



Rijkswaterstaat

BOUWDIENST

# LEKKAGE in TUNNELS

## Dilatatievoegen en beton

**Gevolgen**

**Analyse**

**Plan van aanpak**

**Nieuwe herstelmethode**



Rijkswaterstaat

## Voorwoord

Kennis is veelal gekoppeld aan individuele mensen, die kennis hebben opgedaan in de loop van vele praktijkjaren. Soms is die kennis op nationaal niveau slechts bij enkelen aanwezig. Dat geldt bijvoorbeeld voor kennis op het gebied van beheersen van lekkage in tunnels ter plaatse van de dilatatievoegen. Leo Leeuw is bij uitstek zo'n kennisdrager; kennis die hij in een jarenlange praktijk bij Rijkswaterstaat Bouwdienst heeft opgedaan.

Bij de overstap van Leo naar een andere baan, dreigde deze kennis verloren te gaan voor RWS.

Daarom ben ik heel content met deze publicatie waarin hij zijn kennis verwoordt. Daarmee is het een goed voorbeeld van het documenteren van kennis en toegankelijk maken voor derden.

Martien op 't Hof  
RWS Bouwdienst  
Afdelingshoofd Civiele Techniek



**Ing. L. Leeuw** \*)

**Rijkswaterstaat Bouwdienst 1 september 2008**

\*) Sen. Uitvoeringsingenieur Hoofdafdeling Projectuitvoering & Diensten Tunnelbouw b.d.  
Adviseur CT Nebest Adviesgroep



# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>SAMENVATTING</b> .....	<b>blz. 4</b>
<b>2</b>	<b>INLEIDING</b> .....	<b>blz. 4</b>
<b>3</b>	<b>ONTWERP TUNNELS</b> .....	<b>blz. 5</b>
	3.1 Toeritten .....	5
	3.2 Tunnelmoten .....	5
	3.3 Dilatatievoegen .....	5
	3.4 Wapening rondom dilatatievoegen .....	6
<b>4</b>	<b>UITVOERING</b> .....	<b>blz. 8</b>
	4.1 Tunnelvloeren toeritten .....	8
	4.2 Dilatatievoegen .....	9
<b>5</b>	<b>INSPECTIE EN METINGEN IN GEBRUIKSFASE</b> .....	<b>blz. 11</b>
	5.1 Periodieke inspectie .....	11
	5.2 Metingen voegbreedten open toeritten .....	11
	5.3 Metingen verticale verplaatsingen tunnelementen .....	12
<b>6</b>	<b>BREEDTEN DILATATIEVOEGEN</b> .....	<b>blz. 13</b>
	6.1 Open toeritten .....	13
	6.2 Tunnel .....	14
	6.3 Waterdichting dilatatievoegen .....	14
	6.4 Grondichting dilatatievoegen .....	14
<b>7</b>	<b>GEVOLGEN VAN GROTE BREEDTEN DILATATIEVOEGEN</b> .....	<b>blz. 15</b>
	7.1 Lekkages en/of een zandlek .....	15
	7.2 Tandbreuk .....	15
	7.3 Rubbermetaal voegstrook .....	16
<b>8</b>	<b>OUDE HERSTELSTRATEGIE</b> .....	<b>blz. 17</b>
<b>9</b>	<b>VERKEERSMAATREGELEN</b> .....	<b>blz. 18</b>
<b>10</b>	<b>UITGEVOERDE PROJECTEN MET LEKKAGES</b> .....	<b>blz.18</b>
	10.1 Kreekrak buisleidingentunnel .....	19
	10.2 Heinenoordtunnel .....	20
	10.3 Kiltunnel .....	23
	10.4 Aquaduct Ringvaart .....	28
	10.5 Drechtunnel .....	29
	10.5.1 Gesloten deel toerit- .....	31
	10.5.2 Tunneldak met IBO .....	31
	10.6 Noordtunnel .....	32
	10.7 Vlaketunnel .....	34
	10.8 Onderdoorgang A5 Schiphol .....	38
	10.9 Woensdrecht buisleidingentunnel Spoordijk .....	39
	10.9.1 Plan van aanpak aanbrengen Omega .....	41
	10.10 Calandtunnel .....	43
	10.11 2e Beneluxtunnel .....	45
	10.11.1 Zinkvoeg met Omegaprofiel .....	47
	10.11.2 Vloeren toeritten .....	48
	10.12 Tramtunnel Den Haag .....	50
	10.13 HSL tunnels Dordtse Kil .....	51
	10.14 Roosendaal onderdoorgang A58- .....	52
	10.14.1 Plan van aanpak nieuw rubber profiel .....	54
	10.14.2 Injecteren scheuren in vloeren .....	54
	10.15 Onderdoorgang Hardinxveld A15 sluisweg .....	56
	10.16 Regulierstunnel A9 Alkmaar .....	57
	10.17 Coentunnel .....	59



<b>11</b>	<b>NIEUWE HERSTELSTRATEGIE</b>	<b>blz. 61</b>
<b>11.1</b>	<b>LEKKAGES IN BETON</b>	<b>blz. 61</b>
<b>11.2</b>	<b>LEKKAGES IN DILATATIEVOEGEN</b>	<b>blz. 62</b>
11.2.1	Oude methode injecteren	62
11.2.2	Nieuwe methode injecteren	63
11.2.3	Plan van aanpak nieuwe methode injecteren	66
<b>11.3</b>	<b>PLANNING EN UITVOERING</b>	<b>blz. 67</b>
<b>11.4</b>	<b>GOOT IN DILATATIEVOEG</b>	<b>blz. 67</b>
<b>11.5</b>	<b>NIEUWE RUBBERAFDICHTING IN / OP DILATATIEVOEG</b>	<b>blz. 67</b>
<b>12</b>	<b>RUBBERMETAAL PROFIEL W9Ui</b>	<b>blz. 68</b>
12.1	Fabricage rubber	68
12.2	Injectie techniek	68
12.3	Eisen aan het rubber spons injectieprofiel	70
12.4	Eisen aan de metaalstrook	70
12.5	NEN 7030 Kwaliteitseisen waterk. dilatatie voegstroken	71
12.6	Duitse Norm DIN 7865 Elastomer Fugenbander	72
12.7	SLS en ULS grafieken rubber voegprofielen	72
12.7.1	SLS Grafiek ontwerpfas	73
12.7.2	ULS Grafiek gebruiksfase	74
12.8	Risico analyse	75
12.9	Rubberprofiel uit wand Vlaketunnel	77
12.10	Test oud rubberprofiel W9A Vlaketunnel	79
12.11	Test nieuw rubberprofiel W9CU	80
12.12	Vergelijk testen oud en nieuw rubber	81
12.13	Toelichting Trelleborg op test rubber Vlaketunnel	83
12.14	Coentunnel	85
<b>13</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>blz. 90</b>
<b>14</b>	<b>AANBEVELINGEN</b>	<b>blz. 91</b>
<b>15</b>	<b>DOCUMENTATIE</b>	<b>blz. 91</b>
<b>16</b>	<b>GEBRUIKTE INJECTIEVLOEISTOFFEN</b>	<b>blz. 92</b>
16.1	DATA MC-INJECT GL-95 TX	92
16.2	DATA POLYMENT 150 MPAS	93
16.3	DATA POLYMENT 10 MPASS	94
16.4	DATA POLYMENT 27 MPAS	95
<b>17</b>	<b>REFERENTIES UITVOERING PROJECTEN</b>	<b>blz. 96</b>

## 1 SAMENVATTING

Dit rapport "Lekkage in tunnels" gaat over de oorzaak en aanpak van lekkages in tunnels, die hoofdzakelijk in dilatatievoegen en in het beton van vloeren, wanden en of tunneldaken kunnen voorkomen.

Welke strategieën er zijn om die lekkages wel of niet op te lossen. Welke methoden en middelen er zijn en wanneer is de rubbervoeg afdichting niet meer betrouwbaar.

Wordt er pas actie ondernomen op het moment van constatering van een lekkage of kunnen we door monitoring (inspectie en metingen) preventieve acties gereed hebben liggen en daardoor gerichte maatregelen ondernemen. In dit rapport zijn de (opgebouwde praktijk) ervaringen bij diverse tunnels weergegeven en is de duurzaamheid van het rubber voegprofiel onderzocht.

Lekkages op het wegdek niveau zijn zeker in de winterperiode met kans op ijsvorming een gevaar voor de verkeersveiligheid. Een wegafsluiting is op dat moment de eerste remedie en dan ?

Verkeerstunnels zijn alleen nog maar 's nachts beschikbaar voor gezamenlijke (onderhouds)werkzaamheden Civiel & EM, waarbij de beschikbare tijd in de regel gelimiteerd is tussen 20.00 en 05.00 uur. Monitoring (inspectie en metingen) van tunnels geven die informatie die nodig is om vooraf te kunnen bepalen welke oplossing voor de geconstateerde lekkage te verkiezen of noodzakelijk is.

## 2 INLEIDING

Dit rapport is opgesteld op basis van de ervaringen met lekkages in dilatatievoegen, zoals die in de tunnelbouw zijn en nog worden gemaakt.

Tunnelconstructies bestaan uit gewapend betonnen open- en of gesloten toeritten met aansluitend of afgezonken tunnelementen die uit meerdere tunnelmotten bestaan, of boortunnels, of aquaducten, of verdiepte wegen en of onderdoorgangen. De voegen tussen prefab betonelementen van de boortunnels hebben een andere uitvoering en afwatering en zijn niet in dit document opgenomen. Het kenmerkende van al deze constructies is, dat zij in het grondwater gelegen zijn en voorzien zijn van dilatatievoegen.

Tunnelementen van 100 m en meer, bestaan uit een aantal moten van elk ca. 20 m. De mootlengte is gebaseerd op beperking scheurvorming en om de dagelijkse fysieke bouw mogelijk te maken. Tunnelbouw is repetitiewerk en elke week moet er een betonmoot worden gestort, d.w.z. onder- grond gereed maken, maken van werkvloeren, vloerbekisting stellen, wapening aanbrengen, in te storten onderdelen (ibo's) aanbrengen, beton storten, verharderen betonmortel, ontkisten en daarop de volgende vloer en wanden/dak stellen en dan weer betonneren. Repetitiewerk.

De aanlegdiepte van tunnels is afhankelijk van de te kruisen waterwegen, rivieren en of wegen.

In Nederland is de ontwerphoogte van tunnels bijna 9 m, hetgeen betekent dat tunnels vrijwel altijd diep gelegen zijn en aan een maximale waterdruk van ca. 25 m worden blootgesteld.

Een waterdichte verbinding tussen de tunnelmotten is dan ook essentieel. De voeg tussen tunnelmotten wordt dan ook de dilatatievoeg genoemd. In het ene betonstort wordt de helft van een rubbermetaal strook ingebetonnerd en de andere helft opgenomen in het aansluitende betonstort. Open toeritten zijn vaak met trekpalen onderheid vanwege het opdrijvende vermogen van een tunnelbak, de dilatatievoegen worden dan vlak uitgevoerd en koud tegen elkaar aangestort.

Tunnelmotten van af te zinken tunnelementen hebben altijd een vertanding in de voegen, zijn daardoor ook kritischer in de uitvoering, vooral tijdens het betonneren rondom de rubber voegprofielen.

Het resultaat van de waterafdichting hangt niet alleen af van het rubberprofiel, maar ook van de uitvoering van de te maken voeg, de handeling van de rubberprofielen op het werk, het aanbrengen van het rubberprofiel met injectiepenen in de bekisting, c.q. wapening, het aanbrengen van de wapening om het rubberprofiel, het schoonmaken van de bekisting vooraf gaande aan het betonstorten en tenslotte het betonneren om het rubberprofiel.

Omdat bij het standaard rubberprofiel (W9U) na het betonneren nogal eens lekkages optraden is gezocht naar een injectiemogelijkheid van het rubberprofiel na het betonneren. Hierbij is tijdens de tunnelbouw veel praktijkonderzoek gedaan naar de optimalisatie van de rubbermetaal voegstrook met een injectiesysteem, het W9Ui profiel en de wijze van inbetonneren.

Het ontwerp met de huidige stalen penen is een robuust en uitgedetailleerd systeem, dat zijn functie en deugdelijkheid in de praktijk heeft bewezen.

### 3 ONTWERP TUNNELS

#### 3.1 TOERITTEN

Vloeren van open tunnel toeritten zijn wel of niet onderheid, afhankelijk van de diepteligging (opwaartse waterdruk) en het grondwaterpeil. De rubbermetaal voegstrook is meestal in het midden van de vloerdikte gelegen.

Niet onderheide betonmoten zijn gevoelig voor horizontale bewegingen als gevolg van uitzetten en krimpen van betonmoten door temperatuurverschillen.

De dilatatievoeg constructie moet de horizontale bewegingen in de betonconstructie kunnen volgen. De breedte van een dilatatievoeg kan in de loop van de tijd groter worden doordat de asfaltvoeg in het wegdek verouderd, scheurt of deels weg is en de voeg daardoor toegankelijk wordt voor steeds meer vuil (zand). Bij het hernieuwd uitzetten door temperatuurverschillen wordt de volgende betonmoot verder opgedrukt en wordt de totale lengte van een toerit enkele cm langer.

#### 3.2 TUNNELMOTEN

Tunnelvloeren van afgezonken tunnelmoten worden gebouwd op een houten multiplexbeplating, die op een grindbed ligt. Het grindbed dient om toevoer van water onder de tunnelvloeren mogelijk te maken om de gereede tunnelelementen te kunnen laten opdrijven voor transport naar de afzinkplaats. Omdat de tunnelmoot vloeren op een houten beplating liggen, kunnen de vloeren na het betonstorten vrij krimpen en zal er geen scheurvorming optreden.

Lekkage in afgezonken tunnelelementen is te herleiden tot lekken van dilatatie mootvoegen in het dak of in de vloer. Lekkage in de wanden komt nauwelijks voor omdat bij betonneren geen luchtinsluitingen optreden.

Dilatatievoegen bij tunnelmoten van afzinkelementen hebben altijd een vertanding, waardoor deze t.o.v. elkaar vertikaal niet kunnen verschuiven, maar wel een geringe hoekverdraaiing kunnen ondergaan. In de dilatatievoeg zit voor de waterdichting een rubbermetaal voegprofiel. De moten worden in de bouwfase koud tegen elkaar aangestort en daarna van transportvoorspanning voorzien voor het varen en afzinken naar de afzinklocatie.

Na het afzinken worden de betonmoten onderspoeld met zand en wordt de voorspanning doorgeslepen, opdat de betonmoten in de tijd enige zetting kunnen ondergaan.

Het ontwerp voorziet erin dat de tunnelmoten in een kettinglijn gaan liggen. Tunnelmoten liggen opgesloten tussen de landhoofden. Slechts geringe horizontale en verticale voegbewegingen zijn mogelijk.

Meestal concentreert zich een verruiming bij een bepaalde dilatatievoeg.

De totale gemiddelde verticale zetting van "losse" tunnelmoten ligt in de praktijk dan ook tussen de 2 of 3 cm. Door externe oorzaken komen grotere zettingen voor.

Tussen de tunnelelementen liggen de zinkvoegen met een enkele sluitvoeg. Hier wordt de waterafdichting verzekerd door het primaire rubberafdichting Omegaprofiel, aangebracht na het afzinken en het rubber GINA profiel dat de waterafdichting is in het afzinkproces van een tunnelelement.

Het GINA profiel, genaamd als de secundaire afdichting en wordt als een tweede waterkering beschouwd.

De sluitvoeg is tegenwoordig uitgevoerd als dilatatievoeg en heeft een waterafdichting met rubbermetaal voegstroken.

#### 3.3 DILATATIEVOEGEN

In de tunnelbouw wordt in het huidige ontwerp de onderzijde van een dilatatievoeg afgedekt door een metaalplaat.

De voegen aan de buiten en binnenwand zijden worden afgedicht met een rubber voegprofiel, acmé genaamd. De voeg op het wegdek wordt afgegoten met rubberhoudende voegvullingsmassa, Carifalt genaamd. Het doel is om vervuiling van de voeg door zand e.d. tegen te gaan en het z.g. opdrukken van moten te voorkomen.

Bij oudere tunnelconstructie's zal per project moeten worden nagegaan (bestekstekeningen) of er wel of geen staalplaat, acméprofiel en of rubber injectieprofiel (i) op de metaalplaat van het rubber voegprofiel of andersoortige constructie is toegepast.



Fig 3.1 Rubber metaal voegprofiel W9Ui met injectiepenen

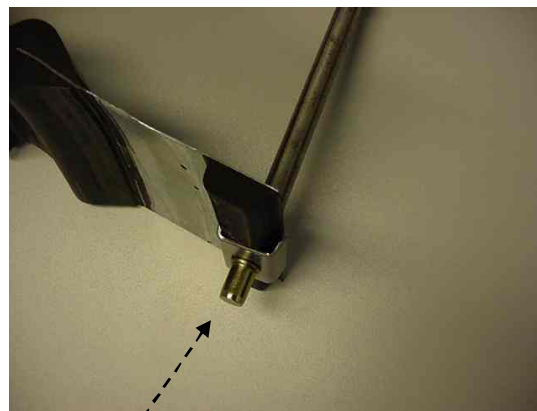


Fig 3.2: Detail draadstang door - en de mantel buisje op de metaalstrook. De draadstang zit vast in het schoentje.

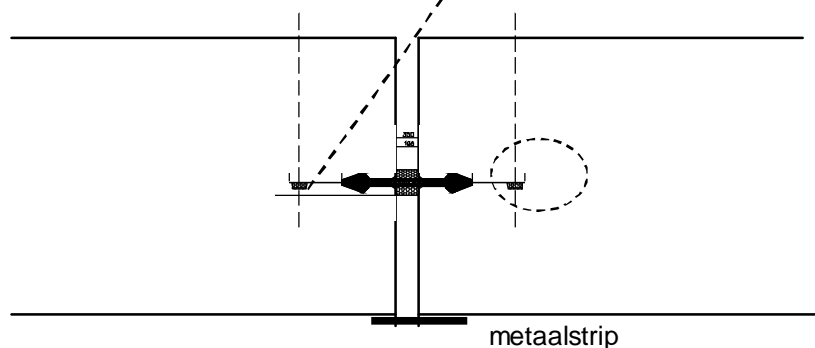
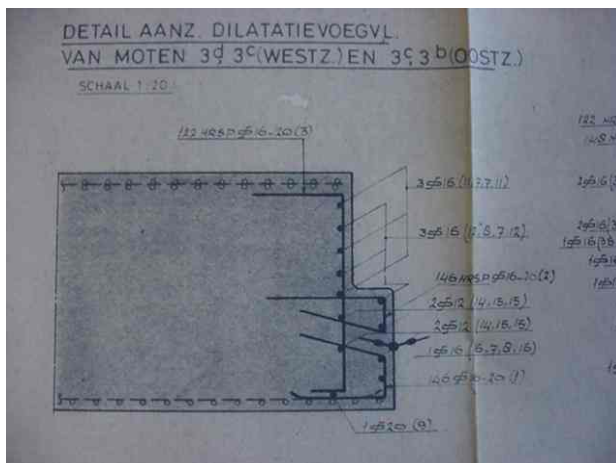


Fig 3.3 Vlakke voeg met rubber metaal voegprofiel W9Ui (injecteerbaar)

De middenverdikking bestaat nu uit een sponsprofiel op het rubber. Het injectie sponsprofiel zit aan de wervoerende zijde. Op de staalplaat wordt om de 350 cm een buis geplaatst, waardoor heen de draadstang steekt door de metaal voegstrook en die wordt vastgedraaid in een dopmoer met schoentje. Na het betonneren wordt de draadstang verwijderd en kan later via de mantelbuis worden geïnjecteerd over en om het dichte sponsprofiel heen.

### 3.4 WAPENING RONDOM DILATATIEVOEGEN

De wapening rondom dilatatievoegen bij de "oude" generatie tunnels (voor 2000) bestaat uit praktische wapening. Dat wil zeggen dat deze wapening niet is berekend op de oplegkrachten op de ondergrond van een naast gelegen tunnelmoot, als die gaat dragen op zijn buurman. Uitgangspunt is dat elke moot voldoende oplegging heeft om zijn minimum gewicht van ca. 500 kg/m<sup>2</sup> te dragen. Als door verticale verplaatsing (zettingen) het gewicht wordt verplaatst naar de tandoplegging en als dit een lijnbelasting wordt, kan breuk in het beton optreden. Na 2002 is daarom de tandwapening in nieuw te bouwen tunnels aanzienlijk verzwaard, zie foto 3.4 oud ontwerp en 3.5-3.6 nieuw ontwerp.



**Fig 3.4 Oud ontwerp** vertanding in tunnelvloer met praktische wapening 12 en 16 mm (Kiltunnel) en het rubbermetaal voegprofiel W9U (Kiltunnel)



**Fig 3.5-3.6 Nieuw ontwerp** prefab wapening rondom de rubbermetaal voegstrook (Calandtunnel)



**Fig 3.7** De vloerwapening van een tunnelmoot in uitvoering. Boven de vertanding van de dilatatievoeg steken de mantelbuizen uit voor de transport voerspandraden. Het rubbermetaal voegprofiel moet nog worden aangebracht met de kopbekisting. (Calandtunnel)



## 4 UITVOERING

### 4.1 TUNNELVLOEREN TOERITTEN

De tunnelvloeren van de toeritten worden of op staal (zand) gefundeerd of op onderwaterbeton in een bouwkuip met stalen damwand.

Indien een betonvloer op beton of trekpalen staat, steken de betonnen paalkoppen ca. 3 cm in de betonvloer. In nieuw ontwerpen niet meer.

Betonpalen staan gemiddeld h.o.h. 2 tot 3 m en werken eigenlijk als deuvels. Na het betonstorten, zal de verharding intreden en treedt hydratatie warmte door het reactie van het cement op en loopt inwendig de betontemperatuur op. Na dagen zakt de betontemperatuur weer, waardoor de verhardingskrimpt optreedt. Het krimpgedrag is afhankelijk van veel factoren, zomer- en of wintertemperatuur, temperatuur van de betonmortel, de vorm van de betonvloer met verjongingen of verdikkingen, de wapingshoeveelheid, het cementgehalte van de betonmortel en het gekozen betonmengsel. Het krimpgedrag heeft aanleiding gegeven tot watervoerende scheuren in de tunnelvloeren.



*Fig 4.5 Het betonneren van een tunnelvloer in uitvoering. Het betonneren met een betonpomp is gewoonte geworden. Hierbij is er een constante stroom betonmortel met een hogere consistentie (vloeibaarheid), die ook nog moet worden verdicht. Op de wapening tegen de al gestorte vloer aan zijn oranje punten te zien. Dit zijn oranje geleverde pvc buizen, die de injectiepijpen moeten beschermen tegen beschadigingen.*

Tunnelmoten, vloeren en wanden zijn ca. 20 m lang en kunnen in breedte variëren van 33 m tot 45 m, naar gelang het aantal tunnelbuizen.

Een vloer is 1 a 1,5 m dik, hetgeen betekent dat per vloer ca. 1000 m<sup>3</sup> beton moet worden gestort.

Voor het in betonneren van het rubbermetaal profiel is een procedure voorgeschreven die opgenomen is in de folder van de rubberleverancier Trelleborg-Bakker.

Het voorkomen, dat tijdens het betonstorten luchtballen, grindnesten of nazakken van de betonmortel onder het rubbermetaal profiel ontstaan en dat het beton het rubbermetaal profiel goed omhult, vraagt de nodige vakkennis. Dat dit niet altijd lukt, zien we op de volgende foto. Na het verwijderen van de vloerbekisting is alleen aan de ontkistingszijde het betonoppervlak op onvolkomenheden te inspecteren. De andere kant zien we niet. Het hoeft geen betoog dat lekkages op kunnen treden.



*Fig 4.6 Na het ontkisten kan alleen het vrijkomende en zichtbare voegvlak worden geïnspecteerd op grindnesten of gaten boven of onder de voegstrook en worden gerepareerd.*

## 4.2 DILATATIEVOEGEN

De uitvoering van dilatatievoegen is zowel bij de bouw van de toeritten als die bij tunnelmoten gelijk en bestaat uit een aantal handelingen, waarvan het resultaat afhankelijk is van de som van de samenhangende onderdelen, te weten:

- Werkvloer  
Op de ondergrond wordt eerst een ongewapende betonnen werkvloer aangebracht, waarop de volgende onderdelen worden gesteld.
- Aanbrengen stalen strip als afsluitprofiel t.p.v. de dilatatievoeg  
De staalstrip heeft een grondkerende functie voor de onderkant van de dilatatievoeg. Het voorkomen dat in de voeg zand of ander materiaal komt, waardoor de voeg alleen maar kan uitzetten en niet meer kan krimpen.  
Een enkele keer is i.p.v de staalstrip een rubber dubbeldam profiel toegepast
- Wapening van vloer, de wapening bij tunnels wordt zoveel mogelijk geprefabriceerd.
- Stellen onderbekisting en rubbermetaal voegprofiel. Zodra de prefab onderbekisting is gesteld tegen de wapening, wordt de rubbermetaal voegstrook aangebracht. Het vastzetten aan de bekisting gebeurt door een spijker in de staalplaat te slaan. Ook komt het voor dat door het rubber wordt gespijkerd, wat natuurlijk niet mag.  
Nadat het rubberprofiel is gesteld worden de injectiepijpen aangebracht en aan de wapening vastgemaakt. Om de kwetsbare injectiepijpen te markeren, c.q. te beschermen wordt soms een oranje geverfde pvc buis hierover heen gezet.



*Fig 4.1 Het vastzetten van de rubber metaal voegstrook aan de bekisting door te spijkeren door de metaalstrook.  
Soms gebeurt dit ook door het rubber heen (ontoelaatbaar).*



*Fig 4.2 De wapening rondom de rubber metaal voegstrook W9Ui*

- bovenbekisting tand, deze prefab bekisting wordt gesteld bovenop de sponsknoop van het rubberprofiel.
- Ophangen metaalstrip en injectiepenen. Om tijdens het betonstorten er voor te zorgen dat geen ingesloten lucht onder het rubberprofiel blijft zitten, worden de rubbermetaal voegprofielen bij de staalplaat opgetild en opgehangen met een vlechtdraad aan de wapening en aan de injectiepenen.
- De injectiepenen worden voorzien van sparing conussen, om later de injectieopeningen te kunnen afwerken met een cementgebonden mortel. Vanwege de grote hoeveelheid wapening en de moeilijker bereikbaarheid is mede daardoor het betonneren moeilijker en kwetsbaarder geworden om een goede betonaansluiting rondom het rubberprofiel te verkrijgen. Onvolkomenheden en luchtinsluitingen veroorzaken daarom na verloop van tijd lekkages. Door onvoldoende of niet geïnstrueerd betonstort personeel en het vervallen van toezicht is dit onderdeel kritischer geworden.



Fig 4.3 De metaalstrook is via een stalen injectie pen opgehangen en vastgemaakt aan de bovenwapening



Fig 4.4 Voor het betonneren wordt over de injectie pen een pvc koker geplaatst en oranje geverfd om beschadiging tijdens het betonneren en daarna te voorkomen

- vrijmaken van injectiepenen voor start injecteren.  
Het injecteren van het sponsrubber injectieprofiel op de staalplaat wordt pas uitgevoerd als de krimp van het beton is uitgewerkt, dat wil zeggen vaak na 1 jaar en tegen het einde van het gereed komen van alle tunnelmoten. De dilatatievoegen worden dan achter elkaar geïnjecteerd, wat op zich een handmatig gebeuren is en waarbij vakkundigheid vereist is. Om een zo goed mogelijk injectieresultaat te verkrijgen is een procedure opgesteld waar met injectie te beginnen, tegelijk in beide tunnelbuizen en de injecteergegevens te registreren. De injectiepenen zitten om de 3,50 m en daardoor is exact bekend op welke plaatsen wel of niet is geïnjecteerd en hoeveel liter injectiemateriaal is verbruikt.

Het injecteren gebeurt in de “droge fase” als de tunnelmoten nog niet onder water staan. Het injectiewerk wordt beschouwd als een constructief onderdeel van de dilatatievoeg, reden waarom een epoxy injectiehars is voorgeschreven.

Aan de uitvoering van dilatatievoegen doen verschillende disciplines van werknemers mee, wapening-vlechters, betontimmerlieden, betonstorters, betonafwerkers en tenslotte na maanden de injecteurs. Het resultaat van injecteren vertoont zich pas na het afzinken in de afbouwfase of na enkele jaren. Het testen van de waterdichtheid na het injecteren is niet mogelijk. Het is op zich dan ook niet verwonderlijk dat ondanks “alle zorg” lekkages zich blijven voordoen.



Fig 4.7 Het ontwerp van de vertanding van de dilatatievoeg is bij deze tunnelmoot in de wanden gesitueerd. Tijdens het betonstorten is er toch iets mis gegaan. Boven en onder de rubber metaal voegstrook zit geen beton.

## 5 INSPECTIE EN METINGEN IN GEBRUIKSFASE

### 5.1 PERIODIEKE INSPECTIE

Tunnels worden regelmatig geïnspecteerd in relatie met het onderhoud Civiel en de Electromechanische Installaties (E&M)

Uit visuele inspecties is gebleken dat het raadzaam is om ook te kijken en te meten naar de voegbreedten van de dilatatievoegen en waar lekkages optreden of zijn opgetreden.

Lekkages zien we hoofdzakelijk bij dilatatievoegen, maar lekkages kunnen ook voorkomen in een tunneldak (aftekening op de brandwerende bekleding, bijv. t.p.v. de stalen omranding van een toegangschacht) of ter plaatse van ingestorte stalen onderdelen in een tunnelvloer (onderstroom en sondeerputten)

Vastleggen locatie en controle aan bouwtekeningen geeft bij nadere beschouwing inzicht waardoor de lekkage kan zijn ontstaan en de injectiestrategie hierop kan worden afgestemd.

### 5.2 METINGEN VOEGBREEDTEN OPEN TOERITTEN

Uit gedane voegbreedte metingen van een toerit blijkt de invloed van temperatuurverschillen op de betonconstructie. In de barriers en/of de buitenwanden worden naast elke dilatatievoeg koperen meetbouten aangebracht, waar tussen de afstanden worden gemeten en de breedteverschillen per voeg kunnen worden afgeleid. Bij de Vlaketunnel met een lekke voeg werden periodieke halfjaarlijkse metingen uitgevoerd met opgaaf van de dagtemperatuur, om inzicht te krijgen in de bewegingen van de voegen.

#### Voorbeeld 1: Uitzettingsmetingen voegen tunnelmooten toeritten

Datum	Voeg in cm LO4-LO5
11-08-2004	21.19
14-12-2004	21.82 (63)
06-01-2005	21.70
12-04-2005	21.33
14-07-2005	21.08 (-74)
08-12-2005	21.72
21-01-06	21.93

Fig 5.1 Bij de Vlaketunnel worden vanaf 2004 alle mootvoegen van de toeritten ingemeten. Een voorbeeld is voeg L oost4 - L oost 5. In de barriers en de buitenwanden zijn naast de dilatatievoeg meetbouten aangebracht, ca 21cm uit elkaar. De waarden worden met een schuifmaat ingemeten. Deze voeg heeft veel lekkage over de gehele breedte van de toerit gegeven en staat ruim 25 mm open. De variatie 21.08 – 21.93 cm = 9 mm bij zomer en winterwaarde. De lekkage is inmiddels gedicht en er is een gootafvoer in de dilatatievoeg van de vloer gemaakt.

### Voorbeeld 2: Inmeting dilatatie voegbreedte

Naar aanleiding van een lekkage zijn de dilatatievoegen van een onderdoorgang in de A9 geïnspecteerd en opgemeten. Uit de inspectie en metingen kan worden afgeleid wat de oorzaak is en welke maatregelen kunnen of moeten worden genomen.

Nominale voegbreedte was 10 mm

Noordbaan , van oost naar west noordzijde		Zuidbaan van west naar oost zuidzijde
1 voeg 12 -11,	30 mm	33 mm
2 voeg 11 -10	<b>45 mm (lek)</b>	<b>40 mm (lek)</b>
3 voeg 10 - 9	10 mm	20 mm
4 voeg 9 - 8	11 mm	11 mm
5 voeg 8 - 7	11 mm	11 mm
6 voeg 7 - 6	11mm	11 mm
7 voeg 6 - 5	12 mm	11mm
8 voeg 5 - 4	15 mm	11mm
9 voeg 4 - 3	20 mm	20 mm
10 voeg 3 - 2	<b>45 mm (groot lek)</b>	<b>60 mm ( groot lek)</b>
11 voeg 2 - 1	50 mm	60 mm

Fig 5.2 De meetgegevens voegbreedte worden getoetst aan de ULS grafiek van het rubberprofiel, waaruit volgt dat de verlenging > 40 mm en de kans van inscheuren gelijk is aan 1 (zie ook 10.16)

### 5.3 METINGEN VERTIKALE VERPLAATSINGEN TUNNELEMENTEN

Bij de meeste tunnels worden de verticale verplaatsingen tussen de tunnelementen nabij de zinkvoegen gemeten op de geplaatste meetbouten in de buitenwanden (naast de dilatatievoegen). Gewoonlijk wordt elk jaar een waterpassing uitgevoerd en wordt een verschil lijst met de vorige waterpassing aan de tunnelbeheerder geleverd. Controle dient ook plaats te hebben over de totaal verschillen vanaf de bouwphase.

Grote verschillen duiden op spanningen in de betonconstructies, die oorzaak kunnen zijn of worden van lekkages. Het gereed hebben van een plan van aanpak, ingeval van grote afwijkingen, voorkomt dat onvoorbereid tot actie moet worden overgegaan.

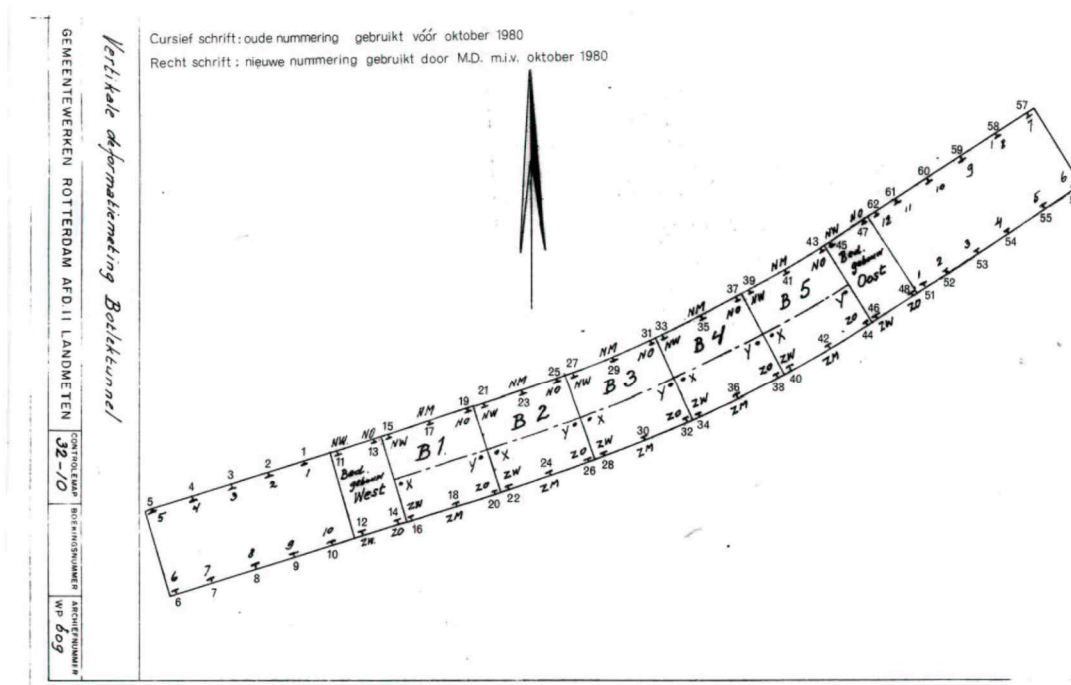
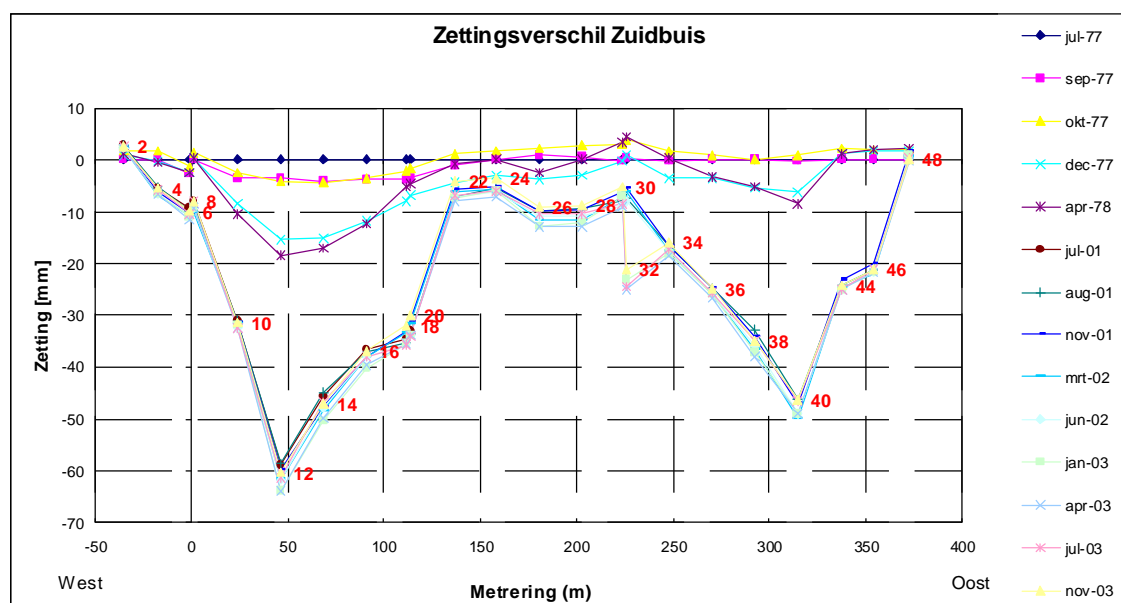


Fig 5.3 Overzicht meetbouten in de dilatatievoegen toeritten en tunnelmoten (Botlekunnel)

Alleen metingen ter plaatse van de zinkvoegen in het afgezonken tunneldeel geven geen info over de zettingen van de afzonderlijke tunnelmotten. Een tunnel is geen rechte lijn. In de praktijk zien we dat onderlinge zettingen van betonmotten veel groter kunnen zijn en aanleiding hebben gegeven tot grote lekkages en zelfs een tandbreuk. Bij slechts enkele tunnels worden de zettingen van alle tunnelmotten t.p.v de dilatatievoegen om dus om de ca. 20 m gemeten.



Landhoofd W | ZV | Te 2 | SV | Te 3 | ZV | Te 1 | ZV | Landhoofd Oost

Fig 5.4 Zettingsmeting tunnelbuis (zuid Kiltunnel) van alle tunnelmotten  
De normale zetting van ca. 2 cm wordt bij voeg 2cd (50 m) en voeg 1ab (315 m) overschreden. Bij 2 cd is sprake van een tandbreuk, lekkage en zandtransport. Bij voeg 1ab is nog geen lekkage waargenomen, maar wordt wel gemonitord. De sluitvoeg (SV) met een rubber dubbel omegaprofiel ligt tussen Te 3 en Te 2. ZV zijn zinkvoegen met een rubber Gina- en een Omegaprofiel.

## 6 BREEDTEN DILATATIEVOEGEN

De breedte van een dilatatievoeg is onderhevig aan temperatuurverschillen in de betonconstructie en door zettingen in de tijd ondermeer als gevolg van toename bovenbelasting op de betonconstructie door aanslibbing of dijkverplaatsingen en of door samendrukking van de ondergrond.

Verplaatsingen in x,y of z richting, afhankelijk van de instortwijze vloer/dak of wand, zijn afzonderlijk of te samen maximaal in die gevallen dat een betonconstructie niet onderheid is.

Betonmotten ondergaan krimp tijdens de verharding van de betonmortel en ondergaan krimp en uitzetting door temperatuurverschillen.

### 6.1 OPEN TOERITTEN

Open toeritten in betonconstructies zijn onderhevig aan grotere temperatuurverschillen.

Door directe zonbestraling met weinig wind en een ligging noord, zuid, oost of west kunnen behoorlijke temperatuurverschillen dag / nacht, zomer en winter ontstaan.

De optredende uitzetting, c.q. krimp is natuurlijk mede afhankelijk van de betonmassa, de temperatuurgradiënt en de lengte van de betonmoot.

Bij inspectie van dilatatievoegen zien we hier grotere verschillen in voegbreedten dan die in de gesloten tunnels.

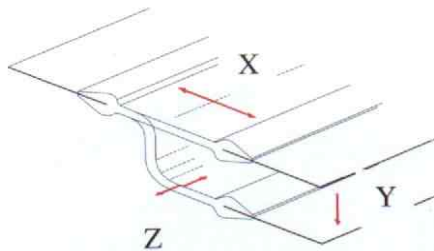
Bij niet onderheide vloeren zijn er nog grotere verschillen in voegbreedten, omdat de heipalen de vloermotten als het ware op hun plaats houden.

## 6.2 TUNNEL

In gesloten toeritten en in de tunnels zelf zijn de temperatuurvariaties niet zo groot als in de open toeritten. De grondtemperatuur is vrijwel constant en het variaties van de binnentemperatuur door de betonnen tunnelwanden van ca. 100 cm dik verloopt vrij traag.

De betonmotten van tunnelementen worden koud tegen elkaar gestort en dus zouden alle mootvoegen tegen elkaar aangesloten moeten zijn. Toch is dit niet altijd het geval. Veelal zien we in tunnels dat een enkele voeg enkele mm's open is gaan staan.

Tunnelmotten hebben een totale gemiddelde eindzetting van 2 a 3 cm, met enkele uitschieters bij diverse tunnels. Dit betekent dat de rubbermetaal profielen in de vloer en wanden onder trek komen te staan en dat de rubberknobbels van het profiel tegen het beton worden aangedrukt, die in feite de waterafsluiting is. De staalplaat is bedoeld als een extra verankering in het beton met de functie van een stortnaadplaat, om een eventuele lekweg te vergroten of wel lekkage te voorkomen.



*Fig 6.1 Midden op het lijf zit een sponsprofiel in het hart van de dilatatievoeg. Bij zettingen in de Y richting in vloeren zal in de wanden een verplaatsing in de z richting optreden. Door het spons profiel wordt een geleidelijke overgang van het rubber gecreëerd.*

## 6.3 WATERDICHTING DILATATIEVOEGEN

De waterdichting in dilatatievoegen wordt verkregen door het instorten van een rubbermetaal voegstrook, vroeger het W9U profiel en nu het W9 Ui (injectiebaar) profiel genoemd.

De eisen die aan het rubber- en staalprofiel worden gesteld zijn in overleg met de Rijkswaterstaat Bouwdienst tot stand gekomen. Voor het aanbrengen van het rubberprofiel en inbetonneren is een handleiding gemaakt, die in de brochure van de leverancier Trelleborg is opgenomen. Hiermee is de ervaring van het monteren, het inbetonneren en injecteren vastgelegd, opdat de rubber metaalstrook goed omhuld wordt met beton en geen luchtbellens, grindnesten of nazakken van de betonmortel onder het rubber, c.q. de staalplaat zoveel mogelijk wordt voorkomen.

## 6.4 GRONDDICHTING DILATATIEVOEGEN

De gronddichting bij tunnels is zeer belangrijk om te voorkomen dat vuil (binnenzijde) of grond (buitenzijde) in de voegen komt. Vooral bij de toeritten worden door de bewegingen van de betonmotten als gevolg van temperatuurverschillen de dilatatievoegen breder en smaller.

Bij krimp van het beton zal de dilatatievoeg vollopen met zand of ander wegmateriaal en als de voeg weer uitzet wordt druk uitgeoefend op de naastgelegen betonmoot. Dit proces (cumulatief) gaat jaren door, waardoor voegen breder gaan staan en het rubberprofiel doet uitrekken.

Op zich kan het rubber tegen een grote rek, o.a. door de relaxatie van het rubber. Maar onvolkomenheden in de betonaansluiting veroorzaken lekkages in een voeg. Zo gauw water op het wegdek niveau komt, is dit voor het verkeer in de winter een probleem.

De onderzijden van de tunnelvloeren worden gronddicht gemaakt door de werkvloer en door ter plaatse van de dilatatievoegen een metaalplaat in te storten. Voor een enkele tunnel werd in het verleden door RWS een groot plat rubberprofiel toegepast, het z.g. dubbeldam profiel.

Nadeel van dit rubberprofiel is dat het door de vorm moeilijk is schoon te maken van al het bouwvuil (zand, wapeningdraadjes, e.d.) dat er in komt. Hetgeen wordt vergroot nadat de wapening is aangebracht. Het is geen waterkerende constructie, al lijkt het zo te zijn.

In de voegen van de binnen- en buiten zijkanten van de vloeren, wanden en dak worden vierkante sparingen gemaakt, waarin later een rubber acmé profiel wordt verlijmd.

Dit rubberprofiel is bedoeld om de voeg bij krimp en uitzetting vrij te houden van bodemmateriaal. Veel voegen worden in de loop van de tijd breder door vuil, e.d. wat te wijten is aan het verouderen van voegvullingen, kitvullingen e.d., die te star zijn geworden om de veranderingen in de voegen te volgen. Rubbers, die niet goed verlijmd zijn, kunnen los gaan zitten.

Ook zijn er oudere betonconstructies die deze rubbervoorzieningen niet hebben, maar bijv. asfaltplanken aan de binnenzijde en kitvoegen aan de buitenzijde, die van mindere kwaliteit zijn dan de rubberprofielen.

## **7 GEVOLGEN VAN GROTE BREEDTEN IN DILATATIEVOEGEN**

Wat zijn de gevolgen van grote verschillen in breedten in verticale en horizontale richting van een dilatatievoeg met een metaalrubber voegprofiel in vergelijking met de maakfase?

### **7.1 LEKKAGES EN / OF EEN ZANDLEK ?**

Uit inspectie van diverse tunnels blijkt dat in de meeste gevallen lekkage in de dilatatievoeg zowel in het dak als de vloer optreedt en het lekwater op het wegdek valt of loopt. Lekkages in de wanden komen nauwelijks voor omdat geen luchtopsluiting rondom het verticale rubber voegprofiel bij het betonneren kan plaatsvinden. Lekkages kunnen ook zand meevoeren. Een zandlek kan zettingen van een tunnelmoot veroorzaken, afhankelijk van de hoeveelheid zand. Een zandlek moet dan ook zo snel mogelijk worden gestopt.

Bij lekkage werd eerst de metaalslab van het rubbermetaal voegprofiel om de 50 cm h.o.h. aangeboord en daarna geïnjecteerd met een polyurethaan injectievloeistof. Als het injecteren niet hielp of als we niet wisten waar het water vandaan kwam, werden afvoergoten in de ballastbeton gemaakt. Op de constructievloer ligt namelijk een laag beton (ballastbeton) gestort, omreden de tunnel een eigen gewicht tegen opdrijven te geven. Lekkages hebben in het verleden tot ingenieuze oplossingen als waterafvoeren in een wegdek opgeleverd, maar bleken door het zware en intensieve auto- en vrachtverkeer zeer kwetsbaar (Heinenoordtunnel / Vlaketunnel)

### **7.2 TANDBREUK**

Grote verticale verplaatsingen bij dilatatievoegen heeft ook de kennis opgeleverd dat behalve lekkage ook een tandbreuk kan optreden. Dit is voor het eerst bij de Kiltunnel in een bouwteam (RWS – TNO - GeoDelft) ter sprake gekomen naar aanleiding van de zandlek constatering door de beheerder.

Achteraf kan geconcludeerd worden dat zich bij de Heinenoordtunnel ook een dergelijke situatie kan hebben voorgedaan. Daar is in voegmoot 4bc een lek ontstaan met een instroom van ca. 4 a 5 m<sup>3</sup> per uur. Het lekwater wordt afgevoerd via een ingestort U300 profiel dat gemonteerd is boven de lekke dilatatievoeg op de constructiebeton. Het lekwater loopt via dit U profiel in een riool naar de waterkelder (zie 8.2) Over dit U profiel is de ballastbeton hersteld.

Een tandbreuk loopt buiten de dilatatievoeg om, maar in welke richting en tot hoe ver de breuklijn loopt is onbekend.



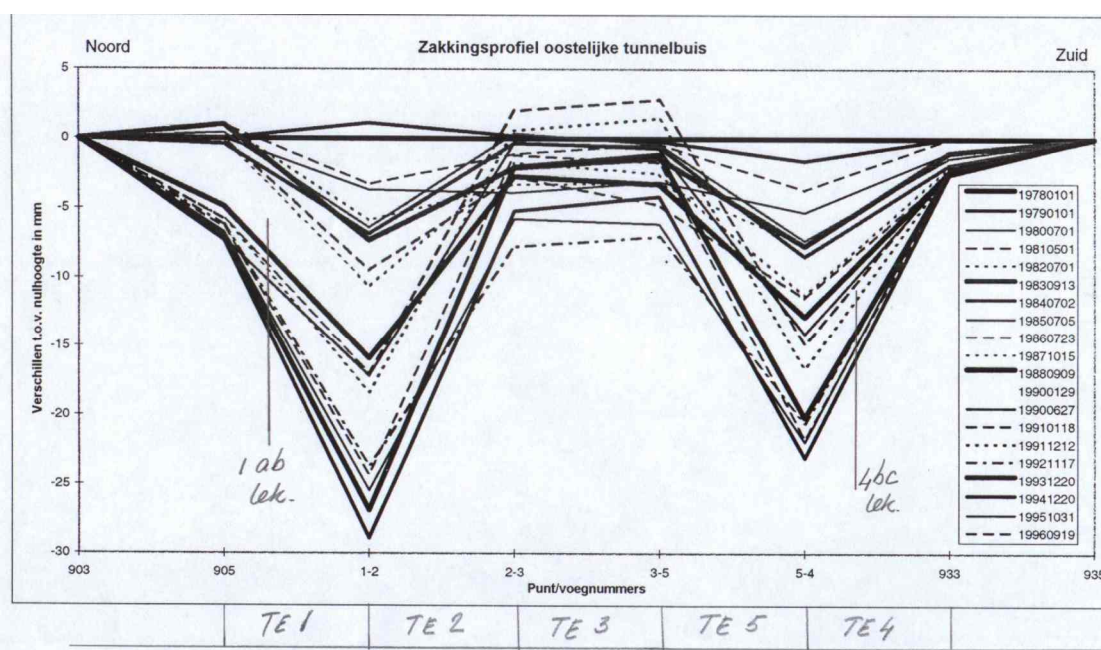


Fig 7.1 Zettingsmetingen op de **zinkvoegen** van de Heinenoordtunnel, waarbij de zetting van de landhoofden door de Meetkundige Dienst (AGI) op nul zijn gesteld. Er zijn **geen meetbouten op de mootvoegen, waardoor de zakking tussen de zinkvoegen als een rechte lijn is getekend**. Op voeg tunnelelement **1ab** en op tunnelelement **4bc** zijn lekkages. De grote lekkage in voeg 4 bc kan een mogelijk gevolg zijn van een tandbreuk. Hier missen we de zettingsmetingen van mootvoegen om dit lek te verklaren!

### 7.3. RUBBERMETAAL VOEGSTROOK

Voor de waterdichtheid in dilatatievoegen worden rubbermetaal voegstroken toegepast. Het profiel W9U is met de toenmalige RWS Directie Sluizen en Stuwen ontwikkeld door Vredestein en als gevolg van lekkages is een doorontwikkeling gedaan naar het W9U i (injecteerbaarheid) profiel. Het rubber moest voldoen aan de toentertijd gestelde eisen. Bij de aflevering op de werken werd er een controledocument van de leverancier bijgevoegd. Belangrijk waren o.a. rek bij breuk, de shore hardheid (A) (indrukking of wel hardheid van het rubber). Toen zijn ook extra injectieproeven met epoxy en water uitgevoerd op betonnen proefbalken met staalstrippen en injectiespons profielen bij Vredestein. Hierbij werd het spons-injectierubber getest op injectiedrukken (< 10 bar). De rubberprofielen kunnen verplaatsingen ondergaan in de x, y en z richting.

Verplaatsingen in dilatatievoegen geven aanleiding tot lekkages door onvolkomenheden in de betonaansluiting om het rubberprofiel, maar hoe is het met het rubber zelf? Hoe groot zijn de verplaatsingen in de praktijk en hoe is het dan met de veiligheid tegen bijvoorbeeld inscheuren, of de treksterkte en de veroudering?

Uit de diverse metingen op de projecten blijkt dat de voegen zowel verticale als horizontale verplaatsingen ondergaan. Dit betekent voor het rubber dat het middenlijf wordt uitgerekt en de rubber knobbels zich tegen het beton afzetten. Bij uitrekking verdunt de dikte van het deel tussen de knobbels van het profiel en moeten de knobbels zorgen voor de waterdichte afsluiting tegen het beton.

De uitrekking van het middenlijf is echter een langzaam proces. Wat gebeurt er met het rubber onder deze statische en permanente belasting? Hoe lang kan dit rubber nog na jaren van permanente belasting nog mee?

Bij de onderdoorgang Roosendaal zijn grote horizontale verplaatsingen geconstateerd, echter bij een dun rubberprofiel type W3. Bij de herstelwerkzaamheden (zie 10.14) bleek dat het rubber zowel in de wand als in twee rijbanen over een lengte van ca. 1 m was ingescheurd.

Om te weten te komen of en hoeveel achteruitgang in de rubber kwaliteit optreedt, is uit een betonwand van een uitrit van de Vlaketunnel op 30 oktober 2007 een betonkern diameter 30 cm geboord tot in het rubberprofiel. Dit rubberprofiel heeft Trelleborg-Bakker laten testen op de eigenschappen, waaraan de rubbers moeten voldoen volgens de norm NEN 7030, uitgave jan 1975. Zie het verslag van deze test in hoofdstuk 12.10 blz 79.

Bij tunnels, c.q. onderdoorgangen en bij de tunnels in de Buisleidingstraat Kreekrak en Woensdrecht zijn zettingen gemeten. Niet alleen komt dit voor bij dilatatievoegen, maar kan ook bijvoorbeeld bij een zinkvoeg met een rubber Omega profiel, zoals tijdens de bouw 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel optrad en na jaren door wijziging in de bovenbelasting bij de Kiltunnel.

Hoewel controle tijdens de bouw wordt gedaan, is de vraag of grote vervormingen, die overigens binnen de toleranties vallen, gedurende meerdere jaren wel acceptabel zijn. De Omegaprofielen van zinkvoegen worden ingebetonned en er kan alleen achteraf inspectie worden gedaan met behulp van een "kijkoperatie".

De kwaliteit van het rubber voor dilatatievoegen en die van omega profielen is echter gelijk.

Bij de Kiltunnel is op een zinkvoeg een kijkoperatie uitgevoerd, ter controle van de verankering van de klemlijsten van het rubber omegaprofiel.

## 8 OUDE HERSTELSTRATEGIE

Voor het oplossen van een lekkage was de oude strategie in volgorde van de ernst en het slagen van de actie:

### 1. INJECTEREN

In het verleden werd de lekkage in een dak of vloer gedicht door de **metaalstrook** van het rubbermetaal profiel in de dilatatievoeg aan te boren en te injecteren.

Dit werd nachts uitgevoerd, waarbij een enkele rijstrook open moest blijven voor het verkeer. Het aanboren en injecteren duurde meerdere nachten.

### 2. MAKEN AFVOERGoot

Lekkages in dilatatievoegen, kwamen voornamelijk in de tunnel via scheuren in de ballastbeton op het wegdek. Waterafvoergoten in de ballastbeton moeten eigenlijk inspecteerbaar en onderhoudbaar zijn. Waterafvoergoten werden gemaakt door sparingen te zagen en stalen U profielen daarin aan te brengen en aan te laten sluiten op een riool. Indien lekwater ijzeroxide bevat, ontstaat door aanraking met zuurstof uitvloeking en zal op termijn verstopping optreden (Heinenoordtunnel).

Lekke dilatatievoegen vinden we vooral bij toeritten en deze voegen staan enkele mm of zelfs enkele cm's open. Dilatatievoegen zijn dan vaak vervuild door zand en / of ander bodemmateriaal.

Het rubberprofiel in de vloeren van toeritten ligt niet diep en is daardoor gemakkelijk bereikbaar om de voeg tot aan het rubber te reinigen, zichtbare lekkages rondom het rubberprofiel kunnen dan alsnog worden geïnjecteerd.

Ook ingeval er geen injectiesucces of traceerbaarheid van het lek is geweest, blijft de keuze van waterafvoergoten maken een optie. Bijvoorbeeld bij de lekke dilatatievoegen van de diepwanden Drechtunnel zijn gemetselde muurtjes langs de diepwanden gemaakt om het lekwater naar de riolering af te voeren.

Afvoergoten in een wegdek blijken zeer kwetsbaar te zijn door de dynamische verkeersbelastingen en als ze nog worden gemaakt dienen ze robuust te zijn.

### 3. AANBRENGEN NIEUW RUBBERPROFIEL

De laatste te verkiezen optie is om een nieuw rubberprofiel op en/of in de betonconstructie aan te brengen. Dit komt een enkele keer in beeld als de gaafheid van het bestaande profiel niet meer is verzekerd en of als zettingen worden verwacht die lekkage en grote risico's als gevolg kunnen hebben. Bekende gevallen zijn de Buisleidingentunnel Kreekrak in het Schelde-Rijn kanaal bij Rilland (zie hoofdstuk 10.1) en de Onderdoorgang Roosendaal (zie hoofdstuk 10.14)

Het rubberprofiel bij de Kreekrak buisleidingentunnel is tegen het betonwerk aangebracht met een knelsluiting idem de omegaprofielen.

Bij de onderdoorgang Roosendaal zijn ter plaatse van een dilatatievoeg in de weg verdiepte sparingen met een nieuw plat rubberprofiel gemaakt en loopt het rubberprofiel door tegen het beton van de buitenwanden, dat daarna is ingebetonneerd.

Het hoeft geen betoog dat deze oplossing duur is, maar soms is dit de enige pragmatische oplossing.

Bij toeritten moet bij deze oplossing een weghelft of liever de gehele inrit gefaseerd buiten het verkeer worden gesteld. Bovendien gaat het dan niet om een enkele nachtafsluiting, maar om enkele weken uitvoering. De mogelijkheid van verkeersomleidingen zijn dan ook bepalend voor de beschikbare tijd.

## 9 VERKEERSMAATREGELEN

Bij werkzaamheden in toeritten en of tunnelbuizen zal om de werkzaamheden voor het dichtten, c.q. oplossen van de lekkages technisch en veilig te kunnen uitvoeren een tunnelbuis moeten worden afgesloten voor alle verkeer. Er wordt naar gestreefd dit te laten samenvallen met onderhoudswerkzaamheden met vooraf bepaalde verkeerstromingen.

Deze verkeerstromingen worden meestal per tunnel voor één nacht gepland van ca. 20.00 uur tot 05.00 uur. Zeer belangrijk is dat de tunnel "op de afgesproken tijd" vrij komt voor de werkzaamheden. Zoals bekend mag worden verondersteld zijn de werkuren voor 24.00 uur het effectiefst.

De kosten van de uitvoering van de verkeersmaatregelen met daarbij de nodige omleidingroutes zijn vaak duurder dan het dichtten van de lekkages zelf, des te meer reden om onderhoudswerken en reparaties te combineren en "mee te liften" met andere geplande werkzaamheden.

## 10 UITGEVOERDE PROJECTEN MET LEKKAGES

Bij een aantal projecten hebben zich lekkages voorgedaan, die aanvankelijk volgens de oude herstelstrategieën (zie hoofdstuk 8) werden opgelost.

De lekproblematiek bij de Kiltunnel was nieuw en was niet met de oude herstelmaatregelen op te lossen.

Door dit lekprobleem innovatief aan te pakken is een nieuwe herstelmethode ontwikkeld, die bij de volgende projecten is toegepast, getoetst en de ervaringen werden gebruikt bij een volgend project met lekkage.

In de praktijk bleek dat de reinheid (vervuiling) van een lekke dilatatievoeg, de hoeveelheid lekwater en voegbreedte in de dilatatievoeg steeds anders kunnen zijn.

In dit hoofdstuk worden per project het probleem, de uitvoering en de ervaringen weergegeven.

De projecten worden behandeld naar het tijdstip van uitvoering, waarmee de uitvoerenden de opgedane kennis en ervaringen hebben kunnen gebruiken voor een volgend project.

De hieruit volgende nieuwe herstelstrategie is in hoofdstuk 11 beschreven.

## 10.1 SCHELDE-RIJNKANAAL KREEKRAC BUISLEIDINGENTUNNEL

De Kreekrak buisleidingentunnel is gebouwd in 1973 tijdens de bouw van de Kreekraksluizen in het Schelde-Rijn kanaal bij Rilland-Bath.

De Kreekrak buisleidingentunnel is een onderdeel van de buisleidingenstraat Rotterdam- Pernis naar Antwerpen. De vierkante betonnen koker (ca. 3 x 4 m<sup>2</sup>) is gebouwd in een bouwkuip met damwanden op een zandaanvulling op de onderwaterbeton vloer in het toen nog te ontgraven kanaal tussen de Kreekraksluizen en Antwerpen. Nadien is het kanaal geïnundeerd.

Ter plaatse van de dilatatievoeg moot 8-9 is bij de middenwaterpomp kelder na de inundatie van het kanaal een zakking opgetreden van ca. 3 cm. RWS was toen van mening dat verdere zakking niet mocht optreden, reden dat omstreeks 1976 voorzieningen zijn aangebracht om verdere zakking en kans op lekkage te voorkomen.

De vervorming (in z-richting) treedt niet alleen op in het dak en de vloer, maar ook in de wanden. Daar wordt het rubberprofiel scheef naar beneden getrokken. En hoe ziet dat er uit in de ronde hoeken?

Op de bovenkant van de tunnel staat ca. 8 m waterdruk. Het risico van inscheuren, hoe klein dan ook, werd niet genomen en er werden maatregelen getroffen.

Een plat rubberprofiel met stalen klemlijsten (gelijk ontwerp tunnel omegaprofielen) werd rondom aan de binnenzijde tegen de voeg aangebracht om een verzekerbare waterdichte afsluiting te verkrijgen. Een staalconstructie werd aan de wanden en op de vloer aangebracht om een starre verbinding te maken tussen de twee moten, waardoor verdere zettingen onmogelijk werden.

Om de druk van het (lek) water tegen het platte rubberprofiel op te vangen is het rubber tussen de klemlijsten ondersteund met hardhouten wiggen. Deze oplossing is gelijk aan soortgelijke oplossingen bij zink- en sluitvoegen bij tunnels. In de zettingsmetingen wordt deze voeg niet meer gemeten.

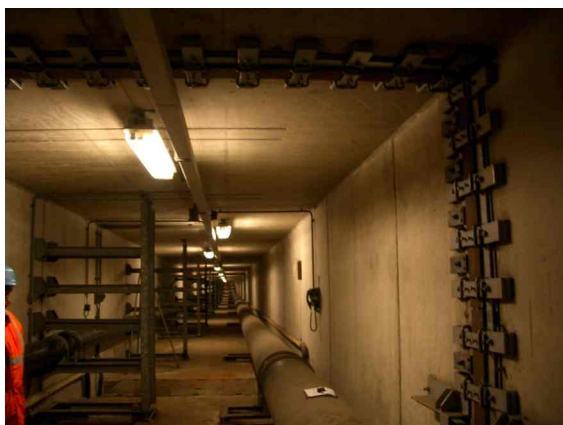


Fig.10.1.1 Betonkoker met extra afdichting op



Fig 10.1.2 De stalen klemconstructie met hardhouten verwigging op het platte rubberprofiel.

*Bij een inspectie op 31 oktober 2007 zijn geen vervormingen aan de staalconstructie en geen lekkages geconstateerd. De verschilmeting t.p.v. het dak tussen beide moten was ca. 3 cm*

***De oplossing voor de Kreekrak buisleidingentunnel, gebouwd in 1973, was het voorkomen van verdere zetting, het voorkomen van lekkage als gevolg van te grote vervorming in de dilatatievoeg en schade aan de transportleidingen.***

***In eerste instantie werden de zettingen gemeten en daaruit volgde een preventieve actie om in 1976 een nieuw rubber platprofiel met klemlijsten op het beton aan te brengen volgens bestaande constructies in de tunnelbouw. Bij een tunnel van deze geringe omvang en belastingen was deze constructie realiseerbaar.***

## 10.2 HEINENOORDTUNNEL

De Heinenoordtunnel is gebouwd in 1966. Vanaf de bouwphase in 1966 waren er lekproblemen in de dilatatievoegen van tunnelelement 1. Al tijdens de bouwphase hadden diverse injecties met verschillende materialen niet het gewenste effect. Daarna werden oplossingen bedacht om in de toplaag van de ballastbeton stalen UNP 100 profielen aan te brengen, die als waterafvoer boven scheuren of lekplekken werden aangesloten op de riolering.

Op zich zijn dit goede oplossingen, met dien verstande dat de zwakheid van de constructie zit in de uitvoering, in de verankering van de stalen UNP profielen, het aanstorten van de gemaakte sparing in het betondek met beton of krimparme cementgebonden mortel en de dynamische verkeersbelastingen. Het autoverkeer veroorzaakt trillingen en belast de constructies en de verankeringen gaan los. Nader onderzoek met grondradar (1998) leverde niet de gewenste informatie op waar precies de oorzaak lag van de lekkages.



Fig 10.2.1 Lekwater met roest van de wapening op het wegdek van de westbuis

De westbuis is in 1999 gerenoveerd. Doel was om de langzaam verkeerstrook, gescheiden door barriers van het autoverkeer, toe te voegen aan het autoverkeer, zodat er drie rijstroken zouden ontstaan. Het langzaam verkeer, fietsers en landbouwverkeer, werd omgeleid door de nieuw gebouwde boortunnel naast de Heinenoordtunnel.

Behalve de herinrichting van de westbuis om deze geschikt te maken voor autoverkeer zijn nieuwe waterafvoeren gemaakt in alle dilatatievoegen, die lozen op een riool nabij de middenwand en is de grote lekkage in tunnelelement voeg 4bc grootschalig aangepakt.

Tijdens het verwijderen van de ballastbeton toplaag openbaarde zich een groot lek in deze dilatatievoeg. De hoeveelheid water, 4 a 5 m<sup>3</sup> per uur was te groot om met injecteren dit te doen stoppen.

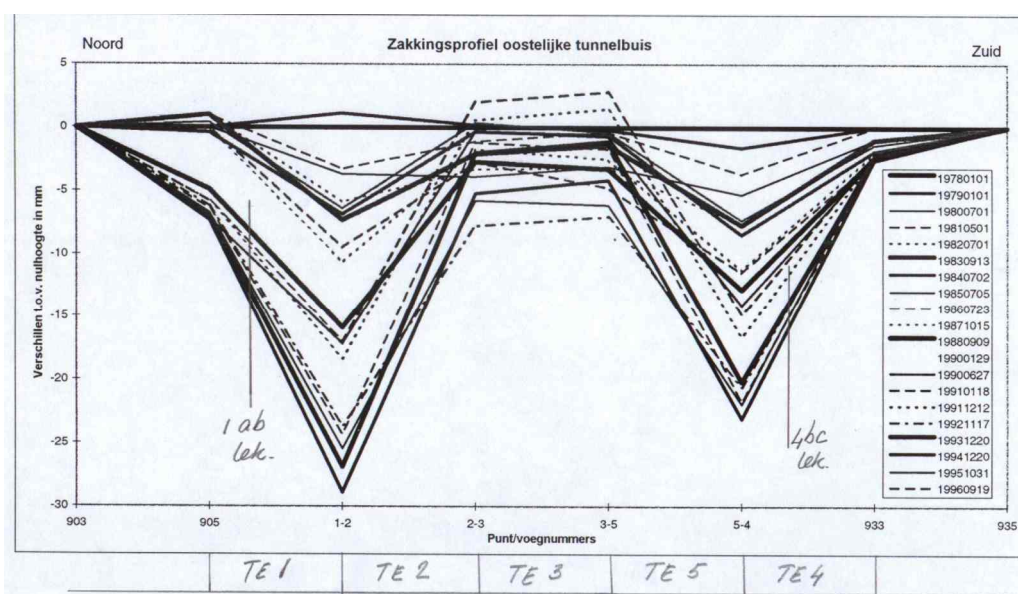


Fig 10.2.2 Zettingsgrafiek op de zinkvoegen van de 5 tunnelelementen oostbuis.

De zetting tussen tunnelelementen 1-2 is ca. 27 mm en die tussen 5-4 is 22 mm. De zettingen zijn gerelateerd aan de landhoofden, die op "nul" werden gesteld. De absolute zetting kan dus groter zijn, maar het gaat om de onderlinge verschillen per moot.

De zettingen bij de zinkvoegen vallen buiten het verwachtingspatroon < 20 mm, maar geven geen inzicht in de zettingen die per moot zijn optreden (voeg 1 ab en 4bc zijn lek)

De herkomst van de lekkages in de dilatatie mootvoegen van de Heinenoordtunnel zijn niet direct te herleiden als gevolg van grote zettingen gemeten t.p.v. de zinkvoegen.

De zetting is getekend als een rechte lijn, maar het kan wel degelijk zijn dat een knik t.p.v. een dilatatievoeg is optreden, waardoor de lekkage ontstond.

Voeg 1 ab werd zowel in de vloer westbuis als in het dak oostbuis geïnjecteerd volgens de oude methode, aanboren staalstrip rubbermetaal voegstrook W9U en puntinjectie op elk boorpunt met een polyurethaan.

Bij de oplossing om de lekwegen op te heffen was de druk vanuit de omgeving, in het bijzonder Rotterdam, groot. In de toen bekende strategieën was de oplossing:

1. Injecteren
2. Waterafvoeren maken, die onderhoudbaar en inspecteerbaar waren.

Gezien de lekproblematiek werd bij de renovatie van de gehele westbuis in 1999 gekozen om van elke dilatatievoeg en lekken in de ballastbeton waterafvoeren te maken en deze aan te sluiten op het langsriool tegen de middenwand.

Op de voegsparring 4 x 5 cm werd een verzinkte staalplaat geplaatst, die met draadeinden verlijmd aan de ballastbeton werd gefixeerd. Hierop werd 5 cm zoab en 4 cm dab asfalt aangebracht. Deze oplossing bleek niet bestand tegen de trillingen t.g.v. het auto- en vrachtverkeer en de ankers lieten los, waardoor de plaat ging vervormen en de asfalt los kwam met daarop gaten in het wegdek. Deze toepassing, die later ook bij de Vlaketunnel was uitgevoerd, is bij groot onderhoud in 2003 (VT) en in 2007 (HT) gesloopt en verwijderd.



Fig 10.2.4 Waterafvoergoot in de ballast betonvloer Fig 10.2.5 Staalplaat op goot dilatatievoeg

Voor voeg 4bc werd er voor gekozen om de ballastbeton vanaf de buitenwand tot aan het langsriool in de middenwand tot aan de constructiebeton t.p.v. de dilatatievoeg te slopen en op deze voeg een verzinkt stalen U 300 profiel aan te brengen en daarna in te betonneren. Een dergelijke constructie moet in den droge worden uitgevoerd, maar hoe doe je dat met zoveel water, te meer als een voeg open wordt gemaakt?. De oplossing was om vanaf het wegdekniveau een gatdiameter 150 mm te boren tot in de voeg in de constructiebeton boven de rubbermetaal voegstrook. In het boorgat werd een zuigslang 100 mm van een vacuümpomp aangebracht en na starten slurpte deze al het lekwater weg. Het U 300 kon in den droge worden aangebracht en worden aangestort. Het U 300 profiel loopt door over de gehele buisbreedte aan het langsriool middenwand.



*Fig 10.2.6 Voeg 4bc westbuis  
Om het U 300 profiel op de dilatatievoeg aan te kunnen brengen is de ballastbeton tot aan de constructievloer gesloopt. De betongoot werd droog gehouden door een vacuümpomp in een geboord gat in de voeg aan te brengen.*

***De gekozen oplossing van staalplaten met draadeinden over de sparing van alle dilatatievoegen in de westbuis Heinenoordtunnel was achteraf te licht ontworpen en te kwetsbaar door de dynamische wielbelastingen en trillingen van het auto-, c.q. vrachtverkeer. Deze constructie is verwijderd bij een onderhoudsbeurt in 2007. De uitvoering met het U 300 profiel is robuust en is in de ballastbeton gemaakt. De grote hoeveelheid lekwater loopt nog ongestoord naar de middenpomp waterkelder. Door de grote waterstroom (4 a 5 m<sup>3</sup>/ uur) zal deze goot niet verstopen door bijvoorbeeld uitvlokking ijzeroxide dat in het lekwater voorkomt. Bij het groot onderhoud in 2007 zijn de staalstrippen ter plaatse van de dilatatievoegen verwijderd en zijn stalen voegprofielen aangebracht.***

### 10.3 KILTUNNEL

In 2001 rapporteerde een reinigingsbedrijf dat er wel veel zand uit de zandvang van de pompkelder was gezogen, ca. 7 m<sup>3</sup> zand. Dit deed de alarmbellen rinkelen. Een onderzoek naar de herkomst leidde naar een groot lek in een dilatatievoeg in het afgezonken tunnelelement 2 voeg cd. Een onderzoeksteam werd ingesteld (BD-TNO-Geodelft)



Fig 10.3.1 Inspectie team onderzoekt schade dilatatievoeg Fig 10.3.2 Scheur in voeg 2cd buitenwand zuidbuis

Conclusie was zetting van de tunnelmoten, hetgeen was te herleiden tot gewijzigde bovenbelasting door verplaatsen van de kanteldijken als gevolg van de kanalisering van de rivier de Dordtse Kil. De deformatie leidde tot een tandbreuk in de dilatatievoeg, waardoor lekkage en zandtransport buiten om het rubberprofiel is opgetreden.

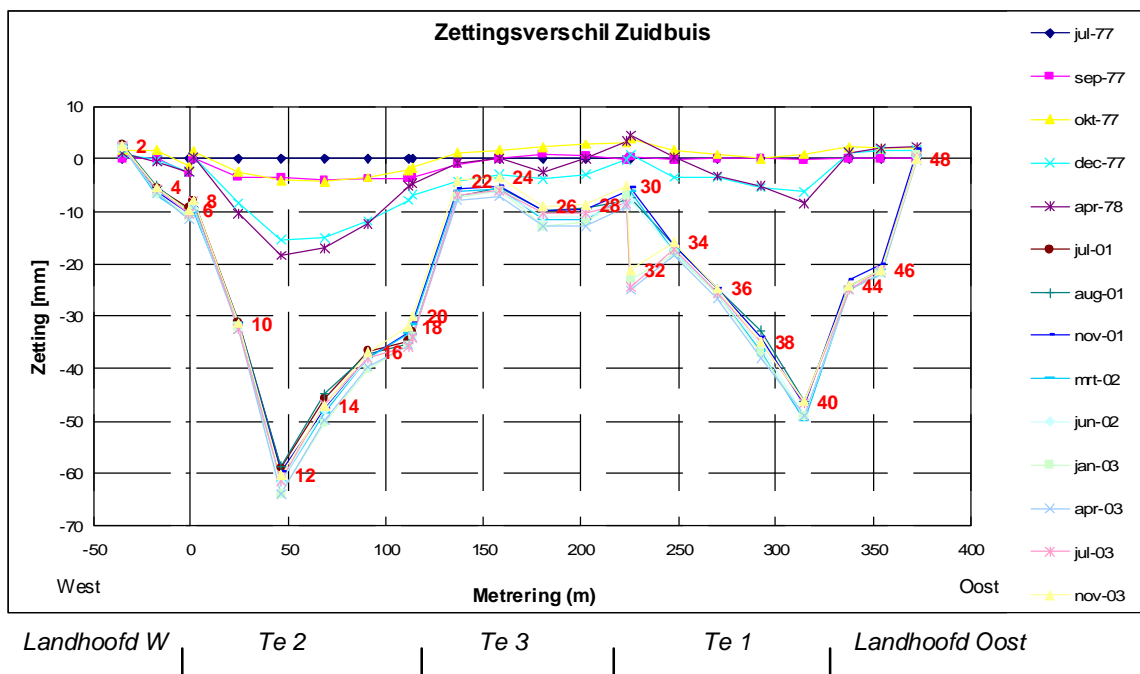


Fig 10.3.3 Zettingsgrafiek mootvoegen vanaf de bouwfase 1977 tot 2003, voeg 2cd (50m) en 1ab (315 m)

De wapening van vertandingen bij tunnels, die toen werden gebouwd was gebaseerd op praktische krimpwapening, diameter 12 en 16 mm. Maar als een tunnelelement oplegkrachten van een naast gelegen tunnelelement over moet nemen, zijn deze krachten zo groot dat daar eigenlijk niet tegen te wapenen valt. De lijnbelasting veroorzaakt een tandbreuk. Hoe groot deze is, weten we niet.



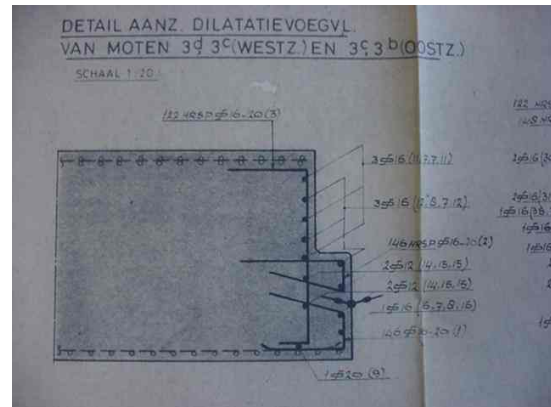
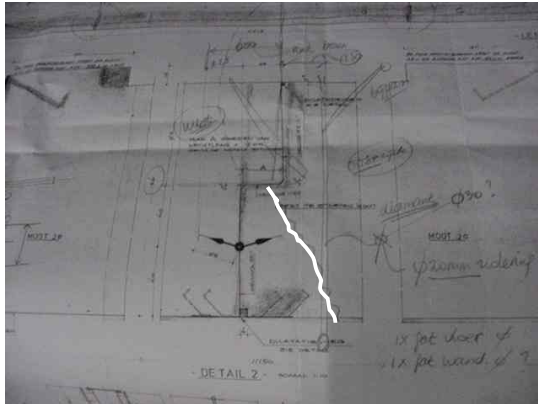


Fig 10.3.4 Tekening vertanding in dilatatievoeg met breuklijn (wit) in tand      Fig 10.3.5 De wapening van een vertanding dilatatievoeg

Naar aanleiding van deze ervaring is de wapening bij de nieuw gebouwde tunnels na 2002 ter plaatse van de vertandingen aanzienlijk verzwaaard.

De normale zetting van ca 20 mm is bij voeg 2cd en 1 ab ver overschreden tot 60, respectievelijk 40 mm. In de eerste jaren na 2002 is elke 3 maanden een zettingsmeting uitgevoerd. Omdat geen significante verschillen zijn geconstateerd wordt dit nu jaarlijks gedaan. Voeg 1ab blijft verdacht. Er zijn op de wanden van de voegen stalen meetplaatjes aangebracht om afwijkingen in de voegbreedte nauwkeuriger te kunnen waarnemen.

Na vaststelling van de mogelijke lek mechanismen moest het zandlek en waterlek worden gestopt, omreden dat anders de fundering van de tunnelmoten wordt ondergraven.

Het maken van een plan van aanpak heeft geleid tot een nieuwe boor- en injectietechniek om lekke dilatatie voegen te dichten.

Het was tot dan toe “verboden/ not done” om doorgaande gaten in tunnelwanden of vloeren te boren. Maar om het lek te dichten, werd hiervoor met een geselecteerde aannemer / injectiebedrijf een methode bedacht.

De tunnelvloer met daarop ballast beton is ca. 200 cm dik. Het voordeel van de Kiltunnel was dat de werkzaamheden op de langzaam verkeerstrook achter barriers kon plaats vinden.

Op diverse locaties is met diamant boorstangen lang 3 meter, diameter 32 mm geboord naar de dilatatievoeg, boven en onder het rubber metaalprofiel en op de vertanding. Het resultaat was dat de lekweg niet via de rubber metaal voegstrook liep, maar buiten om.

Toen werden we geconfronteerd met het feit dat er een breuk in de vertanding moest zitten. Daarop is geboord onder een hoek door de buitenwand heen naast de dilatatievoeg en dit was het schot in de roos. Contact in de tunnel met de lekweg die het water volgde werd gemaakt door eerst met gekleurd water te injecteren.

Het lekwaterdebiet uit de dilatatievoeg was groot en normaal injecteren zou direct uitspoeling geven van de injectievloeistof. Daarom is eerst geïnjecteerd met een eencellige polyurethaan, waar aan polyester schuimvlokken waren toegevoegd. Met een speciale injectiepomp, die ook de schuimvlokken mee verpompt, wordt de uitspoeling van de injectievloeistof verminderd, wordt de waterstroom geremd en wordt de lekweg of het leggat kleiner gemaakt of zelfs al gedicht. Daarna is nageïnjecteerd met een 2 componenten polyurethaan omdat een eencellige polyurethaan niet waterdicht is.



*Fig 10.3.6  
Inspectie van het grote  
waterlek dat uit de  
dilatatievoeg rechtstreeks in  
het rioolstelsel stroomt (2002)*



*Fig 10.3.7  
Voor het eerst aanboren met  
diamantboorkop van de dilatatievoeg  
onder het rubber profiel en aanboren  
vertanding om de lekweg op te  
sporen.*



*Fig 10.3.8  
Boor unit met standaard met  
diamant boorkop onder vooraf  
berekende helling start  
doorboren van de buitenwand  
naar onderkant vloermoot.*



*Fig 10.3.9  
Het lekwater uit de dilatatievoeg  
stroomt via een put in het rioolstelsel  
en was daardoor niet direct zichtbaar.  
Na aanboren lekweg via de onderzijde  
buitenwand en gekleurd water  
injecteren werd de lekweg  
aangetoond. Het groene water spoelt  
in het riool weg (2002).*

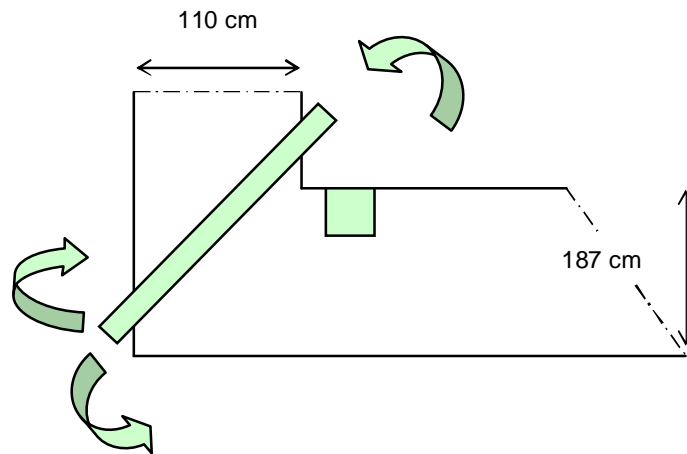


Fig 10.3.10  
Schematische weergave boor en injectiemethode. Via de buitenwand wordt naar de onderkant vloer geboord ca. 10 cm naast de dilatatievoeg. Daarna wordt geïnjecteerd met gekleurd water. Als dit terugstroomt in de goot hebben we verbinding met de lekweg door het beton.



Fig 10.3.11  
De injectieslag is gekoppeld aan de packer in de buitenwand. Lekwater stroomt uit dilatatievoeg met injectievloeistof in de rioolput. Door het slaan van houten wiggen in de voeg wordt de waterstroom verder geremd om zoveel mogelijk de uitspoeling te verhinderen.



Fig 10.3.12  
Staalstrippen zijn boven en onder over de dilatatievoeg gemonteerd en worden regelmatig ingemeten met een schuifmaat om de voegbreedte nauwkeurig te kunnen volgen.

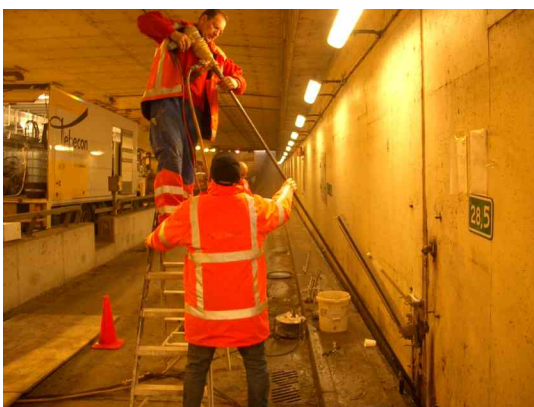
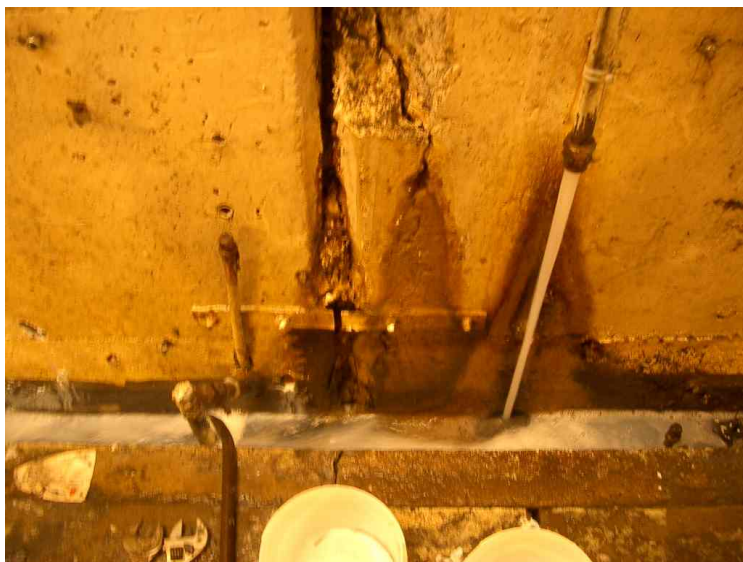


Fig 10.3.13  
Boring en herinjectie met MC GL95TX uitgevoerd in 2007 door de buitenwand. Om te voorkomen dat het lekwater naar het plafond zou stijgen door de overdruk is de lekwaterafvoer niet "geknepen". De mogelijkheid bestond dat door de grote stroomsnelheid uit de gemonteerde buis op de tunnelwand het injectie materiaal te veel zou uitspoelen om te kunnen reageren. De kans van slagen was daardoor 50 %.

Thans is de situatie nog zo dat er lekwater uit de voeg komt en dat deze een zeer geringe hoeveelheid fijn zand/ slib meevoert. Overwogen wordt om in 2008 een hernieuwde injectie te doen om het lek, c.q. zandtransport geheel te doen stoppen, waarbij de waterafvoer wel “geknepen” zal worden om de uitspoeling tegen te gaan.



*Fig 10.3.14  
Rechts stroomt uit de buis op de buitenwand het lekwater uit de vertanding van de voeg naar buiten met een witte kleurstof ten tijde van de her-injectie met MC GL 95 TX. De beton in de voeg is afgebrokkeld. De diverse packers zijn van eerdere boorgaten en injecties. De stalen meetplaatjes onder aan de wand worden periodiek ingemeten om de voegbreedte nauwkeurig te kunnen bepalen. Het water loopt via een goot langs het voetpad weg naar de middenpomp waterkelder.*

***De lekkage en zandlek in de dilatatievoeg bij de Kiltunnel is een gevolg van grote zettingen en grote krachten op de vertanding in de vloer.. De wapening van de vertanding is hierop niet berekend en is er een tandbreuk opgetreden.***

***Om het lek op te sporen en te dichten zijn voor het eerst in de tunnelbouw innovatieve boor- en injectiemethoden uitgevoerd, die het water en zandlek grotendeels hebben doen stoppen. Het was “not done” om gaten in een tunnelwand en of tunnelvloer te boren. Elk gat is immers een kans op lekkage. Voor de Kiltunnel was er geen andere oplossing om toch deze methode uit te voeren.***

***Een geringe lekwaterstroom met praktisch geen zand/slib is nog een uitdaging om ook dit te stoppen.***

***De toegepaste boor- en injectiemethode hebben geleid tot een innovatieve en effectieve manier om lekkages bij andere tunnels in dilatatievoegen te dichten.***

## 10.4 AQUADUCT RINGVAART

In mei 2002 was een lekke dilatatievoeg inrit Aquaduct Ringvaart (A4) geïnjecteerd op de traditionele wijze door aanboren metaalstrook en injecteren. In oktober 2002 trad wederom ter plaatse van deze dilatatievoeg op het wegdek lekkage op. Op basis van de ervaring opgedaan bij de Kiltunnel is toen voorgesteld om de nieuwe boor- en injectiemethode toe te passen.

Bij deze boormethode wordt in principe een enkel gat met een diamantboor geboord onder de rubber metaal voegstrook in de dilatatievoeg. Principe is om in de waterstroom het injectiemateriaal te laten meevoeren naar de lekplek en deze vervolgens af te sluiten. Het aanboren van de voeg is onder 60 graden. Hiervoor is nodig om over de matentekening van de betreffende voeg te beschikken om de maatvoering uit te rekenen.

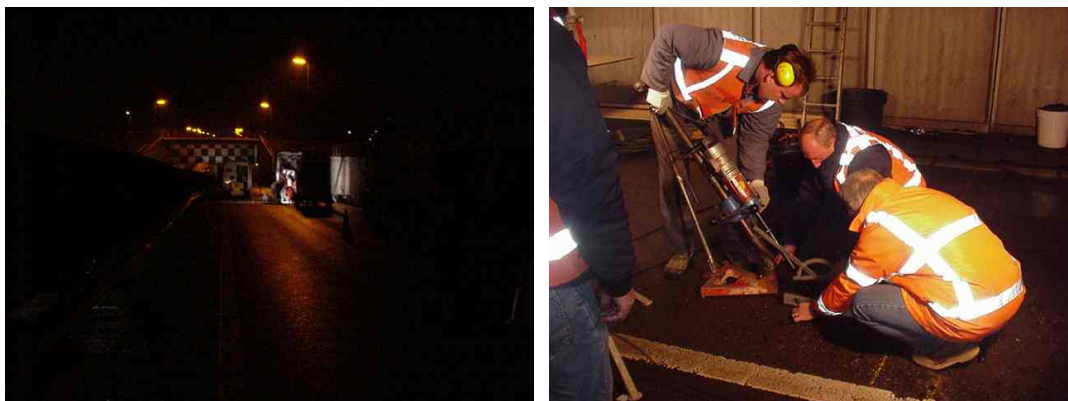


Fig 10.4.1-10.4.2 Ringvaart aquaduct bij nacht, verkeer gestremd. Uitzetten boormaatvoering.

Om lekplekken in de voeg te onderkennen is eerst lucht in het boorgat geblazen. Lucht is de dunste fractie van alle stoffen. Luchtbellen (schuim) geeft aan waar mogelijke lekplekken zich onder het asfalt bevinden.



Fig 10.4.3  
Na inblazen van lucht is eerst geïnjecteerd met een eencellige polyurethaan en daarna met een 2 componenten polyurethaan voor een definitieve waterdichting.

De keus van het injectiemateriaal lag bij het injectiebedrijf. Bij het injecteren van deze polyurethaan combinatie bleek dat de gehele ruimte in de dilatatievoeg (enkele mm) tussen betonwerkvloer en de rubber voegstrook in de vloer tot in de wanden werd gevuld. Het water gutste uit de buitenwanden van het aquaduct. Daarop is gestopt met injecteren. Het lek was ook dicht en heeft zich niet meer voorgedaan.

***De techniek en keuze van aanboren van de dilatatievoeg bij het Aquaduct Ringvaart onder de rubberslab en het injecteren met twee soorten polyurethaan was gebaseerd op de ervaringen opgedaan bij de Kiltunnel. Nieuw was het aanboren van de dilatatievoeg onder het rubbermetaal voegprofiel, het controleren van de lekweg met lucht en daarna de gehele voeg tot en met de wanden injecteren met twee typen polyurethanen, waarna de lekkage stopte. Het injectiemateriaal stuwde het water in de wand de dilatatievoeg uit de tunnelbak in.***

## 10.5 DRECHTTUNNEL



Fig 10.5.1 Aanzicht Drechtunnel Dordrecht



Fig 10.5.2 10 dec 2002 Oostbuis gesloten, ijs op de weg

Op 10 december 2002 komt er een melding dat de oostbuis 1-2 gesloten is voor alle autoverkeer vanwege ijs op de weg. Een dilatatievoeg in het dak van tunnelelement 1 lekt. Oproep om dit lek met spoed te dichten. Na inspectie blijkt dat deze voeg eerder lekte en dat door injecteren het water zich alleen maar verspreid heeft over de vertanding naar de oostbuis. Een aannemer heeft bij de eerste constatering een houten beplanking onder de voeg tegen het dak aangebracht om het lekwater naar de zijwanden af te voeren. En bij vorst gebeurt dan dit.

Het is bekend dat bij lage temperaturen krimp optreedt en dat voegen breder open gaan staan. De kans op lekkage is dan ook in de winter het grootst, zeker als de kou enkele dagen gaat aanhouden.

Op basis van ervaringen met de Kiltunnel en het Aquaduct Ringvaart is besloten de nieuwe boorteknik toe te passen. Aan het injectiemateriaal zijn eisen gesteld over reversibiliteit (krimpen en uitzetting). Uit enkele voorgaande testen bleek n.l. dat de toegepaste polyurethanen in droge toestand krimpen.

Na het opstellen van de eisen injectievloeistof is in overleg met de uitvoeringsbegeleider van MC Bouwchemie gekozen voor een polyacrylaat –rubber injectievloeistof, MC inject GL-95 TX, data zie bijlage 16.

De tijd werd benut om de maatvoering voor te bereiden, materiaal en steigers aan te voeren. De breedte van de dilatatievoeg was niet te bepalen. Zettinggegevens waren op dat moment niet bekend. 's Nachts moest de uitvoering gebeuren, want de RWS wilde de tunnel de volgende morgen weer open hebben.

Ondanks de vorst van 4 á 5 graden C zijn met een diamantboor (en anti vries) twee gaten naar de dilatatievoeg boven het rubberprofiel in de buurt van het lek geboord en zijn de boorgaten afgedicht met een packer tegen de waterdruk van ca. 13 m. Het tweede boorgat was bedoeld om een stop te maken in de dilatatievoeg. Daarna is de witte component van het injectiemateriaal als kleurstof in de voeg gepompt en na enkele minuten was contact gekregen met de lekweg. Deze tijd wordt gemeten om de dosering van de reactiecomponent, zout, te bepalen.

Na aanmaken en mengen van de vijf componenten van de injectievloeistof in twee vaten wordt de vloeistof via het injectiepistool en de packer met een "twee componenten" pomp onder lage druk verpompt. Een twee componenten pomp zuigt tegelijk de injectievloeistof uit de twee vaten op. Na enige tijd (minuten) druipt de witte nog vloeibare latex overal uit de dilatatievoeg en houdt het druppelen op. Bij controle bleek zelfs de injectievloeistof over het oostelijke tunnelkanaal in de andere buis oost 3-4 uit het dak te lopen. Het was 3 uur in de nacht en de tunnelbuis kon op tijd open voor het verkeer.

Tot nu toe is er geen lekkage meer geconstateerd op deze voeg.



Fig 10.5.3 Bevroren lekwater over houten bekisting



Fig 10.5.4 Opbouw steiger oostbuis



Fig 10.5.5 Aanboren dilatatievoeg boven rubberprofiel



Fig 10.5.6 Menging injectiecomponenten



Fig 10.5.7 Afsluitbare packer voor boorgat 40 mm



Fig 10.5.8 De injectievloeistof druipt overal uit de voeg op het wegdek

**De noodoproep Drechtunnel kon direct beantwoord worden door de recentelijk opgedane boorervaringen. Een nieuwe techniek waarbij twee gaten worden geboord, diameter 32 / 40 mm onder een hoek van 30 gr. in het dak naar de dilatatievoeg boven het rubberprofiel aan de waterzijde. Vervolgens te checken of er een verbinding is met de lekweg (gekleurd water injecteren) en dan injecteren. De keus van de polyacrylaat-rubber injectievloeistof bleek een juiste keus te zijn en wordt nu in dergelijke situaties toegepast. Daarna zijn controle proeven uitgevoerd op de MC GL 95 TX om de reversibiliteit te testen (krimpen en zwellen) De lekkage werd in één nacht gedicht. Het retour water uit de dilatatievoeg was schoon en bevatte geen zand of ander bodemmateriaal. Dit komt mede omdat er een betonschil op het dak ligt.**

### 10.5.1 GESLOTEN DEEL TOERIT

De betonvloeren in de gesloten toeritten zijn op staal (zand) gefundeerd. De voegen tussen de betonmoten zijn schijnvoegen, dat wil zeggen dat de vloeren na het betonstorten zijn ingezaagd. Er is geen rubbervoegstrook ingebetonneerd om als waterdichting te fungeren. In de middentunnel kanalen zijn pompen geïnstalleerd om het water niveau onder deze betonvloeren te houden. In de oostbuis 3 & 4 Zwijndrechtse zijde is er wateruittreiding uit een schijnvoeg. Als oplossing voor dit lekwater is gekozen om dit via de voeg direct af te voeren naar het langsriool. Daarvoor is de schijnvoeg ca. 2 cm breed en ca. 15 cm diep ingezaagd, waarna een rvs staalprofiel is aangebracht, waarover heen asfaltpapier met een één cm zilverzand laagje. Vervolgens is de voeg aangegoten met een asfaltbitumen "Carifalt". Er is niet gekozen voor injecteren vanwege het grote risico dat het lekwater uit de andere schijnvoegen gaat stromen.



Fig. 10.5.9-10-11 Inzagen schijnvoeg met dubbele diamantzaag, plaatsen rvs afdekprofiel en bezanden en aangieten met een rubber bitumen "Carifalt"

***Vanwege het risico dat lekwater zich verspreidt via andere schijnvoegen, die allen geen metalen rubber voegstrook hebben, is gekozen voor een gootafvoer in de lekke schijnvoeg. Het lekwater wordt direct afgevoerd op het bestaande riool systeem.***

### 10.5.2 TUNNELDAK MET IBO

In het tunneldak van de oostbuis 1&2 hebben zich grote lekplekken afgetekend op de hittewerende pleisterlaag. Ter plaatste van tunnelelement 1 lekte deze plek nog aanzienlijk. Het lekwater liep over de tegelwand en barrier direct in de verholen afvoergoot. Voor het verkeer leverde dit echter geen gevaar op.

Onderzoek op basis van de maaktekeningen naar deze lekplekken in het dak leerde dat het hier geen dilatatievoeg betrof en gaf aan dat daar een stalen omranding (IBO) was ingebetonneerd. Op deze IBO heeft de toegangschacht gestaan die gebruikt is tijdens het afzinkproces van de tunnelelementen. Na het afzinken wordt de onderkant van de buis (IBO) dichtgelast. De buis wordt gevuld met grind. Na plaatsen van een stalen deksel wordt het grind geïnjecteerd. Na het verwijderen van de hittewerende pleisterlaag ter plaatse van de wateruittreiding bleek dat het water uit de niet geïnjecteerd injectiepijpen stroomde.



Fig 10.5.9-10-11 Lekwater tekent zich af op dak, komt uit injectiebuisen toegangschacht ibo en na injecteren met polyurethaan (Webac 1420) was de lekkage opgeheven.

***In een tunnelvloer en/ of dak worden doorvoeren ingebetonneerd, zoals bijv. onderspoelpunten, sondeerpunten, toegangschachten, hdpe buizen. Deze kunnen aanleiding geven tot lekkages. Tekeningenonderzoek moet uitwijzen waar wat is ingebetonneerd.***



## 10.6 NOORDTUNNEL

Bij de Noordtunnel (Alblasserdam) bestond al enige tijd een bekend lek in een dilatatievoeg van tunnelelement 4. Er was al een discussie gaande hoe dit te repareren. De gedachte was om een rvs afvoergoot te maken tegen het dak om het lekwater af te voeren. Gezien het resultaat bij de Drechttunnel was de opdracht om ook direct de lekken in de Noordtunnel aan te pakken. De lekplekken veroorzaakten ijspegels, die regelmatig door de wegbeheerders moesten worden afgestoken om gevaar voor het autoverkeer te voorkomen. De uitvoering is onder dezelfde omstandigheden als bij de Drechttunnel uitgevoerd en het resultaat was gelijk. In één nacht was de voeg dicht.



Fig 10.6.1  
Situatie zuidbuis Noordtunnel.  
Over de gehele breedte lag  
lekwater op het wegdek.

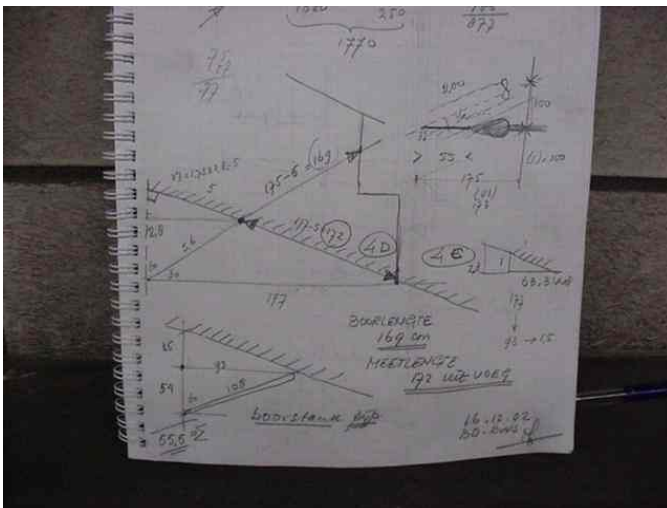


Fig 10.6.2  
Een belangrijk onderdeel is de  
maatvoering van het dak of een  
vloer. Hoe zijn de afmetingen en  
vooral welke richting heeft de  
vertanding. Er wordt gemeten  
van uit de zichtbare voeg in het  
tunneldak, er wordt rekening  
gehouden met de dikte van de  
brandwerende bekleding en de  
boortolerantie bij het rubber  
profiel W 9Ui wordt  
gecontroleerd.



Fig 10.6.3  
Het boorframe wordt opgehangen  
aan het dak, het boorpunt uit de  
voeg aangegeven en de boorhoek  
ingesteld. De maat in de breedte  
richting buis moet in de buurt van  
het lek zitten.  
Tijdens het boren controle of de  
boorhoek niet verloopt.



Fig 10.6.4 De dilatatievoeg is aangeboord en stroomt het water uit het gat en uit de voeg boven het rubberprofiel. De beton boorkernen worden gecontroleerd.



Fig 10.6.5 De staalplaat-rubber knobbel van de W9Ui is doorboord. De laatste boorkern wordt gecontroleerd op het platte vlak van de verticale dilatatievoeg!



Fig 10.6.6

MC GL-95TX injectie

Tijdens het injecteren stroomt de vloeistof uit alle openingen van de dilatatievoeg en wordt na enkele minuten stroperig en stopt de lekkage. De mors wordt op een zeil opgevangen om het schoonmaken van het wegdek te voorkomen. Na deze injectie is geen lekkage meer geconstateerd.

**De boor- en injectietechniek bij de Noordtunnel, om de lekkage in het dak van een dilatatievoeg in tunnelement 4 te dicht, waren gebaseerd op de ervaringen opgedaan bij de Drechtunnel. De technieken zijn met succes uitgevoerd. Ook hier was in één nacht het lek dicht! Bij de Noordtunnel was het leereffect om de juiste moottekeningen te vinden en om de juiste tandrichting te bepalen. Van groot belang bleek om aan de weet te komen de voegnummering en het nummer van de tunnelmoot. Een controle hierop bleek om de nummers in de wanden van het middentunnel kanaal op te zoeken, die staan er sinds de bouw op aangetekend.**

**Bij de Noordtunnel was de dilatatievoeg aan de waterzijde tussen het rubberprofiel en bovenkant dak enkele mm wijd, er kwam schoon water uit de voeg, er was geen vuiltoetreding van zand of ander bodemmateriaal uit de voeg. Het water uit de dilatatievoeg bij het uittrekken van de boorbuis was schoon. Hoe belangrijk dit was bleek later bij de Calandtunnel.**

## 10.7 VLAKETUNNEL

De Vlaketunnel ligt in de route A 59 , Bergen op Zoom naar Goes. Een dilatatievoeg in de betonvloer noordbaan oostelijke inrit lekte te veel water op het wegdek. De voegbreedte is in de loop der tijd (35 jaar) verwijd van 0 naar 25 mm. De rubbermetaal voegstrook is eerder op een traditionele wijze geïnjecteerd door het aanboren van de staalplaat en een injectie h.o.h. 50 cm met een polyurethaan. Daarna heeft de lekkage zich weer voorgedaan in dezelfde dilatatievoeg op de zuidbaan na het injecteren op de noordbaan. In december 2002 is de voeg boven de rubbermetaal voegstrook (W9U) wederom geïnjecteerd met een poreuze polyurethaan, waarbij nog nageïnjecteerd moest worden. Het lek is toen gestopt, maar lekte daarna weer.

De waterstand buiten de tunnel toerit is toen tijdelijk verlaagd door buiten de toerit een vacuümbemaling toe te passen, waardoor het lekwater is gestopt. De Bouwdienst is gevraagd om advies om de weer nieuw ontstane lekkage op te heffen, waarop de nieuwe boor- en injectiemethode is toegepast. De boortechniek behelsde om onder de rubbermetaal voegstrook in de tunnelvloer de openstaande dilatatievoeg aan te boren. De vloer Vlaketunnel inrit is 70 cm dik en de W9U ligt in het midden van de vloerdikte. De voegkamer onder de W 9U is dus 35 cm hoog. Het injectie raakpunt is 15 cm onder de W9U, en daaronder is dus nog 20 cm speling.

Door de hoogte van 35+15+dikte asfalt (5cm) wordt de boorhoogte voeg ca. 55 cm onder het wegdek en de boorlengte ca. 110 cm (= 2 x 55 cm) De helling van de boorstandaard, 30 graden, wordt gemeten t.o.v. het wegdekniveau. Na het aanboren van de voegkamer stroomt er water uit het boorgat. Vervolgens wordt de packer met de afsluiter in stand open geplaatst, de packer aangedraaid waardoor het rubber uitzet en een waterdichte afsluiting wordt verzekerd. Vervolgens wordt de afsluiter dicht gedraaid. Op de afsluiter wordt d.m.v. schroefdraad een injectiepistool aangesloten. Vervolgens wordt eerst met gekleurd water geïnjecteerd om te checken of er contact is met de lekweg, ter voorkoming van onnodig injecteren. Zodra gekleurd water zichtbaar wordt en de tijd is gemeten, kan de zoutdosering van de injectievloeistof worden bepaald en gestart worden met injecteren. De injectievloeistof, MC GL 95 TX, bestaat uit vijf componenten en bestaat na samenvoegen uit 2 hoofdcomponenten. Geïnjecteerd wordt met een twee componenten pomp. De twee hoofdcomponenten worden pas bij het injectiepunt samengevoegd via het injectiepistool, waarna de reactietijd van de vloeistof pas ingaat. De reactietijd is door de toevoeging van de zoutcomponent instelbaar. Gekozen wordt voor een zodanige reactietijd waarin de lekgaten kunnen worden bereikt en uitspoeling door het water zo veel mogelijk wordt voorkomen. Met de twee componenten luchtpomp wordt ook het gekleurde water geïnjecteerd. Er zijn daarna meerdere boringen en injecties uitgevoerd op deze voeg (2004, 2006). Eerst op de noordbaan en toen op de zuidbaan. Op zich was elke dichting geslaagd, maar de lekkages vertoonden zich weer op andere plekken op het wegdek. Achteraf bleek dat de dilatatievoeg zo vervuild was en op diverse plekken er geen homogene beton rondom het rubberprofiel aanwezig was.



Fig 10.7.1  
Het aanboren van de dilatatievoeg in de vloer onder het rubberprofiel, diameter 32 mm, diep ca. 80 cm.



*Fig 10.7.2  
Nadat de boorbuis uit het boorgat is getrokken laten we het vuile water uit de dilatatievoeg wegstromen. Door de water aanvoer wordt de voeg schoongespoeld.*



*Fig 10.7.3  
Zodra schoon water uit het boorgat komt, kan de packer worden geplaatst om het boorgat te dichten en kan gestart worden met de kleurstof injectie. Veelal wordt de witte component van de MC injectievloeistof gebruikt.*

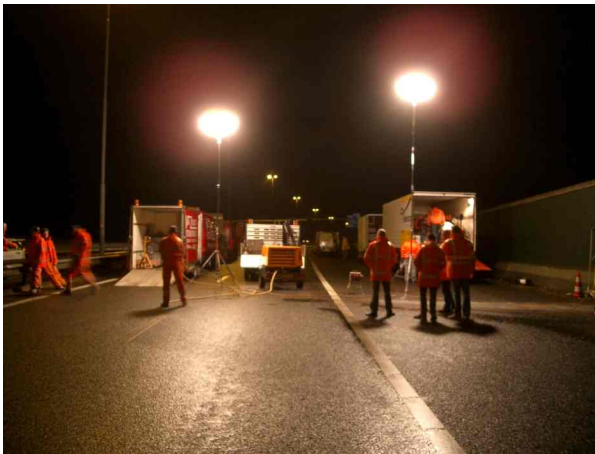


*Fig 10.7.4 Plaatsen injectiepistool op packer.*



*Fig 10.7.5  
Vlake tunnel  
Injecteren op de zuidbaan waarop ook een gedeelte van de gootsparing in de dilatatievoeg van de vloer is te zien. De injectievloeistof MC is wit van kleur (latex) en stroomt zowel uit de sparing onder de rijbaan als uit het asfalt.*

Het is een bekend gegeven dat als een lek is gestopt het water zich opnieuw een weg zoekt naar de zwakste plek. En ook hier was dat het geval. Door vervuiling in de dilatatievoeg kon het injectiemateriaal niet overal komen, ondanks de zeer lage viscositeit. Bij een vorige reparatie was een rvs rondvormig afdekprofiel in de dilatatievoeg aangebracht, dat later beschadigd en dichtgedrukt werd bij asfalteringswerkzaamheden. Om een definitieve oplossing te verkrijgen is besloten om de dilatatievoeg, breed 25 mm over de gehele tunnelbreedte (2 x 17,00 m) open te maken tot aan het rubberprofiel, te reinigen en als goot te laten werken. In dit geval was dit mogelijk vanwege de geringe diepteligging van het rubberprofiel van 35 cm onder het wegdek. Na reiniging met stalen haken en hoge druklansen kwam er van alles uit, asfaltresten, zand, etc. en er kwamen nog enkele nieuwe lekkages in het zicht. Rekening werd gehouden met spuiters



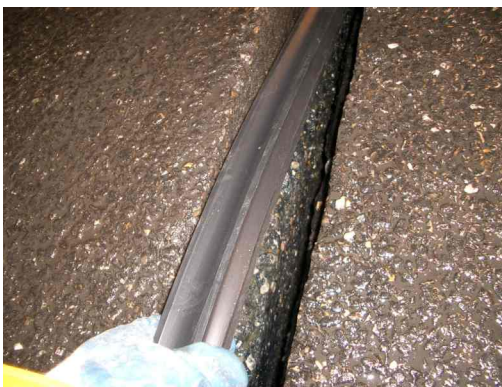
*Fig 10.7.6*

*Een voorwaarde bij 's nachts werken is een goede ruimtelijke verlichting. Nieuw was het plaatsen van twee lichtbollen op statief, een perfecte verlichting gecreëerd, die het werken prettig maakt, maar ook veilig. Er is overal goed zicht.*



*Fig 10.7.7*

*Bij controle van het rubberprofiel in de dilatatievoeg werden nog meer lekken geconstateerd. Op de foto zien we de witte latex uit een lekplek over het rubber voegprofiel stromen, tot dat deze reageert, de lekweg afsluit en het water stopt. Op een andere lekplek is een puntinjectie met polyurethaan uitgevoerd.*



*Fig 10.7.8 Na reinigen open dilatatievoeg en injecteren wordt de voeg afgesloten met een rubber zogeheten Calamiteitenprofiel (Trelleborg-Bakker), waarop een flexibele asfaltvulling wordt aangebracht.*

Op een markante lekplek is een puntinjectie met een polyurethaan uitgevoerd. De andere lekkages zijn gedicht met de boor- en injectiemethode van de latex vloeistof MC GL95 TX. Voor deze operatie over de gehele breedte van de toe/ uitrit waren twee nachten achter elkaar gepland met een volledige afzetting van de tunnelbuizen.

Belangrijk wordt de afwerking en asfalt afdichting van de dilatatievoeg. Op grond van de tunnelervaring is gekozen om een rubber type calamiteitenprofiel in de voeg aan te brengen. Hierop werd een 1 cm laagje zilverzand aangebracht, waarna de bestaande sparing 4x5 cm werd aangevuld met een mastiek asfaltmengsel. Voor de controle op de voeg en om de voeg periodiek te kunnen reinigen is per rijbaan een boorgat met een rvs afdekplaat naar de dilatatievoeg gemaakt. Bij het doorspuiten van de goot wordt ook eventuele aangroei van ijzeroxide door beluchting verwijderd (onderhoud)

In 2006 kwam een melding van een lekke dilatatievoeg in het dak westelijke landhoofd van de noordelijke tunnelbuis. Uit tekeningen bleek de voeg naast de kabelkoker te liggen, waardoor het mogelijk was om de voeg vanuit de kabelkoker aan te boren en vervolgens met succes te injecteren conform de nieuwe methode.

***De dilatatievoeg oost 12-13 was door krimp en uitzetting van de onderheide vloermoten in verloop van 35 jaar verbreed van 0 tot 25 mm. Als gevolg van onvolkomenheden in de betonaansluiting rondom het rubbermetaal voegprofiel deden zich over de gehele tunnelbreedte van de inrit, na (geslaagde) injecties weer nieuwe lekkages voor. Een plan voor een definitieve oplossing werd gemaakt om de dilatatievoeg tot aan het rubberprofiel als goot over de gehele voegbreedte te gebruiken. Nieuw was dat RWS Zeeland een second opinion aanvraag bij een extern ingenieursbureau.***

***Deze kwam tot dezelfde conclusie om de voorgestelde oplossing uit te voeren.***

***De goot is in januari 2007 gerealiseerd.***

***De goot oplossing is op zich niet nieuw, maar in deze omvang niet eerder uitgevoerd.***

***In het onderzoek naar de duurzaamheid van het rubber voegprofiel was er hier de mogelijkheid om uit een buitenwand van de oostelijke uitrit een 35 jaar oud rubbervoeg profiel te boren en te laten beproeven op de eigenschappen, zie 12.10***

## 10.8 Onderdoorgang A5 Schiphol

De onderdoorgang of de verdiepte weg onder een rolbaan van Schiphol in de A5 Schiphol - Haarlem is gebouwd in een bouwkuip met onderwaterbeton.

De betonkoppen van de trekpalen steken ca. 3 cm in de constructievloer.

Ook hier zijn in de bouwfase heel veel scheuren in de vloeren ontstaan, die te maken zouden hebben met een te gering wapeningpercentage en met het hoge cementgehalte in de betonsamenstelling. Ook de stortperiode zomer en winter zullen hierop van invloed zijn geweest. Wat belangrijker is na alle discussies, hoe krijgen we het dicht?

De aannemer heeft de Bouwdienst om advies gevraagd en gezien de kennis en ervaringen opgedaan bij andere tunnels was de voorkeur voor een injectievloeistof op epoxy-polyurethaan basis, de Polymet 150 mpas. De uitvoering is gerealiseerd door een aanbevolen injectiebedrijf. In 2002 zijn alle scheuren geïnjecteerd. Hier deed zich het probleem voor dat steeds nieuwe watervoerende scheuren zich openbaarden. Op zich logisch, het water blijft zoeken.



*Fig 10.8.1  
Onderdoorgang met  
watervoerende scheuren  
in alle vloermoten*



*Fig 10.8.2  
Een grillig verloop van  
scheurvorming in de  
vloermoten.*

*Alle scheuren zijn  
geïnjecteerd met een  
epoxy-polyurethaan  
vloeistof.*

***Een beschrijving van  
deze injectie vloeistof  
wordt gegeven in  
10.11.2  
blz. 48- 49***

***Scheurvorming bij betonvloeren gefundeerd op onderwaterbeton met trekpalen is een bekend verschijnsel. De betonpaal koppen steken 3 cm in de betonvloer en verhinderen de krimp van de verhardende beton, waardoor de inleiding van scheurvorming optreedt. De mate van scheurvorming is afhankelijk van diverse omstandigheden, breedte en dikte van betonvloeren, wapeningpercentage en niet in het minst de toegepaste hoeveelheid cement, die zorgt voor de oplopende temperatuur. Bij een design en build contract bepaalt de aannemer het ontwerp en uitvoering. Tunnelbeton hoort een cementarm mengsel te zijn, doch dat is niet meer altijd het geval. De wijze van aanboren is bekend, zie ook 11.1 blz 59. De keuze van de injectievloeistof was gebaseerd op een duurzame dichting.***

## 10.9 WOENSDRECHT BUISLEIDINGENTUNNEL SPOORDIJK

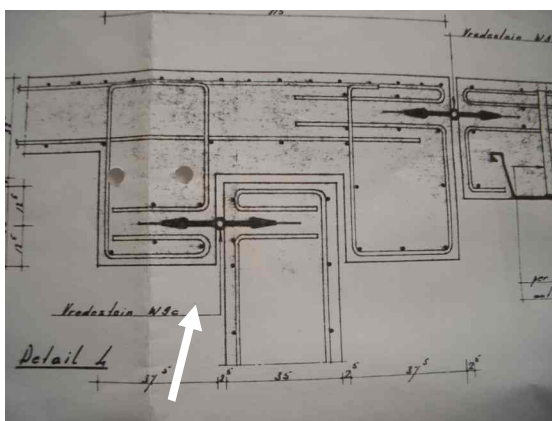
In 2004 kwam er een melding van lekkage in een dilatatievoeg in de zuidelijke toegangskoker / kopschot / prefab buisleidingentunnel onder een spoorlijn bij Woensdrecht.



*Fig 10.9.1  
Een in situ gestorte vierkante toegangskoker. De prefab tunnelementen zijn onder de spoorlijn Bergen op Zoom – Goes ter hoogte van Woensdrecht doorgeperst.  
Het betonnen eindschot zakt mee met de buis.  
Linksonder lekwater afdruk op het eindschot te zien.*

De vierkante toegangskoker is onderheid, de doorgeperste betonsegmenten tunnel onder de spoorlijn niet. In het vierkante betonnen kopschot is de betonbuis ingebetonnd. Zakt de betonbuis, dan zakt het kopschot mee. Inmiddels bedraagt de zakking aan beide zijden 5 cm. In de dilatatievoeg is een rubbermetaal W9CU ingebetonnd. Het rubber heeft nu een vervorming in x,y en z richting van tenminste 5 cm in vloer, wanden en dak!

Als gevolg van de wisselende (hoge) grondwaterstand is t.g.v. de zakking en een lekkage in de zuidelijke dilatatievoeg de toegangskoker onder water komen te staan. Een ca. 10 cm hoge aftekening op de wanden is zichtbaar. Pragmatische oplossingen zijn een muurtje metselen met een pompput of een in een U vorm een Omega rubberprofiel in de hoeken van de vloer en wand aan te brengen.



*Fig 10.9.2  
Wapeningstekening met rubbermetaal voegstrook van kopschot tunnel.  
Een zakking van het kopschot (nu 5 cm) betekent een verticale vervorming in de wanden. De vierkante koker is onderheid. Het voegprofiel (witte pijl) is van de toegangskoker en het andere voegprofiel van een aansluitende vleugelwand / talud spoorlijn.*



*Fig 10.9.3*

*Fig 10.9.3: Hoek (witte pijl) met lekwater aftekening en oer (ijzeroxide) waterstand op de betonwand.*



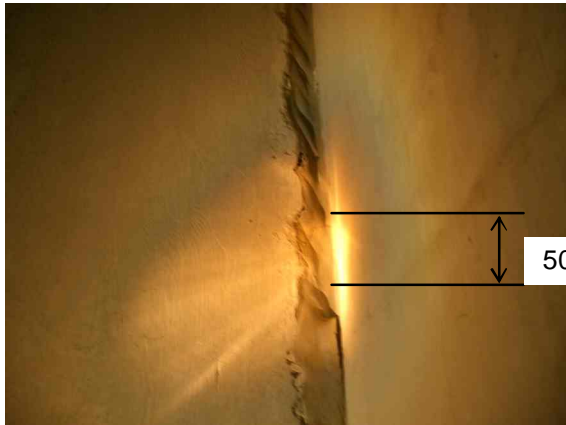


Fig 10.9.4

De zakking van het kopschot geeft ook een vervorming van de verticale voegkit.

Bij een zakking van 50 mm en een nominale voegbreedte van 25 mm is de verlenging  $\Delta l = \sqrt{(50^2 + 25^2)} = 56 - 25 = 31$  mm.  
Toets aan de SLS grafiek < 37 mm

Als de zakking toeneemt tot 10 cm, dan wordt  $\Delta l = 104 - 25 = 79$  mm en is  $\Delta l > 74$  mm, waardoor de veiligheid op inscheuring is gereduceerd tot 1 (ULS grafiek, zie 12.7.2, blz 72)

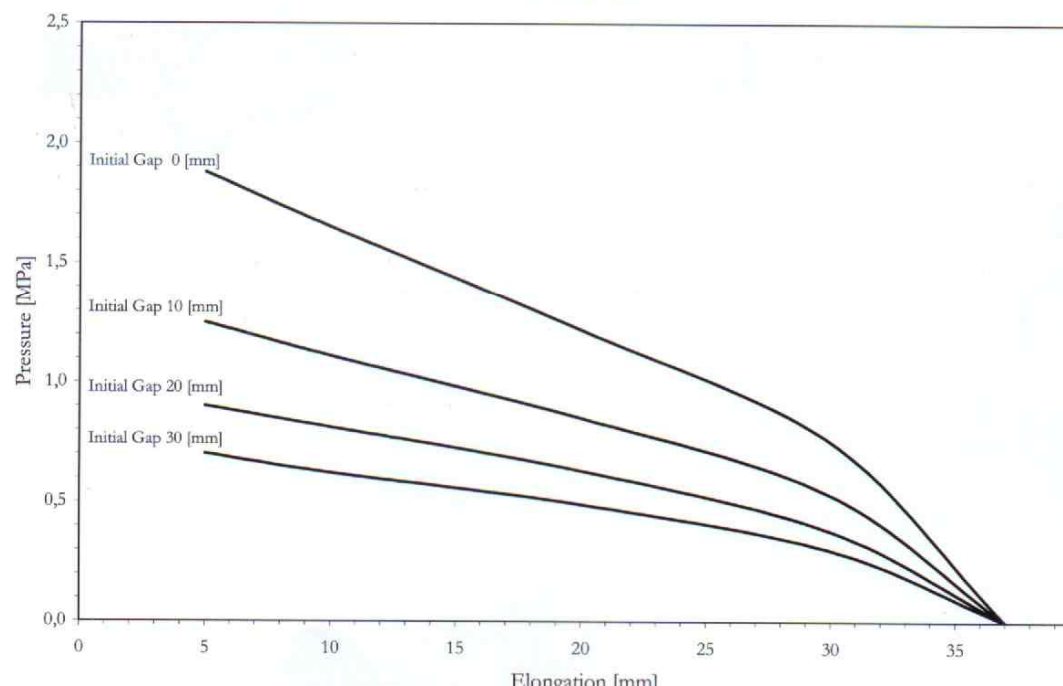
 Application data W9CU & W9CUi  
SLS conditions


Fig 10.9.5 SLS ontwerp grafiek W9C profiel. De maximale ontwerp verlenging is 37mm

In 2007/ 2008 is het plan om een 48" gasleiding door de tunnel aan te leggen, die na aanleg wordt volgepompt met water om de lasvoegen te controleren. Om inzicht te krijgen in de nog te verwachten zettingen is een zettingsonderzoek gedaan door een extern bureau en is een nog te verwachten zettingsprofiel voor de toekomst opgesteld. De uitkomst is dat verdere zetting niet is uit te sluiten.

Met andere woorden het rubberprofiel komt verder onder spanning en behalve in de x, y richting vloer en dak, ook in de z richting in de wanden.

Hoe groot is de kans dat het profiel heel blijft? In deze situatie met geen waterdruk op de tunnel en een enkele maal hoge grondwaterstanden is de schade beperkt.

Als we de SLS ontwerpgrafiek (gebruikstoestand) vertalen naar een ULS (bezwijktoestand) blijkt dat bij een verlenging van > 2 x 37 mm de kans op inscheuren rubberprofiel aanwezig is.

De beheerder heeft daarom uit de mogelijke oplossingen gekozen om een nieuw rubber Omegaprofiel aan de binnenzijde van de koker / kopschot / dilatatievoeg op het beton aan te brengen. Een detailontwerp U vorm Omegaprofiel met een plan van aanpak is hiervoor opgesteld, zie 10.9.1

## 10.9.1 PLAN VAN AANPAK AANBRENGEN OMEGA RUBBERPROFIEL

### SITUATIE

De doorsnede ter plaatse van de (lekke) dilatatievoeg is een vierkant, overgang vierkante koker in een kopschot, waarin de betonbuis is ingebetonneerd. Het kopschot zakt t.o.v. de vierkante betonkoker. De dichting met het nieuwe rubber omegaprofiel is op het betonoppervlak over de dilatatievoeg. Vanwege de ligging van de koker in het maaiveld is een U-vormige afsluiting op de dilatatievoeg voldoende. Nominale dilatatie voegbreedte is 25 mm.

Theoretische breedte onder 3,60 m. De opstaande verticalen (U), links en rechts is 1.50 m.

Vooraf dient controle plaats te hebben op de maatafmeting betonvloer, de vlakheid en dichtheid van het betonoppervlak, waartegen het rubberprofiel Omega moet aansluiten.

Vooraf ook controleren of de betonconstructie droog is.

### KEUZE RUBBER OMEGA PROFIEL

Er wordt uitgegaan van een nog te verwachten zetting van tenminste 5 cm.

Om deze beweging op te kunnen vangen is gekozen voor een Omega rubber profiel, type OS 360-100 ( folder Omega Trelleborg appendix 6) met een R = 10 cm.

Bij de keuze van een straal van 10 cm – 5 cm blijft een reserve van 5 cm over, waarbij ook ruimte over blijft voor de vervorming van het Omega profiel.

Het Omegaprofiel uit één stuk te maken met twee haakse hoeken. De praktische maat bepalen door opmeten maat in het werk!

### VERANKERING RUBBERPROFIEL MET KLEMLIJSTEN

De dichting van het rubberprofiel is door middel van een afklemming op de betonnen ondergrond, middels stalen klemstrippen die door chemische ankers aan het beton worden bevestigd, zie Omega documentatie Trelleborg-Bakker, appendix 7, clamping system.

Chemische ankers M 24 toepassen, h.o.h. 20 cm, lengte te bepalen uit inboorlengte en montagelengte klemlijsten.

Ankers in verzinkte uitvoering. Aannemer komt met een voorstel merk anker en afmetingen.

De boorgaten voor de ankers met een diamantboor maken, waarbij de klemlijsten als boormal worden gebruikt.

De ankers pas plaatsen als het boorgat “droog” is. De voorspankrachten op het anker M24 zijn hoog. Het aanbrengen van de ankers bij een vochtig boorgat wordt ondanks documentatie chemische ankers ontraden.

De ankers worden na plaatsen rubberstrip en klemlijsten aangedraaid als voorspanankers.

De voorspankracht wordt door Trelleborg opgegeven.

Om de relaxatie van het rubber op te vangen dienen de ankers tenminste na 24 uur te worden nagespannen, waarbij de voorspankracht moet worden verhoogd vanwege de wrijving.

Van een te gebruiken momentsleutel behoort een recent ijkbewijs te worden getoond.

### STALEN THERMISCH VERZINKTE KLEMLIJSTEN

De afmeting van de staalprofielen van de klemlijsten conform tekening Trelleborg, appendix 7- OS 360-100.

De klemlijsten voor de bodem en de zijanten, elk uit één (1) stuk maken. Let op ontwerp hoekaansluiting, die moet mogelijk een los gedeelte zijn. Het aandraaien van hoekstukken is een techniek apart!

De lassen van de staalstrippen en rondprofiel aan de klemlijsten dienen hechtlassen te zijn.

De klemlijsten dienen thermisch verzinkt te zijn (laagdikte ca. 80 µm)

## BETONOPPERVLAK

Daar waar de rubber ribbels van het Omegaprofiel de waterdichting moeten verzekeren, moet het betonoppervlak glad, egaal en waterdicht zijn. Vooraf dient een inspectie op deze betonoppervlakken te worden uitgevoerd.

Oneffenheden dienen te worden geëgaliseerd. Oneffenheden, ribbels e.d. mogen niet voorkomen. De dichtheid van het betonoppervlak te optimaliseren d.m.v. een rubber lijmsealer of ongevulkaniseerd rubber, fabrikaat Trelleborg.

## CONTROLE WATERDICHTHEID

Na montage van het Omega profiel en klemlijsten dient de ruimte tussen het Omega profiel en de betonwand te worden gevuld met water. Bij drukverlies het waterniveau aanvullen tot bovenkant Omegaprofiel.

De waterdruk tenminste 24 uur handhaven, waarbij geen wateruittreding onder het rubberprofiel mag optreden. Na de waterdichtheidtest kan het water er al of niet worden uitgepompt.

## BESCHERMING OMEGAPROFIEL

Het horizontale deel van het Omega profiel op de bodem van de vierkante koker dient tegen mechanische beschadigingen te worden beschermd door een voorgezette haaks gebogen rvs dichte staalplaat op de draadeinden van de klemlijsten te monteren.

***De zetting van het betonnen kopschot zal in de toekomst doorgaan en kan als groot worden beschouwd. Het rubbermetaal voegprofiel moet daardoor grote vervormingen in x,y,z richting ondergaan, waarbij de kans op inscheuren aan het rubberprofiel reëel gaat worden.***

***Gelukkig ligt deze tunnel onder een spoordijk en ligt de koker niet diep t.o.v. een wisselende hoge grondwaterstand.***

***Uit een risicoanalyse met mogelijke oplossingen volgt dat een nieuw rubber Omega profiel de voorkeur heeft. De tunnelbeheerder heeft gekozen om de Omega oplossing ook uit te gaan voeren, wat in dit geval eenvoudig is te realiseren. Voor de uitvoering hiervan is een Plan van Aanpak opgesteld.***

***Dat relatief grote zettingen in x, y en z richtingen in de praktijk voorkomen geeft juist reden om na te gaan hoe het na jaren zit met zettingen, voegbreedten en de duurzaamheid van het toegepaste rubberprofiel.***

***Ook hier geldt: meten is weten!***

## 10.10 CALANDTUNNEL

Tijdens de afbouw van de zinktunnel in 2003 ontstond een lekkage in een dilatatievoeg in het dak van de noordelijke tunnelbuis. Deze is conform de nieuwe uitvoeringstechniek aangeboord en geïnjecteerd en gedicht.



*Fig 10.10.1 Het gat is geboord door de hittewerende beplating Promatec en het injectiepistool van de twee componentenpomp is op de packer in het boorgat aangesloten. In het dak naast de dilatatievoeg zijn een aantal lekplekken nog zichtbaar. De hoek naar de voeg is onder 30 graden boven het rubberprofiel geboord, rekening houdend met de richting van de veranding in het dak. Na het gereed maken van het mengen van de injectievloeistof met de zoutcomponent kan worden geïnjecteerd. Het lekwater voert de injectievloeistof mee naar alle lekplekken.*

Na de ingebruikname in 2006 werd de tunnelbeheerder door een weggebruiker geattendeerd op een lek in het dak van de zuidbuis. Een vervolgactie is opgezet om dit lek te dichten. De bijzonderheid die bij dit lek optrad was dat de dilatatievoeg boven het rubbermetaal profiel vol was gelopen met zand. Een wanneer kom je daar achter, wat betekent dit en hoe is de verdere aanpak?



*Fig 10.10.2 Lek in dak bij dilatatievoeg*



*Fig 10.10.3 Aanboren dilatatievoeg in dak*



Fig 10.10.4 Controle maatvoering op de tegelwand



Fig 10.10.5 Zand met water spuit uit het boorgat, uit de dilatatievoeg !



Fig 10.10.6 Injecteren water met kleurstof. Eerst een licht rose verkleuring. Fig 10.10.7 Daarna een donkerder rode kleur. Er is verbinding met de lekweg door de dilatatievoeg. Bepalen uitstroomtijd gekleurd water voor de bepaling van de zoutdosering injectievloeistof MC.

Na het aanboren van het gat en het verwijderen van de boorstang verwachtten we wel een waterstraal, maar geen zand. En dat was wel het geval. In een zand waterval kan geen packer worden geplaatst, dus nadat het water "schoon" was en de packer was geplaatst kon de injectiefase met gekleurd water starten. Ondanks het "moeizame" verkregen contact met het lekwater kleurde dit (te) langzaam rood.

Een eerste keer injecteren geen resultaat. De toch dunne injectievloeistof kwam niet uit de voeg en werd als het ware door het zand tegen gehouden of ging via een andere weg naar buiten de voeg. Dus toch een tweede keer aanboren. Besloten is de lekomgeving te compartimenteren door meerdere gaten te boren. En wat gebeurde er, meer zand (ruim één m<sup>3</sup>) liep uit de dilatatievoeg en werd opgevangen via een zeil. Schrik niet van de hoeveelheid, maar we probeerden de voeg in dat deel van het lek te reinigen.

Wat eerder is geconstateerd, is dat bijv. zand ondanks zijn waterdoorlatendheid en lekwegen een injectie zelfs met gekleurd water verhindert om te injecteren.

Nadat we er van overtuigd waren dat de voeg schoon was, werd opnieuw met gekleurd water nagegaan of er contact was. Daarna is conform het principe geïnjecteerd met de polyacrylaat-rubber, met als resultaat een dichte voeg.

**Ook de lekke dilatatievoegen in het dak van de Calandtunnel zijn tijdens de afbouw en daarna volgens het nieuwe principe met succes geïnjecteerd en gedicht. Hier was de verrassing dat het rubberprofiel (type acmé) in het dak bij de ontstane lekkage in de zuidbuis niet grond dicht was. De voeg is daar over een aantal meters vol gelopen met zand, die niet de lekkage verhinderde, maar wel de doorstroming van het te injecteren gekleurde water en ook van de injectievloeistof. De remedie was bij de lekkage twee gaten te boren en de voeg schoon te spoelen. Een tweede gat werd toch al geboord als reserve. De rode draad in het tijdsverloop is n.l. het boorwerk, reden dat direct ook een tweede boorploeg werd ingezet.**

## 10.11 2e BENELUXTUNNEL

De Tweede Beneluxtunnel in Rotterdam bestaat behalve uit de tunnelbuizen voor het autoverkeer ook uit twee buizen voor de metroverbinding tussen beide oevers van de Nieuwe Waterweg. De RET meldde in 2005 een lekkage in de sluitvoeg van beide metrobuizen, waardoor het lekwater op elektra kasten en leidingen terecht kwam. Na inspectie werd besloten ook hier de nieuwe injectieprocedure te gaan uitvoeren. Logistiek was dit een compleet andere actie, omdat de metrobus alleen per trein bereikbaar is. Er is een draaiboek met risicoanalyse gemaakt van het (reserve) boormaterieel, het injectiemateriaal en de mensen op de treinstellen, die vooraf werden beladen en 's nachts in de remise uit veiligheid werden geparkeerd.

Met alle betrokkenen is een kick-off gehouden met daarbij de veiligheidsmensen van de RET. Ook hier speelde het tijdsaspect mee, de werktijd was gelimiteerd tussen de ochtend- en avondspits. Omdat de rode draad in het tijdsaspect loopt over de boortijd zijn twee boorploegen ingezet om deze kritische tijd te bekorten.

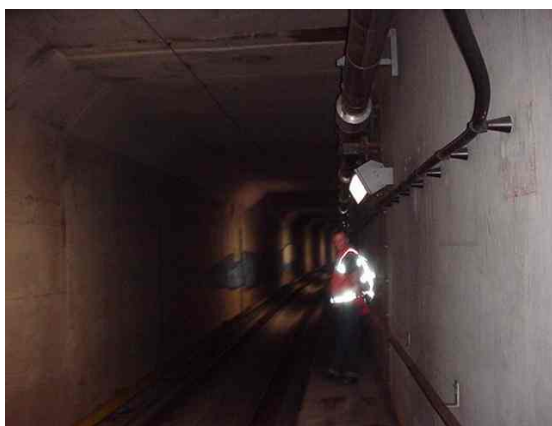


Fig 10.11.1 Inspectie 2004 metrobus G



Fig 10.11.2 Inspectie lek 17-5-2004 metrobus H t.p.v. sluitvoeg afzinktunnel

Vooraf is de situatie van de lekken in de sluitvoeg van de metrobuizen G en H geïnspecteerd. Besloten werd vanuit de binnenste metrobus G te booractie uit te voeren (idem de ervaringen met de Drechtunnel). De werkzaamheden startten met twee boorploegen tegelijk midden in de voeg van de koker (midden op treinwagon). De voeg werd aangeboord in de buurt van het lek. Het water in de voeg verzorgt het transport van de injectievloeistof.



Fig 10.11.3 Lek sluitvoeg op 17-5-2004 metro bus G



Fig 10.11.4 Inspectie lek 4-3-2005 metrobus G



Fig 10.11.5 Alle materiaal & materieel op de spoorwagen. Fig 10.11.6 Gelijktijdig aanboren twee gaten



Fig 10.11.7 Na verwijderen boor stroomt veel water uit de voeg, waar ca. 15 m waterdruk op staat.

Fig 10.11.8 Voorbereiden injectievloeistof MC

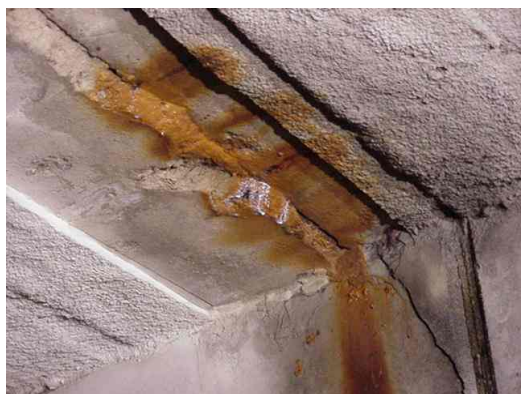


Fig 10.11.9 Na contact retourwater injecteren met MC GL95TX

Fig 10.11.10 De witte latex is zichtbaar en de lekplek droogt op



Fig 10.11.11 Beide betonkernen uit de voeg. Na van twee zijden doorboren dilataatievoeg is er controle op de laatste betonkern als bewijs dat de voeg is doorboord.

Door in de binnenste metrobuis G te boren, was de verwachting dat ook het lek in de buitenbuis H zou worden gestopt. Deze ervaring was opgedaan bij het lek in de Drechtunnel.

De waterstroom neemt immers de vloeistof mee. Het gebeurde nu ook maar het had een wel wat langere tijd nodig. Fig. 10.10.7 laat de waterstroom zien uit het boorgat. Het dakdeel van de sluitvoeg is met de consistentie van een vloeibeton gestort.

De stalen sluitvoeg bekisting is verwijderd en bij een geringe voegopening is er watertoetreding tot aan het rubberprofiel W9Ui. Er staat ca. 15 m waterkolom op het dak.

Fig 10.10.9 laat zien dat de plaats van het boorgat bewust naast de lekplek is gekozen. In dit geval midden spoorwag. De witte latex stroomt uit de voeg en het water stopt langzaam.

Beide metrobuizen zijn vanuit één metrobuis aangeboord en gedicht binnen de gestelde tijd.

***De injectie actie is verlopen zoals verwacht. In dit geval vereiste het logistieke aspect de grootste aandacht. Opgesloten op een treinwagon in een metrobuis. Vanuit 1 boorlocatie de beide metrobuizen waterdicht gemaakt. Deze ervaring was er ook met de Drechtunnel in 2002 en is uniek voor deze methodiek. De ervaring leert dat als de uitgangspunten strikt worden toegepast, dat dan succes is verzekerd.***

### 10.11.1 Zinkvoeg met Omegaprofiel

Een ander bijkomstigheid van de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel is dat de zinkvoeg zuidzijde landhoofd in de afbouwfase door de later aangebrachte bovenbelasting een grote zetting had ondergaan.

Als gevolg daarvan heeft het al aangebrachte Omega profiel ook een verticale verplaatsing ondergaan van ca. 10 cm.

Geconstateerd werd dat deze verplaatsing viel binnen de toegestane toleranties.

Vervolgens is de sparing gebetonneerd.



Fig 10.11.12 Omegaprofiel na montage



Fig 10.11.13 na zetting tunnelelement / landhoofd Zd  
19-3-2000

***De rubberkwaliteit van een rubbermetaal voegprofiel W9Ui is gelijk aan die van een Omega rubberprofiel. Het Omega profiel heeft weliswaar kunststof weefsel inlagen, maar de vervorming is wel groot. Het rubberprofiel is ingebetonneerd. Visuele controle is enkel nog mogelijk met behulp van de endoscoop via een te boren gat. Metingen moeten info geven over de toename van het zettingsgedrag in de tijd en de gaafheid van het rubberprofiel.***



### 10.11.2 Vloeren toeritten

Zoals bij meerdere tunneltoeritten is geconstateerd, treden in de bouwfase al scheuren op in de betonvloeren. De toeritten van de 2e Beneluxtunnel zijn zeer breed (ca. 45 m) en de vloer heeft geen gelijke dikte en is gefundeerd op betonnen trekpalen. Bij elk wegstrook verjongt de tunnelvloer ook nog eens. Watervoerende scheuren in een vloer zijn te verwachten.

In het algemeen worden scheuren in betonvloeren in het midden van de vloerdikte aangeboord en geïnjecteerd met een twee componenten polyurethaan. Diverse merken zijn in de handel.

De scheurwijdte varieert van 0.1 tot ca. 0.5 mm. Bij het injecteren hebben we het over zeer dunne scheuren en dikte (viscositeit) van het injectiemateriaal. We kennen temperatuur- en krimpscheuren als gevolg van hydratatie en flexibele en starre scheuren.

Twee componenten polyurethanen kunnen na uitharding en contact met water een opener structuur hebben met na uitharding een shore hardheid (A) van 35 of hoger.

Epoxy injectievloeistoffen hebben na uitharding een veel hogere hardheid en zijn in feite alleen geschikt voor injecties in droge omgeving.

De voorkeur is om bij watervoerende scheuren een injectievloeistof toe te passen die flexibel blijft en geen veroudering vertoont (o.a. verbrokkeling).

Op basis van praktijkonderzoek is de voorkeur voor het injecteren van watervoerende scheuren met Polymert 150 mpas.

Dit is een groene epoxy-polyurethaan combinatie, die een shore hardheid (A) heeft van ca. 23 graden, zacht blijft en geen verouderingsverschijnselen kent. De menging van de A en B component moet echter zorgvuldig conform de voorschriften leverancier worden uitgevoerd vanwege de kleine hoeveelheid A en B component. Er is een zomer (Polymert 150 ZK) verband met de potliffe die afhankelijk is van de temperatuur.

Met de toepassing van de Polymert 150 mpas is een langjarige ervaring opgedaan op diverse tunnelprojecten.

Soms komt waterdoorslag voor op tunnelwanden. Om deze dicht te injecteren is een waterdunne injectievloeistof noodzakelijk. De polyurethanen zijn niet geschikt vanwege hun hoge viscositeit (200 mpas) Water heeft een viscositeit van 1 mpas. Daarom zijn de Polymert 10 - en 27 mpas meer geschikt om beton met doorslag, met fijne poriën of haarscheurtjes van 0.1 mm te injecteren. De 10 en 27 mpas zijn echter gemodificeerde producten op epoxy basis.



Fig 10.11.14 v.l.n.r.:  
polyurethaan, Polymert 150 mpas, MC GL 95TX



Fig.10.11.15 Polymert 150 mpas, A en de  
B component in bruin flesje



*Fig 10.11.16  
De injectievloeistof Polymert  
150 uit een scheur geperst in  
het dak van het  
bedieningsgebouw. De wittige  
verkleuring duidt op een reactie  
van water met de epoxy  
component.*



*Fig 10.11.17 Injecteren dak met Polymert 150 mpa.*



*Fig 10.11.18 Doorgaande scheur in dak*



*Fig 10.11.19  
BAM injecteurs injecteren scheuren in de  
vloeren toerit met Polymert 150 mpa  
Het uitstromen van de injectievloeistof is  
duidelijk zichtbaar aan de groene kleur, de  
witachtige kleur duidt op reactie van water  
met het epoxy deel van de injectievloeistof.  
Deze injecteurs hebben ook de vloerinjecties  
op de onderdoorgang A5 Schiphol  
uitgevoerd.*

## 10.12 Tramtunnel Den Haag

De lekkageproblematiek bij de Haagse Tramtunnel is wel bekend. Om de betonafbouw mogelijk te maken is een hogedruk omgeving met luchtsluizen en voorschriften uit de duikbranche opgesteld. Tenslotte werd er onder verhoogde luchtdruk gewerkt om het beton te kunnen storten e.d. Na einde werkzaamheden en wegvallen van de verhoogde luchtdruk komen de lekkages in het zicht.

De Bouwdienst is gevraagd om haar kennis en ervaring in het project in te brengen om de lekkages te dicht. Op basis van de nieuwe injectiemethode zijn lekkages in de paneelvoegen van de diepwanden en de stortnaden wanden en dak in kaart gebracht en uitgevoerd.

Proeven met andere materialen, zoals gels, hebben niet geleid tot toepassing daarvan.

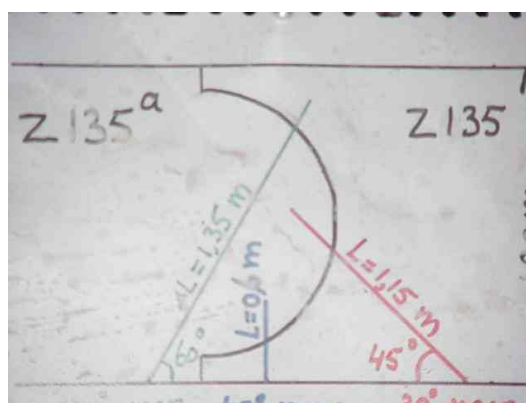


Fig 10.12.1 Alle paneelvoegen en de diepwand beton lekten. Fig 10.12.2 Het boorschema paneelvoegen

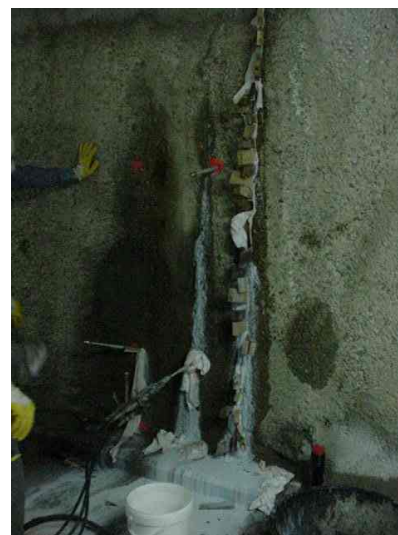


Fig 10.12.3 -4 Injecteren met MC GL 95 TX. Om de stroming van het water en het verlies van injectiemateriaal te beperken werden in de voeg lorren en houten wiggen geslagen.



Fig 10.12.5  
Het souterrain waar de trams binnenkomen. Boven het souterrain is de parkeergarage (fig. 10.12.3). De wanden zijn de ruwe diepwanden, waarvan de eis was gesteld dat donkere plekken als gevolg van lekwater niet toelaatbaar waren als er nog "voelbare" wateruittreiding plaats had.

**Met de gevolve methodiek zijn de lekkages gedicht**

### 10.13 HSL TUNNELS DORDTSE KIL

De tunnels onder de Dordtse Kil zijn de spoortunnels in het HSL tracé in de Hoekse Waard. Nadat de tunnels waren afgezonken kwamen lekkages in het zicht, die met de bekende injectietechnieken, aanboren en injecteren met een 2 componenten polyurethaan werden gedicht. Na het aanbrengen van de hittewerende prefabplaten Promatec op de betonwanden (2004), kwam op diverse plekken vochtdoorslag in beeld. Deze vorm van waterdoorslag, hoe gering ook, moest door poriën en of via de wapening door nazakken van het beton zijn ontstaan. Hoe deze plekken te dichten? Alleen injectieharsen met een bekende duurzaamheid en met een zeer lage viscositeit waren toepasbaar. Daarom is gekozen voor de Polyment 10 en 27 mpas (10x of 27 x dikker dan water). Beide zijn gemodificeerde epoxy producten, die ook op andere projecten zijn toegepast om ook bijv. microscheuren van ca. 0.1 mm, die toch lek waren, te dichten.



Fig 10.13.1 Doorkijk tunnel met bekisting zinkvoeg



Fig 10.13.2 Automaat aanbrengen hittewerende platen



Fig 10.13.3 Waterdoorslag door hittewerende platen



Fig 10.13.4 De hw platen zitten met bouten vast



Fig 10.13.5 Handmatig injecteren met Polyment 10 en of 27 mpas

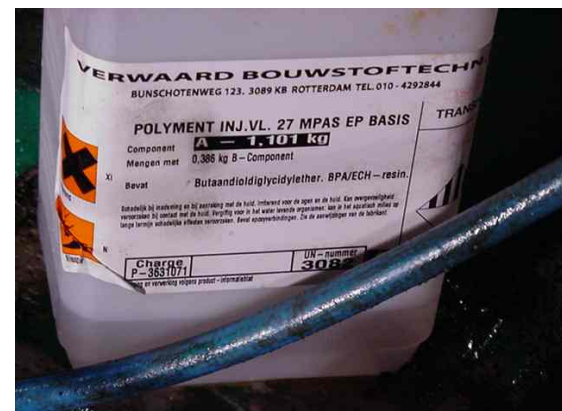


Fig 10.13.6 A com. 27 mpas

## 10.14 ROSENDAAL ONDERDOORGANG A 58

De onderdoorgang Kortendijkpoort (1973) onder de A 58 bij Rosendaal lekte al jaren. In 2006 is door de gemeente Rosendaal besloten om de lekkages te gaan dichten. Na een inspectie is gekozen om naast het standaard injecteren van watervoerende scheuren in de betonvloeren bij twee lekke dilatatievoegen van de hoogst gelegen niet onderheide betonmoten 1 en 8, die ca 78 mm open staan, een nieuw rubber voegprofiel in het wegdek aan te brengen. Dit ter vervanging van de bestaande rubberprofielen type W3A. In de jaren 1983 was dit eerder door de dir. Bruggen van RWS uitgevoerd op de betonmoten 3 en 6.

De grote vervorming van de dunne W3A profiel zou, als het nog niet was ingescheurd, bij verdere toename van de voegbreedte kunnen optreden en bij hoge grondwaterstanden veel lekkage op de weg veroorzaken. Als de verlenging van het W3A profiel wordt getoetst aan de SLS- en ULS grafieken (zie 10.7), zien we dat de beslissing in de bestekfase juist is geweest en in de uitvoeringsfase werd nog eens een keer bevestigd dat inscheuren in beide voegen inderdaad was opgetreden.



Fig 10.14.1

De toerit onder de A 58 met afgesloten rijstroken met lekkage vanuit de middenberm en betonvloeren door het asfalt heen. Het grondwater bevat oer (ijzeroxide) en verkleurt het wegoppervlak.



Fig 10.14.2 Openstaande en lekke dilatatievoeg



Fig 10.14.3 Het rubber W3A profiel in de dilatatievoeg

Fig 8.14.2 De hoogst gelegen dilatatievoegen van beide toeritten zijn niet onderheid en als gevolg van vervuiling in de voeg is de betonmoot opgedrukt en is de voegbreedte vergroot van 0 tot nu 78 mm. Bij controle bleek na het schoonmaken van de voeg het rubberprofiel W3A plaatselijk ingescheurd te zijn.

Door het lage zomerpeil van de grondwaterstand kon toch in den droge worden gewerkt om een nieuw voegprofiel W5b-10 mm dik verzonken in het wegdek en op de buitenwanden aan te brengen.

Fig 10.14.3 Het bestaande W3A profiel in de buitenwand, dat in de twee voegen gescheurd bleek te zijn.

Het W3A profiel is idem een W9A, maar veel dunner.

Bij deze onderdoorgang was in 1983 bij twee dieper gelegen voegen ook al een nieuw voegprofiel verzonken in het wegdek en op de buitenwanden aangebracht. Deze betonmoten waren door groutankers verankerd. Als rubber voegprofiel was toen gekozen voor een twee cm dik platprofiel met knobbels met een klemlijsten verankering idem de omega profielen.

Bij de uitvoering van het werk in 2007 is gekozen om voor de twee hoogst gelegen betonmoten een profioldikte te kiezen gelijk aan die van het bestaande W9Ui (10 mm).

Bij een grote lijfdikte van 20 mm zouden tijdens de uitzetting van de dilatatievoegen te grote krachten worden uitgeoefend op de verankering M16 en werd afgeraden door de leverancier. De dichting van het W5B-10 profiel met ribbels werd aangepast op dat van de bestaande Omegaprofielen met klemlijsten.



Fig 10.14.4 3 Ingezaagde sparing, beton gesloopt, met cement mortel uitvklaklaag aangebracht.

Fig 10.14.5 Verzinkte klemlijsten voor gemonteerd om gaten voor de ankers op maat te boren.



Fig 10.14.6-7-8 Betonoppervlak schoon blazen, plaatsen rubber slab W5B-10, montage klemlijsten en dilatatievoeg tempex.

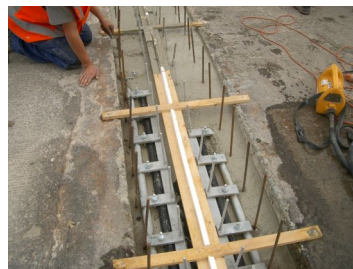


Fig 10.14.9-10-11 Bochtstukken met extra ankers, aanstorten sparing met staalvezelbeton

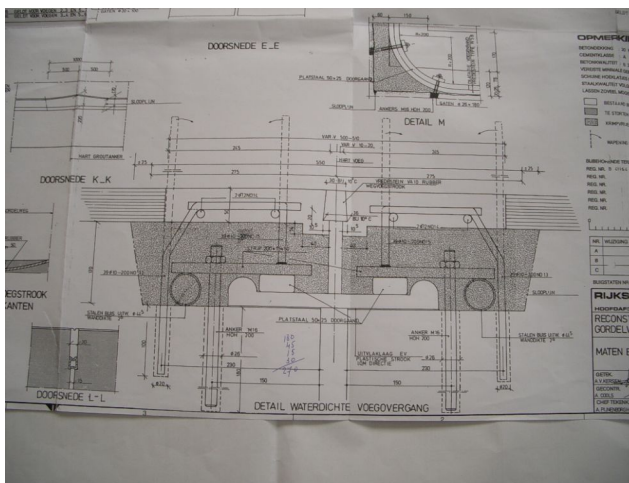


Fig 10.14.12 Ontwerp van de in 1983 aangebrachte twee nieuwe voegprofielen in de tunnelvloer. De vloer is verankerd d.m.v. groutankers. Het rubberprofiel is een W5b-20 mm dik rubber door klemlijsten verankerd in de verdiepte betonvloer.

### 10.14.1 PLAN VAN AANPAK NIEUW RUBBERPROFIEL

In de uitvoering zijn de volgende uitgangspunten aangehouden.

- a) Handmatig slopen sparing om de grote afbrokkeling betonranden te voorkomen.
- b) Overdiepte van 1 cm van het sloopniveau b.k. betonsparing voor minimaal 1 cm dikte van de aan te brengen cementmortel.
- c) De wapening uit het sloopoppervlak 2 cm onder b.k. betonsparing afslijpen.
- d) Alle het vrije water verwijderen (waterstofzuiger) voor het aanbrengen van de cementmortel.
- e) Het betonoppervlak zorgvuldig aanbranden met de te gebruiken cementmortel.
- f) Bepalen minimale waterhoeveelheid van de te gebruiken cementmortel. De mortel moet handmatig te verwerken zijn, maar mag niet vloeien omdat dit ten kosten gaat van de dichtheid (betonkernen t.b.v. ankerkernen laten dit zien)
- g) Keuze hoogwaardige krimparme cementgebonden mortel K 50.
- h) Bij regen niet werken of onder een afdak.
- i) Het natte betonoppervlak spanen met stalen spaan om een glad, egaal oppervlak te verkrijgen. Rimpels niet toestaan (geeft kans op lekkage)
- j) Betonoppervlak onder folie t.b.v. nabehandeling!
- k) Uitvoering boorgaten (diamant) met klemankers als mal
- l) Chemische ankers aanbrengen in droog boorgat.
- m) Reinigen rubber en betonsparing van vuil !
- n) Voor aanbrengen rubber betonoppervlak insmeren met lijmsealer of ongevulkaniseerd rubber van Trelleborg voor optimale aansluiting rubber / beton.
- o) Aanbrengen rubber, klemstrippen en aandraaien ankers conform aandraaimoment.
- p) Na 24 / 48 uur opnieuw ankers aan draaien met verhoogd aandraaimoment vanwege de wrijving.
- q) Aanbrengen wapening en aanstorten met staalvezelbeton.

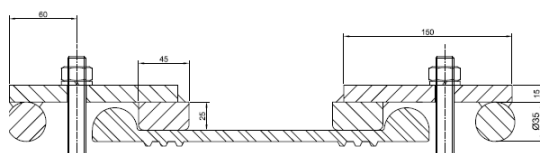


Fig 10.14.13

Voor de twee nieuw gemaakte voegen in 2007 is het lijf van het rubberprofiel verjongd naar **10 mm** en zijn ribbelprofielen idem het omega profiel toegepast. Dit type W5b-10 kan meer vervormingen (rek) hebben.

### 10.14.2 INJECTEREN SCHEUREN IN VLOEREN

In de niet onderheide vloeren kwamen na het verwijderen van het asfalt meer scheuren te voorschijn. Na injecteren watervoerende scheuren met de Polyment 150 mpas worden weer andere scheuren zichtbaar.

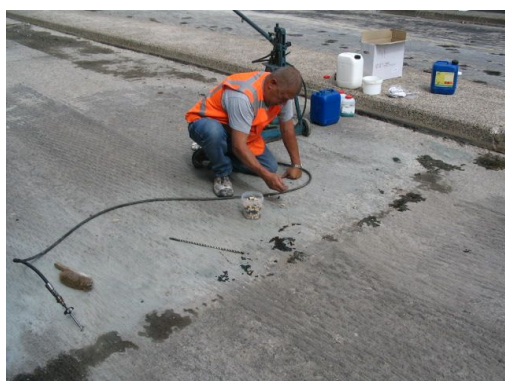


Fig 10.14.14 Injecteren natte scheuren



Fig 10.14.15 Injecteren is handmatig werk !

Om de scheuren vooraf via het asfalt te kunnen detecteren is de **TEXPLOR methode** beproefd, die weliswaar indicatie geeft maar niet bruikbaar was om puntinjectie te kunnen uitvoeren. Deze methode is gebaseerd op potentiaalverschilmeting tussen grondwater en de locatie.

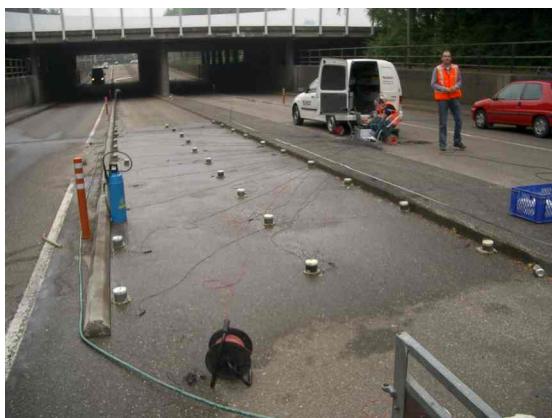


Fig 10.14.16 Sensoren op het asfalt met apparatuur Fig 10.14.17 Detail sensor op bentoniet op nat asfalt

Na het maken van de nieuwe dilatatievoeg was een zeer geringe lekkage ontstaan, die pas zichtbaar werd na het aanstorten van de betonsparing en bij het testen op waterdruk bij de nog niet gebetonnerde bochtstukken. Om het lek te stoppen is de methode van de nieuwe boor- en injectietechniek toegepast, waarna de lekkage is gestopt en de bochtstukken werden gebetonneerd.

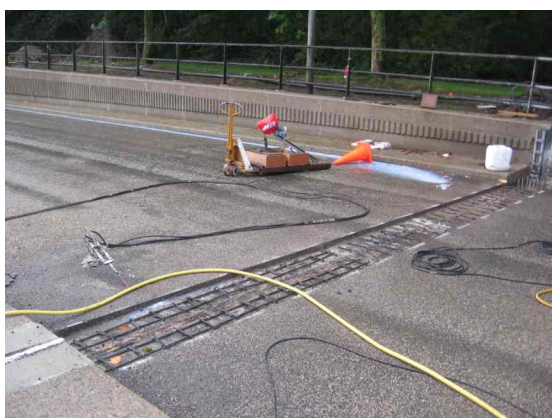


Fig 10.14.18 Twee gaten geboord en injectie gestart. Fig 10.14.19 Controle dichtheid op nog openstaand bochtstuk.

**Voor twee dilatatievoegen, wijd ca. 7 cm is een nieuw rubber voegprofiel verzonken in de weg en op de wanden van een tunnelinrit gemaakt bij de hoogst gelegen vloermoten. De bestaande rubber voegstroken W3A bleken conform verwachting achteraf ook gescheurd te zijn. Verdere verbreding van de voegen wordt nog verwacht. De uitvoering voor het maken van een nieuwe rubbervoeg vraagt een zeer accurate uitvoering op alle onderdelen ervan. Vooral het maken van de bochten luistert zeer nauw i.v.m. lekkage. Uit de veiligheidsbeschouwing voegbreedte / profiel t.a.v. de scheursterkte (zie ook 12.7) bleek dat de gekozen oplossing verantwoord was. In het plan van aanpak zijn de ervaringen van de gemaakte voegen opgenomen.**

**De scheuren in de vloer zijn op de standaard methoden geïnjecteerd. Te voren is op het nat gemaakte asfalt een TEXPLOR meting uitgevoerd op basis van potentiaalverschillen als test om na te gaan of deze methode punt injectie mogelijk maakt. Na het wegschrapen van het asfalt kwamen er meer watervoerende scheuren te voorschijn.**



## 10.15 ONDERDOORGANG HARDINXVELD A15 SLUISWEG

Het bijzondere aan deze lekkage van een kleine onderdoorgang in de A15 bij Hardinxveld was, dat de midden- en buitenvoeg een zeer geringe lekkage vertoonden (2007)

Door per voeg in de weg en op het trottoir twee gaten te boren en de dilatatievoeg langdurig te spoelen en daarna te injecteren met de latex injectievloeistof werd het lek gedicht.



Fig 10.15.1 Tunneltje Sluisweg Hardinxveld A15

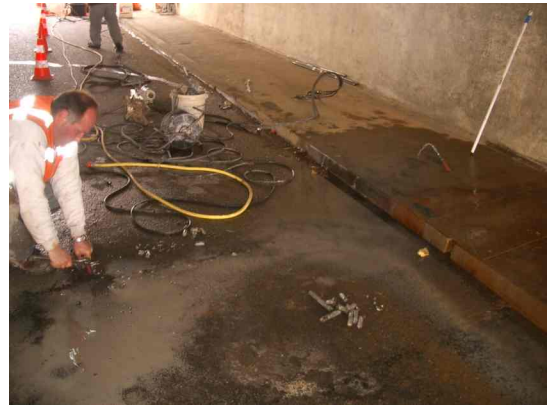


Fig 10.15.2 Twee gaten geboord in trottoir en wegdek



Fig 10.15.3 Latex stroomt via lekweg uit de middenvoeg

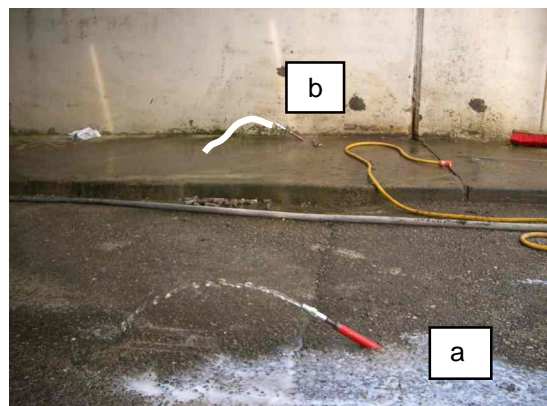


Fig 10.15.4 Noordvoeg aangeboord met twee gaten (a & b)



Fig 10.15.5 Zand stroomt mee uit dilatatievoeg

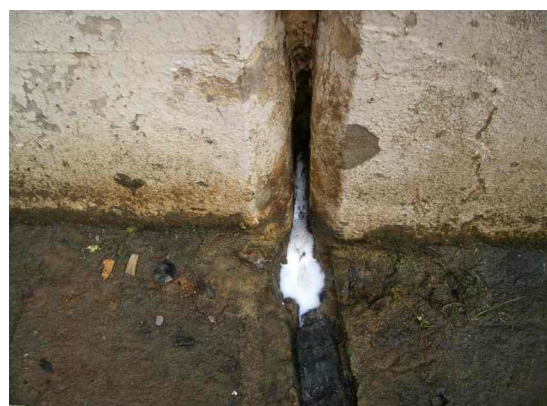


Fig 10.15.6 Langzaam stroomt latex uit de voeg en dicht deze.

**Het lekdebiet bij deze twee voegen was zeer gering, bovendien bleek de dilatatievoeg vervuild te zijn met zand. Door twee gaten te boren (midden wegdek en op het trottoir) en langdurig te spoelen totdat het water schoon was en daarna te injecteren zijn de lekken gedicht.**

## 10.16 REGULIERSTUNNEL A9 ALKMAAR

De Regulierstunnel (1974) is een onderdoorgang in de westelijke rondweg A9 bij Alkmaar. Een dilatatievoeg is lek en levert al jaren problemen. Diverse malen is in de afgelopen jaren geïnjecteerd en tenslotte is in de asfaltlaag een afwateringsprofiel opgenomen. Desondanks toch nog lekwater op het wegdek, reden waarom een advies werd gevraagd om dit structureel te dichten. Op basis van een vergelijkbare situatie is geadviseerd om een goot zoals toegepast in de Vlaketunnel te creëren in de dilatatievoeg tot aan het rubber voegprofiel. In het geval lekken zichtbaar zijn, deze injecteren met de latex injectievloeistof. Mochten desondanks nieuwe lekwegen ontstaan dan kan het water via een waterafvoergoot onder het trottoir worden afgevoerd naar de waterpompkelder.



Fig 10.16.1 Toerit oostzijde, rechts looppad met goot    Fig 10.16.2 Natte plek op voeg 2 zuidbaan

De weg is droog, maar bij voeg 2 is een vochtplek zichtbaar zowel op de noord- als op de zuidbaan. De zuidbaan toont vochtiger dan de noordbaan.

Ten tijde van de inspectie (2007) zijn de voegbreedten van alle dilatatievoegen gemeten. De dilatatievoegen die lekken hebben de volgende gemeten breedte:

Noordbaan		Zuidbaan
voeg 11-10	45 mm	40 mm
voeg 3-2	45 mm	60 mm

In de afvoergoot met onder het looppad noordzijde was via een rooster een grote waterstroom zichtbaar met uitvloeking van ijzeroxide (oer) in het water. In de afvoergoot zuidzijde was geen water zichtbaar. Dit was reden voor een nader onderzoek. Uit de voegmetingen valt op te maken dat de eindmoten van de toeritten, die niet onderheid zijn, zeer breedbreed open staan. Door vervuiling van de voeg, door zand en ander sediment materiaal worden de moten door temperatuurverschillen opgedrukt. Het resultaat is dat voeg 3-2 lekt, maar voeg 11-10 ? Waar komt het water dat onder het noordelijke voetpad stroomt vandaan ? Nadere inspectie was noodzakelijk. Open maken van het voetpad, maar de tegels zijn niet handmatig te lichten. Het bleek dat uit voeg 11-10 het water uit de dilatatievoeg stroomde, maar direct wordt afgevoerd via de goot onder het voetpad. Het water kan niet op de weg komen en gevaar voor bevriezen bestaat niet door de grote waterstroming. Wel moeten de pompen in de midden waterpompkelder vaker aanslaan dan waarop bij onderhoud was gerekend. Doordat de middenbermen zijn betegeld, is controle op de voegbreedte daar niet mogelijk.



Fig 10.16.3 Lekwater in goot onder trottoir



Fig 10.16.4 wandvoeg 3-2 breed 60 mm



Fig 10.16.5 Met hiab kraanauto tegels opgetild.



Fig 10.16.6  
Inspectie voeg 11- 10,  
tegels zijn verwijderd en  
het water stroomt uit de  
dilatievoeg.  
Oorzaak ?  
Gescheurd rubber?

 Fig 10.16.6 Hoeveel m<sup>3</sup> / uur ?


Fig 10.16.7. Het lekwater stroomt direct in de goot



Fig 10.16.8 Voegbreedte 5 cm.

**Het lek in mootvoeg 2 is een geringe lekkage, die veelvuldig in het verleden is geïnjecteerd en daardoor niet meer dicht is te krijgen. Er is een gootoplossing uitgevoerd in het asfalt, die niet meer werkt. Daardoor is water op het asfalt zichtbaar en risicovol in de winter. De aangeboden oplossing is om de goot open te maken, te reinigen en lekken te injecteren met de nieuwe boor- en rubber injectiemethodiek. Mootvoeg 10 staat 5 cm open en blijkt ernstig te lekken, maar het water wordt direct afgevoerd via de goot onder het trottoir naar de waterkelder. Bij toetsing aan de ULS grafiek wordt het grote lek ( $\Delta l > 40$  mm) hoogst waarschijnlijk veroorzaakt door het inscheuren van het rubber. Zolang het geen probleem is om het lekwater af te voeren qua onderhoud kan de situatie zo blijven. Het bijplaatsen van een kleinere pomp kan ook nog een optie zijn. De dilatievoegen van de eindmoten zijn uit elkaar gedrukt door de vervuiling in de voegen. Het gescheurde kit van de dilatievoegen in de wanden is aan vernieuwing toe.**

## 10.17 COENTUNNEL

Bij een inspectie uitgevoerd op 3 september 1998 zijn de voegbreedten gemeten. Het rubberprofiel in de voeg bij meetpunt 137 (westbuis uitrit noord) vertoonde scheurtjes evenwijdig aan de verdikking in het midden van het profiel. Deze scheurtjes stonden 2 tot 3 mm open. Het rubber bij meetpunt 200 (oostbuis inrit zuid) was doorgescheurd. Uit de tabel 1 zijn alleen de voegbreedten > 10 mm overgenomen.

Locatie	Meetpunt	voeg / mm			
westbuis in-Nrd	137	27	voeg	1	profiel gescheurd , eerste voeg inrit
	136	21		2	
	135	13		3	
	134	10		4	
	133	20		5	
	132	18		6	
westbuis uit-zuid	100	35	voeg	1	profiel gescheurd
	101	17		2	
	102	19		3	
	112	13		13	
oostbuis uit nrd	237	20	voeg	1	
	236	30		2	
	233	20		5	
	232	18		6	
oostbuis in-zuid	200	60	voeg	1	profiel gescheurd
	201	14		2	
	202	18		3	
	204	17		5	
	210	11		12	

**VREDESTEIN RUBBERSTROKEN  
VOOR DILATATIEVOEGEN**

**met bandstaal**

De rubber-bandstaal dilatatievoegstrook heeft een bijzonder voordeel, doordat de hechting van het beton op het bandstaal de waterdichte werking van de constructie vergroot.

Het bandstaal is aan weerszijden van het elastisch middengedeelte door middel van rubber-metaalhechting ingevalciseerd.

De eindverdikkingen van het rubbergedeelte brengen de trekkracht bij dilatatie of zetting rechtstreeks over op het beton.

De van het bandstaal divergerende vorm van de rubber voorkomt grotendeels, dat de trekkracht op de rubber-metaalhechting en op het hechtvlak betonstaal wordt overgebracht. De stroken kunnen evenzeer als de rubbervoegstroken zonder bandstaal in opgerolde toestand worden vervoerd.

Tijdens het storten verleent het bandstaal de strook echter een bepaalde stijfheid, waardoor de gewenste vorm beter wordt aangehouden.

Tevens kan het bandstaal op bepaalde afstanden door middel van binddraad aan de wapening worden bevestigd.

Hierdoor kan tevens in horizontale voegen de strook in opgebogen vorm worden gefixeerd (zie tekening). De rubber-bandstaal-dilatatievoegstrook kan in elke in de praktijk voorkomende lengte worden geleverd. Tevens kan zowel op het werk als aan de fabriek de strook eindloos worden gelast.

Ook T-verbindingen kunnen worden gemaakt. Het is aan te bevelen, het bandstaal licht geroest te verwerken.

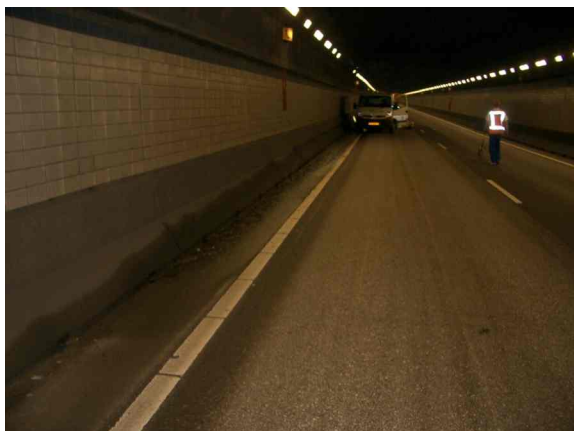
De eerste toepassing heeft plaats gevonden in de onderdoorgang onder de nieuwe spoorbaan tussen Driehuis en Santpoort in de spoorlijn Haarlem-Alkmaar, als onderdeel van het tunneltracé Velsen.

Type	A	B	C	D	E	F
W9A model 11185	350	150	15	35	10	0,8
W9B model 10773	400	255	16	44	12	0,8
W9C model 10284	500	350	16	42	10	0,8

Fig 10.17.1  
 Documentatieblad Vredestein.  
 Het voegprofiel W9 werd voor het eerst toegepast in een onderdoorgang bij de spoorbaan Driehuis / Santpoort, onderdeel tunneltracé Velsen.  
 De Velsertunnel is in 1957 geopend.

Het profiel van de Coentunnel is of een W9A of W9B

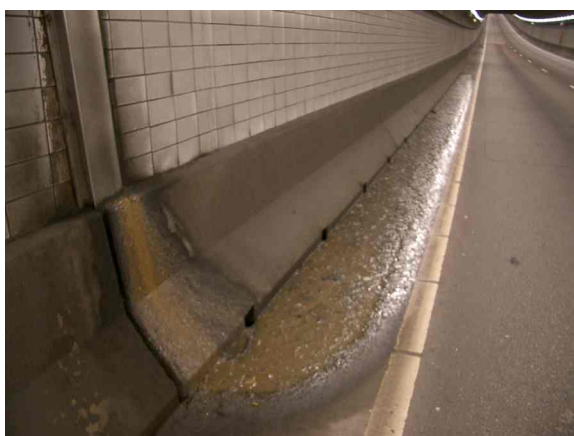
Tussen tunnelelement 2 en 3 is een lekke dilatatievoeg in een zinkvoeg onderdeel, die zowel water als zand lekt. Dit lek bestaat al jaren.



*Fig 10.17.2  
Westbuis  
ter plaatse van de zink-  
en dilatatievoeg  
tunnelelement is een  
lekkage, die ook zand  
meevoert.*



*Fig 10.17.3  
Het lekwater stroomt zowel uit  
de kantstrook op de weg als uit  
rijbaan 1, doordat het water zich  
kan verplaatsen via de  
dilatatievoeg.*



*Fig 10.17.4  
Het lekwater in de  
oostbuis komt uit de  
zelfde voeg, maar nu uit  
de wand en neemt ook  
sediment mee.*

***Uit de tabel kunnen we afleiden dat ook in de Coentunnel de toerit mootvoegen breder zijn geworden, zoals bij meerdere tunnels is waargenomen. Uit de toets door TNO op de rubbervoeg profielen blijkt dat de duurzaamheid niet in het geding is, maar dat grotere voegbreedten aanleiding geven tot inscheuring van het rubberprofiel. Voor het dichtten van deze voeg is een concept plan van aanpak opgesteld, waarbij eerst nader onderzoek moet worden gedaan naar de lekweg in deze zink / dilatatievoeg. Diverse lekwegen zijn in een zinkvoeg te analyseren. Voor zover bekend zijn er in de RWS tunnels geen andere lekke zinkvoegen.***

## 11 NIEUWE HERSTELSTRATEGIE

### 11.1 LEKKAGES IN HET BETON

Lekkages, die zichtbaar zijn in watervoerende scheuren van tunnelvloeren, wanden en / of in een dak behoren standaard te worden aangeboord in het midden van de betonconstructie.

De boorafstand h.o.h. langs de scheur is gelijk aan de helft van de betondikte en het principe is om en om aan weerszijden van de scheur te starten om er zeker van te zijn dat de scheur in het hart van de betonconstructie wordt doorboord. Het boren wordt uitgevoerd met een widia boor (niet diamant) onder ca. 45 graden en gebeurt of met perslucht of op elektra, gemakkelijk en effectief. Daarna wordt het boorgat droog en schoon geblazen alvorens te starten met injecteren. De kans op raken van wapening is hier klein en anders wordt er een nieuw gat naast geboord.

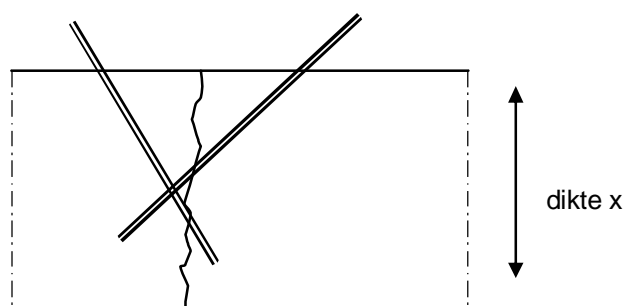


Fig 11.1 Schematische aanboren watervoerende scheuren in een betonconstructie.  
Om en om aanboren scheur h.o.h. half x.

De keuze van de injectievloeistoffen is beperkt tot de epoxy-polyurethaan Polymert 150 of de 2 componenten polyurethanen, zoals o.a. van de leveranciers MC en Webac.

Injecties voor betonnen kunstwerken dienen een duurzame kwaliteit te hebben, maar hoe toon je kwaliteit aan en hoe is het met de vakbekwaamheid van de injecteurs?

Injectiebedrijven kiezen voor producten die zij in voorraad hebben. Dat wil niet altijd zeggen dat deze producten ook altijd geschikt zijn voor de natte toepassing. Gellen zijn bijvoorbeeld niet geschikt.

Omdat de breedten van scheuren temperatuurgevoelig zijn, is een flexibele injectievloeistof aan te bevelen, d.w.z. die injectievloeistoffen met een lage hardheids- en viscositeitwaarde. Bij 60 graden shore A hardheid is geen flexibele injectievloeistof. De Polymert 150 is ca. 23 graden en de MC 2300 plus ca. 35 graden.

Scheurwijdten in betonconstructies kunnen liggen tussen de 0,1 en 0,5 mm.



Fig 11.2-11.3 Proefbekertjes met diverse polyurethanen (bruin) en Polymert 150 (groen) met water geroerd.

Behalve scheuren in het beton kennen we praktisch geen vochtdoorslag door de betonconstructies. In de meeste gevallen zal door een natuurlijke ventilatie water verdampen, maar als de betonwand wordt afgesloten door hittewerende beplating of tegels kan toch vochtophoping er achter ontstaan. Bij de hittewerende platen van Promatec zien we een vlekkenpatroon ontstaan en bij tegels kan in de winterperiode vorstschade ontstaan.

In geval van vochtdoorslag is een zo dun mogelijke injectievloeistof aan te bevelen, zoals de Polyment 10 of 27 mpas. Vanuit de betonconstructie gezien worden lekplekken zo diep mogelijk aangeboord en geïnjecteerd met deze gemodificeerde epoxy producten. Hiervan kunnen de drukwaarden lager liggen dan de oorspronkelijke waarden, maar hier gaat het om de waterdichting.

## 11.2 LEKKAGES IN DILATATIEVOEGEN

Dilatatievoegen in de tunnelbouw hebben een rubbermetaal voegstrook, genaamd W9U of W9Ui met wel of geen vertanding in de betonvoeg tussen de vloeren. De vloeren in de toeritten zijn t.o.v. de tunnelmoten tot ca. 1 m dik. De vloeren van tunnelmoten kunnen tot 1,50 dik zijn, waarop nog eens ballastbeton is gestort vanwege het noodzakelijke eigen gewicht tegen opdrijven. Betondikten van ca. 180 tot 2 m zijn dan ook geen uitzondering. Tunnelmoten hebben altijd vertanding in de voegen tussen de moten en het rubbermetaal voegprofiel ligt onder in de betonvloer met een betondikte van 30 cm.

### 11.2.1 OUDE METHODE INJECTEREN

Bij de oude bestaande methode om lekkages te dichtten in de dilatatievoegen, die vooral optreden in de winter in de vloer en of in het dak, bestond de techniek om aan weerszijden van de rubberstrook de metaalstrip te doorboren. Immers we weten niet waar het lek zit en het water volgt de weg van de minste weerstand via de dilatatievoeg. Met perslucht of op elektra werd met widia boorstangen, diameter 12 tot 16 mm tot ca. 2 m diep in de betonvloer geboord. Het euvel, als op de wapening werd gestoten, was dat er overnieuw moest worden geboord. Met een widiaboort kom je niet door de wapening heen. Diverse boorgaatjes om één locatie was het gevolg.

Een tunnelbuis is ca. 16 m breed en dat betekent met h.o.h. boren van ca. 50 cm dat er 2 x 32 gaten moeten worden geboord. Na het boren worden de boorgaten met perslucht schoongebazen en wordt een 2 componenten polyurethaan geïnjecteerd. Afhankelijk van de voortgang vergt dit minimaal 3 nachten, ook omdat een rijstrook voor het verkeer moet open blijven.



Fig 11.4 Na het aanboren van de metaalstrip van het rubber voegprofiel werd met perslucht het ca. 180 cm diepe boorgat, diameter ca. 16 mm schoon geblazen van boorgruis. Daarna werd gestart met injecteren met een polyurethaan.

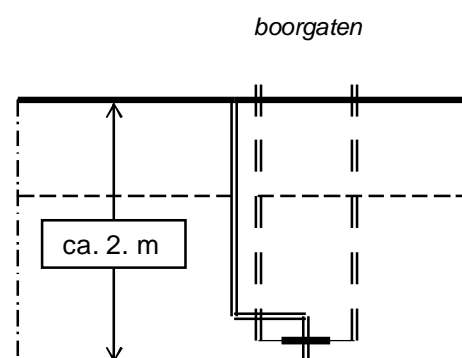


Fig 11.5 Schematische tekening tunnel vloer of dak met vertanding. Onderin de rubber voegstrook met stripstaal, die wordt aangeboord om te kunnen injecteren.

## 11.2.2 NIEUWE METHODE INJECTEREN

De oplossing van de lekkage in een dilatatievoeg van de Kiltunnel heeft geleid tot een nieuwe aanpak.

Noodgedwongen hebben we door de tunnelvloer en tunnelwand moeten boren en met grote packers de boorgaten 32 en 40 mm afgesloten, waarna is geïnjecteerd. Grote boorlengten tot o.a. 3 m bleken geen probleem te zijn. De opgedane kennis en ervaring is verder toegepast op diverse andere tunnelprojecten, zie hoofdstuk 10.

De nieuwe boor- en injectiemethode maakt het mogelijk om in één nacht het lek in een voeg per tunnelbuis te dichten. Dit is t.o.v. het verkeer zeer aantrekkelijk. Een totale verkeersafzetting is nodig per tunnelbuis om veilig te kunnen werken.

### METHODIEK

De methode gaat er van uit dat de openstaande dilatatievoeg, van enkele mm, boven het rubberprofiel aan de watervoerende kant wordt aangeboord. Vanwege de voeg-tand constructie is boven een rubbermetaal voegstrook een vertikaal voegdeel van ca. 25 tot 30 cm over. Om dit deel aan te kunnen boren, wordt onder een hoek van 30 graden geboord. Alleen de maat gerekend uit de dilatatievoeg en de juiste hoekinstelling is daarbij van belang. Een dilatatievoeg is in het werk altijd terug te vinden of te herleiden, bijv. uit de dilatatievoeg in de wanden. Er worden 2 gaten naar de voeg geboord. Het éne gat is ook reserve voor het andere gat.

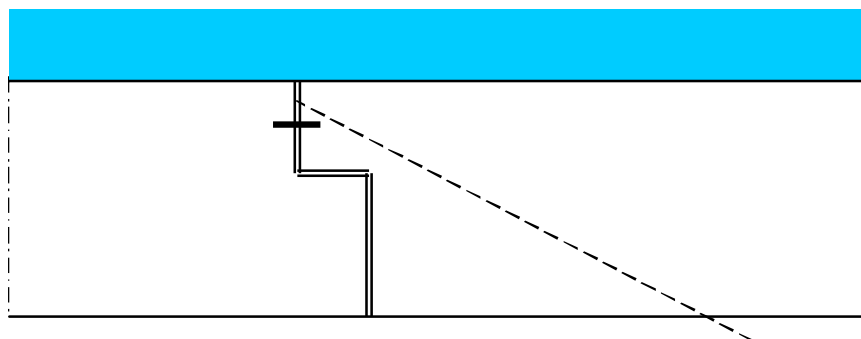


Fig 11.6 Schematische doorsnede van een tunneldak / vloer met veranding met de gestippelde boorlijn onder 30 graden naar de watervoerende voeg.

Nadat de boorbuis uit het boorgat is gehaald, zal water uit de voeg via het boorgat stromen. Er is immers lekkage.

Normaliter is de bovenzijde (dak) of onderzijde (vloer) van een dilatatievoeg grond dicht. In principe is er geen directe open verbinding met het buitenwater, dat een waterkolom kan hebben van ca. 11 m (dak) tot 21 m (vloer). Als het uitstromende water uit de voeg schoon is, wordt een packer geplaatst met een kogelkraan, waar later een injectienippel op wordt gezet.

Om controle te hebben of er verbinding is via de voeg met het lekwater in de tunnel wordt eerst een kleurstof aan het injectiewater toegevoegd. De kleurstof kan rode waterverf (ecoline) zijn, maar ook is de witte component van de toegepaste injectievloeistof gebruikt. Wit is goed te zien. Zodra na injecteren van het gekleurde water dit in de tunnelbuis zichtbaar wordt, is aangetoond dat er een verbinding is, waar het lek in de voeg zich ook mag bevinden. Tijdwaarneming tussen moment van injecteren en zichtbaarheid geeft de reactietijd aan voor de hoeveelheid toe te passen zoutcomponent van de injectievloeistof.

Voor de injectievloeistof is gekozen voor een flexibele, reversibele injectievloeistof, dat de bewegingen in een dilatatievoeg kan volgen. Bovendien is een duurzaam product gewenst. In één keer goed en niet bij een volgende keer weer terug te moeten komen. Lekkages in tunnels komen voor in koude perioden, wanneer we dit juist niet willen hebben (ijsgang op de rijvloeren)



De gekozen injectievloeistof, MC GL 95 TX, is een lage viscose polymeer versterkte hydrostructuurhars op acrylaat basis (met een rubbercomponent), bestaande uit 5 componenten, die vooraf worden gemengd en waarbij de hoeveelheid zoutindicator de reactietijd bepaalt. De reactietijd wordt bepaald uit de injectie met het gekleurde water, waarna een proefmengsel wordt gemaakt om de reactietijd te controleren.



Fig 11.7 Alle 5 componenten MC op een rij.



Fig 11.8 Injectiematerieel 2 componentenpomp  
Wit is de latex component

Daarna wordt gestart met het injecteren.

Indien veel wateruittrekking uit een voeg komt, wordt dit zo mogelijk geremd met houten wiggen of lorren. Veel water uitstroom zorgt voor te veel uitspoeling van de injectievloeistof. Het reageren van deze vloeistof is een chemisch proces en er vindt geen reactie met water plaats.

Zodra de witte rubber component zichtbaar uitstroomt uit de voeg zal de waterstroom afnemen en tenslotte stoppen. Het moment van stoppen met injecteren is hiervan afhankelijk.



Fig 11.9 Injectie dakvoeg Noordtunnel



Fig 11.10 Injectie voeg metrobuï Beneluxtunnel

De nieuwe methode maakt ruimere boortoleranties mogelijk. Niet de maat t.o.v. het lek is belangrijk, wel de maat uit de dilatatievoeg voor het aanboren van de watervoerende voeg.

De plaats t.o.v. het lek moet zodanig naast het lek worden gekozen dat de waterstroom de injectievloeistof kan meenemen.

Er wordt geboord met een diamantboor diam. 25 mm. De lengte is afhankelijk van de dikte tunneldak of -vloer. Lengten van ruim 2 m zijn geen uitzondering.

## MAATVOERING

De ruimte (de zogehete voegkamer) tussen het rubbermetaal voegprofiel en het rubberprofiel (type acmé) dat aan de buitenzijde van het dak de dilatatievoeg afschermt (aan de onderzijde van een tunnelvloer is dit een staalprofiel) wordt in het midden aangeboord om enige speling te houden. Anders is de kans groot dat het rubberprofiel W9Ui wordt doorboord. Het rubber acmé profiel in het dak en de staalplaat onder de vloer hebben de functie van zanddichting maar niet van waterdichting.

Er worden gelijktijdig twee gaten geboord, zoals eerder gezegd is de één de reserve van de ander. Maar ook kan daardoor de dilatatievoeg schoon gespoeld worden, als achteraf blijkt dat er zand in zit. Het boorwerk kost de meeste tijd en is dus de rode draad.

Voor het aanboren van de voegkamer (hoogte ca. 30 centimeter) moet de maatvoering van de voegconstructie bekend zijn: Welke moot, de betondikte (afmetingen), aan welke kant van de voeg zit de vertanding? Geboord wordt onder 30 graden met het dak of de vloer. Hierdoor zijn de boorlengte en -diepte eenvoudig te bepalen en handmatig in het werk te controleren ( $2:1:\sqrt{3}$ ) Bij deze wijze van boren zijn boorlengtes van ca. 2 meter regelmaat. Voor de nauwkeurigheid (niet raken van de rubbermetalen voegstrook) wordt geboord met een 25 mm boorbuis met diamantkop. Bij raken van de wapening wordt deze doorboord. Bij het uittrekken van de boorstang is er een open verbinding met de buiten voegkamer en zal hier water (en **ook zand!**) er uit kunnen stromen. Bij een boorgat van 25 mm en een open waterdruk van ca. 12 m geeft dit een behoorlijke hoeveelheid.

## PACKER

De packer moet met de afsluitkraan in geopende stand in het boorgat worden geduwd en aangedraaid, waarna de kraan kan worden gesloten. Het boorgat is dan gedicht. Vervolgens wordt de injectie nippel gemonteerd en daarna kan via het injectiepistool worden geïnjecteerd, eerst met gekleurd water en daarna met de injectievloeistof. De packers blijven achter als een tweede waterdichting (mechanisch).

## WATERSTROOM EN INJECTIE

In de voegkamer is een (beperkte) lekwaterstroom naar de lekkage plek. Na het plaatsen van de injectienippel wordt met gekleurd water (rode ecoline waterverf of de witte component van de rubber injectievloeistof) gecontroleerd of er een aansluiting is met het lek. De controle met gekleurd water is noodzakelijk om aan te tonen dat de locatie van het boorgat in de waterstroom richting naar de lekweg in de tunnelbuis loopt, zodat geen injectievloeistof wordt verspeeld. Bovendien wordt de omloopsnelheid van het lekwater gemeten voor het bepalen van de reactietijd van de zoutdosering. De reactietijd van de verharding van de latex injectievloeistof is een chemisch proces. Er wordt een proefmonster met de gekozen zoutdosering gemaakt om de reactietijd te controleren. Bij een te snelle reactietijd slaat de dilatatievoeg te vroeg dicht en bij te laat reageren, spoelt al de vloeistof weg door de waterstroom.

Na controle van de reactietijd wordt onder lage druk (ca. 3 a 4 bar) geïnjecteerd. De van te voren voorgemende sets zijn elk ca. 55 liter groot. Verbruik per voeg is afhankelijk water debiet.

De methode blijkt ook zeer effectief te zijn bij doorgaande lekkages over twee tunnelbuizen met daar tussen nog eens een middentunnel kanaal. Juist in dat gebied is het aanboren van de staalstrippen in het dak vanwege de variabele grote betondikte praktisch onmogelijk. Want waar zit het lek?

### 11.2.3 PLAN VAN AANPAK NIEUWE METHODE INJECTEREN

Als leidraad is een plan van aanpak toegevoegd van de nieuwe boor- en injectiemethodiek.

- 1 Bepalen voegmoot nummer, tunnelelement nummer van de lekke dilatatievoeg en mate van lekkage van uitstromend water.
- 2 Bepalen vertanding in voeg, richting en afmetingen en ligging rubber voegprofiel, voegafdichtingen en bescherming betonconstructie (dak), dikte en type hittewerende bekleding.
- 3 Bepalen uit werktekening type rubber voegprofiel en afmetingen.
- 4 Berekenen maatvoering aanboren uit dilatatievoeg midden boven rubber voegprofiel, onder 30/60 graden, let op vertanding in voeg, bereken de boorlengte ( $2:1:\sqrt{3}$ )
- 5 Bepalen positie twee te boren gaten, elk naast de lekkage ruim uit elkaar. Boor diameter 25 mm. De boormaet uit de voeg is belangrijk. Het boorgat aan weerszijden van het lek op een vlakke ondergrond i.v.m. vastzetten boorunit. Nooit in een schuin dakvlak boren.
- 6 Boorstatief op 30/60 graden vooraf instellen. Controle in het werk. Lengte boor, gedeeld door 2 is de hoogtemaat. Met meetband meerdere keren controle of stand boorbuis klopt.
- 7 Packer met kogelkraan afsluiter lang ca. 40 cm, diameter 25 mm. Rubberhuls uit één stuk.
- 8 Na aanboren dilatatievoeg controle op doorboren voeg aan de stand van de betonkernen.
- 9 Komt er water uit de voeg, controle op schoon water. Als er zand meekomt deze weg laten lopen totdat er schoon water uitkomt. De voeg doorspoelen via het tweede boorgat. Beide boorgaten kunnen hiervoor gebruikt worden. Kogelkraan open en packer in boorgat, moer aandraaien, kraan dicht en injectie nippel opdraaien, injectiepistool aansluiten op pomp.
- 10 Injecteren met gekleurd water. Het gemakkelijkst is de witte component van de injectievloeistof MC GL-95TX te gebruiken.
- 11 Tijd opnemen wanneer het "gekleurde" water zichtbaar wordt uit de lekke dilatatievoeg. Deze tijd in seconden is de maatstaf voor de dosering zout als reactietijd MC GL-95TX. Controle zoutdosering met proefmonster.
- 12 Aanmaken injectievloeistof MC GL-95TX en injecteren via injectiepistool op packer.
- 13 Op het moment dat de witte injectievloeistof uit de dilatatievoeg komt, overleg om te stoppen. De vloeistof moet reageren en het lekwater houdt op.
- 14 Vloeistof uit dak opvangen op plasticzeil i.v.m. reinigen wegdek.

Voor het injecteren met de polyacrylaat-rubber hebben we dus een lekwater stroom nodig! Maar als het lekwaterdebiet te groot is, zal door te veel verdunning door het water geen chemische reactie van het injectiemateriaal kunnen optreden. In die gevallen dient het debiet te worden verminderd door afstoppen lekweg middels lappen en wiggen. Indien dit niet kan, is het te overwegen om een eencellige polyurethaan met toevoeging van polyester schuimvlokken te injecteren om de waterstroom af te remmen. Indien dit de lekweg stopt, moet nageïnjecteerd worden met een twee componenten polyurethaan hars. Als vermindering van de waterstroom optreedt, kan met de polyacrylaat-rubber MC worden nageïnjecteerd.

### 11.3 PLANNING EN UITVOERING

De nieuwe methode vraagt een goede voorbereiding (maatvoering), inschatting van de lekweg en boorstrategie. Tunnels en toeritten zijn alleen 's nachts voor werkzaamheden beschikbaar, tussen 20.00 en 05.00 uur, zodat de kritieke tijdsfactor bij het boorwerk ligt. Het boren van de gaten is de rode draad in de tijd, reden waarom twee gaten tegelijk worden geboord.

Het injecteren vraagt de minste tijd. De meeste kosten gaan zitten in de verkeersmaatregelen.

Lekkage in een dilatatievoeg per tunnelbuis is in één nachtafsluiting te dichten conform de ervaringen die bij diverse tunnels zijn opgedaan.

Lekkage met ijsvorming (pegels aan het dak) treedt op in de wintertijd. Op het dichten ervan kan niet altijd gewacht worden op later geplande onderhoudswerkzaamheden. Voor het dichten hebben we lekwater nodig.

Zodra de temperatuur oploopt neemt de lekwaterstroom af of stopt zelfs. Injecteren op een enkele waterdruppel kan niet.

### 11.4 GOOT IN DILATATIEVOEG

Als achteraf blijkt dat na diverse malen injecteren de lekkages in een betonvloer blijven terug komen (Vlaketunnel) is de oplossing om van de dilatatievoeg een afvoergoot te maken. In dat geval is de voegbreedte ook vaak groot, misschien is het rubber ingescheurd (Roosendaal onderdoorgang), de betonkwaliteit voeg onvoldoende dicht en ligt het rubberprofiel niet diep in de betonvloer.

We kunnen er gemakkelijk bij. Wel moet voor deze actie per rijbaan het verkeer voor één nacht worden afgesloten. De goot wordt na het reinigen en eventueel nog injecteren afgedicht door het rubber zogeheten calamiteitenprofiel. Daarna kan de sparing worden gevuld met een asfaltmengsel.

### 11.5 NIEUWE RUBBERAFDICHTING IN / OP DILATATIEVOEG

Als de voegbreedte zo groot is geworden en of lekt en er geen waterafvoer mogelijk is, is de voegafdichting voor de toekomst niet meer betrouwbaar. Dan moet overwogen worden om een nieuw rubber voegprofiel aan te brengen. Dit kan op twee manieren.

Op het betonwerk van de wanden en verzonken in het wegdek.

Twee praktijkvoorbeelden zijn reeds beschreven, de Kreekrak buisleidingentunnel ( 10.1) en de Roosendaal onderdoorgang ( 10.14)

Een verzonken constructie vergt enkele weken gefaseerde stremming van de rijbanen.

Deze oplossing is kritisch in de uitvoering op techniek en vraagt een gedegen voorbereiding en controle in de uitvoering. Nauwkeurig beton hakwerk, wapening aanbrengen, beton afwerken, gaten op maat boren, chemische ankers aanbrengen, maatvoering, voorspannen ankers en indrukking rubber dienen zorgvuldig te worden uitgevoerd.

Tenslotte is een water testproef noodzakelijk ter controle van de waterdichting alvorens de sparing verder aan te storten met staalvezelbeton.

Het hoeft geen betoog dat deze oplossing duur is. Tenslotte dient de voegovergang in het wegdek hersteld te worden met een VA10 rubberprofiel.

Voor het rubberprofiel is voor de onderdoorgang Roosendaal eerst gekozen voor een W5B vlakprofiel dik 20 mm met klemlijsten (1983).

Bij een nadere beschouwing is voor de hogere gelegen betonmoten gekozen voor een nieuw rubberprofiel, de W5B-10, dat een lijfdikte heeft van 10 mm (idem de W9Ui) met drie indrukbare ribbels gelijk de omega profielen.

## 12 RUBBERMETAAL PROFIEL DILATATIEVOEG W9UI

### 12.1 FABRICAGE RUBBER

Het rubber van de dilatatie voegstroken bestaat uit een aantal componenten als o.a. polymeer, roet, weekmaker, antidegradanten, activatoren, zwavel, versnellers, e.a. stoffen.

Voor dilatatievoegen wordt SBR (Styreen Butadieën Rubber) als basispolymeer gebruikt.



Fig 12.1 Natuurrubber in opslag (Vredestein)



Fig 12.2 RubbERMENGSSEL in mengmolen



Fig 12.3 Samenstellen rubbermetaal profiel



Fig 12.4 Het vulkaniseren (matrijs) W9Ui profiel

### 12.2 INJECTIE TECHNIEK

Het rubber voegprofiel W9Ui is een doorontwikkeling van het eerst toegepaste W9A profiel. Voor zover uit documentatie Vredestein is na te gaan, werd dit voor het eerst toegepast bij de bouw en na het gereed komen van de Velsertunnel. De i (injectiemogelijkheid) werd later toegevoegd omdat in de praktijk bleek dat toch lekkages voorkwamen, die hoofdzakelijk te wijten waren aan uitvoeringsfouten tijdens het betonstorten.

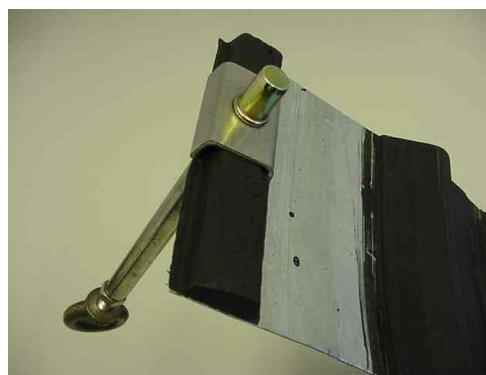


Fig 12.5-6 Het W9Ui profiel met stalen injectiepenen gemonteerd. De pen met oog is een draadstang die door een mantelbuis loopt en vast zit gedraaid aan het vormgevormde schoentje over het sponsinjectie rubberstrookje.

De i bestaat uit een op de metaalstrook gelijmd dicht injecteerbaar sponsprofiel, dat tijdens het injecteren wordt ingedrukt en een epoxy laag rondom dit sponsrubber vormt en in aanraking met luchtgallen en of holle ruimten deze vult. Zodoende wordt de waterdichtheid rondom het profiel verbeterd.



Fig 12.7 Proefstort met een W9Uj, lucht onder rubber Fig 12.8 Opengemaakte balk controle luchtbellens en injectiehars



Fig 12.9 Proefstort met een W9U met losse injectieslang

Fig 12.10 Opengemaakte balk met luchtbellens en injectiehars

Er is veel onderzoek gedaan of het systeem van injecteren te verbeteren viel. Zowel op de in uitvoering zijnde tunnelwerken als bij het toenmalige leverancier Vredestein zijn op de fabriek testen uitgevoerd om het sponsrubber en het injecteerproces te controleren.

Een alternatief voor het sponsinjectie profiel leek een los te monteren hd injectieslang op basis van een kliksysteem, zie fig 12.11 Een nieuw kliksysteem werd ontworpen en in de praktijk in een tunnelvloer ingebouwd en geïnjecteerd (Calandtunnel) De onderdelen in kunststof en kliksystemen bleken te kwetsbaar te zijn tijdens de montage, het aanbrengen van de wapening en vooral tijdens het betonstorten. De onderlinge aansluitingen lekten bij de injectiedrukken (ca. 10 bar) Uit de praktijk bleek dat de stalen uitvoering noodzakelijk is vanwege zijn robuustheid ervan. Het huidige injectiesysteem en de keuze van de epoxyhars is een gevolg van een jarenlange ontwikkeling van zoeken en testen van deze techniek. Alternatieve losse injectieslagen, zie fig 12.9, zijn uitgetoetst, maar missen de essentiële aansluiting op de staalplaat en hebben daardoor niet het gewenste resultaat. Gesteld kan worden dat het systeem uitontwikkeld is.



*Fig 12.11 Proefstort met een stalen klikvoetje waarop een hd injectieslang was gemonteerd (Calandtunnel) Het klikvoetje is kwetsbaar tijdens het betonstorten of raakt los en de knelverbindingen lekken bij de hoge injectiedrukken door vervormingen.*



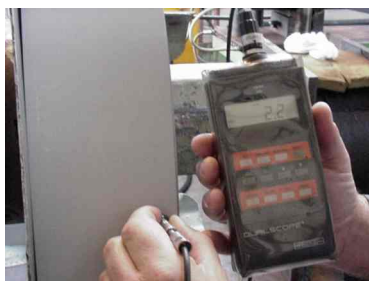
*Fig 12.12 Voorontwerp van een kunststofvoetje met daarop een rond HD injectieslang. Dit bleek niet robuust genoeg voor montage op het rubber sponsprofiel.*



### 12.3 EISEN AAN HET RUBBER SPONS INJECTIEPROFIEL

Trelleborg heeft voor het maken van het rubber injectiespons profiel het procédé van Vredestein gewijzigd. Was het Vredestein procédé een matrijssysteem met als gevolg een te ruw oppervlak, het Trelleborg procédé is een extrusie proces waardoor een dicht en glad egaal oppervlak ontstaat. Via de mantelpijp en het stalen schoentje wordt geïnjecteerd wordt het sponsrubber door de epoxy ingedrukt en ontstaat er een epoxyfilm over en rondom het rubber en vult daarnaast alle luchtholten die de vloeistof tegen komt. Vandaar de eis van een epoxy injectiehars dat de viscositeit bij 20/23 graden niet hoger mag zijn dan ca. 150 mpas. Hoe hoger het getal hoe stroperiger de injectie vloeistof. Polyurethanen zijn daarom ook niet geschikt.

### 12.4 EISEN AAN DE METAALSTROOK



*Fig. 12.13 In overleg met RWS zijn de kwaliteitseisen van de staalplaat vastgelegd. Omdat rubber voegstroken tijdens de bouwfase lang open op het werk liggen opgeslagen voordat het wordt ingebetonneerd, dient de conservering van de dunne staalplaat dik 0,8 mm, hierop te zijn afgestemd. Daarom is de staalplaat sendzimir verzinkt met een laagdikte van 20 mu.*

*Dikte controle verzinklaag op de staalplaat , sendzimir > 20 mu*

## 12.5 NEN 7030 KWALITEITSEISEN WATERKERENDE DILATATIE VOEGSTROKEN

De kwaliteitseisen van het rubber zijn gebaseerd op de eisen uit de NEN 7030. Deze eisen zijn in januari 1975 door een commissie opgesteld, waarin o.a. ir. E.H.L.de Munck namens Vredestein zitting had.

*Er mag worden aangenomen dat de eisen genoemd in de norm gebaseerd waren op de fabrieksleveranties van Vredestein, c.q. Bakker Rubber. Van de toen geformuleerde eisen kan worden uitgegaan dat dit de fabriekswaarden waren bij de productie en dus als beginwaarden van het rubberprofiel kunnen worden beschouwd van het te beproeven Vlaketunnel rubbermonster, waarvan geen gegevens van toen meer bekend zijn.*

In de norm 7030 worden volgende eigenschappen genoemd: Duurzaamheid, Samenstelling, Uiterlijk en Maten, Mechanische sterkte, Afdichting, Hardheid, Bestandheid tegen ozon, Wateropneming, Bestandheid tegen lage temperaturen, Bestandheid tegen olie, Hechting rubber- metaal.

In de tabel mechanische eigenschappen document Trelleborg-Bakker zijn de eisen uit de NEN 7030 genoemd:

	<b>SBR</b>	
- Rubber	60 +/- 5	Shore A (de waarde 60 is een door de fabrikant op te geven waarde)
- Hardheid (shore A)		
conditionering 72 uur bij 0 gr C	< 5	Shore A verandering beginwaarde
conditionering 72 uur bij -10 gr C	< 8	Shore A verandering beginwaarde
- Treksterkte	> 17,1	N/mm <sup>2</sup>
- Rek bij breuk	> 375	%
- Scheursterkte (N)	> 31,1	N of bij een 8 mm <sup>2</sup> proefstrook is dat 3,89 N/mm <sup>2</sup>
- Duurzaamheid na 14 dagen 70 C volgens Geer-Evans opgehangen in een luchtthermostaat		
verandering treksterkte	< 25	%
- Rek bij breuk	< 30	%
- Hardheid	< 8	Shore A verandering beginwaarde
- Compressie set 72 uur 20 gr C	< 10	% , geen barsten of scheuren
- Wateropname	< 30	gr/m <sup>2</sup>
- Bestendigheid tegen ozon 120 uur/ 25 pphm/23 gr C/ 20 %		geen barsten
- Bestendigheid tegen koude		
- Hardheidsverandering bij 0 gr C	< 5	Shore A verandering beginwaarde
- Hardheidsverandering bij -10 gr C	< 8	Shore A verandering beginwaarde

De meest kritische eisen zijn de treksterkte, rek bij breuk en de scheursterkte. Als de hardheid (shore A) toeneemt neemt de scheursterkte af.



## 12.6 DUITSE NORM DIN 7865

Er bestaat ook een DIN norm en om een vergelijking te hebben met de NEN 7030, is deze norm opgenomen. Voor Nederland geldt overigens de NEN 7030 norm.

Elastomer Fugenbander zur Abdichtung von Fugen in Beton.

Ook in de DIN normen staan eisen over rubber voegbanden, waarop rubber leveranciers hun producten toetsen.

Eisen volgens de DIN norm:

- Shore-A-Harte	62 +/- 5
- Zugfestigkeit	min. 10 N/mm <sup>2</sup>
- Reiszdehnung	min 380 %
- Druckverformingsrest	
168 h/23 grC	max 20 %
24 h/ 70 gr C	max 35 %
- Weiterreiszfestigkeit	min 8 N/mm
- Kalteverhalten	max 90 Shore A
- Verhalten Ozon	Riszstufe 0
- Zugformungsrest	max 20 %
- Metallhaftung	Bruch im Elastomer
- Formbeständigkeit Heisbitumen	Kein

## 12.7 SLS- EN ULS GRAFIEKEN RUBBER VOEGPROFIELEN

In de documentatie "Dilatatievoegen" geeft Trelleborg voor het toepassingsgebied van de rubberprofielen in de appendix 7 een Serviceability Limit State ontwerp grafiek (SLS). Trelleborg heeft ook een Ultimate Limit State (ULS) grafiek opgesteld, waaraan het profiel in de praktijk wordt getoetst op gaaf- en duurzaamheid.

Door het uitzetten van dilatatievoegen en door de waterdruk ontstaat er vervorming van het rubber in de dilatatievoeg. De verlenging in het rubber ontstaat door de verwijding van de voeg en door waterdruk die een boogvorming veroorzaakt. De boogvorming geeft een reductie in de radius, waardoor de spanning in het rubber vermindert.

De verlenging veroorzaakt interne trekspanningen in het rubber.

$$\sigma_m = \epsilon \times E$$

$$\text{Externe druk veroorzaakt een spanning } \sigma_p = P \times D / 2 / t$$

Zodra  $\sigma_p = \sigma_m$  is er evenwicht.

Voor elke nominale voegopening kunnen deze waarden worden berekend bij een maximum te specificeren verlenging.

Alle verkregen punten tezamen geven een grenslijn bij een gegeven vooropening (= breedte dilatatievoeg) in de ontwerpfase

In het algemeen is deze waarde bij afzinktunnels "0"

Deze grafieken zijn o.a. gemaakt voor de W9Ui, W9CUi.

### 12.7.1 SLS GRAFIEK (SERVICEABILITY LIMIT STATE ) ONTWERPFASE

De SLS grafiek van het rubberprofiel geeft inzicht in de verlenging bij een bekende waterdruk, waarbij voor verschillende voegbreedten een vervorminggrafiek is berekend.

Vertikaal (op de Y-as) staat de waterdruk in MPa. (1 MPa = 10 bar of wel 100 mwk).

Horizontaal (op de X-as) staat de verlenging van het rubber. De berekende lijn is dus de vervorminglijn als gevolg van de waarden op de x en y as met daarbij de nominale ontwerpbreedte van de dilatatievoeg.

Bij afzinktunnels worden de betonmotten koud tegen elkaar aangestort in verband met de transportvoorspanning en is de ontwerpbreedte van de dilatatievoeg "0".

Bij betonmotten in de toeritten is de ontwerp voegbreedte bij "oude tunnels" ook nul, terwijl bij de nieuwere tunnels vanaf 2000 de voegbreedte 10 mm kan zijn door instorten van schuimrubber voegvullingsstroken.

In dat geval is de grafiek met "initial gap" 10 mm van toepassing.

De veiligheidsfactor onder SLS condities is 4.

Bij een verlenging van 23 mm van het rubberprofiel zien we dat de maximale vervorming vanuit het ontwerp in de gebruiksfase wordt bereikt.

Deze verlenging komen we in de praktijk vooral tegen bij dilatatievoegen in open toeritten van onze tunnels. Omdat veelal de vloeren onderheid zijn en er in principe geen zettingen optreden, hebben we te maken met trekspanningen in de x richting van het rubberprofiel, zowel in de vloer als in de wanden. Tot zover vanuit het ontwerp geen probleem, zolang we in het gebied onder de kromme blijven. Bij een verlenging boven de 23 mm, toetsen we de veiligheid op scheursterkte aan de ULS grafiek (bezwijkfase), zie 12.7.2

Bij onze afzinktunnels is de grootste druk ca. 25 m waterkolom onderzijde tunnelvloer. Dat is dus 2,5 bar (relatieve druk)

De grafiek geeft in dit gebied een sterke vervorming aan, bijna rechtevenredig met de waterdruk.

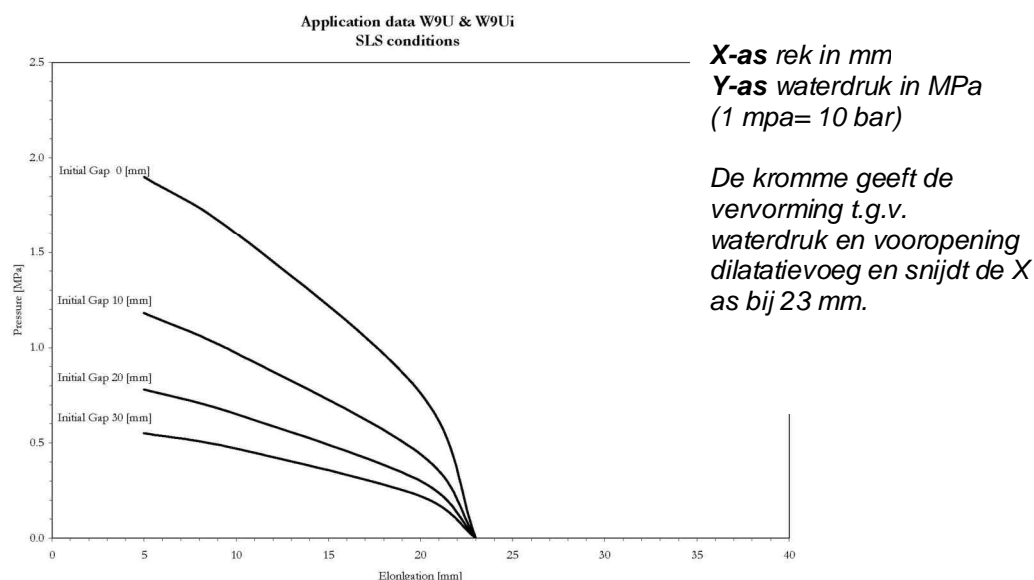


Fig 12.14 SLS grafiek voor W9Ui profiel

In de praktijk staan dilatatievoeg profielen in de vloer van afzinktunnels onder een maximale waterdruk van ca. 25 m, dat is 2,5 bar MPa. Bij een verlenging tot 23 mm vallen we binnen de ontwerpgrafiek.

## 12.7.2 ULS GRAFIEK (ULTIMATE LIMIT STATE) GEBRUIKSFASE

De ULS grafiek is voor de toetsing aan de praktijksituatie.

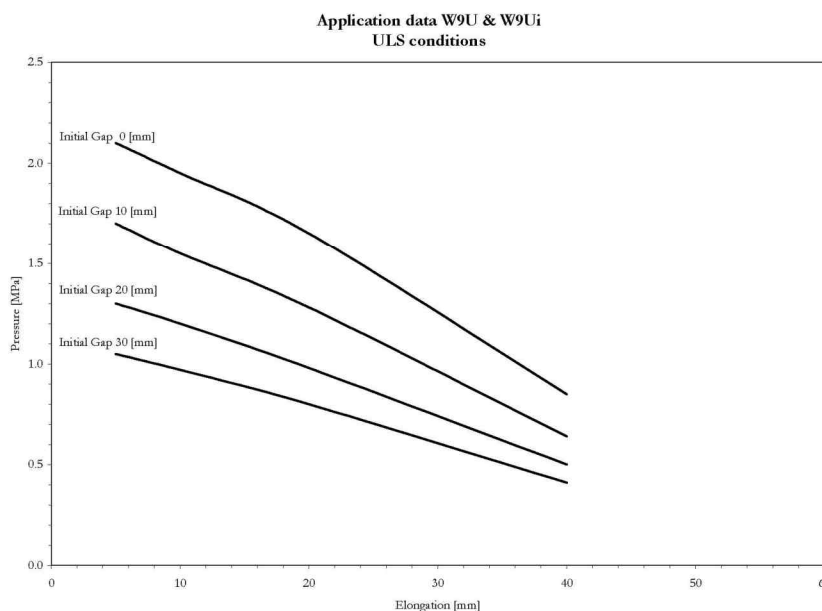


Fig 12.15 ULS grafiek gebruiksfase

De waarden op X- en Y as in de ULS grafiek zijn gelijk aan die van de SLS grafiek. De kromme vervormt door de waterdruk en de verlenging en houdt op bij waarde op de X as van 40 mm.

De veiligheidsfactor in het gebied onder de kromme  $\gamma = 2$

Bij een ontwerp vooropening (ontwerp voegbreedte) geeft de kromme een bijna twee x grotere verlenging bij raken van de X as (van 23 naar 40 mm)

Trelleborg Bakker geeft de volgende informatie voor het ontwerp van haar dilatatie voegband W9Ui. De data die gebruikt is voor het ontwerpen van de SLS en ULS grafieken is gebaseerd op rubbermateriaal 26-3742 van Trelleborg-Bakker

- Dit materiaal heeft een minimum scheursterkte van 4 MPa (eis NEN 7030 > 3,89 N/mm<sup>2</sup>)
- Binnen de SLS condities (binnen de kromme) is de veiligheidsfactor 4.
- De maximum trekspanning onder de SLS conditie is dus 1 MPa.
- Dit komt overeen met een verlenging van 20 % (verlenging gerekend tussen de rubber knopen van het profiel 115 mm x 0,2 = 23 mm).
- De veiligheidsfactor is opgebouwd uit:
 

uls-sls	$\gamma 1 = 2$	}	$\gamma 1 \times \gamma 2 \times \gamma 3 = 4$
materiaal	$\gamma 2 = 1,2$		
veroudering	$\gamma 3 = 1,67$		

- De rubberprofielen kunnen voor afzinktunnels een verkorting / verlenging van -35 / 17 mm opvangen.
- Meestal is het aantal voegen 7
- Maximum beweging per voeg is 52mm / 7 = 7,4 mm.
- Waterdiepten tot 30 mwk.

In de praktijk zien we dat de voegbreedten in afgezonken tunnelelementen zich beperken van 0 tot ca. 10 mm. Hier is dus in feite niets aan de hand.

Maar de breedten in de dilatatievoegen van de open toeritten zijn veel groter, maar de waterdrukken minder.

### Wat betekent dit nu voor de praktijk?

Zolang we linksonder de kromme van de ULS grafiek blijven is er geen probleem. Veiligheidsfactor onder de ULS condities  $\gamma = 2$  ( $\gamma_1 \times \gamma_2 \times \gamma_3$ )

Met andere woorden de veiligheidsfactor op de scheursterkte = 1.

Maar als we buiten het kromme gebied komen, dus rechts van de kromme komen we in het onbekende gebied en wat is dan het risico (kans x gevolg) ?

Vanuit de mechanische eigenschappen blijkt dat de scheursterkte het belangrijkste bezwijkcriterium is van het rubberprofiel.

Een beschadiging van het rubber, een inkerving ontstaan tijdens de bouw, kan reeds aanleiding geven tot inscheuren. En als de kromme in de ULS grafiek de X as snijdt bij een verlenging van 40 mm van het rubber is de grens van veiligheid ( $\gamma=1$ ) bereikt.

Op het moment dat in de praktijk verlengingen (x,y of z richting) van rubber dilatatie voegen ten opzichte van de nulsituatie worden gemeten van gelijk of groter dan 40 mm is de **scheursterkte kritisch** geworden. Hoe kritisch weten we niet. Wat is de reserve, weten we niet.

De scheursterkte eis conform de NEN 7030 is > 31,1 N. Bij een proefstuk van 8 mm<sup>2</sup> is de waarde 3,89 N/mm<sup>2</sup>.

Bij een test op een nieuw proefstuk van een W9CUI profiel is een waarde van 9,2 N/mm<sup>2</sup> gevonden (2,3 x zoveel) Er zit dus nog wat ruimte dat in de beschouwing wordt meegenomen met de  $\gamma$ .

Bij overschrijding van de waarde 40 mm als totale verlenging is de veiligheid tegen inscheuren gelijk 1. In een risicobeschouwing is er dus geen veiligheid meer over.

Wat te doen? Wanneer moeten we tot maatregelen overgaan en welke ?

Moeten we al voorzorgsmaatregelen nemen?

Door het monitoren en inmeten van dilatatie voegbreedten kunnen we het verloop te weten komen en als de voegbreedte groter wordt dan 40 mm bij een ontwerpbreedte van de voeg nul, geeft een risicoanalyse de methode aan om na te gaan denken wat we kunnen gaan doen.

## 12.8 RISICO ANALYSE

We zien in de praktijk dat het eerste euvel lekkage is. Daarvoor is in dit handboek een methode van injecteren aangegeven die zeer succesvol is gebleken tegen geringe kosten en wel het voornaamste "**in een nacht weer dicht**". Met andere woorden de overlast voor het verkeer is minimaal. Maar als uit de metingen van de voegbreedten te verwachten is dat vervormingen groot zijn en blijven toenemen, is dan nog de optie injecteren, of een goot of mogelijk of een nieuw voegprofiel? In de voorbeelden van de projecten in hoofdstuk 10 zien we dat alle opties zijn toegepast op de situatie per object.

In een risico analyse dienen dus afwegingen te worden gemaakt over de verkeersbereikbaar- en veiligheid, weertype, lekkage wat te doen, injecteren, waterafvoeren en nieuw profiel.

En als we nog geen lekkage hebben, maar wel grote verlengingen wat is dan de strategie?

Bij het toetsen op de ULS grafiek wordt aangegeven dat bij het bereiken van de 40 mm de kans op inscheuren rubberprofiel één (1) is, de reserve is namelijk niet in te schatten en wat dan te doen?

Maken we een nieuwe voegconstructie in het wegdek met verkeersstremmingen met ook een langere duur als gevolg. Per object is de situatie anders.

Uit het bovenstaande blijkt hoe belangrijk het is om inzage te hebben in de voegbreedten van onze tunnels en dan met name die in de open toeritten, waar grote **temperatuurverschillen** kunnen optreden.

Dit belang is reeds door de Vlaketunnel beheerder onderkend. Daar zijn alle voegbreedten ingemeten, mede door een hardnekkige lekkage in een dilatatievoeg in een vloer (zie 10.7)

## RISICO TABEL

Voegbreedte	Risico	Gevolg	Actie
< 40 mm	Lekkage	Bevriezen water op wegdek Verkeersveiligheid  per gebeurtenis	Verkeersomleiding Ontwerp dilatatievoeg vloer, wanden, dak Injecteren (1 nacht) Gootafvoer (1 nacht)
> 40 mm	Lekkage Inscheuren rubber	Bevriezen water op wegdek Grote lekkage Verkeersveiligheid j/n	Verkeerstremming Noodmaatregelen Bemaling ? Injecteren ? Gootafvoer j / n Nieuw rubberprofiel
<b>Preventief</b>	Lekkage Inscheuren rubberprofiel	Water op wegdek Bevriezen water op wegdek	Risico analyse opstellen <b>Inmeten voegbreedte</b> <b>Tekeningenarchief</b> <b>Voegdetails</b> <b>Plan van Aanpak</b>

Fig 12.8.1 Risicoprofielen

Voor een paar tunnels zijn op A 4 formaat relevante tunneldetails in een boekje samengevoegd om bij geval direct bij de hand te hebben. Het voorkomt zoeken in allerlei tekeningenlijsten en of in digitale bestanden of overzichten van besteks- en of bouwtekeningen.

De vermelding op de tekeningenlijst geven niet met name de details aan die op een tekening staan. Alleen ingewijden weten op welke tekeningen ze wat kunnen vinden en dan nog worden de papieren overzichtslijsten er bij gehaald om een onderdeel sneller te kunnen vinden.

### Aanbeveling:

Per tunnel zou er een tekeningenboekje op A4 (of A3 formaat) beschikbaar moeten zijn.

Wat moet er minimaal in staan?

- overzicht tunnel, toeritten, aantal tunnelementen / moten met nummering
- doorsneden toerit en tunneldeel met afmetingen
- plaats meetbouten
- dilatatievoegen toeritten en tunnelmoten (met verandingsrichting)
- detail zink- en sluitvoegen
- toegepaste rubberprofielen GINA, Omega en W9U / W9Ui
- dikte ballastbeton
- wegbekleding asfaltdikte
- ingestorte stalen onderdelen in vloer en dak (onderstroom, sondeerpunten, toegangschacht frame, afpersleidingen omegaprofiel met sparring)

## 12.9 RUBBERPROFIEL UIT WAND VLAKETUNNEL

Testen van rubberprofielen zijn tot nu toe alleen in de productiefase uitgevoerd om aan te tonen dat bij de levering aan de eisen van de NEN norm 7030 (1975) werd voldaan.

Testen op **rubberprofielen uit de praktijk** zijn nooit eerder genomen en alleen uit studie analyses is gekeken naar de duurzaamheid van rubberprofielen zoals in de praktijk verondersteld mag worden.

Om na te gaan wat de restkwaliteit van rubberprofielen is, zoals het metaalrubber voegprofiel W9U, is een praktijkonderzoek opgestart.

Waar kan je uit een betonwand van een tunnel over een dilatatievoeg een gat boren om een zo oud mogelijk rubber voegprofiel te krijgen?

Het bleek dat een buitenwand van de uitrit oostzijde Vlaketunnel net boven het maaiveld toegankelijk was en de beheerder gaf toestemming. Gekozen is om een betonkern diameter 30 cm te boren over de dilatatievoeg, diep ca. 40 cm met het rubber dilatatieprofiel W9A van de toenmalige leverancier Vredestein.

Uitvoering is gedaan op 30 oktober 2007. Na het verwijderen van de betonkern kon het doorboorde rubberprofiel er uit worden getrokken.

Het betonwerk van de Vlaketunnel is gereed gekomen in 1973. Het rubberprofiel is ingebetonneerd in 1971/1972. Dus ongeveer 35 jaar oud. Voldoende voor onze testvergelijking met de waarden in de norm NEN 7030.



Fig 12.9.1 Oost uitrit Vlaketunnel



Fig 12.9.2 Dilatatievoeg buitenwand



Fig 12.9.3 Openstaande voeg met meetbouten

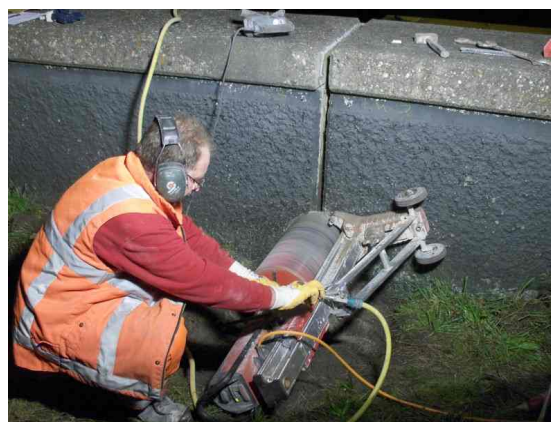
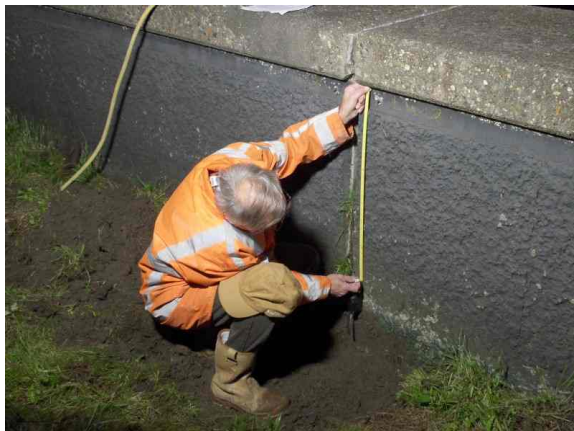


Fig 12.9.4 Betonkern boring achterwand over voeg



**Fig 12.9.5**

*Uit de maaktekening werd bepaald op welke hoogte onder de dekzerk de betonkern kon worden geboord. Ter plekke moesten de graszoden worden verwijderd voor de diamant zaag.*

*De dilatatievoeg en het boorgat is met wapening en een cementmortel hersteld.*



**Fig 12.9.6**

*De betonkern is geboord en verwijderd. Het rubberprofiel is er uitgehaald. Het water is van het boren van de betonkern.*



**Fig 12.9.7**

*Het rubberprofiel W9A is 400 mm breed. De boring is 300 mm breed*

*De boordiameter is bepaald op de staalstrippen om het rubber monster door te kunnen boren. Het rubber heeft Trelleborg-Bakker door een extern lab laten onderzoeken.*



**Fig 12.9.8**

*Links het huidige rubberprofiel, de W9U(i), met een horizontaal vlak middendeel, waarop een schuimrubber strip is verlijmd.*

*Rechts het geboorde rubberprofiel W9A. Dit heeft in het midden nog een ronde luchtkamer*

## 12.10 TEST OUD RUBBERPROFIEL W9A VLAKETUNNEL

Trelleborg heeft het 35 jaar oude rubber voegprofiel Vlaketunnel extern laten beproeven bij Delta Rail, een onderzoeksinstituut te Utrecht. ([www.deltarail.nl](http://www.deltarail.nl))

*Het is aannemelijk, maar niet onderzocht, dat het rubbermonster ook van SBR rubber is gemaakt en dat Vredestein de waarde  $60 \pm 5$  Shore A hanteerde.*

In 12.13 geeft Trelleborg haar uitleg over de onderzoeksresultaten.

In antwoord op bovengenoemd schrijven zend ik u hierbij de beproevingsresultaten van het onderzoek uitgevoerd aan een rubber dilatatievoeg.

### Gegevens monster

Het monster is volgens uw opgave uit een niet nader aangeduide betonconstructie geboord. Er zijn geen gegevens omtrent fabrikaat e.d. ontvangen. Op het monster was het opschrift 'VLAKE 31-10' aangebracht.

### Resultaten

De resultaten staan vermeld in de tabel in de bijlage.

### Conclusie

Wat de rek bij breuk en de verandering ervan na veroudering betreft wordt niet voldaan aan de eisen gesteld in NEN 7030, dit geldt ook voor de bestandheid tegen ozon.

### Bijlage

Beproeivingsresultaten		
Omschrijving proef	Resultaat	Eis NEN 7030
<b>Hardheid (Shore A)</b>		
- zoals ontvangen	68-72 plaatselijk* 64-68	$60 \pm 5$ (opgave opdrachtgever)
- na 3x24h at 0° C (beginwaarde: 64)	68-69	max + 5
- na 3x24h at -10° C (beginwaarde: 67-68)	74-76	max + 8
- na 14x24h at 70°C (beginwaarde: 64-68)	72	max + 5
<b>Hechtkracht staal - rubber</b>	1* : >1480N≠ 2* : >1320N≠	min. 1000N
<b>Treksterkte in N/mm<sup>2</sup></b>		
- zoals ontvangen	17.7 N/mm <sup>2</sup>	> 17.1 N/mm <sup>2</sup>
-Verandering treksterkte na 14x24 uur veroudering bij 70°C	- 14.5 %	max. $\pm 25$ %
<b>Rek</b>		
-zoals ontvangen	313%	> 375%
-verandering rek na 14x24 uur veroudering bij 70°C	- 30.7 %	max. $\pm 30$ %
<b>Scheursterkte</b> Volgens ISO816	54,9 N	31,1
<b>Blijvende vormverandering</b>	2.5%	< 10%
<b>Ozon-bestendigheid</b> Bij 25% rek, 5x24h 25 pphm ozon bij 23°C	kraakjes	geen kraakjes

\* Het rubber is dicht bij en op de verdikking bij de inzet van het staal zachter.

≠ Geen onthechting maar breuk van het rubber.



## 12.11 TEST NIEUW RUBBER PROFIEL W9CU

Uit de productiestroom van het profiel W9CU bij Trelleborg is voor de opdrachtgever AEA Technology Rail BV / Deltaspoor op 25 april 2006 een rubberprofiel W9CU beproefd op de eisen van de NEN 7030.

De resultaten van dit monster worden vergeleken met die van de Vlaketunnel in 12.12

### Results

Omschrijving	Results	Demands NEN 7030
Material (indication from producer)	SBR	SBR
Hardness Shore A		
As received	62	---
After 3x24h at 0° C	63	max + 5
After 3x24h at -10° C	66	max + 8
After 14x24h at 70°C	61	max + 5
Adhesion steel - rubber in N	> 2410 *	min. 1000
Tensile strength in N/mm <sup>2</sup>	19.0	> 17.1
Tensile strength change in % after 14x24h at 70°C	- 10.5 %	max ± 25 %
Elongation in %	385	> 375
Elongation change in % after 14 x24h at 70°C	- 16.1 %	max ± 30 %
Tear Strength in N/mm <sup>2</sup>	9.2	> 3.89
Compression set %	9.1	< 10
Water Absorption in g/m <sup>2</sup>	13.5	< 30
Ozone resistance after 5x24h 23°C strain 25 % 25 pphm ozone	no cracks	no cracks

\*: No adhesion failure: tear of rubber

*De waarden +5 /+8 hebben betrekking op de waarde bij de ingangscntrole "as received".*

## 12.12 VERGELIJK TESTEN OUD EN NIEUW RUBBER

De resultaten van het onderzoek van het rubberprofiel W9A (1972) en die van het rubberprofiel W9CU (2006) zijn naast elkaar gezet om zo de verschillen te onderkennen.

Trelleborg

Testen rubber dilatatieprofielen

		Eis NEN 7030	W9CU toets 25-4-2006	W9A Vlaketunnel 1972	toets
1.1	Hardheid (shore A) zoals ontvangen	60 +/- 5	62 v	68-72 1) 64-68	72-65 = 10 % 72-60 = 20 %
1.2	na 3 x 24h bij 0 gr C beginwaarde	max + 5	63 v	68-69 64	v 69-64=5 7,8%
1.3	na 3 x 24h bij 10 gr C beginwaarde	max + 8	66 v	74-76 67-68	76-68=8 11,7 % v
1.4	na 14 x 24 h bij 70 gr C beginwaarde	max + 5	61 v	72 64-68	72-68=4 7,20% 72-64=8 11,1 %
2	Hechtkracht staal rubber 2)	min. 1000N	> 2410 geen falen rubber v	1" >1480 N 2" >1320 N	v v
3.1	Treksterkte in N/mm2 zoals ontvangen	> 17,1 N/mm2	19,0 v	17,7 N/mm2	v
3.2	Verandering treksterkte na 14x24h veroudering bij 70 gr C	max. 25 %	-10,50% ?	-14,50%	?
4	Rek bij breuk zoals ontvangen	> 375 %	385 v	313%	X = -16,5%
4.1	Verandering rek na 14x24h veroudering bij 70 gr C	max. +/- 30 %	-16,10% v	-30,70%	X ?
5	Scheursterkte volgens ISO 816	> 31,1 > 3,89 N/mm2	9,2 v	54,9 N	v !! toename 76 % !
6	Blijvende vormverandering	< 10 %	9,10% v	2,50%	v
7	Waterabsorptie g/m2	< 30	13,5 v	niet gemeten	
8	Ozonbestendigheid bij 25 % rek, 5x24h 25 pphm ozon bij 23 gr C	geen scheurtjes	geen scheurtjes v	scheurtjes	X

1) Plaatselijk: Het rubber is dichtbij en op de verdikking bij de inzet van het staal zachter

2) geen onthechting maar breuk van het rubber

X = voldoet niet aan NEN 7030

Fig 12.12.1 Tabel vergelijk oud rubber 1972 en nieuw rubber 2006

In een overleg met de afd. materiaaltechnologie van Trelleborg Bakker B.V. zijn de volgende opmerkingen gedaan:

Resultaten zijn van één rubbermonster. Indien een tweede monster is gewenst, kan dit boven het 1<sup>e</sup> gat worden geboord omreden dat de rubber compound gelijk is aan monster 1.

- Ad 1.1 Het is een normaal beeld dat na 35 jaar er een hardheidstoename is opgetreden t.g.v. verouderingsprocessen.  
Hierdoor zal de rek bij breuk afnemen.
- Ad 1.2-1.4 De waarden na veroudering geven de veranderingen weer t.o.v. de beginwaarden. De hardheid is in absolute eenheden vermeld, dus de verandering in Shore A en bij treksterkte en rek bij breuk is de relatieve verandering t.o.v. de beginwaarden, dus in %.
- Ad 4 Rek bij breuk 313 %. Als we aannemen dat de oorspronkelijke rek bij breuk (in 1972) van de Vlaketunnel 400% was, dan is er een relatieve afname van -21,75% in 35 jaar tijd. Als we tevens aannemen dat de verouderingsprocessen in de komende 35 jaar nog steeds van fysische aard zijn, dan kunnen we na een periode van nogmaals 35 jaar (het jaar 2042) een relatieve afname van ca. 3% verwachten, zie figuur 10.12.2.  
Na 70 tot 100 jaar zal de afname van de eigenschappen sneller verlopen.

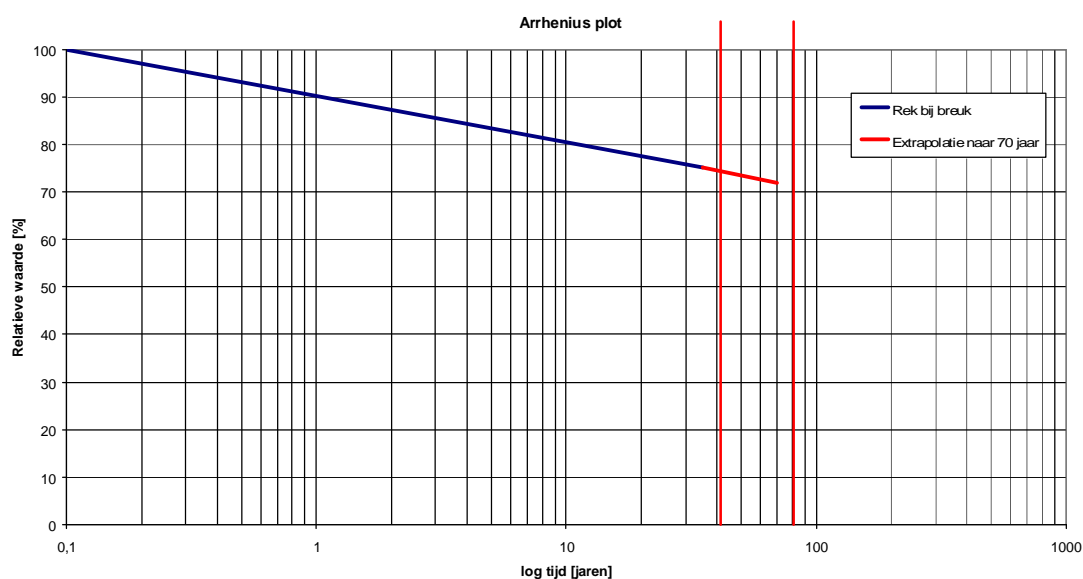


Fig 12.12.2 Arrhenius plot . lijn na 70 jaar

35 70 jaar

- Ad 5 Het proefstuk voor de bepaling van de scheursterkte heeft een doorsnede van 8 mm<sup>2</sup>. De vereiste trekkrachtwaarde volgens NEN 7030 is >31,1 N. Voor een proefstuk met doorsnede van 8mm<sup>2</sup>, komt dit overeen met 3,89 N/mm<sup>2</sup>.
- Ad 8 De scheurtjes in het oppervlak van het Vlaketunnel rubberprofiel zijn gemeten na de ozontest. Dit soort "ozon cracks" hebben doorgaans een diepte van 0 tot 0,5mm.

## 12.13 TOELICHTING TRELLEBORG OP TEST RUBBER VLAKETUNNEL

Ten gevolge van de beperkte afmetingen van het geboorde monster uit de Vlaketunnel, zijn de resultaten gebaseerd op minder proefstukken dan voorgeschreven is. De waterabsorptie-test is om bovengenoemde reden niet uitgevoerd. Dit geeft een minder nauwkeurig resultaat dan gewoonlijk het geval is. De resultaten zijn getoetst aan de NEN 7030.

De rek bij breuk (313%), de verandering van de rek bij breuk na veroudering (-30,7%) en de ozonbestendigheid voldoen niet aan de eisen in NEN 7030.

Ook de hardheid (68-72 Sh.A) is te hoog als we aannemen dat Vredestein in 1972 een hardheid hanteerde van  $60 \pm 5$  Sh.A. Een hogere hardheid en een daarmee samenhangende lagere rek bij breuk zijn normale verschijnselen voor een rubber product van 35 jaar oud.

De verouderingstest is uitgevoerd op een rubber die al 35 jaar oud is !

De mindere bestendigheid tegen veroudering en ozon is te verklaren doordat anti-oxidanten en anti-ozonanten in de rubber deels verbruikt zijn.

Tevens dient opgemerkt te worden dat eigenschappen van een rubber product kunnen variëren afhankelijk van de positie waar de proefstukken uit gesneden worden. Zo is bijvoorbeeld aan het oppervlak van een rubberproduct de hardheid iets hoger, de rek en scheursterkte iets lager dan in het midden van het rubberproduct.

### Verwachting voor de komende 35 jaar

Het verouderingsproces en de daarbij behorende teruggang in eigenschappen zal zich voortzetten in de tijd. Volgens de Arrhenius plot is de relatieve afname van de eigenschappen ongeveer lineair met de logaritme van de tijd zolang de verouderingsprocessen voornamelijk een fysische aard hebben en de temperatuur constant blijft. Na langere tijd krijgen chemische processen de overhand en is de afname van de eigenschappen sneller, zie figuur 10.12.3.

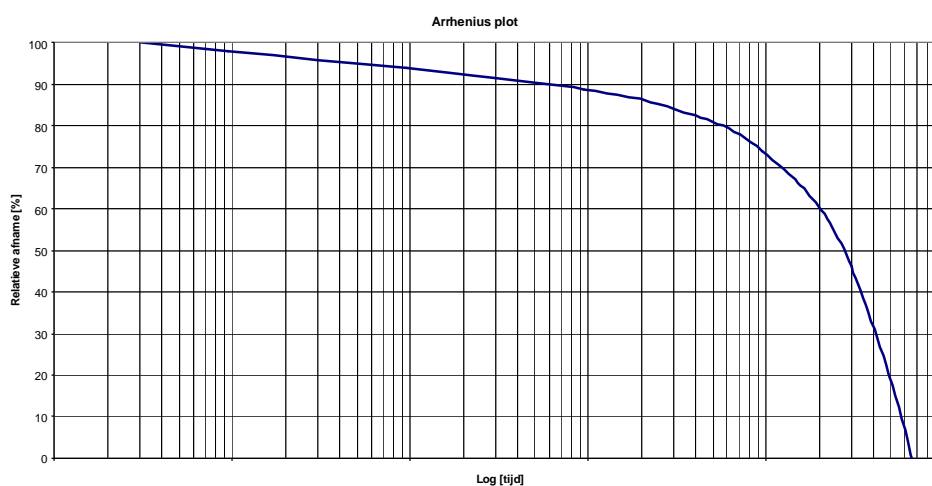


Fig 10.12.3 Arrhenius plot, afname eigenschappen in de tijd

In het algemeen wordt de levensduur als beëindigd beschouwd, als er nog 50% over is van het oorspronkelijke niveau. Omdat we de oorspronkelijke eigenschappen van de Vlaketunnel niet kennen, is een verwachting op basis van de huidige (minder nauwkeurige) resultaten gebaseerd op aannames.

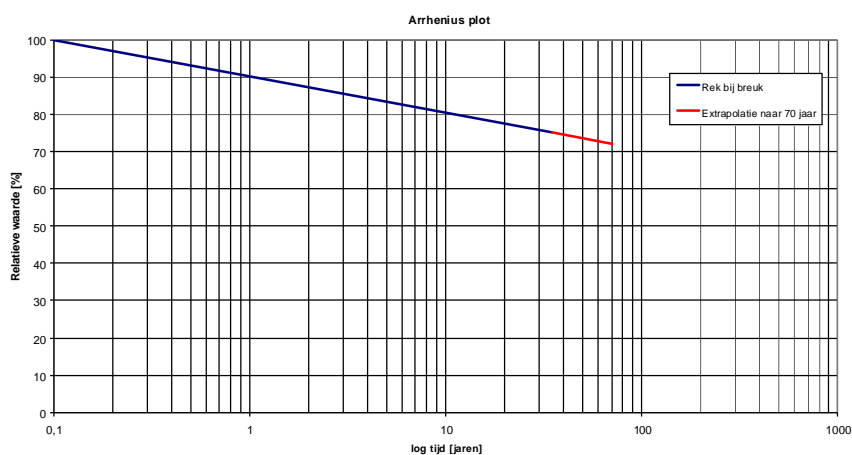


Fig 12.12.4 Arrhenius plot met verwachting eigenschappen tot 100 jaar

Op basis van de rek bij breuk zijn er de komende 35 jaar waarschijnlijk geen problemen te verwachten. Bovendien voldoet het overgrote deel van de rubber eigenschappen na 35 jaar nog steeds aan de NEN 7030.

Voor andere eigenschappen zoals treksterkte en scheursterkte zou hetzelfde gedaan kunnen worden, maar de onzekerheid over de oorspronkelijke waarde is daar groter.

## 12.14 COENTUNNEL

Op verzoek van RWS-Bouwdienst heeft TNO in 1998 een onderzoek uitgevoerd en een advies opgesteld over de gevolgen van de geconstateerde continue toename van de voegbreedten van gemeten dilatatievoegen, zie 10.17. Rapport BU4.98/026113-2/BB, d.d. 23 december 1998. Vanaf 1990 is gestart met een serie metingen om de voegbreedten als functie van de tijd in kaart te brengen. Voor de volledigheid van dit rapport "Lekkage in Tunnels", meent de auteur dat opname van dit document een toegevoegde aanvulling geeft op het aspect duurzaamheid rubbermetaal voegstroken.

Het document geeft aan dat de eigenschappen van het rubber na 35 jaar met 25 % verminderen, maar het Vlaketunnel rubber geeft een vermindering van 16 tot ca. 22 %, weliswaar slechts 1 waarde, maar wel uit de praktijk.

TNO-rapport

---

BU4.98/026113-2/BB 23 december 1998 5

TNO Industrie

### 3. Onderzoek

Ondanks pogingen om de juiste gegevens van het profiel te achterhalen dat bij de bouw van de Coentunnel medio 1962 werd ingestort kon het type daarvan niet met zekerheid worden vastgesteld. In overleg is besloten de berekeningen uit te voeren voor de "worst case". Uitgaande van het voegprofiel van het type W9A of W9B gelden de afmetingen zoals gegeven in tabel 2.

Tabel 2 Profielafmetingen

	lengte (mm)	lengte (mm)	verdikking (mm)	opname (mm)
W9 A	350	150	35	25
W9 B	400	255	44	35

De "worst case" treedt op indien wordt uitgegaan van het gebruik van profiel type W9 A.

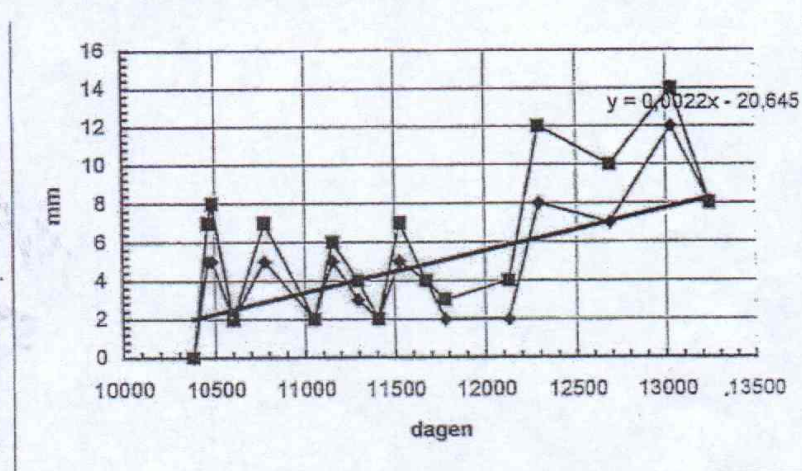
Het profiel werd tussen betonnen elementen van 18 meter ingestort. Ten gevolge van de krimp van het beton tijdens het drogen worden de voegstroken gerekt. Door het rekken wordt de rubber tegen het beton getrokken waardoor de afdichting ontstaat. Bij verharding krimpt het beton maximaal 0,5 promille (bron: NEN 7620). De rek als gevolg van het drogen kan als volgt worden berekend (elementen zijn om en om gestort: dus de halve krimp van één element per voeg): voor een element van 18 meter is dit een rek van circa  $0,5 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 20 \cdot 10^3 = 4,5$  mm. Berekend op de nominale lengte (150 mm) van het rubber van het W9 A voegprofiel bedraagt de rek ten gevolge van krimp van het beton ca. 3%.  $\Rightarrow \frac{4,5}{0,92} = 5,14\%$

De door het rekken veroorzaakte spanning in de rubber zal door spanningsrelaxatie in de loop van de tijd afnemen. De spanning in de rubber onder constante deformatie (als gevolg van rekbelasting door krimp) neemt bij temperaturen zoals in dit geval gebruikelijk over zeer lange tijd (vele jaren) af met maximaal 5% per tijsdecade (logaritmische functie). Dit betekent dat de door het rekken veroorzaakte spanning na 36 jaar nog minimaal tweederde van de beginspanning zal zijn. De spanning in de rubber als gevolg van een toename van de deformatie (lineaire functie) neemt toe.

De mechanische eigenschappen van de rubber kunnen in dit stadium niet worden bepaald (geen materiaal beschikbaar). De eigenschappen van de rubber zoals deze werd ingestort kunnen voor het voegprofiel W9A worden ontleend uit de brochure van Vredestein, hierin staan de minimale eisen vermeld (NEN 7030: Waterkerende dilatatievoegstroken en al of niet waterkerende oplegstroken van rubber, 1975). De waarden voor profielen bedragen voor de treksterkte 20,4 N/mm<sup>2</sup> en voor de rek bij breuk 400%. Als gevolg van veroudering zullen deze waarden in de loop de tijd afnemen. Uit oude rapporten en gegevens kan worden gesteld dat een vermindering van de rekeigenschappen voor een goede kwaliteit rubber na 36 jaar kan worden gesteld op ca. 25%. Daarmee zou de rek bij breuk van het materiaal nu ca. 300% bedragen.

Bij de metingen kan worden opgemerkt dat deze veel variatie vertonen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de metingen tussen januari 1996 en februari 1998 zijn uitgevoerd in de (koude) winterperiode en de andere metingen in de zomerperiode. Door thermische krimp van het beton ontstaat hierdoor een schijnbare versnelde toename van de voegbreedten. De extra meting no. 17 uitgevoerd door Mebumar op 3 september 1998 (zomerperiode) als controle hierop komt inderdaad redelijk overeen met de extrapolatie (zie figuur 1) van eerdere metingen. Hierdoor lijkt de eerdere aanname dat de toename van de voegbreedten lineair in de tijd zou verlopen juist te zijn.

Figuur 1 Metingen meetpunt 200 gecorrigeerd voor zomer/winter effecten



Uit de gegevens van Mebumar voor meetpunt 200 "worst case" blijkt dat over een periode van 1990 - 1993 een zomer/winter variatie aanwezig is van ca. 5 mm. Wordt over de totale meetperiode van 1990 - 1998 de voegbreedteverandering berekend, dan wordt de voeg per jaar ca. 1 mm groter. Over een periode van 1962 - 1998 zou dit, als dit lineair zou verlopen, ca. 38 mm zijn. Voor meetpunt 200 werd bij de inspectie 60 mm gemeten. Hetgeen veel meer is dan de geschatte waarde. Indien echter alle meetpunten van de eerste voeg worden genomen (137, 100, 237 en 200 zie tabel 1) is de voegbreedte gemiddeld 35 mm, hetgeen goed overeenkomt met de geschatte waarde. Dit duidt er op dat de betoncomponenten enigszins scheef uit elkaar verplaatsen.

Een voegbreedte van 38 mm betekent een rek voor de rubber van 43 mm hetgeen beduidend meer is dan de opgegeven maximaal toelaatbare verlenging van 25 mm voor een W9A profiel. Dat dit inderdaad ook teveel is blijkt uit de op drie plaatsen waargenomen scheuren bij deze voeg.

De eerste serie meetpunten betreft de eerste voeg van de tunnelingang. Enige schade aan de profielen op deze plaats kan waarschijnlijk zonder gevolgen voor het functioneren van de tunnel worden geaccepteerd. Het is dan zinvol de levensduurverwachting voor de overige voegen vast te stellen. De vervolgens zwaarst belaste voeg is de voorlaatste (meetpunten 136, 101, 236 en 201) die nu een gemiddelde breedte heeft van 20 mm en een toename van de breedte met ca. 0,5 mm per jaar. Gemiddeld is dit minder dan de toelaatbare rek van 25 mm echter lokaal (meetpunten 136 en 236) wordt de waarde wel overschreden (26 respectievelijk 35 mm). Dat hier nog geen scheurvorming is opgetreden is vermoedelijk het gevolg van het feit dat de rek niet vanaf het eerste begin zo hoog is geweest maar geleidelijk is toegenomen.

TNO-rapport

BU4.98/026113-2/BB

23 december 1998

7

TNO Industrie

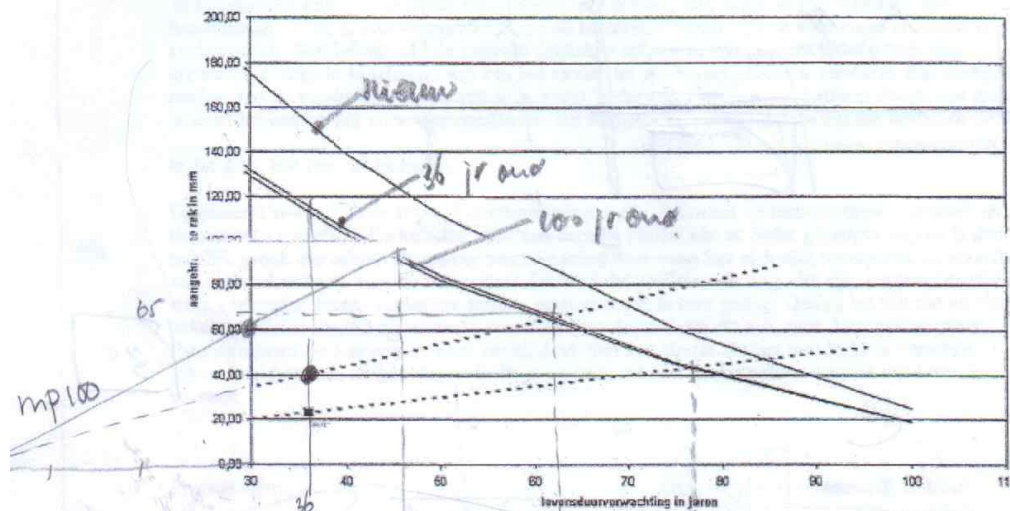
Bij nieuwe profielen bedroeg de maximaal toegestane rek 25 mm (W9A-profiel). In de loop van de jaren zijn de eigenschappen van de rubber afgenomen en daarmee neemt ook de maximaal toegestane rek af, tenminste indien "oude" profielen in hun verouderde toestand voor het eerst worden gerekt. In werkelijkheid zijn veroudering, toename van de rek en relaxatie van de spanning gelijktijdig opgetreden. De veroudering leidt tot een vermindering van de toelaatbare rek, de toename van de rek leidt op een gegeven moment tot het overschrijden van de toelaatbare rek en daarmee tot een versneld falen van de profielen. De relaxatie van de spanning heeft een tegenovergesteld effect. Doordat de spanning in de rubber afneemt neemt de belasting af en daarmee de kans op falen. De snelheid waarmee de verschillende effecten optreden is bepalend voor het tijdstip waarop uiteindelijk falen

De afname van de eigenschappen van een rubber als gevolg van veroudering verloopt normaal lineair ten opzichte van de logaritme van de tijd. Zonder meetgegevens van de huidige profielen in zowel hun nieuwstaat als na enige jaren in het veld is het niet mogelijk de snelheid van de veroudering goed aan te geven. Op basis van het gegeven dat het profielen op basis van natuurrubber betreft die in nieuwstaat voldeden aan de gestelde eisen kan worden verondersteld dat de eigenschappen na 36 jaar ongeveer 25 % zijn veranderd. Met dit als gegeven en het logaritmische verloop ten opzichte van de tijd kan ook voor andere perioden de verandering worden geschat.

De relaxatie van de spanning verloopt eveneens lineair ten opzichte van de logaritme van de tijd. Voor een profiel op basis van natuurrubber zal de afname van de spanning ca. 3,5% bedragen. Deze snelheid heeft een grote invloed op de rek zoals die met een geleidelijke toename van de voegbreedte kan worden toegelaten. Er van uitgaande dat de toelaatbare voegbreedte bij een nieuw profiel  $25 - 5 = 20$  mm heeft bedragen kan bij deze relaxatiesnelheid en de snelheid van de verwijding van de voegen worden berekend dat de toelaatbare voegbreedte steeds ongeveer 20 mm blijft bedragen. Het feit dat de toelaatbare voegbreedte wordt overschreden betekent echter niet dat het profiel direct zal falen. Duidelijk is wel dat bij een grotere overschrijding een kortere restlevensduur over zal blijven terwijl bij het bereiken van de toelaatbare voegbreedte in principe nog de volledige levensduur zal kunnen worden gehaald.

Voor de inschatting van de (rest)levensduur is de toelaatbare voegbreedte dan ook minder interessant. Onder enige aannamen is het mogelijk om op basis van een gemeten voegbreedte in te schatten hoelang het profiel nog zou kunnen functioneren. Naast de reeds eerder gedane aannamen: rek bij breuk van het nieuwe profiel 400 % (of te wel 600 mm), een relaxatie van circa 3,5 %, een afname van de eigenschappen met circa 5 % per tijsdecade en de gebleken lineaire toename van de voegbreedte wordt aangenomen dat de toelaatbare rek van het profiel (25 mm) betekent dat falen na 100 jaar op zal treden. Bij een rek van 600 mm is de levensduurverwachting dus enkele seconden en bij een rek van 25 mm bedraagt deze 100 jaar. Combinatie van deze gegevens leidt tot een grafiek als gegeven in figuur 2. Hierin is de rek in een profiel uitgezet tegen de te verwachten levensduur. De bovenste lijn geldt voor een nieuw profiel, de middelste lijn voor een profiel van 36 jaar oud en de onderste lijn voor een profiel van 100 jaar oud. Voor inschattingen vanuit de huidige situatie is de onderste lijn aan te houden.





Figuur 2: Rek versus levensduur van een profiel

Op basis van de gemeten voegbreedten is in de figuur af te lezen wat mag worden verwacht met betrekking tot de levensduur. Als voorbeeld zijn twee situaties aangegeven.

1. meetpunt 100 hier is een voegbreedte gemeten van 35 mm. In de figuur levert dit een punt bij 36 jaar en  $35 + 5$  (beginrek door krimp van het beton) = 40 mm. Doordat de verbreding nagenoeg lineair ten opzichte van de tijd plaats vind kan een lijn getrokken worden vanuit het punt 0 jaar en 5 mm en dit punt. Deze lijn snijdt de onderste kromme na 62 jaar bij 65 mm. Verwacht mag worden dat op dat moment het profiel defect raakt.
2. meetpunt 132 hier is een voegbreedte van 18 mm gemeten. Dit levert een punt bij 36 jaar en  $18 + 5 = 23$  mm. De lijn door dit punt en het punt 0 jaar, 5 mm snijdt de kromme na 77 jaar bij 42 mm. Voor het profiel op deze plaats mag dus nog een restlevensduur van  $77 - 36 = 41$  jaar worden verwacht.

Het is duidelijk dat op deze wijze slechts een schatting kan worden gemaakt en dat als gevolg van de onzekerheden in de aannamen grote variaties mogelijk kunnen zijn.

Op deze wijze zou het profiel bij meetpunt 100 nu nog 26 jaar mee moeten kunnen voordat falen optreedt. De werkelijkheid is echter dat het profiel bij meetpunt 100 nu reeds is gescheurd en daarmee defect is. Hierbij speelt vermoedelijk een ander aspect een rol, namelijk ozonaantasting. Een rubber onder rekspanning kan worden aangetast door ozon waardoor scheuren ontstaan. De mate waarin dit plaats vindt is afhankelijk van het rubbertype, de bescherming van de rubber en de hoogte van de rekspanning. Beneden een bepaalde kritische rek zal geen aantasting plaats vinden, bij toenemende rek zal de aantasting sneller optreden. De snelheid waarmee en daaraan gekoppeld de levensduur is niet aan te geven aangezien er geen verbanden bekend zijn. De scheuren zoals aangetroffen bij de meetpunten 100, 137 en 200 zijn zodanig van uiterlijk en vorm dat deze goed het gevolg zouden kunnen zijn van ozonaantasting.

TNO-rapport

BU4.98/026113-2/BB

23 december 1998

9


TNO Industrie

#### 4. Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het onderzoek kan de verwachting worden uitgesproken dat de meeste voegprofielen van de Coentunnel, ondanks de steeds toenemende rekbelasting, nog zeker 40 jaar moeten kunnen functioneren. Voor enkele voegprofielen zal de levensduur korter zijn en voor enige profielen is deze reeds voorbij. Met behulp van de gegeven grafiek is telkens op elk gewenst tijdstip voor een afzonderlijk voeg in te schatten wat van het profiel ter plaatse mag worden verwacht. Een doorgaande meting van de verplaatsingen die optreden wordt aanbevolen omdat veranderingen daarin een grote invloed hebben op het verwachtingspatroon. Bij voegen waarvan de breedte minder blijft dan 20 mm is dat deze 100 jaar zal bedragen.


Opgemerkt wordt dat alle levensduurverwachtingen zijn gebaseerd op conservatieve aannamen en theoretische modellen. De kans dat voor een bepaald profiel één en ander gunstiger uitpakt is dan ook redelijk groot. De schade als gevolg van aantasting door ozon laat zich niet voorspellen en staat los van de berekeningen voor de levensduur. De kans dat profielen die nog niet zijn aangetast zonder extra verlenging ineens aantasting zouden gaan vertonen is zeer gering. Gezien het feit dat nu slechts enkele profielen aantasting vertonen wordt de kans dat anderen dit ook gaan doen gering geacht. De kans op aantasting kan nog worden verminderd door het directe contact met lucht te verminderen, bijvoorbeeld door te zorgen dat de lucht in de voeg stilstaat en nauwelijks door de wind wordt ververst.

Projectleider:



B. van Baarle LPRI

Manager Productonderzoek Rubber:



Ing. J.S. Havinga

## 13 CONCLUSIES

### BREEDTEN DILATATIEVOEGEN

Dilatatievoegen in betonconstructies van tunnels, toeritten en onderdoorgangen kunnen na de bouwphase door temperatuurverschillen in zomer en winter breder worden.

In de dilatatievoegen zijn rubberprofielen ingestort die als waterafdichting moeten fungeren. Door krimpen van de betonconstructies bij lage temperaturen worden de voegbreedten groter. Daardoor wordt het rubberprofiel uitgerekt.

### LEKKAGE

Het eerste wat wordt geconstateerd bij verbreding van de voeg is lekkage en water op het wegdek. Bij vorst is dit een onveilige situatie voor het verkeer en de eerste gedachte is injecteren. De lekkage in een dilatatievoeg wordt veelal veroorzaakt door een niet homogene betonaansluiting om het rubbermetaal voegprofiel, door luchtinsluitingen, grindnesten en of nazakken van de betonmortel. Maar er is ook een kans op inscheuren van het rubber bij grotere voegbreedten. Waar ligt de grens van het rubber?

Welke maatregelen moeten worden genomen en hoe?

Dit rapport geeft op basis van de praktijk een nieuwe herstelstrategie aan, afhankelijk van de hoeveelheid- en locatie lekwater, afvoermogelijkheden, etc.

Maar ook kan in een betonconstructie kan lekkage als vochtdoorslag optreden. Hoe lossen we dat op?

### METEN VOEGBREEDTEN IN DILATATIEVOEGEN

Dilatatievoegen in open toeritten zijn het meest onderhevig aan temperatuurverschillen.

Meestal worden de voegbreedten pas gemeten als lekkages worden geconstateerd.

Reguliere voegbreedte metingen geven informatie over het verloop van de voegbreedten, waardoor het rubberprofiel getoetst kan worden aan de ontwerpgrafiek (SLS) en de verlenging getoetst kan worden aan de gebruiksgrafiek (ULS) en zo de veiligheid kan worden afgeleid.

Rijkswaterstaat is als beheerder bekend met het ontwerp van de tunnelobjecten en heeft toegang tot de werktekeningen van de betonconstructies.

### HERSTELSTRATEGIE

Dit rapport geeft een nieuwe herstelstrategie aan, gebaseerd op de praktijk van lekkage, de locatie, breedten van de dilatatievoegen en lekken in de betonconstructie. Het is het verzamelen van gegevens (waar, wat, hoeveelheid lekwater, voegbreedte, locatie en risico) Bij de afweging van de boor- en injectietechniek is belangrijk de duurzaamheid van de waterafdichting.

De praktijk bewijst dat het zomaar gaan injecteren niet leidt tot een constructieve waterafdichting op lange termijn. Water zoekt altijd een weg en het heeft de tijd.

Een plan van aanpak, c.q. een uitvoeringsplan voor de te nemen herstelmaatregelen voorkomt het impulsief uitvoeren om een lekkage in de tunnelbouw te dichten.

De ervaringen opgedaan in de tunnelbouw met de enkele aannemers heeft bijgedragen tot de vergaarde kennis en eigen ervaring, waardoor het mogelijk was om een technische- en economische richting aan te geven vanuit de opdrachtgever gezien.

De keuze van een injectiebedrijf, die gestoeld zou moeten zijn op zijn kennis, ervaring, toetsing van eigen werknemers en op het opvolgen van procedures en het willen werken met de nieuwe boor- en injectietechniek, is van groot belang.

## RUBBERPROFIEL

Hoe is het met de rubberkwaliteit na zoveel jaren? Is de lekkage ontstaan doordat het rubber gescheurd is? Om de eigenschappen van een oud rubberprofiel uit de praktijk te weten, is voor het eerst een rubberprofiel geboord uit de Vlaketunnel (bouwjaar 1972 /3)

Het onderzoek aan het rubberprofiel laat zien dat de hardheid iets toeneemt en daardoor de scheursterkte afneemt. Verder kunnen beschadigingen, zelfs uit de bouwfase, het inscheuren van het voegrubber veroorzaken. Bij openstaande voegen in buitenwanden kan door ozon (geringe) aantasting optreden en is controle en herstel van kitvoegen of rubbervoegen acmé gewenst.

Een afname van de gevonden mechanische eigenschappen in het 35 jaar oude rubberprofiel uit de Vlaketunnel van ca. 16 a 22 % geeft aan dat in de duurzaamheid nog wel enige reserve zit, maar dat het venijn zit in een te grote voegbreedte met een grotere kans van inscheuren als gevolg. Hoe de kansfactor ligt weten we helaas niet.

Toetsen aan de ULS grafiek bij constatering van lekkage en een grote voegbreedte kan doen besluiten tot het aanbrengen van een nieuw rubberprofiel. En dan pas blijkt hoe noodzakelijk het is om de voegbreedten te monitoren .

Het onderzoek van rubberprofiel "Vlake" geeft aan dat op basis van rek geen problemen zijn te verwachten, maar de onzekerheid over de scheursterkte is des te groter.

## 14 AANBEVELINGEN

### 1 MONITORING TUNNELS

De huidige tunnelbeheerders krijgen steeds meer de taak van verkeersregelaar en hebben daardoor weinig tijd of geen kennis meer van de tunneltechniek.

In een monitoringsplan dient daarom niet alleen naar onderhoud te worden bekeken, maar ook naar lekkages (oud of nieuw), lek, c.q. pompdebieten en of zettingsgegevens van voegbreedten van tunnelmoten jaarlijks worden uitgevoerd en verwerkt.

Medewerker(s) van de afdeling Civiele Techniek Bouwdienst kunnen het aanspreekpunt voor de tunnelbeheerders zijn voor hun vragen en problemen op civiel gebied.

### 2 ZETTINGSMETINGEN

Van enkele tunnels worden of zijn ook de dilatatievoegen van de open toeritten gemeten (Vlaketunnel, Regulierstunnel, Onderdoorgang Roosendaal).

Het standaard opmeten van de voegbreedten van alle tunnelmoten zou gelijktijdig met de reguliere jaarlijkse zettingsmetingen op de zinkvoegen kunnen worden uitgevoerd.

De resultaten van de metingen geven informatie om preventieve- en / of herstelacties moeten worden uitgevoerd of kunnen worden gepland gelijk met onderhoudschema's.

## 15 DOCUMENTATIE

- 1 Documentatie Dilatatie voegstroken Trelleborg
- 2 Documentatie Vredestein rubberstroken voor dilatatievoegen
- 3 Application of waterstops Trelleborg-Bakker, D.J.v. Waardhuizen
- 4 Advies voegprofiel Coentunnel TNO 23 dec 1998
- 5 NEN 7030 / Duitse Norm DIN 7865

## 16 GEBRUIKTE INJECTIEVLOEISTOFFEN

Om informatie te geven van de gebruikte injectievloeistoffen zijn de datagegevens hiervan opgenomen.

### 16.1 DATA MC-INJECT GL-95 TX

#### Elastische afdichtende injectiehars

##### Producteigenschappen

- Oplosmiddelvrij, laagviscose polymeerversterkte hydrostructuurhars op acrylaatbasis
- Korte, instelbare reactietijd
- Taal elastisch in uitgereageerde toestand
- Goede hechting
- Voldoet aan de KTW-proef D1 (grootvlakke afdichtingen)

##### Toepassingsgebieden

- Afdichtende injectie van voegen, scheuren en holle ruimten in metselwerk en beton
- Afdichtende en verlijmende injectie van contactvlakken tussen kunststof dichtingsbanen en beton
- Het achteraf afdichten van bouwelementen welke in contact staan met de aarde door middel van volvlakke rasterinjectie conform moduul 804.6102 van de DB AG

##### Verwerkingsrichtlijnen

Voorbereidende maatregelen	Component B	Reactietijd
Voor het injecteren dient een onderzoek, aan het bouwwerk resp. de lekkages, naar de stand der techniek te worden uitgevoerd, en dient op deze wijze een injectieconcept te worden vastgelegd.	In component B1 opgelost	bij 20°C
	4%	ca. 19 s
	2%	ca. 34 s
	1%	ca. 47 s
<b>Mengen</b> MC-Injekt GL-95 TX is een meercomponenten injectiesysteem. De componenten A (Stam) en component B (Katalysatoroplossing) worden op de bouwplaats uit deelcomponenten aangemengd.	0,5%	ca. 1 min 20 s
	0,2%	ca. 2 min 20 s
Component A wordt uit de deelcomponenten A1, A2 en A3 samengesteld. De deelcomponenten A2 en A3 worden na elkaar bij de verpakking van component A1 gevoegd en met een houten roerstaaf gemengd.	<b>Injectie</b> De injectie vindt plaats met een tweecomponenten injectiemachine. Neem voor nadere specificaties contact op met MC-Bouwchemie.	
Component B wordt in component B1 opgelost. De concentratie van de oplossing bepaald de reactietijd. Reactietijden zijn temperatuurafhankelijk.	Uitvoerige aanwijzingen met betrekking tot de verwerking vindt u in de opgave tot uitvoering voor MC-Injekt GL-95 TX.	
	<b>Reiniging</b> Binnen de verwerkingstijd kunnen alle gereedschappen met water gereinigd worden. Reagerend of uitgereageerd materiaal is alleen mechanisch te verwijderen.	

## 16.2 DATA POLYMENT 150 MPAS

### Technisch merkblad

#### POLYMENT INJECTIEVLOEISTOF 150

Oplosmiddelvrije, laag viskeuze vloeistof op epoxy en polyurethaan basis met een viscositeit van 150 mPas.

Product artikelcode 48.705

#### Toepassing

Injectievloeistof 150 wordt toegepast voor het dichting van:

- Bewegende scheuren in metselwerkconstructies.
- Bewegende scheuren in betonconstructies
- Voegen in o.a. rioolleidingen, zwembaden, tunnels en viaducten.
- Het vullen in grote waterdoorlatende ruimten.
- Flexibel herstellen van oude metselkolommen, waarin zich holle ruimten bevinden.

#### Eigenschappen

Injectievloeistof 150 heeft flexibele eigenschappen tot -20°C en een lage exotherme reactie, hierdoor kunnen grote ruimten krimp vrij uitharden en veroorzaken gerepareerde delen geen extra spanning in de constructie. Na volledige doorharding is de Injectievloeistof 150 bestand tegen water en ander licht geconcentreerde chemicaliën.

#### Technische informatie

Volumegewicht	: ca. 0,99 kg/liter
Viscositeit bij 10°C	: 254 mPas
Viscositeit bij 20°C	: 150 mPas
Viscositeit bij 25°C	: 130 mPas
Potlife bij 20°C	: ca. 45minuten
Potlife bij 25°C	: ca. 35 minuten
Krimp	: nihil
E-moduul (druk)	: 90 N/mm <sup>2</sup>
Waterabsorptie	: 0,30 gew. %
Shorehardheid (28 dgn )	: 0°A
Rek bij breuk	: ca.70%

#### Mengverhouding

Injectievloeistof 150 Component A – 100 gew. delen  
Injectievloeistof 150 Component B - 3 gew. delen

#### Mengen

Voeg het B-Component in zijn geheel bij het A-Component en meng de componenten met een elektrisch mengapparaat, met een laag toerental (bijv. een boormachine met menger) gedurende 2 – 3 minuten tot een homogeen mengsel is ontstaan. Bij kleine hoeveelheden kan met een rubberen spaan worden gemengd tot een egale kleur is verkregen.

#### Kleur

Na menging lichtgroen.

#### Verwerking

Injectievloeistof 150 laat zich het best verwerken tussen de 5°C en 25°C, waarbij de ondergrondtemperatuur hoger moet zijn dan 5°C. Injectievloeistof 150 is zowel met een handinjectie pomp als met een elektrisch aangedreven pomp te verwerken. Het verdient aanbeveling de te injecteren ruimten vrij te maken van vuil en vet.

#### Verpakking

1 A-component en 1 B-Component. Totaalgewicht 1,5 kg.

apr-05

## 16.3 DATA POLYMENT 10 MPASS

### Technisch merkblad

#### POLYMENT INJECTIEVLOEISTOF 10

Oplosmiddelvrije, laag viskeuze injectievloeistof op epoxybasis met een viscositeit van 10 mPas.

Produkt artikelcode 48.050

#### Toepassing

Injectievloeistof 10 is door zijn lage viscositeit uitstekend geschikt voor het dichten van haarscheuren van 0,10 tot 0,40 mm in betonnen vloeren en wanden, waardoor de wapening tegen indringing van vocht en andere vloeistoffen wordt beschermd.

Injectievloeistof 10 wordt toegepast voor het dichten van:

- Zeer fijne scheuren in metselwerk constructies.
- Zeer fijne krimp- of uitdrogingscheuren in betonconstructies.
- Het verstevigen van materialen zoals hout, baksteen en andere materialen die een hoog poriënvolume bezitten.

#### Eigenschappen

Na volledige doorharding is de injectievloeistof 10 bestand tegen water en andere licht geconcentreerde chemicaliën.

#### Technische informatie

Volumegewicht	: ca. 1,02 kg/liter
Viscositeit bij 10° C	: 20 mPas
Viscositeit bij 20°C	: 10 mPas
Potlife bij 10°C	: ca. 2uur
Potlife bij 20°C	: ca. 1 uur
Krimp	: te verwaarlozen klein/geen
E-moduul (druk)	: 80 N/mm <sup>2</sup>
Waterabsorbtie	: 0,35 gew. %
Shorehardheid (28 dagen)	: 53°A
Rek bij breuk	: ca. 20%
Hechting aan droge beton	: ca. 1,5 N/mm <sup>2</sup>

#### Mengverhouding

Injectievloeistof 10 Component A – 62,5 gew/delen

Injectievloeistof 10 Component B – 37,5 gew/delen

#### Mengen

Voeg het B-Component in zijn geheel bij het A-Component (nadat deze is opgeroerd) en meng de componenten met een elektrisch mengapparaat, met een laag toerental (bijv. een boormachine met mengvin) gedurende 1 – 2 minuten tot een homogeen mengsel met een egale kleur is ontstaan. Wij adviseren het geheel over te gooien in een schoon vat en het mengsel nogmaals licht op te roeren. Bij kleine hoeveelheden kan met een rubberen spaan worden gemengd tot een egale kleur is verkregen.

#### Kleur

Na menging lichtblauw.

#### Verwerking

Injectievloeistof 10 laat zich het best verwerken tussen de 10°C en 20°C, waarbij de ondergrondtemperatuur hoger moet zijn dan 5°C. Injectievloeistof 10 is zowel met een handinjectie pomp als met een elektrisch aangedreven pomp te verwerken. Tevens kunnen kleine (haar)scheurtjes met een kwast worden behandeld. Deze bewerking dient in de meeste gevallen een aantal malen te worden herhaald. Het verdient aanbeveling, de scheuren van te voren schoon te blazen met schone, droge en olievrije perslucht. Tevens mogen de scheuren en of andere te behandelen delen geen al te grote vochtigheid bezitten. Dit dient eventueel vooraf proefondervindelijk te worden vastgesteld.

#### Verpakking

Component A en Component B zijn in onderling afgestemde hoeveelheden verkrijgbaar ( combiverpakking 1,7 kg. ).

jan-05

## 16.4 DATA POLYMENT 27 MPAS

### Technisch merkblad

#### POLYMENT INJECTIEVLOEISTOF 27

Oplosmiddelvrije, laag viskeuze vloeistof op epoxybasis met een viscositeit van 27 mPas.

Product artikelcode 48.070

#### Toepassing

Injectievloeistof 27 is door zijn lage viscositeit uitstekend geschikt voor het dichten van haarscheuren van 0,20 tot 0,50 mm in betonnen vloeren en wanden, waardoor de wapening tegen indringing van vocht en andere vloeistoffen wordt beschermd.

Injectievloeistof 27 wordt toegepast voor het dichten van:

- Scheuren in metselwerkconstructies.
- Scheuren in betonconstructies.
- Het verstevigen van materialen, die een hoog poriënvolume bezitten.

#### Eigenschappen

Na volledige doorharding is de Injectievloeistof 27 bestand tegen water en andere licht geconcentreerde chemicaliën.

#### Technische informatie

Volumegewicht	: ca. 1,05 kg/liter
Viscositeit bij 10° C	: 40 mPas
Viscositeit bij 20°C	: 27,5 mPas
Potlife bij 10°C	: ca. 4uur
Potlife bij 20°C	: ca. 2 uur
Krimp	: nihil
E-moduul (druk)	: 90 N/mm <sup>2</sup>
Waterabsorbtie	: 0,30 gew. %
Shorehardheid (28 dagen)	: 45°A
Rek bij breuk	: ca. 40%
Hechting aan droge beton	: ca. 2,0 N/mm <sup>2</sup>

#### Mengverhouding

Injectievloeistof 27 Component A – 140 gew/delen

Injectievloeistof 27 Component B – 60 gew/delen

#### Mengen

Voeg het B-Component in zijn geheel bij het A-Component en meng de componenten met een elektrisch mengapparaat, met een laag toerental (bijv. een boormachine met menger) gedurende 1 – 2 minuten tot een homogeen mengsel is ontstaan. Bij kleine hoeveelheden kan met een rubberen spaan worden gemengd tot een egale kleur is verkregen.

#### Kleur

Na menging lichtblauw.

#### Verwerking

Injectievloeistof 27 laat zich het best verwerken tussen de 10°C en 20°C, waarbij de ondergrondtemperatuur hoger moet zijn dan 5°C. Injectievloeistof 27 is zowel met een handinjectie pomp als met een elektrisch aangedreven pomp te verwerken. Tevens kunnen kleine scheurtjes met een kwast worden behandeld. Deze bewerking dient in de meeste gevallen een aantal malen te worden herhaald. Het verdient aanbeveling, de scheuren van te voren schoon te blazen met schone, droge en olievrije perslucht. Tevens mogen de scheuren en of andere te behandelen delen geen al te grote vochtigheid bezitten. Dit dient proefondervindelijk te worden vastgesteld.

#### Verpakking

1A-component en 1 B-Component. Totaalgewicht 4,5 kg, 2,3 kg of 1,5 kg.

jan-05



## 17 REFERENTIES UITVOERING PROJECTEN

10.3	Kiltunnel:	Frans Nooren Stadskanaal / Tebecon Oudenbosch
10.4	Aquaduct Ringvaart:	Frans Nooren (boren en injectie), A. Niemeijer 06-53890241
10.5	Drechtunnel:	} Hemubo Almere (boren Dikkerboom & injectie Prevent Vianen) MC: J.B. Bergink
10.6	Noordtunnel	
10.7	Vlaketunnel	} Tebecon Oudenbosch (boren v Zundert- St.Willebrord) P.Spitters MC: J.B. Bergink
10.10	Calandtunnel	
10.11	2° Beneluxtunnel	
10.12	Tramtunnel	
10.14	Roosendaal Onderdoorgang	
10.15	Sluisweg Hardinxveld	} Bam Betontechnieken Schiedam Polymet 150 - 10 - 27
10.8	Onderdoorgang Schiphol	
10.11	2e Beneluxtunnel	
10.13	HSL	} Ing. L. Leeuw
	Regie RWS-BD / Nebest	

**Bouwdienst**

Info afd. Civiele Techniek  
ing. A. Memelink / Chr. de Jong  
088 - 7972111



Trelleborg-Bakker Infra rubberprofielen  
[www.trelleborg.com/bakker/infra](http://www.trelleborg.com/bakker/infra)  
0180 - 495555  
ing. E. Brakenhoff 06-51095888



[www.tebecon.nl](http://www.tebecon.nl)  
uitvoering boor- en injectiewerk  
0165-316180  
P. Spitters 0165-31 61 80



[www.mc-bouwchemie.nl](http://www.mc-bouwchemie.nl)  
[info@mc-bouwchemie.nl](mailto:info@mc-bouwchemie.nl)  
0344-633700  
B.J. Bergink



Frans Nooren Stadskanaal  
0599-696333



Polymet 150 - 10 - 27

[www.verwaard-bouwstoffen.com](http://www.verwaard-bouwstoffen.com)  
[info@verwaard-bouwstoffen.com](mailto:info@verwaard-bouwstoffen.com)  
073-640 1130  
M.Sweep



Nebest adviesgroep  
[www.nebest.nl](http://www.nebest.nl)  
Inspectie en uitvoeringsbegeleiding  
0184-601766