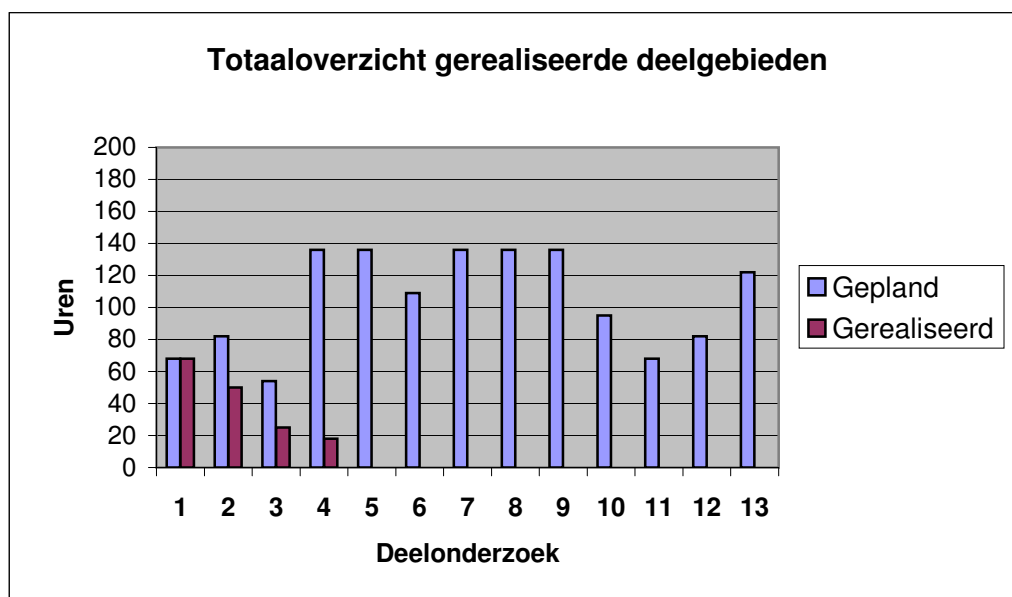
Werkverantwoording Week 38

			Totaal			
			Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek						
1	Inventarisatie huidige technieken		29	32	61	61
2	Analyse beschreven technieken		7	7	14	14
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden		2	2	4	4
Onderzoek naar toepasbaarheid						
4	Onderzoek naar praktijkgebied		1	1	2	2
5	Wegprofiel bepalen		0	0	0	0
6	Uitvoeringsmethode bepalen		0	0	0	0
7	Analyse optredende problemen		0	0	0	0
8	Uitwerking oplossingen		0	0	0	0
Uitwerking onderzoek						
9	Variantenstudie		0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel		0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie		0	0	0	0
12 Eindverslag			0	0	0	0
13 Presentatie			0	0	0	0
Totaal			39	42	81	81



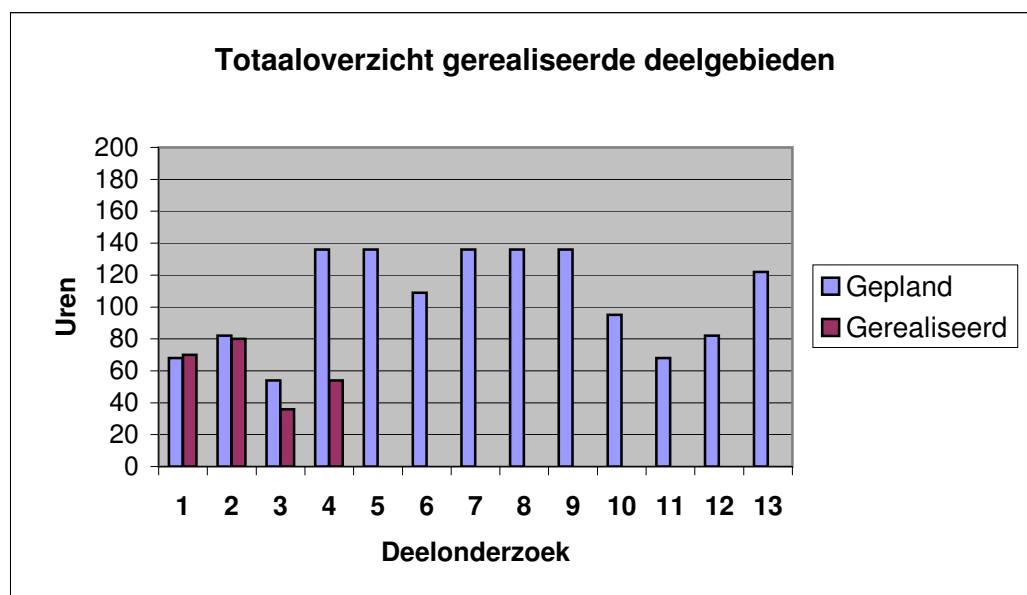
Werkverantwoording Week 39

			Totaal			
			Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek						
1	Inventarisatie huidige technieken		4	3	7	68
2	Analyse beschreven technieken		20	16	36	50
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden		10	11	21	25
Onderzoek naar toepasbaarheid						
4	Onderzoek naar praktijkgebied		7	9	16	18
5	Wegprofiel bepalen		0	0	0	0
6	Uitvoeringsmethode bepalen		0	0	0	0
7	Analyse optredende problemen		0	0	0	0
8	Uitwerking oplossingen		0	0	0	0
Uitwerking onderzoek						
9	Variantenstudie		0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel		0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie		0	0	0	0
12 Eindverslag			0	0	0	0
13 Presentatie			0	0	0	0
Totaal			41	39	80	161



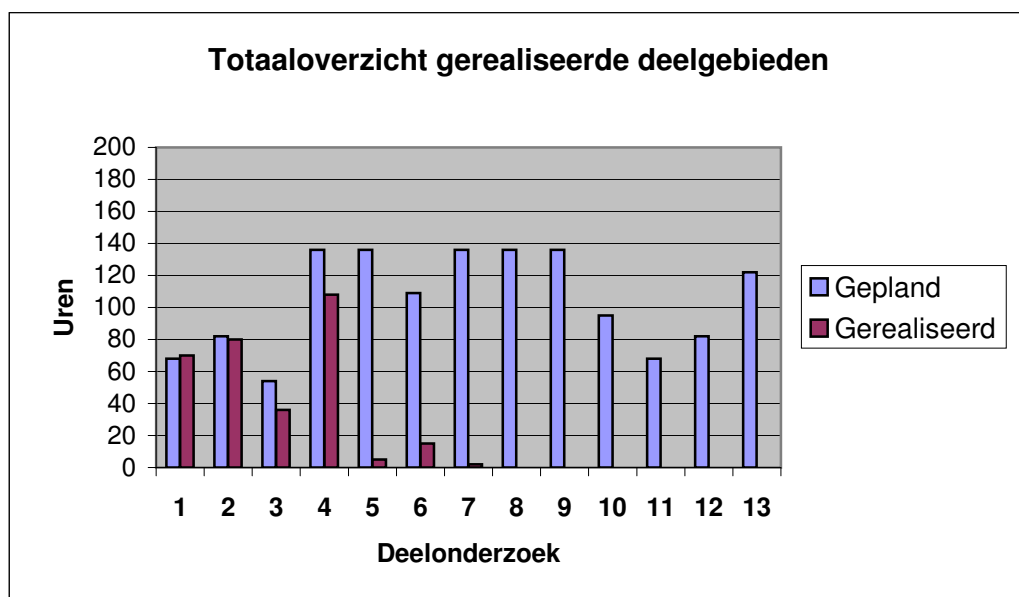
Werkverantwoording Week 40

			Totaal			
			Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek						
1	Inventarisatie huidige technieken		2	0	2	70
2	Analyse beschreven technieken		15	15	30	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden		6	5	11	36
Onderzoek naar toepasbaarheid						
4	Onderzoek naar praktijkgebied		17	19	36	54
5	Wegprofiel bepalen		0	0	0	0
6	Uitvoeringsmethode bepalen		0	0	0	0
7	Analyse optredende problemen		0	0	0	0
8	Uitwerking oplossingen		0	0	0	0
Uitwerking onderzoek						
9	Variantenstudie		0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel		0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie		0	0	0	0
12 Eindverslag			0	0	0	0
13 Presentatie			0	0	0	0
Totaal			40	39	79	240



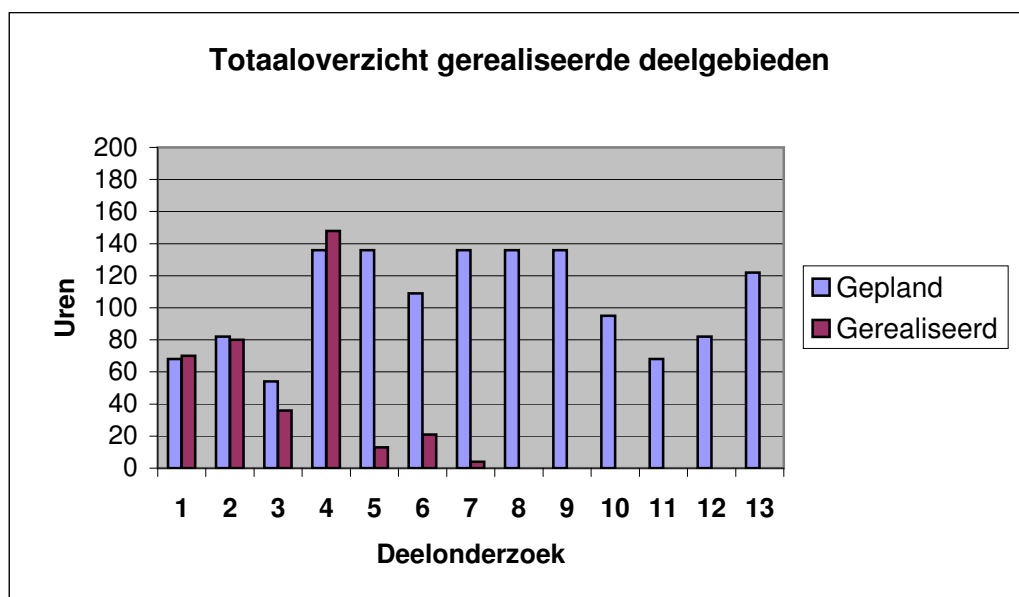
Werkverantwoording Week 41

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	29	25	54	108
5	Wegprofiel bepalen	5	0	5	5
6	Uitvoeringsmethode bepalen	5	10	15	15
7	Analyse optredende problemen	1	1	2	2
8	Uitwerking oplossingen	0	0	0	0
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		40	36	76	316



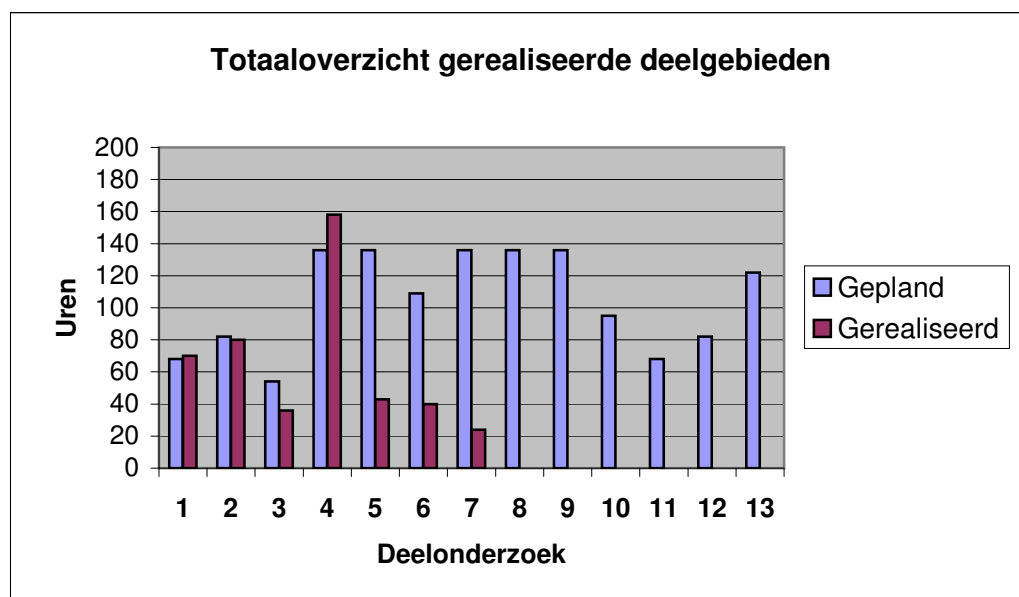
Werkverantwoording Week 42

			Totaal	
			Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek				
1	Inventarisatie huidige technieken	Danny	0	70
2	Analyse beschreven technieken	Stefan	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden		0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid				
4	Onderzoek naar praktijkgebied	Danny	24	148
5	Wegprofiel bepalen	Stefan	8	13
6	Uitvoeringsmethode bepalen		6	21
7	Analyse optredende problemen	Danny	2	4
8	Uitwerking oplossingen	Stefan	0	0
Uitwerking onderzoek				
9	Variantenstudie	Danny	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel	Stefan	0	0
11	Aanbeveling / conclusie		0	0
12	Eindverslag	Danny	0	0
13	Presentatie	Stefan	0	0
Totaal			40	372



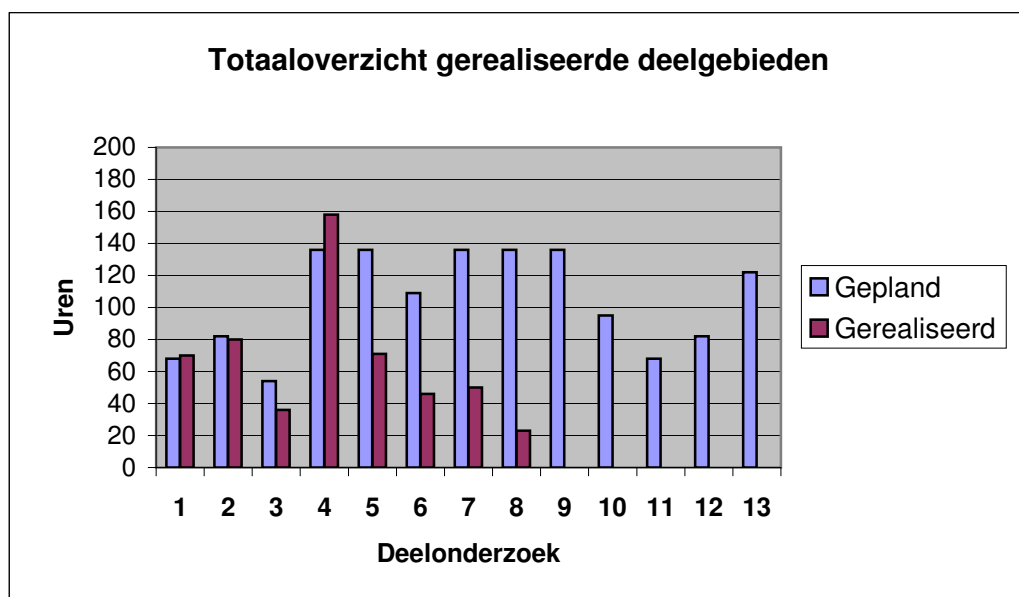
Werkverantwoording Week 43

			Totaal			
			Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek						
1	Inventarisatie huidige technieken		0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken		0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden		0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid						
4	Onderzoek naar praktijkgebied		5	5	10	158
5	Wegprofiel bepalen		16	14	30	43
6	Uitvoeringsmethode bepalen		8	11	19	40
7	Analyse optredende problemen		10	10	20	24
8	Uitwerking oplossingen		0	0	0	0
Uitwerking onderzoek						
9	Variantenstudie		0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel		0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie		0	0	0	0
12 Eindverslag			0	0	0	0
13 Presentatie			0	0	0	0
Totaal			39	40	79	451



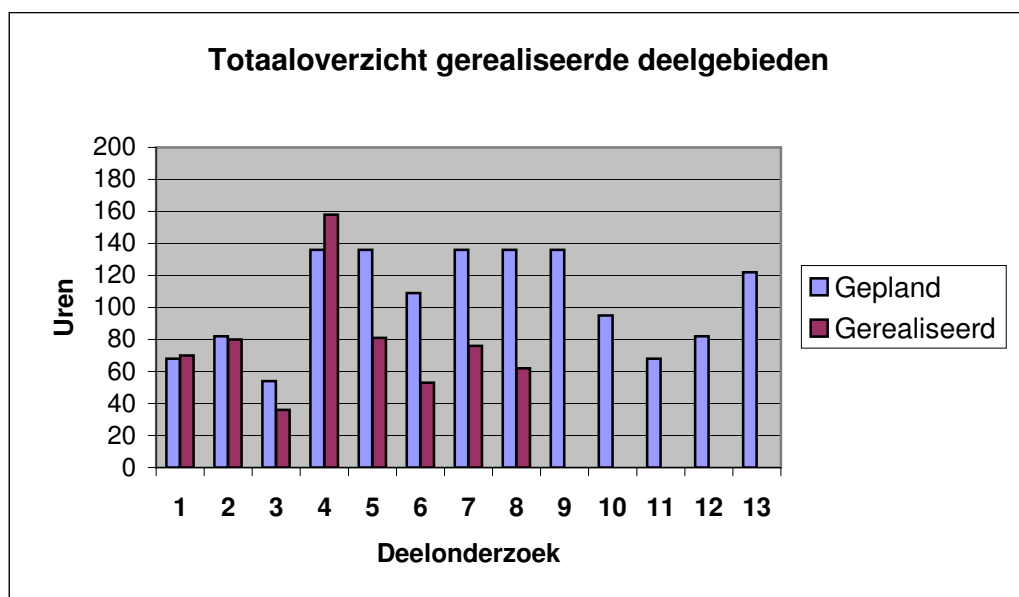
Werkverantwoording Week 44

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	10	18	28	71
6	Uitvoeringsmethode bepalen	6	0	6	46
7	Analyse optredende problemen	10	16	26	50
8	Uitwerking oplossingen	13	10	23	23
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		39	44	83	534



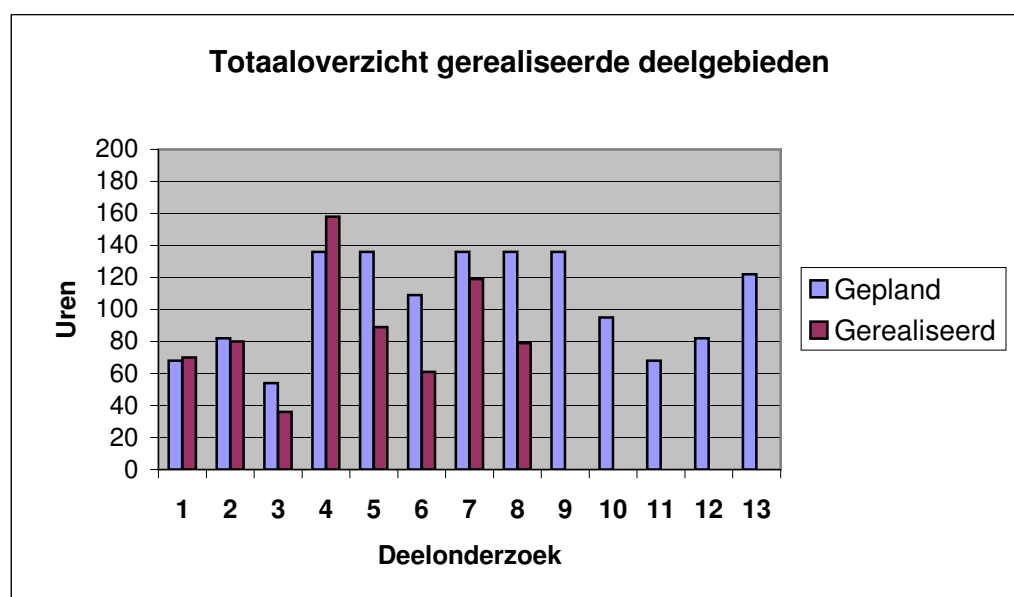
Werkverantwoording Week 45

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	5	5	10	81
6	Uitvoeringsmethode bepalen	7	0	7	53
7	Analyse optredende problemen	8	18	26	76
8	Uitwerking oplossingen	19	20	39	62
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		39	43	82	616



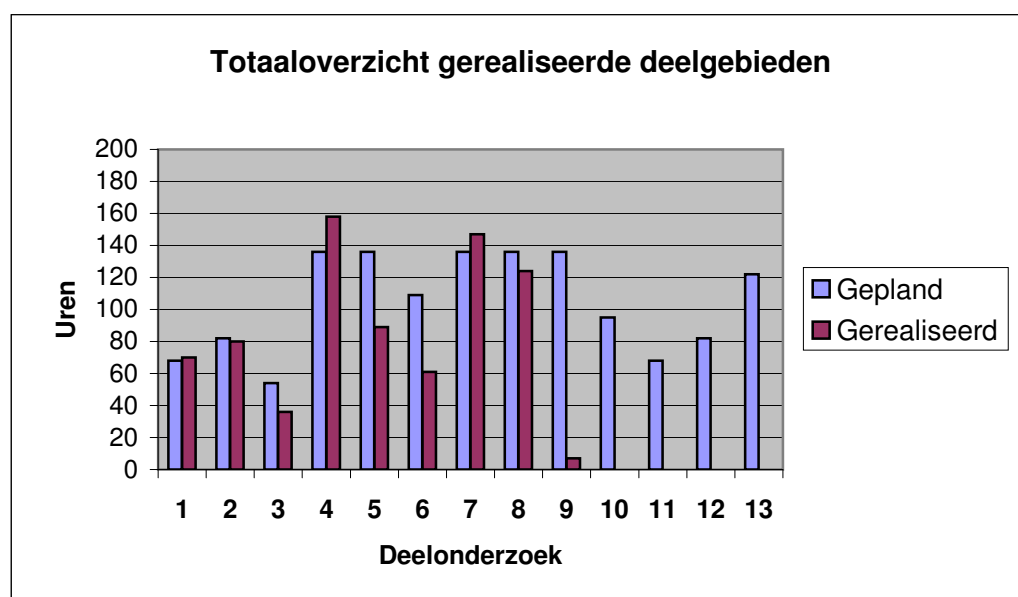
Werkverantwoording Week 46

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	3	5	8	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	8	0	8	61
7	Analyse optredende problemen	8	35	43	119
8	Uitwerking oplossingen	16	1	17	79
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	0
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		35	41	76	692



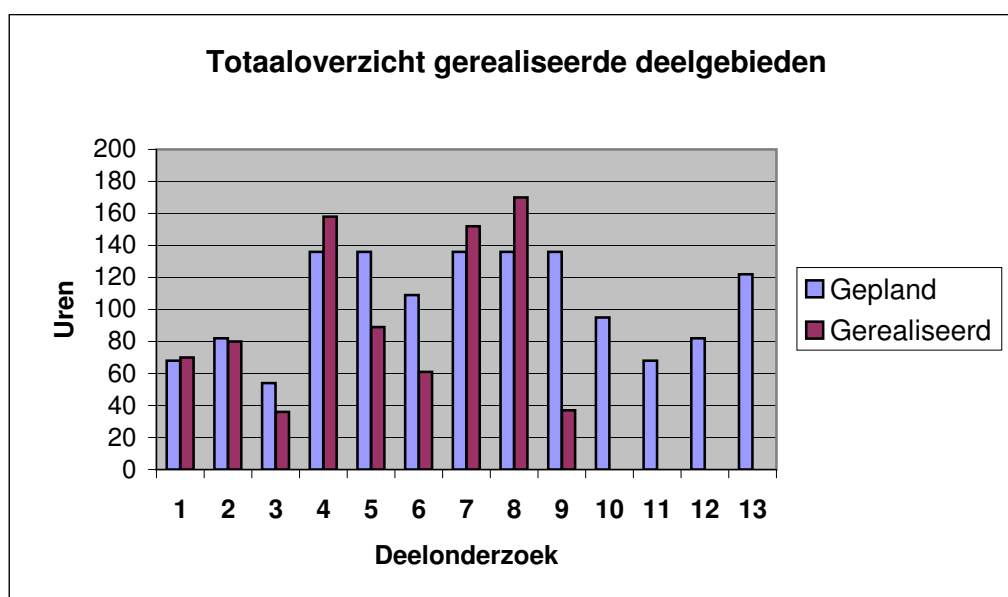
Werkverantwoording Week 47

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	28	28	147
8	Uitwerking oplossingen	33	12	45	124
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	7	0	7	7
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		40	40	80	772



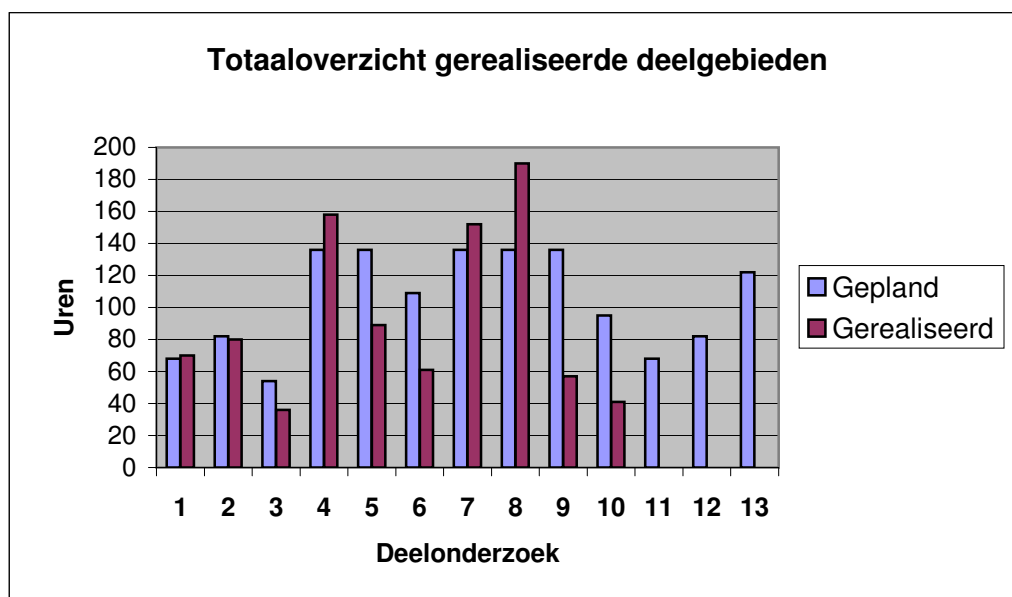
Werkverantwoording Week 48

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	5	5	152
8	Uitwerking oplossingen	28	18	46	170
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	10	20	30	37
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	0
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		38	43	81	853



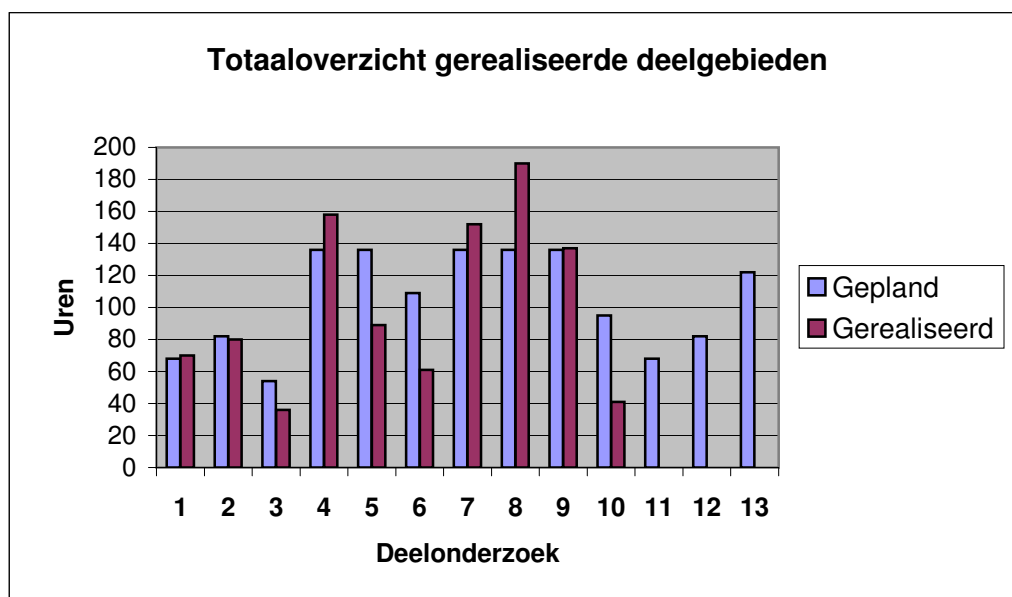
Werkverantwoording Week 49

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152
8	Uitwerking oplossingen	10	10	20	190
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	15	5	20	57
10	Variantenvergelijking en beslismodel	15	26	41	41
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		40	41	81	934



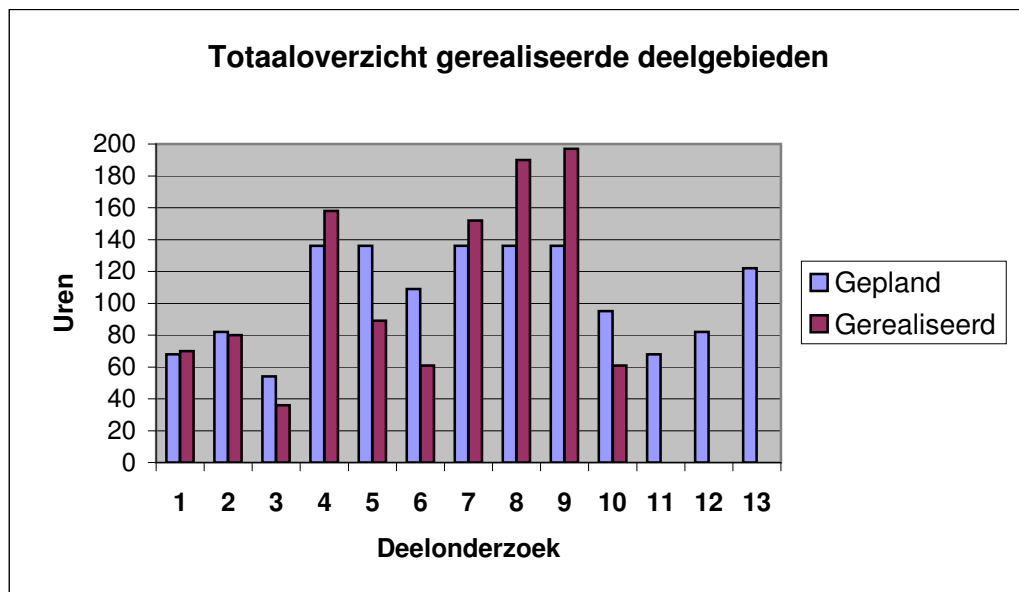
Werkverantwoording Week 50

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152
8	Uitwerking oplossingen	0	0	0	190
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	40	40	80	137
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	41
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		40	40	80	1014



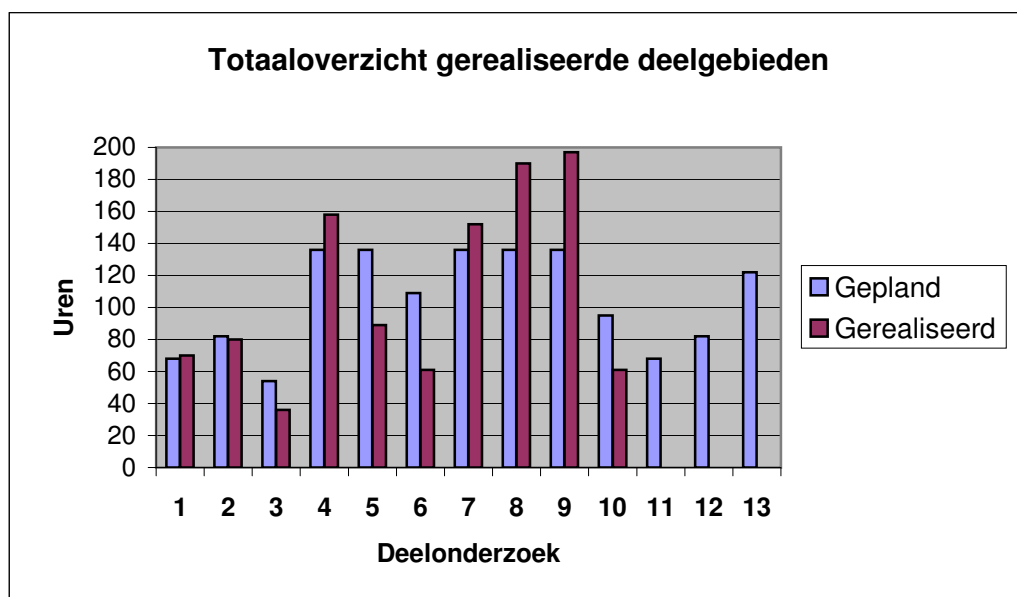
Werkverantwoording Week 51

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152
8	Uitwerking oplossingen	0	0	0	190
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	30	30	60	197
10	Variantenvergelijking en beslismodel	10	10	20	61
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		40	40	80	1094



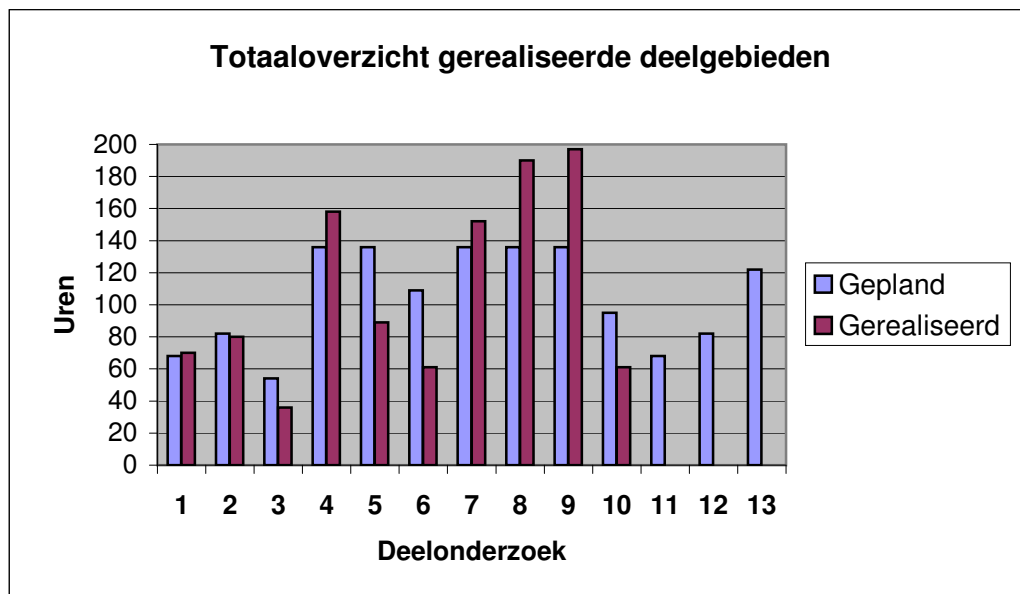
Werkverantwoording Week 52

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152
8	Uitwerking oplossingen	0	0	0	190
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	197
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	61
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		0	0	0	1094



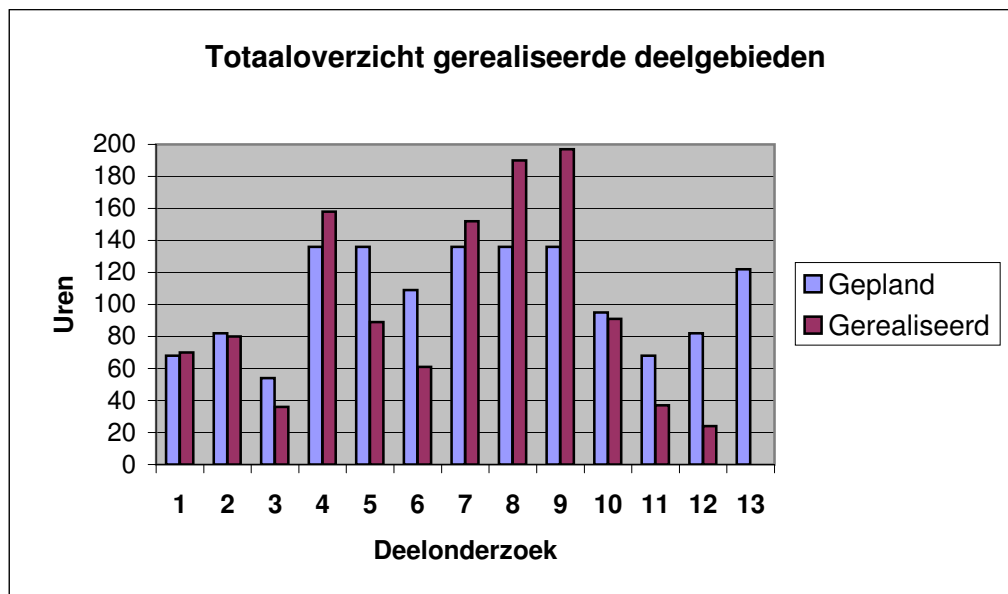
Werkverantwoording Week 1

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152
8	Uitwerking oplossingen	0	0	0	190
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	197
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	61
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	0
12 Eindverslag		0	0	0	0
13 Presentatie		0	0	0	0
Totaal		0	0	0	1094



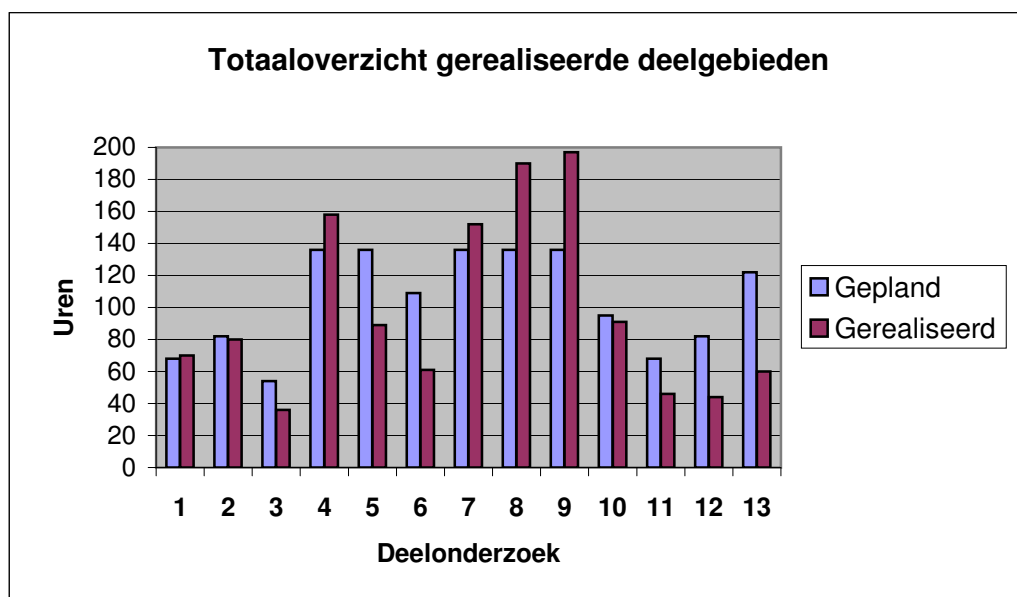
Werkverantwoording Week 2

			Totaal		
			Week	Cumulatief	
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	Danny	Stefan	Week	Cumulatief
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	70
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	80
					36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152
8	Uitwerking oplossingen	0	0	0	190
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	197
10	Variantenvergelijking en beslismodel	20	10	30	91
11	Aanbeveling / conclusie	13	24	37	37
12	Eindverslag	12	12	24	24
13	Presentatie	0	0	0	0
Totaal		45	46	91	1185



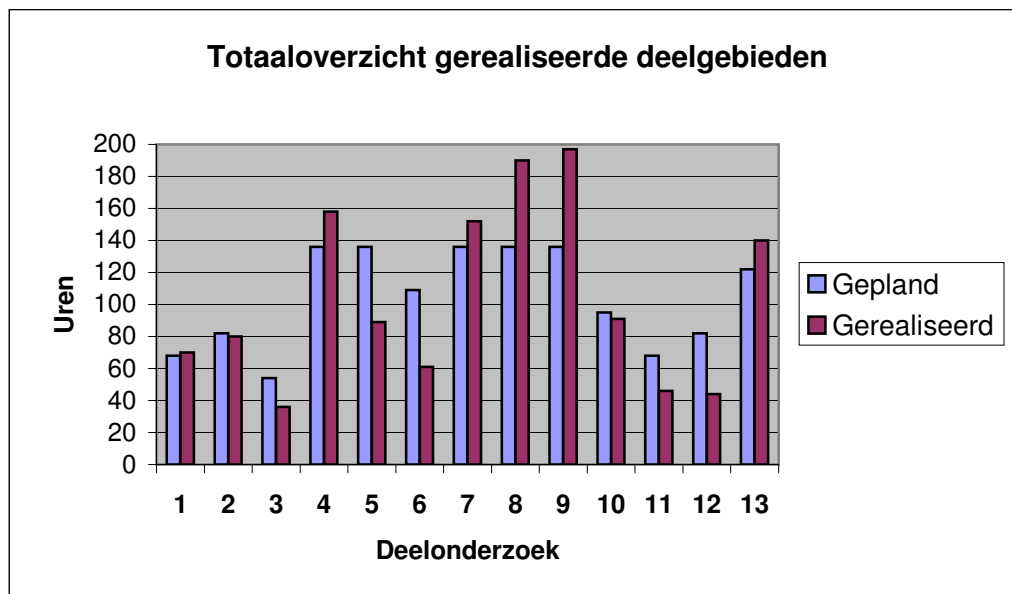
Werkverantwoording Week 3

			Totaal			
			Week	Cumulatief		
Literatuuronderzoek						
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70	
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80	
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36	
Onderzoek naar toepasbaarheid						
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158	
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89	
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61	
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152	
8	Gedrag EPS-fundering analyseren	0	0	0	190	
Uitwerking onderzoek						
9	Variantenstudie	0	0	0	197	
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	91	
11	Aanbeveling / conclusie	3	6	9	46	
12 Eindverslag			10	10	20	44
13 Presentatie			30	30	60	60
Totaal			43	46	89	1274



Werkverantwoording Week 4

				Totaal	
		Danny	Stefan	Week	Cumulatief
Literatuuronderzoek					
1	Inventarisatie huidige technieken	0	0	0	70
2	Analyse beschreven technieken	0	0	0	80
3	Onderzoek naar gerealiseerde gebieden	0	0	0	36
Onderzoek naar toepasbaarheid					
4	Onderzoek naar praktijkgebied	0	0	0	158
5	Wegprofiel bepalen	0	0	0	89
6	Uitvoeringsmethode bepalen	0	0	0	61
7	Analyse optredende problemen	0	0	0	152
8	Uitwerking oplossingen	0	0	0	190
Uitwerking onderzoek					
9	Variantenstudie	0	0	0	197
10	Variantenvergelijking en beslismodel	0	0	0	91
11	Aanbeveling / conclusie	0	0	0	46
12 Eindverslag		0	0	0	44
13 Presentatie		40	40	80	140
Totaal		40	40	80	1354



Urenverdeling

		Aantal uren						
Week	Data	Danny	Cumulatief	Stefan	Cumulatief	Gepland	Cumulatief	Cumulatief besteed
38	19-09-05 t/m 23-09-05	39	39	42	42	80	80	81
39	26-09-05 t/m 30-09-05	41	80	39	81	80	160	161
40	03-10-05 t/m 07-10-05	40	120	39	120	80	240	240
41	10-10-05 t/m 14-10-05	40	160	36	156	80	320	316
42	17-10-05 t/m 21-10-05	40	200	16	172	80	400	372
43	24-10-05 t/m 28-10-05	39	239	40	212	80	480	451
44	31-10-05 t/m 04-11-05	39	278	44	256	80	560	534
45	07-11-05 t/m 11-11-05	39	317	43	299	80	640	616
46	14-11-05 t/m 18-11-05	35	352	41	340	80	720	692
47	21-11-05 t/m 25-11-05	40	392	40	380	80	800	772
48	28-11-05 t/m 02-12-05	38	430	43	423	80	880	853
49	05-12-05 t/m 09-12-05	40	470	41	464	80	960	934
50	12-12-05 t/m 16-12-05	40	510	40	504	80	1040	1014
51	19-12-05 t/m 23-12-05	40	550	40	544	80	1120	1094
52	26-12-05 t/m 30-12-05	0	550	0	544	0	1120	1094
1	02-01-06 t/m 06-01-06	0	550	0	544	0	1120	1094
2	09-01-06 t/m 13-01-06	45	595	46	590	80	1200	1185
3	16-01-06 t/m 20-01-06	43	638	46	636	80	1280	1274
4	23-01-06 t/m 27-01-06	40	678	40	676	80	1360	1354

Urenverdeling

