

TECH FOR FUTURE

Centre of Expertise HTSM Oost

Composiet gewapende elastomeer oplegblokken

P. Bosman | P. Schreuder

December 2014



Composiet gewapende elastomeer oplegblokken

Project

Onderzoek composiet gewapende elastomeer oplegblokken

Onderdeel

Onderzoeksrapport

Versie

1.2

Versiedatum

3 december 2014

Status

Definitief

Opgesteld door

P. Schreuder Junior researcher

p.schreuder@windesheim.nl

Gecontroleerd door

P. Bosman Researcher composites, Lecturer civil eng.

p.bosman@windesheim.nl

Vrijgegeven door

M. Topp Lector Kunststoftechnologie

m.topp@windesheim.nl

In opdracht van

Hogeschool Windesheim, Lectoraat Kunststoftechnologie

In samenwerking met

Vilton

R. Verhoeven, Technisch specialist

W. Sliggers, Constructeur

DSM Composite Resins

R. Verleg, Research and Development manager

Met dank aan

Lectoraat Kunststoftechnologie

G. Heideman, Associated lector elastomers

Calenberg Ingenieure

R. Rühl, Application engineer / Quality assurance

S. Paul, Civil Engineer

Dit is een uitgave van Christelijke Hogeschool Windesheim

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



Samenvatting

In huidige brugconstructies worden veel onderdelen toegepast die een levensduur hebben die korter is dan die van de hoofdconstructie. Dit kan gedeeltelijk worden voorkomen door het toepassen van vezelversterkte kunststoffen ofwel composieten. Een groot voordeel van composieten is dat ze niet kunnen roesten en chemisch resistent zijn. Dit biedt grote kansen bij oplegblokken, door het staal te vervangen door composiet.

De huidige oplegblokken worden gevulkaniseerd en zijn omsloten met een rubberen rand. Deze rand is ter bescherming van de stalen wapeningsplaten in de oplegblokken. Omdat composiet deze bescherming niet nodig heeft, kan die buitenrand achterwege blijven. Een mogelijkheid die zich dan aandient is om de lagen rubber en composiet te lijmen in plaats van te vulkaniseren. Dit lijkt op voorhand een goede optie omdat het vulkanisatieproces bij uitstek geschikt is voor rubber in combinatie met staal en in veel mindere mate met composiet. Composiet geleid warmte minder goed dan staal en is veel gevoeliger voor hoge temperaturen. Een ander voordeel van lijmen is dat het productieproces vereenvoudigd zou kunnen worden door grote platen te maken en vervolgens de benodigde oplegblokken hieruit te zagen/snijden.

Eerst is een literatuurstudie gedaan waarin is gekeken naar de mogelijkheden voor het verlijmen en het vulkaniseren van (composiet) gewapende oplegblokken. Ook is gekeken naar de geldende normen voor gewapende elastomeer oplettingen. De gelijmde blokken voldeden niet aan de gestelde eisen en daarom is verder gekeken naar het vulkaniseren van composiet gewapende oplegblokken. Er zijn oplegblokken gevulkaniseerd met staal, RVS en composiet. De staal en RVS gewapende oplegblokken voldoen zonder buitenrand net niet aan de stelde norm. Ze bereiken de maximale rek maar daarna treedt er lichte scheurvorming op. Met extra buitenrand wordt aan de norm voldaan. De composiet gewapende oplegblokken voldoen niet aan de gestelde norm. Van deze blokken waren er geen blokken met extra rubberen buitenrand waardoor niet gekeken kon worden of deze blokken met extra buitenrand de gestelde eisen wel zouden halen. De verwachting is dat de composiet gewapende oplegblokken met extra buitenrand wel voldoen aan de norm.

Van de verschillende soorten oplegblokken, gelijmd met composiet en gevulkaniseerd met staal, RVS en composiet, is een Life-Cycle-Costing gemaakt. Lijmen blijkt duurder dan vulkaniseren. Voor de gevulkaniseerde oplegblokken is verondersteld dat composiet en RVS gewapende oplegblokken niet behoeven vervangen te worden tijdens de levensduur van een brug, in tegenstelling tot staal gewapende oplegblokken, en het vulkanisatieproces is in alle gevallen gelijk. Gezien over de gehele levensduur zijn de composiet gewapende oplegblokken het goedkoopst. Hiervoor moet aan het begin van de levenscyclus meer geïnvesteerd worden, omdat de aanschafprijs van deze blokken hoger is.

In aanvulling op dit onderzoek zou een serie composiet gewapende oplegblokken met rubberen rand geproduceerd kunnen worden om dezelfde proeven uit te voeren. Daarnaast zouden er nog vermoeiingsproeven uitgevoerd kunnen worden.



Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport van het onderzoek naar composiet gewapende elastomeer oplegblokken. Dit onderzoek maakt deel uit van een reeks onderzoekopdrachten naar het verbreden van het toepassingsgebied van composieten in de civiele bouw. In dit onderzoek is onderzocht of stalen platen in gewapende elastomeer oplegblokken vervangen kon worden door composieten platen.

Het onderzoek heeft een aantal interessante resultaten opgeleverd. Hierbij hebben wij veel gehad aan de samenwerking met de bij dit onderzoek betrokken bedrijven.

We bedanken de heer G. Verhoeven namens Vilton en de heer R. Verleg namens DSM Composites Resins voor de sponsoring van materialen, hun kennis en advies. Verder willen wij de heer Rühl van Calenberg Ingenieure uit Duitsland bedanken voor het vulkaniseren van de oplegblokken en hun betrokkenheid bij dit onderzoek.

Zwolle, 3 december 2014

Peter Bosman

Pieter Schreuder



Inhoudsopgave

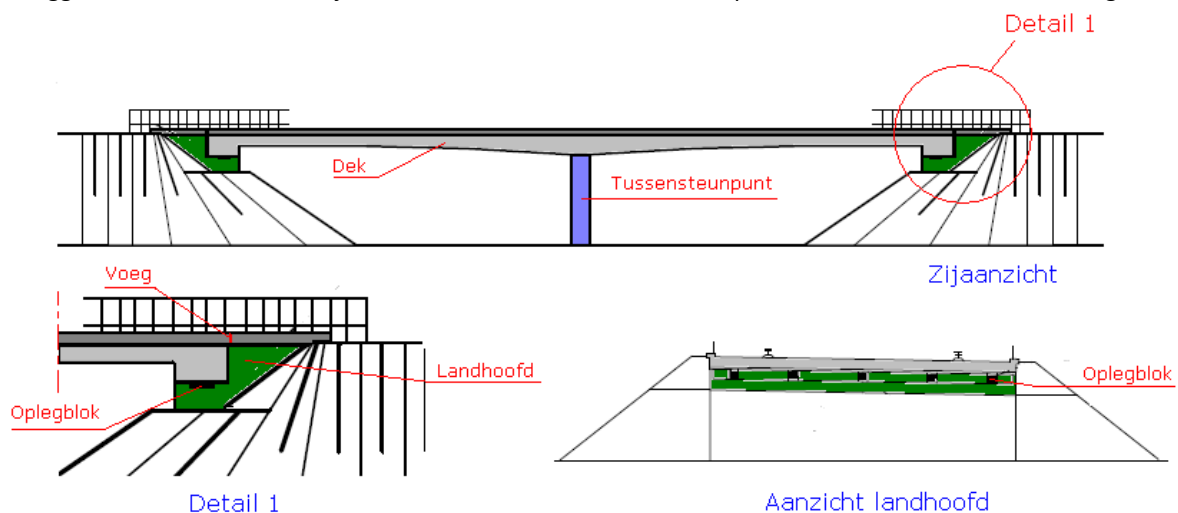
1. Achtergrond en aanleiding.....	3
1.1 Inleiding	3
1.2 Rubber oplegblokken	3
1.3 Onderhoud	4
1.4 Vraagstelling	5
2. Literatuur.....	6
2.1 Normen oplegblokken	6
2.2 Rubber en vulkaniseren	6
2.3 Vezels	7
2.4 Harsen	7
2.5 Composiet	7
2.5.1 Warmtegeleiding	8
2.6 Lijmen	9
3. Onderzoeksmethode	10
3.1 Sterkte en stijfheid	10
3.2 Proefstukken en proeven	10
3.3 Bevestiging en recycling oplegblokken	12
3.4 Casestudy kostenanalyse	12
4. Resultaten	16
4.1 Staal vs. composiet	16
4.2 Hechting rubber-composiet / rubber-staal	16
4.2.1 Drukproef gelijkde oplegblokken	16
4.2.2 Drukproef gevulkaniseerde oplegblokken	17
4.2.3 Afschuifproef gelijkde oplegblokken	17
4.2.4 Afschuifproef gevulkaniseerde oplegblokken	18
4.3 Bevestiging type C oplegblokken en recycling oplegblokken	20
4.4 Levenscycluskosten	21
5. Conclusies	22
6. Discussie	23
7. Aanbevelingen	24
8. Literatuur	25
Bijlage I Testblok dimensionering	27
Bijlage II Testblokproeven	28
Bijlage III Deelkostenpsoten t.b.v. LCC kostenraming	29
Bijlage IV Kostenraming oplegblokvarianten	30
Bijlage V Snijtekening	34



1. Achtergrond en aanleiding

1.1 Inleiding

Bruggen en viaducten hebben veelal een levensduur in de orde van 100 jaar. Bij bestaande vaste betonnen bruggen bestaat een aanzienlijk deel van het onderhoud uit het inspecteren, onderhouden en vervangen van

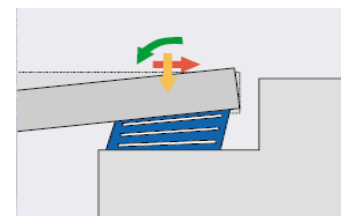


Afbeelding 1.1, schematische weergave brug

onderdelen met een kortere levensduur dan de gehele brug. Dek, steunpunten, fundering en overgangsplaten naar de aarden baan worden regulier niet vervangen binnen de levensduur van de brug. Wel te vervangen onderdelen zijn onder meer: leuning, geleiderail, slijtlaag, voeg, oplegging, hemelwaterafvoer en schampkant¹. Door toepassing van leuning van vezel versterkte kunststof (VVK) in plaats van staal, kan vervanging binnen 100 jaar worden voorkomen. Mogelijk geldt dit ook voor opleggingen. Dit soort ontwerp wijzigingen vragen veelal een grotere initiële investering in de bouwphase, maar kunnen zich ruim terug verdienen tijdens de exploitatiefase.

1.2 Rubber oplegblokken

De meest gebruikte opleggingen zijn rubber oplegblokken opgebouwd uit lagen rubber en stalen platen. Deze gelamineerde opleggingen hebben ter conservering een dunne rubberen omhulling. De gehele inhoud wordt in een mal onder verhoogde druk en temperatuur gebracht zodat beide materialen aan elkaar vulkaniseren.



Afb. 1.2, beweging oplegblok

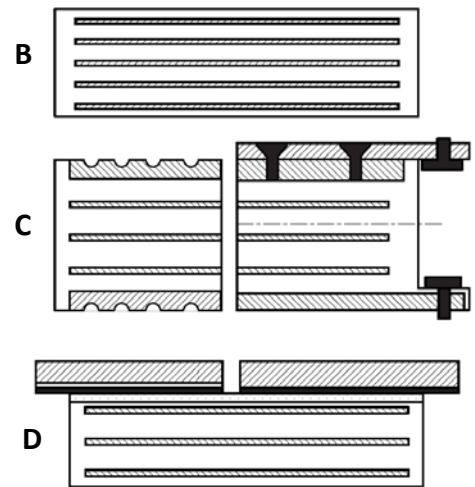
Rubber oplegblokken zijn geschikt om grote verticale krachten star af te dragen, beperkte rotaties flexibel mee te maken, en voorts om beperkte horizontale krachten en vervormingen flexibel op te nemen. De mate van flexibiliteit hangt af van de grootte van het oppervlakte, rubberen laagdiktes, het soort rubber (NR / CR), de totale rubberhoogte en de vorm van het blok (rechthoek of rond en soms achthoek of ellips). De oplegblokken zijn in verschillende uitvoeringen verkrijgbaar: standaard

¹ Handleiding Werken met Instandhoudingsplannen, Rijkswaterstaat



oplegblokken met meerdere lagen stalen wapeningsplaten(type B);
glijdoplegblokken voorzien van PTFE/RVS glijdvlak(type D);
oplegblokken door tussenkomst van stalen platen
verankerd aan onderbouw en met name spoordek (type C).

De functie van de wapeningsplaten in oplegblokken is het best uit te leggen door weer te geven wat er zonder wapeningsplaten zou gebeuren. Met één dikke rubberlaag zou het oplegblok verticaal te veel indrukken en horizontaal ver naar buiten willen uitbuiken. Dit grote uitbuiken gaat gepaard met zeer grote horizontale wrijvingskrachten waardoor aanliggend beton zou scheuren.



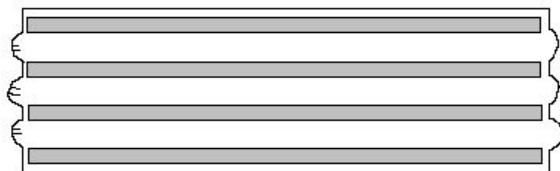
Afbeelding 1.3, Oplegblok type B, C en D

1.3 Onderhoud

De levensduureis van de opleggingen bedraagt 25 jaar conform richtlijnen² van Rijkswaterstaat. Dit omdat er (nog) geen opleggingen beschikbaar zijn met een bewezen levensduur gelijk aan het brugdek. Daarom moeten opleggingen altijd goed bereikbaar en vervangbaar worden uitgevoerd. Het vervangen geschiedt veelal door 10 mm opvijzelen van het dek waarbij de opleggingen één voor één worden vervangen, dit terwijl het verkeer door blijft rijden.

Rubber oplegblokken worden doorgaans voorzien van een attest met een levensduur van 50 jaar, dit betreft een minimum duur bij juist gebruik. Rubber oplegblokken blijken in de praktijk regelmatig langer dan 50 jaar mee te gaan. Als er scheuren of delaminaties in de rubber omhulling ontstaan kunnen de staalplaten gaan corroderen, zeker onder invloed van water met dooizouten dat via lekkende voegovergangen langs opleggingen kan lopen. Scheuren kunnen ontstaan door ozonaantasting (O3) en/of overbelasting.

Bij ozonaantasting zit de scheur ter hoogte van de uitstulpende rubberlaag maar reikt meestal niet tot aan de staalplaten.



Bij overbelasting (aanrijding, aardbeving, onjuist dimensioneren) begint de scheur bij een hoekpunt ter hoogte van de stalen platen. Bij doorgroeien kan deze corrosie van de staalplaten veroorzaken.



² Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken, Rijkswaterstaat



Een derde bezwijkvorm is het loslaten van grote delen van de omhulling. Bij deze schadevorm is er direct gevaar voor corrosie van diverse staalplaten. Op termijn kan dat de functionaliteit van een oplegging verminderen. Alleen vroegtijdig repareren kan moeilijk verwijderbare corrosie voorkomen.



Schade kan soms duurzaam worden gerepareerd, bijvoorbeeld door het aanlijmen van de bestaande of een nieuwe omhullingslaag. In de praktijk worden de meeste beschadigde, rubber oplegblokken echter vervangen.³

Uitwendige stalen platen kunnen reeds eerder corroderen.

Door de stalen platen van de rubber oplegblokken te vervangen door VVK platen, kan corrosie worden uitgesloten. Er hoeft geen rubber meer aan de zijkanten van het blok te zitten voor conservering. Tezamen met lijmen kan dit de mogelijkheid bieden tot produceren van meerdere lagen in grote oppervlakten, en deze op willekeurige maten worden gezaagd. De VVK moet tegen een zout (strooizout) en alkali (beton) milieu kunnen.

1.4 Vraagstelling

De hoofdvraag luidt:

Welke onderhoudsvrije, gewapende elastomeer oplegblokken zijn technisch haalbaar en hebben economische levenskracht?

De volgende deelvragen zijn onderzocht:

1. Welke sterkte- en stijfheidseisen worden er gesteld aan de plaatwapening in gewapende rubber oplegblokken en welke VVK's voldoen hieraan?
2. Welke rubber en VVK's hechten (vulkaniseren / lijmen) aan elkaar?
3. Kunnen oplegblokken met externe VVK platen(type C) worden bevestigd met ankers aan onderbouw en dek, en kunnen deze oplegblokken vervangen na calamiteiten?
Kunnen oplegblokken met VVK wapeningsplaten worden gedown/re/upcycled?
4. Hebben onderhoudsvrije rubber oplegblokken economische levenskracht?

³ RTD 1017-2 'Handleiding CRIAM Rubber Oplegblokken betonconstructies' versie 1.0 RWS



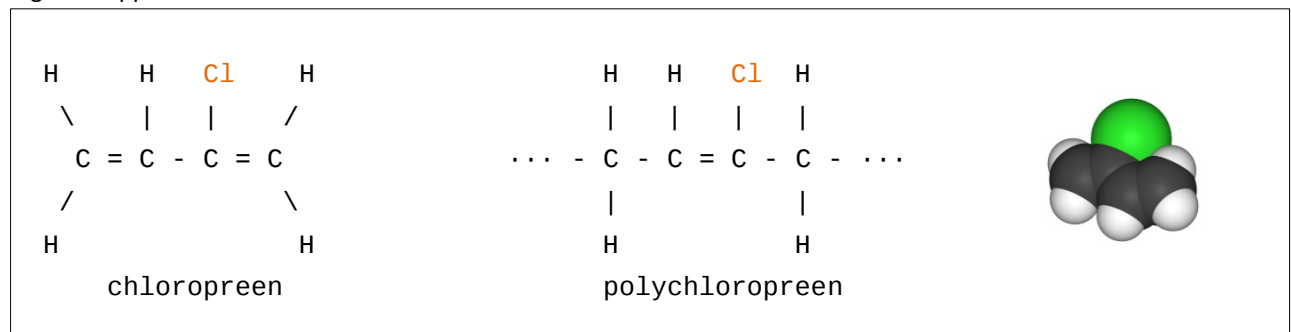
2. Literatuur

2.1 Normen oplegblokken

Voor oplegblokken is er een Europese Norm, namelijk: EN-1337, 'Opleggingen voor bouwkundige en civieltechnische toepassingen'. Deze norm is opgedeeld in 11 verschillende delen. Voor dit onderzoek is het derde deel van deze norm van belang, EN1337-3 'Opleggingen van elastomeren'. In deze norm staan de eisen vermeld van ongewapende en gewapende elastomeer opleggingen. In deze norm wordt uitgegaan van staal gewapende elastomeer opleggingen. Wapeningsmateriaal anders dan staal wordt niet vermeld. In dit onderzoek worden de gestelde eisen voor staal gewapende elastomeer opleggingen omgezet naar VVK gewapende opleggingen. Enkele in EN1337-3 beschreven proeven voor staal gewapende elastomeer oplegblokken zijn voor de VVK gewapende elastomeer oplegblokken uitgevoerd.

2.2 Rubber en vulkaniseren

Polychloropreen werd ontwikkeld door het onderzoekslaboratorium van DuPont. In 1931 startte dit bedrijf met de productie van polychloropreen (Neoprene / Duprene). Dit synthetische Chloor Rubber (CR) was oorspronkelijk bedoeld als oliebestendig substituum voor natuurrubber. Natuurrubber (NR) is een polymeer van isopreen dat een gelijkwaardige structuur heeft als die van chloropreen (CH_3 i.p.v. Cl). De aanwezigheid van chlooratomen maakt polychloropreen chemisch inerte dan natuurrubber. Het is ook sterker klevend dan natuurrubber. De resterende dubbele bindingen in het polymeer laten toe om het, net zoals natuurrubber, te vulkaniseren dat wil zeggen dwarsverbindingen tussen polymeerketens te leggen (cross-linking) om de eigenschappen van het rubber te verbeteren.



Afbeelding 2.1, structuurformule en schematische voorstelling (poly)chloropreen

De totale productiecapaciteit van polychloropreen in de wereld is ca. 300.000 ton per jaar (in 2000).

Bij de vulkanisatie van polychloropreen rubber maakt men meestal gebruik van metaaloxides (meestal MgO en ZnO) in plaats van de zwavelverbindingen die in andere rubbers worden gebruikt. Om het vulkanisatieproces te sturen wordt ethyleen thiourea (ETU) als vulkanisatieversneller aangewend.

Vulkaniseren geschiedt onder verhoogde temperatuur en druk. Vulkaniseren van chloropreen rubberen oplegblokken geschiedt bij een temperatuur van $140\text{--}170^\circ\text{C}$. De duur van het vulkaniseren bedraagt bij rubberen oplegblokken 15 tot 60 minuten afhankelijk van rubberlaagdikte van 10 tot 40 mm. De druk bij het vulkaniseren van rubberen oplegblokken bedraagt minimaal 25 bar ([3] Vilton).



Bij het vulkaniseren van rubber oplegblokken is het de bedoeling dat naast dwarsverbindingen tussen rubberen polymeerketens onderling ook verbindingen met de wapeningsplaten worden gelegd. Met stalen wapeningsplaten en met PTFE-glijplaten is dit staande praktijk bij oplegblokken, met dien verstande dat de binding met PTFE vanwege de glijfunctie slechts 50% schuifkracht hoeft te kunnen overbrengen ten opzichte van de schuifverbinding met staal. Vulkanisatie van rubber met composiet (polyester, epoxy) of andere metalen (RVS, thermisch verzinkt staal) gebeurt al, zie Kamelock Mönchengladbach⁴. Dit vergt een mechanische en chemische voorbehandeling en behandeling met primer en bonding coatings van de wapeningsplaten.

Nadeel van VVK wapeningsplaten t.o.v. stalen wapeningsplaten is dat deze een beduidend lagere thermische geleidingscoëfficiënt hebben. Naar gelang de dikte van het oplegblok zal het (veel) langer kunnen duren voordat rubberlagen die meer in het midden van het oplegblok zijn gelegen voldoende zijn opgewarmd, waardoor de productie langer duurt en waarbij rubberlagen aan de buitenzijde mogelijk te lang worden verwarmd.

De chemische vulkanisatiehechting moet plaats vinden tussen rubber en de uitgeharde hars van het composiet, dit omdat de vezels omsloten zijn met hars. Beide composietmaterialen (hars en vezels) moeten bestand zijn tegen bovengenoemde temperaturen. Van vulkanisatie met composiet wapeningsplaten bij oplegblokken moet via proeven dus worden aangetoond of deze voldoen.

2.3 Vezels

Een vezelversterkte kunststof is een samenstelling (composiet) van vezels die trek op kunnen nemen in een matrix van hars. De verharde hars (matrix) houdt de vezels op vaste afstand van elkaar, waarmee de vezels in een composiet ook druk op kunnen nemen.

In de geteste oplegblokken zijn de goedkoopste, en meest gebruikte vezels toegepast: E-glasvezels. Deze zijn sterk ($1.400\text{ à }2.800\text{ N/mm}^2$), onbrandbaar en de treksterkte blijft behouden tot 300°C . De materiaalstijfheid is bescheiden en bedraagt $E=72.000\text{ N/mm}^2$. De vezelbreukrek bedraagt 2,4-3,7%. Er wordt uitgegaan van een karakteristieke rekgrens van 1,92% (1.382 N/mm^2) afgeleid van een gemiddelde rekgrens van 2,40%⁵.

2.4 Harsen

Onderstaand zijn de gebruikte harsen met bijbehorende temperatureigenschappen gegeven:

- onverzadigde polyesterhars
Synolite®1967-G-3 (HDT $\approx 85^\circ\text{C}$, $T_g < \text{vulkanisatietemperatuur}$)
- thermohardende onverzadigde polyester urethaanhars
DARON® 41/B25 (HDT $\approx 140^\circ\text{C}$, $T_g \approx 140^\circ\text{C} \approx \text{vulkanisatietemperatuur}$, meer corrosiebestendig dan gewone polyester)

HDT = Heat Distortion Temperature; T_g = Glass Transition Temperature

Bovengenoemde maximale temperaturen gelden bij langdurige blootstelling. Bij het vulkaniseren wordt de hoge temperatuur slechts kort aangehouden. Voor de hars kan dit zelfs positief effect hebben: verhoogde productietemperatuur heet ook wel post-curen.

⁴ Kamelock Rubber en Metal Adhesives en Primer

⁵ Achtergrondrapport CUR 96



Bij de gelijmde oplegblokken is het goedkope Synolite® 1967-G-3 toegepast, en bij de ge vulkaniseerde oplegblokken DARON® 41/B25 vanwege de temperatuur, beiden van DSM.

2.5 Compositet

Bij de dimensionering van VVK wapeningsplaten is uitgegaan van een vezelvolumefractie van 55%, verdeelt over twee (orthogonale) richtingen van elk 27,5%. Dit percentage is haalbaar met VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding). De dimensionering is verricht ten aanzien van de krachten op basis van EN1337-3 capaciteit van de VVK op basis van CUR 96 en opgenomen bijlage 1.

2.5.1 Warmtegeleiding

Over warmtegeleiding zijn in de literatuur de onderstaande kentallen gevonden. Bij vulkaniseren van rubberen oplegblokken kunnen VVK wapeningsplaten warmte veel minder snel geleiden dan staal. C-VVK geleidt beter dan G-VVK. RVS zit wat warmtegeleiding betreft tussen staal en C-VVK in.

Materiaal	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ (W/mK)
Chloroprene (neoprene) ⁶	0,19
E-glass glasvezel ⁷	1,2 – 1,35
Koolstofvezel (algemeen) ⁸	Long. 8,5 – 1000, trans. 2,4 – 10
UP ⁹	0,2 – 0,4
Epoxy ¹⁰	0,5 – 1,5
E-glass – UP	~0,5
Carbon – epoxy ¹¹	Long. 5 – 7, trans. 0,5 – 0,8
RVS ¹²	16-27
Staal ¹³	50

Tabel 1, materialen en hun warmtegeleidingscoëfficiënten

Koolstofvezels zijn er veel verschillende soorten en de HM en UHM-vezels hebben een warmtegeleidingscoëfficiënt die vele malen hoger is dan staal. Als glasvezelversterkt kunststof te veel isoleert voor het vulkanisatieproces zou (U)HM-koolstof kunnen worden toegepast.

Technisch gezien kunnen elektrische geleidende koolstofvezels (tijdens de aanvang van het vulkaniseren) ook van binnenuit worden bij verwarmd om zo nodig een gelijkmatiger opwarming van de oplegblokken te verkrijgen. Dit is naar verwachting echter te ingewikkeld/duur bij de productie van oplegblokken en een gelijkmatiger/snelle afkoeling is daarmee niet mogelijk aan het einde van het vulkanisatieproces.

⁶ <http://www.electronics-cooling.com/2001/11/the-thermal-conductivity-of-rubbers-elastomers/>

⁷ <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=764>

⁸ http://www.ngfworld.com/en/en_fiber/en_high_thermal_conductivity.html

<https://indico.cern.ch/event/99464/contribution/21/material/slides/6.pdf>

⁹ http://eina.ws/no12/EINA_No12p43-44.pdf

¹⁰ http://www.christinedemerchant.com/carbon_characteristics_heat_conductivity.html

¹¹ http://www.christinedemerchant.com/carbon_characteristics_heat_conductivity.html

¹² De ongeken de mogelijkheden van carbon composiet, René Voogt Mikroniek 2007

¹³ De ongeken de mogelijkheden van carbon composiet, René Voogt Mikroniek 2007



2.6 Lijmen

Lijmen van composiet (bijv. polyester of epoxy) aan Natuur Rubber (NR) en met Chloropreen Rubber (CR) is technisch mogelijk. Naar aanleiding van contact via Elastomer Technnology Engineering van TU Twente is door Loctite haar lijm Hysol 3425 geadviseerd. Voor NR is echter een voorbehandeling van het rubber met zoutzuur nodig. Deze bij productie vervelende voorbehandeling is niet nodig bij lijmen van composiet aan CR. CR verdient dan ook de voorkeur. Omdat gelijmde rubber tussenlagen aan de omtrek aan UV blootgesteld worden, werd CR overigens sowieso al gekozen.

Afbeelding 2.2, Loctite 3425

Bij lijmen van lichtjes op te ruwen CR aan polyester (zonder lossingsmiddel) met Loctite Hysol 3425 (2 componenten epoxy lijm) geldt: fixatietijd 4h, temperatuurbereik -55 tot +120°C, potlife >1h; druksterkte 27 N/mm²; treksterkte 27 N/mm²; schuifsterkte 0,6-1,2N/mm²; afpelsterkte 1,5-2,5N/mm². [6]



Afbeelding 2.3, SC4000

Via dhr. Nico Booij is voorts nagegaan welke lijm Rijkswaterstaat bij reparatie van oplegblokken voor ogen heeft in hun CRIAM documentatie[7]. In dit document wordt bewust geen merknaam genoemd. RWS heeft zich laten ondersteunen en adviseren door rubberspecialist Jaap Havinga (voormalig medewerker van TNO, nu KIWA), die in het verleden onderzoek heeft gedaan naar lijmsoorten. Geschikte lijmen worden o.a. gebruikt voor het repareren van transportbanden. Rema Tip Top SC4000 (koud vulkaniserende lijm met verharder) springt er daarbij goed uit (om rubber te lijmen, en volgens documentatie ook staal, glasvezel & weefsel¹⁴).

Omdat bij het uitpersen van massieve rubberlagen in oplegblokken de lijmverbinding zwaar belast wordt, zijn tevens oplegblokken met geperforeerde rubberlagen met daarin circa 20 vol. % gestante gaatjes beproefd.

¹⁴ PDS Rema TipTop SC4000



3. Onderzoeksmethode

3.1 Sterkte en stijfheid

Er is een literatuurstudie gedaan waarbij primair gekeken is naar (internationale) normen en richtlijnen, zie hiervoor hoofdstuk 2.

Voor aspecten waarover niets is vastgelegd over composiet gewapende oplegblokken, is de literatuur voor staal gewapende oplegblokken vertaald naar composiet.

3.2 Proefstukken en proeven

Er is een literatuurstudie gedaan naar toepasbare lijmen en vulkanisatie, zie hiervoor hoofdstuk 2. Middels proeven is vastgesteld of deze verbindingsmiddelen functioneren bij rubberen oplegblokken.

De glasvezelversterkte kunststof platen, die ter vervanging van de stalen platen in de huidige oplegblokken moeten dienen, zijn gemaakt met behulp van Vacuüm Assisted Resin Transfer Moulding(VA-RTM). Er is gebruik gemaakt van een E-glass UD-vezelmat¹⁵ met 600gr/m² in de 0-richting en 50gr/m² in de 90-richting. Voor de hars is gekozen voor de Synolite 1967-G-3 van DSM¹⁶. Dit is een op dicyclopentadien gebaseerde onverzadigde polyesterhars en is geschikt voor constructieve toepassingen. Voor de gevulkaniseerde composiet oplegblokken is gekozen voor de DARON® 41/B25 een thermohardende onverzadigde polyester urethaanhars, eveneens van DSM. Deze hars heeft een Tg rond de vulkanisatietemperatuur.

De vezelopbouw van het laminaat is 0°/90°/90°/0°, met een uiteindelijk totaal vezelvolumepercentage(vvf) van 51%. Dit percentage is bepaald door van een aantal proefstukjes de massafractie hars te bepalen. Dit is gedaan door de proefstukjes gedurende 1,5h te verhitten bij een temperatuur van 600°C in een verassingsoven. Door voor en na het verhitten te wegen kan de massafractie hars bepaald worden. Met behulp van de bekende dichtheden van hars(1155kg/m³)¹⁷ en vezel(2550kg/m³)¹⁸ is het vezelvolumepercentage bepaald.



Afbeelding 3.1, opbouw composiet oplegblok

Het gebruikte rubber voor het verlijmen is chloropreen rubber van de firma Vilton. Massief rubber plaatjes en rubber plaatjes met 20 vol. % gestante gaatjes. Voor het vulkaniseren is chloropreen gebruikt van de firma Calenberg Ingenieure.

Het oplegblok heeft de afmetingen van 100x100mm. De dikte van de rubber lagen is 5mm en de dikte van de glasvezelversterkte kunststof (GVK) platen is minimaal 2mm. De opbouw van het oplegblok is als volgt: GVK/CR/GVK/CR/GVK. Zie afbeelding 3.1.

Voor het verlijmen zijn eerst alle oppervlakken van zowel het CR als het GVK ontvet, licht opgeruwd, schoon en

¹⁵ <http://www.brandcomposiet.nl/products/documentation/e/Selcom%20SRL%20Glass%20Fiber%20Multiaxial.pdf>

¹⁶ PDS Synolite 1967-G-3, DSM Resins

¹⁷ PDS Synolite 1967-G-3, DSM Resins

¹⁸ Algemeen aanvaarde waarde



droog gemaakt. Er is gebruik gemaakt van twee soorten lijm: Loctite Hysol® 3425™ en Rema TipTop SC4000, een 2-componenten epoxylijm en een 2-componenten koud vulkaniserende lijm.

Na het ontvetten, opruwen en schoonmaken is de lijm gemengd in een bakje en met een spatel/kwast op de te verlijmen oppervlakken aangebracht. Bij de Rema TipTop SC4000 zijn twee lagen lijm aangebracht. De eerste laag als hechtlaag en de tweede laag als lijmlaag. De eerste hechtlaag heeft een nacht kunnen uitharden voordat de lijmlaag aangebracht is. Tijdens het definitief verharden zijn zware, vlakke platen gebruikt om de platen GKV en CR stevig op elkaar te drukken. Tussen het lijmen en het testen van het oplegblok zat minimaal 72h bij de epoxylijm en minimaal 96h bij de Rema TipTop SC4000. Tevens is bepaald of uitwendige druk tijdens het uitharden van de lijm een relevante positieve bijdrage vormt.

Het vulkaniseren van composiet gewapende elastomeer oplegblokken is gedaan door een toeleverancier van de firma Vilton, de Duitse firma Calenberg Ingenieure. Volgens de bij Calenberg gebruikelijke procedures voor stalen wapeningsplaten zijn de benodigde test-oplegblokken gemaakt in platen van 600x600mm van diverse materialen. De testblokken van 100x100mm zijn met behulp van waterstraal snijden uit deze platen gesneden.

Er zijn 6 verschillende varianten oplegblokken gevulkaniseerd:

- 2mm Cortenstaal
- 3mm Cortenstaal
- 3,2mm UD GVK (zelf gemaakt)
- 2mm RVS 316L
- 2,6mm CSM GVK
- 4,8mm CSM GVK

De laatste twee varianten met chopped strand mat (CSM) glasvezels, blauw GVK van Calenberg worden door hen gebruikt bij glijopleggingen, die daarom maar de helft aan aanhechting hoeven te halen. Deze vallen buiten de oorspronkelijk beoogde proef maar zijn op hun verzoek meegenomen in de beproeving. De gebruikte hars is een polyesterhars (Type 1120) en het vezelvolumepercentage is 16-18%.

De gebruikte primer PM05 en bonding-agent PC6016 waren van Parloc. De blokken zijn gevulkaniseerd bij 150°C en een einddruk van 200bar. Bij 100 en 200bar is er geventileerd. De vulkanisatietijd bij de 2,6 CSM GVK was 45minuten, bij 4,8 CSM GVK 50minuten en de overige blokken 40minuten.

Deze 600x600mm platen waren rondom voorzien van een rubber laag. Vanwege de breedte van de zaagsnede zijn er 5x5 blokken van 100x100 uit gehaald. Hiervan hebben 12 blokken geen rubber rand, 9 blokken aan 1 zijde een rubber rand en 4 blokken aan 2 zijden een rubber rand. Bij de proeven is tevens het effect van een rubberen rand bekeken. Voor de snijtekening zie bijlage V.

Testvolgorde

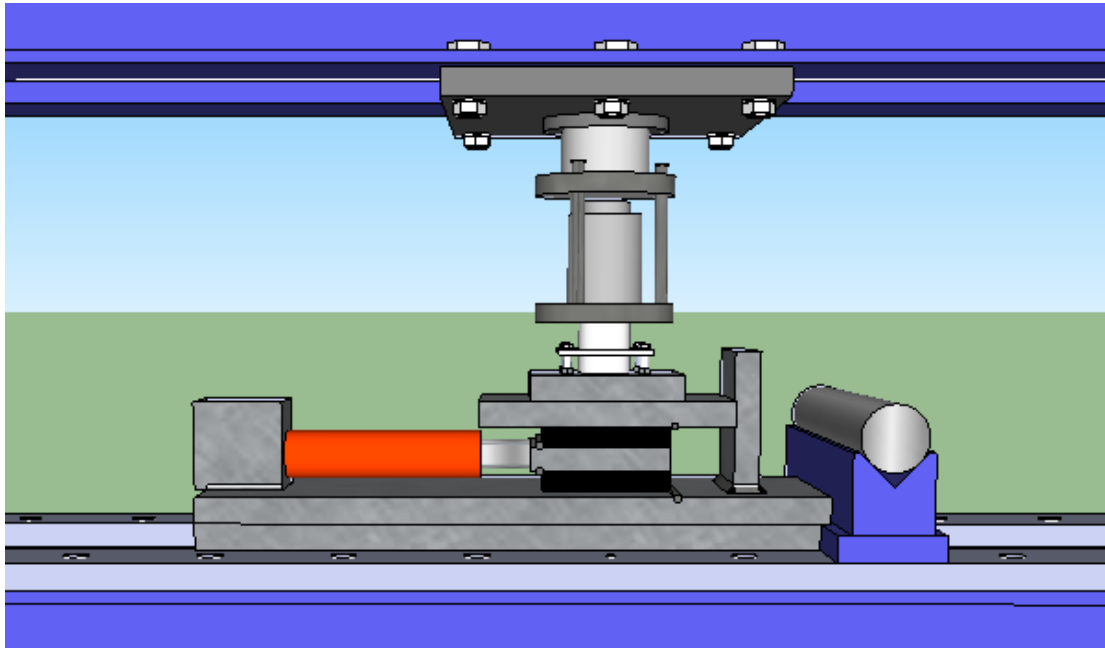
Eerst is een drukproef uitgevoerd tot een vlaktedruk van 15N/mm² met een drukbank. Bij 15 N/mm² is de samendrukkingsstijfheid bepaald. Een blok is tot 21N/mm² beproefd zijnde de rekenkundige drukstabiliteit van het blok. Deze proef is uitgevoerd in drievoud.

Indien deze proef succesvol is afgerond, is de wezenlijke shear bond strength proef verricht. Hiermee wordt namelijk vastgesteld of de verbinding tussen rubber- en wapeningslagen functioneert. Voor de afschuifproef is een opstelling gemaakt waarbij twee oplegblokken onder een verticale druk van 12 N/mm² worden gebracht, waarna één zijde van beide oplegblokken een horizontale verplaatsing ondergaat (zie figuur 3.2). Voor de verticale druk is een drukbank gebruikt, met een externe vijzel is de vereiste horizontale verplaatsing met en



snellheid van circa 0,1m/minuut aangebracht. Om verschuiven van de oplegblokken te voorkomen, zijn de onderste en de bovenste GVK-platen van de oplegblokken tegengehouden door een stalen strip met dezelfde dikte als de GVK-platen. De stalen strippen maken onderdeel uit van het testframe. De proef is uitgevoerd in drievoud.

Uitwerking van de hierboven beschreven methodes volgens EN1337-3:2005 staan vermeldt in bijlage II.



Afbeelding 3.2, proefopstelling afschuifproef

3.3 Bevestiging type C oplegblokken en recycling oplegblokken

Op basis van interview met Vilton is een antwoord gezocht op deze vraag. Zo nodig zouden meer partijen worden geïnterviewd, dit bleek niet nodig.

3.4 Casestudy kostenanalyse

Als onderzoeksmethode is gekozen voor Life Cycle Costing (LCC). Dit omdat bij deze vergelijkende methode ook de toekomstige (lagere) exploitatie kosten worden meegenomen in de beschouwing. De toekomstige kosten worden hierbij slechts gewogen meegenomen middels de Netto Contante Waarde methode.

De LCC is bepaald voor een case study met verschillende varianten. Voor de LCC zijn achtereenvolgens beschreven de:

- uitgangspunten;
- case;
- varianten;
- kostenposten.



Uitgangspunten kostenraming en verrekening toekomstige kosten

Prijspeil: 2013

Rente: 4,0%/jaar

Inflatie: 2,0%/jaar

Tijd-factor: $(100\% - \text{rente}\% + \text{inflatie}\%)^{\text{jaaren}}$

NCW: netto contante waarde

Levensduur, viaduct: 100 jaar

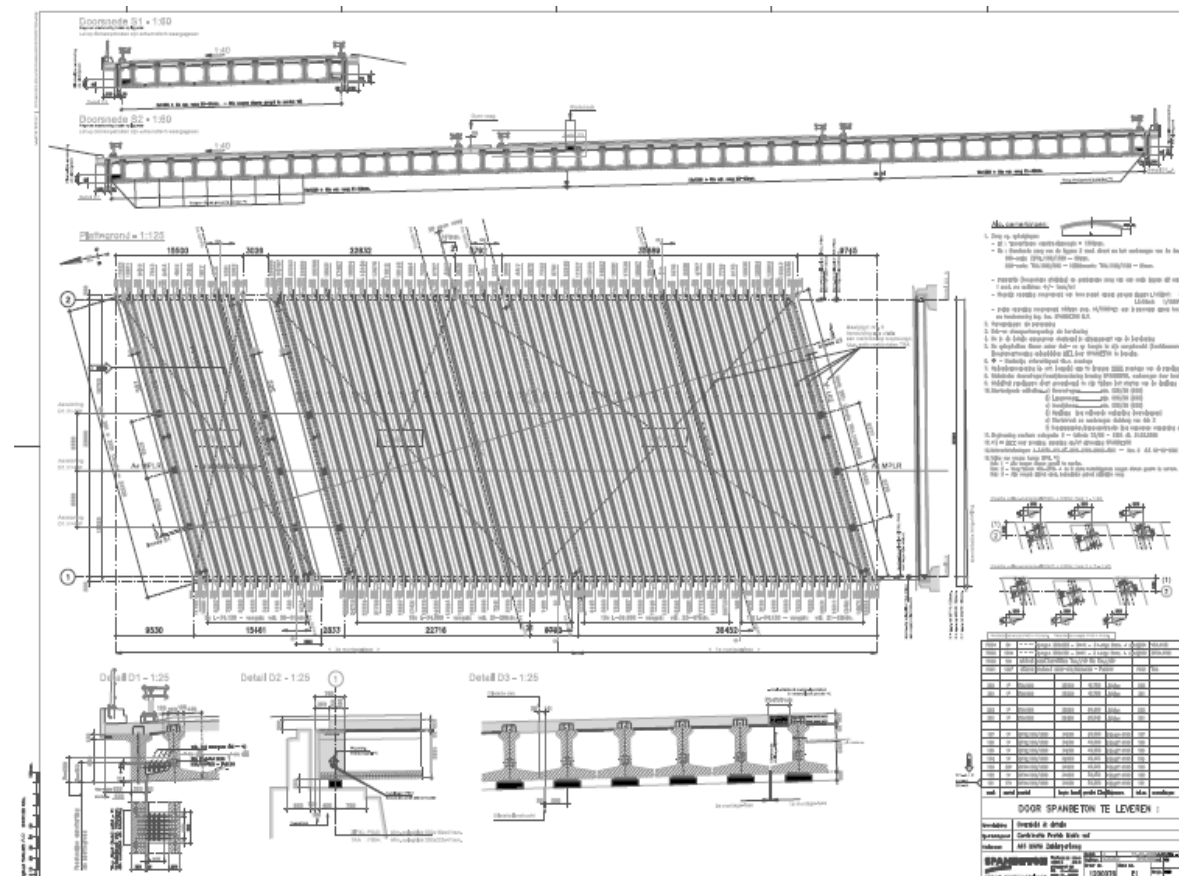
rubberen oplegstrook 100 jaar

staalplaat gewapende rubber oplegblokken: 50 jaar

voegenovergangen: 25 jaar

Case

De geraamde kosten zijn bepaald voor een concreet referentieproject. Dit betreft het viaduct Zuiderpark in het project A15 Maasvlakte Vaanplein waarbij Spanbeton de prefab liggers inclusief opleggingen in 2013 heeft geleverd. Het viaduct kent een overspanning van ruim 30 meter, hetgeen is geselecteerd omdat dit een zeer veel voorkomende overspanning betreft.



Afbeelding 3.3, Overzichtstekening referentieproject

Het viaduct omvat 2 prefab liggerdekken waarvan een smal ($B = 15$ meter) en een breed ($B = 60$ m). Onder de 52 $\perp$ -tussenliggers zijn 52x2 oplegblokken met afmetingen van 500x150x41 mm toegepast, waarvan 3 tussenlagen van 8 mm dik rubber. Onder de 4 T-randliggers zijn 4x2 oplegblokken met afmetingen van 250x225x41 mm toegepast, eveneens met 3 tussenlagen 8 mm dik rubber. Elk oplegblok is type B: gewapend met meerdere



- werkvoorbereiding en uitvoeringsplan opstellen;
- opleggingen leveren;
- tijdelijke verkeersmaatregelen;
- leuning en geleiderails losmaken;
- brugdek opvijzelen;
- opleggingen vervangen.

De geraamde kosten voor het vijzelen van het dek en vervangen van opleggingen zijn ontleend aan een ander project van Spanbeton in 2013 te weten “de Haek” om Leeuwarden, waarbij van een dek wat nog niet in gebruik was de onjuiste oplegblokken moesten worden vervangen.

Eventuele maatschappelijke kosten voor verkeershinder en -vertraging zijn niet meegenomen.

In bijlage III zijn de deelskostenposten opgenomen t.b.v de LCC.



4. Resultaten

4.1 Staal vs. composiet

Aan de wapeningsplaten van oplegblokken worden conform EN-1337-3 eisen gesteld aan de sterkte en niet aan de stijfheid. In bijlage I is de composiet wapeningsplaat voor de testblokken gedimensioneerd op sterkte voor staal [conform EN-1337-3] en glasvezel-polyester-VVK [EN-1337-3 vertaald m.b.v. CUR96]. In geval van staal (S235) is bij het testblok van 100x100mm onder een vlaktedruk van 20N/mm^2 een plaatdikte nodig van 1,2 mm en bij VVK een plaatdikte van 1,9mm. De lengtevervormingen van de wapeningsplaten zijn in beide gevallen zeer beperkt. Glasvezel-polyester-VVK kent de laagste sterkte en stijfheidseigenschappen binnen de gebruikelijke VVK's, Glasvezel-polyester-VVK voldoet reeds voor deze toepassing. De minimum plaatdikte voor staal is volgens de norm 2,0mm, dit is voor zowel staal als VVK aangehouden.

N.B.: uit praktische overwegingen zijn aan de hand van beschikbare UD vezel legfels grotere plaatdiktes toegepast.

4.2 Hechting rubber-composiet / rubber-staal

4.2.1 Drukproef gelijkde oplegblokken

Met epoxylijm is er een oplegblok gemaakt met massief rubber en een oplegblok met gestanst rubber. Bij een vlaktedruk van 15N/mm^2 waren de oplegblokken enigszins bezwaken. Plaatselijk puilde het rubber, bij zowel het massief als het gestanst rubber oplegblok, enigszins uit, wat te wijten valt aan het feit dat op die plaatsen geen of te weinig lijm zat. Verder ontstond er bij het massief rubber oplegblok een 'lichte' vlek, zichtbaar door de GVK plaat, wat duidt op onthechting / bezwijken van de lijmverbinding. Hoe vaker er opnieuw belast werd, des te groter het onthechttingsgebied werd. Bij een vlaktedruk van 21N/mm^2 was bij de geperforeerde rubber opleggingen geen ander beeld te zien.



Afbeelding 4.1, bezwijken massief rubber en epoxy oplegblok na 1x, 2x en 3x belasten

De oplegblokken met de gestante rubberplaatjes vertoonden het bovengenoemde verschijnsel niet. Er is gekozen om met de gestanst rubber oplegblokken de afschuifproef te gaan doen.

Met de Rema TipTop SC4000 zijn ook twee oplegblokken gemaakt om een eerste indruk te krijgen. Één massief rubber oplegblok en een gestanst rubber oplegblok. Bij een vlaktedruk van 15N/mm^2 waren de oplegblokken enigszins bezwaken. Plaatselijk puilde het rubber, bij zowel het massief als het gestanst rubber oplegblok, enigszins uit, wat te wijten valt aan het feit dat op die plaatsen geen of te weinig lijm zat. Na de eerste beproevingen bleken er in ontlaste positie geen (blijvende) vormen van onthechting of bezwijken. Met beide



blokken is daarna een afschuifproef uitgevoerd.

4.2.2 Drukproef gevulkaniseerde oplegblokken

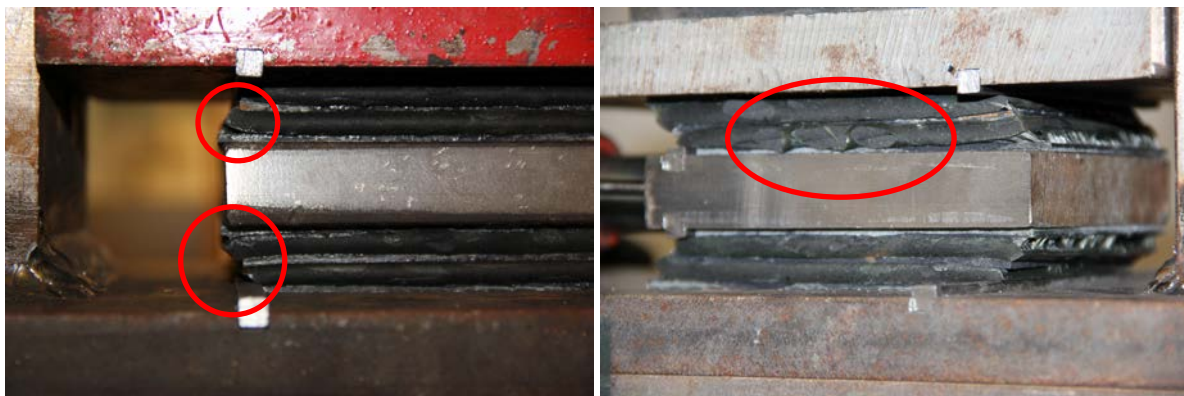
De gevulkaniseerde blokken met Cortenstaal, RVS en composiet vertoonden allen bij de drukproef geen tekenen van bezwijken. De rubberen tussenlagen bolden aan alle zijden gelijkmatig uit zonder dat er scheurvorming optrad. Met alle blokken is daarna de afschuifproef gedaan.



Afbeelding 4.2, uitbollend rubber bij drukproef

4.2.3 Afschuifproef gelijkde oplegblokken

Omdat de met epoxy lijm gemaakte massief rubber oplegblokken bij de drukproef al bezweek, is dit blok niet getest in de afschuifproef. Het epoxy met gestanst rubber oplegblok bleek zich veel stijver te gedragen dan vooraf verwacht. Een oorzaak voor dit stijvere gedrag kan zijn dat epoxylijm de gaatjes in het rubber opgevuld heeft, waardoor het rubber zich stijver gaat gedragen. Bij een horizontale verplaatsing vanaf 0,2x rubberhoogte bezweek de verbinding. Dit is te zien op afbeelding 4.3(1).



Afbeelding 4.3 kierend rubber(1) en gescheurd rubber(2)

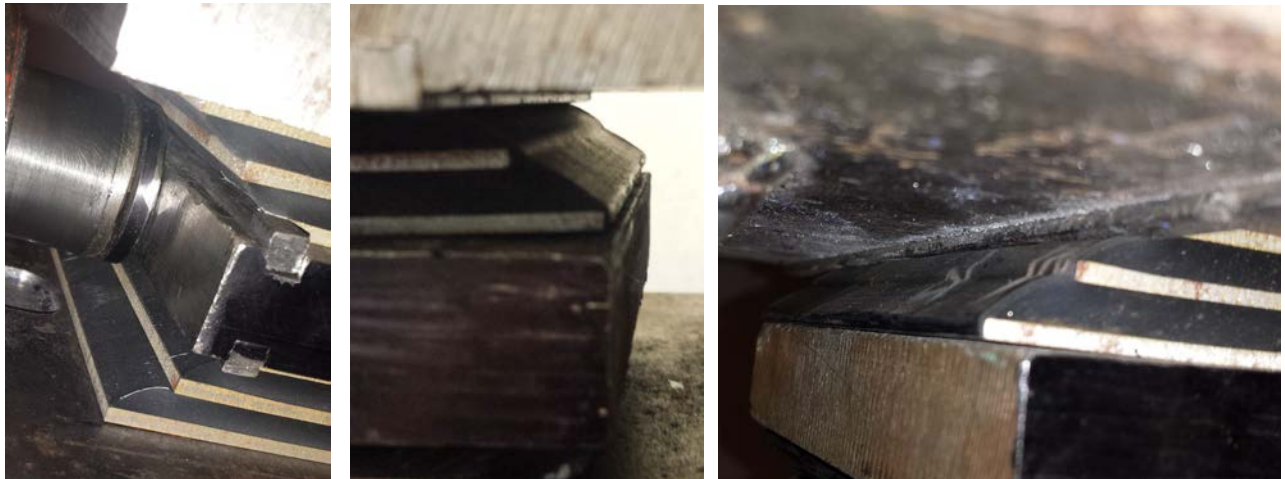
Bij de blokken met de koud vulkaniserende lijm bleek met de afschuifproef dat alleen het massief rubber aan het GVK gehecht bleef. Het gestanst rubber scheurde los van het GVK. Bij een horizontale verplaatsing van 0,2x rubberhoogte bezweek de verbinding.



4.2.4 Afschuifproef ge vulkaniseerde oplegblokken

Cortenstaal 2mm en 3mm

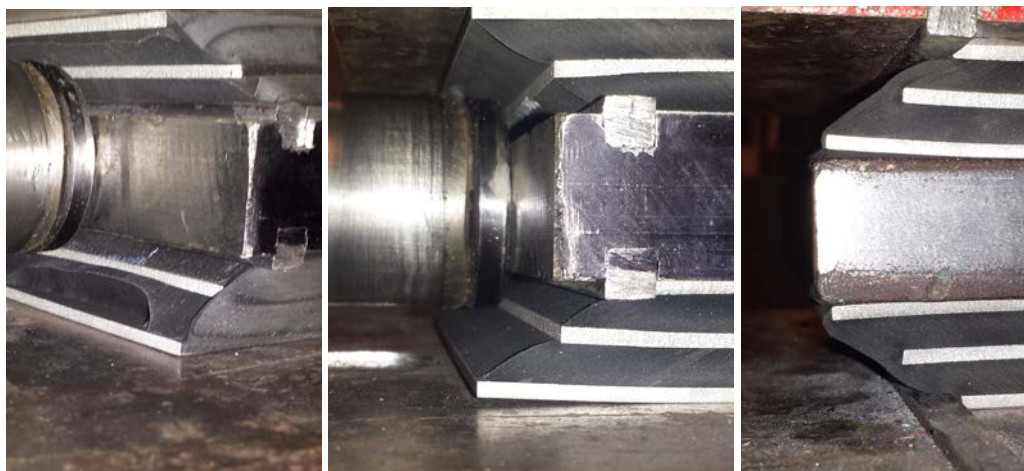
Alle oplegblokken met Cortenstaal haalden in eerste instantie de gestelde eis van de horizontale verplaatsing van 2,0x de rubberhoogte. Dit voor zowel de blokken met 2mm wapeningsplaat als de blokken met de 3mm wapeningsplaat. Bij het aanhouden van de maximale verplaatsing begonnen er bij een aantal proefstukken op sommige plaatsen kleine scheurtjes te ontstaan in het rubber. Dit kwam echter alleen voor op de plekken waar geen buitenrand van rubber zat. Bij de proefstukken met een buitenrand van rubber bleven de randen vrij van scheuren.



Afbeelding 4.4, oplegblok CORTEN staal tijdens afschuifproef

RVS 2mm

Van de oplegblokken met RVS haalden alle blokken in eerste instantie de gestelde eis van een horizontale verplaatsing van 2,0x de rubberhoogte. Bij het aanhouden van de maximale verplaatsing begonnen er bij een aantal proefstukken op sommige plekken het rubber aan de randen in te scheuren. Bij blokken waar er een rubber rand om zat bleef de rand vrij van scheuren.

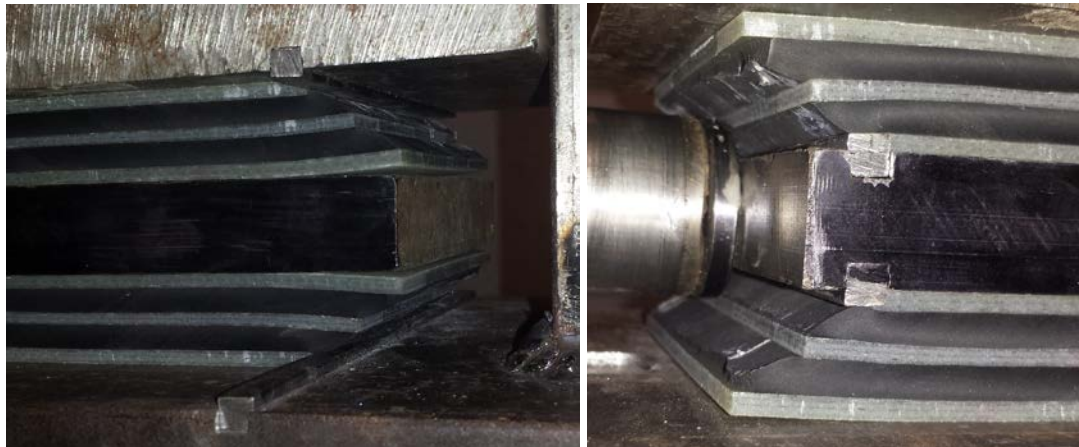


Afbeelding 4.5, oplegblok RVS bij maximale scheefstand



UD 3,2mm composiet

Een deel van de proefblokken is op maat gezaagd met een lintzaag. Het andere deel is waterstraal gesneden. Het verschil was dat het rubber bij de gezaagde blokken bij een horizontale verplaatsing van minder dan 1,0x de rubberhoogte al los begon te laten, terwijl dat bij de waterstraal gesneden blokken het rubber pas los begon te laten bij 1,8x de rubberhoogte. Sommige bindingen van de gesneden blokken vertoonden geen scheuren bij maximale horizontale vervorming van 2,0x de rubberhoogte. Na even wachten scheurde het rubber langzaam in. Niet egaal maar op de ene plek meer dan op de andere. Na ontlasten was aan de buitenzijde niet te zien dat het rubber losgescheurd was geweest van het composiet.



Afbeelding 4.6, UD composiet $2 \times h_{\text{rubber}}$ heel(1), na even wachten langzaam inscheuren rubber(2).

CSM 2,6mm blauw composiet

Bij de oplegblokken met de dikke blauwe (2,6mm) scheurde het rubber bij ongeveer 0,5x de rubberhoogte horizontale verplaatsing aan de randen los van de wapeningsplaat. Deze blokken waren gezaagd met de relatief grove lintzaag.



Afbeelding 4.7, gaten in dunne blauwe wapeningsplaat(1 & 2) en loslatend rubber aan de rand(3).

Bij de afschuifproef bleken in de dunne (2,6mm) blauwe CSM GVK platen gaten 'gestanst' te zijn. In de stalen druk verdelende plaat boven het oplegblok zat een gat die dit veroorzaakte. De blauwe GVK platen zijn gemaakt met korte glasvezels. De dunnere UD GVK platen vertoonden slechts een verkleuring in ronde vorm.



CSM 4,8mm blauw composiet

Bij de oplegblokken met de dikke blauwe (4,8mm) scheurde het rubber bij ongeveer 1x de rubberhoogte horizontale verplaatsing aan de randen los van de wapeningsplaat. Dit gebeurde bij alle randen haaks op de belastingsrichting. Deze zijn waterstraal gesneden.



Afbeelding 4.8, oplegblok tijdens(1&2) en na afschuifproef(3)

Bij de testen met een rubberen rand aan één zijde ontstonden er scheuren in de wapeningsplaat, zoals te zien is op afbeelding 4.8(2&3). Na het ontlasten is nog steeds duidelijk te zien dat het composiet gescheurd is en de rubberen rand los is getrokken van het composiet.

4.3 Bevestiging oplegblokken en recycling

Op basis van interview met Vilton zijn de volgende resultaten beschikbaar gekomen.

Rubber oplegblokken met externe composiet platen kunnen op dezelfde manier worden bevestigd met ankers aan onderbouw en dek als oplegblokken met stalen platen. Om corrosie van ankers te beperken/voorkomen kan gebruik gemaakt worden van thermisch verzinkte / roestvast stalen ankers.

Rubber oplegblokken met externe composiet platen kunnen na calamiteiten op dezelfde wijze worden vervangen als oplegblokken met externe stalen platen.

Aan het einde van de levensduur van oplegblokken kunnen gevulkaniseerde rubber opleglamellen en wapeningsplaten niet eenvoudig worden gescheiden. Devulkanisatie wordt wel reeds tientallen jaren toegepast, in eerste instantie gericht op het hergebruik van productieafval. Vooral Vredestein Maastricht is actief op het vlak van devulkanisatie. De klassieke en nieuwe devulkanisatietechnieken zijn echter alleen geschikt voor granulaat en financieel niet rendabel¹⁹.

Traditionele staalplaat gewapende oplegblokken kunnen worden verbrand voor energieopwekking, waarna het constructiestaal (smeltpunt >1400°C) kan worden gerecycled. Verbranding van rubber dient te gebeuren bij temperaturen van meer dan 1000°C om zo min mogelijk afvalstoffen, die schadelijk zijn voor het milieu over te houden²⁰.

¹⁹ <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/rubber-banden-voorbehandeling-devulkaniseren>

²⁰ http://www.mvonderland.nl/dossier/2/61/dossier_description/8912



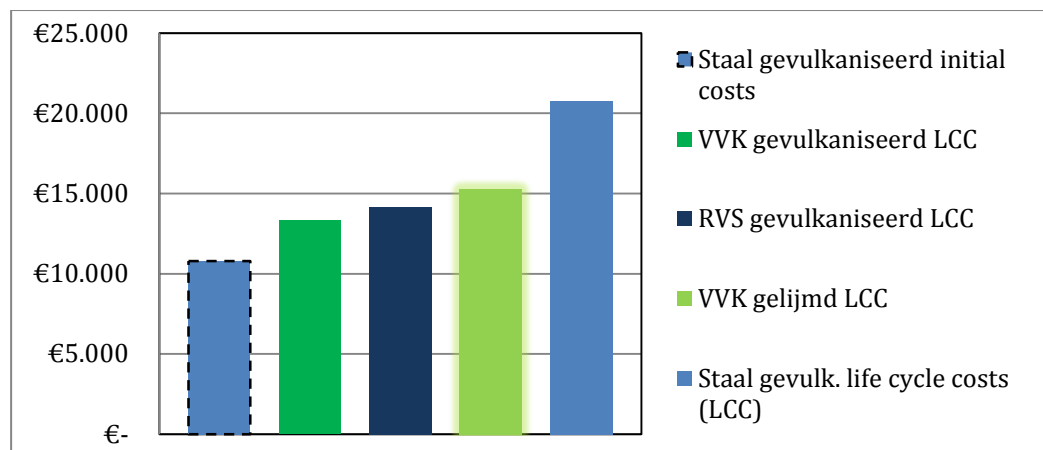
Composiet gewapende rubber oplegblokken kunnen in zijn geheel worden vershredderd. Het granulaat van rubber inclusief composiet kan (zo nodig verdund met puur rubbergranulaat) worden toegepast in laagwaardige rubber producten (downcyclen).

4.4 Levenscycluskosten

De resultaten van de levenscycluskosten zijn in afbeelding 4.7 samengevat in een staafdiagram. De onderliggende gegevens zijn te vinden in bijlage IV.

De staalplaat gewapende oplegblok / nul-variant kost voor het referentieproject initieel ruim €10.000,- en na 50 jaar circa €27.500,- extra. Om de €27.500,- na 50 jaar te kunnen betalen, moet nu circa €10.000,- opzij gezet worden. Daarmee bedraagt de netto contante waarde ruim €20.000,-.

De alternatieve varianten kosten tussen de ruwweg €13.000,- en €15.000,- zowel initieel en in de gehele cyclus, waarvan de gevulkaniseerde glasvezelversterkte kunststof oplegblokken de goedkoopste zijn.



Afbeelding 4.9, Kosten oplegvarianten bij referentieproject MaVa A15



5. Conclusies

Met de gebruikelijke VVK's zijn wapeningsplaten voor opleggingen te maken die voldoen aan de sterkte en stijfheidseisen die gesteld worden aan plaatwapening in gewapende oplegblokken. Bij zowel staal als VVK is sterkte maatgevend. Bij glasvezelversterkte wapeningsplaten is een grotere plaatdikte nodig dan bij stalen wapeningsplaten. Dit komt voornamelijk doordat glasvezels over twee richtingen moeten worden verdeeld en door hogere materiaalfactoren.

Proeven met gelijmde oplegblokken met wapeningsplaten van glasvezelversterkte polyester en zonder rubberen omranding laten zien dat zowel met epoxylijm als met koud vulkaniserende lijm de oplegblokken niet voldoen aan de gestelde afschuifeisen in EN 1337-3 art. 4.3.2.1.

Proeven met gevulkaniseerde oplegblokken zonder rubberen omranding laten zien dat:

- oplegblokken met wapeningsplaten van staal (referentie) en RVS voldoen in eerste instantie aan de gestelde afschuifeisen in EN 1337-3. Bij 5 minuten wachten scheuren sommige hechtlagen alsnog in;
- oplegblokken met wapeningsplaten van UD-glasvezel versterkte DARON® 41/B25 bijna voldoen aan de gestelde afschuifeisen in EN 1337-3. Waterstraal gesneden oplegblokken geven betere resultaten dan grover gezaagde.

Proeven met gevulkaniseerde oplegblokken met een enkele rand laten zien dat deze voldoen aan de afschuifeisen in EN 1337-3.

Oplegblokken met externe composiet platen(type C) kunnen op dezelfde wijze worden bevestigd en na calamiteiten worden vervangen als oplegblokken met externe stalen platen.

Gevulkaniseerde kunststof gewapende oplegblokken zijn economisch gezien zeer aantrekkelijk zodra de totale levenscyclus kosten in beschouwing worden genomen. De kosten bedragen slechts 110% van de initiële kosten van de nul-variant / staal gewapende oplegblokken. Wanneer toekomstige vervangingskosten worden meegenomen blijkt de nul-variant echter nogmaals 100% te kosten in de levenscyclus.

RVS gewapende oplegblokken zijn circa 20% duurder dan de nul variant.



6. Discussie

In dit onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen wapeningsplaten van staal en VVK. Voor het staal is conform EN 1337-3 4.3.3.1 S235 aangehouden. Bij hogere staalkwaliteit kunnen stalen wapeningsplaten dan dunner worden uitgevoerd (met als ondergrens 2 mm dikte). Bij grote oplegblokken kan dit een besparing opleveren.

Er zijn geen testen uitgevoerd met VVK gewapende (UD glas & Daron 41) oplegblokken met een volledige rubber buitenrand. Proeven met deze blokken zullen naar verwachting aantonen dat composiet gewapende oplegblokken ook aan de eisen van staal gewapende oplegblokken voldoen.

Een verschil bij de verankering van externe platen van oplegblokken (type C) is dat bij VVK grotere randafstanden nodig zijn dan bij staal. Bij sommige projecten kan dit een nadeel vormen.

In de geraamde kosten voor materialen zitten bij VVK wapening de grootste onzekerheden/marges. Voorts zitten bij alle varianten min of meer dezelfde onzekerheden in aanvullend benodigde metingen voor de benodigde handelingen ten opzichte van de nul-variant.

EN1337 zou voor wapening materiaalafhankelijk moeten worden. Waarbij ten behoeve van minder stijve materialen, zoals VVK, eventueel stijfheidseisen moeten worden geformuleerd.

Dit kan tevens de weg openen voor onderzoek naar oplegblokken met wapening van diverse lagen vezellegels die rechtstreeks aan het rubber worden geïmpregneerd.



7. Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om een nul-serie te maken van gevulkaniseerde, VVK gewapende rubber oplegblokken met rubber omhulling en deze te onderwerpen aan aanvullende proeven. Een standaardblok van $\phi 200 \times 33$ (met 4mm VVK platen met UD glas $0^\circ/90^\circ$ en DARON 41 hars) is de kleinste die de maximale belasting bij vermoeiing statisch aankan. De nul-serie van deze blokken onderwerpen aan de volgende proeven:

- statische afschuifproeven tot $2,0 \cdot h_{\text{rubber}}$ conform EN 1337-3 Art. 4.3.2.1;
- statische afschuifproeven tot $2,0 \cdot h_{\text{rubber}}$ conform EN 1337-3 Art. 4.3.2.2 na 3 dagen op 70°C (kunstmatig verouderd);
- vermoeiingsproeven conform EN 1337 Art. 4.3.4 (2 miljoen wisselingen van 7,5 tot 25 N/mm^2 bij 23°C , oplopend tot max. 42°C met $<3\text{Hz}$);
- drukproeven tot ca. 7 N/mm^2 na ozonbelasting (72h met 50 pphm op CR) conform EN 1337-3 Art. 4.3.6;
- afschuifproeven tot $0,7 \cdot h_{\text{rubber}}$ na ozonbelasting (72h met 50 pphm op CR) conform EN 1337-3 Art. 4.3.6.

Aansluitend kunnen in een pilot project enkele opleggingen worden uitgevoerd met gevulkaniseerde, VVK gewapende rubber oplegblokken met rubber omhulling. Aanbevolen wordt om dit project te monitoren.

Daarnaast kan worden aanbevolen om ook gevulkaniseerde rubbersoorten PU & EPDM in combinatie met VVK gewapende wapeningsplaten te beproeven. Deze soorten worden volgens Sico reeds toegepast in gewapende brug opleggingen in Zuid Amerika.



8. Literatuur

- [1] Bouwdienst Rijkswaterstaat, 2004, Handleiding Werken met Instandhoudingsplannen.
- [2] Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken, RTD 1001:2011, Rijkswaterstaat
- [3] RTD 1017-2 'Handleiding CRIAM Rubber Oplegblokken betonconstructies' versie 1.0 RWS
- [4] Kamelock Rubber en Metal Adhesives en Primer, Monchengladbach DE,
<http://www.kamelock.de/media/ac04eed5fdac49a3ffff80c2ffffff1.pdf>, laatst geraadpleegd op 03-04-2014.
- [5] Rapport 2003-6, Achtergrondrapport bij CUR-Aanbeveling 96: 'Vezelversterkte kunststoffen in civiele draagconstructies. ISBN: 90 3760 352 1
- [6] <http://www.electronics-cooling.com/2001/11/the-thermal-conductivity-of-rubbers-elastomers/>, laatst geraadpleegd op 15-05-2014
- [7] <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=764>, laatst geraadpleegd op 15-05-2014
- [8] http://www.ngfworld.com/en/en_fiber/en_high_thermal_conductivity.html, laatst geraadpleegd op 15-05-2014
<https://indico.cern.ch/event/99464/contribution/21/material/slides/6.pdf>, laatst geraadpleegd op 15-05-2014
- [9] http://eina.ws/no12/EINA_No12p43-44.pdf, laatst geraadpleegd op 15-05-2014
- [10], [11] http://www.christinedemerchant.com/carbon_characteristics_heat_conductivity.html, laatst geraadpleegd op 15-05-2014
- [12], [13] De ongekende mogelijkheden van carbon composiet, René Voogt Mikroniek 2007
- [14] Rema TipTop SC4000, <http://www.rematiptop.com/technical/ind/REMA-TIP-TOP-SC4000-Cement-Bonding-Procedures-Rev4.pdf>, laatst geraadpleegd op 18-02-2014.
- [15] <http://www.brandscposiet.nl/products/documentation/e/Selcom%20SRL%20Glass%20Fiber%20Multiaxial.pdf>, laatst geraadpleegd op 02-05-2014
- [16], [17] PDS Synolite 1967-G-3, DSM Resins
- [18] <http://technotheek.utwente.nl/wiki/Supervezels>, laatst geraadpleegd op 24-04-2014
- [19] <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/rubber-banden-voorbehandeling-devulkaniseren>, laatst geraadpleegd op 28-04-2014
- [20] http://www.mvonderland.nl/dossier/2/61/dossier_description/8912, laatst geraadpleegd op 04-05-2014



Bijlagen

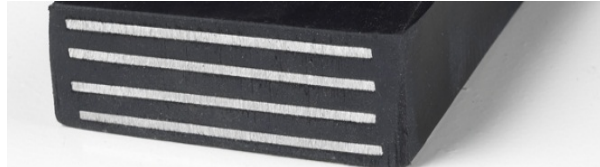


Bijlage I Testblok dimensionering wapeningsplaten

Testblokken, afmetingen en dimensionering composiet wapening



Test oplegblok: kunststof en rubber
gelijmd platen of ge vulkaniseerd



Normaal oplegblok: stalen platen, rubber ertussen en
rondom, ge vulkaniseerd

Oplegblok 100x100mm, zowel lijmen als vulkaniseren wordt beproefd zonder rubberen zijanten.

Rubber lagen Chloroprene Rubber $G=0,9\text{N/mm}^2$

Tussenlagen: $t=5,0\text{mm}$; buitenlagen $t=2,5\text{mm}$; zijkant 0mm ; $A=100\cdot100\text{mm}^2$; $l=4\cdot100\text{mm}$; $S=6,25$

$T=2\cdot2,5+2\cdot5,0=15\text{mm}$ testblokken zonder rubber onder- en bovenlagen $T=2\cdot5,0=10\text{mm}$

Wapeningsplaten, $n=3$ stuks/blok

Composiet plaat $A=100\cdot100\text{mm}^2$ $t=2,0\text{mm}$

Composiet 55% vezel volume fractie 27,5% per orthogonale richting. Vacuüm injectie.

Vezels: lange E-glas UD vezels $E=72.000\text{N/mm}^2$; $f=1.382\text{N/mm}^2$. Wisselend vochtig, 100 jaar.

Matrix: polyester (en andere) $E=3.400\text{N/mm}^2$

CUR Aanbevelingen 96, Vezel Versterkte Kunststoffen in civiele draagconstructies, 6.2 & 6.3:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{ct} \cdot \gamma_{cv} \cdot \gamma_{ck} \cdot \gamma_{cf} = 1,35 \cdot 1,40 \cdot 1,10 \cdot 1,10 \cdot 1,15 \cdot 1,00 = 2,62$$

materiaal spreiding productie methode temp. vocht kruip vermoeiing

In EN 1337-3 5.3.3.5 is gegeven:

$$t_{\text{steel}} = K_p \cdot F \cdot (t_{\text{rubber,above}} + t_{\text{rubber,below}}) \cdot K_h \cdot \gamma_m / (A_r \cdot f_y)$$

ingevuld zou dit voor staal opleveren:

$$t_{\text{steel}} = 1,3 \cdot 210\text{kN} \cdot (5\text{mm} + 5\text{mm}) \cdot 1,0 \cdot 1,0 / (100\text{mm} \cdot 100\text{mm} \cdot 235\text{N/mm}^2) = 1,2\text{mm}$$

minimaal 2,0mm

Voor composiet met vezels is deze formule (met vvf= vezel volume fractie per richting) omgewerkt:

$$t_{\text{composite}} = K_p \cdot F \cdot (t_{\text{rubber,above}} + t_{\text{rubber,below}}) \cdot K_h \cdot \gamma_m / (A_r \cdot f_r \cdot \text{vvf})$$

ingevuld voor glasvezelcomposiet levert dit:

$$t_{\text{composite}} = 1,3 \cdot 210\text{kN} \cdot (5\text{mm} + 5\text{mm}) \cdot 1,0 \cdot 2,62 / (100\text{mm} \cdot 100\text{mm} \cdot 1382\text{N/mm}^2 \cdot 0,275) = 1,9\text{mm}$$

minimaal 2,0mm



Bijlage II Testblokproeven

Proeven en belastingen

Compression test: 1 blok

Compression stiffness test EN 1337-3:2005 4.3.3.5

$$F = 5 \cdot A \cdot G \cdot S / 1,5 = 5 \cdot 100\text{mm} \cdot 100\text{mm} \cdot 0,9\text{N/mm}^2 \cdot 5,0 / 1,5$$

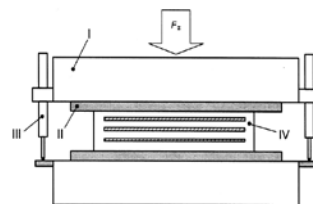
Rubber layer compression capacity EN 1337-3:2005 5.3.3 (1) & (8)

$$F = 7 \cdot A \cdot G \cdot S / 1,5 = 7 \cdot 100\text{mm} \cdot 100\text{mm} \cdot 0,9\text{N/mm}^2 \cdot 5,0 / 1,5$$

Block buckling capacity EN 1337-3:2005 5.3.3.6 (15)

$$F = A \cdot a \cdot G \cdot S / (1,5 \cdot T) = 100\text{mm} \cdot 100\text{mm} \cdot 100\text{mm} \cdot 0,9\text{N/mm}^2 \cdot 5,0 / (1,5 \cdot 10\text{mm})$$

Capaciteit drukkbank Windesheim :



$$\begin{aligned} F &= 150,0\text{kN} \\ \sigma &= 15,0\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 210,0\text{kN} \quad 21,0\text{N/mm}^2$$

$$= 300,0\text{kN} \quad 30,0\text{N/mm}^2$$

circa 210,0kN

Shear bond strength test: 2 blokken

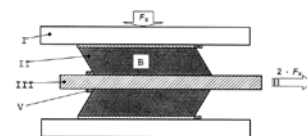
Rubber-reinforcement shear bond strength EN 1337-3:2005 4.3.2:

Onder drukkracht F is de verwachte hor-kracht H bij verpl. $v = 2 \cdot T = 20\text{mm}$

$$F = 12,0\text{N/mm}^2 \cdot A = 12,0\text{N/mm}^2 \cdot 100\text{mm} \cdot (100 - 20)\text{mm} = 96,0\text{kN}$$

$$H = 2 \cdot 2 \cdot A \cdot G = 2 \cdot 2 \cdot 100\text{mm} \cdot 100\text{mm} \cdot 0,9\text{N/mm}^2 = 36,0\text{kN} / 2 \text{ blokken}$$

afschuifspanning $3,6\text{N/mm}^2$ bij 12N/mm^2 druk





Bijlage III Deelkostenposten t.b.v. LCC kostenraming

Deelkostenposten

Voor de kostenraming van het leveren van de oplegblokvarianten de volgende deelkostenposten onderscheiden:

• leveren stalen platen S235	Staal ge vulkaniseerd
• verzinken stalen platen	Thermisch verzinkt staal (TVS) ge vulkaniseerd
• leveren RVS platen 316	Roestvast staal (RVS) ge vulkaniseerd
• stralen wapeningsplaten	Alle varianten
• ontvetten wapeningsplaten	Alle varianten
• leveren primer	RVS, TVS & composiet ge vulkaniseerd
• aanbrengen primer	RVS, TVS & composiet ge vulkaniseerd
• leveren bonding agent	RVS, TVS & composiet ge vulkaniseerd
• aanbrengen bonding agent	RVS, TVS & composiet ge vulkaniseerd
• leveren ruw CR rubber	Ge vulkaniseerd
• vulkaniseren CR rubber	Ge vulkaniseerd
• epoxy scheggen	Alle varianten
• transport en handel oplegblokken en scheggen	Alle varianten
• leveren glasvezel UD legsel	Composiet ge vulkaniseerd & gelijmd
• leveren UP hars	Composiet gelijmd
• leveren UP hars (vulkanisatie temp. Bestendig)	Composiet ge vulkaniseerd
• produceren en handel composiet	Composiet ge vulkaniseerd & gelijmd
• leveren ge vulkaniseerd CR rubberplaten	Composiet gelijmd
• schuren, schoonmaken	Composiet gelijmd
• leveren lijm	Composiet gelijmd
• aanbrengen lijm	Composiet gelijmd.

De kosten hiervan zijn zo goed mogelijk achterhaald bij leveranciers en verwerkers van bovenstaande producten en bewerkingen.



Bijlage IV Kostenraming oplegblokvarianten

Projectkosten

0: Staalplaat gewapende, gevulkaniseerde oplegblokken

onderdeel			kosten	na # jaar	2%	NCW kosten
oplegblokken incl scheg	112 stuks	€ 77,50	€ 8.680,00	0	1,00	€ 8.680,00
oplegblokken monteren	48 man h.	€ 50,00	€ 2.400,00	0	1,00	€ 2.400,00
subtotaal bij bouwen			€ 11.080,00			€ 11.080,00
nieuwe oplegblokken incl scheg	112 stuks	€ 77,50	€ 8.680,00	50	0,36	€ 3.160,99
oplegblokken vervangen	144 man h.	€ 50,00	€ 7.200,00	50	0,36	€ 2.622,02
snelheidsbeperking (<90km/h)	1 stuks	€ 2.000,00	€ 2.000,00	50	0,36	€ 728,34
vijzelmeester	32 man h.	€ 110,00	€ 3.520,00	50	0,36	€ 1.281,88
vijzelsysteem huren	5 dag	€ 400/dag	€ 2.000,00	50	0,36	€ 728,34
vijzels huren (zonder verkeer)	45 vijzels	€ 6,0/v/dag	€ 1.350,00	50	0,36	€ 491,63
(met verkeer)	45 vijzels	€ 4,0/v/dag	€ 900,00	50	0,36	€ 327,75
leuningen, geleiderails tijd. losmaken	16 man h.	€ 50,00	€ 800,00	50	0,36	€ 291,34
werkvoorbereiding & plan opstellen	16 man h.	€ 75,00	€ 1.200,00	50	0,36	€ 437,00
vertragingsschade						p.m.
totaal in levensduur			€ 38.730,00			€ 21.149,29

1: Composietplaat gewapende, gevulkaniseerde oplegblokken

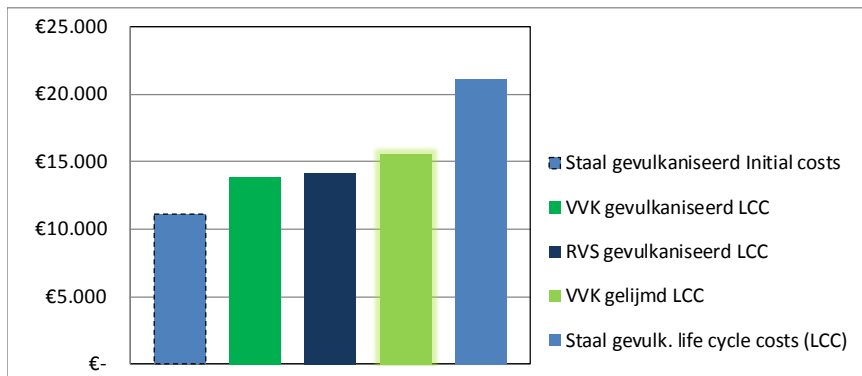
onderdeel			kosten	na # jaar	2%	NCW kosten
gevuлк. oplegblokken incl. scheg	112 stuks	€ 102,50	€ 11.480,00	0	1,00	€ 11.480,00
oplegblokken monteren	48 man h.	€ 50,00	€ 2.400,00	0	1,00	€ 2.400,00
totaal in levensduur						€ 13.880,00

2: Composietplaat gewapend, gelijkde oplegblokken

onderdeel			kosten	na # jaar	2%	NCW kosten
gelijkde oplegblokken incl. scheg	112 stuks	€ 117,50	€ 13.160,00	0	1,00	€ 13.160,00
oplegblokken monteren	48 man h.	€ 50,00	€ 2.400,00	0	1,00	€ 2.400,00
totaal in levensduur						€ 15.560,00

3: RVS-plaat gewapende, gevulkaniseerde oplegblokken onder twee dekken

onderdeel			kosten	na # jaar	2%	NCW kosten
gevuлк. oplegblokken incl. scheg	112 stuks	€ 105,00	€ 11.760,00	0	1,00	€ 11.760,00
oplegblokken monteren	48 man h.	€ 50,00	€ 2.400,00	0	1,00	€ 2.400,00
totaal in levensduur						€ 14.160,00



Netto Contante Waarde

rente	4%
inflatie	-2%
	2%



0: Staal, gevulkaniseerd

4x3x492x142mm	staal	6,4 kg	€ 1,2/kg	€	7,7
	ontvetten	0,56 m2	€ 1,0/m2	€	0,6
	stralen	0,56 m2	€ 10,0/m2	€	5,6
	primer	0,00 m2	€ 0,1/m2	€	-
	aanbrengen	0,00 m2	€ 10,0/m2	€	-
	bonding agent	0,00 m2	€ 0,4/m2	€	-
	aanbrengen	0,00 m2	€ 10,0/m2	€	-
				€	13,8
(41x500x150mm - V _{staal})	rubber ruw	3,3 kg	€ 10,0/kg	€	32,7
			€ 12,8/kg		
	rubber vulkaniseren in blok	2,25 dm3	€ 4,0/dm3	€	9,0
	transport, handel	3,08 dm3	€ 2,0/dm3	€	6,2
	scheggen			€	15,0
				€	76,7

1: Composiet, gevulkaniseerd

composiet: 4x3x492x142	VE hars	0,5 kg	€ 4,0/kg	€	2,2
	UD legsel glas	1,2 kg	€ 3,0/kg	€	3,5
	productie			€	11,4
	handel			€	5,7
	ontvetten	0,56 m2	€ 1,0/m2	€	0,6
	stralen	0,56 m2	€ 10,0/m2	€	5,6
	primer	0,56 m2	€ 0,1/m2	€	0,1
	aanbrengen	0,56 m2	€ 10,0/m2	€	5,6
	bonding agent	0,56 m2	€ 0,4/m2	€	0,2
	aanbrengen	0,56 m2	€ 10,0/m2	€	5,6
				€	40,5
(41x500x150mm - V _{staal})	rubber ruw	3,3 kg	€ 10,0/kg	€	32,7
			€ 12,8/kg		
	rubber vulkaniseren in blok	2,25 dm3	€ 4,0/dm3	€	9,0
	transport, handel	3,08 dm3	€ 2,0/dm3	€	6,2
	scheggen			€	15,0
				€	103,3



2: Composiet, gelijmd

composiet: 4x3x500x140	UP hars	0,6 kg	€ 2,5/kg	€ 1,5
	UD legsel glas	1,2 kg	€ 3,0/kg	€ 3,5
	productie			€ 10,1
	handel			€ 5,0
		1,8 kg		€ 20,1
3x8,0x500x140	rubber CR	2,4 kg	€ 12,0/kg	€ 29,2
2x2,5x500x140	rubber CR	0,5 kg	€ 12,5/kg	€ 6,3
ontvetten composiet + rubber		1,12 m2	€ 2,5/m2	€ 2,8
licht opschuren rubber		0,56 m2	€ 7,5/m2	€ 4,2
schoonmaken comp. + rubber		1,12 m2	€ 2,5/m2	€ 2,8
	lijmen	0,56 m2	€ 20,0/m2	€ 11,2
	lijm	0,56 m2	€ 40,0/m2	€ 22,4
transport, handel		2,87 dm3	€ 1,5/dm3	€ 4,3
scheggen				€ 15,0
				€ 118,4

3: RVS, gevulkaniseerd

4x3x492x142mm	RVS	6,4 kg	€ 4,0/kg	€ 25,6
ontvetten		0,56 m2	€ 1,0/m2	€ 0,6
stralen		0,56 m2	€ 10,0/m2	€ 5,6
primer		0,56 m2	€ 0,1/m2	€ 0,1
aanbrengen		0,56 m2	€ 10,0/m2	€ 5,6
bonding agent		0,56 m2	€ 0,4/m2	€ 0,2
aanbrengen		0,56 m2	€ 10,0/m2	€ 5,6
				€ 43,2
(41x500x150mm - V _{staal})	rubber ruw	3,3 kg	€ 10,0/kg	€ 32,7
	rubber vulkaniseren in blok	2,25 dm3	€ 4,0/dm3	€ 9,0
transport, handel		3,08 dm3	€ 2,0/dm3	€ 6,2
scheggen				€ 15,0
				€ 106,1



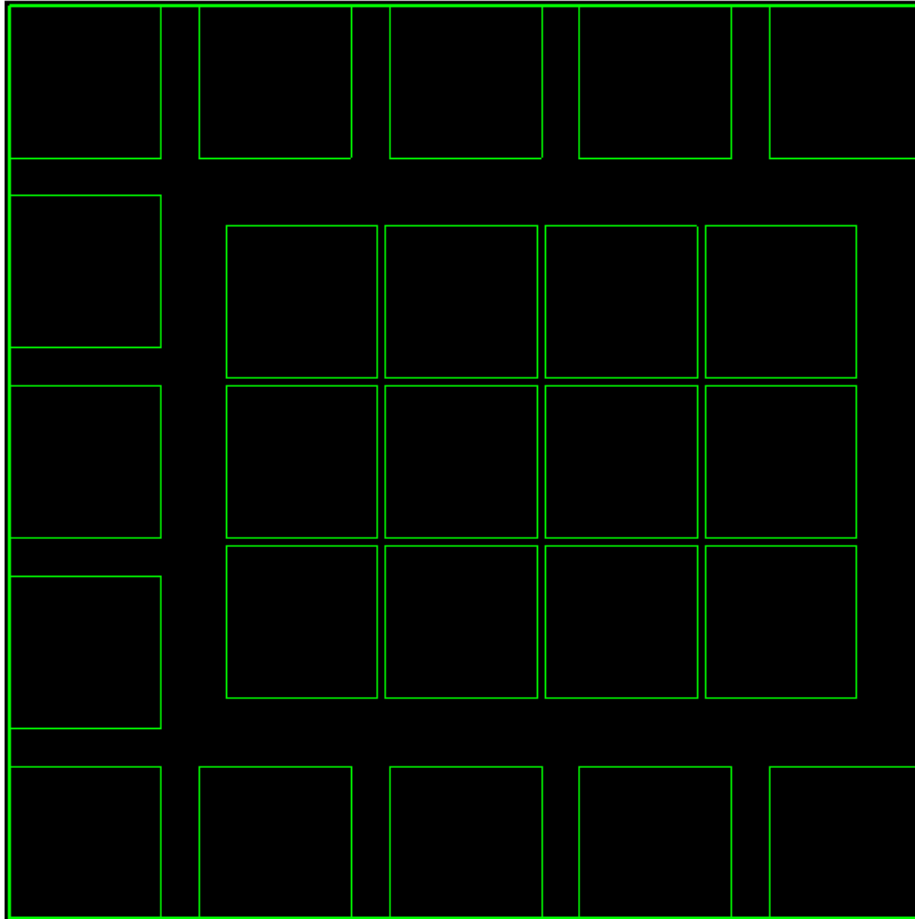
Gehanteerde eenheidskosten

		bij n stuks		Project	Bron
Rubber oplegblok, gewapend					
oplegblokken 500x150x41mm, 3x8mm rubber		104 €	60,00	€ 19,5/dm3	MaVa A1: Spanbeton/
scheggen		104 €	17,00		Konstrukon
oplegblokken 250x225x41mm, 3x8mm rubber		8 €	52,00	€ 22,5/dm3	
scheggen		8 €	12,00		
rubber oplegblok, staal gewapend				€ 15,0/dm3	Vilton
				à € 18,0/dm3	
oplegblokken vervangen	2013, 2x9= 18 oplegblokken, 3 mandagen 6st/dag			De Haek	Spanbeton
oplegblokken monteren	2013, 112 oplegblokken, €48/h 6 mandagen 18 st/dag			MaVa A15	
	Rubber, gevulk	3mm		€ 3,8/kg	
	CR SBR-65	8mm		€ 4,0/kg	
Rubber plaat, (gevuik. CR) tbv opleggingen		8mm	€ 139/m2	€ 12,0/kg	Vilton
(Shore 65 15N/mm2 EN1337)		10mm	€ 145/m2	€ 10,0/kg	
Vijzelen					Bron
snelheidsbeperking (<90km/h)	€ 2.000,00	4 rijbanen met afgezette vluchtstroken, 1 week			Visser (CROW), Assen
vijzelmeester	€ 110,00	8 werkuren+3reizen à €62,5/h + €200,-reiskosten			Spanbeton 2013
vijzelsysteem huren	€ 400/dag	1 dag extra halen/brengen			
vijzels huren (zonder verkeer)	€ 6,0/v/dag	1 dag extra halen/brengen			
(met verkeer)	€ 4,0/v/dag				ingeschat
Staal	nieuw	staal plaat	€ 1,2/kg		Jansen Venneboer
		verzinken	€ 0,75/kg		
		RVS316 plaat	€ 4,0/kg		
		RVS304	€ 4,3/kg		
	schroot	staal plaat	€ 0,16/kg		
		verzinkt staal	€ 0,16/kg		
		RVS	€ 1,00/kg		
Composiet		UP hars	€ 2,5/kg		DSM/Solico
		temperatuurbestendige VE hars	€ 4,0/kg		
		UD legsel glas	€ 3,0/kg		
	composiet productie, factor x materiaal:	200%			DSM
	composiet handel, factor x materiaal:	100%			
Lijm		Rema Tip Top SC400	€ 115,4/kg		lijm,verharder,verzenden
		43sf/kg=>	4,0m2/kg		verbruik
			€ 28,8/m2		
			1,33kg/dm3		hars1,20; rubber1,45
			5,3m2/dm3		
			0,19mm		lijmdikte
			€ 153,5/dm3		€ 153/liter
		Henkel Loctite Hysol 3425	€ 196,4/kg		lijm,verharder,verzenden
			4,0m2/kg		verbruik
			€ 49,1/m2		
			1,40kg/dm3		
			5,6m2/dm3		
			0,18mm		lijmdikte
			€ 275,0/dm3		€ 275/liter
		lijmen aanbrengen	€ 20,0/m2		ingeschat
Conserveren		stralen	€ 10,0/m2		Jansen Vennboer
		aanbrengen coating	€ 10,0/m2		
		primer	€ 2,0/m2		0,01 mm
		deklaag	€ 4,0/m2		0,02 mm
		deklaag	€ 4,0/m2		0,02 mm
		epoxy coating (3 laags)	€ 50,0/m2		Jansen Venneboer
Vulkaniseren		rubber, ruw	€ 10,0/kg		Vilton
		vulkaniseren	€ 4,0/dm3		
		primer vulkaniseren	€ 0,1/m2		Kamelock
		bonding agent vulkaniseren	€ 0,4/m2		Kamelock
		aanbrengen	€ 10,0/m2		



Bijlage V Snijtekening

Snijtekening van de te 25 snijden oplegblokken 100x100mm uit een groot oplegblok van 600x600mm.



Afbeelding V.1, snijtekening waterstraalsnijden