

TRAMBANEN IN BETON

INFRASTRUCTUUR | APRIL 2017

111	(94)	f2	(E2)
-----	------	----	------

BB/SfB

- SLAB-TRACK
- PLATENBETON
- DOORGAAND GEWAPEND BETON
- STANDAARDOPLOSSINGEN EN CASE-STUDIES





Antwerpen, De Leien - Gecombineerde trambusbaan

In tal van grote steden in Europa wordt een politiek gevoerd om het openbaar vervoer te (her)opwaarderen. Het betreft een positieve aanpak die meer autobestuurders ertoe moet aanzetten om over te schakelen op het openbaar vervoer met als doel de leefbaarheid in de steden te verhogen. Infrastructuurprojecten voor light-rail en tram nemen hierbij een belangrijke plaats in. Zo waren er in 2012 in Europa werken aan de gang voor de aanleg of de uitbreiding van een totaal van 488 km aan light-rail en tramlijnen; nog eens 1086 km bevonden zich in de planningsfase.

België heeft een relatief hoog aantal kilometers tramlijn per inwoner (30,2 km/miljoen inwoners), geconcentreerd in de grote steden: Brussel, Antwerpen, Gent en Charleroi alsook de kusttram. Op al die plaatsen werden de laatste 15 jaar diverse werken uitgevoerd, zowel renovaties als aanleg van nieuwe verbindingen, en deze ontwikkeling zet zich nog steeds verder. Ook volledig nieuwe tramsystemen worden gepland, zoals bij voorbeeld in Luik.

Het stedelijk openbaar vervoer is meestal een combinatie van tram- en busverkeer. Dikwijls worden dan ook gecombineerde trambusbanen aangelegd die al dan niet toegankelijk zijn voor het gewone verkeer. De hoge belastingen door het sporende busverkeer en de trillingen veroorzaakt door de trams hebben ertoe geleid dat in die gevallen vaak voor beton wordt gekozen als verhardingsmateriaal. Deze trend is ook in verschillende Europese landen merkbaar met verwezenlijkingen van tram(bus)banen in beton in o.a. België, Frankrijk, Nederland, U.K.,...

Deze publicatie schetst de ervaringen met tram(bus)banen in beton aan de hand van enkele beknopte case-studies. Daarna wordt er dieper ingegaan op de technische aspecten in ontwerp- en uitvoeringsfase. Tot slot worden standaardoplossingen voorgesteld in platenbeton en in doorgaand gewapend beton en worden deze toegelicht met uitgewerkte voorbeeldprojecten.



Vooraf Frankrijk heeft de voorbije decennia de toon gezet in de aanleg van tramlijnen in tientallen steden en hun agglomeraties (Foto's: CIMbéton).

HET SLAB-TRACK CONCEPT

Al in de jaren 1990 waren in verschillende Europese steden projecten van aanleg van trambanen aan de gang (Nederland: Den Haag, Rotterdam – U.K. : Sheffield – DE: Munchen – FR: Nantes, Montpellier, Grenoble,...).

Heel wat van die constructies gebeurden volgens het “slab-track” principe : een spoorwegconcept, waarbij de steenslag ballast vervangen wordt door een betonnen onderbouw. Deze vorm van ballastloos spoor werd voornamelijk ontwikkeld voor de hoge snelheidslijnen (trein) met het oog op een verminderd onderhoud, een hogere beschikbaarheid en een langere nuttige levensduur. Ook het opspatten van ballast bij hoge snelheid wordt hiermee vermeden. Ondanks een hogere initiële investeringskost resulteert dit concept toch in een lagere kost over de levensduur. De toepassing van slab-track heeft zich echter nog duidelijker gemanifesteerd in de stedelijke vervoersystemen, zijnde tram en metro.

Er bestaan verschillende uitvoeringsvormen van het ballastloos spoorconcept.

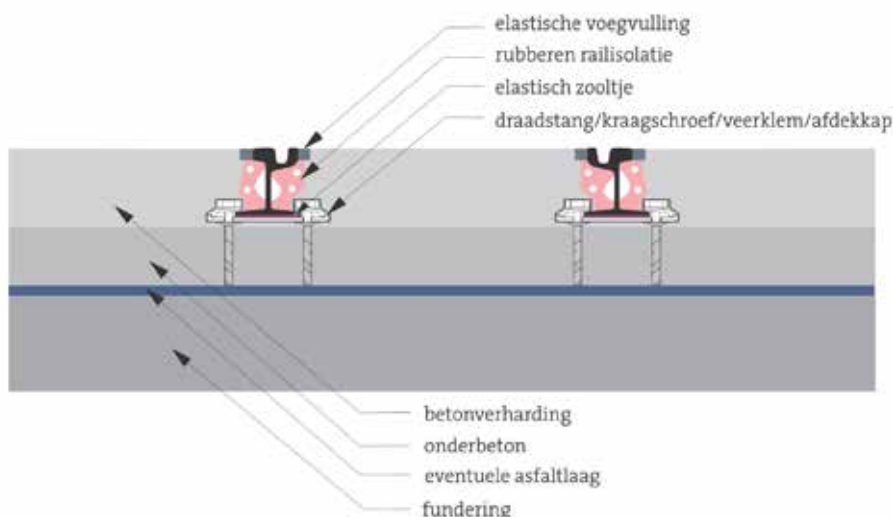
SYSTEEM 1:

Een eerste systeem is een betonnen onderbouw waarop de rails worden bevestigd, op discrete, continue of hybride wijze. De aanleg van de betonnen plaat geschiedt bij voorkeur, zoals in de betonwegenbouw, met behulp van een glijbekistingsmachine, maar kan ook onder de gestelde rails gegoten worden. Deze betonnen onderbouw kan opgevat zijn als platenbeton of als een voegloze doorgaand gewapende betonplaat.

De discrete bevestiging van de rails gebeurt meestal met kraagschroeven met veerklem. Voor de initiële montage bestaan er verschillende systemen van regelbaarheid en verstelbaarheid in de hoogte.



Rails die met draadstangen en stelschroeven gemonteerd zijn op de fundering. Het onderbeton zal er onder gestort worden (Foto: De Lijn)



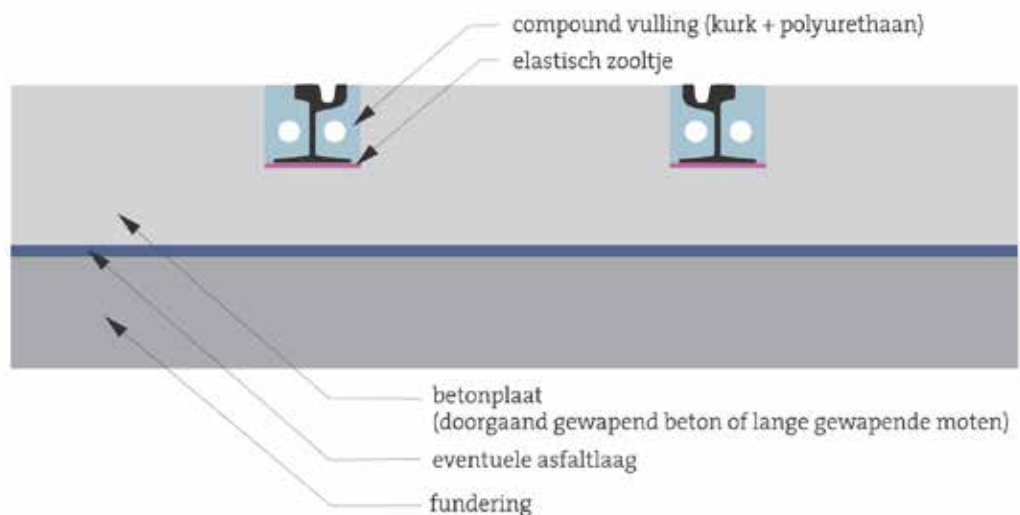
Systeem 1 met discrete bevestiging

De continue ondersteuning wordt gerealiseerd door de spoorstaaf in een goot in het beton in te gieten met behulp van een elastisch compound materiaal (kurk + polyurethaan), werkend op kleef en wrijving.

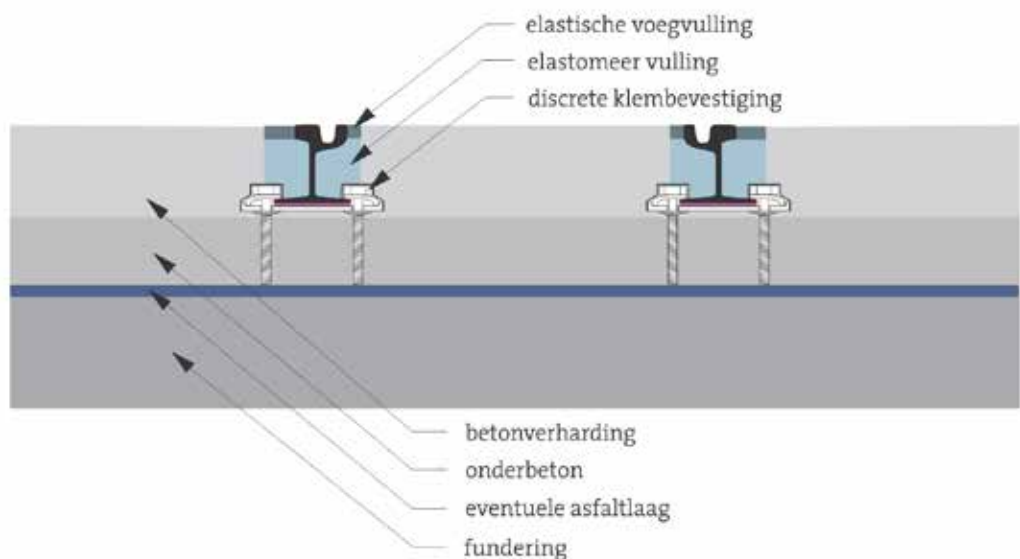
Bij het zogenoemde “hybride bevestigingsysteem” worden de rails aangelegd, voorzien van discrete klembevestigingen, in een gootconstructie. Deze gootconstructie, met de rail en zijn klembevestigingen erin, wordt opgevuld in twee lagen met telkens een verschillend materiaal. De combinatie van beide materialen zorgt voor een primaire buffer tegen geluids- en trillingsoverdracht. Het opvullen van de goot verhindert indringing van grof materiaal en voorkomt valsituaties voor voetgangers en fietsers. Tot slot zorgt het systeem voor het behoud van werking van de elastische spanklemmen. Door de gootconstructie en het type opvulling ervan zijn de rails vervangbaar. De term hybride slaat daarom ook op geklemd en toch vervangbaar.

In geval van bevestiging van de rails in goten bedraagt de plaatdikte meestal 40 cm of meer. De structuur doet dan ook onmiddellijk dienst als rijwegverharding. Meestal wordt dan doorgaand gewapend beton toegepast met een hoog wapeningsgehalte (tot ca. 1 % van de betonddoorsnede). Een andere mogelijkheid is om de trambaanstructuur aan te leggen in lange “moten”, van 30 à 40 m lang. Tussen de platen worden dwarse werkvoegen/uitzettingsvoegen geplaatst. Om scheuren te vermijden worden de platen gewapend met een wapeningsgehalte dat overeenstemt met dat van doorgaand gewapend beton. Een aandachtspunt betreft de verduveling van de dwarsvoegen tussen opeenvolgende lange moten om de nodige lastoverdracht te verzekeren. Dat is zeker nodig wanneer er onderliggende trillingsdempende matten zijn voorzien, die een hoger risico vormen voor een verticale beweging ter hoogte van de voeg.

*Systeem 1 met
continue bevestiging*



*Systeem 1 met
hybride bevestiging*

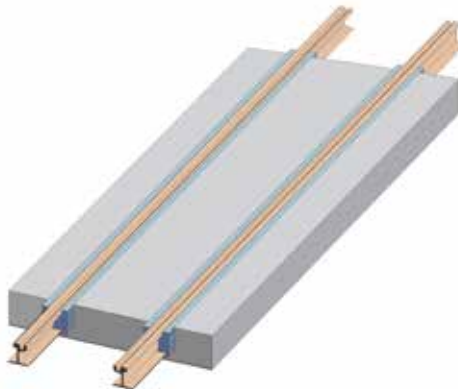


SYSTEEM 2:

Een tweede systeem bestaat uit geprefabriceerde platen. Hier kan de railbevestiging op discrete of continue wijze geschieden. De prefab platen kunnen reeds volledig afgewerkt zijn tot en met de verharding of kunnen nog afgewerkt worden met een bovenlaag in beton. De rails steken langs weerszijden van de modules uit. Na plaatsing worden de uit de plaat stekende rails aan elkaar gelast en vervolgens wordt het sluitstuk opgevuld met ter plaatse gestort beton of met behulp van een kleine geprefabriceerde plaat.



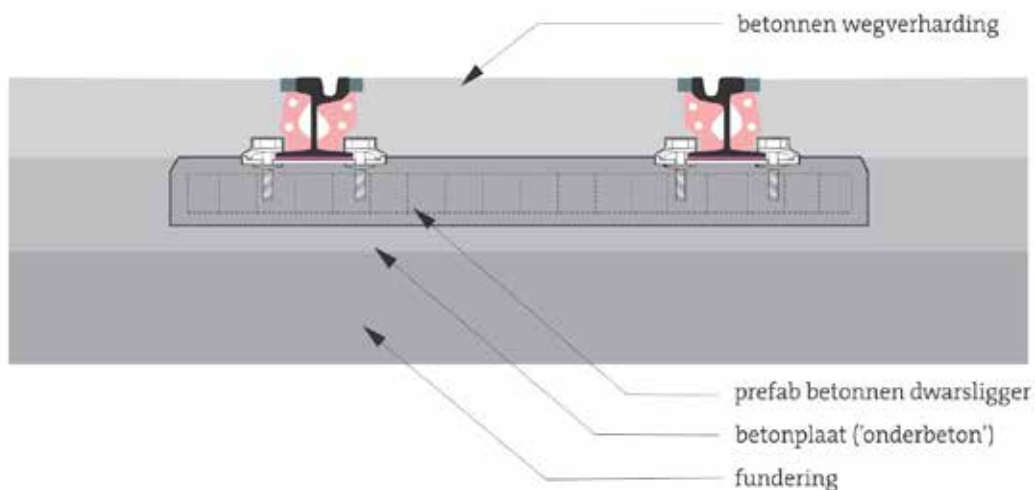
Geprefabriceerde plaat met ingebedde rails
(Foto : www.socsa.be)



Systeem 2 met continue bevestiging

SYSTEEM 3:

De derde manier van uitvoeren is het vastbetonneren van geprefabriceerde betonnen dwarsliggers, waarop de rails bevestigd zijn. De dwarsliggers worden geplaatst op een fundering en vastgebetonneerd in een "onderbeton". Dit onderbeton (klassiek in een beton met sterkteklasse C30/37) wordt rondom de dwarsliggers gestort zodanig dat er een vlak oppervlak ontstaat, gelijklopend met het bovenvlak van de liggers, waarop dan de wegverharding wordt aangebracht.



Systeem 3 met discrete bevestiging



*Een alternatief voor de klassieke betonnen dwarsliggers zijn de zogenoemde "bi-bloc" liggers, bestaande uit twee betonnen steunblokken, verbonden door een stalen vakwerkligger.
(Foto : AB-Roads)*



*Blankenberge - Aanleg van een fundering in walsbeton
(Foto: Tractebel)*



*Brussel – voorbeeld van fundering in ongebonden steenslag met daarop de betonnen dwarsliggers, die nadien worden vastgezet door het tussenstorten van beton
(Foto : AB-Roads)*

Het spreekt voor zich dat alle van de hiervoor beschreven structuren dienen gedragen te worden door een aangepaste fundering die meestal uit cementgebonden materialen bestaat (walsbeton, schraal beton of cementgebonden steenslag).

In sommige gevallen wordt toch een ongebonden steenslag (porfier 0/20 of 0/32 mm) met een continue korrelverdeling toegepast. In dit geval worden de dwarsliggers op de steenslag geplaatst wat toelaat de sporen vrij snel open te stellen voor het tramverkeer. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat de steenslag zijdelings opgesloten moet worden, in het bijzonder aan kruispunten of oversteekpunten, waar er geen langse boordsteen is voorzien als kantopsluiting. Deze oplossing is wel minder duurzaam gebleken dan de varianten met een hydraulische gebonden fundering.

VAN SLAB-TRACK NAAR TRAMBUSBAAN

De uitbreiding van de klassieke trambaan naar een trambusbaan in een binnenstedelijke omgeving heeft het noodzakelijk gemaakt om het ontwerp van de wegverharding te integreren in het ontwerp van de trambaan. Door de jaren heen werden diverse systemen gebruikt voor deze trambusbanen, soms met vrij snel optredende schadenfenomenen. De zeer heterogene structuur, de smalle breedte tussen de afzonderlijk ingebedde rails en het inbrengen van de wissels en andere nodige spooraccessoires vragen om specifieke detaillering, waarbij een goede samenhang tussen spoor en verharding noodzakelijk is.

In de zoektocht naar een optimale oplossing is gebruik gemaakt van het “systeem-denken”: in plaats van elke discipline : spoorstelsel – wegstructuur – trillingsdempende maatregelen - afzonderlijk te bekijken worden ze elk op punt gesteld als deelsysteem maar wordt ook de compatibiliteit tussen de deelsystemen nagegaan en geoptimaliseerd.

Een goede oplossing dient rekening te houden met de gefaseerde uitvoering binnen een stedelijke omgeving, waarbij niet alleen een beperkte onderbreking van het tramverkeer beoogd wordt, maar ook gestreefd wordt naar een uitgesproken ruimtelijke, visuele en architecturale kwaliteit. De toepassingen van gekleurd uitgewassen beton of van gefigureerd beton maken het mogelijk om te voldoen aan de esthetische en architecturale eisen en laten toe de trambusbaan goed te integreren in haar omgeving – zie voorbeelden op pag. 8-9

Andere eisen zijn meer technisch van aard, zoals de vervangbaarheid van rails, de inte-

gratie van wissels, het beheersen van trillingen en uiteraard de eisen die gesteld worden aan een klassieke wegverharding. Deze dient gedurende de hele levensduur aan de verkeersbelasting te weerstaan zonder grote schade en zonder belangrijke structurele ingrepen, waarbij er wel vanuit gegaan wordt dat noodzakelijk onderhoud uitgevoerd wordt.

Door de combinatie van tram- en busverkeer op eenzelfde rijstrook verstrengen ook de eisen voor de verharding. Naast de belasting van de tram die door de sporen naar de onderliggende structuur doorgegeven wordt, dient immers ook de belasting ten gevolge van het wegverkeer door de verharding opgenomen te worden. Bussen in eigen bedding vertonen een zeer sporend gedrag, waarbij bovendien de wielen zich vaak juist naast de tramsporen bevinden en daardoor verhoogde spanningen aan de rand van de verharding induceren.

Uit de praktijk is duidelijk geworden dat de optie voor monoliete betonverhardingen de grootste kans op slagen heeft indien weloverwogen ontworpen en uitgevoerd. Eventueel kunnen kleinschalige elementen (betonstraatstenen, natuursteen kasseien,...) ingestort worden in prefab betonplaten waardoor ze zich als een monoliete structuur gedragen.

Het is vooral de zone naast de sporen die kritiek is, een zone waar waterindringing moeilijk te vermijden is en waar het verkeer extra spanningen creëert ten gevolge van de randbelasting.



Gent, Korte Meer en Mortsel, Liersesteenweg –ingewerkte spoorwissel, spoorafwatering en andere accessoires vragen om specifieke detaillering in ontwerp en uitvoering. Ter hoogte van de wissels worden scherpe punten in het beton vermeden door een driehoekige metalen inlegplaat te voorzien.



Geprefabriceerde betonnen spoorplaat met ingewerkte natuursteen kasseien

OPPERVLAKAFWERKINGEN VOOR EEN TRAMBUSBAAN



Antwerpen, De Leien – Dwars gebezemde afwerking



Morsel, Liersesteenweg – Uitgewassen beton op basis van porfier



Blankenberge – Uitgewassen beton op basis van zeegrind en okerbruine kleurstof



Gent, Rozemarijnbrug – Uitgewassen beton op basis van witte kwarts



Gent, Korenmarkt – Uitgewassen beton op basis van witte kwarts en zandsteen, in harmonie met naastliggende natuursteen kasseien



Brussel, Fonsnylaan – Gefigureerd beton (printbeton)

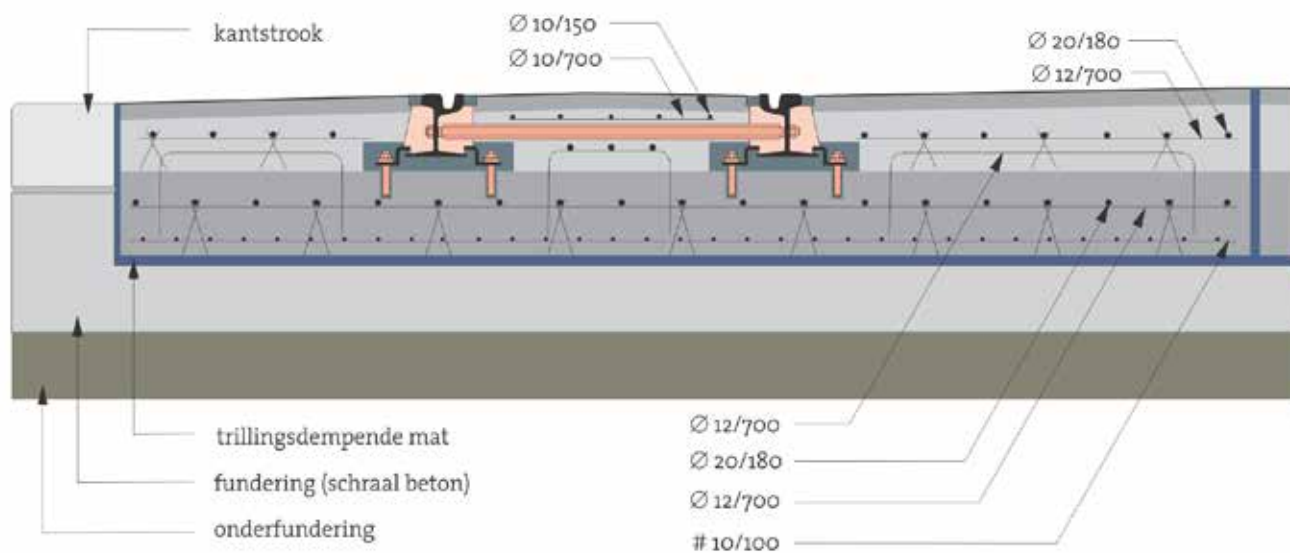
ERVARINGEN IN BELGIË – VOORBEELDEN

GENT – VOSKENS LAAN – SYSTEEM 1 MET DISCRETE BEVESTIGING

In 2002 werd in de Voskenslaan in Gent de eerste fase uitgevoerd van een tramlijn tussen het St.-Pietersstation en Flanders Expo. Het was een van de eerste Belgische realisaties van een betonnen trambusbaan waarbij ook een hoogwaardige inrichting van de publieke ruimte centraal stond. Andere ontwerpvoorwaarden waren de duurzaamheid en de geluids- en trillingsdemping. Er werd gekozen voor een meerlaagse structuur in doorgaand gewapend beton met een trillingsdempende mat tussen de betonnen spoorplaat en de fundering in schraal beton.

Gent, Voskenslaan
(Foto: M. Diependaele)

Opbouw en
wapeningsschema
van de trambaan in
doorgaand gewapend
beton in de Voskenslaan
te Gent



De onderste betonlaag was 25 cm dik en voorzien van een dubbele netwapening en bovenaan van uitstekende beugels die de verbinding met de volgende betonlaag verzekerden. Op deze vlak afgewerkte laag werden de rails met stelschroeven in de juiste positie gesteld. De tweede betonlaag, 15 tot 19 cm dik, was opgevat als doorgaand gewapend beton. De derde betonlaag met een dikte van 5 cm en vervaardigd uit een hoogwaardig gekleurd sierbeton (Dmax 8 mm, witte en zwarte granulaten), werd nat in nat aangebracht op de tweede laag. De aanleg van de verschillende lagen gebeurde strooksgewijs met een glijbekistingmachine.



*Gent, Voskenslaan
- Uitvoering: aanleg
onderlaag in beton met
glijbekistingmachine –
zicht op de onderlaag
met ingebrachte beugels
voor de verbinding
tussen de lagen –
aanleg bovenlaag met
glijbekistingmachine
– uitwassen van de
decoratieve top laag
(Foto's: M. Diependaele)*



*Uitgewassen
betonoppervlak*

HOBOKEN – SINT-BERNARDESESTEENWEG – SYSTEEM 1 MET HYBRIDE BEVESTIGING

In 2003-2004 werd in Hoboken een vrijliggende trambaan aangelegd in het centrale deel van de Sint-Bernardsesteenweg. Deze werd ontworpen op basis van een klassiek wegenbouwconcept, namelijk in doorgaand gewapend beton op een asfalt tussenlaag en fundering van schraal beton. Anders dan in de Voskenslaan werden de rails hier met een stelsysteem op de asfalt tussenlaag gepositioneerd en werd er gebetonneerd tussen vaste bekistingen. De betonnen trambaan zelf bestond ook hier uit twee lagen: een onderlaag in een klassiek beton C30/37 en een toplaag in een wegenbeton met uitgewassen oppervlak. Beide lagen hadden een dikte van 20 cm. De onderste laag beton hoefde in dit geval niet vlak te worden afgewerkt. Naast de wapening werden ook uitstekende beugels onmiddellijk mee ingestort in het onderbeton om de solidaire verbinding tussen de lagen te realiseren.

*Hoboken,
Sint-Bernardsesteenweg
v.l.n.r.: rails, gesteld op de
asfalt tussenlaag - zicht
op de wapening –
verdichting van het
onderbeton*



*Hoboken,
Sint-Bernardsesteenweg
(Foto: Socea)*



ANTWERPEN – DE LEIEN – SYSTEEM 1 MET HYBRIDE BEVESTIGING

Bij de heraanleg van de Leien in Antwerpen werd het concept toegepast van lange – ca. 40 m – gewapende platen, gescheiden door uitzettingsvoegen. De platen waren 40 cm dik en rustten op een tussenlaag in asfalt en een fundering in cement gestabiliseerde steenslag.

*Antwerpen, De Leien
- zicht op de
trambusbaan - detail
uitzettingsvoeg tussen
lange gewapende platen*



BRUSSEL – DIVERSE PLAATSEN – SYSTEEM 2

Op verschillende plaatsen in Brussel werd gebruik gemaakt van prefab spoorelementen, zowel langse railliggers als prefab platen met ingebouwde rails.



*Brussel – toepassing van
prefab spoorelementen :
langse railliggers te Laken,
prefab spoorplaten te
Anderlecht*

Voor de aanleg van de nieuwe tramlijn 9 van Simonis naar de Heizelvlakte (aanleg 2016-2018) wordt gebruik gemaakt van prefab spoorelementen met ingebedde rails, waartegen dan het aanliggende beton gestort wordt. Deze prefab langsliggers worden geplaatst op dwarse liggers die dan ingegoten worden in het vulbeton. Dit systeem heeft als voordeel dat de rails vervangbaar zijn en dat de verharding tegen een vlak oppervlak gestort wordt.



*Brussel : systeem met
ingestorte railliggers,
rustend op dwarse liggers
(Foto's : AB-Roads).*

TECHNISCHE ASPECTEN

ALGEMEEN

Voor het ontwerp van de trambusbaan wordt een onderscheid gemaakt tussen de structuur die de tram draagt, het “slab-track systeem”, en de structuur die de belastingen ten gevolge van het verkeer opneemt, de “wegverharding”.

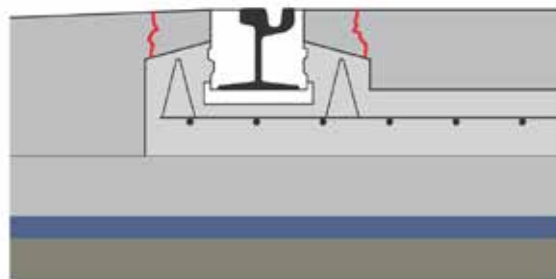
Het algemeen principe van een trambusbaan met een betonverharding, ziet er als volgt uit:

- De fundering doet dienst als basis voor het spoorsysteem. Ze bestaat uit een klassieke wegfundering voor zwaar verkeer (cementgebonden steenslag, schraal beton of walsbeton), eventueel met een asfalt tussenlaag van 50 mm. Deze asfaltlaag verzekert de hechting tussen de bovenliggende betonnen structuur en de onderliggende hydraulisch gebonden fundering en zorgt voor een effen werkvlak voor de verdere uitvoering.
- De rails worden hetzij via een stelsysteem of via dwarsliggers op de fundering geplaatst, hetzij ingebed in de daarvoor voorziene gleuven in prefab platen of in langsliggers.
- Het “onderbeton” wordt aangebracht tot ongeveer op het niveau van de onderkant van de rails. Er dient op gelet te worden dat de dikte van de hierop aan te brengen toplaag zo homogeen mogelijk is en voldoende dik.
- Tot slot wordt de verharding in platenbeton of doorgaand gewapend beton aangelegd. Deze verharding is al dan niet solidair verbonden met het onderbeton. Ze zal steeds een krimpwapening hebben bovenaan en mogelijk ook een structurele wapening onderaan. Dit laatste is aan te raden indien er geen hechting of verbinding is tussen beide lagen. Het toepassen van ongewapende platen wordt sterk afgeraden gezien de zeer afwijkende vorm van de platen (grote lengte/breedte verhouding) en de vaak beperkte dikte. Ook de aanwezigheid van spooraccessoires in het beton kan leiden tot scheuraanzetten in alle richtingen. De oppervlakafwerking kan gebeuren door bezemen, chemisch uitwassen of door het aanbrengen van een print in het verse beton.

DIKTE VAN DE VERHARDING

Om een duurzame verharding in beton te verkrijgen is het noodzakelijk de dikte van de verharding constant te houden over de volledige breedte, zeker in het geval geen hechting of verbinding met het onderbeton aanwezig is. De aanwezigheid van dunnere secties, bijvoorbeeld ter hoogte van de liggers zal extra spanningen introduceren en bijgevolg de kans op scheuren verhogen.

*Te dunne
betondoorsnede met
risico op afscheuren*



HECHTING OF VERBINDING MET HET ONDERBETON

De hechting en/of verbinding met het onderbeton zal de trekspanningen aan de onderzijde van de verharding sterk verminderen. Anderzijds is het risico van reflectiescheuren, die zich vanuit het onderbeton doorzetten naar de verharding iets groter. De praktijk toont aan dat door het aanbrengen van een krimpwapening in de verharding het risico op reflectiescheuren beperkt blijft.



*De beugels die de langswapening ondersteunen dienen tevens als solidaire verbinding tussen onderbeton en bovenbeton
(Foto: De Lijn)*

Indien geopteerd wordt om de twee lagen zonder hechting aan te brengen – bij voorbeeld door het voorzien van een niet-geweven geotextiel of een geocomposiet als tussenlaag – is er geen gevaar van doorzetten van scheuren van de onderlaag naar de toplaag. Anderzijds bestaat wel het risico dat de spanningen ten gevolge van het verkeer en temperatuurvariaties te hoog zullen oplopen in de bovenste betonplaat waardoor scheuren kunnen ontstaan. Deze spanningen zijn hoger dan bij klassiek verkeer gezien een groot deel van het verkeer op de rand van de verharding rijdt. In dit geval wordt steeds aangeraden de verharding dubbel te wapenen.

Het verhinderen van de hechting door het aanbrengen van een plasticfolie dient vermeden te worden. Dergelijke folie vormt immers een glijvlak waardoor de eerst gevormde voegen in het platenbeton te ver kunnen gaan openstaan.

Het tweelagensysteem (zonder hechting, met een tussenmembraan en met dubbele wapening in de deklaag) is de laatste jaren in Vlaanderen frequent toegepast. Het systeem heeft het bijkomende voordeel dat de betonnen wegdekverharding, indien nodig, gemakkelijk (strooksgewijs) kan worden vervangen zonder aan de onderliggende structuur te hoeven raken. Bij systemen met hechting tussen de betonlagen is dit niet of veel minder het geval.



*Onder- en bovenbeton zijn hier gescheiden door een geotextiel. De bovenplaat is in dat geval dubbel gewapend
(Foto: AB-Roads)*

TRILLINGEN – PLAATSEN VAN ISOLATIE

Ten gevolge van het wegverkeer maar nog meer van het tramverkeer ontstaan trillingen in de structuur. Om de impact op de omwonenden hiervan zo veel mogelijk te verminderen kunnen verschillende oplossingen voorzien worden.

Een eerste manier bestaat uit het lokaal omhullen van de sporen zelf. Dan worden de railstaven in een elastische omhulling geplaatst. Dit biedt niet alleen het voordeel dat de trillingen zo snel als mogelijk gedempt worden, maar heeft als extra voordeel dat het beton tegen een verticaal vlak gestort wordt en dus overal een gelijke dikte zal hebben. Een bijkomend voordeel kan zijn dat hierdoor de sporen eenvoudiger vernieuwd kunnen worden indien het systeem daar op wordt voorzien. Het isolatiemateriaal wordt dan samen met de sporen vervangen.



*Omhulling van de rails
met trillingsdempend
materiaal*

Een tweede oplossing bestaat erin de volledige structuur zwevend aan te leggen. Dit betekent dat de structuur omwikkeld wordt door een trillingsdempende mat. De mat dient zowel onderaan de structuur als aan de zijkanten geplaatst te worden om de trillingen te dempen en voortplanting ervan naar de ondergrond en aanliggende delen te voorkomen. De zijdelingse verticale mat dient over de volledige hoogte aangebracht te worden om betonbruggen en afsprongen van de randen te vermijden.

Er dient ook opgemerkt te worden dat het plaatsen van een onderliggende trillingsdempende mat naar mechanische duurzaamheid problemen kan opleveren. Er is vastgesteld dat de mat een glijvlak kan vormen waardoor de beweging van de structuur in zijn geheel groter wordt. Dit kan leiden tot meer openstaande langsvogen, vooral aan de binnenzijde in een bocht. Anderzijds zal de buitenkant van de bocht naar buiten gedruwd worden waardoor schade kan ontstaan aan aanliggende constructies.

Ten gevolge van de aanwezigheid van de trillingsdempende mat zal ook de verticale beweging van het beton toenemen, zodat deuken noodzakelijk dienen opgenomen te worden in het ontwerp. De voorkeur wordt daarom gegeven aan enkel een lokale trillingsisolatie rond de sporen indien mogelijk.



*Gent, Voskenslaan
- Plaatsen van
onderlaag in DGB op
trillingsremmende
mat (dit resulteerde
in ongewenste
verplaatsingen van de
structuur waardoor
de voorkeur voor
trillingsdemping uitgaat
naar een isolerende
omhulling van de rails)
(Foto: Tractebel)*

VERVANGBAARHEID VAN TRAMSPOREN

Tramsporen zijn onderhevig aan slijtage: de tram rijdt met zijn stalen wielen rechtstreeks op de stalen profielen van de rails, wat in een rechtlijnig tracé tot een slijtage van 20 mm over 40 jaar kan leiden. Dit betekent dat de levensduur van de rail theoretisch overeenkomt met de levensduur van de verharding. Op bepaalde locaties, zoals bijvoorbeeld in bochten treedt echter een verhoogde slijtage op waardoor de levensduur van de rail slechts 10 à 15 jaar zal bedragen. Dit betekent dat gedurende de levensduur van de verharding de rail in bochten een of meerdere malen moet vervangen worden. De plaatsing van de rails dient bijgevolg zodanig te gebeuren dat deze vervangbaar zijn zonder dat de volledige structuur moet opgebroken te worden. Het gebruik van een gootconstructie maakt deze vervanging mogelijk en is zeker in het geval van een hechtende verharding aan te raden.

Bij een niet hechtende verharding kan ook de optie van rails op bevestigingsklemmen met naastliggende elastische randprofielen genomen worden (zonder gootconstructie), waarbij dan de verharding gedeeltelijk verwijderd dient te worden voor het vervangen van de sporen. De bevestigingsklemmen waarmee de rail op de dwarsliggers vastgemaakt worden moeten steeds beschermd worden met een beschermkapje om het later losschroeven mogelijk te maken.



Gent, Kouter: Spoorgoot waarin de rails discreet bevestigd worden door middel van bouten; de bekisting aan de zijkant wordt vervolgens eventueel weggenomen en de ruimte tussen rails en beton wordt opgevuld met een elastomeer (samen dus "hybride" bevestigd: met klemschroeven vastgezet, maar toch vervangbaar).

Links: Rails vastgezet in de spoorgoot vóór het betonneren –

Midden: Rail in de goot na betonneren en vóór het verwijderen van de bekisting –

Rechts: zicht op afgewerkt oppervlak met ingebedde rail

(Foto's: AB-Roads)



Beschermkapje op schroef om een latere vervanging van de rails mogelijk te houden



Antwerpen, Nationalestraat – Geotextiel tussen onderbeton en bovenbeton (Foto: OCW)

INTERN DRAINERINGSSTEEEM

Er kan nooit uitgesloten worden dat water infiltreert in de structuur omwille van imperfecties, heterogeniteit, dynamische belastingen,... Water dat opgesloten zit tussen de verschillende betonlagen, vormt een groot gevaar voor pompeffecten of opzwellen in geval van vorst. Indien het onder- en bovenbeton niet solidair verbonden zijn, bij voorbeeld door middel van stalen beugels, is het aangeraden om een multifunctionele tussenlaag te voorzien.

Het betreft een geocomposiet bestaande uit twee lagen niet-geweven geotextiel met daartussen een driedimensioneel kunststofweefsel, met een totale dikte van ongeveer 4 mm dat volgende functies kan combineren:

- scheiden van de betonlagen – vermijden van reflectiescheuren;
- interne horizontaal draineren van doorsijpelend water

Om het horizontaal gedraineerde water, af te voeren worden er ook draineringspijpjes voorzien, doorheen de onderste betonlaag en de cementgebonden fundering, met een diameter van 50 à 100 mm, bijvoorbeeld om de 10 m weglengte. In geval van een ongebonden steenslagfundering onder de dwarsliggers, kan het minimale drainagewater via deze funderingslaag verder afgevoerd worden. Eventueel kan aanvullend nog een langse drain voorzien worden voor ontwatering van deze funderingslaag.

Structuur van een geocomposiet



STANDAARDOPLOSSING IN PLATENBETON

Een verharding in platenbeton bestaat uit een opeenvolging van platen, gescheiden door dwarse voegen, waarbij twee ontwerpprincipes dienen gerespecteerd te worden: een lengte/dikte verhouding die beperkt blijft tot ongeveer 25 en een lengte/breedte verhouding niet groter dan 1,5 à 1,75. Beide eisen hebben enerzijds te maken met de doorbuiging van de verharding ten gevolge van verkeersbelastingen en anderzijds met het fenomeen van opwellen van de randen van de platen, de zogenoemde curling. In geval van trambanen is het duidelijk dat aan de tweede eis moeilijk kan voldaan worden, gezien de beperkte breedte van de stroken door de aanwezigheid van de sporen. Door de platen voldoende te wapenen kan van de ontwerpverhoudingen afgeweken worden en kan een verharding ontworpen worden met plaatlengtes van ca. 2,5 m en breedtes van ca. 0,80 m tot 1 m.

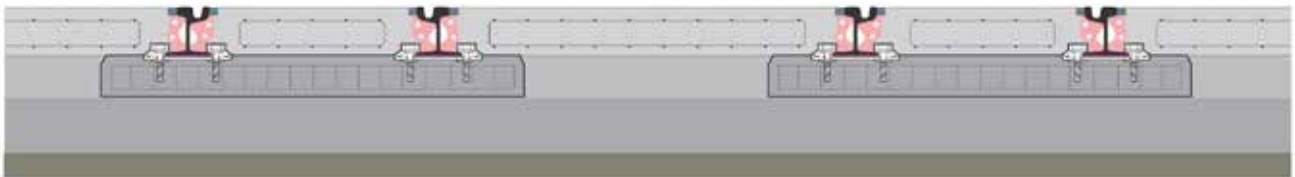
Door de verharding te verankeren in het onderbeton wordt een monolithische structuur bekomen die veel beter bestand zal zijn tegen de inwerking van de belastingen. In dit geval is het aanbrengen van een bovenwapening in de verhardingslaag voldoende. Nadeel hierbij is de reeds hoger vermelde niet-vervangbaarheid van de toplaag in een strook of als geheel. Indien gekozen wordt voor een vrijliggende verharding, zonder hechting of verbinding met de onderlaag, zullen de trekspanningen onderaan deze laag hoger oplopen en dient bijgevolg een dubbele wapening, onderaan en bovenaan, voorzien te worden.

Het plaatsen van de wapening kan gebeuren door het gebruik van klassieke wapeningsnetten of door gebruik van in breedte verstelbare wapeningskorven. Deze kunnen geprefabriceerd worden in lange lengtes voor eenvoudige, snelle en correcte plaatsing naast en tussen de rails.

De beugels hebben bij voorkeur een diameter gelijk aan 8 mm en worden om de 150 mm geplaatst. Zij ondersteunen de langswapening. De langswapening zelf bestaat uit staven diameter 8 of 10 mm, met een tussenafstand gelijk aan 150 mm en wordt geplaatst met een minimum dekking gelijk aan 50 mm, boven op de beugel. Bij de krimpvoeg wordt de bovenste langswapening steeds doorgezaagd om de werking van de voeg toe te laten. De onderste langswapening heeft een minimale dekking gelijk aan 40 mm.

Verskillende type voegen komen voor: de langsvog, die in het geval van trambusbanen meestal een werkvoeg is juist naast de sporen gelegen of aan de zijkant van de verharding; de dwarse krimpvoeg, typisch aangebracht door middel van een zaagsnede over 1/3 van de dikte; de dwarse werkvoeg en de uitzettingsvoeg; vaak vallen deze laatste samen.

De afstand tussen de dwarse krimpvoegen bedraagt meestal tussen de 1,5 à 3 m. Ter hoogte van de dwarsvoegen dient gecontroleerd te worden of een extra lastoverdracht door middel van deuvels noodzakelijk is. Deuvels zijn gladde (metalen) staven, behandeld tegen corrosie, die in de dwarsvoegen aangebracht worden. Zij laten een horizontale verplaatsing van de platen ten opzichte van elkaar toe en maken bijgevolg de werking van de voeg mogelijk, maar vermijden een relatieve verticale verplaatsing en verzekeren zo dus een goede lastoverdracht tussen beide platen. Vaak wordt gekozen om geen deuvels aan te brengen in de krimpvoeg. De lastoverdracht gebeurt dan hetzij door de onderwapening in geval van niet-hechtende platen, hetzij doorheen de onderliggende structuur en door interactie in de voeg in het geval van hechtende platen. In de uitzettingsvoegen en dwarse werkvoegen worden wel deuvels aangebracht.



Dwarsdoorsnede van een trambusbaan in platenbeton met ingestorte dwarsliggers en dubbelgewapende korte platen als wegverharding



(Foto : André Nullens)

Om de thermische beweging van het beton in langsrichting op te vangen, kunnen uitzettingsvoegen worden aangebracht om de 30 à 40 m. Deze voeg loopt over de volledige dikte van de betonverharding, is gevuld met een samendrukbaar materiaal en is altijd gedeuveld. Uitzettingsvoegen worden voor klassieke wegen op specifieke plaatsen geplaatst: bij aansluitingen aan andere verhardingen in asfalt of in kleinschalige elementen, bij starre kunstwerken of bij bochten met kleine kromtestraal, waar het risico bestaat dat het beton naar buiten weggeduwd wordt. Bij de uitvoering is het zeer belangrijk dat het er geen betonbrug boven of onderaan de voeg ontstaat, wat kan leiden tot het afspringen van stukken beton naast de voeg. Uitzettingsvoegen worden best vermeden t.h.v. dwarsend wegverkeer op bijvoorbeeld kruispunten of oversteekplaatsen.

STANDAARDOPLOSSING IN DOORGAAND GEWAPEND BETON

Een andere optie voor de verharding is het gebruik van doorgaand gewapend beton (DGB). In dit geval worden geen dwarse krimpvoegen aangebracht. Deze zijn vervangen door een reeks van gelijkmatig verdeelde fijne scheuren in de dwarsrichting. Deze scheuren ontstaan ten gevolge van de krimp-, thermische en verkeersspanningen. Ze worden dicht gehouden door langswapening die in het bovenste deel van de verharding geplaatst wordt en continu doorloopt. Gezien de afwijkende afmetingen (beperkte breedte) van de betonverharding wordt vaak geopteerd om voor trambusbanen het klassieke wapeningspercentage van 0,75 % te verhogen naar 1 %.

Bijkomend aan de klassieke langswapening bovenaan - staven diameter 20 mm, elke 140 à 150 mm - wordt onderaan de verharding een wapeningsnet geplaatst - diameter 12 mm, maaswijdte 150 mm. Beugels, die zorgen voor een verbinding tussen onder- en bovenbeton, hebben een diameter gelijk aan 12 mm en een tussenafstand van 400 mm.

Het gebruik van DGB leidt tot een hoog rijcomfort, een zeer beperkt onderhoud en een lange levensduur. Bij DGB zijn wel vanaf het begin fijne scheuren zichtbaar die soms leiden tot opmerkingen van voorbijgangers m.b.t. de esthetiek. De aanwezigheid van de scheuren is echter inherent aan DGB en zal de duurzaamheid van het beton niet in het gedrang brengen.

De wapening van DGB loopt over de volledige lengte door en mag niet onderbroken worden. Aan de uiteinden wordt de beweging van de verharding geblokkeerd door een verankeringslandhoofd met 3 tot 6 ribben, die in de grond over een totale diepte (verharding+rib) van ongeveer 1,1 m worden ingebracht. Ook ter hoogte van scherpe bochten of ter plaatse van vaste constructies dient een verankerung aangebracht te worden om het verschuiven van de verharding te vermijden.

Het DGB wordt ingezet op plaatsen waar intens zwaar verkeer verwacht wordt. Het biedt een hoge duurzaamheid maar heeft wel het nadeel van een hogere initiële kostprijs en de noodzaak van het aanbrengen van de landhoofden, wat niet altijd eenvoudig is in een stedelijke omgeving. Tijdens de aanleg dient de werf volledig verkeers- en tramvrij gehouden te worden en is strookgewijze fasering niet aangewezen.



(Foto : André Nullens)

UITGEWERKTE CASE-STUDIES

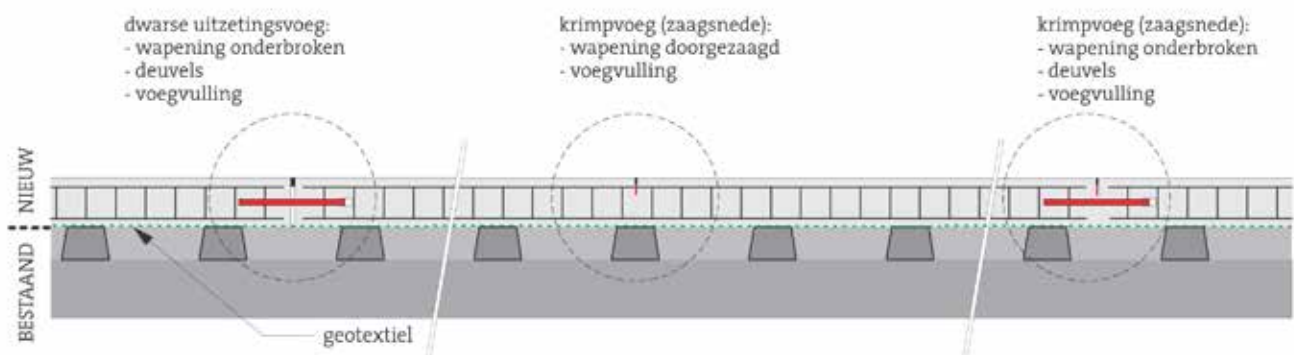
STANDAARDOPLOSSING IN PLATENBETON: ANTWERPEN NATIONALESTRAAT

De trambusbaan in de Nationalestraat is een bijzonder geval van ontwerp en uitvoering van betonverharding gezien deze aangelegd is op een bestaande onderbouw. De Nationalestraat was in eerste instantie aangelegd met kasseien. De verharding vertoonde echter al heel snel een degradatie: de rij kasseien gelegen naast de sporen kwam los te liggen. Dit is een gevolg van het feit dat deze kasseien tegen de trillingsisolatie van de sporen geplaatst zijn en dat het juist deze zone is die het meest belast wordt door de wielen van de bussen. De plaatsing van de kasseien in een mortelbed kon niet verhinderen dat er scheuren ontstonden in de voegen en dat de structurele samenhang van de kasseiverharding verloren ging.

*Verzakkingen van de
natuursteen kasseien
langs rails en bij
uitzettingsvoeg
(Foto: OCW)*



Er werd beslist om de Nationalestraat opnieuw aan te leggen met een betonverharding. Er werd geopteerd voor gewapend platenbeton, niet verbonden met de onderliggende laag met een maximale plaatlengte gelijk aan 2,5 m. De platen zijn gewapend met een dubbele netwapening. Het bovenste net wordt doorgezaagd ter hoogte van de krimpvoeg, het onderste net loopt door over een lengte gelijk aan 15 m. Op deze afstand wordt afwisselend een krimpvoeg met deuvels of een uitzettingsvoeg met deuvels geplaatst.



Antwerpen, Nationalestraat: opbouw betonverharding met 3 types voegen

De opbraak is gebeurd tot op de onderliggende betonlaag. Op deze manier kwamen ook de bouten vrij te liggen die de sporen met de dwarsliggers, opgegoten in de onderlaag, verbinden. Deze werden voor het plaatsen van het wegenbeton afgeschermd door middel van een plasticen kapje. Voor het plaatsen van de betonverharding werd de bestaande betonlaag zo goed als mogelijk vlak gemaakt en werd een drainage naar de onderliggende fundering voorzien door middel van het op regelmatige afstand boren van kernen doorheen de onderste betonlaag, die vervolgens met grind opgevuld werden. De afwatering bovenaan gebeurt door middel van een drainagestrip in de lengterichting die de kernen bedekt.

De wapening is aangebracht door middel van beugels en langswapening. Op deze manier kon de variabele breedte opgevangen worden. Ter plaatse van de wissels is gebruik gemaakt van glasvezelwapening om geen interferentie te hebben met de signalen van het besturingssysteem.

Het beton is geplaatst met een minimale dikte van 20 cm. Het oppervlak is uitgewassen. De maximale korrelmaat bedraagt 20 mm en er is gebruik gemaakt van porfier, witte kwarts en zwarte basalt. Het resultaat is een mooi en duurzaam decoratief betonoppervlak dat voldoet aan de esthetische eisen voor deze belangrijke “modestraat” in Antwerpen.



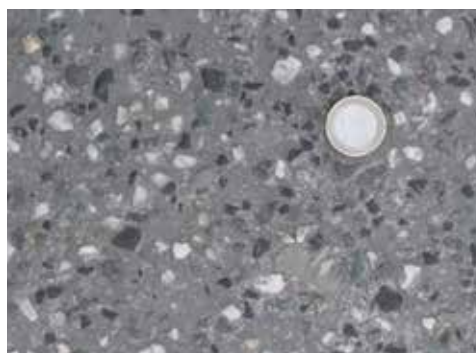
*Zicht op de langswapening en dwarse beugels van het bovenbeton
(Foto: OCW)*



*Zone met glasvezelwapening om interferentie met besturingssignalen te voorkomen
(Foto: OCW)*



*Dwarse gedevelde uitzetvoeg
(Foto: OCW)*



Detailzicht van het uitgewassen oppervlak op basis van porfier, zwarte basalt en witte kwarts.

De aanleg van de verharding was niet evident: de toegankelijkheid van de winkels diende te allen tijde gegarandeerd te worden. De breedte van de weg liet niet toe het beton met behulp van kipwagens of betonmixers aan te voeren. Er is bijgevolg geopteerd om het beton vanuit de zijstraten te pompen.

Extra aandacht is uitgegaan naar de inwerking van putdeksels, straatkolken en inspectieputten. Telkens is geopteerd voor het plaatsen van een raveelwapening rond de singuliere punten.



Zagen van de dwarse voegen (Foto: OCW)



Aanvoer van het beton door pompen (Foto: OCW)



Raveelwapening rond een inspectieput



*Aanbrengen van een bindingsvertrager op het oppervlak
(Foto: OCW)*



Aanleg van het bovenbeton met de trilbalk (Foto: OCW)

STANDAARDOPLOSSING IN DOORGAAND GEWAPEND BETON: GENT PAPEGAAISTRAAT – ROZEMARIJNBRUG

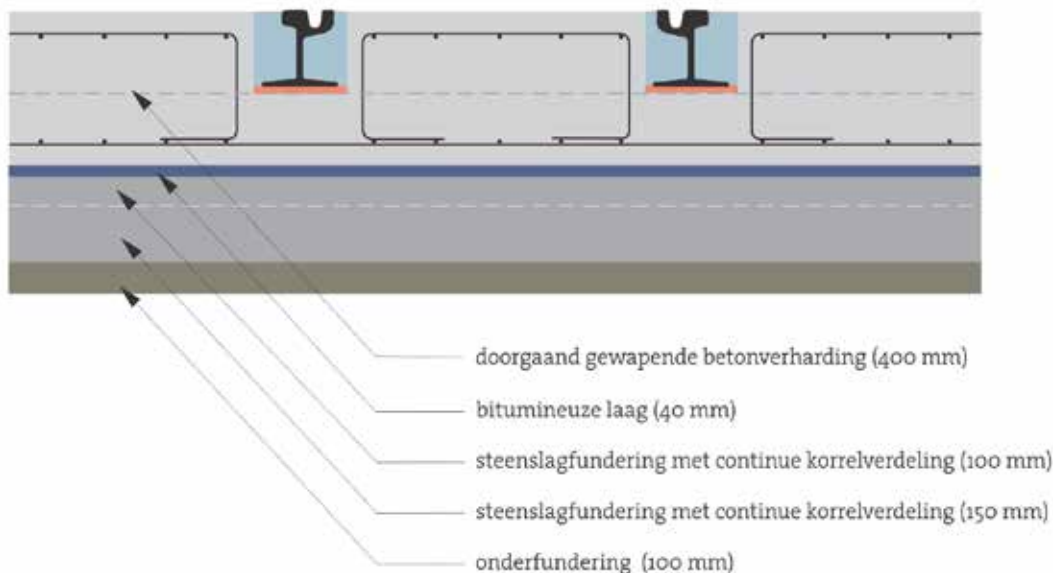
In Gent heeft men in de Papegaaistraat en op de Rozemarijnbrug gekozen voor een verharding in doorgaand gewapend beton. De grote uitdaging van doorgaand gewapend beton in een stad is enerzijds het aanbrengen van de landhoofden en anderzijds de uitvoering in een beperkte ruimte.

Het plaatsen van landhoofden is gebeurd ter hoogte van de overgangen naar bestaande verhardingen en juist voor de scherpe bocht. Telkens zijn 3 landhoofden geplaatst.

Volgende opbouw is toegepast (materialen volgens Standaardbestek 250 voor de Wegenbouw van de Vlaamse Overheid):

- Verharding in DGB, geplaatst in 2 lagen, totale dikte 400 mm;
- Asphalt tussenlaag, dikte 40 mm;
- Gestabiliseerde steenslag type IA, dikte 250 mm, geplaatst in 2 lagen;
- Onderfundering type I, zand, dikte 100 mm.

Gent Papegaaistraat – Rozemarijnbrug: opbouw trambaan en verharding





Zicht op het geheel van de wapening van boven- en onderbeton (Foto: De Lijn)



Betonneren van de bovenlaag volgens het patroon van langsvoegen en zicht op de realisatie (Foto's: De Lijn en AB-Roads)

*Zicht op de detailwapening ter hoogte van wissels
(Foto: De Lijn)*





(Foto & back cover : André Nullens)



Dit bulletin is een publicatie van :

FEBELCEM

Federatie van de Belgische Cementnijverheid

Vorstlaan 68 - 1170 Brussel

tel. 02 645 52 11 – fax 02 640 06 70

www.febelcem.be

info@febelcem.be

Auteurs :

dr.ir. A. Beeldens, AB-ROADS

ir. L. Rens, FEBELCEM

Met de medewerking van

ir. Filip Flement, DE LIJN

ing. Wim De Smet, DE LIJN

Foto's : FEBELCEM tenzij anders vermeld

Wettelijk depot :

D/2017/0280/05

V.u. : A. Jasienski

infobeton.be

BIBLIOGRAFIE

1. DIEPENDAELE M., Technum; RENS L., FEBELCEM. Een trillingsvrije trambusbaan in doorgaand gewapend beton met gekleurde deklaag. Bijdrage voor het 20^e Belgisch Wegencongres te Brussel, 28-30 september 2005
2. ERRAC (The European Rail Research Advisory Council); UITPC. Metro, light rail and tram systems in Europe, October 2012
3. FLEMENT F., BLOMME K., De Lijn; RENS L., FEBELCEM; BEELDENS A., BRRC. Towards a standardized design structure for concrete tramways in Flanders. Paper at the 12th International Symposium on Concrete Roads, Prague, 23-26 September 2014
4. RENS L., FEBELCEM. Slab-track toepassingen in trambaanconstructies: principes en buitenlandse verwezenlijkingen. Proceedings van KIVV studiedag "Gemengde spoorbaanconstructies voor tram en bus", Antwerpen, 16 oktober 2002

