

Onderhogen van verzakkingen in asfaltwegen

Groeidocument



Onderhogen van verzakkingen in asfaltwegen
Groeidocument

Auteur(s)

Bernadette Wichman

Onderhogen van verzakkingen in asfaltwegen

Groeidocument

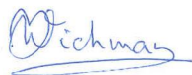


Opdrachtgever	TKI Deltatechnologie p/a Vereniging van Waterbouwers
Contactpersoon	
Referenties	
Trefwoorden	zettingen, asfaltwegen, onderhogen

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	12-10-2020
Projectnummer	11203068-000
Document ID	11203068-000-GEO-0006
Pagina's	66
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Bernadette Wichman	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	dr. Bernadette Wichman 	ir. Arjan Venmans 	ing. Goaitske de Vries 	

Samenvatting

Recent is in het kader van TKI Deltatechnologie samen met marktpartijen onderzocht wat de mogelijkheden zijn van het onderhogen van asfaltwegen. Hierbij worden ongelijkmatige zettingen uitgevlakt door onder het wegdek lichtgewicht materiaal te injecteren. Marktpartijen Uretek en Faber (voorheen Fagro) hebben hier enige ervaring mee, waarbij Uretek vooral stootvloeren kan liften en Faber zonken in het asfalt kan uitvlakken. Op een Rotterdamse pilot locatie is onderzocht of Uretek en Faber succesvol een asfaltverharding kunnen liften, waarbij vereist is dat het asfalt geen schade oploopt en er verder geen correctie van de asfalt toplaag meer nodig is. De pilot was een uitdaging vanwege de asfalt laag met een geringe dikte van circa 10 cm en de slappe ondergrond. Uretek heeft op een zeer warme dag expansiehars in de slappe ondergrond geïnjecteerd, waarmee het asfalt werd gelift. Echter er traden ook zijdelingse deformaties op, evenals scheuren en bobbel in het asfalt. Het injectiemateriaal verspreidde zich over grote afstand (meters). Faber heeft op een koude dag hoge sterkte celbeton direct onder de asfalt laag geïnjecteerd, waarmee het asfalt gelijkmatig kon worden gelift zonder schade. Voor het uitvlakken van zonken is de Faber methode het meest geschikt gebleken. Ten aanzien van het liften van stootplaten is er nog verdere ontwikkeling nodig. Met gerichte monitoring zal moeten worden onderzocht of er schade aan belendingen (zoals pijpleidingen, landhoofd) kan optreden.

Als er ondiep wordt geïnjecteerd, zoals Faber doet, dan volstaat een monitoring van de vlakheid van de weg. Als er vlak onder de stootvloer wordt geïnjecteerd, zoals Uretek doet, geldt dit meestal ook.

Als er in de grond wordt geïnjecteerd moet worden nagegaan waar het injectiemateriaal blijft en ook hoe de grond deformeert. Dit laatste is weer van belang ten aanzien van het inschatten van mogelijke schade.

Uiteindelijk moet met behulp van valgewicht deflectie metingen het draagvermogen voor en na het onderhogen worden onderzocht. Verder moet duidelijk worden hoe snel de weg na het onderhogen weer berijdbaar is. Dit kan door de ontwikkeling van de druksterkte van het materiaal in de tijd in het laboratorium te onderzoeken.

Een serie hoogtemetingen in de tijd geven aan of er nog nazakking optreedt.

Er is kort aandacht besteed aan life cycle aspecten

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding initiatief onderhogen	7
1.2	Wat is onderhogen?	7
1.3	Projectdoelstelling en fasering	7
1.4	Samenstelling projectgroep TKI-onderhogen van asfaltwegen	8
1.5	Beoogde eindproducten en gebruikers	8
1.6	Dankzegging	8
1.7	Leeswijzer	8
2	State of the art onderhogen begin 2019	9
2.1	Survey marktpartijen	9
2.2	Ervaringen Faber met onderhogen	9
2.2.1	De lift-methode	9
2.2.2	Referentieprojecten	9
2.3	Ervaringen Uretek met onderhogen	13
2.3.1	Floorlift methode	13
2.3.2	Referentieprojecten	14
2.4	Gewenste ontwikkelingen	17
3	Eisen en uitgangspunten	18
3.1	Ambitie	18
3.2	Eisenpakket	18
3.3	Duurzaamheid	21
3.4	Nadere eisen	22
4	Ontwerpaanpak	24
4.1	Proces	24
4.1.1	Huidige aanpak	24
4.1.2	Gewenste aanpak	24
4.2	Aspecten bij ontwerp	24
4.3	Onderzoek naar deelaspecten middels pilot	25
4.4	Pilot in het Rotterdamse, depot Hoofdweg	25
4.4.1	Beschrijving pilot locatie	25
4.4.2	Target voor onderhoging in pilot 2019	31
4.4.3	Werkzaamheden Uretek in 2019	31
4.4.4	Bevindingen Faber op locatie in 2019	36
4.4.5	Metingen vooraf en achteraf bij onderhogen door Uretek	37
4.4.6	Resultaten uit de ontgraving tussen raai 27 en 28 (uit geïnjecteerde deel Uretek)	39

4.4.7	Evaluatie werkzaamheden Uretek tot en met juli 2019	41
4.4.8	Pilot met onderhogen door Faber	41
4.5	Wat is nu mogelijk gebleken?	44
4.6	Ervaringen met modelonderzoek (centrifugeproeven)	45
4.7	Berekeningen aan onderhoog proces	45
5	Monitoring bij uitvoering	46
5.1	Monitoring	46
5.1.1	Sturen injectieproces (onder regie en door injectiebedrijf)	46
5.1.2	Metingen vooraf	46
5.1.3	Metingen achteraf	46
5.1.4	Aspect Stijfheid	46
5.1.5	Aspect Zetting	47
5.1.6	Aspect injectiemateriaal	47
6	Aspecten life cycle	48
6.1	Duurzaamheid	48
6.1.1	Uretek	48
6.1.2	Faber	48
6.2	Recycling	48
6.3	Toegankelijkheid ondergrond	48
6.4	Afwatering (drainage)	48
6.5	Kosten	48
6.6	Risico's en beheermaatregelen	49
6.7	Afwegingsmatrix (keuze tool)	49
7	Conclusies ten aanzien van verdere toepassing	50
7.1	Eisen voor twee praktijkgevallen	50
7.2	Conclusies ten aanzien van methode Faber	50
7.3	Conclusies ten aanzien van methode Uretek	50
7.4	Samenvatting conclusies	51
7.5	Gewenste aanpak voor toekomstige onderhoog projecten	51
8	Referenties	52
A	Voorbeeld van masterkromme asfalt	53
B	Sonderingen op locatie Depot Hoofdweg Rotterdam	54
C	Bijlagen ten aanzien van vervolgonderzoek	57
D	Plan berekeningen	62
E	Eerste resultaten berekeningen	65

1 Inleiding

1.1 Aanleiding initiatief onderhogen

Ten gevolge van bodemdaling treden er in autowegen ongelijkmatige zettingen op, die na verloop van tijd de soepele doorstroming van het wegverkeer in gevaar kunnen brengen. Met name bij overgangen naar kunstwerken is het met een asfaltoverlaging uitvullen van de ongelijkmatige zetting vaak nodig. Deze maatregel verergert op termijn de kwaliteit, door de steeds grotere belasting op de ondergrond. Ook is er verkeershinder bij het uitvoeren van de werkzaamheden. Er is behoefte aan een levensduur verlengde (LVO) maatregel, met zo min mogelijk hinder voor het verkeer, waarbij een constructieve verbetering wordt bereikt, de verzakking wordt gelift, en waarbij lichtgewicht ophoog materiaal wordt geïnjecteerd onder de asfaltconstructie. Dit liften heet 'onderhogen'

1.2 Wat is onderhogen?

Onderhogen is een vorm van Levensduur Verlengend Onderhoud (LVO). Onderhogen is het van onderaf ophogen, bijvoorbeeld ten behoeve van zettingscorrectie van lokale verzakkingen voor hotspots in wegen, waarbij lichtgewicht materiaal onder de constructie wordt geïnjecteerd, en met zo min mogelijk hinder voor het verkeer. Het is vooral bedoeld voor korte trajecten die een bottleneck vormen, zoals vaak het geval is bij een overgang van het grondlichaam naar een kunstwerk. Ter plaatse van deze overgang zorgen stootplaten voor het overbruggen van zettingsverschillen. Naast het liften van stootplaten is het ook vaak nodig om het aangrenzende weglichaam met de asfaltconstructie zelf plaatselijk te onderhogen.

1.3 Projectdoelstelling en fasering

Dit project beoogt de toepassing van onderhogen bij wegen te ontwikkelen, waarbij speciale injectietechnieken worden ontwikkeld, toegespitst op diverse onderhoog oplossingen van verzakkingen. Er zal worden ingegaan op het bereikte TRL niveau van de diverse technieken.

Het project duurt in beginsel 3 jaren (zie projectplan op TKI-site, [1]), waarbij jaar 1 is ingediend bij TKI-Deltatechnologie. In de loop van jaar 1 zal mogelijk een plan voor jaren 2 en 3 worden ingediend.

Om tot een goede oplossing te komen is inzicht nodig in de oorzaak van de verzakking en de gewenste injecties (waar, los in de grond of in expander, zoals bijv. een geotextiele tube, injectieproces, materiaal, ..). Er zijn in het plan laboratoriumproeven voorzien, veldonderzoek en ontwerpberekeningen. Er komt ook een programma van eisen, een 'state of the art' rapport waarnaar kan worden gerefereerd bij het toepassen van onderhoog technieken en een globaal plan voor diverse te onderhogen hotspots.

In jaar 1 wordt de state of the art vastgelegd, worden de gewenste ontwikkelingen uitgewerkt, en er wordt een aanzet voor een ontwerpmethode ontwikkeld, een eisenpakket vastgesteld, en een verkennende pilot in Rotterdam uitgevoerd, waarbij de injectiemethoden verder worden ontwikkeld. Tevens kunnen nog meer partijen aanhaken. Op basis hiervan wordt er mogelijk een plan gemaakt voor de jaren 2 en 3. In jaren 2 en 3 zou het onderhogen voor meer toepassingen verder ontwikkeld kunnen worden, op basis van veldonderzoek, berekeningen, laboratoriumonderzoek, resulterend in een op schaal pilot bij een in gebruik zijnde weg die laat zien dat het onderhogen van asfaltwegen volwassen is geworden.

Momenteel is alleen jaar 1 uitgevoerd en de rest is vooralsnog niet gepland. Dit groeidocument gaat dus over de activiteiten uit jaar 1. Er zijn conclusies getrokken ten aanzien van welke technieken nagenoeg gebruiksklaar zijn (TRL7 en TRL8, zie hoofdstuk 7), en voor welke situaties dat geldt.

1.4 Samenstelling projectgroep TKI-onderhogen van asfaltwegen

De projectgroep was in juli 2019 als volgt samengesteld:

- Rijkswaterstaat: Henk Jan Beukema (specialist), Mark Postema (Noord-Nederland), Joris Vijverberg (corresponderend lid).
- Gemeente Rotterdam: Rodriaan Spruit (specialist), Arjen Oostra (adviseur).
- Provincie Noord Holland: Paul Jansen (beheerder).
- Uretek: Robbert Melis, Arend Knufman.
- Faber B.V. (voorheen Fagro): Gerben Lemstra, Louis Borm.
- Jonker Geoadvies (ingehuurd door Deltares): Fred Jonker (voorzitter projectgroep).
- Deltares: Bernadette Wichman (Projectleider en secretaris projectgroep).

Provincie Zuid Holland is ook betrokken, via Simon Duivenvoorde.

1.5 Beoogde eindproducten en gebruikers

Het beoogde eindproduct, na 3 jaren, is een rapportage die beschrijft hoe het onderhogen kan worden toegepast bij levensduurverlengend onderhoud. Dit rapport kan door wegbeheerders worden gebruikt bij de aanbesteding. Het rapport bevat ook informatie over mogelijke risico's en hoe hiermee kan worden omgegaan. Er zal naar gestreefd worden om zoveel mogelijk bedrijven te laten aanhaken met relevante onderhoog expertise.

Nu, na het eerste jaar, kan onderhavig rapport gebruikt worden bij verdere toepassing van onderhogen.

1.6 Dankzegging

Dit project is mogelijk gemaakt door bijdragen van Uretek, Faber, Gemeente Rotterdam, Rijkswaterstaat, Provincie Noord-Holland, met subsidie binnen TKI-Deltatechnologie, zie voor meer info website <https://www.tkideltatechnologie.nl/project/del098-11203068-onderhogen-van-verzakkingen-in-asfaltwegen-zoals-bij-overgangsconstructies-en-duikers/>. De testlocatie in Rotterdam was gelegen binnen het project 'De Groene Boog'. De projectgroep Onderhogen is de combinatie De Groene Boog zeer erkentelijk voor de gastvrijheid en medewerking.

1.7 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de stand van zaken ten aanzien van onderhogen in begin 2019. In hoofdstuk 3 worden de eisen en uitgangspunten weergegeven, zoals in 2019 in de projectgroep tot stand gekomen. Hoofdstuk 4 geeft de huidige en de gewenste ontwerpaanpak, waarbij ook de resultaten uit een verkennende pilot in Rotterdam zijn opgenomen. Er wordt in dit hoofdstuk beschreven hoe de ontwerpaanpak verder kan worden ontwikkeld. Hoofdstuk 5 gaat in op de beheersing van het uitvoeringsproces door middel van monitoring en controlemetingen. Hoofdstuk 6 gaat in op life cycle aspecten van het onderhogen inclusief duurzaamheid en een afwegingsmatrix met kosten. Hoofdstuk 7 geeft conclusies ten aanzien van verdere toepassing van onderhoog technieken.

2 State of the art onderhogen begin 2019

Dit hoofdstuk geeft de stand van zaken ten aanzien van onderhogen weer in begin 2019, het begin van dit project.

2.1 Survey marktpartijen

Deltares heeft met diverse marktpartijen die injecties in de ondergrond hebben uitgevoerd of dit nog steeds uitvoeren contact gezocht. Tevens werden door de projectgroep bedrijven genoemd die mogelijk iets kunnen betekenen. Ook deze bedrijven zijn door Deltares benaderd. Er blijken momenteel twee bedrijven te zijn met relevante ervaring met onderhogen, te weten Faber B.V. en Uretek. In de volgende paragrafen zijn deze ervaringen beschreven. De BAM Grondtechniek heeft in de periode 2000 tot 2005 samen met Rijkswaterstaat een onderhoog techniek ontwikkeld (zie rapport 'Onderhogen: van idee tot uitvoering' [3]). Navraag door Deltares leert dat men dit spoor heeft verlaten, en dat men momenteel geen strategische interesse meer heeft in het onderwerp.

2.2 Ervaringen Faber met onderhogen

2.2.1 De lift-methode

Faber heeft veel ervaring met het liften van betonnen bedrijfsvloeren. Faber gebruikt als injectiemateriaal celbeton met hoge sterkte. Geïnjecteerde celbeton, zijnde een sterk en lichtgewicht type schuimbeton (patent Faber), heeft 50 dagen na injectie bij de pilot in het Rotterdamse (zie hoofdstuk 4) een druksterkte volgens NEN- EN 12390-3 van $2,4 \pm 0,6$ MPa. De verzakking wordt door injectie met celbeton gevuld met een massa die lichter of gelijk is aan het gewicht van de grond. Dit celbeton heeft bij injecteren een dichtheid van 980 kg/m^3 , wat $870 - 880 \text{ kg/m}^3$ wordt na verharding. In het Rotterdamse was dit laatste na 50 dagen $968 \pm 58 \text{ kg/m}^3$ (volgens NEN-EN 12390-7). Het materiaal wordt verticaal, via een raster (hart-op-hart afstand een aantal meters) van gaten ($\varnothing 5 \text{ cm}$) in de vloer, onder hoge druk, via injectoren ingebracht, en wel direct onder de betonvloer. Er wordt per gat geïnjecteed. Een speciale techniek waarbij via boorgaten een schuim bestaande uit dierlijke proteïne wordt ingespoten, zorgt dat eerst de vloer totaal loskomt van de ondergrond. Hierna wordt celbeton geleidelijk onder de vloer gedoseerd. Het proces wordt met laserapparatuur gestuurd en gecontroleerd. De geboorde gaten worden afgedicht en de vloer wordt schoon opgeleverd. De vloer is na één nacht weer begaanbaar.

Bij het injecteren worden eerst holten onder de vloer opgevuld, daarna wordt de ondergrond opgespannen, waarna de vloer kan worden gelift. Vooraf is bepaald hoeveel er op de diverse injectiepunten moet worden gelift. Er is een boorwagen nodig die met behulp van een statief het raster van gaten boort, en er is een injectiewagen nodig die het celbeton onder hoge druk inbrengt.

2.2.2 Referentieprojecten

In samenwerking met Rijkswaterstaat Noord-Nederland heeft Faber twee pilots uitgevoerd, waarbij een asfaltweg is onderhoogd. Men wil deze ervaringen breder toepasbaar maken en verder verbeteren.

De eerste pilot bij verzorgingsplaats Mandelân in 2017 had als doel na te gaan of de techniek van Faber toepasbaar is bij een asfaltweg (SMA/DAB), die verschilt van een betonvloer ten aanzien van de volgende aspecten, zie Tabel 2.1:

Betonvloer	Asfaltverharding
stijf	flexibel
glad	open structuur
randen zijn afgedicht	berm naast de verharding

Tabel 2.1 Belangrijkste verschillen tussen betonvloer en asfaltverharding

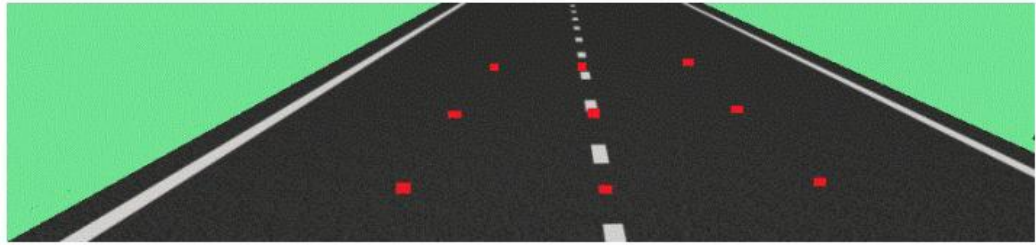
De locatie Mandelân werd geschikt geacht omdat het een verzorgingsplaats is met een laag risico, er een beperkte zonk aanwezig was (zie Figuur 2.1), en er een dichte verharding van SMA/DAB aanwezig was.

De fundatie bij Mandelân bestaat uit hoogovenslakken. De totale opbouw bestaat uit circa 15 cm asfalt en 40 cm hoogovenslakken fundatie. Er is direct onder het asfalt geïnjecteerd, wat mogelijk bleek omdat het asfalt goed los kwam van de funderingslaag.



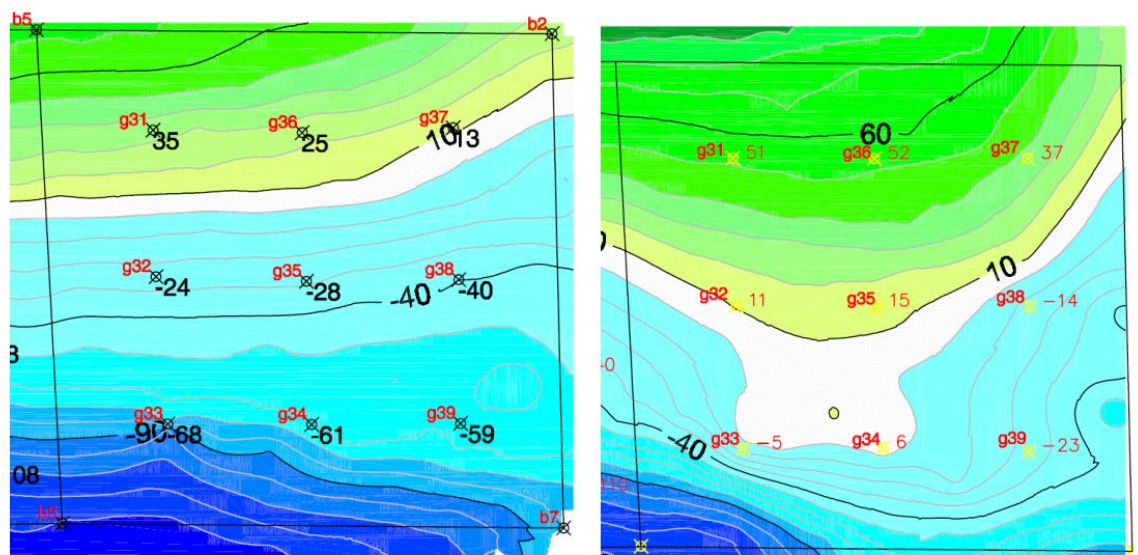
Figuur 2.1 De zonk in de toegangsweg tot de verzorgingsplaats Mandelân

Uit deze pilot volgde dat de injectietechniek van Faber toepasbaar lijkt voor asfaltverhardingen, echter er waren nog de nodige verbeteringen nodig, met name de injectoren moesten worden aangepast. Hiertoe werd een onderzoeksplan gemaakt en er werd een tweede pilot locatie gezocht om de verbeterde injectietechnieken te beproeven. Deze locatie werd gevonden bij Joure, in een deel van de A6 richting Sneek dat buiten gebruik was. Het voordeel was daar dat men de geïnjecteerde constructie na afloop kon ontgraven, om te kijken hoe het celbeton zich onder de weg had verspreid. Deze weg had een reguliere opbouw, dat wil zeggen een dikkere asfaltlaag dan bij Mandelân, met ook een minder gangbare fundering van hydraulisch gebonden staalslak. Op 12 maart 2018 zijn na het aanbrengen van de boorgaten de laagdikten in kaart gebracht. De asfaltdikte was rond de 20 cm en het staalslakpakket was \pm 30 cm dik. Op deze locatie werd voorzien dat er onder de wegfundering van hydraulisch gebonden staalslak kon worden geïnjecteerd. Hiertoe werden de reguliere injectoren verlengd en van een handig afdicht-mechanisme voorzien. Het raster dat goed werkte was er een met een hart-op-hart afstand tussen de injectiepunten van 3 m, en met een afstand tot de berm van 2 m, zie Figuur 2.2. Opgemerkt wordt dat er nog een stuk van een ander wegdek aan dit vak grensde, waardoor uitbraak naar de berm werd verhinderd.



Figuur 2.2 Het raster van injectiepunten (vak C) in de A6 bij Joure. Afstand hart-op-harthart-op-hart is 3 m en afstand tot berm is 2 m

De weg (vak C) is op 26 maart 2018 een aantal centimeters gelift, waarbij een geleidelijk verloop in helling werd beoogd. Het wegdek (het asfalt en wegfundering) kon met de schuiminjectie (type schuim is een proteïne) goed worden losgemaakt van de ondergrond waarna al een kleine hoeveelheid celbeton kon worden ingebracht. Om vervolgens de juiste hoogte te bereiken is gekozen om de twee buitenste rijen als eerste te injecteren. Eerst de rij die 5 cm moest worden verhoogd (bovenste rij injectiepunten in Figuur 2.3) en vervolgens de andere buitenste rij die naar 2 cm moest worden verhoogd (onderste rij injectiepunten in Figuur 2.3). Met de laser kon dit proces goed worden gevolgd. Als laatste werd de binnenste rij stapsgewijs geïnjecteerd om daar de hoogte van 3,5 cm te bereiken. Op deze wijze werden plotseling optredende bulten in het wegdek vermeden. Het resultaat is gegeven in Figuur 2.3.



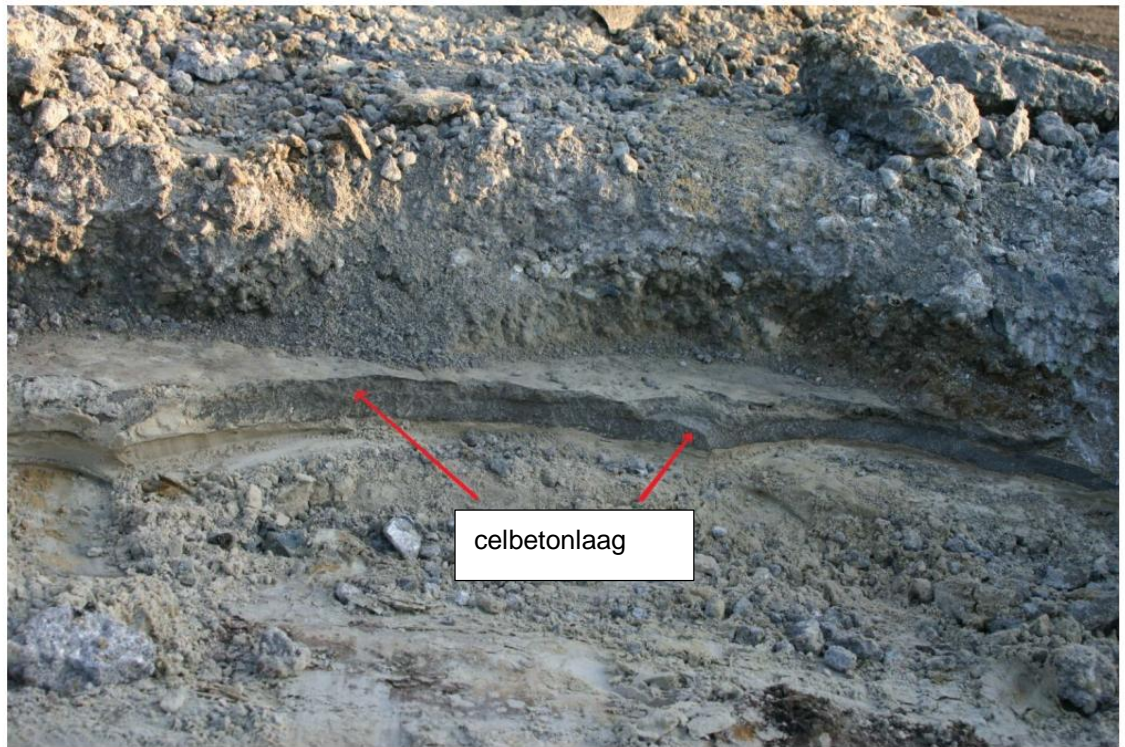
meting Vak C. op 15 maart

meting Vak C. op 3 april

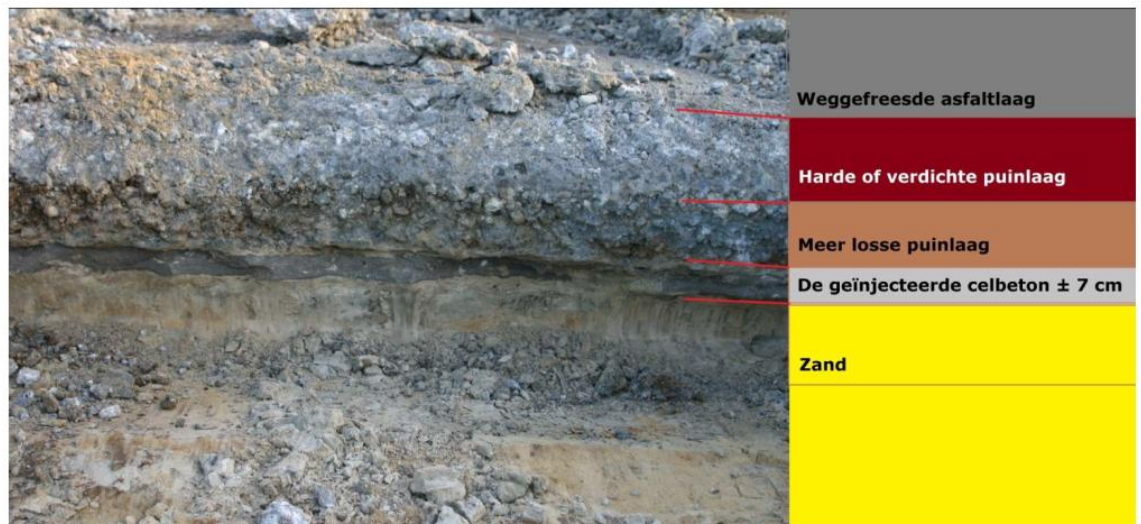
Figuur 2.3 De hoogtemetingen in mm op vak C, voor het injecteren en 6 dagen na het injecteren. In linker figuur: ⊗ = injectiepunt

In Figuur 2.3 is te zien dat het globale verloop in onderhoging is bereikt, maar dat er nog wel oneffenheden zijn. De vraag rijst hierbij of het asfalt na het onderhogen nog moet worden uitgevlakt.

Enige tijd na het onderhogen is er zwaar verkeer over dit weggedeelte gereden, wat geen schade met zich mee heeft gebracht. Dit was volgens verwachting, omdat het celbeton voldoende sterk wordt en de weg na een nacht uitharden begaanbaar is. Op 30 augustus 2018 is dit weggedeelte opgebroken waarna de dikte van de diverse lagen is opgemeten, zie Figuur 2.4.



(a)



(b)

Figuur 2.4 De gelaagde structuur onder de weggefreesde asfaltlaag na het onderhogen van vak C in A6 bij Joure

Uit de inspectie van het opgebroken weglichaam blijkt dat de celbeton zich gelijkmatig heeft verspreid en een dikte heeft van maximaal ongeveer 7 cm, zie Figuur 2.4 b).

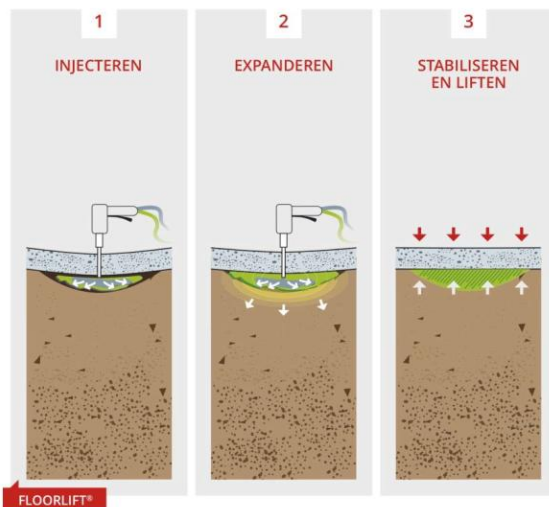
Uit deze ervaringen is geconcludeerd dat het injecteren onder de funderingslaag voordelen biedt, omdat de opdrukking dan gelijkmatiger wordt. Vervolgens is op diverse wegen geprobeerd onder de funderingslaag van regulier menggranulaat te injecteren, wat niet altijd succesvol verliep. De conditie van de funderingslaag is een belangrijke succesfactor gebleken. Er moet voldoende samenhang in deze laag aanwezig zijn (boorgat mag niet instorten), en de injectoren moeten goed kunnen worden verankerd. Als direct onder het

asfalt moet worden geïnjecteerd, dan moet vooraf duidelijkheid worden gegeven over of de asfaltlaag laag goed los komt van de funderingslaag. Dit kan door onder druk een schuim te injecteren via boorgaten in het asfalt. Mogelijk is iets dieper injecteren een oplossing als het asfalt onvoldoende los komt. Voorafgaande aan het onderhogen zelf moeten dus wel boorgaten worden gemaakt en bovengenoemde verkennende onderzoeken worden gedaan. Alles, d.w.z. verkennend onderzoek en het onderhogen, zouden wel in één nacht kunnen worden uitgevoerd, waarbij er dan wel een afbreukrisico GO/No GO voor lief moet worden genomen.

2.3 Ervaringen Uretek met onderhogen

2.3.1 Floorlift methode

Uretek heeft relevante ervaring met het liften van stootplaten bij overgangsconstructies. Hierbij wordt de techniek 'Floorlift' toegepast, zie Figuur 2.5. Er wordt een twee componenten expansiehars in vloeibare vorm geïnjecteerd door boorgaten in het wegdek met een kleine diameter. In de boorgaten worden hiertoe waterleiding buisjes (\varnothing 15 mm) geplaatst, die iets uitsteken. Kort na injectie expandeert het expansiehars. Het vult in eerste instantie alle aanwezige holle ruimtes, waarbij de ondergrond, indien slap genoeg, mogelijk wordt gecompacteerd, dat wil zeggen dat de grotere openingen worden dichtgedrukt. Door zorgvuldig gedoseerd te injecteren komt de verzakte vloer millimeter voor millimeter omhoog. De extreem korte reactietijden van het materiaal en de permanente lasercontrole zorgt ervoor dat binnen zeer nauwe toleranties gewerkt kan worden. De dichtheid van de hars na injectie is sterk afhankelijk van de weerstand die het bij het expanderen ontmoet. Toegepast onder vloeren en bouwwerken varieert de volumieke massa van 70 kg/m^3 tot 120 kg/m^3 . Er is een special injectiepistool ontwikkeld dat via een lange slang aan een vrachtauto is gekoppeld (zie Figuur 2.7d). Er kan ook vanaf de zijkant onder de vloer worden geïnjecteerd.



Figuur 2.5 De Floorlift techniek van Uretek, zoals toegepast bij het liften van stootplaten

De in diagrammen weergegeven testgegevens¹ van het injectiemateriaal zijn vastgesteld volgens de Amerikaanse standaard ASTM. De diagrammen hebben achtereenvolgens betrekking op de druksterkte en schuifsterkte. Op de horizontale as is de volumieke massa van de proefmonsters uitgezet, terwijl op de verticale as de sterktewaarden zijn uitgezet. Het gebied waarin de dichtheden van het geëxpandeerde URETEK-materiaal voorkomen is in alle diagrammen geel gearceerd.

¹ Opgevraagd bij Uretek op 24 aug 2020.

Omdat het URETEK-expansiehars primair wordt gebruikt voor het verstevigen van de grond door consolidatie en voor ophoging van verzakte bouwelementen, is het duidelijk dat vanuit praktisch oogpunt de belangrijkste eigenschap de druksterkte is. Uit de druksterktegrafiek kan worden afgeleid dat bij een dichtheid van 96 kg/m^3 de éénassige druksterkte 320 kPa bedraagt.

Het is bekend dat de expansiehars een boomwortelstructuur gaat ontwikkelen in de ondergrond.

Naast de floorlift methode, die al vaak bij infrastructuur is toegepast, heeft Uretek ook nog de 'Deep injection' techniek, die regelmatig bij gebouwen wordt gebruikt en de 'Powerpile', speciaal voor een slappe ondergrond (zie website Uretek B.V. [4]).

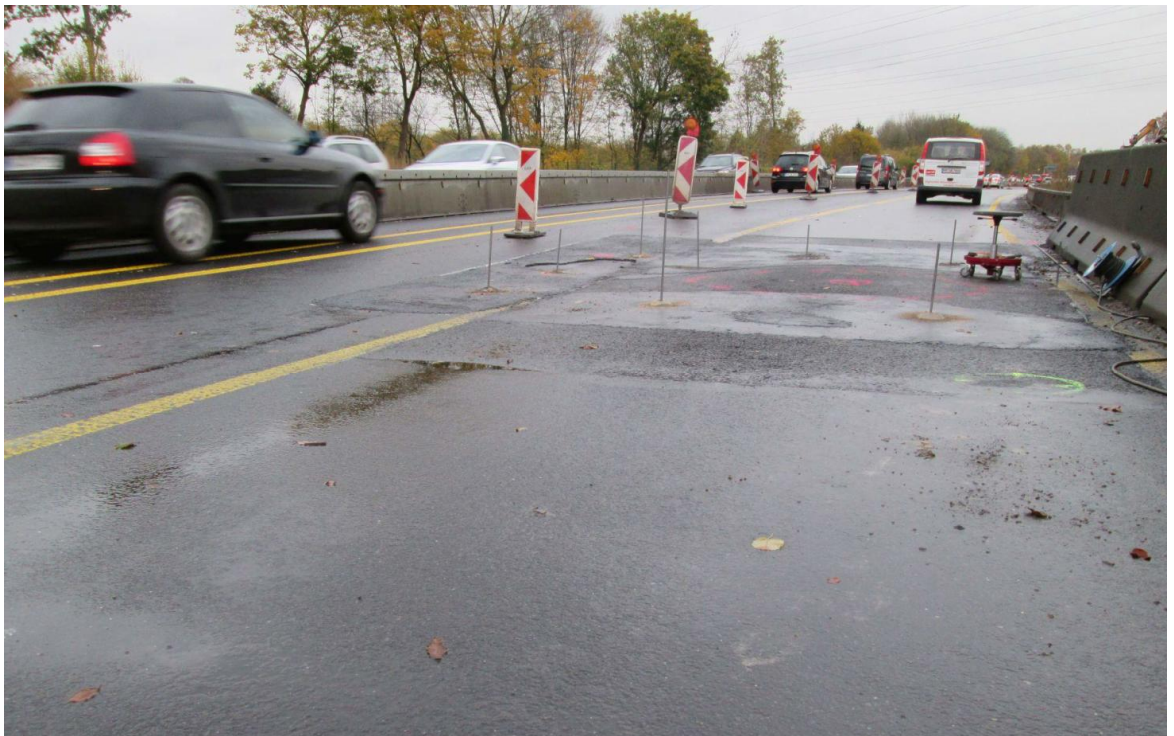
2.3.2 Referentieprojecten

Uretek heeft een beperkte, maar niet goed gedocumenteerde, ervaring met het uitvlakken van een zonk in een Duitse Autobahn met een asfalt toplaag, zie Figuur 2.6. In Figuur 2.6 zijn de injectiebuisjes, bestaande uit waterleiding buisjes, zichtbaar. Deze steken uit het asfalt.

Ook is er een geasfalteerde toerit naar een verzorgingsplaats met enige centimeters onderhoogd. Er ontstond daarbij geen schade. Verder is er een referentieproject waarbij de stootplaten bij een bushalte in Hoofddorp werden gelift, zie Figuur 2.7. De verzakking was hier circa 5 cm . Na enige tijd was visueel geconstateerd dat de onderhoging stand heeft gehouden. Er zijn tijdens het onderhogen lasermetingen verricht; de meetgegevens hiervan zijn niet meer beschikbaar.

Verder is er een fietspad met betonplaten, te weten de Vogelweg te Lelystad, een aantal centimeters onderhoogd, waarbij men de uitbraak naar de berm voldoende onder controle had.

Uretek heeft ook ervaring met het liften tot minstens 10 cm .



(a)



(b)

Figuur 2.6 Het onderhogen door Uretek van een zink in een Duitse Autobahn met asfalt topklaag. (a) is overzicht. (b) is detail bij zink



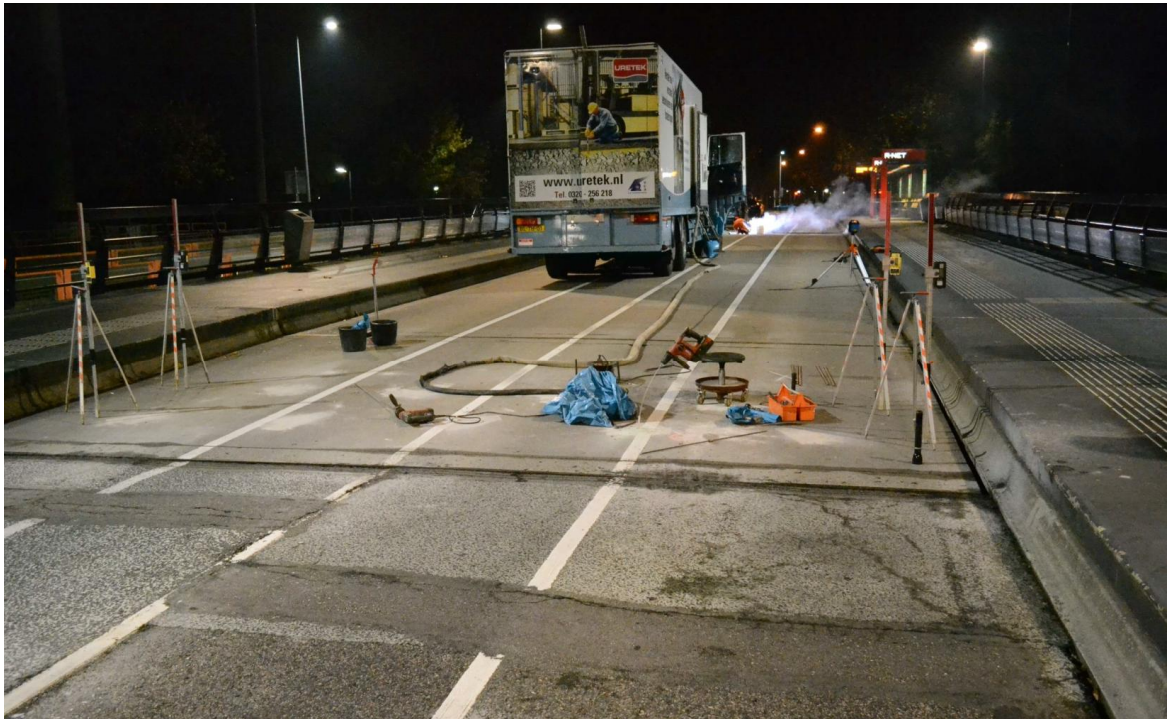
(a)



(b)



(c)



(d)

Figuur 2.7 Het onderhogen van een bushalte in Hoofddorp. (a) Overzicht voordat is onderhoogd. (b) detail van verzakking. (c) injectiepunten (d) injecteren en lasermeting

2.4 Gewenste ontwikkelingen

Voornoemde ervaring van Uretek en Faber gaf in eerste instantie vertrouwen dat beide onderhoog technieken kunnen worden doorontwikkeld tot het onderhogen van asfaltwegen in de brede zin des woords, variërend van een slanke opbouw (10 tot 15 cm asfaltdikte op 30 cm menggranulaat), zoals bijvoorbeeld in gemeentelijke wegen in Rotterdam voorkomt, tot een Rijksweg die robuuster is (20 cm dik asfalt op 40 cm menggranulaat). Het gaat om het uitvlakken van zonken en andere oneffenheden, al dan niet in combinatie met het liften van stootplaten en het vullen van holten onder de weg. Ook is gewenst dat er correcties van meer dan 10 cm bij een asfaltweg kunnen worden gerealiseerd, boven maaiveld gelegen of op maaiveld, op een dikke laag slappe ondergrond. De verkeershinder moet verder worden gereduceerd, door de weg zo gelijkmatig mogelijk te onderhogen tot de gewenste vlakheid, zodat er geen nabewerking nodig is.

3 Eisen en uitgangspunten

3.1 Ambitie

De centrale en decentrale overheden hebben vanuit hun verantwoordelijkheid als beheerders van de infrastructuur een generieke ambitie om de doorstroming en bereikbaarheid van de weginfrastructuur op een veilige en comfortabele manier te waarborgen en op een kostenefficiënte wijze uit te voeren. Dit is afgeleid uit de algemene bedrijfswaarden (mondelijke mededeling Provincie Noord-Holland). Voor het beheer en onderhoud wordt hierop strategisch gestuurd door het optimaliseren van de prestaties van de infrastructuur gedurende de gehele levenscyclus. Het aspect duurzaamheid is recentelijk toegevoegd aan de bedrijfswaarden en vanwege de landelijke doelstellingen op het gebied van de transitie energie en circulariteit wordt dit aspect opgenomen in de ambities ten aanzien van onderhogen.

De prestatie van de infrastructuur, en in dit geval de doorstroming en bereikbaarheid van de weginfrastructuur komt in het geding tijdens een tweetal situaties:

1. Toename verkeerdrkte en daarmee overschrijding van de capaciteit van de weg.
2. Afname capaciteit van de weg door afname van de conditie.

Ten aanzien van het project 'Onderhogen' wordt ingegaan op oplossingen ter voorkoming van de afname van de doorstroomcapaciteit van asfaltwegen door afname van de conditie, waardoor steeds opnieuw zonken met asfalt moeten worden uitgevuld, al dan niet in combinatie met het liften van stootplaten of stootvloeren. Een afname van de doorstroomcapaciteit ten gevolge van verschilzettingen of constructief bezwijken van de wegfundering moet worden voorkomen.

De doorstromingscapaciteit van asfaltwegen wordt nu gewaarborgd door klein en groot onderhoud tijdig uit te voeren met als kader vooraf opgelegde minimum beschikbaarheidseisen.

Naast de beschikbaarheidseisen zijn comforteisen en veiligheidseisen van toepassing die uit moeten sluiten dat er te abrupte hoogteverschillen voorkomen in het wegoppervlak. Behalve schade aan het asfalt zijn verschilzettingen een belangrijke veroorzaker van afname van de veiligheid en het comfort van de weg.

Vooral in het westen van Nederland komen onregelmatige zettingen regelmatig voor die leiden tot (lokale) hoogteverschillen. Deze dienen zo snel mogelijk te worden hersteld om de beschikbaarheid, comfort en veiligheid te blijven waarborgen. Eisen die hieraan ten grondslag liggen zijn de restzettingseisen en eisen voor de vlakheid die de weg gedurende zijn levensduur tenminste dient te behouden.

De volgende paragraaf gaat in op het eisenpakket.

3.2 Eisenpakket

Er worden eisen op diverse niveaus gehanteerd, zie onderstaande voorbeelden in Figuur 3.1 t/m 3.4 van de Provincie Noord-Holland en Rijkswaterstaat. Verder zijn er risico's die met gerichte monitoring moeten worden ondervangen, zie paragraaf 6.6 en hoofdstuk 5.

Dit eisenlijstje kan wat langer worden (decompositie van ambitie naar functionele eis naar prestatie-eis naar technische eisen).

Ook is een kosten/baten analyse van huidige ophogtechnieken versus de nieuwe technieken gewenst (in tabelvorm).

SYS-0042	Provinciaal netwerk, niet-beschikbaarheid gebruikers	Bovenliggende eis(en)	Onderliggende eis(en)
Provinciaal netwerk dient, gedurende de duur van de Overeenkomst, behoudens maximaal één keer Grote hinder op een traject van het Wegennet (traject) en Vaarwegennet (traject) beschikbaar te zijn voor de Gebruikers.		SYS-0092	
Verificatievoorschrift:		Stakeholder(s)	Brondocument:
Te bepalen door Opdrachtnemer		Provincie Noord-Holland	
Toelichting:			
1) Definitie Grote hinder conform Kernregie: 10-30 min. vertraging/omrijden voor Gebruikers van het Wegennet (traject) en maximaal 2 uur vertraging voor Gebruikers van het Vaarwegennet (traject). 2) De bedoelde trajecten zijn gedefinieerd in Bijlage 29.			

Figuur 3.1 Voorbeeld beschikbaarheidseis in een onderhoudscontract van de provincie Noord-Holland

Aspect: Betrouwbaarheid			
SYS-0368	Infrastructuur wegverkeer, verschilzetting wegverharding	Bovenliggende eis(en)	Onderliggende eis(en)
De verschilzetting in dwars- en langsrichting van de wegverharding dient gedurende de levensduur maximaal 1:500 te bedragen (maximaal 0,05 m over een afstand van 25 meter).		SYS-0686	
Verificatievoorschrift:		Stakeholder(s)	Referentiedocument:
Te bepalen door Opdrachtnemer		Provincie Noord-Holland	

Figuur 3.2 Voorbeeld van een verschilzettingseis in een onderhoudscontract (Noord-Holland)

Aspect: S - Veiligheid			
SYS-0015	Weg, langsvlakheid bij vervanging wegverharding.	Bovenliggende eis(en)	Onderliggende eis(en)
De langsvlakheid van Bestaande wegverharding van Wegennet (traject) die wordt Vervangen dient na Vervanging te voldoen aan een afwijkingpercentage van $C5 \leq 2\%$ conform proef 71 van de Standaard RAW bepalingen 2010, gemeten met de viagraaf.		SYS-0052	
Verificatievoorschrift:		Stakeholder(s)	Brondocument:

Figuur 3.3 Voorbeeld van een vlakheidseis als veiligheidseis (Noord-Holland)

Eis ID	OB.03
Eistitel	RESTZETTING ONDERBOUW ONDER STOOTPLAAT OF STOOTVLOER
Eistekst	De Restzetting van de onderbouw dient onder de stootplaat of stootvloer minder te zijn dan 1,0 procent van de lengte van de stootplaat of stootvloer, vermeerderd met het effect van het eventueel aanleggen van de bovenbouw in Tegenhelling.
Verificatie methode	In ontwerpfasen: Berekening met als product een ontwerprapport Zetting conform Bijlage 1, onderdelen 1 en 2 en NEN 9997-1+C1+A1NB+C1:2018 [1]. In realisatiefase: Analyse met als product een verificatierapport van het vrijgaverapport Zetting conform Bijlage 1, onderdelen 3, 4 en 5.

Figuur 3.4 Voorbeeld van een vlakheidseis als veiligheidseis (Rijkswaterstaat, [2])

De ambitie en eisen kunnen nog wat meer worden uitgewerkt, toegespitst op onderhoog technieken. Het te behandelen oppervlak ligt tussen de 50 en 100 m² en de zettingscorrectie bedraagt 5 tot 25 cm.

Wanneer het gaat om lokale zettingen en er naar oplossingen gezocht wordt dan zijn de generieke ambities met afgeleide eisen van toepassing:

- *Behoud van doorstroming en bereikbaarheid*
 - Zo min mogelijk gevolgen voor het verkeer tijdens de uitvoering van de maatregel.
 - Korte tijd wegafzetting heeft voorkeur boven langere tijd werkzaamheden naast de weg.
- *Veilig*
 - Waarborgen constructieve veiligheid (het onderhoog materiaal bezwijkt niet)
 - Veiligheid voor weggebruikers
- *Comfortabel*
 - Aan de vlakheidseisen en verschilzettingseisen wordt voldaan
- *Kosten*
 - Kostenefficiënt, zie afweegmatrix uit hoofdstuk 6 bijvoorbeeld.
 - Life cycle costs over langere periode afgewogen tegen gangbare technieken
- *Duurzaam:*
 - Materiaalhergebruik mogelijk
 - Geen afval
 - Zo min mogelijk bodemvreemde en schadelijke materialen
 - De CO₂-belasting van de onderhoog methoden dient tijdens de gehele keten lager te zijn dan die van de reguliere methoden die gebruikt worden voor het nivelleren van asfaltwegen (ook rekening houdend met de frequentie van toepassing).

Aan bovenstaande afgeleide eisen zijn nog project specifieke eisen toe te voegen. Veel voorkomende zijn:

- *Zo min mogelijk raakvlakken met ondergrondse infrastructuur*
 - De maximaal toegestane verplaatsingen van kabels en leidingen dienen niet overschreden te worden
 - Landhoofdconstructie blijft stabiel
- *Wijze waarop nieuwe methoden dienen te zijn gevalideerd*

Voor de vlakheidseisen kan de bestaande RAW worden gebruikt of specifieke eisen zoals die van de Provincie Noord-Holland of Rijkswaterstaat [2], zie Figuur 3.3 en 3.4.

De volgende tekst is ontleend uit de RAW Standaard 2015 over de vlakheid van het asfalt:

31.22.03 Eigenschappen van het wegoppervlak: vlakheid

01 De afwijking in dwarsvlakheid van de deklaag ten opzichte van het voorgeschreven profiel, gemeten met een mal, een rei of rolrei van 3 m lengte, mag niet groter zijn dan 5 mm.

- 02 De vlakheid (proef 71) in langsricting van de deklaag moet voldoen aan het navolgende:*
- a) Bij meting met de viagraaf moet de afwijking C5 per 100 m weglengte kleiner dan of gelijk zijn aan:*
- *2% voor een geheel nieuw aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit ten minste vier lagen, of voor een op een bestaande verharding of kunstwerk aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit ten minste een profileerlaag en een deklaag;*
 - *3% voor andere aangebrachte asfaltconstructies.*

- b) *Bij meting met de rolrei mag de afwijking in vlakheid per 100 m meetvak niet meer bedragen dan:*
- *3 mm voor een geheel nieuw aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit ten minste vier lagen, of voor een op een bestaande verharding of kunstwerk aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit ten minste een profileerlaag en een deklaag.*
 - *4 mm voor een op zandbed of fundering aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit drie lagen;*
 - *5 mm voor een op zandbed of fundering aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit twee lagen. Voor een verharding aangebracht op weggedeelten in bogen met een horizontale straal kleiner dan 200 m dan wel een verticale straal kleiner dan 10.000 m, en voor weggedeelten korter dan 300 m, geldt dat de afwijking ten hoogste 5 mm mag zijn.*
- Ter plaatse van de dwarsnaad bij de overgang van het werk op de bestaande verharding en bij voegovergangen geldt dat de afwijking in vlakheid gemeten met een rei van 3 m lengte, niet groter mag zijn dan 5 mm.*
- c) *Voor een deklaag aangebracht in een freesvak moet de vlakheid ten minste overeenkomen met de vlakheid van de naastliggende verharding.*

3.3 Duurzaamheid

Er zijn 3 gangbare methoden om het aspect duurzaamheid in kaart te brengen:

- Duurzaamheid Kwalitatief.
- MilieuKostenIndicator berekeningen MKI (kwantitatief).
- Dubocalc scores bepalen.

Duurzaamheid Kwalitatief

Hiervoor worden de thema's uit de aanpak Duurzaam GWW (omgevingswijzer) gebruikt, te weten Energie, Bodem (verzakking en bodemdaling, ondergrondse infrastructuur, bodemkwaliteit en variatie), Ruimtegebruik, Bereikbaarheid, Investerings, CE-markering & Materialen (waaronder hergebruik). Qua score (positief, neutraal en negatief) kan de onderhoogtechniek worden afgezet tegen het traditioneel ophogen.

Noot: Faber en Uretek hebben al zelf een eerste inschatting gemaakt.

MKI

De milieukostenindicator (MKI) is een indicator die de milieu-impact van een product uitdrukt in euro's. Het weegt alle relevante milieueffecten die ontstaan tijdens de levenscyclus van een product en telt deze op tot één enkele score. De MKI, ofwel schaduwprijs van een product, is een makkelijke manier om de milieu-impact van producten of projecten te vergelijken en communiceren. Dit is dus een kwantitatieve methode.

De volgende input is nodig:

- *Afmetingen van te onderhogen weggedeelte (MKI kan je voor 5 waarden uitwerken).*
- *Datasheet van de te gebruiken machine(s).*
- *Werkomschrijving van hoe het onderhogen wordt uitgevoerd.*
- *Welke processen een rol spelen bij uitvoering.*
- *LCA van de verschillende materialen.*

Dubocalc

Binnen RWS aanleg- en grootonderhoudscontracten wordt een aanbestedingsvoordeel toegekend op basis van de score in Dubocalc. www.dubocalc.nl (licentie nodig). Bij prestatiecontracten, waar nu het meeste asfalt onderhoud onder valt is dat nog niet het geval, maar gaat dit wel komen. De Dubocalc-score van reguliere materialen is opgenomen in <https://www.milieudatabase.nl/>. Nieuwe materialen en technieken kunnen daar worden toegevoegd, zodat de verschillen in score tussen de onderhoudstechnieken kunnen worden uitgerekend. Hiervoor worden vaak gespecialiseerde bureaus door de markt ingezet.

3.4 Nadere eisen

Door de projectgroep is gekomen tot de volgende eisen ten aanzien van het onderhogen, inclusief zogenaamde default eisen, die door de opdrachtgever nog kunnen worden aangepast:

Gedacht wordt aan een bereik van te stellen eisen en een defaultwaarde:

Ten aanzien van zettingscorrectie:

- *Behalen van de vastgestelde eindhoogte.*
- *Deze kan afwijken van origineel aanlegprofiel van de weg, in verband met zakking van aansluitende weggedeelten. Default: uitvullen zakking en aansluiten bij omliggende weggedeelten.*
- *Overhoogte aanbrengen bij te verwachten nazakking (periode 3 maanden).*
- *Vlakheid over korte afstand (hellingen en oneffenheden). Default: aansluiten bij aanleisen, te meten met rolrei, viagraaf of 3-d laserscan.*
- *Als monitoring aangeeft dat er afwijkingen zijn, van te voren maatregelen bedenken.*
- *Zakkingsnelheid na onderhogen mag niet verslechteren ten opzichte van conventioneel uitvullen.*
- *Nogmaals onderhogen moet mogelijk zijn.*

Ten aanzien van mogelijke schade aan weg, ondergrondse infrastructuur en belendingen:

- *Palen landhoofd mogen niet beschadigd worden of instabiel worden.*
- *Kabels en leidingen mogen niet beschadigd worden en moeten toegankelijk blijven.*
- *De waterhuishouding en de ontwatering van het asfalt mag niet ongunstig worden beïnvloed.*
- *De stabiliteit van het weglichaam mag niet nadelig worden beïnvloed. Dit speelt met name bij een verhoogde ligging.*
- *Scheuren in de weg mogen niet meer dan een paar mm breder worden.*

Ten aanzien van hinder:

- *Tijdsduur wegafsluiting, default 1 nacht tussen 22:00 en 05:00 en mogelijke verkeershinder naastgelegen rijbaan; Hier is nog een uitdaging om de hinder verder te beperken, door te voorkomen dat de asfaltdeklaag moet worden vervangen. Op termijn is het misschien mogelijk om vanaf de zijkant te injecteren. Binnen dit tijdsvenster moet het geïnjecteerde materiaal voldoende zijn uitgehard.*

Ten aanzien van materiaalkeuze:

- *Duurzaamheid ophoogmateriaal, default 50 jaar.*
- *Lage soortelijke massa met als default: lichter dan water.*
- *Mogelijkheden hergebruik na verwijderen moeten duidelijk zijn.*

Ten aanzien van draagkracht en functie stootplaten:

- *Dynamische stijfheid, te meten aan wegoppervlak direct naast de stootplaten.*
- *Draagkracht wegfundering moet aan de eisen blijven voldoen.*
- *Functie stootplaat moet gewaarborgd blijven.*

4 Ontwerpaanpak

4.1 Proces

4.1.1 Huidige aanpak

De huidige aanpak van het onderhogen is dat men de risico's per locatie vooraf globaal inschat. Er wordt vooral gekeken naar of er schade kan ontstaan aan het asfalt, belendingen en/of ondergrondse infrastructuur, echter deze worden meestal niet gemonitord. Qua eisen aan de onderhogers wordt er een te realiseren onderhoging afgesproken, inclusief toleranties. Tevens wordt er een tijdsvenster afgesproken en er wordt overlegd over de benodigde wegafzettingen. Als optie wordt door Rijkswaterstaat Noord-Nederland genoemd dat het asfalt na het onderhogen een oppervlakkige correctie behoeft (uitvlakken en overlagen). Er zijn beheerders die vooraf en achteraf valgewicht deflectie metingen laten uitvoeren. Er wordt vooraf geen ontwerp gemaakt, maar op locatie wordt ingeschat waar de injectiepunten moeten komen, mede afhankelijk van de diepte van injecteren.

4.1.2 Gewenste aanpak

Er moeten heldere eisen zijn geformuleerd aan aanpak en resultaat, en de aanbieders moeten aantonen hoe zij aan deze eisen voldoen. Het is gewenst dat alle risico's rondom het onderhogen vooraf worden onderzocht, en daar dan gerichte monitoring en beheersmaatregelen bij te formuleren. Er moet gewerkt worden aan een risico toedeling tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Hierbij kan het maken van ontwerp-scenario's met berekeningen behulpzaam zijn. Het gaat dan met name om het berekenen van de optredende vervormingen in, naast en onder het weglichaam, om zo negatieve invloeden te beperken door op strategische punten te injecteren (raster, diepte, veilige afstand tot belendingen). Ook moet de oorzaak van de verzakkingen worden onderzocht, alvorens de onderhoging uit te werken, daar men de kwaal niet wil verergeren. De onderhoog technieken van Uretek en Faber verschillen, maar het is de bedoeling de uitvraag zo generiek te maken dat beide kunnen inschrijven, en eventueel nog andere partijen.

4.2 Aspecten bij ontwerp

Bij het uitwerken van ontwerp scenario's en berekeningen moet er aandacht zijn voor:

- Hoeveelheid materiaal dat in totaal geïnjecteerd moet worden.
- Deformatie asfalt, ondergrond, taluds, en belendingen.
- Wat wordt de te verwachten nazakking?
- Het injecteren: raster, diepte, op meer punten tegelijk? Hoeveel shots per punt?
- Kennis over de te onderhogen weg:
 - Oorzaak verzakking
 - Opbouw: dikte en kwaliteit lagen
 - Aanwezigheid ondergrondse infrastructuur, zoals kabels en leidingen.
 - Grondwaterstand, in verband met opdrijven injectiemateriaal, afwatering
- Hoe lang duurt het onderhogen?
- Welke wegafzettingen zijn nodig?
- Kan je in fases onderhogen?
- Is de weg vlak genoeg na het onderhogen en schadevrij?

4.3 Onderzoek naar deelaspecten middels pilot

In 2019 en 2020 zijn er in het kader van het project pilots in Rotterdam uitgevoerd, waarbij de volgende deelaspecten aandacht hebben gekregen:

- Kan het asfalt gelijkmatig worden gelift?
- Is een onderhoging van 10 cm haalbaar?
- Wat is de nazakking gegeven een slappe grondslag?
- Bij welke omgevingstemperatuur kan er nog gewerkt worden?
- Waar blijft het geïnjecteerde materiaal? Hiertoe uitgraven van pilotlocatie.
- Wat is het gewicht en de druksterkte van het geïnjecteerde materiaal? Hiertoe uitgraven van het materiaal en dit testen in het laboratorium.
- Minimaliseren aantal injectiepunten en juiste keuze type injectiemateriaal.
- Vaststellen gewenste injectie diepte, ook gegeven de slappe grondslag.
- Volume balans maken: wat is het rendement van $x \text{ m}^3$ aan geïnjecteerd materiaal?
- Hoe deformeert het asfalt?
- Wanneer ontstaat schade aan asfalt?
- Sterkte wegfundatie na injectie.
- Sterkte ondergrond na injectie.
- Volgorde van injecteren in het raster. Op meer punten tegelijk injecteren?
- Hoe watert de constructie af na onderhogen en wat is de mate van drainage door de wegfundering?
- Hoe deformeert de berm/slootkant?

4.4 Pilot in het Rotterdamse, depot Hoofdweg

In de projectgroep is nagedacht over hoe een pilot in het Rotterdamse eruit zou moeten zien.

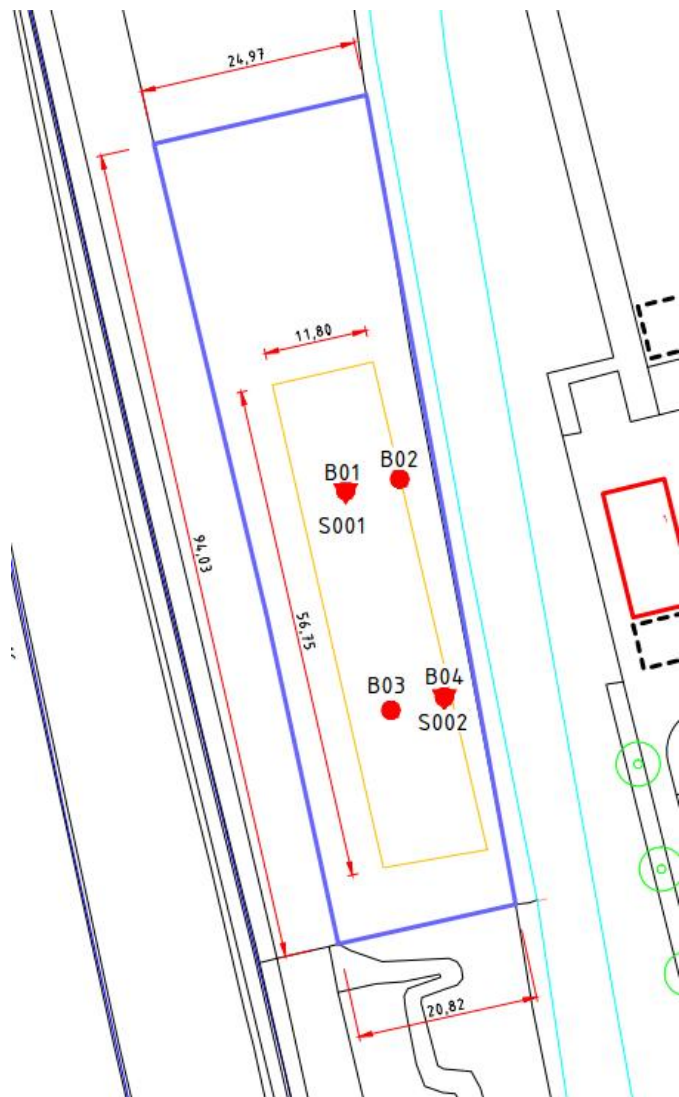
In deze pilot moet een asfaltweg gelijkmatig worden gelift, waarbij uiteindelijk een vlakke weg ontstaat met een geleidelijk verloop in de bereikte onderhoging. De constructieopbouw en asfaltkwaliteit moeten representatief zijn voor diverse plaatselijk verzakte wegen in Rotterdam. Verder moet de ondergrond bestaan uit een dik slappe lagen pakket, met daarop een zandlaag van beperkte dikte. Het materiaal van de wegfundering bestaat meestal uit menggranulaat.

Rijkswegen hebben meestal een robuustere wegconstructie, echter de pilot in het Rotterdamse zal ook voor het onderhogen van plaatselijk verzakte wegen zinvolle informatie geven.

In eerste instantie is gezocht naar een locatie waar ongestoord kan worden gewerkt, geen afzettingen nodig zijn, en waar kan worden ontgraven. Een dergelijke locatie is gevonden op het RWS-terrein bij het depot Hoofdweg te Rotterdam.

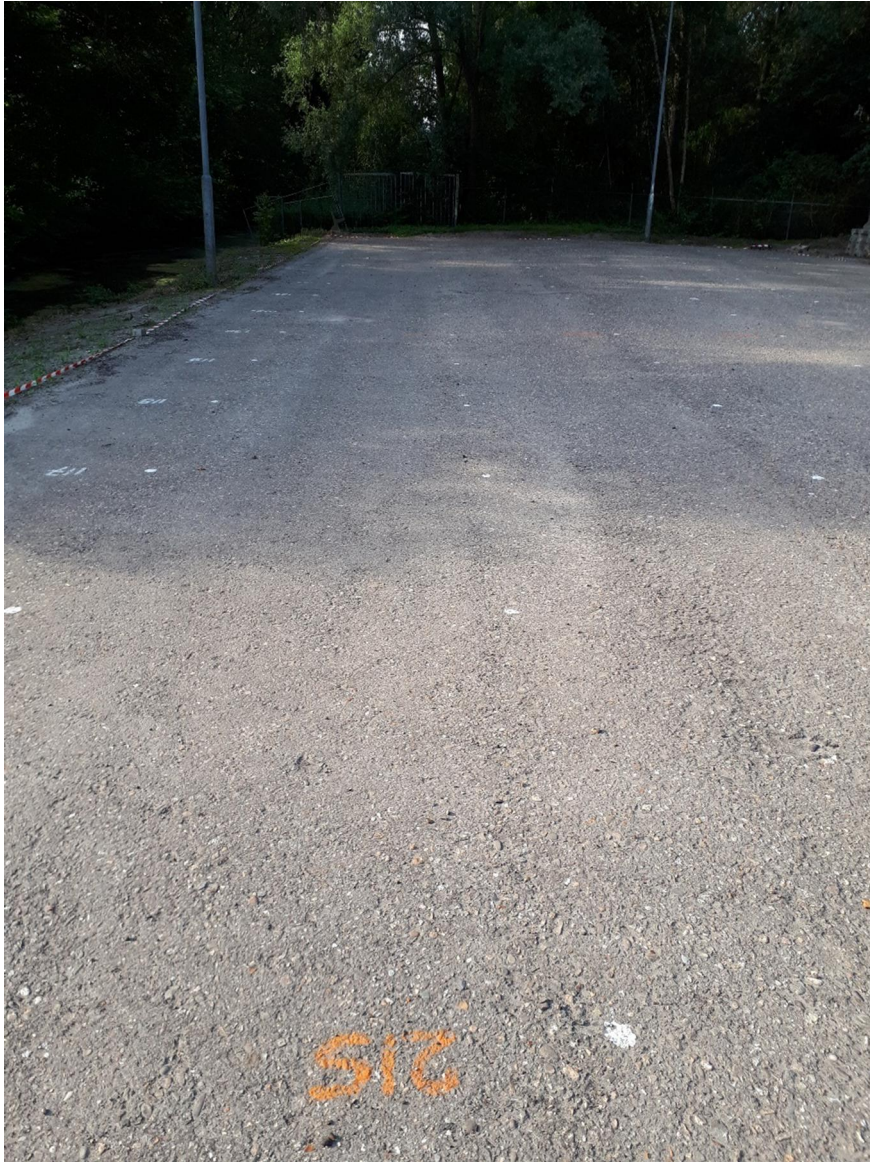
4.4.1 Beschrijving pilot locatie

De locatie depot Hoofdweg is representatief (dat wil zeggen een slanke opbouw van de verharding) voor veel situaties in Rotterdam. Figuur 4.1 geeft de ligging van deze locatie met het te onderhogen deel in de gele rechthoek. Zowel Uretek als Faber zijn benaderd voor deze pilot. Uretek is benaderd voor de zuidelijke helft en Faber is benaderd de noordelijke helft.



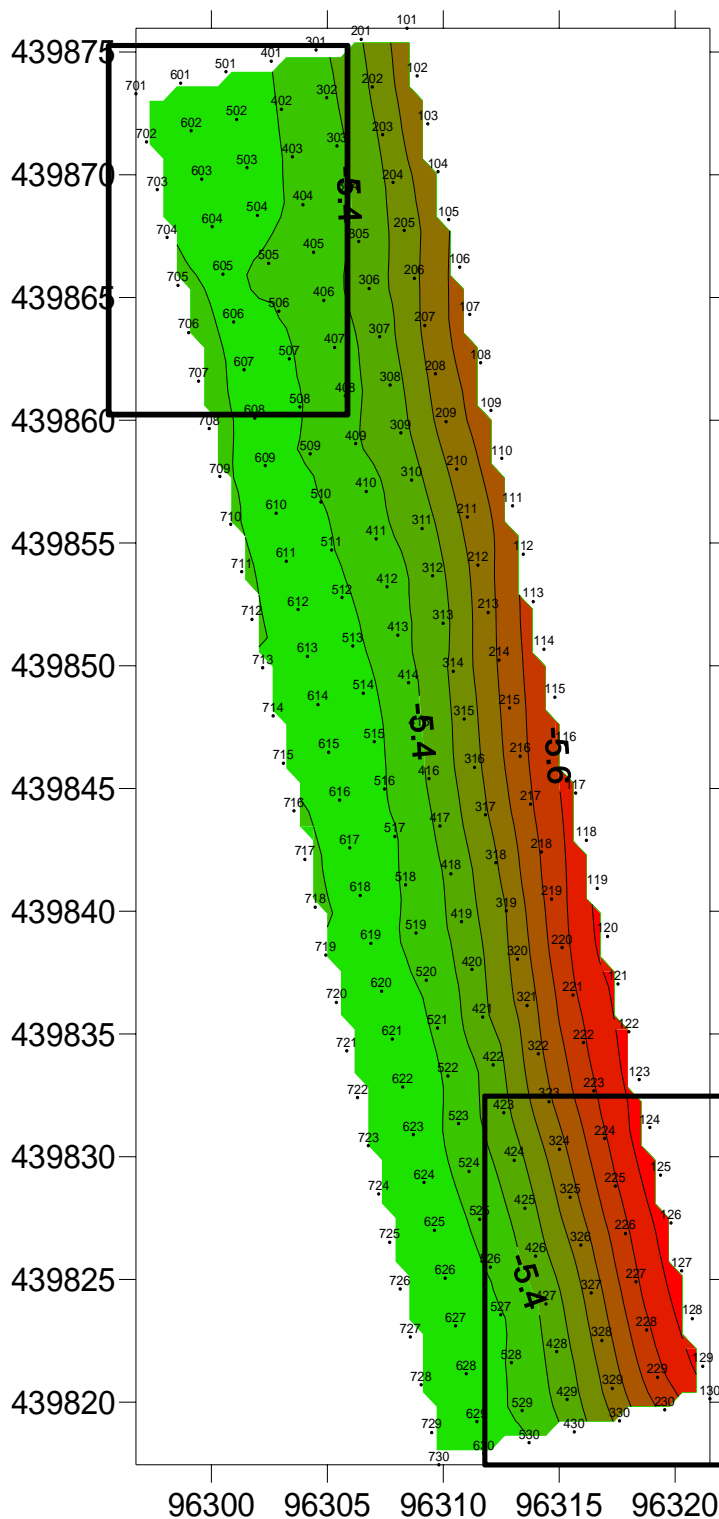
Figuur 4.1 Ligging locatie bij Depot Hoofdweg te Rotterdam met sondeer- en boorlocaties. Boven is de noordzijde. De gele rechthoek geeft het te onderhogen deel van het terrein aan en de lichtblauwe lijnen aan de oostkant geven een sloot aan. De donkerblauwe lijnen zijn de contouren van de opslagplaats

Figuur 4.2 geeft een indruk van de locatie voor het onderhogen. Te zien is het zuidelijke deel voorafgaande aan het onderhogen door Uretek op 25 juni 2019. Er zijn raaien met punten getekend met hart-op-hart 2 meter. Deze raaien zijn voorafgaande aan het onderhogen ingemeten, en mede op basis daarvan is het target hoogteverloop vastgesteld.



Figuur 4.2 Het zuidelijke deel van de te onderhogen Depot Hoofdweg locatie, voorafgaande aan het onderhogen door Uretek op 25 juni 2019

Figuur 4.3 geeft het resultaat van de hoogte meting voorafgaande aan het onderhogen. Raaien 1 tot en met 15 zijn voor Faber en raaien 16 tot en met 30 voor Uretek. Het verloop in hoogte van west naar oost is voor het zuidelijke deel circa minus 30 cm en voor het noordelijke deel circa minus 20 cm. Het slootpeil ligt op NAP -6,978 m.



Figuur 4.3 De hoogte ligging van het te onderhogen terrein. Het verloop in hoogte van west naar oost is ongeveer minus 30 cm in het zuidelijke deel en minus 20 cm in het noordelijke deel. Bovenin de figuur is met een rechthoek aangegeven waar Faber in 2020 heeft geïnjecteerd. Onderin de figuur is met een rechthoek aangegeven waar Uretek in 2019 heeft geïnjecteerd

Er is een visuele inspectie uitgevoerd en de al aanwezige lokale oneffenheden zijn bemeaten met een 3 m lange lat. Er zijn wat onregelmatigheden gevonden.

Het asfaltoppervlak had vooraf een maximale tonronde van 30 tot 45 mm, zie Figuur 4.4. Dit is fors vergeleken met ernstklasse 2 RWS ten aanzien van ribbelvorming van maximaal 10 mm (persoonlijke communicatie met Henkjan Beukema, Rijkswaterstaat). Deze grote afwijkingen zijn nauwelijks te vinden in rijkswegen daar deze direct door middel van een calamiteit worden hersteld. Na het onderhogen door Uretex is de meting met de 3 m lat herhaald.



Figuur 4.4 De tonronde van 30 tot 45 mm, zoals gemeten met een 3 m lange lat

Figuur 4.5 toont een deel waar het asfalt is verdwenen en waar de verharding bestaat uit puin vermengd met zand. Dit is een plek tussen punten 222, 322, 223, en 323. Het asfalt ligt er al geruime tijd en mogelijk is er in het verleden schade gereden.



Figuur 4.5 In het midden boven het deel waar het asfalt ontbreekt, gelegen tussen punten 222, 322, 223 en 323

Er is nog zo een plek aangetroffen tussen punten 306 en 406.

De kenmerken van de constructie, zoals verkregen uit de boringen (zie Figuur 4.1), zijn gegeven in Tabel 4.1.

Nummer boring Ø120 mm	Diepte boring (cm)	Dikte asfalt (cm)	Dikte granulaat (cm) (wegfundering)
1	55	10	45
2	50	9	41
3	44	10	34
4	47	8	39

Tabel 4.1 Kenmerken constructie uit boringen

De asfaltkwaliteit uit de boringen lijkt goed, zie Figuur 4.6.



Figuur 4.6 Foto's van boorkernen B3 en B4

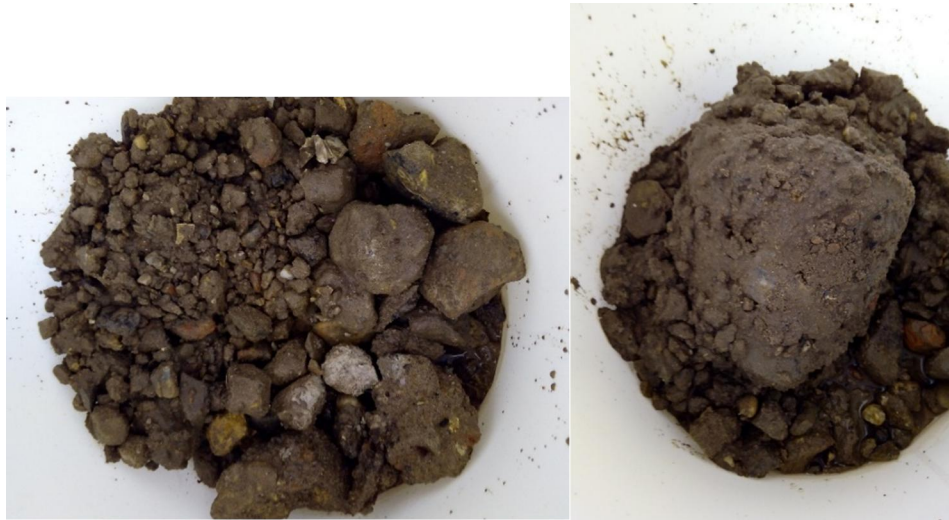
Figuur 4.7 toont het asfaltoppervlak rond boringen 3 en 4. Het asfaltoppervlak is vrij ruw en afgesleten.



Figuur 4.7 Asfaltoppervlak rondom boring 3 (links) en boring 4 (rechts)

Boringen 1 en 2 laten een vergelijkbare asfaltkwaliteit zien.

Het granulaat dat als fundering is gebruikt lijkt op ongebonden puin, maar is bij boring B4 duidelijk wat gebonden, zie Figuur 4.8. Het boorgat vloeide niet dicht met granulaat.



Figuur 4.8 Het granulaat uit boring 3 (links) en boring 4 (rechts)

Er zijn twee sonderingen uitgevoerd, die laten zien dat er een minder dan 1 m dik zandpakket onder de wegfundering aanwezig is op dik slappe lagen pakket van 9 m (uit S001) tot 8 m (uit S002). De resultaten uit deze sonderingen zijn gegeven in Bijlage B.

4.4.2 Target voor onderhoging in pilot 2019

De target voor het onderhogen was:

Voor Faber was de target ophoging in meters per meetraai voor raaien 1 tot en met 15 (let op, meetraai 700 is west, raai 100 is oost, maar later in 2020 is elders geïnjecteerd, zie Figuur 4.3), zie Tabel 4.2:

0,11	0,06	0,03	0,02	0	0	0
100	200	300	400	500	600	700

Tabel 4.2 Target onderhoging in meters per langsraai voor dwarsraaien 1 tot en met 15

Voor Uretek was de target ophoging in meters per meetraai voor raaien 16 tot en met 30 (let op, meetraai 700 is west, raai 100 is oost, zie Figuur 4.3), zie Tabel 4.3:

0,1	0,08	0,04	0,02	0	0	0
100	200	300	400	500	600	700

Tabel 4.3 Target onderhoging in meters per langsraai voor dwarsraaien 16 tot en met 30.

Tevens was het streven dat tussen de rasterpunten van 2 bij 2 m het asfalt qua ribbelvorming niet mag verslechteren.

4.4.3 Werkzaamheden Uretek in 2019

Op 25 juni 2019 is er door Uretek in het zuidelijke deel van het testvak onderhoogd. Het proces van onderhogen bestaat uit het boren van gaten in een te kiezen raster met een te kiezen diepte waarna er een injectielans met een te kiezen lengte in het gat wordt geplaatst.

Er wordt in korte shots met een injectiepistool een twee componenten expansiehars geïnjecteerd, waarbij meteen wordt gekeken wat dat doet met de hoogte meting met een laser ter plekke van het injectiepunt en ook in de directe omgeving (zie Figuur 4.9). Vooral nog is er niet op meerdere punten tegelijk geïnjecteerd. Er kunnen ook tijdens het onderhoog proces gaten worden bijgeboord.



Figuur 4.9. Het proces van onderhogen: in het midden wordt geïnjecteerd. Tevens zijn de statieven ten behoeve van de lasermetingen te zien

De volgende stappen zijn tijdens de pilot doorlopen (zie voor de locaties figuur 4.3):

- Gaten boren in raai 200 op de oneven dwarsraaien 29 tot en met 15 dus hart-op-hart 4 m.
- Ondiep injecteren met een injectielans van 70 cm lengte (die gaat tot 50 cm diep onder het oppervlak) op punt 229. Dit leverde problemen op: grote lokale opbolling asfalt (60 mm, zie Figuur 4.10), en uitbraak materiaal in berm bij sloot (zie Figuur 4.11). En er ontstond een langsscheur in het asfalt bij langssraai 300. De grootste opbolling vond plaats naast het injectiepunt, nabij de langsscheur (zie Figuur 4.10).
- Dieper injecteren met 1,5 m lange lans (die gaat 1,3 m onder het oppervlak) op een nieuw geboord injectiepunt (1 meter zuidelijker tussen rasterpunten 129 en 229). Er is 5 mm onderhoogd. Er is hier gestopt met injecteren omdat de opdrukking niet gelijkmatig genoeg was. Er is een nieuw punt gekozen, zie volgende stap.
- Injecteren met 1,5 m lange lans op punt 227. Na een onderhoging van circa 2 cm ontstond er een langsscheur, weer bij raai 300 (zie Figuur 4.12).
- Punten 127, 227 (injectiepunt) en 327 zijn tijdens het onderhogen met een laser bemeten. Er volgde direct na het stoppen met onderhogen dat de lift in punt 127 24 mm was, in punt 227 21 mm en in punt 327 18 mm. Er ontstond een hoogteverschil van enkele millimeters over de langsscheur bij raai 300. Deze scheur is waarschijnlijk een oude las die in langsrichting loopt. Verder is de berm aan de slootzijde 5 cm richting sloot verplaatst.
- Er is ook geïnjecteerd met een ander materiaal dat breder zou uitstromen, om de onderhoging wat meer gelijkmatig te krijgen. Dit werkte niet prettig, en men heeft dit verder niet meer gedaan.
- Er is in punt 225 geïnjecteerd om te kijken hoe gelijkmatig de opdrukking wordt bij circa 4 cm onderhogen. Weer is gewerkt met een injectielans van 1,5 m lengte.

- Punten 125, 225 (injectiepunt) en 325 zijn met een laser bemeten tijdens het onderhogen. Er volgde direct na het stoppen met onderhogen dat de lift in punt 125 40 mm was, in punt 225 40 mm en in punt 325 7 mm. Dit laatste punt 325 bevindt zich aan de andere zijde van de langsscheur die zich heeft gevormd. Deze langsscheur staat een paar mm open (zie Figuur 4.13). Er is ook een scheurenpatroon te zien in de berm aan de slootzijde van het asfalt. De berm is 3 cm verplaatst richting sloot. Er zijn ook kleinere scheuren te zien in het asfalt nabij de punten 125, 126, 225 en 226 (zie Figuur 4.14).
- Vervolgens is tussen de ontstane asfaltophogingen in geïnjecteerd om het asfalt nog verder te liften en mogelijk weer wat vlakker te maken. Er is een injectieopening geboord tussen de punten 126, 226, 127 en 227. Er volgde een toename in hoogte van 34 mm bij raai 100, 24 mm bij raai 200 en 0 mm bij raai 300.
- Er is in punt 228 een gat geboord en er is daar geïnjecteerd, met als doel het onderhoogde terrein wat vlakker te maken. Er volgde een ophoging van 40 mm in de punten 128 en 228.
- Op het sterk opgebolde asfalt (zie eerdere 60 mm) nabij punt 329 is een wiel van een vrachtauto geplaatst (Zie Figuur 4.15). Dit leverde een zakking op van een paar mm.
- Aan de hand van een grove hoogte meting is geconstateerd dat het asfalt maximaal $10 \pm 0,5$ cm is gelift. Echter het terrein is nog niet vlak genoeg en niet alles is onderhoogd.
- Verder uitvlakken van het terrein werd niet zinvol geacht, omdat er scheuren in het asfalt waren ontstaan. Het is gewenst eerst de oorzaak hiervan vast te stellen.



Figuur 4.10 Opbolling en langsscheur nabij raai 300 bij ondiep injecteren op punt 229



Figuur 4.11 Scheuren van berm aan slootzijde met uitbraak materiaal bij ondiep injecteren op punt 229



Figuur 4.12 Langsscheur nabij raai 300 bij injecteren op punt 227



Figuur 4.13 Doorgegroeide langsscheur nabij raai 300 bij injecteren op punt 225



Figuur 4.14 Scheurenpatroon na injecteren op punt 225: kleinere scheuren in het asfalt nabij de punten 125, 126, 225 en 226



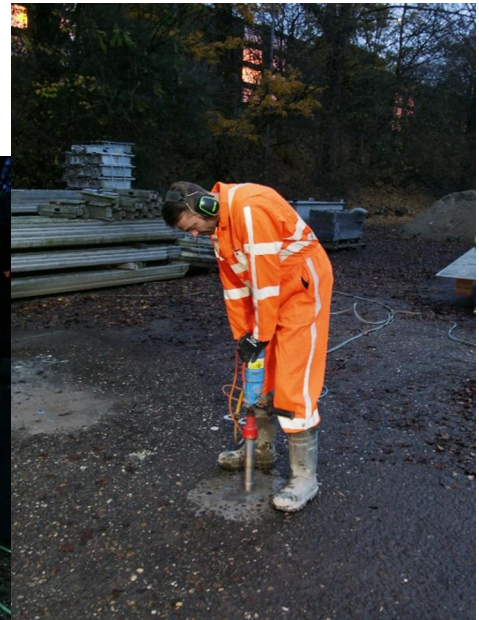
Figuur 4.15 Op het sterk opgebolde asfalt (zie eerdere 600 mm) nabij punt 329 is een wiel van een vrachtauto geplaatst

4.4.4 Bevindingen Faber op locatie in 2019

Faber heeft afgezien van onderhogen op de 25^{ste} juni omdat het die dag tropisch warm was (circa 33 °C) en hierdoor hun injectieproces niet meer naar behoren zou werken. Tevens zou dan het asfalt te warm zijn en te gemakkelijk vervormen, waardoor het onderhogen zou worden bemoeilijkt. Wel heeft Faber de onderhoog activiteiten van Uretek op die dag gevolgd. Faber heeft op 26 november 2019 op de locatie depot Hoofdweg een nader onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van celbeton injectie. Er zijn op 3x3 punten (hart-op-hart 1,5 m) gaten geboord en er is onder druk op die punten geschuimd. Het asfalt kwam mooi gecontroleerd los van de onderliggende wegfundering. In januari 2020 is hier dan ook celbeton geïnjecteerd. Aanvullend is er voor 2x2 punten (hart-op-hart 2,25 m) ook geïnjecteerd. Het asfalt wat vrijkwam bij het boren is niet uit elkaar gevallen, wat aangeeft dat het asfalt van redelijke kwaliteit is. Figuur 4.16 geeft een indruk van de situatie op 26 november 2019.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figuur 4.16. Impressie test Faber op locatie depot Hoofdweg Rotterdam: (a) drukvat van injectie unit (b) boren van een gat (c) afdichtende pluggen in 9 gaten (d) het injecteren van schuim door een plug

4.4.5 Metingen vooraf en achteraf bij onderhogen door Uretek

Zoals in par. 4.4.1 beschreven is de hoogteligging en vlakheid van het asfalt vooraf onderzocht. Tevens zijn er valgewicht deflectie (VGD) metingen uitgevoerd op een raster van 2 bij 2, vooraf en achteraf. Om de tonronde van lokale onvlakheden te bepalen zijn er metingen uitgevoerd met een 3 m lange lat, vooraf en direct na afloop van het onderhogen. De terreinmetingen en VGD-metingen zijn 1 à 2 weken later uitgevoerd. Er zijn meetspijkers geplaatst op posities in het door Uretek onderhoogde deel, dat wil zeggen op het topje van de 3 grootste opbollingen in het asfalt. Verder is na het onderhogen het raster van 2 bij 2 m bemeten, ook op een paar punten ver weg (raai 600). Op een aantal punten die ook op 3 juli 2019 zijn bemeten is op 20 november 2019 opnieuw een hoogtemeting uitgevoerd.

Meting met lat na onderhogen

Uit de metingen met de 3 m lat volgt dat de maximale tonronde na het onderhogen 160 mm was, nabij punt 329 (zie Figuur 4.17). Hier is, zoals vermeld, ook een meetspijker geplaatst.

Resultaten hoogte metingen

De resultaten uit de hoogtemetingen op 3 juli 2019 laten het volgende beeld zien (zie Tabel 4.4). De raaien 500 tot en met 700 geven eenzelfde (niet significante) trend als raai 400. Te zien is dat lokaal in punt 127A inderdaad de 10 cm is gehaald. De opbolling van 60 mm tussen punten 329 en 330 (zie Figuur 4.10) is kennelijk niet bemeten, en was vrij lokaal. De tijdens injectie bemeten lift van 40 mm op injectiepunt 228 lijkt verdwenen, op punt 128 resteert 30 mm van de bemeten 40 mm. Op punt 128A is er wel veel lift gemeten, zie Tabel 4.4. Raaien 100 en 200 bij dwarsraaien 24 tot en met 27 laten een lift zien van 30 tot 60 mm (zie Tabel 4.4). Globaal is daar een helling van 2 tot 3 cm over een afstand van 2 meter. Dit geeft aan dat als de grotere, steile opbollingen (zoals in eerste instantie bij het ondiepe injecteren in punt 229) kunnen worden vermeden, het onderhoogde asfalt redelijk vlak kan worden. Verder is de opbolling van 103 mm in punt 127A fors in vergelijking met de nabijgelegen raai punten.

na onderhogen minus voor onderhogen				
verschillen uit hoogtemeting in meters				
	raai 100	raai 200	raai 300	raai 400
raai 24	0	-0,002	0	-0,003
raai 25	0,036	0,029	0,003	-0,006
raai 26	0,06	0,03	0,005	-0,005
raai 27	0,043	0,031	0,002	-0,004
raai 127 A (1)	0,103			
raai 28	0,03	0,006	-0,001	-0,005
raai 128A (1)	0,088			
raai 29	0,009	0,017	0,007	-0,004
raai 30	0,006	0	0,002	-0,001
(1) beginmeting is geïnterpoleerd				
	>= 0,1 m			
	0,1 > x >= 0,05 m			
	0,05 > x >= 0,025 m			
	0,025 > x >= 0 m			
	0 > x >= -0,006 m			

Tabel 4.4 Het verschil in hoogte (m) op 3 juli 2019 na het onderhogen minus voor het onderhogen. Punt 127A volgt uit een meetspijker meting op een opbolling nabij punt 127

Op 20 november 2019 is er op een aantal punten opnieuw een hoogtemeting gedaan. Tabel 4.5 geeft een overzicht van de verschillen in bereikte onderhoging op 20 november ten opzichte van die op 3 juli 2019.

nu met hoogtemeting op 20 november 2019:	
percentage verschil in onderhoging	
	raai 100
raai 24	0
raai 25	-11
raai 26	-15
raai 127A	-6

Tabel 4.5 Verschilpercentages in bereikte onderhoging op 20 november ten opzichte van die op 3 juli 2019

In Tabel 4.5 is te zien dat er enige nazakking is opgetreden tot 15% van de op 3 juli bereikte onderhoging. De grootste onderhoging op punt 127A heeft maar 6% nazakking.



Figuur 4.17 Meting met 3 m lat op 600 mm oppersing nabij punt 329

Resultaten VGD-metingen

De VGD-metingen in het onderhoogde vak laten de volgende trends zien (zie [5]).

Een vergelijking van de omgerekende asfaltstijfheden (temperatuur 20°, 30 km/u) in het onderhoogde vak laten een sterke afname van de asfaltstijfheid zien bij raai 300, ook voordat er werd onderhoogd. Bij het onderhogen ontstond bij raai 300 een scheur, die grofweg langs deze raai doorgroeide naarmate er meer punten werden geïnjecteerd. Dit duidt erop dat hier mogelijk een las aanwezig was. De asfaltstijfheden zijn wat kleiner in het onderhoogde vak (raaien 100 tot en met 300, zie Figuur 4.3), ook voorafgaande aan het onderhogen, wat kan duiden op een mindere asfaltkwaliteit dan in de raaien 500 tot en met 700. De asfaltstijfheid in raaien 100 en 200 veranderde niet significant door het onderhogen, dat wil zeggen dat de kleine scheurtjes die door het onderhogen zijn ontstaan hier niet zoveel effect op hadden. Wel is er een beperkte afname in raaien 300 en 400, wat mogelijk kan samenhangen met genoemde scheurvorming bij een oude las.

De stijfheid van de wegfundering neemt in raaien 100 en 200 ten gevolge van het onderhogen met 70 tot 80% af. In raai 300 gebeurt er niet veel. In raai 400 neemt de funderingsstijfheid met 34% toe, wat mogelijk significant genoemd mag worden. Dit betekent dat het op diepte geïnjecteerde materiaal mogelijk door de grond wat omhoog komt.

De ondergrondstijfheid is in het onderhoogde vak op raaien 100 en 200 wat groter geworden (19 tot 28%). Op de andere raaien zijn er geen significante veranderingen.

4.4.6 Resultaten uit de ontgraving tussen raai 27 en 28 (uit geïnjecteerde deel Uretek)

Dwars op de lengte-as van het proefvak tussen raaien 27 en 28 (waar de grootste onderhoging was) is op 26 november 2019, in opdracht van gemeente Rotterdam, een sleuf uitgegraven. Dit is in stappen gedaan, waarbij steeds is gekeken waar het door Uretek geïnjecteerde materiaal zich bevindt en er zijn foto's hiervan gemaakt. De uiteindelijke afmetingen van deze sleuf waren 3,70 m lang (vanaf rand asfalt tot het midden tussen raai 200 en 300), 0,5 m breed en 1,15 m diep (vanaf maaiveld). De wanden van deze sleuf bleken uit zand te bestaan. De kuildiepte was net boven grondwatervniveau (= slootpeil) en gaat tot

ongeveer de diepte waar is geïnjecteerd. Het injectiemateriaal bevond zich in het zand, maar ook in de fundering en direct onder het asfalt. Er zijn gevulde scheuren te zien en schollen van uitgehard materiaal, zie Figuur 4.18. Dit materiaal bleek enigszins flexibel bij indrukken met een duim.



Figuur 4.18 Schollen van door Uretek geïnjecteerd 2 componenten expansiehars: (a) kanaal met hars vanaf de bodem (rechts) tot onder het asfalt (links). Te zien is ook de kromming in de asfaltlaag t.g.v. het onderhogen; (b) detail van (a); (c) Schollen aan andere zijde kuil; (d) ontgraven grote lichtblauwe schol met hars; (e) een schol met hars van dichtbij

Bij het ontgraven mengde het injectiemateriaal in brokjes sterk met het zand, wat consequenties kan hebben voor het verwerken van de hars als afval. Er is op 26 november door Gemeente Rotterdam een stuk geïnjecteerd materiaal en een stuk asfalt meegenomen voor mogelijke beproeving in het laboratorium. De resultaten van deze beproeving zijn nog niet bekend.

4.4.7 Evaluatie werkzaamheden Uretek tot en met juli 2019

Wat lukte met de Uretek-methode was het liften tot 10 cm bij injectie in het slappe lagen pakket, in de nabijheid van een sloot, maar wat niet goed ging was dat het asfalt ging scheuren. Rotterdam ziet deze pilot (met 8-10 cm asfaltdikte) als representatief voor veel locaties in Rotterdam. Vanwege de hoge temperatuur van het asfalt (rond de 35 °C) was er meer lokale vervorming van dit asfalt te zien. Bij lagere buitentemperatuur (bij de gangbare 20 °C is de asfaltstijfheid bij 1 Hz ongeveer 5x groter. In Bijlage A is een typische Masterkromme voor wegenbouw-asfalt gegeven, waaruit dit volgt.

Hierbij een gedeelte uit het verslag van het overleg van de projectgroep van 8 november 2019, waarin de pilot is geëvalueerd:

“Rodriaan Spruit (Gemeente Rotterdam) heeft op 4 november j.l. een memo rondgestuurd met een duiding van de resultaten van de pilot ‘Depot Hoofdweg Rotterdam’. Hij bepleit hierin, op basis van een geometrische analyse, de noodzaak om op meer punten tegelijk te injecteren, om zo een meer uniforme opdrukking te verkrijgen, met minder grote rekken in de asfaltbekleding. De gewenste positie van de injectiepunten (hart-op-hart afstand en diepte) roept tijdens de vergadering veel discussie op. Ook is er veel discussie over bij welke asfaltdikte het onderhogen nog goed gaat, met name zonder dat er dan scheuren ontstaan in het asfalt.

Bernadette zegt dat ze verkennende Plaxis berekeningen heeft uitgevoerd, waarbij op één meter in het slappe lagen pakket vijf - al dan niet tegelijkertijd expanderende - cilinders zijn gezet en met een bovenbouw bestaande uit 20 cm dik asfalt op een 40 cm dikke fundering van menggranulaat. Er volgt dat de rekken in het asfalt substantieel zijn, wat in de vergadering de vraag oproept wat er gebeurt als je eerst een zonk creëert en deze dan wilt liften. Dit behoeft verdere uitwerking. Ook blijkt uit de verkennende Plaxis berekeningen dat het type ondergrond effect heeft op de asfaltrekken (factor 5 tot 10).

Faber en Uretek geven beide aan dat zij mogelijkheden zien/hebben om op meer punten te injecteren.

Faber ziet voor hun techniek de beste mogelijkheden voor injecteren direct onder het asfalt. Uretek ziet dit voor hun techniek niet als een goede oplossing, zij willen dieper injecteren, dat wil zeggen onder de fundering en verder in de ondergrond, wat aan bij Depot Hoofdweg beter bleek te werken.

De vraag blijft of je ook zo een zonk goed kunt ‘vlaktrekken’. Alle aanwezigen willen meer berekeningen om dit alles te verkennen. Bernadette gaat dit samen met Henkjan en Rodriaan oppakken, en wel op korte termijn voor het volgende overleg (zie actie 6-06).”

Inmiddels is er een globaal plan gemaakt voor berekeningen, zie Bijlage D. De eerste resultaten zijn gegeven in Bijlage E.

4.4.8 Pilot met onderhogen door Faber

Er zijn op 25 juni 2019 door Faber geen werkzaamheden verricht vanwege de hoge temperatuur (circa 33 °C). Faber heeft op 26 november 2019 op de locatie depot Hoofdweg een nader onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van celbeton injectie. Uit boorkernonderzoek blijkt dat het injecteren direct onder de asfaltlaag hier de enige mogelijkheid is. Er zijn op 3x3 punten (hart-op-hart 1,5 m met injectiepunt 1 nabij raai punt 501 en dan naar het westen richting raai 700) gaten geboord en er is onder druk op die punten onder de asfalt laag geschuimd, met als doel het asfalt los te maken van de fundering. Het asfalt kwam mooi gecontroleerd los van de onderliggende wegfundering. Er is

daarom besloten om hier (zie vak in Figuur 4.3) celbeton te gaan injecteren. Dit heeft op later datum 28 januari 2020 plaatsgevonden. Het was op 28 januari regenachtig in de ochtend met een temperatuur van 5 tot 6°.

Het doel van de proef op 28 januari was het onderhogen van het asfalt met ongeveer 2 cm en de wens om het hele testvak horizontaal (waterpas) te krijgen. Dat betekent dat de nulmeting

van 26 november met 20 mm zou worden opgehoogd. De meeste punten die daar onder lagen, dus bijvoorbeeld min 10 mm zouden dan met 30 mm moeten worden opgehoogd. Door deze werkwijze zou er een testvak ontstaan wat heel vlak en waterpas zou komen te liggen. Aanvullend op de 3x3 punten met hart-op-hart 1,5 m is er voor 2x2 punten (hart-op-hart 2,25 m op 2,25 m afstand uit het 3x3 raster) ook geïnjecteerd met als aanvulling nog twee injectiepunten hart-op-hart 3 m op 3 m afstand van het hart-op-hart 2,25 m raster.

Figuren 4.19 en 4.20 geven een indruk van de werkzaamheden op 28 januari 2020.



Figuur 4.19 Werkzaamheden Faber (a) boren van de gaten; (b) schuimen door de injectiepluggen

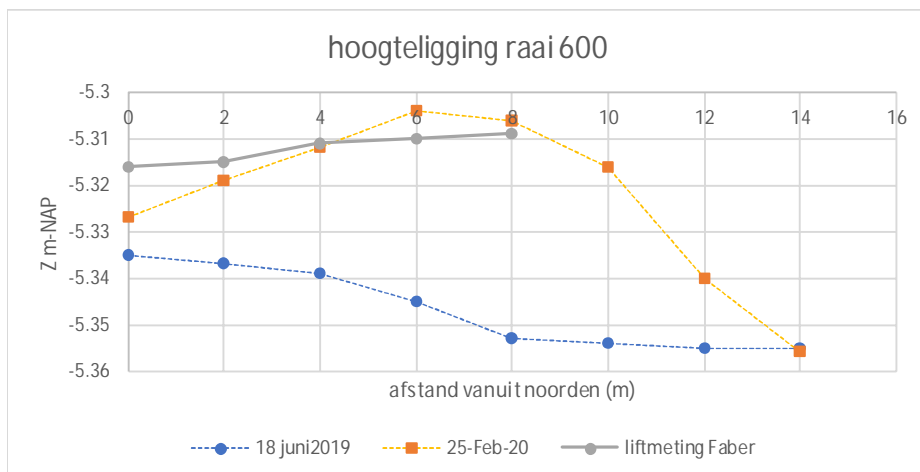
Het asfalt dat vrijkwam bij het boren (kernen \varnothing 5 cm) is niet uit elkaar gevallen, wat aangeeft dat het asfalt een goede sterkte heeft. Direct voorafgaande aan het injecteren met celbeton is de asfalt laag weer los geschuimd (zie Figuur 4.19) om het asfalt weer los te maken van de onderlaag. Vervolgens is er op de hoekpunten van het hart-op-hart 1,5 m raster het eerst geïnjecteerd (zie Figuur 4.20), vervolgens stap voor stap op de tussenliggende punten. Daarna is het raster met hart-op-hart 2,25 m geïnjecteerd. Met een laser is er tijdens het injecteren steeds gecontroleerd of de gewenste hoogte werd behaald. Na injectie van deze twee rasters is aan de hand van een lasermeting gecontroleerd waar in de twee rasters nog een beetje extra moest worden geïnjecteerd. Alles is nagemeten met een waterpas.

Tot slot zijn de twee punten met hart-op-hart afstand van 3 meter geïnjecteerd. Uiteindelijk zijn de injectorpluggen verwijderd, de uitgeoorde asfaltkernen zijn in de gaten teruggeplaatst en alles is afgedicht.



Figuur 4.20 Werkzaamheden Faber (a) injectie van celbeton; (b) boorkernen met celbeton

De vereiste horizontale vlakheid voor de hart-op-hart 1,5 m en 2,25 m rasters is behaald (binnen een tolerantie van 1%), waarbij de vereiste onderhoging per punt varieerde van 18 mm tot 53 mm, aangezien het asfalt in eerste instantie onder een helling lag. Een voorbeeld van de behaalde onderhoging is gegeven in Figuur 4.21 voor raai 600. Opgemerkt wordt dat de hoogtemeting wat variatie kan vertonen van enkele millimeters door het ongewoon grove oppervlak van het asfalt. De liftmeting Faber direct na onderhogen op 28 januari 2020 (grijze lijn in Figuur 4.21) is grotendeels terug te vinden in de 25 Feb- 20 hoogtemeting. Er zijn wat afwijkingen vanwege het grove oppervlak van het asfalt. De maximale lift t.o.v. de hoogtemeting op 18 juni 2019 is 45 mm.



Figuur 4.21 De onderhoging van raai 600. De liftmeting van Faber was direct na het injecteren op 28 januari 2020. Raai 600 ligt in het centrale deel van de geïnjecteerde zone

Bij het hart-op-hart 3 m raster is de gewenste vlakheid, met name tussen de injectiepunten in, niet gehaald, zoals al werd verwacht gezien de geringe asfaltdikte.

Er treden ten gevolge van het onderhogen geen zichtbare open scheuren in het asfalt op, hoewel het asfalt vooraf hier en daar al wel kleine scheurtjes had.

Er zijn door de Gemeente Rotterdam monsters van het celbeton genomen, ten behoeve van de bepaling van de druksterkte in de tijd, zie [6]. Het blijkt dat de uithardingstijd nu een aantal dagen is, maar er is ook celbeton verkrijgbaar met een snellere uithardingstijd. De behaalde druksterkte na 50 dagen bedraagt $2,4 \pm 0,6$ MPa (range van 1,7 tot 3,1 MPa), en na 61 dagen bedraagt deze $3,2 \pm 0,3$ MPa (range van 2,9 tot 3,5 MPa). De volumieke massa hierbij bedraagt na 50 dagen 968 ± 58 kg/m³ en na 61 dagen 938 ± 20 kg/m³. De waarden na 50

dagen en 61 dagen verschillen niet significant, wat betekent dat de celbeton al eerder was uitgehard.

Er zijn op 28 februari 2020 valgewicht deflectie metingen bij het beproefde deel in Figuur 4.3 (langsraaien 100 tot 600 x dwarsraaien 1 tot 6) uitgevoerd, zie [7]. Er is ook een referentiegedeelte bemeten (langsraaien 100 tot 600 x dwarsraaien 7 tot 12). Langsraai 700 kon niet bemeten worden vanwege de aanwezigheid van bouw materiaal. Dit was voorafgaande aan het onderhogen wel mogelijk. Het kan zijn dat er na het onderhogen extra bouw materiaal is geplaatst.

De VGD-metingen zijn na een temperatuurcorrectie naar 20 °C vergeleken met metingen gedaan in juni 2019.

In het referentiegedeelte werden op 28 januari iets zuidelijker van dwarsraai 7 twee hart-op-hart 3 m punten geïnjecteerd. Dit is niet terug te zien als significante afwijkingen in de stijfheid over dwarsraai 7 tot 12. In het geïnjecteerde deel, dat wil zeggen langsraaien 500 en 600 x dwarsraaien 1 tot 6, is er een flinke toename in de stijfheid van de fundering gemeten, te weten 56,3% toename bij raai 500 en 95,8% toename bij raai 600. De fundering bestaat uit een laag van circa 40 cm ongebonden puin, waar dus aan de bovenzijde direct onder het asfalt het celbeton is ingebracht.

De ondergrond stijfheden zijn niet veranderd, en ook de asfaltstijfheid lijkt niet significant beïnvloed, hoewel hier de temperatuurcorrectie van 20 °C een vergelijking minder nauwkeurig maakt.

4.5 Wat is nu mogelijk gebleken?

Wat lukt met de Faber methode is met hart op hart afstand van 2,25 m onder een asfaltlaag van 10 cm injecteren. Kanttekening is dat de asfaltlaag wel moet loskomen van de funderingslaag, iets wat met behulp van het onder druk injecteren (via boorgaten) van een schuim (bestaande uit dierlijke proteïne) wordt getest. Het asfalt kan zeker met 5 cm worden gelift.

Wat lukte met de Uretek-methode was het liften tot 10 cm bij injectie in het slappe lagen pakket, in de nabijheid van een sloot, maar wat niet goed ging was dat het asfalt ging scheuren. De pilot bij depot Hoofdweg laat zien dat bij injectie in het slappe lagen pakket het asfalt overal goed omhoog komt, waarbij er wel een zijdelingse deformatie bij de berm te zien is van vergelijkbare omvang. Rotterdam ziet deze pilot (met 8-10 cm asfaltdikte) als representatief voor veel locaties in Rotterdam. Vanwege de hoge temperatuur van het asfalt (rond de 35 °C) was er meer lokale vervorming van dit asfalt te zien. Bij lagere buitentemperatuur (bij de gangbare 20 °C is de asfaltstijfheid bij 1 Hz ongeveer 5x groter.

De Uretek methode lijkt kansrijk, echter er moet dan waarschijnlijk wel wat gelijkmatiger worden geïnjecteerd, dat wil zeggen op meer punten tegelijk met kleine beetjes. Hierbij moet er op een zekere diepte worden geïnjecteerd om te grote opbollingen van het asfalt te vermijden. Een lagere omgevingstemperatuur gaat hierbij zeker helpen, daar er dan meer plaatwerking van het asfalt optreedt.

De Faber-methode lijkt vooralsnog het meest kansrijk voor het uitvlakken van zonken in een asfaltweg. Uretek is het best in het liften van stootvloeren, stootplaten liften is nog een uitdaging. Tabel 4.6 geeft de stand van zaken weer nu de pilot in het Rotterdamse is uitgevoerd.

Verder onderzoek	Uretek	Faber
Liften stootvloeren	√	
Liften stootplaten	?	
Onderhogen Rijksweg		√
Onderhogen Gemeenteweg	X	√

Tabel 4.6 Stand van zaken na uitvoeren pilots in het Rotterdamse; √ = succesvolle pilot, nu niveau TRL7 á TRL8; X = was nog niet succesvol in pilot, nu TRL5 of lager; ? = nog niet nader onderzocht, nu TRL 5 of lager. Voor duiding TRL levels, zie hieronder.

De Technology Readiness Levels (TRL) zijn:

TRL 1: Basisprincipes van de benodigde technologieën zijn bekend.

TRL 2: Het technologisch concept van de sleutelcomponenten is geformuleerd.

TRL 3: Het technologisch concept van sleutelcomponenten is experimenteel aangetoond.

TRL 4: De technologie van alle sleutelcomponenten werkt onder laboratoriumcondities.

TRL 5: De voor het prototype benodigde technologieën werken onder relevante omstandigheden.

TRL 6: Een prototype werkt onder relevante omstandigheden.

TRL 7: Een prototype kan getest worden onder operationele omstandigheden.

TRL 8: Het systeem is getest en gevalideerd onder de operationele omstandigheden.

TRL 9: Klaar voor toepassing.

4.6 Ervaringen met modelonderzoek (centrifugeproeven)

Het onderhogend principe is dat men de weg gelijkmatig wil liften, met groot rendement ($x \text{ m}^3$ onderhoging weg/ m^3 geïnjecteerd materiaal). Er moeten flauwe hellingen in hoogteligging resulteren, en ook lokaal moet het asfalt zo vlak mogelijk zijn, ook tijdens het onderhogen. Uit veldonderzoek en centrifuge proeven blijkt dat het gelijktijdig op meerdere plekken met zekere hart-op-hart afstand injecteren een veel beter rendement oplevert: vlakker asfalt en meer verticale lift (zie rapport 'Onderhogen: van idee tot uitvoering' [3]). In een zandbed injecteren levert meestal meer verticale lift op, dan in een slappe ondergrond. Het is belangrijk te weten wat er in de ondergrond gebeurt, met name de verspreiding van het geïnjecteerde materiaal en hoe de grond hierbij deformeert. Als er direct onder het asfalt wordt geïnjecteerd, is het van belang te weten hoe het materiaal zijdelings wordt weg geperst, omdat dat de benodigde hart-op-hart afstand bepaalt.

4.7 Berekeningen aan onderhoog proces

Er kan ook aan het onderhogen worden gerekend.

Er is een globaal plan gemaakt voor berekeningen, zie Bijlage D. De eerste resultaten zijn gegeven in Bijlage E.

5 Monitoring bij uitvoering

Tijdens uitvoering is een uitgebreide monitoring essentieel. Hierbij moet er speciale aandacht zijn voor de 'performance' van het onderhoog-materiaal ten opzichte van een normale wegconstructie. Het betreft met name het draagvermogen en waar het geïnjecteerde materiaal zich bevindt.

Er zijn metingen vooraf, tijdens en na het onderhogen voorzien.

5.1 Monitoring

In kader van de praktijktoepassing worden de volgende activiteiten voorzien:

5.1.1 Sturen injectieproces (onder regie en door injectiebedrijf)

- Lasermetingen op en rondom injectiepunt(en).
- Bijhouden hoeveelheden geïnjecteerd materiaal per 'shot' en per injectiepunt.
- Deformatie belendingen.
- Controle op ontstaan schade.
- Controle op en verhinderen van uitbraak materiaal.
- Hoogte-survey van onderhoogd oppervlak + bijsturen (extra injecteren en/of boren).
- Letten op eventuele vervuiling van oppervlakte water.

5.1.2 Metingen vooraf

- Vaststellen opbouw – boringen en sonderingen.
- Meting grondwaterstand.
- Inmeten hoogte terrein – vaststellen lokale onvlakheden.
- Inspectie weg en belendingen.
- Plaatsen piketten in taluds/belendingen (als nodig) en deze inmeten.
- Klic melding -- waar liggen leidingen e.d.?
- VGD-metingen - bepaling van de stijfheden (optioneel, met name bij pilot).

5.1.3 Metingen achteraf

- Inmeten terrein (direct na onderhogen, en nog 1 of 2 maal).
- Vaststellen lokale onvlakheden.
- Inspectie weg en belendingen.
- Controle metingen aan piketten in taluds/belendingen.
- VGD-metingen –bepaling van de stijfheden (optioneel, met name bij pilot).
- Controle op spoorvorming bij zwaar verkeer.
- Controle restzettingen na langere periode van 3 maanden (optioneel).

5.1.4 Aspect Stijfheid

De stijfheid van de wegfundering bepaalt in belangrijke mate de levensduur (spoorvorming, scheurvorming etc.). Een veelgebruikte methode om de stijfheid van het wegdek, fundering en daaronder liggende grondlagen te bepalen is de valgewicht deflectie methode. Hierbij laat men een gestandaardiseerd gewicht vanaf een gestandaardiseerde hoogte op een plaat vallen, waarbij de snelheid en terugkeerhoogte na stuiteren wordt geregistreerd. Deze waarden zijn te vertalen naar een gemiddelde elasticiteitsmodulus.

Door voorafgaand aan het onderhogen een grid van meetpunten op het wegdek te markeren, kan voor, direct na en naar wens op elk moment na onderhogen de gemiddelde stijfheid op de punten van het grid worden vastgesteld.

Het aantal punten en de hart-op-hart afstand zijn te kiezen in relatie tot de grootte van het te onderhogen weggedeelte maar als richtlijn moet worden uitgegaan van minimaal 20 punten om statistische relevantie te verkrijgen.

Hierbij is het aan te bevelen om ook een aantal referentiepunten te markeren op een deel van het wegvak waar dezelfde fundering/verharding aanwezig is maar waar niet geïnjecteerd zal worden. Zo kan een idee worden verkregen van de invloed van het onderhogen op de gemiddelde stijfheid.

5.1.5 Aspect Zetting

Meestal is een plaatselijk ongunstiger bodem met meer zetting de oorzaak van een zonk die hersteld moet worden. De verwachting is dan vanzelf dat ook in de toekomst die plek zettingsgevoeliger zal zijn. Door met licht materiaal (schuimbeton of Poly-Urethaan-schuim) te injecteren, kan echter worden opgehoogd (onderhoogd) zonder significante toename van de belasting op de ondergrond, dit in tegenstelling tot traditioneel met zand ophogen.

De voor de valgewicht deflectie meting gemarkeerde gridpunten kunnen ook worden gebruikt om hoogtemetingen uit te voeren met bijvoorbeeld een tachymeter, of waterpasoestel, inclusief GPS. Zo kan voorafgaand aan het onderhogen de geometrie van de zonk worden vastgesteld, het injectieresultaat en het lange termijn gedrag (meerdere opeenvolgende metingen over de eerste paar jaar).

5.1.6 Aspect injectiemateriaal

Met behulp van kernboringen na het onderhogen kan worden vastgesteld waar het materiaal is gebleven en hoe het zich al dan niet heeft gemengd met de funderingslaag.

Per testlocatie moet worden gedacht aan een stuk of 5 tot 10 kernboringen. Deze moeten visueel worden beschreven om te bepalen wat de indringing is in de verschillende granulaire lagen. Tevens is het gewenst de druksterkte van het geïnjecteerde materiaal te bepalen, aangezien deze afhankelijk kan zijn van het onderhoog-proces. Tevens kunnen de stijfheid, doorlatendheid en het soortelijk gewicht van het geïnjecteerde materiaal bepaald worden.

6 Aspecten life cycle

6.1 Duurzaamheid

6.1.1 Uretek

Bestendigheid tegen veroudering

Het certificaat voor het URETEK expansiehars is verstrekt door de Afdeling Materiaalonderzoek van de Universiteit van Hannover. Een lange termijn evaluatie van een polyurethaangroep met hoge dichtheid E165 – Caradate 30 geeft een lange termijn ontwerplevensduur aan van minimaal 33 jaar. Voortgaand onderzoek wijst op een verlengde ontwerplevensduur die deze periode ruim overschrijdt. Dit is ook de gebruikelijke uitkomst van studies die zowel door onafhankelijke partijen als door grote grondstoffenleveranciers zijn uitgevoerd. Deze wijzen op stabiliteit en duurzaamheid op de lange termijn, zelfs in ongunstige milieus.

Thermische stabiliteit

De Universiteit van Hannover heeft een kwantitatieve beoordeling van de thermische stabiliteit in de vorm van dynamisch gewichtsverlies uitgevoerd met gebruikmaking van differentiële thermische analyse. Verwacht mag worden dat de gebruiksduur van samengestelde pijpen met E165-Caradate 50 hard schuim, en getest in overeenstemming met het onderzoeksrapport, 30 jaar zal zijn bij een continue toegestane temperatuur van 133°C.

6.1.2 Faber

Celbeton loogt niet uit. Het heeft een lange levensduur (> 50 jaar).

6.2 Recycling

Celbeton kan als puin worden gerecycled. Het hars moet naar de verbrandingsoven, maar heeft wel een laag soortelijk gewicht, zodat er weinig massa verbrand hoeft te worden.

6.3 Toegankelijkheid ondergrond

De vertakte boomstructuur van de expansiehars zou de toegang tot de ondergrond, zoals die tot kabels en leidingen, niet verhinderen. Het celbeton bevindt zich direct onder de weg (fundering) en geeft zo minder hinder bij graafactiviteiten.

6.4 Afwatering (drainage)

Het celbeton (Faber) is ondoorlatend, en dit kan effect hebben op de verticale indringing van regenwater in de weg. De expansiehars (Uretek) is vertakt, wat betekent dat het water er langs af kan stromen.

6.5 Kosten

Voor de kosten van het onderhogen met de Faber-methode van bijvoorbeeld een tweetal zonken met een grootte van 40 m² elk en een maximale onderhoging van 10 cm kan worden gedacht aan: circa 10 k€ (exclusief BTW, bij één nacht werk, zonder verkeersmaatregelen) bij uitvoering als nachtwerk.

Voor het liften van stootvloeren met de Uretex-methode van een 2-strooks weg aan weerszijden van een kunstwerk kan worden gedacht aan: circa 20 k€ (exclusief btw, bij één nacht werk, zonder verkeersmaatregelen) bij uitvoering als nachtwerk.

6.6 Risico's en beheermaatregelen

Met gerichte monitoring zal moeten worden onderzocht of er schade aan belendingen (zoals pijpleidingen, landhoofd) kan optreden.

Als er ondiep wordt geïnjecteerd, zoals Faber doet, dan volstaat een monitoring van de vlakheid van de weg. Als er vlak onder de stootplaat wordt geïnjecteerd, zoals Uretex doet, geldt dit meestal ook.

Als er in de grond wordt geïnjecteerd moet worden nagegaan waar het injectiemateriaal blijft en ook hoe de grond deformeert. Dit laatste is weer van belang ten aanzien van het inschatten van mogelijke schade.

Uiteindelijk moet met behulp van valgewicht deflectie metingen het draagvermogen voor en na het onderhogen worden onderzocht. Verder moet duidelijk worden hoe snel de weg na het onderhogen weer berijdbaar is. Dit kan door de ontwikkeling van de druksterkte van het materiaal in de tijd in het laboratorium te onderzoeken.

Een serie hoogtemetingen in de tijd geeft aan of er nog nazakking optreedt.

6.7 Afwegingsmatrix (keuze tool)

Hierin wordt onderhogen vergeleken met meer gangbare technieken voor (grootschalig) onderhoud. Hierbij is de case aangehouden met één zink of meerdere dichtbij elkaar gelegen zinken in een gemeenteweg (één nacht werk). De kosten van onderhogen met de methode Faber bedragen hierbij € 12.000,-, inclusief btw, zie ook paragraaf 6.5.

Arjen Oostra van Gemeente Rotterdam heeft een eerste aanzet voor een afwegingsmatrix gemaakt, zie Tabel 6.1.

	correctief onderhoud overgang opvullen met asfalt	asfalt verwijderen en uitvullen fundering. Asfalt opnieuw aanbrengen	asfalt en fundering verwijderen. EPS o.i.d. aanbrengen. Fundering en asfalt opnieuw aanbrengen	Onderhogen
Beschikbaarheid	nachtafsluiting, minder dan 500 gebruiksdagen hinder. € 1.000,-/3 = € 333,-/jaar	2 dagen afsluiting, 500-5.000 gebruiksdagen hinder = € 10.000,-/5 = € 2.000,-/jaar	3 dagen afsluiting, 5.000-10.000 gebruiksdagen hinder € 15.000,-/15 = € 1.000,-/jaar	nachtafsluiting, minder dan 500 gebruiksdagen hinder. € 1.000,-/8 = € 125,-/jaar
Veiligheid	Gevaarlijke situatie, circa 3 maal per 3 jaar. € 3.000,-/3 = € 1.000,-/jaar	Gevaarlijke situatie, circa 3 maal per 5 jaar. € 3.000,-/5 = € 600,-/jaar	Gevaarlijke situatie, circa 3 maal per 15 jaar. € 3.000,-/3 = € 200,-/jaar	Gevaarlijke situatie, circa 3 maal per 8 jaar. € 3.000,-/8 = € 375,-/jaar
Milieukosten				
Kosten	€ 5.000,-/3 = € 1.667,-	€ 15.000,-/5 = € 3.000,-	€ 22.000,-/15 = € 1.467,-	€ 12.000,-/8 = € 1.500,-
totale kosten per jaar	€ 3.000,-	€ 5.600,-	€ 2.667,-	€ 2.000,-
uitgangspunt	Maatregel zal om de drie jaar herhaald moeten worden	Maatregel zal om de 5 jaar herhaald moeten worden	Maatregel zal om de 15 jaar herhaald moeten worden	Maatregel zal om de 8 jaar herhaald moeten worden

Tabel 6.1 Eerste opzet van een afwegingsmatrix ten aanzien van onderhogen van een zink versus andere maatregelen

In Tabel 6.1 is te zien dat onderhogen een aantrekkelijk alternatief kan zijn, mits de baten over een langere periode worden beschouwd.

7 Conclusies ten aanzien van verdere toepassing

7.1 Eisen voor twee praktijkgevallen

Er kan worden onderzocht of onderhogen haalbaar is voor de volgende twee typische praktijkgevallen:

- Geval 1: Een zink in de asfaltverharding over een weglengte van 50 meter met een maximum van 100 mm, bijvoorbeeld veroorzaakt door geulen of oude sloten onder de weg.
- Geval 2: Verzakking van stootplaten van 5 meter lang en 1 meter breed, met een maximum zakking van 200 mm onder het vrije uiteinde.

De eisen is dat de werkzaamheden alleen in de nacht kunnen worden uitgevoerd tussen 10:00 en 6:00 met een volledige afsluiting van de rijbaan. Eventueel vooronderzoek moet het liefst ook dezelfde nacht plaatsvinden.

De volgende ochtend om 6:00 moet het asfalt weer rijdbaar zijn. Er mag geen schade aan het asfalt optreden. Tevens moet het asfalt weer de vereiste vlakheid hebben conform de RAW Standaard 2015. Dit houdt in dat tijdens het onderhogen op millimeter-niveau kan worden geoptimaliseerd.

7.2 Conclusies ten aanzien van methode Faber

De methode van Faber blijkt voor het uitvlakken van lokale zonken een goede oplossing, waarbij het niet mogelijk is te werken bij extreem hoge buitentemperatuur. Een hart-op-hart afstand van 3 m tussen de injectiepunten is meestal afdoende, behalve als er direct onder een dunne laag asfalt wordt geïnjecteerd zoals in de pilot Depot Hoofdweg. Bij injectie direct onder het asfalt moet voorafgaande aan het onderhogen door middel van schuimen worden getest of het asfalt goed loskomt. Er kan in geval van een gebonden funderingslaag ook onder deze funderingslaag worden geïnjecteerd. De uithardingstijd van het celbeton kan nog geoptimaliseerd worden. Dit is nodig als men de weg na een nacht onderhogen weer wil openstellen. Het celbeton kan gerecycled worden, wat gunstig is voor het milieu. De verwachting is dat tot maximaal 100 mm kan worden gelift. Hiermee zijn de onderzoeksvragen ten aanzien van praktijkgeval 1 deels beantwoord. De methode Faber is minder geschikt om stootplaten mee te liften.

7.3 Conclusies ten aanzien van methode Uretek

De methode van Uretek heeft nog verdere ontwikkeling voor smalle stootplaten en is vooralsnog alleen geschikt om stootvloeren te liften. In dat geval is het streven de stootplaten en het aansluitend weggedeelte te samen te liften, zodat er minimale hoogteverschillen ontstaan. Het streven is dat er na het onderhogen geen hoogtecorrectie of reparaties van het asfalt nodig zullen zijn. Het injectiemateriaal van Uretek kan niet gerecycled worden en moet bij sloop van het weggedeelte naar de verbrandingsoven worden afgevoerd. De onderzoeksvragen ten aanzien van praktijkgeval 2 ten aanzien van het liften stootplaten kunnen nog niet worden beantwoord, aangezien er in het kader van dit project geen nader onderzoek hiernaar heeft plaatsgevonden. De methode van Uretek is vooralsnog minder geschikt om zonken mee uit te vlakken.

7.4 Samenvatting conclusies

De stand van zaken na het uitvoeren van de pilots in het Rotterdamse is samengevat in Tabel 7.1. Tevens zijn de TRL-niveaus aangegeven.

Verder onderzoek	Uretek	Faber
Liften stootvloeren	√	
Liften stootplaten	?	
Onderhogen Rijksweg		√
Onderhogen Gemeenteweg	X	√

Tabel 7.1 Stand van zaken na uitvoeren pilots in het Rotterdamse. √=succesvolle pilot, nu niveau TRL7 á TRL8; X=was nog niet succesvol in pilot, nu TRL5 of lager; ? = nog niet nader onderzocht, nu TRL 5 of lager. Voor duiding TRL-levels zie hieronder

De Technology Readyness Levels (TRL) zijn:

TRL 1: Basisprincipes van de benodigde technologieën zijn bekend.

TRL 2: Het technologisch concept van de sleutelcomponenten is geformuleerd.

TRL 3: Het technologisch concept van sleutelcomponenten is experimenteel aangetoond.

TRL 4: De technologie van alle sleutelcomponenten werkt onder laboratoriumcondities.

TRL 5: De voor het prototype benodigde technologieën werken onder relevante omstandigheden.

TRL 6: Een prototype werkt onder relevante omstandigheden.

TRL 7: Een prototype kan getest worden onder operationele omstandigheden.

TRL 8: Het systeem is getest en gevalideerd onder de operationele omstandigheden.

TRL 9: Klaar voor toepassing.

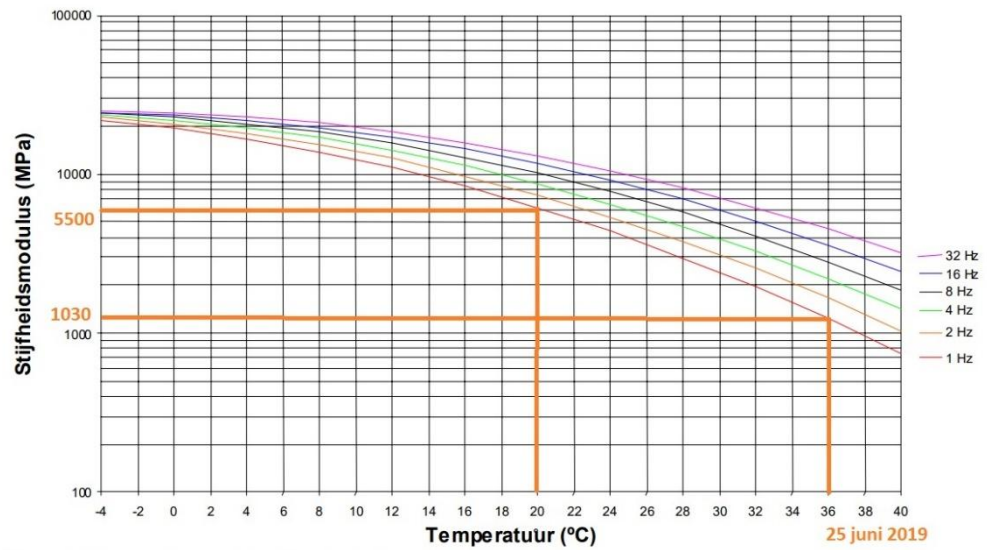
7.5 Gewenste aanpak voor toekomstige onderhoog projecten

Er moeten heldere eisen zijn geformuleerd aan aanpak en resultaat, en de aanbieders moeten aantonen hoe zij aan deze eisen voldoen. Het is gewenst dat alle risico's rondom het onderhogen vooraf worden onderzocht, en daar dan gerichte monitoring en beheersmaatregelen bij te formuleren. Er moet gewerkt worden aan een risico toedeling tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Hierbij kan het maken van ontwerp-scenario's met berekeningen behulpzaam zijn. Het gaat dan met name om het berekenen van de optredende vervormingen in, naast en onder het weglichaam, om zo negatieve invloeden te beperken door op strategische punten te injecteren (raster, diepte, veilige afstand tot belendingen). Ook moet de oorzaak van de verzakkingen worden onderzocht, alvorens de onderhoging uit te werken, daar men de kwaal niet wil verergeren. De onderhoog technieken van Uretek en Faber verschillen, maar het is de bedoeling de uitvraag zo generiek te maken dat beide kunnen inschrijven, en eventueel nog andere partijen.

8 Referenties

- [1] Deltares (2019). Projectplan. <https://www.tkideltatechnologie.nl/project/del098-11203068-onderhogen-van-verzakkingen-in-asfaltwegen-zoals-bij-overgangsconstructies-en-duikers/> Laatst geraadpleegd 8 oktober 2020.
- [2] Rijkswaterstaat, Dienst Grote Projecten en Onderhoud (2018). Eisen Onderbouw. Versie 6, 1 november 2018.
- [3] Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde (2005). Onderhogen: van idee tot uitvoering. Rapport DWW-2005-011, ISBN 90-369-5580-7.
- [4] Uretek (2020). <https://www.uretek.nl/techniek/methoden/> Laatst geraadpleegd 8 oktober 2020.
- [5] Asset Insight (2019). Depot Hoofdweg, VGD en stijfheidsmoduli testlocatie Hoofdweg Rotterdam'. Rapport R_01560_01, 22 juli 2019.
- [6] Fugro NL Land B.V. Rapportage laboratoriumonderzoek (23-04-2020), opdrachtnummer 1720-0194-000; in opdracht van Gemeente Rotterdam.
- [7] Asset Insight (2020). Depot Hoofdweg, Valgewichtmetingen. Rapport R_02521_01, 20 maart 2020.

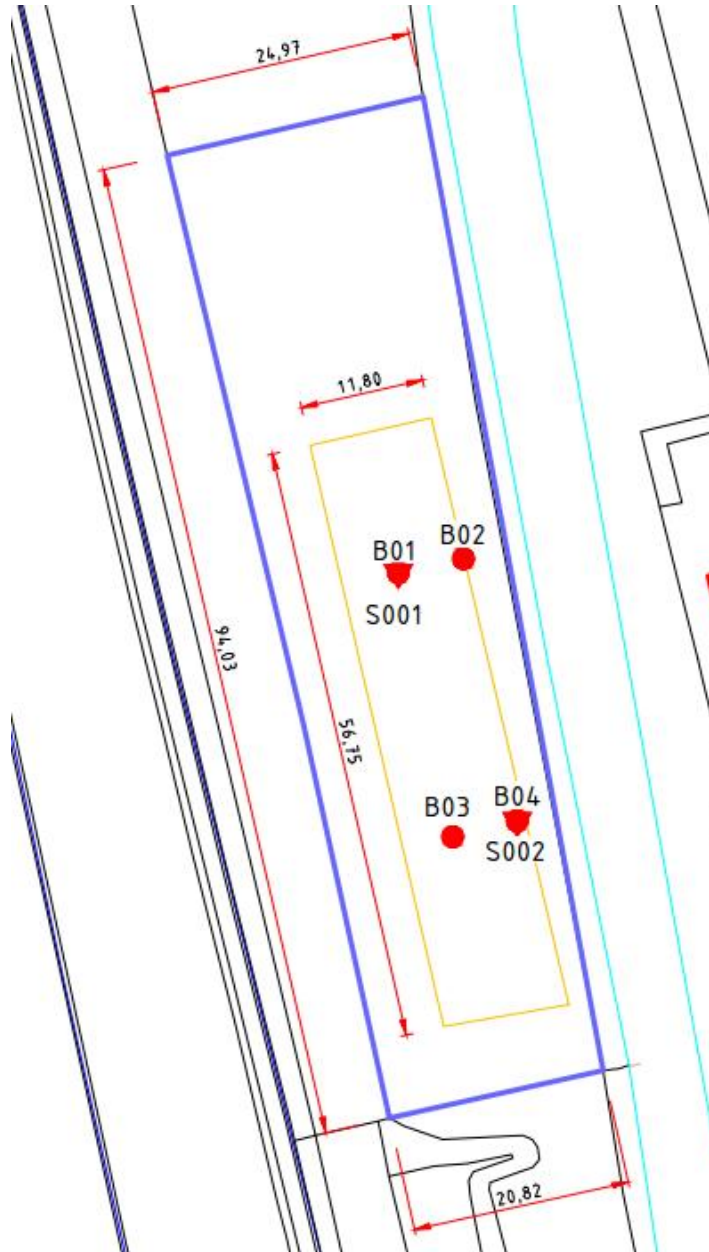
A Voorbeeld van masterkromme asfalt

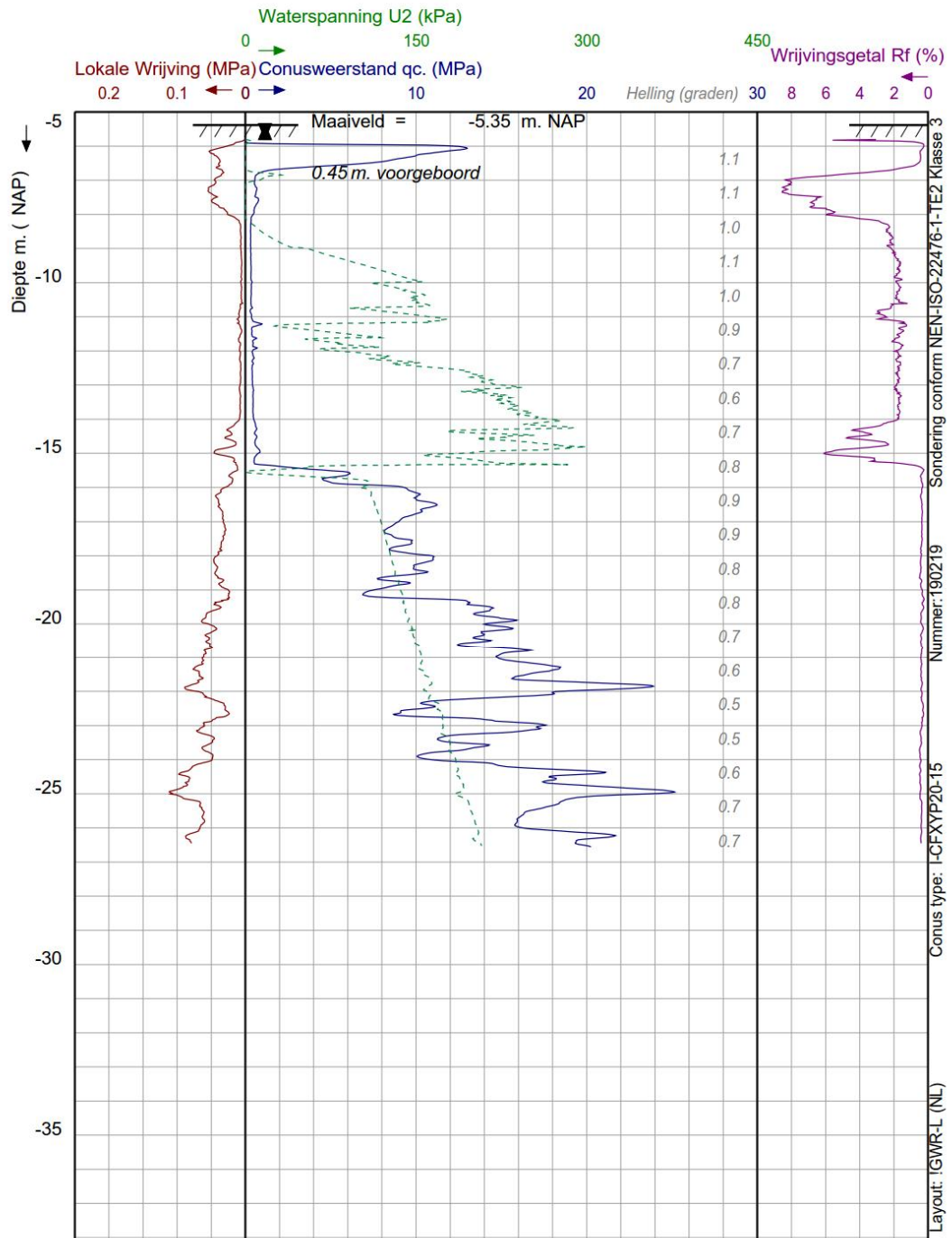


Figuur 5.3 Voorbeeld stijfheidsrelatie asfalt

B Sonderingen op locatie Depot Hoofdweg Rotterdam

Positie sonderingen



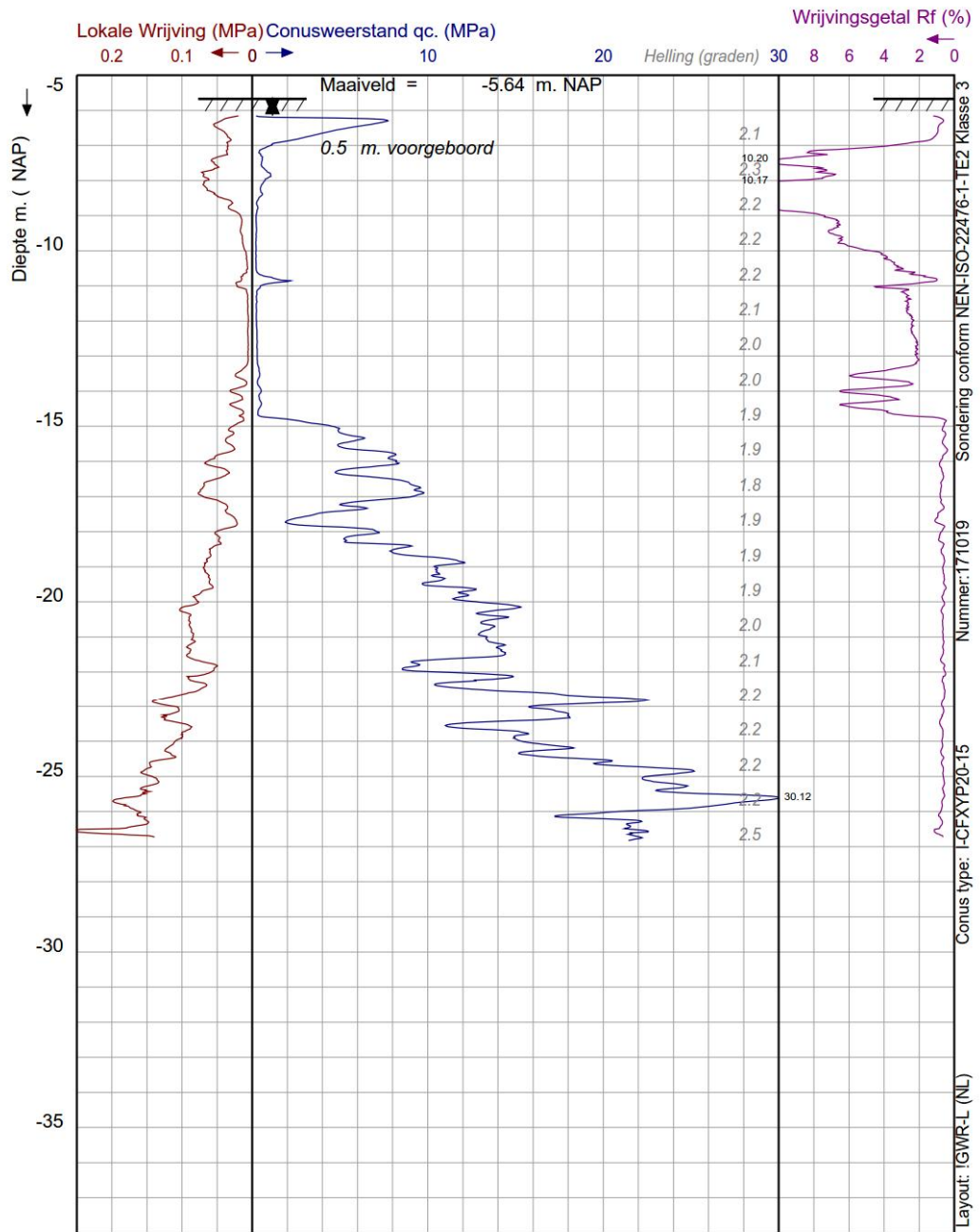



Project : Hoofdweg Testlocatie
 Dossier : 19220
 Lokatie : Rotterdam
 Paraaf :

Datum : 14-6-2019
 Maaiveld : -5.35 m. NAP
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 96305.30 Y : 439861.24
 Opmerking :

SONDERING:
19220 S001

Pagina 1/1



Project : Hoofdweg Testlocatie
 Dossier : 19220
 Lokatie : Rotterdam
 Paraaf : 

Datum : 14-6-2019
 Maaiveld : -5.64 m. NAP
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 96316.60 Y : 439837.62
 Opmerking :

SONDERING:
19220 S002

Pagina 1/1

C Bijlagen ten aanzien van vervolgonderzoek

Beste Bernadette en Fred,

Hieronder heb ik even kort opgeschreven welke vragen mij te binnen schieten bij het toepassen van de nieuwe onderhogen techniek. De vragen zijn natuurlijk in de vorm van smart eisen opgeschreven. (dit past denk ik ook niet bij een dergelijk onderzoek. Voor vanmiddag zal een het verhaal kunnen presenteren met wat plaatjes erbij.

Met vriendelijke groet,

S.J.P. (Simon) Duivenvoorde
Assetcoördinator wegen en vaste kunstwerken

Dienst Beheer Infrastructuur | Eenheid Advies Beheer Assets
T 070 441 7846 | M 06 20426112

E sjp.duivenvoorde@pzh.nl | W www.zuid-holland.nl

Provincie Zuid-Holland | Burgemeester van Reenensingel 101 | 2803 PA Gouda
Postbus 90602 | 2509 LP Den Haag

Casus N209 irt onderhogen

De situatie.:

De N209 wordt beheerd door de Provincie Zuid-Holland. De weg is een kleine 10 jaar geleden totaal gereconstrueerd/ verlegd ter hoogte van de A12, tussen het dorp Kruisweg en Bleiswijk. De oude onderdoorgang onder het spoor en onder de A12 is vervangen door twee brede viaducten over de spoorbaan en over de rijksweg heen. Voor langzaam verkeer is er een nieuwe onderdoorgang gemaakt.

Actuele situatie

Bij dit stuk van de N209 is lokaal sprake van een zeer slechte asfalt laag (gaten in de toplaag). Daarnaast zijn bij enkele kunstwerken duidelijk verzakkingen waargenomen. De provincie zal dit stuk weg planmatig onderhouden in sept/ okt 2020

PO scope:

Zorg voor een veilig wegprofiel (zonder lokale verzakkingen). Dus incl ophalen stootplaten.

Nieuwe tussen en toplaag asfalt.

Wensen:

Na het groot onderhoud zal de weg 16 jaar moeten kunnen functioneren op een veilig niveau. (zonder DO ingrepen)

De overlast door het PO beperken. Bij voorkeur tot de weekend en of nacht

Achtergrond

Voor de weg is een nieuw verhoogde grondlichaam aangebracht. Deels is dit aangebracht met PS schuim blokken. De kunstwerken zijn deels ook hoger aangelegd. Het verzakken van de stootplaten is waarschijnlijk te wijten aan een hogere dan verwachte zetting, in combinatie met een kwalitatief minder goede uitvoering van de gestabiliseerde, en verdichte grond onder de stootplaten.

De gaten in het asfalt zijn vaak te wijten aan een bezwijken fundering. De fundering zal plaatselijk waarschijnlijk zijn verzakt of weggespoeld.

Onderzoeksvragen:

1) Kan een onderhogen techniek zorgen voor het op hoogte krijgen van de verzakte stootplaten:

a) Hoelang vergt de uitvoering?

b) Met welk materiaal wordt onderhoogt?

c) welke voorwaarden zijn er nodig (bv vleugelwanden die de grond onder de stootplaat horizontaal opsluiten?)

d) Welke uitvoeringsrisico's zijn er? Denk inderdaad aan kabels leidingen schade etc.

e) Wat is het extra gewicht bij de onderhogen techniek

f) In hoeverre kan een egale vulling worden verwacht

h) onder de stootplaten zitten waarschijnlijk holle ruimten, In hoeverre kan dit problematisch worden

i) hoe vloeibaar is het ophogingsmateriaal, maw, kunnen lokale verhogingen worden gerealiseerd, of stroomt het middel altijd naar de locatie met de minste weerstand?

j) welke risico's zijn er voor een horizontale verplaatsing / kracht of het kunstwerken of individuele funderingselementen zoals palen en damwandne

h)...

2) Kan de onderhogen techniek zorgen voor lokaal herstel van de fundering onder het asfalt

a) welke kwaliteit en duurzaamheid heeft deze funderingen tov bv nieuw menggranulaat en een goede onderlaag.

b) Hoelang vergt de uitvoering?

c) Met welk materiaal wordt onderhoogt?

d) Welke uitvoeringsrisico's zijn er? Denk inderdaad aan kabels leidingen schade etc.

e) In hoeverre kan een uniforme funderingskwaliteit worden verwacht. (denk aan stijfheden die vergelijkbaar moeten zijn met een traditionele uitvoering.

f)..

Hallo Henk-Jan,

Ik stuur deze mail nu even naar de projectgroep in cc.

Beste mensen, meer input voor het plan 2020/2021 is welkom.

En ook nog input ten aanzien van de te stellen eisen.

Mooi overzicht hieronder, hoewel wel toegespitst op een Rijksweg. In Rotterdam heeft de weg vaak een slankere opbouw.

Nog een paar zaken die in het plan 2020/2021 ook aandacht behoeven:

- Het wegdeel naast de stootplaat moet ook op de juiste hoogte worden gebracht en kan dat met de techniek van Uretek, en dan nog in dezelfde nacht?
- Bij het in de grond injecteren met de methode Uretek, hebben we aan de Hoofdweg gezien dat er een flinke zijdelingse deformatie optreedt. Dit kan effect hebben op kabels en leidingen, en belendingen (palen landhoofd, geluidschermen e.d.)
- Het op meer punten tegelijk injecteren levert een meer gelijkmatige zettingscorrectie. Dit ook onderzoeken.

Naast experimenten buiten voorzie ik ook dat berekeningen inzicht gaan geven.

- Verder willen we een passende monitoring ontwikkelen, milieueffecten/duurzaamheid in kaart brengen, materialen onderzoek doen
-

Als bijlagen nog even de RAW-eisen ten aanzien van het bereiken van de vereiste vlakheid, zoals gekregen van Henk Jan.

En nog een beschrijving van hoe gerekend zou kunnen worden aan het effect van onderhogen op een paalfundering.

Verder nog een memo van mij die beschrijft welke berekeningen nuttig kunnen zijn met in geel de berekeningen die we nog op korte termijn gaan doen.

m.vr.gr.
Bernadette Wichman

Van Henk-Jan Beukema op 28 november 2019:

Bernadette,

Naar aanleiding van je vraag naar onderzoekswensen voor 2020 en ons telefoongesprek van vanmorgen, het volgende:

Om de mogelijkheden voor een proefvak bij RWS te onderzoeken ben ik een directiememo aan het schrijven over de potentie van onderhogen voor RWS projecten.

Op basis van de informatie die het afgelopen jaar is gedeeld en die is vastgelegd in het groeidocument kom ik tot een huidige inschatting van de mogelijkheden van de twee onderhoogtechnieken om de vlakheidsproblemen van RWS op te lossen voor de volgende 2 standaardgevallen:

Geval 1: Verzakking van de aardenbaan over een weglengte van 50 meter met een maximum van 100 mm, bijvoorbeeld veroorzaakt door geulen of oude sloten onder de weg

Geval 2: Verzakking van stootplaten van 5 meter lang en 1 meter breed, met een maximum zakking van 200 mm onder het vrije uiteinde, bij een laaggelegen aardebaan.

Voor beide gevallen gaan we uit van een zandbed van tenminste 50 cm, met daarop 25 cm menggranulaat, afgedekt met 17 cm asfalt, waarbij het asfalt niet aan het menggranulaat is gekleefd.

Werkzaamheden kunnen alleen in de nacht worden uitgevoerd tussen 10:00 en 6:00 met een volledige afsluiting van de rijbaan.

Voordat we meer onderzoeksresultaten hebben is mijn inschatting van de potentie van de beide technieken voor de beide cases het volgende:

Systeem Faber:

Geval 1: Aanpak Faber:

Stap 1: Nacht 1: Boorkernonderzoek naar de dikte, integriteit en sterkte van het asfalt en de fundering;

Stap 2: Nacht 2: Schuimproef of het asfalt loskomt, daarna aanbrengen celbeton onder asfalt of onder fundering en openstellen van de weg.

Onderzoeksvraag 1 Faber: lukt dit allemaal in 1 nacht, waarbij het celbeton voldoende druksterkte heeft ontwikkeld bij openstelling van de weg? Zijn er al gegevens over de sterkteontwikkeling in de tijd van proefkubussen of -cilinders?

Onderzoeksvraag 2 Faber: hoe ver kunnen de injectiepunten uit elkaar gelegen zijn, voordat het asfalt beschadigd of onvlak wordt?

Geval 2: aanpak Faber:

Vooralsnog is nog weinig over de mogelijkheden van Faber voor deze toepassing gesproken. *Willen we dit verder onderzoeken?*

Systeem Uretek

Geval 1: Aanpak Uretek:

Stap 1: Nacht 1: Onderhogen met expansiehars met variabele diepte en onderlinge afstand.

Onderzoeksvraag 3 Uretek: *Blijft de bovenkant asfalt voldoende vlak en hoever kunnen de injectiepunten uit elkaar gelegen zijn, voordat het asfalt beschadigd of onvlak wordt?*

Geval 2: Aanpak Uretek:

Stap 1: Nacht 1: Verwijderen asfalt boven de stootplaten, onderhogen per stootplaat en herasfalteren.

Onderzoeksvraag 4 Uretek: Lukt dit allemaal in 1 nacht?

Onderzoeksvraag 5 Uretek: Wat is het effect van geen gewichtsverhoging op terugkerende restzettingen na de maatregel, in vergelijking met het alternatief stootplaten optillen en opnieuw stellen in zand?

Onderzoeksvraag 6 Uretek: Kunnen bij geringere zakkingen van bijv. 5 cm de losse stootplaten gelift worden met het asfalt er nog op?

Graag je opmerkingen op mijn hierboven genoemde aannames over de potentie van beide technieken voor beide gevallen.

Om onderhogen beter als alternatief te kunnen beschouwen voor de huidige praktijk van uitvullen met asfalt, is denk ik een antwoord op de boven genoemde 6 onderzoeksvragen gewenst.

Het zou mooi zijn als we de antwoorden hierop in een eerste toepassing bij RWS kunnen onderzoeken. Ik zal mijn best doen om ondersteuning vanuit RWS hiervoor te vinden.

Ir. J.H. (Henkjan) Beukema
Specialist wegen en geotechniek

.....
Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud (GPO)
Directie Techniek en Technisch Management
Afdeling Wegen en Geotechniek
Griffioenlaan 2 | 3526 LA | Utrecht | H12
Postbus 2232 | 3500 GE | Utrecht

.....
M 06 - 10612848
henkjan.beukema@RWS.nl
.....

Van Henk-Jan Beukema 20 nov 2019

Bernadette,

Hieronder de tekst uit de RAW Standaard 2015 over de vlakheid van het asfalt.

Hiernaar wordt verwezen in de eis in figuur 3.3 van jouw document.

Zoals gisteren al gezegd, is wat mij betreft dit de enige eis waar de kwaliteit van het onderhogen zelf kan worden vastgelegd.

Algemene eisen aan het langs- dwarsprofiel of IRI waarden is iets wat alleen belangrijk is bij het vaststellen vooraf van het nieuwe profiel en heeft weinig te maken met eisen die je aan het onderhogen zelf wilt stellen.

Het is daarbij alleen belangrijk in welke mate je het nieuw ontworpen profiel gaat halen. Daarin voorziet onderstaande RAW eis (die ook wordt gebruikt voor nieuw asfalt) volgens mij in voldoende mate.

31.22.03 Eigenschappen van het wegoppervlak: vlakheid

01 De afwijking in dwarsvlakheid van de deklaag ten opzichte van het voorgeschreven profiel, gemeten met een mal, een rei of rolrei van 3 m lengte, mag niet groter zijn dan 5 mm.

02 De vlakheid (proef 71) in langsrichting van de deklaag moet voldoen aan het navolgende: a. Bij meting met de viagraaf moet de afwijking C5 per 100 m weglengte kleiner dan of gelijk zijn aan: - 2% voor een geheel nieuw aangebrachte verharding,

volgens het bestek opgebouwd uit ten minste vier lagen, of voor een op een bestaande verharding of kunstwerk aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit ten minste een profileerlaag en een deklaag; - 3% voor andere aangebrachte asfaltconstructies. b. Bij meting met de rolrei mag de afwijking in vlakheid per 100 m meetvak niet meer bedragen dan: - 3 mm voor een geheel nieuw aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit ten minste vier lagen, of voor een op een bestaande verharding of kunstwerk aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit ten minste een profileerlaag en een deklaag;

Consultatiedocument RAW-deelhoofdstuk 31.2 Asfaltverhardingen - Versie van 15-06-2012 Pagina 9 van 53

- 4 mm voor een op zandbed of fundering aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit drie lagen; - 5 mm voor een op zandbed of fundering aangebrachte verharding, volgens het bestek opgebouwd uit twee lagen. Voor een verharding aangebracht op weggedeelten in bogen met een horizontale straal kleiner dan 200 m dan wel een verticale straal kleiner dan 10.000 m, en voor weggedeelten korter dan 300 m, geldt dat de afwijking ten hoogste 5 mm mag zijn. Ter plaatse van de dwarsnaad bij de overgang van het werk op de bestaande verharding en bij voegovergangen geldt dat de afwijking in vlakheid gemeten met een rei van 3 m lengte, niet groter mag zijn dan 5 mm. c. Voor een deklaag aangebracht in een freesvak moet de vlakheid ten minste overeenkomen met de vlakheid van de naastliggende verharding.

Met vriendelijke groet,

Ir. J.H. (Henkjan) Beukema
Specialist wegen en geotechniek

.....
Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud (GPO)
Directie Techniek en Technisch Management
Afdeling Wegen en Geotechniek
Griffioenlaan 2 | 3526 LA | Utrecht | H12
Postbus 2232 | 3500 GE | Utrecht

.....
M 06 - 10612848
henkjan.beukema@RWS.nl

D Plan berekeningen

Plaxis berekeningen aan onderhogen

Voor: Rodriaan spruit en Mark Post

Auteur: Bernadette Wichman

Datum: 15 november 2019

Wensen op basis van gesprek met Mark Post en gesprek met Rodriaan Spruit (dd. 15 november 2019).

De projectgroep onderhogen wil een nadere verkenning van aspecten die van belang kunnen zijn.

Graag verneem ik welke wensen nu haalbaar lijken.

En de met geel gemarkeerde zaken zouden we op korte termijn willen. We hebben dit jaar nog enkele dagen ruimte om wat berekeningen te maken. Kan zijn dat we nog wat moeten prioriteren.

Schematisatie

1. Een asfaltweg (asfaltlaag op fundering van menggranulaat) op slappe ondergrond, al dan niet met wegcunet bestaande uit zand.
2. Asfaltdikte tussen 0,1 m en 0,25 m.
3. Dikte fundering tussen 0,2 en 0,4 m.
4. Liefst met een zonk aan het oppervlak van het asfalt (weg):
 - a. Lengterichting verloop van 20 cm over 20 meter, in beide richtingen.
 - b. Dwarsrichting: neem eerst uniform, daarna verfijnen.
 - c. Nog even geen gekantelde stootplaten modelleren.
5. Injectiepunten op circa 1 m in de onderliggende grondlagen.
6. Meerdere grondlagen (veen met klei); ook zandige ondergrond (wegcunet) meenemen.
7. **Eén injectie: cilinder symmetrie 2,5 D met bolvormig injectievolume (deze eerst doen).**
8. Meerdere injecties: 3D met kubussen die gaan expanderen (idee Mark, werkt beter dan bollen).
9. Plain strain met expanderende cilinder(s) zou niet zo realistisch zijn qua geometrie.
10. Let op nabijheid randen van het model, randen moeten ver genoeg weg zitten.
11. Injectie: afmetingen initieel volume variëren, zodat de meshing beter gaat.
12. Ook nabijheid van een talud bekijken en een eindige afmeting van de asfaltplaat (net als bij een weg).
13. Grondwaterstand circa 1 m onder maaiveld kiezen, ook 0,5 m en 2 m proberen.

Mogelijkheid verkennen om asfalt- en funderingslaag los van elkaar te 'duwen' (betreft Faber methode waarbij schuim onder druk tussen het asfalt en de funderingslaag wordt geperst en dan kan het asfalt los komen van de fundering). Dit willen we ook dit jaar, als het kan.

T.z.t

14. Ook een palenrij schematiseren op enkele meters afstand en nagaan wat de belasting op deze palen is. Idem voor een pijpleiding.
15. Dit al dan niet in combinatie met een verhoogde ligging/landhoofd.
16. Stootplaten mee modelleren.

Mesh

Lokaal verfijnen; automatische mesh generatie kan je omzeilen (weet Mark Post).

- a. Voldoende elementen nemen in asfaltlaag en funderingslaag.
 - b. Voldoende verfijning rond de expanders.
2. Initieel volume injecties optimaliseren geeft meer expansie mogelijkheden.

Materiaalmodellen en fasering

1. Lineair elastisch asfalt.
2. Fundering: Mohr-Coulomb?
3. Neem Hardening Soil model voor de grondlagen, eventueel HS small strain (stuurt op rekken).
4. Ongedraineerde expansiefase voorafgaande aan een consolidatiefase voor injecties in de ondergrond.
5. Vulling injectievolumes met? (iets dat numeriek goed werkt).
6. Wat doen we ten aanzien van de Faber methode?

Hoe een zonk maken?

1. Eerst belasten, dan ontlasten. Check of asfalt al dan niet terug veert. Het asfalt moet in een zonk blijven liggen.
2. De initiële geometrie aanpassen, want in werkelijkheid is de trekspanning in het asfalt toch al gedissipeerd voordat er wordt onderhoogd.
3.nog meer ideeën??

Uitkomsten gewenst ten aanzien van

1. Hoogteprofiel opdrukking van delen van de aanwezige zonk.
2. Rek (horizontaal) boven en onderin de asfaltlaag.
3. Spanning (horizontaal/verticaal) en rek (horizontaal) boven en onderin de funderingslaag.
4. Deformatiepatroon in de grondlagen; zijdelingse effecten, wat doet nabijheid talud.
5. Wat gebeurt er met de opdrukking tijdens de consolidatiefase?
6. Dissipatie waterspanningen: op welke afstand en hoe snel?
7. Wat doet de grondwaterstand met het deformatiegedrag?
8. kan ik de zonk gericht uitvlakken, door injectievolumes, diepte en volgorde slim te kiezen?
9. Op welke afstand in de grond zijn de deformaties t.g.v. de injectie(s) significant?
10. Wat als verhoogde ligging met weglichaam van zand?
11. Kunnen we stootplaten als één geheel omhoog brengen? Wat gebeurt er op het uiteinde van de stootplaten?
12. Wat doen de asfaltdikte, dikte fundering, opbouw grondlagen? En de materiaaleigenschappen?

Stappen om te verkennen

Eerst doen: Voor één injectie (cilinder symmetrie 2,5 D):

1. Eerste stappen met simpele geometrie: asfaltplaat met zonk, op fundering, op slappe klei.
2. Injecteren op 0,5 tot 2 m diep in de slappe lagen.
3. Asfaltdikte variëren: range 0,1 m tot 0,25 m; varieer ook dikte funderingslaag (0,2 m tot 0,4 m).
4. Wat doen de eigenschappen van de verschillende lagen:
 - a. stijfheid asfalt (1000 MPa en 5000 MPa); Poisson's ratio = 0,35.
 - b. funderingslaag: eventueel in sublaagjes modelleren. Range stijfheden: 100 tot 600 MPa.
 - c. ook optie met wegcunet.
 - d. neem steeds een slappe ondergrond.
 - e. grondwaterstand op 1 meter onder maaiveld (probeer ook 0,5 en 2 meter).

In 3 D:

5. bekijken van effect van één injectie en meerdere (tot vijf) injecties tegelijk en ook de volgorde van injecteren hierbij.

Diepte van injectiepunten op 1 m diep in ondergrond (voor klei/veen, maximaal 2 meter). In zand: probeer ook op 0,5 m diepte in het zandige wegcunet).

E Eerste resultaten berekeningen

Apart bestand 'Bijlage E Onderhogen' als pdf ingevoegd

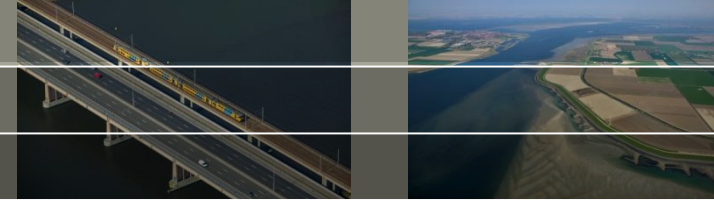


Onderhogen

Verkenning met PLAXIS
svz 06-12-2019

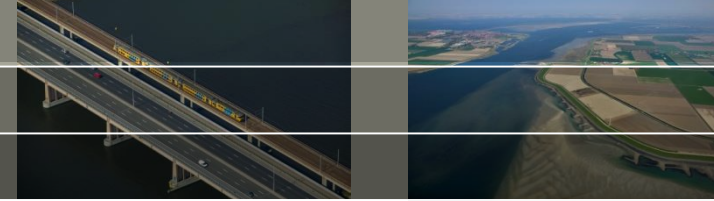
25 augustus 2020

Doel verkenning met PLAXIS



Met behulp van PLAXIS meer inzicht en gevoel krijgen bij:

- Welke parameters zijn relevant?
- Wat is de gevoeligheid van de parameters?
- Wat is de optimale diepte, volume, volgorde, etc. van de injectiepunten?
- Wat zijn de effecten op de omgeving?
- waar moet de monitoring worden geplaatst in een pilot?
- etc.



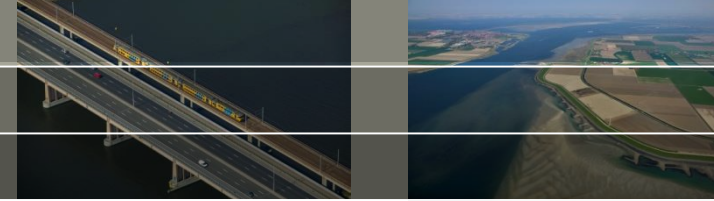
Verkenning:

- Hoe modelleren “zonk” (ca. 10 cm diep, verlopend over 25m)
- (On)mogelijkheden in PLAXIS om Fagro methode te modelleren. Bij deze methode worden asfalt en funderingslaag van elkaar “geduwd”
- Axiaal symmetrisch model (2,5 D) met bolvormig injectievolume

Eerst doen: Voor één injectie (cilinder symmetrie 2,5 D):

1. Eerste stappen met simpele geometrie: asfaltplaat met zonk, op fundering, op slappe klei
2. Injecteren op 0,5 tot 2 m diep in de slappe lagen
3. Asfaltdikte variëren: range 0,1 m tot 0,25 m; varieer ook dikte funderingslaag (0,2 m tot 0,4 m)
4. Wat doen de eigenschappen van de verschillende lagen:
 - a. stijfheid asfalt (1000 MPa en 5000 MPa); Poisson's ratio = 0,35
 - b. funderingslaag: eventueel in sublaagjes modelleren. Range stijfheden: 100 tot 600 MPa.
 - c. ook optie met wegcunet
 - d. neem steeds een slappe ondergrond
 - e. grondwaterstand op 1 meter onder maaiveld (probeer ook 0,5 en 2 meter)

Hoe modelleren “zonk”?



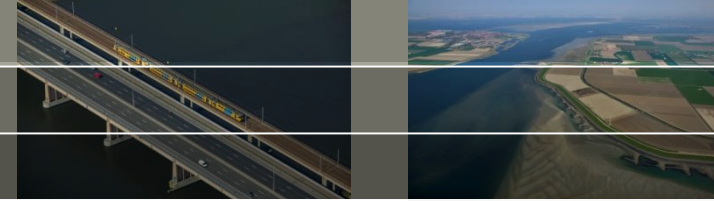
Principe keus:

- Aanbrengen zonk vooral als visueel hulp middel (alleen vervormingen, effect op initiele spanningen niet beschouwen)
- Aanbrengen zonk als initiele conditie (vervormingen EN invloed op initiele spanningen). Echter initiele spanningen zijn (zonder in situ onderzoek) NIET bekend en model is dus niet te valideren. Optie: gevoeligheidsanalyse op invloedrijke variabelen.

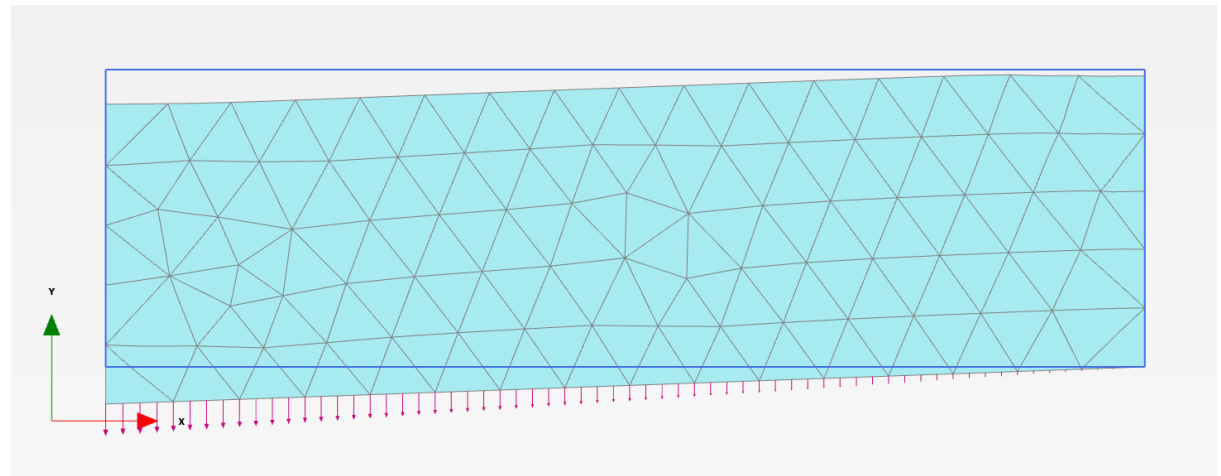
Opties:

- **Initiele geometrie aanpassen** (mogelijk, maar uitlezen rekken/vervormingen lastig)
- **Belasten/ontlasten** (mogelijk, maar waarschijnlijk enorme krachten nodig om permanente vervorming te realiseren)
- **Gebruik Soft Soil Creep** (mogelijk, maar model wordt veel complexer)
- **Trap-door principe** (hierna verder toegelicht)
- **Zonk niet expliciet modelleren, maar superponeren op resultaten** (hier gekozen voor acties 2019)

Trap-door principe



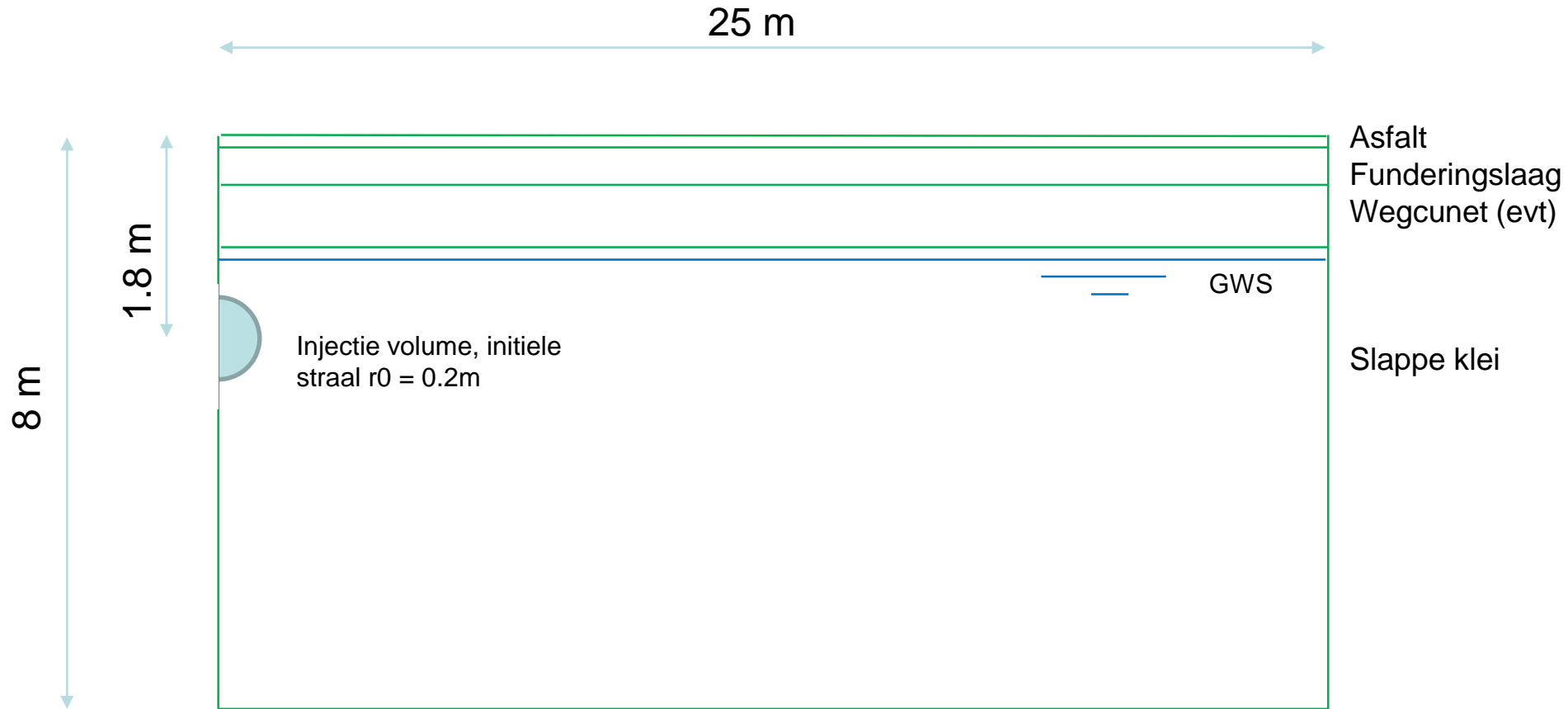
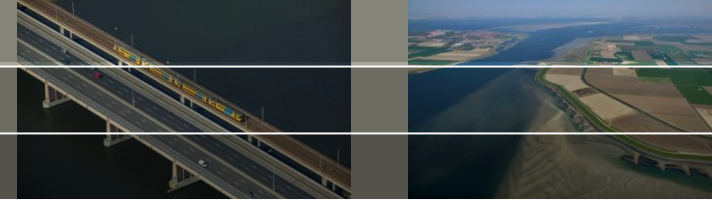
- Aanbrengen triangular prescribed displacement op lower boundary
- Door grond ontstaat herverdeling en geeft meer natuurlijke “trog” vorm
- Makkelijk aan te brengen
- Nog steeds eenvoudig horizontale cross-sections maken door bovenste lagen
- Variatie:
 - Geen initiële spanningen: initiële stijfheid lagen ~ 0 , opleggen prescribed displacement, reset stijfheid, injectie
 - Wel initiële spanningen: initiële stijfheid hanteren, opleggen prescribed displacement, injectie



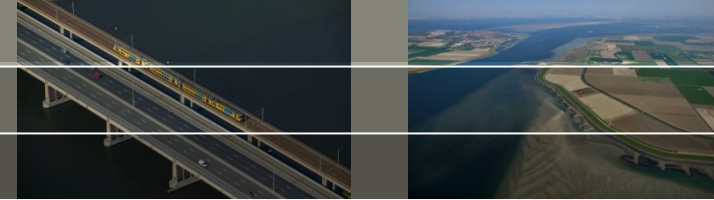
(On)mogelijkheden modelleren Fagro methode

- Vraag: wat zouden we willen modelleren hier? B.v.
 - Zien hoever schuim stroomt tussen lagen?
 - Hoeveel kracht nodig is?
 - ?
- In PLAXIS is het niet mogelijk om lagen los te “duwen” en daar iets tussen aan te brengen.
- Beste benadering in PLAXIS is om een interface te gebruiken, hiermee kunnen de lagen uit elkaar bewegen, echter nog steeds kan er niet iets tussen worden aangebracht
- Mogelijkheden voor modelleren Fagro methode lijken beperkt...
- **optie: water injectie + flow?**

Model schematisatie



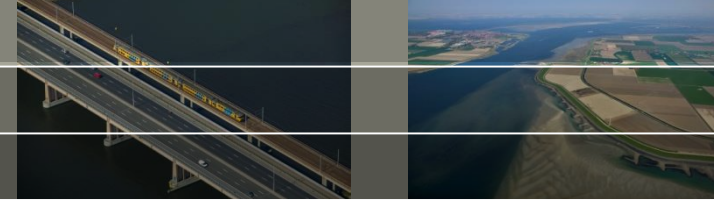
Variabelen



variabele	afkorting	eenheid	range	toelichting
Injectiediepte	z	m tov hoogste punt bk asfalt	0,5 – 2,0	Stappen van 0,5 m
asfaltdikte	d_as	m	0,1 – 0,25	Stappen van 0,05 m
Dikte funderingslaag	d_fu	m	0,2 – 0,4	Stappen van 0,1 m
Kortdurende stijfheid asfalt	E_as	kN/m ²	1E6 en 5E6	Nu = 0.35
Stijfheid funderingslaag	E_fu	kN/m ²	1E5 – 6E5	Stappen van 100 MN/m ²
Wegcunet			Aan/uit	D = 1m, E = 60 MN/m ²
GWS		m tov hoogste punt bk asfalt	0,5 – 1,0 – 2,0	

Bernadette: nog niet alle combinaties toch?

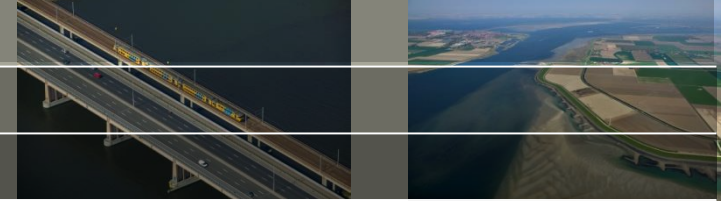
Parameters (base model)



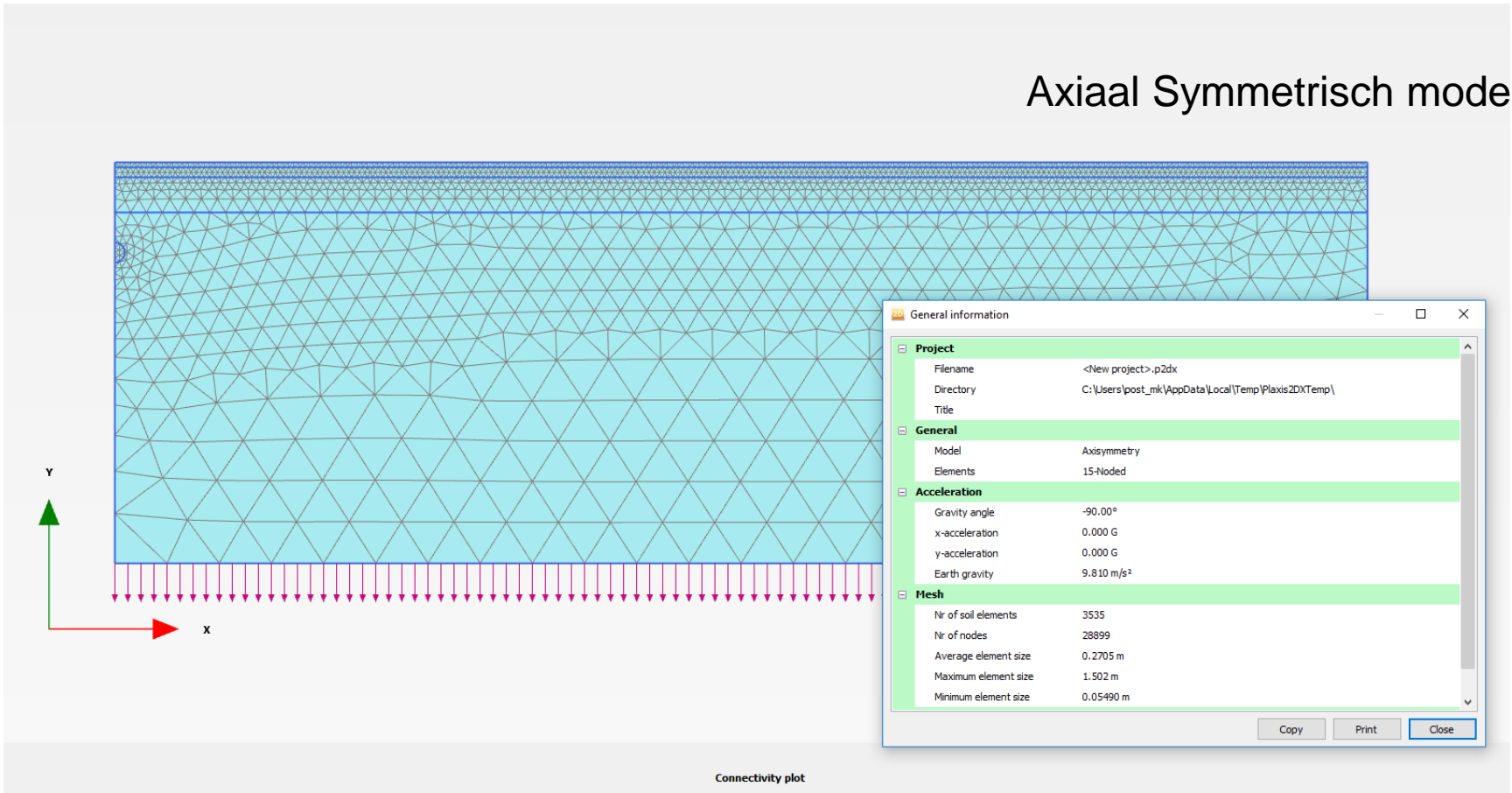
laag	Model	$\gamma_{\text{unsat}}/\gamma_{\text{sat}}$	ϕ'	c'	tensiele	E'	ν	E50-ref	Eoed-ref	Eur-ref	gamma_0.7	G0ref	power m
		[kN/m3]	[gr]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kPa]			[-]
Asfalt	LE	20/20	-	-		1E6	0,35						
fundering	MC	18/20	38	1	0	1E5	0,35						
Cunet	HS(small)	18/20	32.5	1	0		0,20	3E4	3E4	1E5	1E-4	1E5	0.5
Slappe klei	HS(small)	14/14	25	1	1		0,20	2E3	1E3	8E3	1E-4	8E3	1.0
injectie	LE	20/20				1E6	0.3						

Eerste schatting parameters obv engineering judgement
 Niet genoemde parameters staan op de PLAXIS default

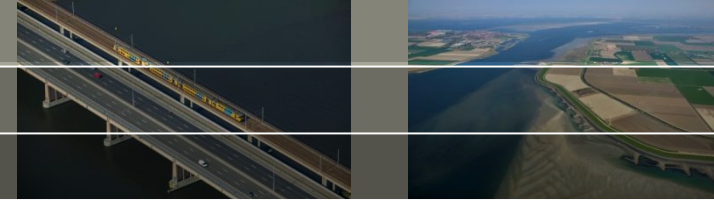
Mesh size



Axial Symmetrisch model



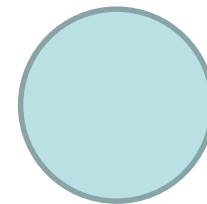
Berekening injectie volume



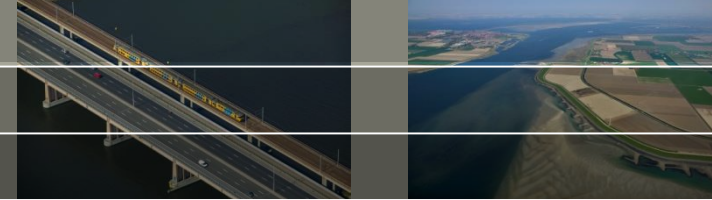
- volume bol met straal r_0
- zonder UM: 50% rek geeft $r_0 * 1.5$
- met UM: 50% rek geeft wat meer dan $r_0 * 1.5$ *(Nog niet geheel duidelijk waar dit vandaan komt, verwachting door de integratie over toenemende straal, uitzoeken)*
- injectie volume = (bereikt volume obv $r_0 * 1,5$) minus (initieel volume obv r_0)

Formule Inhoud bol

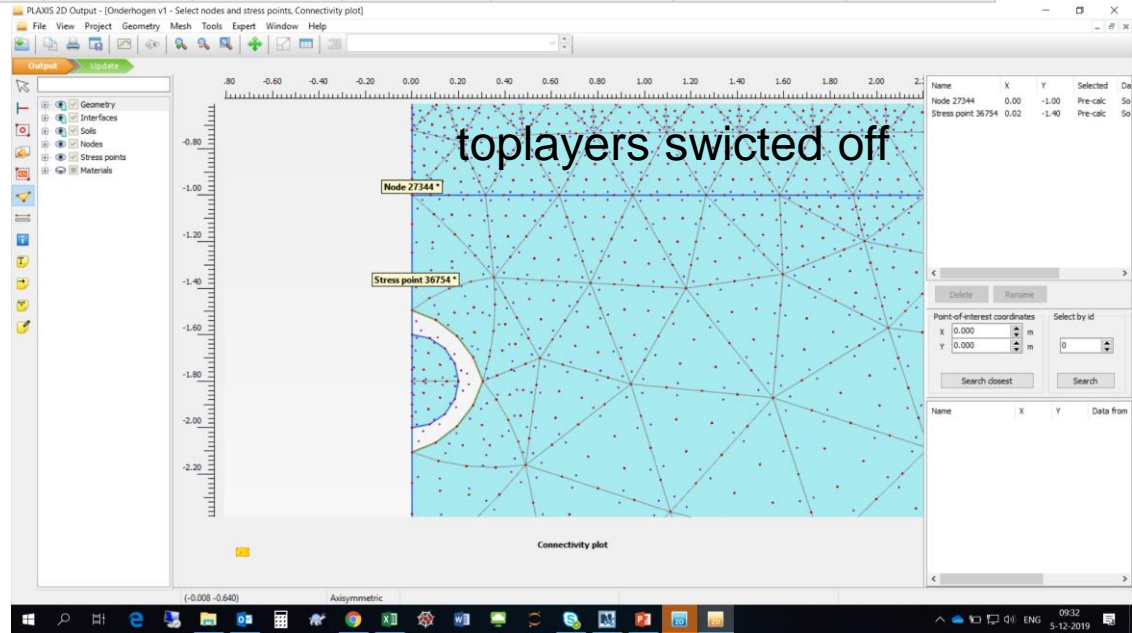
$$\text{Inhoud bol} = \frac{4}{3} \times \pi \times \text{straal}^3$$



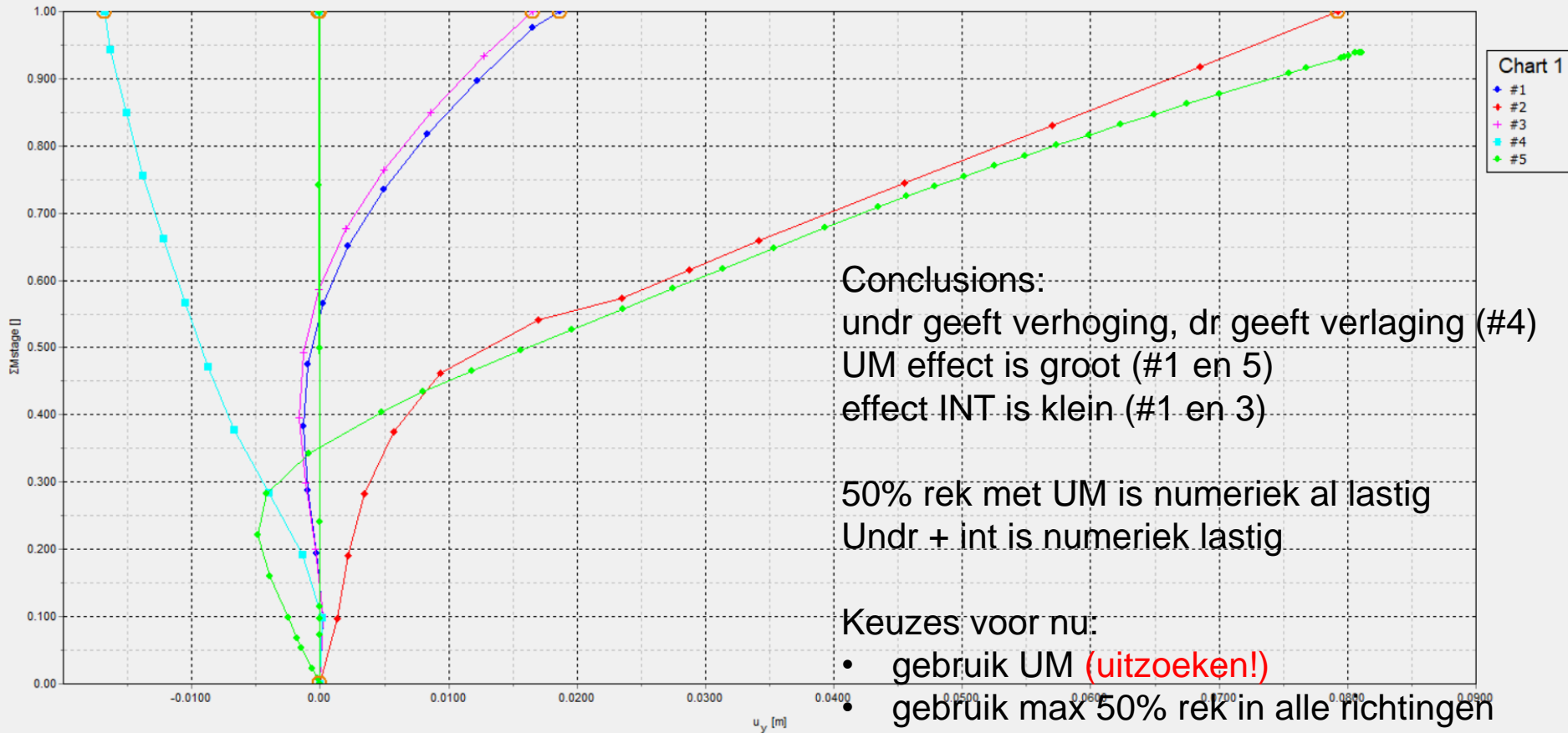
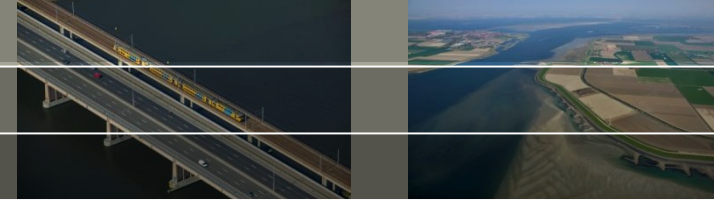
Gevoeligheid (1)



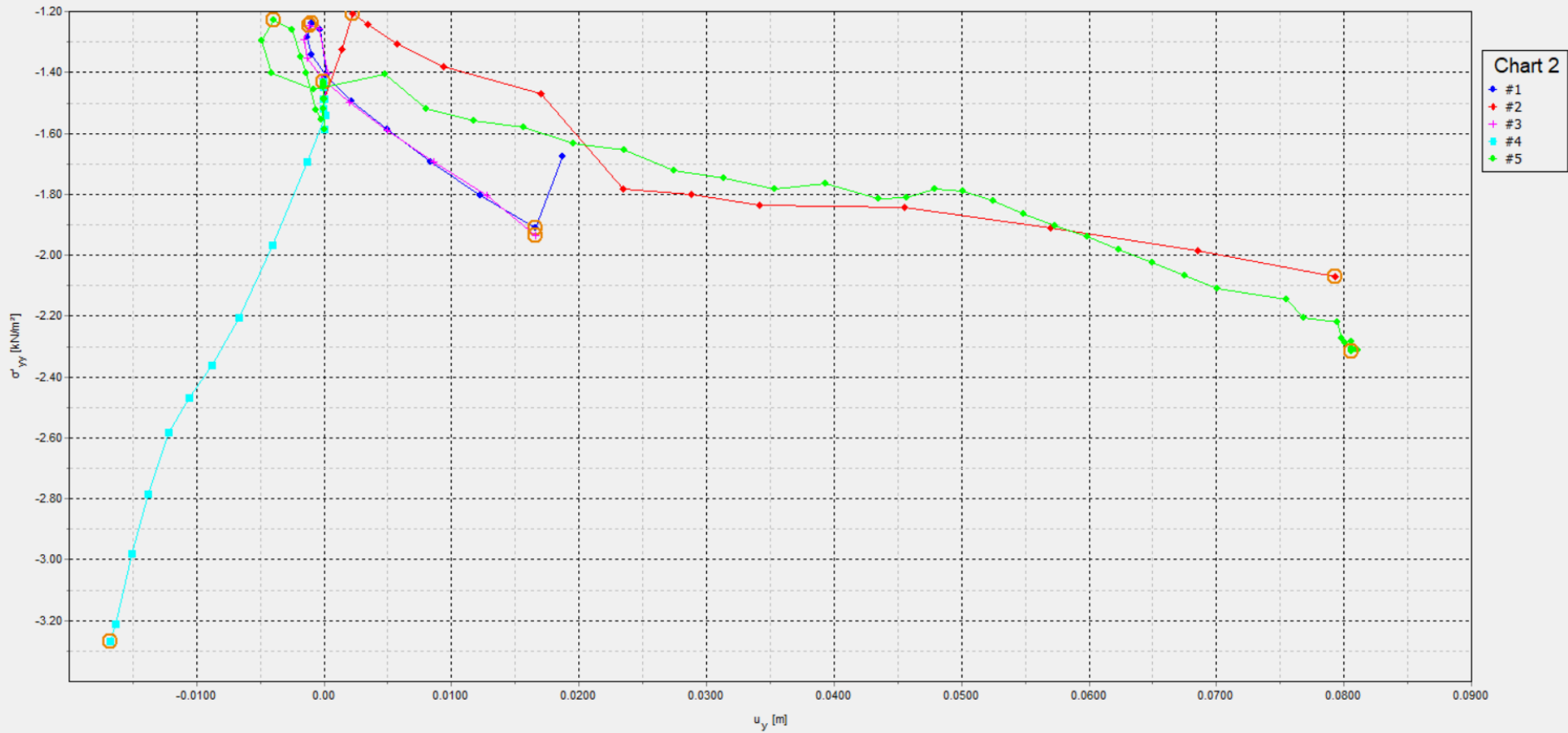
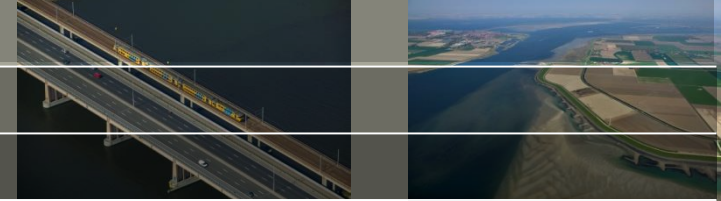
grond: slappe klei, HS model							schatting		
#	UM	D_ini	rek%	INT	Undr/Dr	initieel vol [m3]	nieuw vol [m3]	verschil [m3]	
1	no	0.4	50	yes	undr	0.034	0.113	0.080	
2	no	0.4	100	yes	undr	0.034	0.268	0.235	
3	no	0.4	50	no	undr	0.034	0.113	0.080	
4	no	0.4	50	yes	dr	0.034	0.113	0.080	
5	yes	0.4	50	yes	undr	0.034	0.113	0.080	



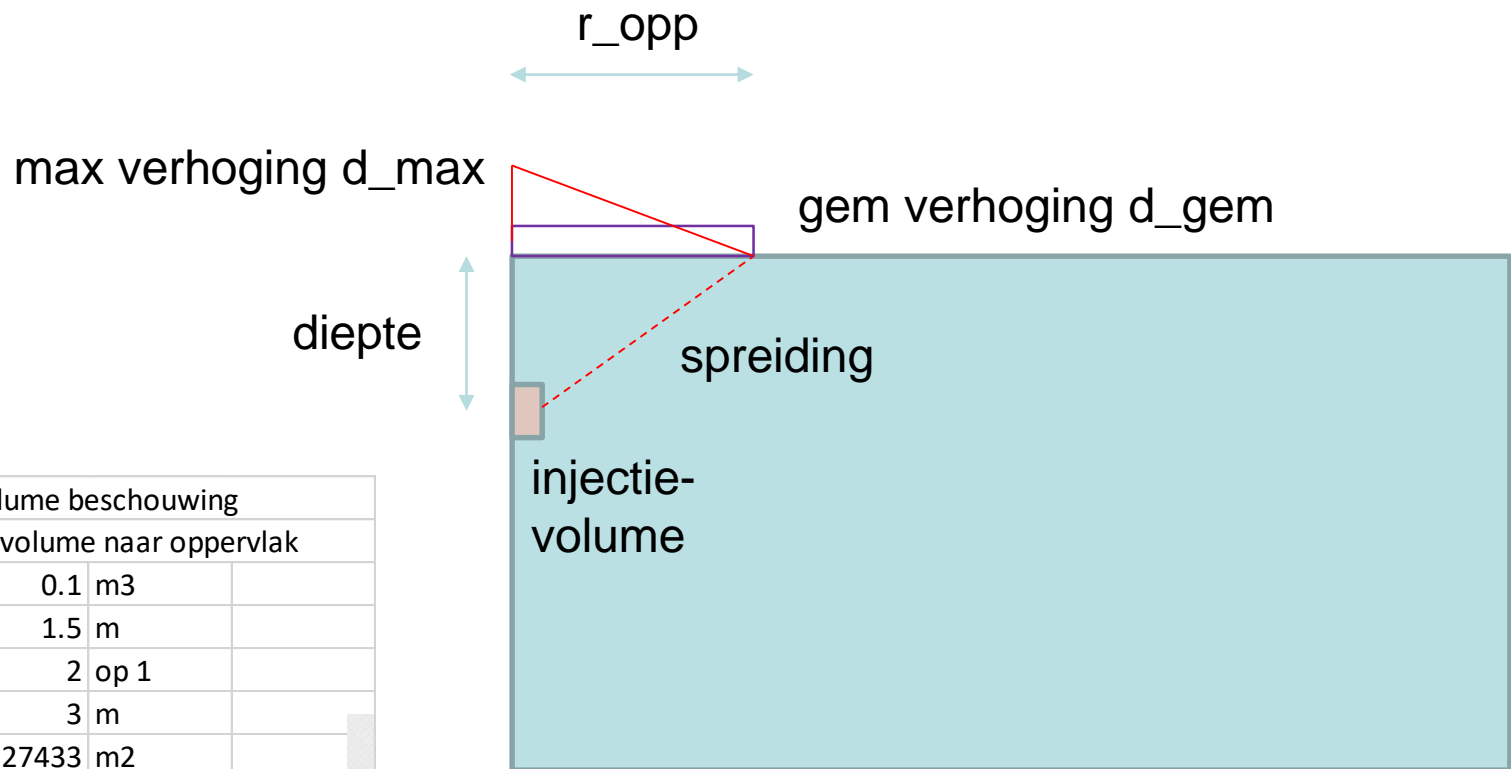
Resultaten gevoeligheid (1)



Resultaten gevoeligheid (1)



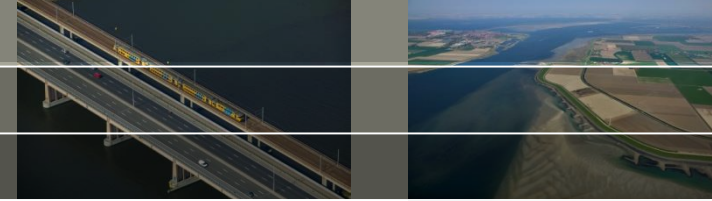
Theoretische volume beschouwing



theoretisch volume beschouwing			
aanname: alle volume naar oppervlak			
injectie	0.1	m ³	
diepte	1.5	m	
spreiding	2 op 1		
r_{opp}	3	m	
A_{opp}	28.27433	m ²	
d_{gem}	0.004	m	
d_{max}	0.011	m	

Verwachte orde uplift is mm's

Gevoeligheid (2)



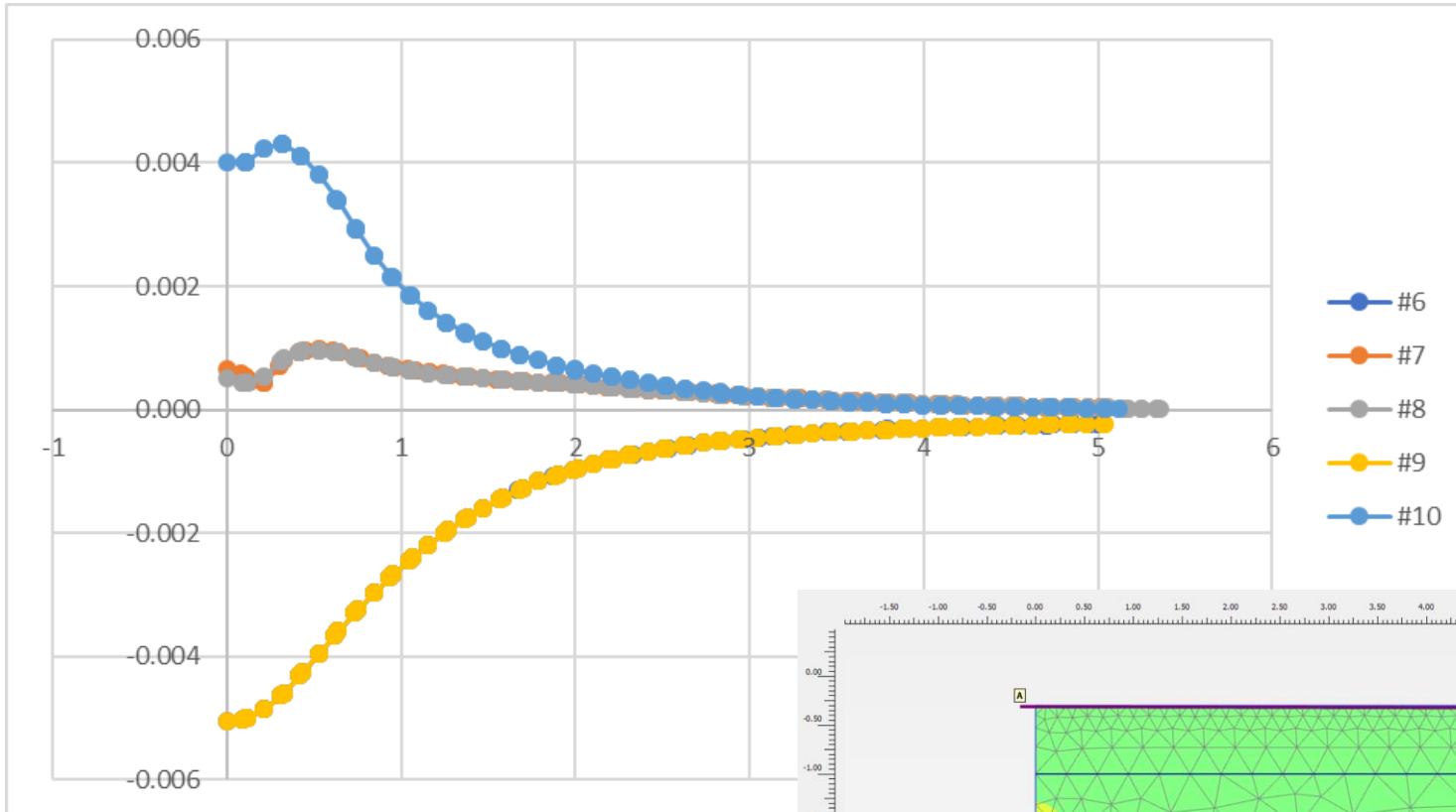
grond: slappe klei, HS model									
cunet: zand, HS model									
#	UM	D_ini	rek%	INT	Undr/Dr	HS/Hssmal	POP	G0ref	
6	yes	0.4	50	no	undr	HS	0	x1	
7	yes	0.4	50	no	undr	Hssmall	0	x1	
8	yes	0.4	50	no	undr	Hssmall	20	x1	
9	yes	0.4	50	no	undr	HS	20	x1	
10	yes	0.4	50	no	undr	Hssmall	20	x2	

irt initiele parameters tabel

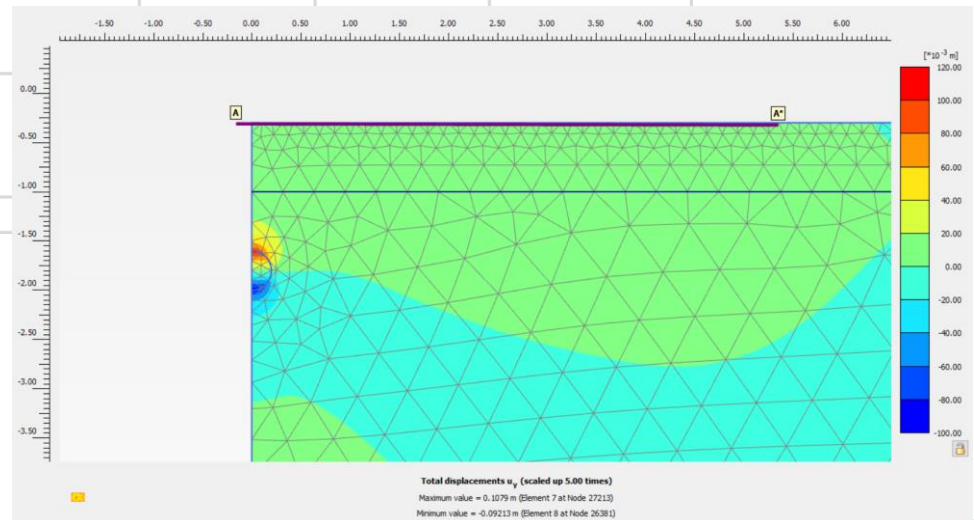
beide lagen G0 x2



Resultaten gevoeligheidsanalyse (2)



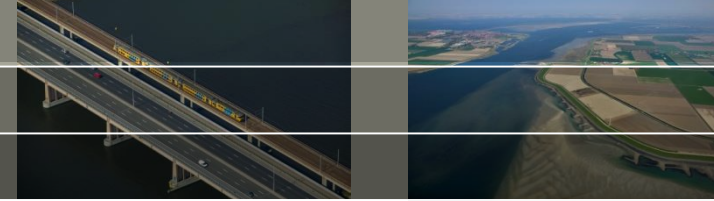
Cross-section net onder surface



Conclusies gevoeligheidsanalyse (2)

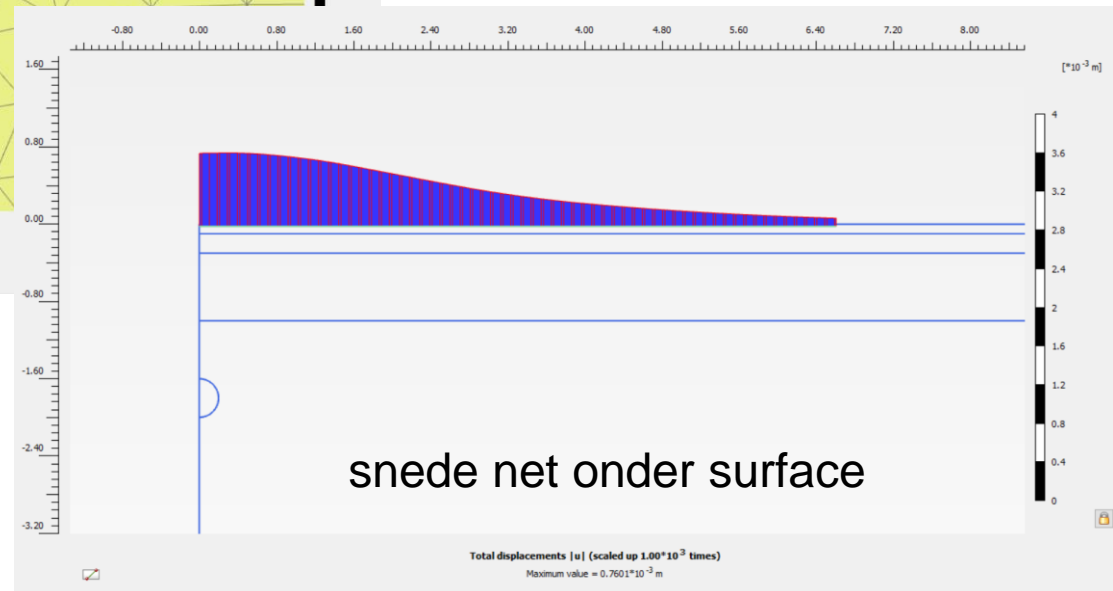
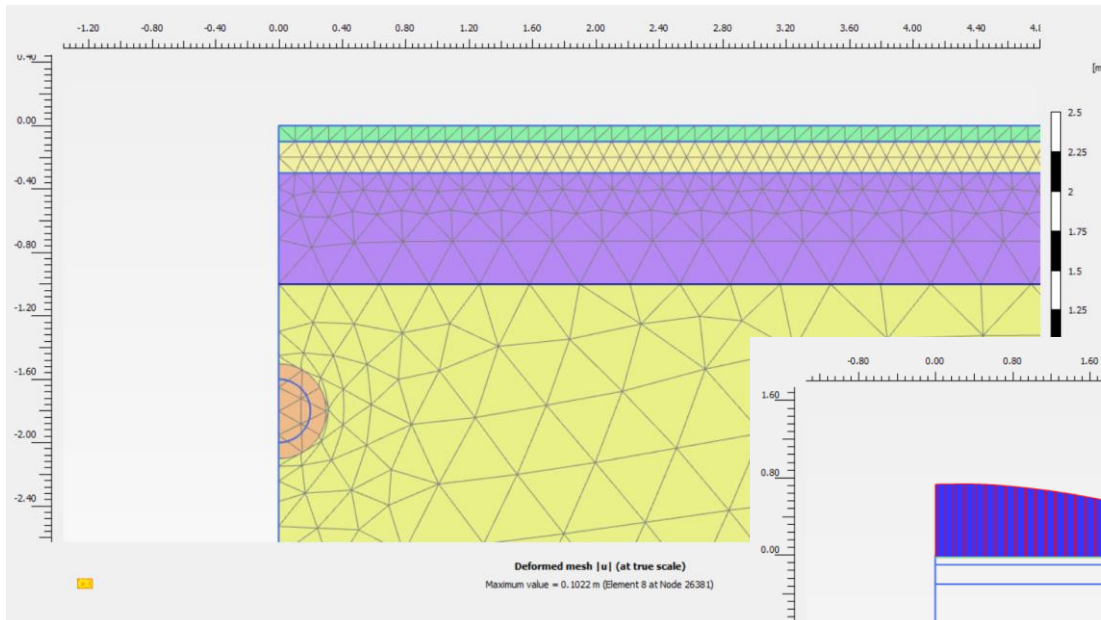
- gebruik van Hssmall maakt wezenlijk verschil met HS model (grond gaat omhoog ipv omlaag)
- **nadenken waar verschillen HS/Hssmall vandaan komen**
- Toevoegen van overconsolidatie (POP=20) maakt niet veel uit hier

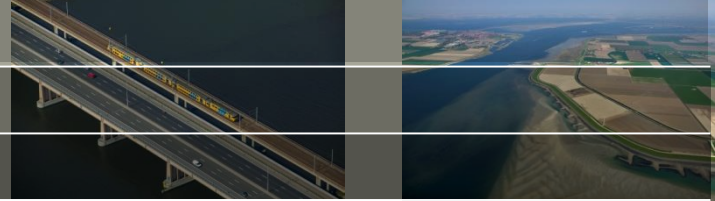
Gevoeligheid (3)



incl. funderingslaag en asfalt

conclusies:
uplift kleiner (orde 1 mm max)
en gelijkmatiger





Hebben we het gevoel dat deze eerste waarden enigszins realistisch zijn?

Hoe verder?

- nog niet alle combinaties doorrekenen
- nog niet alle gewenste output er uit halen
- eerst afstemming met werkgroep of eerste resultaten realistisch lijken
- afstemmen wat gangbare injectievolumes zijn

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl