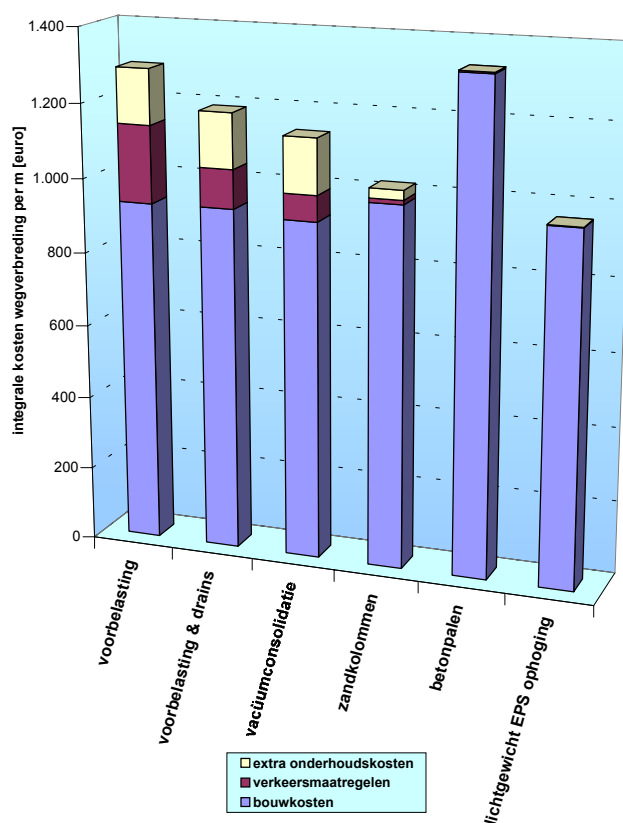


# Kostenvergelijking ophoogmethodes voor wegverbreding op samendrukbare ondergrond

Versie 4.1  
Documentnaam: r150605.1



Oprichtgever:  
Unidek Group B.V.

Infra Engineering Delft  
Delft, 17 juni 2005

## Inhoudsopgave

	Samenvatting .....	3
1	Inleiding .....	4
2	Probleembeschrijving.....	6
3	Beschrijving wegverbreding .....	7
3.1	Dwarsdoorsnede snelweg incl. wegverbreding.....	7
3.2	Verhardingsconstructie en ondergrond.....	8
3.3	Extra belasting door wegverbreding .....	9
3.4	Functionele eisen voor wegverbreding .....	10
4	Beschrijving ophoogmethodes.....	11
4.1	Zandlichaam met voorbelasting en drains .....	11
4.2	Vacuümconsolidatie.....	11
4.3	Zandlichaam gefundeerd op zandkolommen in geotextiel.....	12
4.4	Wegverbreding gefundeerd op betonpalen.....	12
4.5	Lichtgewicht wegconstructie met EPS-blokken.....	13
5	Consequenties voor onderhoud per ophoogmethode.....	15
5.1	Zandlichaam met voorbelasting en drains .....	15
5.2	Vacuümconsolidatie.....	17
5.3	Zandlichaam gefundeerd op zandkolommen in geotextiel.....	17
5.4	Wegverbreding gefundeerd op betonpalen.....	18
5.5	Lichtgewicht wegconstructie met EPS-blokken.....	19
6	Kosten per ophoogmethode voor wegverbredingen .....	20
6.1	Initiële kosten per ophoogmethode.....	20
6.2	Extra onderhoudskosten .....	24
7	Bestaande kostensystematiek .....	26
7.1	Literatuuronderzoek .....	26
7.2	Kostenraming systematiek voor beheer en onderhoud.....	27
7.3	Systematiek voor kostenraming in ontwikkeling.....	28
8	Conclusies .....	29
9	Literatuur.....	30
10	Verantwoording.....	31

## Samenvatting

De slappe ondergrond in diverse gedeelten van Nederland leidt tot hogere aanleg- en onderhoudskosten van de wegen en spoorwegen in deze gebieden. In het westen van het land, waar een combinatie van een samendrukbare veenbodem en een relatief dicht (spoor)wegennet aanwezig is, is de behoefte aan optimalisatie van de aanleg en het onderhoud het hoogst.

In hedendaagse Nederlandse praktijk valt de keuze uit alternatieve ophoogmethoden uitsluitend op grond van de (initiële) kosten tijdens de bouwperiode. De in de gebruiksfase voorkomende extra onderhoudskosten door restzettingen of maatschappelijke kosten vanwege filevorming door reconstructiewerkzaamheden spelen daarbij geen rol. Toch bestaat er een groot verschil ten opzichte van het recente verleden; onder initiële kosten worden niet alleen de aanlegkosten maar eveneens de kosten van verkeersmaatregelen gedurende de aanleg verstaan. Dus alle kosten die een opdrachtgever tijdens de realisatie werkelijk betaalt.

De beraming van initiële kosten voor de verbreding van een autosnelweg op samendrukbare ondergrond, gebaseerd op zowel de bouwkosten als de directe kosten voor verkeersmanagement, tonen aan dat de conventionele consolidatieversnellende aanpak economisch nadelig uitpakt. Deze bevinding is tegenstrijdig met de in de Nederlandse GWW sector heersende veronderstellingen. De reden ligt in de tot op heden verwaarloosde consequentie van lange bouw tijden voor wegbeheerders. Directe kosten voor noodzakelijke verkeersmaatregelen bedragen voor met voorbelasting te realiseren wegverbredingen ca. 15% van de totale initiële kosten.

Het voordeel van een korte bouw tijd en het ontbreken van het risico van de beschadiging van bestaande weggedeeltes resulteert in een lagere prijs van zettingarme ophoogmethodes met zandkolommen en lichtgewicht wegconstructies met EPS-blokken. EPS is als ophoogmateriaal wellicht iets duurder dan de anderen (hoewel grootschalig hergebruik de tegenwoordige marktprijs beïnvloedt). De kleine meerprijs wordt echter met gemak gecompenseerd door de veel snellere bouw tijd en de kleine zetting. De snelle bouw tijd leidt tot een grote reductie van verkeerstechnische maatregelen. De zeer kleine zetting leidt tot zeer lage (extra) onderhoudskosten. Als we deze aspecten in de vergelijking meenemen dan komt EPS vrijwel zeker als beste keus uit de vergelijking.

## 1 Inleiding

De slappe ondergrond in diverse gedeelten van Nederland leidt tot hogere aanleg- en onderhoudskosten van de wegen en spoorwegen in deze gebieden. In het westen van het land, waar een combinatie van een samendrukbare veenbodem en een relatief dicht (spoor)wegennet aanwezig is, is de behoefte aan optimalisatie van de aanleg en onderhoud het hoogst. Daarnaast is men in het westen van Nederland op diverse locaties bezig met de verbreding van de bestaande rijkswegen. Aan deze projecten worden hoge eisen gesteld. Een korte bouwtijd is vereist en er mag geen schade ontstaan aan de bestaande constructie. Bij rijkswegen in dit gebied is frequent onderhoud niet gewenst.

Bij de traditionele methoden voor de aanleg en verbreding van rijkswegen wordt gewerkt met het aanbrenge van overhoogte om de zettingen te forceren. Alternatieven met dezelfde effecten zijn vacuümconsolidatietechnieken. Het zetten van de ondergrond neemt echter tijd in beslag. Het vergroten van de overhoogte/onderdruk leidt weliswaar tot een reductie van de aanlegtijd, maar kan in het geval van een verbreding leiden tot ontoelaatbare schade aan de bestaande constructie. Het toepassen van zettingreducerende en zettingvrije methoden wordt in dergelijke gevallen gezien als een technisch betere oplossing. De keuze van de optimaal toe te passen bouwmethode wordt op basis van economische afwegingen gemaakt.

De uitkomst van een adequate kosten-batenanalyse naar economisch optimale oplossingen voor de aanleg/verbreding/reconstructie van (spoor)wegen hangt af van de inbegrepen kostenaspecten en gekozen tijdhorizon. In hedendaagse Nederlandse praktijk valt de keuze uitsluitend op grond van de (initiële) kosten tijdens de bouwperiode. De in de gebruiksfase voorkomende extra onderhoudskosten door restzettingen of maatschappelijke kosten vanwege filevorming door reconstructiewerkzaamheden spelen daarbij geen rol. Toch bestaat er een groot verschil ten opzichte van het recente verleden; onder initiële kosten worden niet alleen de aanlegkosten maar eveneens de kosten van verkeersmaatregelen gedurende de aanleg verstaan. Dus alle kosten die een opdrachtgever tijdens de realisatie werkelijk betaalt. Het maakt wezenlijk verschil, want conventionele consolidatieversnellende ophogingmethoden hebben een veel langere realisatietijd. Zoals uit het rapport duidelijk zal worden, verandert bovengenoemde kostencomponent omtrent verkeersmaatregelen het heersende beeld over 'goedkope' traditionele ophoogmethoden. De balans zal verder verschuiven, ten nadeel van het gebruik van extra overhoogte, wanneer wij extra onderhoudskosten door restzettingen meerekenen.

Ten einde meer inzicht en daarmee onderbouwing over financiële consequenties te creëren betreffende verschillende wegenbouwmethoden op slappe ondergrond heeft Unidek aan Infra Engineering opdracht verleend voor het definiëren van representatieve autosnelwegconstructies inclusief verbredingen en het berekenen van de kosten per variant. Bewust hebben wij ons daarbij (voorlopig) tot wegverbredingen van autosnelwegen beperkt omwille van transparantie en eenduidigheid. Het rapport beschrijft een vijftal ophoogalternatieven:

- a) een conventioneel zandlichaam (inclusief overhoogte) met verticale drains,
- b) een zandlichaam in combinatie met vacuümconsolidatie,
- c) een zandlichaam met een lastspreidende laag gefundeerd op zandkolommen met geotextiel,
- d) een op betonpalen gefundeerde wegverbreding, en
- e) een lichtgewicht wegconstructie met EPS-blokken.

De representativiteit van de geselecteerde, verbredingdimensies, verhardingslagen en gemaakte materiaalkeuze is mede gebaseerd op gelijkenissen met een van de grootste

projecten van dit soort in Nederland - de reconstructie/verbreding van rijksweg A15 bij knooppunt Sliedrecht-Oost (voorheen Wijngaarden). Aangenomen materiaaleenhedenprijzen corresponderen met beschikbare gegevens uit de literatuur, eigen projecten en leveranciergegevens. Het definiëren/afleiden van onderhoudsscenario's is in beperkte mate (in verband met beschikbare tijd) gebaseerd op Plaxis-modellen en zettingberekeningen conform de Koppejan-methode. De gehanteerde ramingmethode en berekeningen van initiële en onderhoudskosten en de daaruit getrokken conclusies berusten op aangegeven literatuurbronnen. Verder zijn er eigen archieven geraadpleegd met gegevens over snelweg A15 en de globale kostenvergelijking in het kader van de Betuwelijn. Ten slotte zijn in de voorbereidingsfase dhr. Alberts (projectleider kengetallen Bouw Infrastructuur bij RWS Expertise Centrum Opdrachtgeverschap), dr.ir. Van (sectordirecteur kennis bij Geo-Delft), ir. Venmans (programmameerder bij DWW-RWS) en ir. Grashuis (productgroepleider Geotechniek en Wegfunderingen bij DWW-RWS) gecontacteerd over hun bevindingen en suggesties omtrent bouwkosten op samendrukbare ondergrond.

In dit rapport zal een globale vergelijking gemaakt worden van de meest voorkomende bouwmethoden die in soortgelijke situaties in de Nederlandse ingenieurspraktijk in aanmerking komen. Bij een dergelijk globale beschouwing, met vanwege commerciële belangen verborgen/ontbrekende puzzelstukjes, geldt voor de resultaten ongetwijfeld een bepaalde bandbreedte. Unidek staat voor objectieve communicatie met eigen klanten en in die zin heeft Unidek TNO voor een second opinion over de in dit rapport geformuleerde bevindingen gevraagd.

## 2 Probleembeschrijving

Ondanks de geproclameerde financiële transparantie voor publieke investeringen is er betrekkelijk weinig gepubliceerd in Nederland over de werkelijke kostenverhouding tussen alternatieve bouwmethodes voor infrastructurele werken in het zettinggevoelig westelijk gedeelte van Nederland. De vuistketengetallen voor de kostenindicaties van RWS [1] betreffen bijvoorbeeld uitsluitend verbreding van de autosnelwegen op stabiele zandgrond. Er is geen sprake over enig alternatief voor de conventionele wegophogingen noch over mogelijke zettingproblemen. Misschien verklaart dat mede waarom er sprake is van enige stigmatisering van innovatieve/moderne ontwerpmethodieken en bouwwijzen ten bate van conventionele zandophogingen. '(Te) duur' is de spontane reactie van wegbeheerders/opdrachtgevers zonder verdere kwantificering.

Het resultaat van de genoemde vooringenomen benadering mondt uit in 'pijnlijk' conservatieve bouwmethodes toegepast bij de twee laatste Nederlandse infrastructurele megaprojecten. De HSL is praktisch over de gehele lengte op betonpalen gefundeerd. Gelet op het over grote lengtes aangelegde conventionele zandlichaam in dikke veenpakketten en de dientengevolge te verwachten onderhoudskosten geldt een soortgelijke redenering eveneens voor de Betuwelijn. Het zijn twee uit de media bekende voorbeelden, welke goed zichtbaar zijn vanaf respectievelijk de A16 en A15. Iedere autorijder kent ook uit eigen ervaring de versmalde weggedeeltes met de daarnaast liggende overhoogtes van zand waarlangs de files langzaam rijden.

De redenen voor weinig gerapporteerde kostenramingen omtrent verschillende ophoogmethodes in gebieden met samendrukbare ondergrond liggen enigszins voor de hand. Door uiteenlopende situaties in de Nederlandse ingenieurspraktijk is de uitkomst verschillend per project. Een realistische kostenraming per ophoogtechniek hangt in het algemeen af van een veelheid van invloedsfactoren. Daardoor valt er alleen met een aanzienlijke bandbreedte te zeggen hoeveel een bepaalde techniek duurder/goedkoper is. (Een apart verhaal vormen onderhouds- en (maatschappelijke) filekosten die ook bij een levenscycliberekening horen.) Bovendien geldt in de bouwwereld de gewoonte om "de kaarten voor zich te houden" ten opzichte van de concurrentie. Dientengevolge ontbreken er openbare gegevens voor prijzenonderbouwing en kwantitatieve (bijv. procentuele) inschatting van te verwachten kosten gebonden aan wegverbredingsmethoden op slecht dragende ondergrondsoorten.

Bovengenoemde situatie resulteert in ramingen die gebaseerd zijn op ononderbouwde of op gedateerde veronderstellingen/eenheidsprijzen betreffende bepaalde ophoogtechnieken. Zulke cijfers geven een onvolledig en vertekend beeld. Een typisch voorbeeld in de GWW zijn kostenberekeningen welke eigenlijk uitsluitend de initiële (aanleg)kosten bevatten. Zelfs bijbehorende directe kosten voor verkeersmaatregelen door (langdurige) bouwwerkzaamheden ontbreken. Ten slotte blijven (extra) onderhoudskosten en/of maatschappelijke kosten door files ten gevolge van bouwactiviteiten buiten beschouwing. Een dergelijke aanpak bevordert sterk het in stand houden van de status quo.

De toepassing van innovatieve bouwmethodieken en –materialen komt doorgaans alleen in aanmerking als het vanwege functionele eisen of korte bouwtijd niet anders kan. Zonder volledige en objectieve kwantitatieve kostenvergelijkingen zijn de voordelen van alternatieve ophoogmethodieken immers moeilijk aan potentiële opdrachtgevers duidelijk te maken. De consequentie is de haast automatische voorkeur voor de traditionele bouwwijze in eerste instantie.

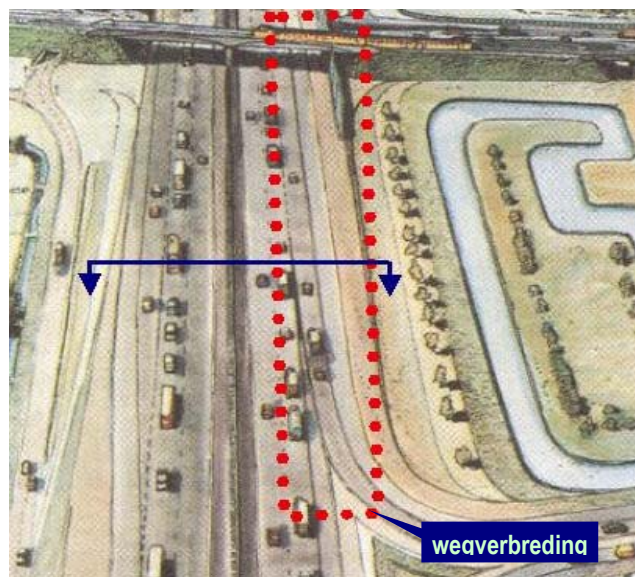
### 3 Beschrijving wegverbreding

Zoals in de inleiding aangegeven, beperkt de kostenvergelijking in dit rapport zich tot een case study van autosnelwegverbreding omwille van transparantie en eenduidigheid. Dit hoofdstuk beschrijft de aangenomen representatieve snelwegdimensies, de breedte van een wegverbreding, verhardingslagen en ondergrondkarakteristieken.

#### 3.1 Dwarsdoorsnede snelweg incl. wegverbreding

Een representatieve dwarsdoorsnede van snelweg ASW2×2 bevat twee symmetrische helften ten opzichte van de hartlijn in de lengterichting. In ons geval bevinden zich aan beide kanten van een dergelijke wegas twee 3,5 m brede rijstroken plus een vluchtstrook van 3,5 m. Met drie lijnbreedtes van 0,1 m en een 1,1 m breed strookje langs de middenberm bedraagt de totale breedte van het asfaltpakket 12,0 m. De berm aan de zijkant is 3 m en de helft van de middenberm tot de wegas 3,5 m. Dit betekent 18,5 m per rijrichting oftewel een totale breedte van 37,0 m van de snelweg aan de bovenkant [1]. Aan de onderkant varieert de ophogingbreedte met de taludlengte en –helling (meestal 1:3). In het geselecteerde voorbeeld ligt de snelweg 1,0 m boven het maaiveld met (1,0 diepe) sloten aan beide kanten.

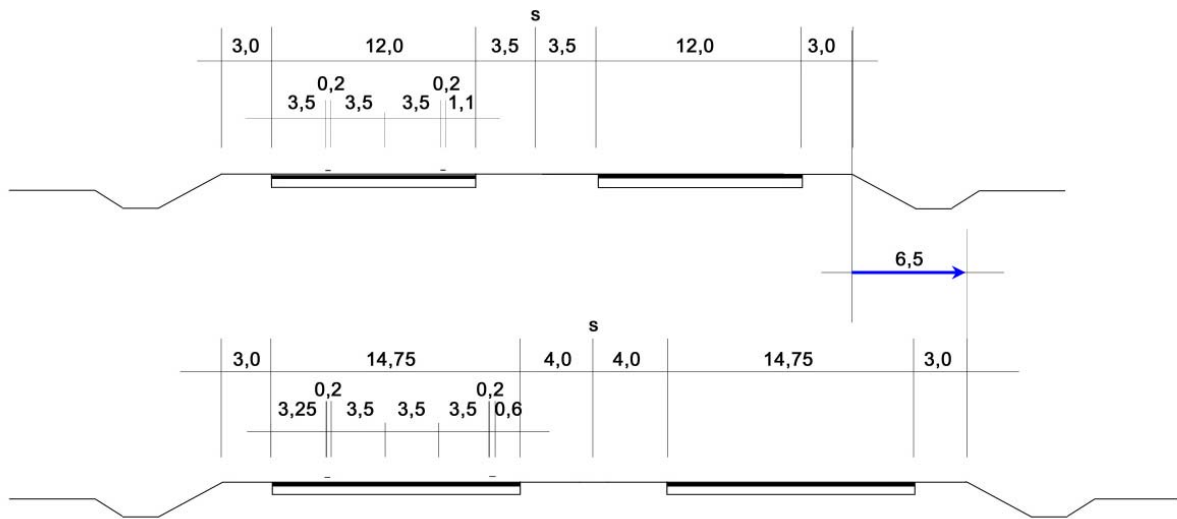
Uiteraard kent de praktijk talloze variaties. Zoals figuur 3.1 illustreert, wijkt bijvoorbeeld de dwarsdoorsnede in de buurt van knooppunten per definitie van bovengenoemde dimensies vanwege de aanwezige invoer- en afvoerstroken. In het onderhavige rapport zullen wij echter uitsluitend bovengenoemde dwarsdoorsnede met standaardafmetingen hanteren. Het gaat immers om een principiële kostenvergelijking voor representatieve situaties.



**Figuur 3.1** – Schematische weergave van snelweg A15 bij knooppunt Wijngaarden met aangegeven locatie waar de wegverbreding van 2×2 naar 2×3 rijstroken inmiddels is gerealiseerd.

De extra rijstrook van 3,5 m per rijrichting door realisatie van een asymmetrische wegverbreding aan een kant (zoals in figuur 3.1) houdt meer in dan de aanleg van een naastliggende ophoging van 6,5 m breed. De totale breedte van de wegverbreding is een resultaat van versmalling van de vluchtstrook van - 3,5 m naar 3,25 m - en de strook

langs de middelberm - van 1,1 m naar 0,6 m conform voorbeelden van RWS [1]. Figuur 3.2 laat schematisch zien hoe de dwarsdoorsnede van een snelweg transformeert ten gevolge van de wegverbreding.



**Figuur 3.2** – Schematische dwarsdoorsneden van snelweg met verbreding van 2x2 naar 2x3 rijstroken

Doordat de wegas verschuift, moet het asfaltpakket aan de kant van verbreding langs de middenberm gedeeltelijk opengeboken en verplaatst worden. Op zich zijn dit soort werkzaamheden onafhankelijk van de toegepaste ophoogmethode en hebben als zodanig weinig/geen invloed op de onderlinge kostenvergelijking. Het kostenverschil en verschil in bouwtijd ontstaat in verband met het 6,5 m breed nieuw weglichaam en voor een deel op de 3 m brede berm. Op die plaatsen wordt het bestaande evenwicht in de ondergrond door extra belasting van eigen gewicht van de (conventionele) wegverbreding verstoord met zettingen als gevolg. (Enige uitzondering daarvan vormt een evenwichtconstructie die alleen te realiseren is met lichtgewicht ophoogmaterialen.) Hoe groot die aanvullende belasting op de ondergrond aangenomen is staat in § 3.3.

### 3.2 Verhardingsconstructie en ondergrond

Een representatieve verhardingsopbouw van de snelweg is als volgt van boven naar beneden: a) een 0,3 m dik asfaltpakket bestaande uit een ZOAB-laag (ZOAB staat voor zeer open asfaltbeton) en drie lagen grindasfaltbeton; b) een 0,3 m dikke ongebonden funderingslaag van betongranulaat; c) 1,0 m dik zandbed (in analogie met de werkelijke situatie bij Wijngaarden); d) ondergrond.

Strikt constructief gezien voldoet een minder dik zandbed ook voor zware verkeersbelasting. Daarmee is bij de onderhavige kostenanalyse rekening gehouden. Eigenlijk zijn alleen het asfaltpakket en de ongebonden funderingslaag identiek voor alle verhardingsconstructies. De alternatieven met palen of kolommen hebben een lastspreidende laag in de vorm van een matras (in geowapening/geotextiel ingewikkeld ongebonden materiaal) of betonplaat. Bij een lichtgewicht wegophoging liggen EPS-blokken tussen het zandbed en de ondergrond.

De gehanteerde ondergrond bestaat uit een 6 m dik veenpakket en een 4 m samendrukbare kleilaag. In wezen gaat het om een, zeker in de wijde omgeving van Sliedrecht,



gewone grondopbouw. In het westelijk deel van Nederland bestaan er plaatselijk slappere grondlagen met veenpakketten van een meter of tien of zelfs meer. Meer extreme grondbouw zou praktisch niks veranderen in de analyse. Maximale zettingen in de gekozen ondergrond geven immers geen zicht op de definitieve consolidatie bij toenemende belasting. Er is per definitie sprake van een labiele evenwichtssituatie. Elke nieuwe reconstructie waarbij bijv. extra asfaltlagen (=extra gewicht) worden aangebracht zal het consolidatieproces wederom op gang brengen.

De aangenomen volumieke massa van veen van 12 kN/m<sup>3</sup> kan in de Nederlandse praktijk ook lager uitvallen (tot 11 kN/m<sup>3</sup>). Desondanks is er representativiteit gewaarborgd gezien de werkelijke grondparameters bij Sliedrecht en wijde omstreken. De volumieke massa van veen heeft invloed op de netto belasting (=de korrelspanning) in de ondergrond en daarmee ook op de zettingprognose ter plaatse van de onderzijde van de uitgraving. De ontgraving oftewel het verwijderen van de ondergrond vindt plaats om een bepaalde gewichtreductie te kunnen realiseren in combinatie met de toepassing van lichtgewicht ophoogmateriaal.

### 3.3 Extra belasting door wegverbreding

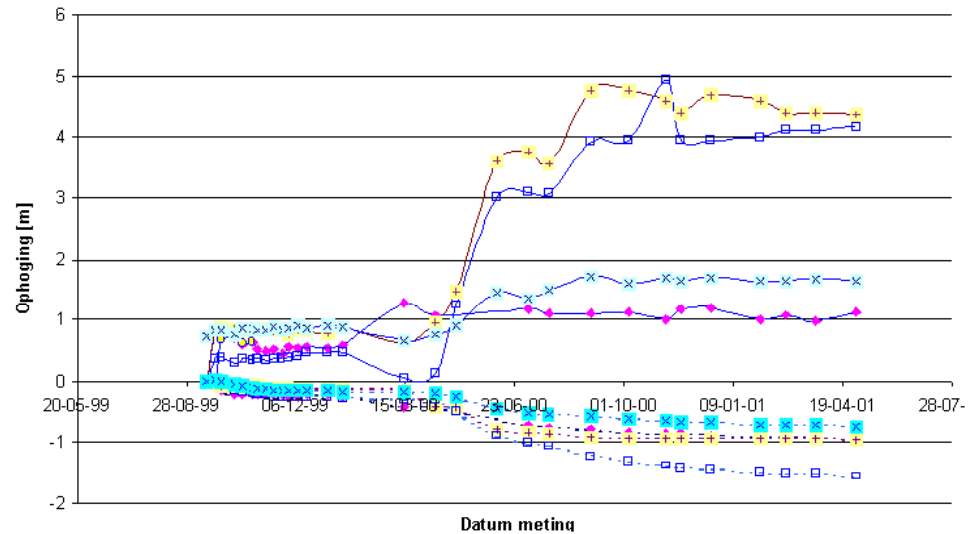
De grootte van de verticale belasting die in de ondergrond aan de onderkant van de verharding (op referentieniveau mv-0,6 m) wordt veroorzaakt bedraagt 25 kN/m<sup>2</sup>. Wat voor inputgegevens (verhardingsopbouw en volumegewichten) daarbij zijn gebruikt staat in Tabel 3.1 vermeld. De volumieke massa van zand in natte/verzadigde toestand is maatgevend vanwege de werkelijke ligging van het zandbed dicht bij het grondwaterniveau.

materiaal	laagdikte [m]	onderkant tov mv [m]	vol.massa [kg/m <sup>3</sup> ]	korrelspanning [kN/m <sup>2</sup> ]
asfaltpakket	0,30	0,70	2400	
ongebonden fundering	0,30	0,40	2000	
zandbed	1,00	-0,60	1900	
(ontgraven) ondergrond	-0,60		1200	<b>25,0</b>

**Tabel 3.1** – Toename van de korrelspanning in de ondergrond ten gevolge van de aanleg van de verhardingsconstructie in het kader van wegverbreding.

De vermelde toename van de korrelspanning heeft een relatief beperkte waarde door de lage aangenomen ligging van de representatieve snelweg (1,0 m boven het maaiveld). Desondanks betekent dit het optreden van zettingen van orde grote 1,0 m over een langere periode. Echter, dan beginnen de problemen. Het herstellen van de opgetreden zettingen en het egaliseren van het wegooppervlak betekent feitelijk op zijn minst een verdubbeling van de zanddikte naar >2 m. Daardoor neemt de korrelspanning weer toe en het consolidatieproces wordt opnieuw geïnitieerd. Dit kan onder de noemer symptomenbestrijding gezet worden. Het kost extra zand en extra tijd en heeft consequenties (door benodigde verkeersmaatregelen) voor de berijdbaarheid van de bestaande snelweg.

Indien er bijv. ter plaatse van een knooppunt een verhoging van de wegligging moet worden gerealiseerd komt er per 1 m omhoog een kleine 20 kN/m<sup>2</sup> extra belasting op (slappe) ondergrond. Figuur 3.3 laat de werkelijk gemeten zettingen zien veroorzaakt door voorbelastingen met verschillende hoogtes bij Sliedrecht. Van het aangebrachte 2 m zand zakt er 1 m weg. Bij hogere extra overhoogte verdwijnt er eveneens een aanzienlijke hoeveelheid zand in de ondergrond. (De verschillende zettingratios ter plaatse komen grotendeels door lokale verschillen in belasting in het verleden.)



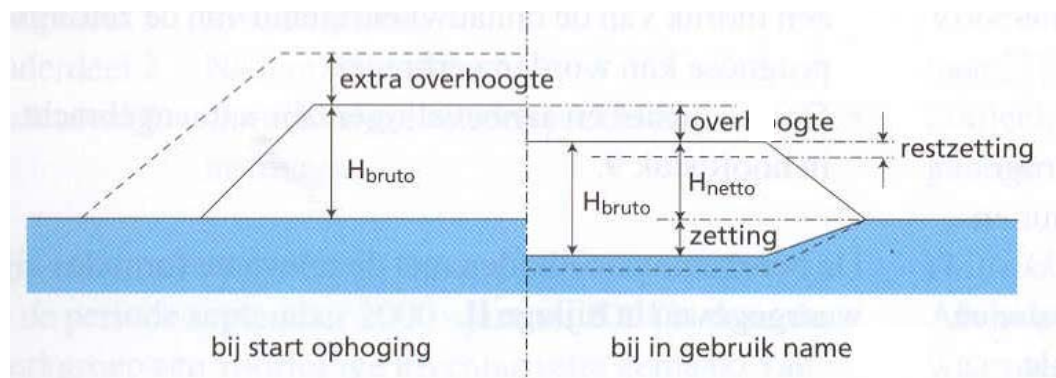
**Figuur 3.3** - Hoogte van voorbelasting en gemeten zettingen m.b.v. zakbaken in tijd ter plaatse van de verbreding van de A15 bij Sliedrecht

### 3.4 Functionele eisen voor wegverbreding

Ondanks de in de voorgaande paragraaf onderkende complexiteit van zettingproblematiek heeft RWS de neiging om zeer scherpe functionele eisen te hanteren voor de onderhavige wegverbreidingen. In RWS-publicaties [2] staan de volgende relevante functionele eisen voor de wegconstructies met gerealiseerde verbreding vermeld:

- hoogteverschillen tot 0,05 m over een lengte van 25 m (rijcomforteis);
- dwarshellingen op rechte weggedeeltes tussen 1 en 5%;
- asfaltscheuren niet wijder dan 20 mm met hoogteverschil minder dan 10 mm (veiligheidseis);
- voldoende stabiliteit van de ophoging (veiligheidseis);
- longitudinale helling ter plaatse van overgangsconstructies tussen de ophoging en zettingsvrije weggedeeltes (kunstwerken) mag hooguit 1% in tijd veranderen (veiligheidseis);

Figuur 3.4 [3] geeft schematisch een dwarsprofiel met terminologie. Zoals te zien is, wordt onder overhoogte extra zetting bij ingebruikname verstaan. Restzetting is zetting die zich voordoet in een bepaalde tijd vanaf de oplevering van de bovenbouw. Optelling van zetting vanaf start ophoging (=overhoogte) en restzetting noemen wij eindzetting.

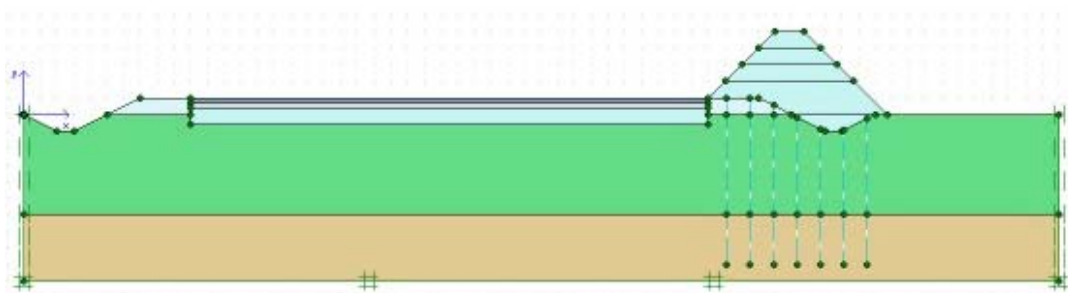


**Figuur 3.4** - Schematisch dwarsprofiel van voorbelasting met terminologie waarin eenduidig af te leiden betekenissen van overhoogte, rest- en eindzettingen.

## 4 Beschrijving ophoogmethodes

### 4.1 Zandlichaam met voorbelasting en drains

De echt conventionele bouwwijze betreft het gebruik van voorbelasting wel of niet in combinatie met drains. Een (extra) overhoogte zorgt voor snellere afloop van het consolidatieproces waarbij de drains ervoor zorgen dat het overspannen grondwater makkelijker weg kan stromen. Het beoogde effect van drains is een halvering van de veronderstelde voorbelastingsperiode. In plaats van de aangenomen 1,5 jaar voor alleen overhoogte kan, dankzij de toepassing van drains, de aanleg van de wegverbreiding na  $\frac{3}{4}$  jaar starten.



**Figuur 4.1** – Model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief voorbelasting en drains ter plaatse van de wegverbreiding.

Door optredende zettingen zal er ongeveer 2,0 m zand verloren gaan voordat het werk aan de verhardingsconstructie behorende tot de wegverbreiding start. De desbetreffende hoeveelheid betekent extra materiaalkosten in de bouwfase en vergroot aanzienlijke het aandeel van zandkosten in de totaalsom. Wat de drains betreft; die liggen op een onderlinge hart op hart afstand van 1,2 m.

In de literatuur vallen de op de ouderwetse manier berekende initiële kosten voor deze methode bijna altijd lager uit dan welke andere methode ook. Daarbij ontbreken echter altijd de met extreem lange bouwtijd gepaard gaande kosten voor verkeersmanagement, om over levenscycluskosten maar te zwijgen. Inmiddels houdt RWS wel rekening met (aanzienlijke) kosten voor de benodigde verkeersmaatregelen zoals barriers, aangepaste markering, extra veiligheidsmaatregelen e.d. Conform de meest recente RWS-publicatie [2] over dit onderwerp bedragen dit soort kosten ca. 15% van de totale bouwkosten.

Behalve de (te) lange consolidatietijd is de beïnvloeding van de directe omgeving een grote belemmering. Ondanks frequente implementatie in het verleden (gebaseerd op onder anderen het voor de aannemers gunstige intensief gebruik van het eigen wegpark voor zandtransport) komt deze methode vooral in aanmerking voor de vrij liggende tracédelen en niet voor de aanleg direct tegen/naast bestaande (weg)infrastructuur.

### 4.2 Vacuümconsolidatie

Vacuümconsolidatie heeft een identieke doelstelling als het gebruik van overhoogte. Bij deze methode wordt eveneens de zetting behorende bij de bovenbelasting van de constructie geaccepteerd. In plaats van bovenbelasting veroorzaakt het drukverschil in het grondwater door het toepassen van vacuümbemaling extra druk op de samendrukbare ondergrond. Gezien het om een consolidatieversnellende methode gaat, is het geen verassing dat de belangrijkste nadelen de lagere uitvoeringstijd en beïnvloeding van de

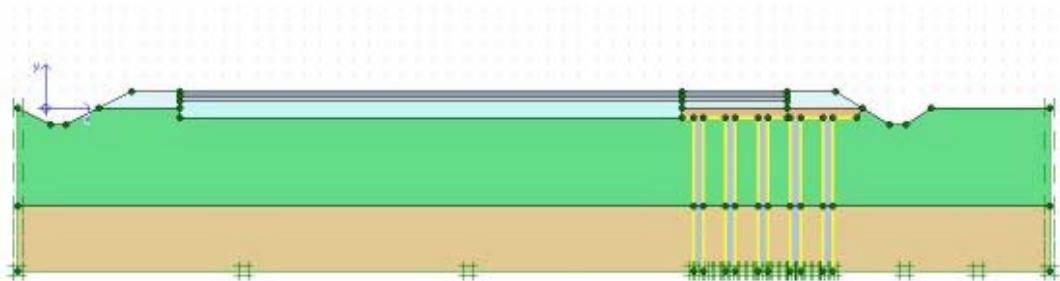
directe omgeving (grondwateronttrekking en zettingen omtrent het werkterrein) zijn. Derhalve is de methode voornamelijk geschikt voor de vrij liggende tracédelen en veel minder voor wegverbreiding. Wel wordt de consolidatietijd aanmerkelijk gereduceerd ( $\frac{1}{2}$  jaar) en is korter dan bij de toepassing van overhoogte in combinatie met drains ( $\frac{3}{4}$  jaar).

De uitvoeringsmethode bestaat uit het installeren van kleischermen en zandwanden met horizontale drains. Nadat het maaiveld met folie of klei wordt afgedekt kan vacuumbemaling starten. Vacuumbemaling zorgt voor het drijven van water uit de grond. De twee in Nederland bekendste (gepatenteerde) vacuümconsolidatievarianten zijn IFCO en Beaudrain. De aangenomen consolidatieduur voor de kostenberekeningen is 6 maanden. Zandwanden liggen op een 3 m afstand h.o.h. en zijn 6 m diep.

### 4.3 Zandlichaam gefundeerd op zandkolommen in geotextiel

Het systeem bestaat uit een fundering van met geotextiel ommantelde zand/grindkolommen. Als eerste worden er bij de installatie casings de grond ingebracht. Vervolgens worden deze leeggehaald waarna er een geotextiel ingehangen wordt en gevuld met grind of zand. De bovenbelasting van de aardebaan zorgt voor een compressie van de zandkolommen. Dientengevolge optredende vervorming van de zandkolommen leidt tot het ontstaan van ringspanningen in het geotextiel. Door deze ringspanningen zal het geheel idealiter gespoken als stijf element gaan functioneren. De methode wordt in Nederland bijvoorbeeld door aannemer Dura Vermeer toegepast.

Voor de analyse hebben wij gekozen voor zandkolommen met een diameter van 0,6 m met een onderlinge afstand van 2 m (hart op hart). De functie van de lastspreidende laag wordt vervuld door de natuurlijke boogwerking in combinatie met een grindmatras versterkt met geowapening (geogrids).



Figuur 4.2 – Model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief zandkolommen ter plaatse van de wegverbreiding.

### 4.4 Wegverbreiding gefundeerd op betonpalen

In Figuur 4.3 weergegeven wegverbreiding is gefundeerd op 11 m lange betonnen palen die tot in de stabiele pleistocene zandlaag bereiken. Als zodanig is de oplossing zettingvrij. Eigenlijk wordt zulke fundering gewoonlijk gebruikt voor kunstwerken. De hier gekozen prefab palen zijn vierhoekig met de dimensies 0,2×0,2 m. De onderlinge afstand bedraagt 2,5 m h.o.h. Identiek aan de methode met zand/grindkolommen zorgt een grindmatras ommanteld met geowapening (geogrids) voor voldoende lastspreiding tussen de paalkoppen.



**Figuur 4.3** – Model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief op betonpalen gesteunde wegverbreiding.

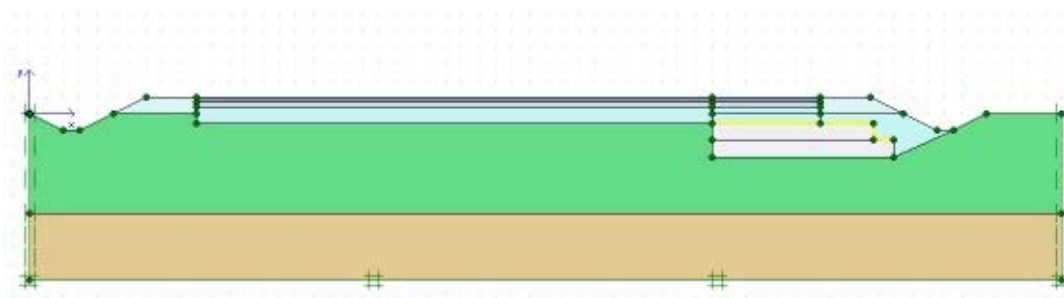
#### 4.5 Lichtgewicht wegconstructie met EPS-blokken

Wegverbreiding in de vorm van lichtgewicht ophoging met EPS-blokken biedt een oorzakgerichte oplossing. De EPS-dikte van 1,8 m is voldoende voor minimalisatie van aanvullende belasting op slappe ondergrond. Onder minimalisering wordt geen eliminatie van de extrabelasting door de aanleg verstaan maar voldoende gewichtreductie waardoor eindzettingen, conform zettingberekeningen gebaseerd op zowel Plaxis als Kopejan, van iets meer dan 5 cm over 30 jaar worden verwacht. Hoe groot de toename van korrelspanning bij de aanwezigheid van zo'n EPS-pakket is staat vermeld in Tabel 4.1. In vergelijking met Tabel 3.1 is de toename van korrelspanning in de ondergrond bijna gedecimeerd.

materiaal [-]	laagdikte [m]	onderkant tov mv [m]	vol. massa [kg/m <sup>3</sup> ]	korrelspanning [kPa]
asfaltpakket	0,30	0,70	2400	
ongebonden fundering	0,30	0,40	2000	
zandbed	0,80	-0,40	1900	
EPS	1,80	-2,20	50	
(ontgraven) ondergrond	2,20		1200	<b>2,9</b>
ref.niveau = mv-2,20 m				

**Tabel 4.1** – Toename van de korrelspanning in de ondergrond ten gevolge van de aanleg van lichtgewicht verhardingsconstructie met een 1,8 m dik EPS-pakket in het kader van wegverbreiding.

Aangenomen wordt dat er een zandbed direct bovenop de EPS-laag ligt met een dikte van 0,8 m. Zoals eerder genoemd is in de verhardingsconstructie van de A15 bij Sliedrecht, dat het zandbed 1,0 m dik is. Constructief gezien is daar echter sprake van overdimensionering. (Eigenlijk ging het om een combinatie van voorbelasting en EPS-blokken en de ontwerpers handelden doeltreffend door 1,0 m voorbelasting extra weg te halen en het bovenop het EPS-pakket als zandbed terug aan te leggen.) Een dunner zandbed maakt een dunner EPS-pakket mogelijk. Naast materiaalbesparing dient er minder diep gegraven te worden. Dit aspect kan voor problemen zorgen bij uitvoering bij een hoge grondwaterstand dat geen uitzonderlijke situatie is in veengebieden. Hiermee is bij de kostenbepaling (zie Tabel 6.6) rekening gehouden met de hoge aangenomen bemalingkosten.



**Figuur 4.4** – Model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief met lichtgewicht EPS-blokken gerealiseerde wegverbreding.

## 5 Consequenties voor onderhoud per ophoogmethode

Elke ophoogmethode beschreven in het vorige hoofdstuk brengt directe gevolgen met zich mee zoals de benodigde maatregelen die genomen moeten worden zowel ruimtelijk als in de tijd. Door de aanleg van wegverbreding op slappe ondergrond wordt, afhankelijk van de methode, meer of minder/nauwelijks schade veroorzaakt aan de bestaande weg. Aan de ene kant van het spectrum hebben we de versnelde consolidatiemethoden (§4.1 en §4.2) terwijl aan de tegenoverliggende zijde de fundering op betonpalen en de oorzaakgerichte lichtgewicht oplossingen zich bevinden. Door het tijdelijk ophogen met meters dik zandpakket tegen een bestaand weggedeelte zullen daarin bijvoorbeeld scheuren ontstaan.

Voor en na de oplevering zal de weg onderhevig zijn aan (rest)zettingen afhankelijk van de toegepaste ophoogconstructie. Conform de in Figuur 3.4 gebruikte terminologie hebben wij in de bouwfase met zettingen en daarna met restzettingen te maken. (Samen vormen die twee componenten zgn. eindzettingen.) Afhankelijk van het verloop en hoe groot de samendrukking van de ondergrond (=zettingen) tijdens de bouw zijn, zal de (eventuele) schade aan de bestaande weg optreden en zichtbaar worden, waardoor meteen en/of na verloop van tijd herstelmaatregelen nodig zijn. Uit het oogpunt van kostenberaming horen de kosten van de herstelmaatregelen, uit te voeren voordat de verbrede autosnelweg in gebruik wordt genomen, tot de initiële kosten. Daarentegen vallen de in de serviceperiode optredende schade en daarmee gepaard gaande financiële consequenties onder de onderhoudskosten. In deze categorie horen naast het periodieke herstel van asfaltlagen (hetzelfde voor alle ophogingmethoden) ook de extra onderhoudsbeurten ten gevolge van (aanzienlijke) restzettingen.

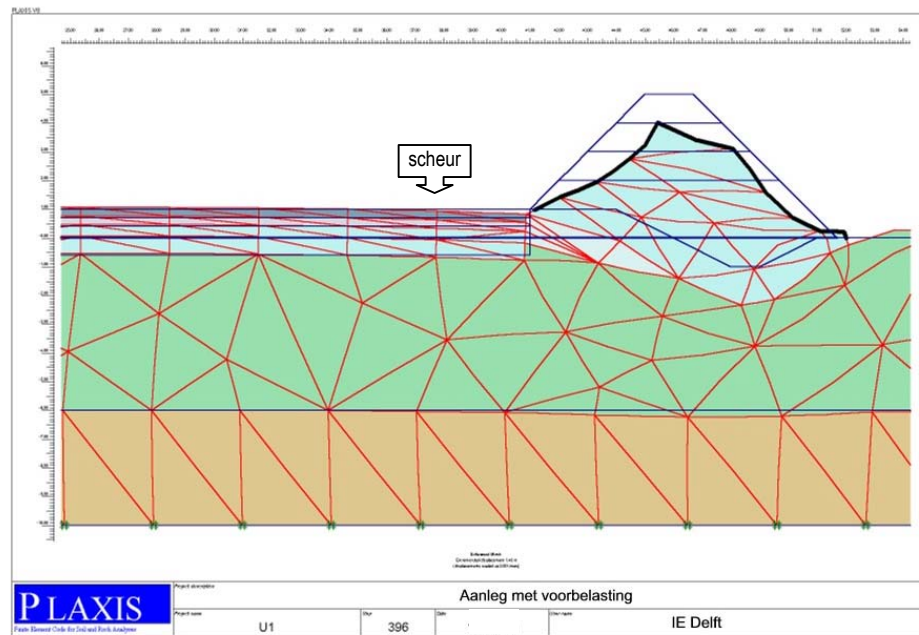
Een ZOAB-toplaag heeft een ontwerplevensduur van ongeveer 12 jaar. Indien het onderhoud door grote restzettingen eerder plaats moet vinden is er sprake van extra onderhoudskosten in de serviceperiode. Of er (afhankelijk van de ophoogmethode) wel of geen extra onderhoudskosten aan de orde zijn is van invloed op het totale kostenplaatje. In het kader van zgn. Design&Construct&Maintenance contracten moet de aannemer zelf aan de wegbeheerder vergoeding betalen voor elke keer dat zij reparatiewerkzaamheden in de gebruiksfase willen verrichten. Ten einde te kunnen bepalen welke van de bovengenoemde onderhoudsscenario's voor de onderhevige ophoogmethoden waarschijnlijk is hebben wij Plaxis-berekeningen uitgevoerd. Op die manier kunnen de deformatie in de bestaande wegconstructie en de totale zettingen van de wegverbreding globaal worden bepaald. De resultaten daarvan samen met het oog op de van de kostenvergelijking afgeleide bevindingen vormen het onderwerp van de komende paragrafen.

### 5.1 Zandlichaam met voorbelasting en drains

Deze echt conventionele bouwwijze met voorbelasting zonder of in combinatie met drains en eventuele (extra) overhoogte veroorzaakt vrijwel altijd scheuren in de bestaande weg en vergt een lange bouwtijd wegens de nodige (tijdsafhankelijke) zetting. De theoretische Plaxis-analyse bevestigt de monitoringsresultaten uit Figuur 3.3. In het onderhavige voorbeeld van de wegverbreding van 6,5 m wordt een zetting berekend van >1,4 m na voorbelasten met zand met een overhoogte van 5 m (Figuur 5.1). Deze zetting gaat gepaard met een zetting van de wegrand waardoor op  $\pm 3$  m afstand scheuren mogen worden verwacht.

In praktijk is het de afgelopen jaren zelfs onmogelijk gebleken om te voorspellen of er op een aantal locaties scheurvorming zal optreden in de vlucht- of linkerrijsstrook van de

hoofdrijbanen [4] wanneer voorbelasting (bijv langs de A15) is toegepast. Een en ander heeft te maken met in het verleden aangelegde wegconstructies met de zogenaamde doorpersmethode. Daarbij werd gepoogd de slechte lagen met een zandlaag weg te persen en zodoende te vervangen. De consequenties zijn grote variaties in de lokale stijfheid van het bestaande zandlichaam. Zonder hier dieper op in te gaan kan wel geconstateerd worden dat de aanleg van een wegverbreiding met overhoogte door de benodigde zettingtijd niet alleen zal worden vertraagd. Door de ontstane grote zetting in de bouwperiode is de bestaande weg aan scheuren onderhevig. Hoe het er in praktijk uit ziet is in Figuur 5.1 geïllustreerd met 2 maal vergrote deformaties van de overbelaste ondergrond. Bij de kostenvergelijking van initiële kosten dienen in elk geval de herstelwerkzaamheden aan de bestaande weg te worden meegerekend.



**Figuur 5.1** – 2-D Plaxis model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief voorbelasting ter plaatse van de wegverbreiding met 2 maal vergrote deformaties/zettingen van de ondergrond.

Na de oplevering van de weg zullen de restzettingen zich verder ontwikkelen. Theoretisch wordt de eindzetting van de ondergrond t.g.v. belastingveranderingen praktisch na een periode van circa 30 jaar gesteld. In de eerste jaren gaat de consolidatie veel sneller en de veronderstelde restzettingen zullen in de praktijk onder verkeersbelasting sneller tot schade van de weg leiden; de grote asfaltbeurt zal dan eerder dan de gebruikelijke 12 jaar moeten plaatsvinden. De omvang van de herstelwerkzaamheden ter grootte van het asfaltpakket over een rijstrook lijkt ons een redelijke aanname.

Herstel van de weg wil ook zeggen: hinder voor wat betreft weggebruik. En dat gaat gepaard met kosten voor files en bereikbaarheid van locaties. Er is echter geen eenduidige systematiek ontwikkeld voor kwantificering van congestiekosten. Doordat wegbeheerders voor zulke maatschappelijke kosten geen verantwoordelijkheid (mee)dragen, spelen die ook verder geen rol bij de keuze van de ophoogmethode. Hoewel niet in geld uitgedrukt draagt langdurige voorbelasting met overhoogte samen met de bijbehorende herstelwerkzaamheden in elk geval ongetwijfeld meer bij aan filevorming dan welke andere ophoogmethode dan ook. Een belangrijk aspect daarvan, de directe (aanzienlijke) kosten voor verkeersmanagement (barriers, aangepaste markering, extra veiligheidsmaatregelen e.d.), die voor rekening van de wegbeheerder zijn staan wel verwerkt in de tabellen 5.1...6. Dit is echter al in §4.1 vermeld.



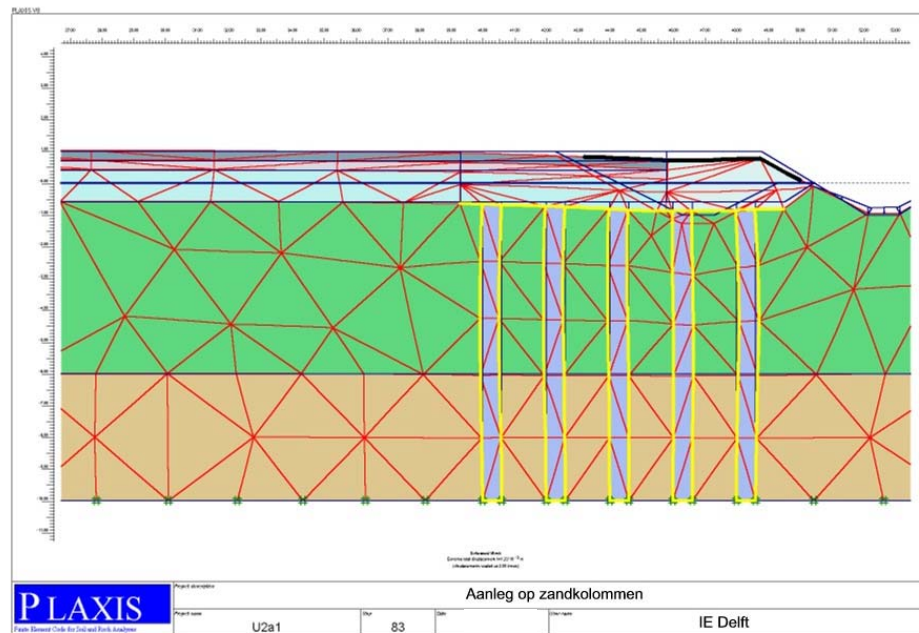
## 5.2 Vacuümconsolidatie

Gelet op zettinggedrag van de wegverbreding betreft het belangrijkste verschil tussen de effecten van voorbelasting en vacuümconsolidatie een sneller consolidatieproces in het laatste geval. Eindzetting zal ongeveer gelijke waarde hebben zoals in §4.1. Hetzelfde geldt voor de te verwachten schade aan de bestaande wegconstructie in de realisatiefase. Sneller optredende zettingen en daarmee gepaarde gaande reductie van de bouwtijd verminderen wel de duur van congestiegerelateerde problemen. Het grote voordeel daarvan zijn lagere kosten voor verkeersmaatregelen en daarmee lagere initiële kosten (zie Tabel 5.3). Gesproken over extra onderhoudskosten ten gevolge van de restzettingen in de serviceperiode worden die gelijk gesteld aan die voor conventionele voorbelasting (met of zonder drains).

## 5.3 Zandlichaam gefundeerd op zandkolommen in geotextiel

Bij deze methode wordt de toename van de belasting niet direct op de ondergrond afgedragen maar via de zandkolommen omgeleid naar het Pleistoceen. Daarmee is de zetting van de ondergrond niet meer van belang en vergt de methode relatief weinig bouwtijd. Omdat de kolommen ondersteuning nodig hebben van de ondergrond, bepalen de eigenschappen van de ondergrond nog wel het gedrag ervan.

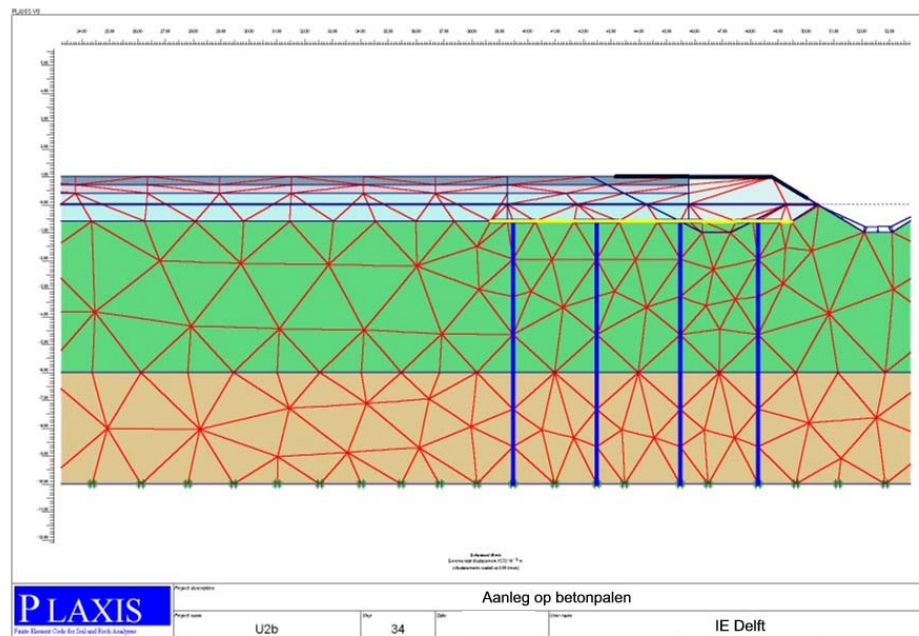
De te verwachten vervormingen van de kolommen die verzakking van de weg bepalen zijn slecht een fractie van totale zettingen in de ondergrond veroorzaakt door conventionele overhoogte. In hoeverre de voltooide snelweg in de eerste 12 jaar na de verbreding extra herstelwerkzaamheden nodig heeft, hangt direct af van het verschil in zettingen van de bestaande en vervormingen van de nieuw aangebouwde weg. Figuur 5.2 laat (2 maal vergrote) vervormingen en (eind)zettingen zien in het geanalyseerde 2-D Plaxis model. De grootste berekende verticale vervorming bedraagt ca. 0,16 m. Dientengevolge zullen alleen beperkte herstelwerkzaamheden nodig zijn voor correctie van het wegdwarsprofiel. Een vervroegde vervanging van de asfaltdeklaag van een rijstrook wordt als toereikend aangenomen.



**Figuur 5.2** – 2-D Plaxis model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief zandkolommen ter plaatse van de wegverbreiding met 2 maal vergrote deformaties/zettingen van de ondergrond.

#### 5.4 Wegverbreiding gefundeerd op betonpalen

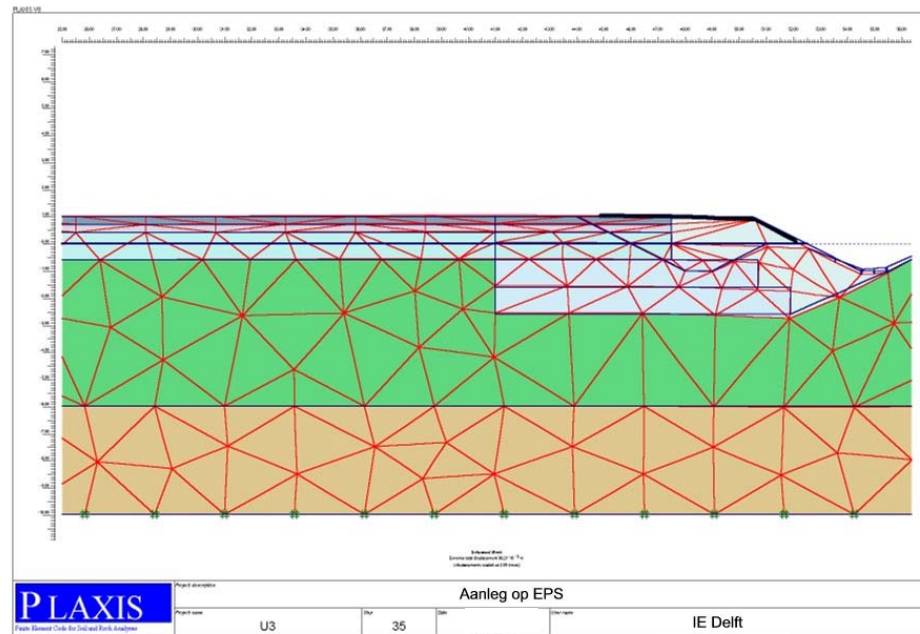
Toepassing van betonnen palen is in grote mate vergelijkbaar met de in het vorige hoofdstuk beschreven zandkolommen. In tegenstelling tot zandkolommen is hier nu sprake van een stijve/starre constructie en is derhalve niet meer direct afhankelijk van het gedrag van de ondergrond. De palen steken tot in de stabiele pleistocene zandlaag. Als zodanig is de oplossing zettingvrij en dus onderhoudsvrij. Alleen bij een niet star ondersteunde bestaande weg kan de star ondersteunde nieuwe wegverbreiding juist voor zettingverschillen veroorzaken.



**Figuur 5.3** – 2-D Plaxis model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief op betonpalen gesteunde wegverbreiding.

## 5.5 Lichtgewicht wegconstructie met EPS-blokken

Met EPS-blokken wordt gezorgd dat de belasting op de ondergrond slechts minimaal verandert. Daardoor is er geen aanzet tot zetting van betekenis in de ondergrond. Resulterende zettingswaarden blijven beperkt tot ca. 0,06 m over periode van 30 jaar. Er zullen naar verwachting geen extra onderhoudactiviteiten plaats vinden buiten het reguliere onderhoud, wat is veroorzaakt door de verkeersbelasting.



**Figuur 5.4** – 2-D Plaxis model van de dwarsdoorsnede van de snelweg inclusief met lichtgewicht EPS-blokken gerealiseerde wegverbreiding met 2 maal vergrote deformaties/zettingen van ondergrond.

## 6 Kosten per ophoogmethode voor wegverbredingen

Hoewel de benadering gebaseerd op levenscycluskosten in wezen de meest complete vergelijkingsresultaten zou opleveren voor alternatieve ophoogmethodes, ligt het accent in dit rapport voornamelijk op de bouwkosten en kosten voor verkeersmaatregelen. Deze twee kostenposten vormen de basis voor de keuze van ophoogmethode bij de meeste uitbestedingen. Verkeersmaatregelen zoals extra veiligheidsmaatregelen, barriers, aangepaste markering e.d. zijn nodig bij langere bouw tijden, wat tevens leidt tot beschadiging/versmalling van het bestaande weglichaam. Zoals eerder gezegd kunnen dit soort kosten ca. 15% van de totale bouwkosten bedragen voor conventionele voorbelasting met lange bouw tijd en beschadigingen op het bestaande weglichaam.

Aanvullend worden de te verwachten onderhoudskosten op korte termijn meegenomen. Gezien de steeds vaker voorkomende Design&Construct&Maintenance contracten, zijn min of meer frequente onderhoudsintervallen ten gevolge van optredende (rest)zettingen steeds interessanter geworden voor zowel wegbeheerders als aannemers. Toplagen van ZOAB moeten ongeveer elk 12 jaar vervangen worden. Als er binnen die periode niet aan de eerder genoemde functionele eisen kan worden voldaan, betekent dat extra kosten buiten het onderhoudsbudget. Ook veroorzaken de herstelwerkzaamheden verkeershinder op doorgaans druk bereden wegen.

### 6.1 Initiële kosten per ophoogmethode

In de praktijk is een tijdhorizon van 20 à 30 jaar veelal te lang. Derhalve leggen levenscycluskosten vooralsnog geen/weinig gewicht in de schaal bij de alternatieve selectie. Hetzelfde geldt voor maatschappelijke filekosten. Tabellen 6.1...6 wijzen op in welke mate alleen al het meenemen van directe kosten voor verkeersmanagement het traditionele beeld over kostenvergelijking tussen de verschillende ophoogmethoden op samen-drukbare ondergrond beïnvloeden.

Nr.	Materiaal	breedte [m]	dikte [m]	duur [dagen]	eenheidsprijs [€/m3]/[€/m2]	prijs [€]
1	zandbaan (als werkvloer)	8	1	-	8,77	70
2	voorbelasting	7	5	-	8,77	307
3	bemaling (2 pompen)	-	-	90	17,04	31
4	weghalen voorbelasting	7	2	-	4,01	56
5	asfaltpakket wegverbreding	6,5	0,3	-	138,77	271
6	ong.fundering wegverbreding	6,5	0,3	-	25,89	50
7	verkeersmaatregelen	-	-	548	0,38	209
8	schadeherstel asfalt	3,5	0,3	-	138,77	146
<b>totale prijs per strekkende meter van wegverbreding</b>						<b>1.140</b>

**Tabel 6.1** – Totale prijs per strekkende meter van wegverbreding op zettinggevoelige ondergrond gebaseerd uitsluitend op voorbelasting met zand.

Nr.	Materiaal	breedte [m]	dikte/lengte [m]	Duur [dagen]	eenheidsprijs [€/m3]/[€/m2]	prijs [€]
1	zandbaan (als werkvloer)	8	1	-	8,77	70
2	voorbelasting	7	5	-	8,77	307
9	drainage 1,2 m h.o.h.	1	53,55		0,63	34
4	weghalen voorbelasting	7	2	-	4,01	56
5	asfaltpakket wegverbreding	6,5	0,3	-	138,77	271
6	ong.fundering wegverbreding	6,5	0,3	-	25,89	50
7	verkeersmaatregelen	-	-	274	0,38	105
8	schadeherstel asfalt	3,5	0,3	-	138,77	146
<b>totale prijs per strekkende meter van wegconstructie</b>						<b>1.038</b>

Tabel 6.2 – Totale prijs per strekkende meter van wegverbreding op zettinggevoelige ondergrond gebaseerd op voorbelasting met zand en drains.

Nr.	Materiaal	breedte [m]	dikte/lengte [m]	duur [dagen]	eenheidsprijs [€/m3]/[€/m2]	prijs [€]
1	zandbaan (als werkvloer)	8	1	-	8,77	70
2	drainbuis	1	5	-	9,02	45
3	zandwanden 2 m h.o.h.=4 rijen	0,75	6	-	8,77	39
4	folie	1	8	-	0,63	5
5	lekscherm	1	1	-	10,03	10
6	afdekszand	8	0,5		8,77	35
7	aanvullen zand	7	3		8,77	184
8	bemaling	8	-	183	0,04	62
9	asfaltpakket wegverbreding	6,5	0,3	-	138,77	271
10	ong.fundering wegverbreding	6,5	0,3	-	25,89	50
11	verkeersmaatregelen	-	-	183	0,38	70
12	schadeherstel asfalt	3,5	0,3	-	138,77	146
<b>totale prijs per strekkende meter van wegconstructie</b>						<b>987</b>

Tabel 6.3 – Totale prijs per strekkende meter van wegverbreding op zettinggevoelige ondergrond gebaseerd op toepassing van vacuümconsolidatie.

Nr.	Materiaal	breedte [m]	dikte/lengte [m]	duur [dagen]	eenheidsprijs [€/m <sup>3</sup> ]/[€/m <sup>2</sup> ]	prijs [€]
1	zandbaan (als werkvloer)	8	1	-	8,77	70
2	palen = (4,5/2+18)/10*11m	1	24,75	-	5,01	124
3	aanbrengen (24) palen €1362 p.d.	1	2,25	-	62,66	141
4	vullen kous D=0,6m	0,283	24,75	-	12,53	88
5	geotextiel	9	1	-	1,76	16
6	geogrid	20	1	-	3,00	60
7	grindmatras	7	1	-	12,53	88
8	asfaltpakket wegverbreiding	6,5	0,3	-	138,77	271
9	ong.fundering wegverbreiding	6,5	0,3	-	25,89	50
10	verkeersmaatregelen	-	-	30	0,38	11
11	schadeherstel asfalt	3,5	0,15	-	138,77	73
<b>totale prijs per strekkende meter van wegconstructie</b>						<b>992</b>

**Tabel 6.4** – Totale prijs per strekkende meter van wegverbreiding op zettinggevoelige ondergrond gebaseerd op toepassing van zand/grind kollommen.

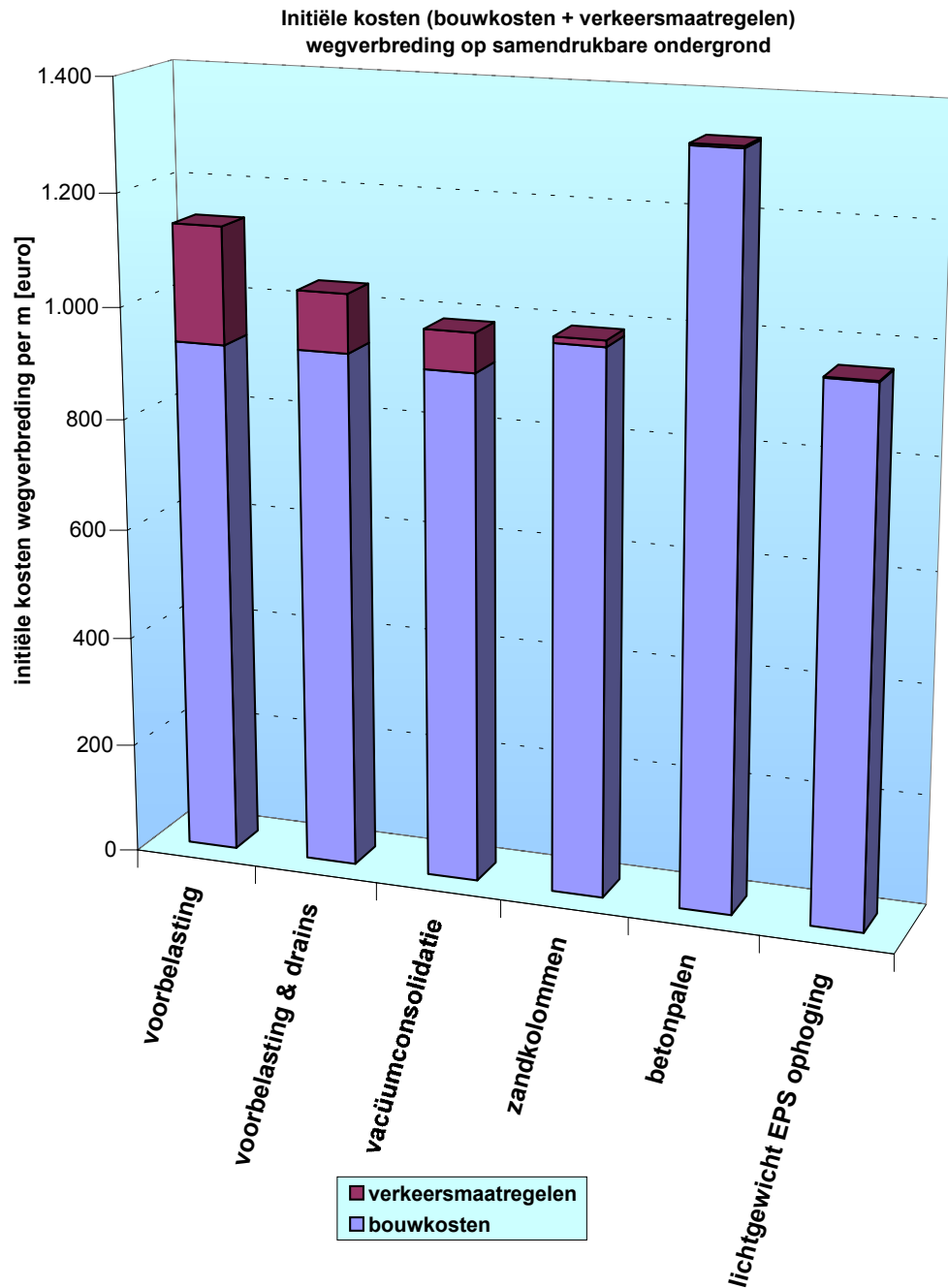
Nr.	Materiaal	breedte [m]	dikte/lengte [m]	duur [dagen]	eenheidsprijs [€/m <sup>3</sup> ]/[€/m <sup>2</sup> ]	prijs [€]
1	zandbaan (als werkvloer)	8	1	-	8,77	70
2	palen 200x200	1	19,8	-	12,78	253
3	aanbrengen palen	1	1,8	-	55,11	99
4	paalkop	1	1,8	-	216,40	316
5	geogrid	20	1	-	3,00	60
6	grindmatras	7	1	-	12,53	88
7	aanbrengen paalkop	1	1,8	-	17,55	32
8	geotextiel	10	1	-	1,76	18
9	asfaltpakket wegverbreiding	6,5	0,3	-	138,77	271
10	ong.fundering wegverbreiding	6,5	0,3	-	25,89	50
11	zandbed	9	1	-	8,77	70
12	verkeersmaatregelen	-	-	10	0,38	4
<b>totale prijs per strekkende meter van wegconstructie</b>						<b>1.330</b>

**Tabel 6.5** – Totale prijs per strekkende meter van wegverbreiding op zettinggevoelige ondergrond gebaseerd op toepassing van zettingvrije betonnen palen.

Nr.	Materiaal	breedte [m]	dikte/lengte [m]	duur [dagen]	eenheidsprijs [€/m3]/[€/m2]	prijs [€]
1	zandbaan (als werkvloer)	8	0,2	-	8,77	14
2	bemaling (3 pompen)	-	-	10	25,55	46
3	grond ontgraven	7	2,5	-	4,01	70
4	EPS	6,5	1,8	-	38	445
5	folie tegen oliederivaten	9		-	0,63	6
6	asfaltpakket wegverbreiding	6,5	0,3	-	138,77	271
7	ong.fundering wegverbreiding	6,5	0,3	-	25,89	50
8	zandbed	8	1	-	8,77	56
9	verkeersmaatregelen	-	-	5	0,38	2
<b>totale prijs per strekkende meter van wegconstructie</b>						<b>960</b>

**Tabel 6.6** – Totale prijs per strekkende meter van lichtgewicht wegverbreiding op zettinggevoelige ondergrond gebaseerd op toepassing van EPS-blokken.

In Figuur 6.1 zijn alle in voorgaande tabellen uiteengezette initiële kosten gesommeerd. Daarbij zijn de kosten voor verkeersmanagement en bouwkosten apart aangegeven. Niet alleen de volgorde maar ook de verschillen pakken echter heel anders uit dan de in hoofdstuk 7 geciteerde literatuurgegevens. Het maakt wezenlijk uit indien wij financiële consequenties van langdurige bouwactiviteiten en daarmee gepaard gaande directe kosten voor verkeersmanagement bij de berekening van totale bouwkosten meenemen. Vermeende lage initiële kosten van conventionele bouwwijze met overhoogte komen niet meer overeen met de werkelijkheid. Hetzelfde geldt in tegengestelde zin voor oorzakgerichte lichtgewicht ophoogmethode met EPS-blokken. In dit geval leidt snelle aanleg tot minimale verkeershinder, er is geen materiaalverlies door wegzakken van ophoogmateriaal (zoals bij voorbelasting) en het grootschalige hergebruik heeft een positieve invloed op de marktprijs van EPS-blokken. In tegenstelling tot traditionele beeldvorming resulteren zulke ingrediënten uiteindelijk in de laagste initiële kosten juist voor lichtgewicht wegverbreiding van alle geanalyseerde ophoogmethoden.



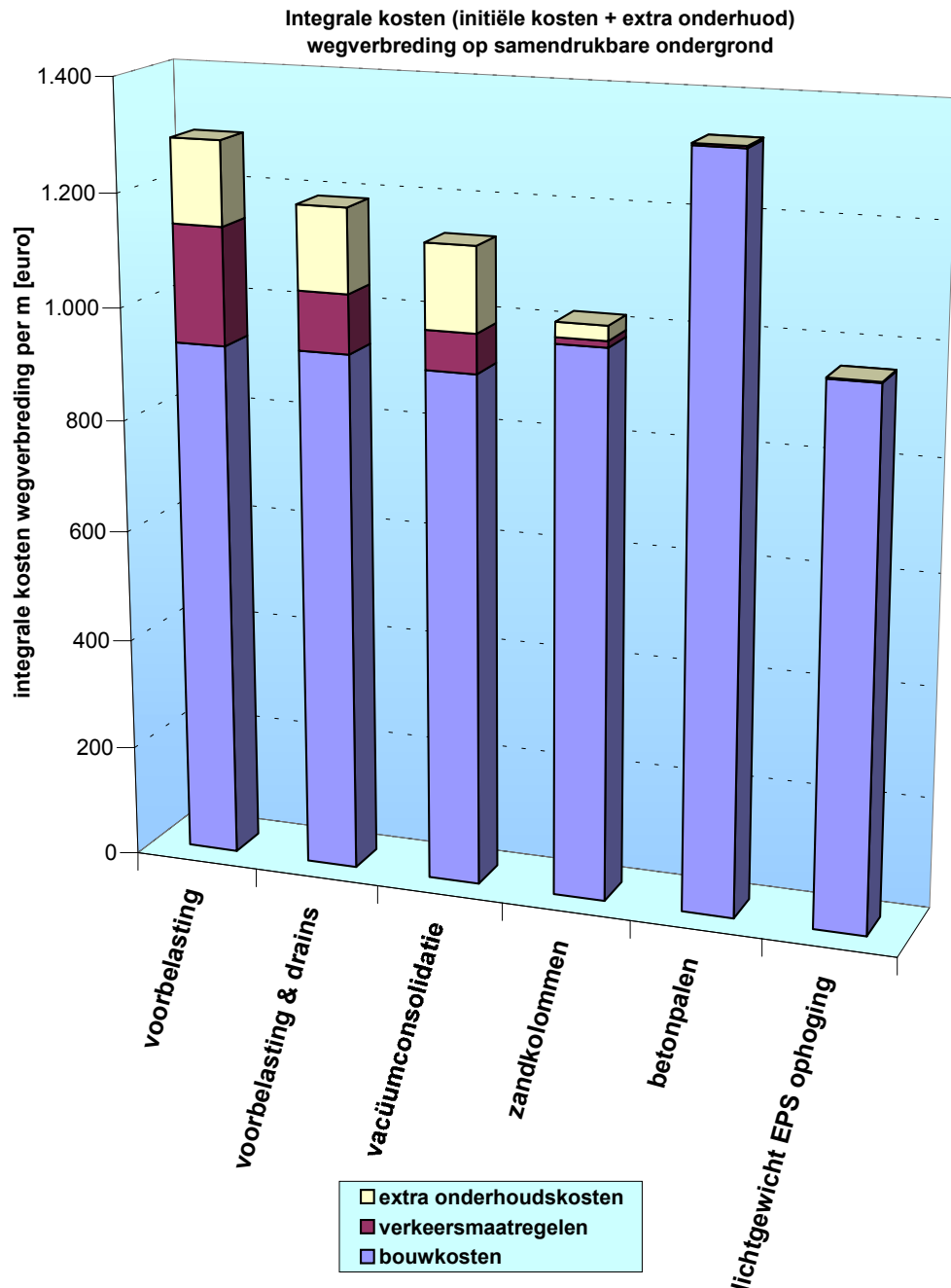
**Figuur 6.1** – Totale initiële kosten (bouwkosten plus directe kosten voor verkeersmaatregelen tijdens de bouwperiode) voor verbreding van een representatieve snelweg met alle in Nederland gebruikelijke ophoogmethodes op samendrukbare ondergrond.

## 6.2 Extra onderhoudskosten

Hoewel momenteel de selectie van ophoogmethodes praktisch alleen op initiële kosten is gebaseerd komen tegenwoordig steeds vaker Design&Construct&Maintenance contracten voor. In dat kader spelen naast bouw- en verkeersmanagementkosten ook eventuele extra onderhoudsintervallen (ten gevolge van optredende restzettingen) een prominente rol binnen de contractduur. Indien wij dergelijke extra onderhoudskosten van herstelwerkzaamheden globaal inschatten op grond van de in §5.1 t/m §5.5 beschreven



(conservatieve) aannames, is in Figuur 6.2 de opsomming van integrale kosten (initiële kosten – zie Figuur 6.1 - plus extra onderhoudskosten) te zien. Meegenomen verwachten globale onderhoudskosten hebben uitsluitend betrekking tot de reguliere vervanging van toplagen van ZOAB (de ontwerplevensduur ca. 12 jaar).



**Figuur 6.2** – Integrale kosten (totale initiële plus extra onderhoudskosten voor herstelwerkzaamheden ten gevolge van zettingen) voor verbreding van een representatieve snelweg met alle in Nederland gebruikelijke ophoogmethodes op samendrukbare ondergrond.

Het meerekenen van extra onderhoudskosten leiden tot een verdere verschuiving in het voordeel van zettingsarme/-vrije oorzaakgerichte ophoogmethodes in het algemeen, en lichtgewicht ophoogconstructies met EPS-blokken in het bijzonder. Dergelijke trends zullen telkens verder doorgaan indien er ook maatschappelijke (file)kosten uitgerekend en bijgeteld zouden worden. Langere bouwtijd en frequenter onderhoud veroorzaakt per definitie congestie van verkeer.

## 7 Bestaande kostensystematiek

### 7.1 Literatuuronderzoek

Een relatief uitgebreide methodiek, die in begin jaren '90 gebruikt is voor onderlinge kwalitatieve vergelijking van ophoogvarianten, is de Multi Criteria Analyse (MCA). Bij deze analyse werden aan constructief-, beheer- en uitvoeringstechnische criteria en milieu-criteria weegfactoren per variant toegekend. De zo vastgestelde rangorde geeft de volgorde aan waarin de varianten aan de gehanteerde criteria voldoen. In wezen gaat het om een onderlinge vergelijking gebaseerd op functionele eisen. Conform de MCA in de toonaangevende CUR-publicatie 162 "Construeren met Grond" [5] scoort een lichtgewicht wegconstructie met EPS-blokken als beste van 9 varianten plus 5 subvarianten. De resterende ophoogvarianten betreffen weglichamen van zand (met en zonder stone columns en zand-compozerpalen) en geëxpandeerde kleikorrels evenals de varianten met tijdelijke overhoogte en de toepassing van drains, vacuümconsolidatie en geotextiel. Tabel 7.1 geeft de aanlegduur, rangorde MCA, en relatieve kosten voor een geselecteerd aantal ophoogmaterialen weer.

	Ophoogmateriaal	rangorde MCA [-]	bouwtijd [jaar]	stichtingskosten t.o.v. zand+drains [%]	onderhoudskosten t.o.v. zand+drains [%]	totale kosten t.o.v. zand+drains [%]
traditioneel	zand met drains	10	1,6	100	100	100
versnelde consolidatie	zand + overhoogte	3	3,1	129	0	126
	zand + onderdruk	3	1,6	131	0	129
palenfundering	zand + stone columns	7	0,15	327	166	355
lichtgewicht	EPS	1	0,2	279	72	293
	geëxpandeerde kleikorrels	8	0,8	219	234	234

**Tabel 7.1** – Aanlegduur, rangvolgorde MCA, relatieve stichting-, onderhouds- en totale kosten ten opzichte van de opgestelde varianten [5] met als referentie zandophoging met overhoogte en verticale drains.

Conform de kostenberekeningen in de desbetreffende publicatie kost de aanleg van een 3,7 m hoog weglichaam met EPS-blokken meer dan twee en half keer zoveel als een conventionele zandophoging. Bij de berekeningswijze zijn de voorbereidings- en sloopkosten, de restwaarde en de kosten voor grondverwerving niet opgenomen. Aan extra kosten voor verkeersmaatregelen door verkeersbelemmering ten gevolge van bouwactiviteiten wordt eveneens geen aandacht besteed. Een werkelijk raadsel vormt de redenering over de onderhoudskosten. Hoe kan bijvoorbeeld de toepassing van vacuümconsolidatie tot 100% reductie (=geen onderhoud) leiden, terwijl onderhoudsafname dankzij EPS-blokken "slechts" 30% bedraagt ten opzichte van zandophoging met drains (zie Tabel 7.1). Recente ervaring met vacuümconsolidatie onder de N11 ondermijnt zulke optimistische verwachtingen ten zeerste.

De volgende publicatie met een uitgebreide samenvatting van de diverse ophoogtechnieken inclusief aanbevelingen staat in CROW 'Achtergrondrapport verbreding aardebaan van wegen en spoorwegen' [3] uit 2001. De meest relevante bevindingen bevinden zich in tabel 7.2.

	Ophoogmateriaal	onderhoud	bouwtijd	kosten	ervaring cq. status
traditioneel	Zand	--	j	++	+
versnelde consolidatie	zand + overhoogte	-	j/m	+	++
	zand + onderdruk	o	m	+	o
grondverbetering	zand – grondvervanging	-	j	+	++
	zand + betonpalen	++	d	--	+
lichtgewicht	zand + kolommen in geotextiel	++	w	-	-
	EPS	++	w	-	-
	Schuimbeton	++	w	-	-
	Flugsand	+	m	+	+
	E-bodemas	+	m	+	+
	geëxpandeerde kleikorrels	+	m	+	+

**Tabel 7.2** – Globaal overzicht uit [3] van verschillende ophoogtechnieken voor (spoor)wegverbredingen met indicaties omtrent vereiste onderhoud, bouwtijd, kosten en ervaring cq. Status.

Het meest opvallende in de tabel zijn de indicaties betreffende lage verwachte kosten van de toepassing van relatief zware lichtgewicht materialen als flugsand en geëxpandeerde kleikorrels. Zeer anders dan EPS of schuimbeton wegen poreuze flugsand en kleikorrels in natte toestand (representatief voor de GWW-toepassingen) tot  $1050 \text{ kg/m}^3$ . Dit is slechts fractioneel minder dan de volumieke massa van veen ( $\geq 1100 \text{ kg/m}^3$ ). Derhalve kunnen wij zelfs met een zeer dikke laag (en dus een grote hoeveelheid) van soortgelijke materialen geen significante gewichtreductie realiseren. Verder wijkt de eenheidsprijs van geëxpandeerde kleikorrels niet significant af van die van schuimbeton en/of EPS. Toch beweert de publicatie veel hogere bouwkosten voor die twee laatst genoemde lichtgewicht ophoogmaterialen.

## 7.2 Kostenraming systematiek voor beheer en onderhoud

De in Nederland meest toegepaste systematiek voor het vaststellen van de beheerkosten voor weginfrastructuur is die van CROW [6]. Op grond van gestandaardiseerde visuele inspecties wordt de schadeomvang vastgesteld en op netwerkniveau worden afwegingen gemaakt over het wel of niet benodigd onderhoud. Daarbij worden verschillende beleidsprofielen gehanteerd tussen R++ voor een zeer verzorgde uitstraling/zeer comfortabel, tot R- voor een matige uitstraling/enigszins oncomfortabel. Verder wordt er onderscheid gemaakt tussen een viertal ondergrondsoorten van zand tot veen. Uitgaande van weinig onderhoud door minimalisering van zettingen kunnen wij lichtgewicht wegconstructies met EPS-blokken qua beheerskosten (onderhoud) gelijkstellen met wegconstructies op zand. Voor het R+ niveau (comfortabel/verzorgde uitstraling) zou het betekenen dat voor een druk bereiden provinciale weg een jaarlijkse besparing op onderhoud van minimaal 20% oftewel ca. € 10.000 per km te verwachten valt. De jaarlijkse besparing op beheerskosten voor een autosnelweg bedraagt minimaal 30% oftewel € 35.000 per km.

Het RWS kengetallensysteem gehanteerd in [1] voor de bepaling van vuistkengetallen beperkt zich wat de nieuwbouw van (snel)wegvakken betreft tot zogenaamde middel-zware ondergrond. In de paper 'Integral design of motorways on soft soil on the basis of

whole life costs' [2] worden de vuistkengetallen gecheckt voor de locaties op slappe ondergrond. Daarvoor is het in ontwikkeling zijnde programma MRoad (zie volgende paragraaf) gebruikt. Het referentieontwerp is een conventioneel zandlichaam met voorbelasting en drains geweest. Het alternatief bestond uit een dragend matras van steengruulaat met geosynthetische (geo)wapening gefundeerd op  $\varnothing 150$  mm palen van schuimbeton. Uit de kostenvergelijking bleek er sprake van maar liefst 50% van de life costs ten opzichte van de beraming met de vuistgetallen. De wegverbredingen die gepaard gaan met significante zettingen kosten dus ten minste 1,5 keer meer dan wegverbredingen op zgn. middelzware ondergrond. Opvallend in de berekeningen is de meegenomen post voor benodigde verkeersmaatregelen door bouwactiviteiten. Deze post bedraagt 13 tot 17% van de totale kosten bij conventionele wegconstructies en nemen af tot 1% bij een snel uitvoerbaar en onderhoudsarm alternatief. Voor de goede orde: het gaat voornamelijk om de kosten voor veiligheidsmaatregelen zoals barriers, bebakening, tijdelijke markering e.d. tijdens de realisatie en dus niet om maatschappelijke filekosten door bijv. extra onderhoud in de gebruiksfase.

### 7.3 Systematiek voor kostenraming in ontwikkeling

De belangrijkste ontwikkeling in verband met realistische kostenberaming van wegbouwkundige activiteiten inclusief wegverbredingen op zettinggevoelige ondergrond betreft de ontwikkeling van het programma MRoad. De opdrachtgever is DWW-RWS en GeoDelft zal het programma realiseren. MRoad zal eigenlijk een supermodel inhouden met autonome modellen zoals MX-model van CAD, Silence 2.0, ROOS, Plaxis en MSettle/Delft-GeoSysteem. MX-model van CAD is het formaat van RWS voor geometrisch wegontwerp. Met Silence 2.0 worden de benodigde geluidsreducerende maatregelen (geluidsschermen en/of stille wegdekken) bepaald met het oog op het toegestane geluidsniveau in de directe omgeving. ROOS staat voor Rekening Optimale OnderhoudsDuur en het programma dient voor optimalisatie van onderhoudsmaatregelen en minimalisering van de daarmee gepaard gaande verkeershinder. De eindige elementen programma's Plaxis en MSettle zijn grondmechanische tools voor analyse van het ondergrondgedrag in tijd.

MRoad zal op de actuele database van RWS leunen en met alle genoemde autonome programma's een complex software pakket vormen. Optimistisch gezien zal de veelzijdigheid bijdragen tot volledigheid van de resulterende kostenramingen. Realistisch gezien behouden alle genoemde programma's bepaalde vereenvoudigingen van de werkelijkheid met onnauwkeurigheden in de resultaten ten gevolge daarvan. Pessimistisch gezien zullen de onnauwkeurigheden van de programma's als ROOS, Plaxis en MSettle de uitkomsten van MRoad overheersen. Hoe dan ook, de ontwikkeling zal vanzelf nieuwe aspecten ten opzichte van bestaande systematieken introduceren. De maatschappelijke (file)kosten, door extra onderhoud bijvoorbeeld, zullen in dat kader niet meer buiten beeld blijven. Zo redenerend zal de ontwikkeling van MRoad waarschijnlijk tot verdere voortgang leiden. Meer realistische kostenvergelijkingen zijn immers in het belang van RWS en andere wegbeheerders.

## 8 Conclusies

Beraming van initiële kosten voor de verbreding van een autosnelweg op samendrukbare ondergrond gebaseerd op zowel de bouwkosten als de directe kosten voor verkeersmanagement tonen aan dat de conventionele consolidatieversnellende aanpak economisch nadelig uitpakt. Zulke bevinding is tegenstrijdig met in Nederlandse GWW sector heersende veronderstellingen. De reden ligt in de tot op heden verwaarloosde consequentie van lange bouwtijden voor wegbeheerders. Directe kosten voor noodzakelijke verkeersmaatregelen bedragen voor met voorbelasting te realiseren wegverbreding ca. 15% van de totale initiële kosten.

Het voordeel van een korte bouwtijd en het ontbreken van het risico van de beschadiging van bestaande weggedeeltes resulteert in een lagere prijs van zettingarme ophoogmethoden met zandkolommen en lichtgewicht wegconstructies met EPS-blokken. EPS is als ophoogmateriaal wellicht iets duurder dan de anderen (hoewel grootschalig hergebruik de tegenwoordige marktprijs beïnvloedt). De kleine meerprijs wordt met gemak gecompenseerd door de veel snellere bouwtijd en de kleine zetting. De snelle bouwtijd leidt tot een grote reductie van verkeerstechnische maatregelen en maatschappelijk kosten door bijvoorbeeld fileleed. De zeer kleine zetting leidt tot zeer lage (extra) onderhoudskosten. Als we deze aspecten in de vergelijking meenemen dan komt EPS vrijwel zeker als beste keus uit de vergelijking.

## 9 Literatuur

- [1] “Vuistkengetallen voor de kostenindicatie in de verkenningsfase 2003”, Rijkswaterstaat Steunpunt Opdrachtgeverschap, Utrecht – 2003, 47 blz.
- [2] A.A.A. Venmans, U. Föster en R.H. Hooijmeijer (RWS-DWW), "Integral design of motoways on soft soil on the basis of whole life costs", Proceedings 16th Intern. Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka – 2005.
- [3] CROW-rapport 01-02 “Achtergrondrapport verbreding aardebaan van wegen en spoorwegen”, Ede – 2001, 120 blz.
- [4] Oostveen, J.P. et al., ‘Wegverbreding A15’, CROW Wegbouwkundige Werkdagen 1996, Ede – mei 1996, pag. 21-36.
- [5] CUR-publicatie 162 “Construeren met Grond – Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond”, Gouda – 1993, 563 blz.
- [6] CROW-publicatie 145 “Beheerkosten weginfrastructuur”, Ede – 2001, 60 blz.
- [7] CROW-publicatie 150 “Toepassingsrichtlijn voor EPS in de wegenbouw”, Ede – 2000, 88 blz.
- [8] RWS-DWW-rapport “Evaluatie No-Recess (New Options for Rapid and Easy Construction of Embankments on Soft Soil) – testbanen Hoeksche Waard, Delft – 2001, 134 blz.
- [9] CROW-publicatie 204 “Betrouwbaarheid van zettingsprognoses”, Ede – 2004, 114 blz.
- [10] GWW kosten – gebonden verhardingen, 14<sup>e</sup> editie Elsevier, Doetinchem – 1999, 252 blz.

## 10 Verantwoording

Titel : Kostenvergelijking ophoogmethodes voor wegverbredingen op samendrukbare ondergrond

Opdrachtgever : Unidek Group B.V.

Plaats en datum : Delft, 17-06-2005

Projectnummer : 26430

Doc.naam : r150605.1

Status/versie : versie 4.1/definitief

Aantal pagina's : 31

Opgesteld : dr.ir. M. Duškov en ir. H.S. Yap

Goedgekeurd : dr.ir. M. Duškov

Informatie : Infra Engineering Delft  
tel. 015-2600 981  
fax 015-2600 988  
info@iedelft.nl  
www.iedelft.nl

© 2005 Infra Engineering Delft

Niets van deze rapportage mag worden gebruikt voor andere doeleinden dan is overeengekomen tussen de opdrachtgever en Infra Engineering Delft (RVOI 2001; hoofdstuk 1, art. 17).