

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN BETON IN DE RAILINFRA

Coenraad Esveld

Hoogleraar Railbouwkunde, TU Delft

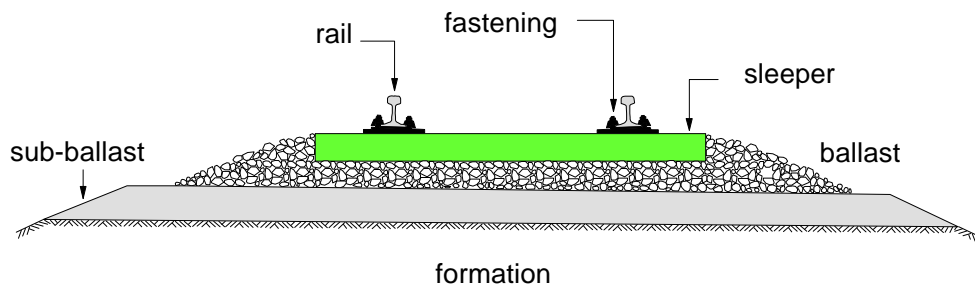
Figuren

- 1 Traditionele spoorconstructie
- 2 Traditionele spoorconstructie met asfaltbetonlaag
- 3 Detail Rheda constructie
- 4 Walo systeem
- 5 Edilon bloksysteem
- 6 Embedded rail
- 7 Dubbele U-Baan HSL-Zuid
- 8 Betonplaat in proefvak bij Best
- 9 Slipform paver
- 10 STV spoor (150 m) in proefvak bij Best
- 11 Voorbeeld van constructie met EPS
- 12 Spanningsreductie als gevolg van EPS

1. INLEIDING

Bij het ontwerpen van spoorlijnen spelen factoren als beschikbaarheid en duurzaamheid in toenemende mate een rol. Met de groei van de verkeersintensiteit wordt het steeds moeilijker om onderhouds- en vernieuwingswerkzaamheden uit te voeren. Bij NS is er voor deze activiteiten vaak niet meer dan 5 uur per nacht beschikbaar. Voor het hogesnelheidsproject in Korea, waar een 435 km lange spoorlijn tussen Seoul en Pusan wordt aangelegd, bedraagt de geschatte effectieve beschikbaarheid slechts 1.5 uur per nacht. Gelet op deze ontwikkelingen is het niet verwonderlijk dat de toepassing van onderhoudsarme constructies steeds aantrekkelijker wordt. Werd bij aanleg van nieuwe lijnen voorheen bijna nog uitsluitend gekeken naar de investeringskosten, thans wordt meer en meer het principe van life cycle kosten gehanteerd. Als gevolg van deze nieuwe gezichtspunten zal de conventionele spoorconstructie steeds meer terrein verliezen ten gunste van ballastloze concepten, waarin een doorgaande betonplaat meestal het uitgangspunt vormt.

2. SPOOR IN BALLAST



Figuur 1 Traditionele spoorconstructie

De traditionele spoorconstructie (Figuur 1) [1] wordt gekenmerkt door spoor op dwarsliggers, van hout of van beton, rustend op een ballastbed, met als grote voordelen:

- relatief lage aanlegkosten;
- grote elasticiteit;
- goede onderhoudbaarheid tegen relatief lage kosten;
- goede absorberende werking voor geluid.

Toch kleven er aan het gebruik van ballast in spoorconstructies ook nadelen:

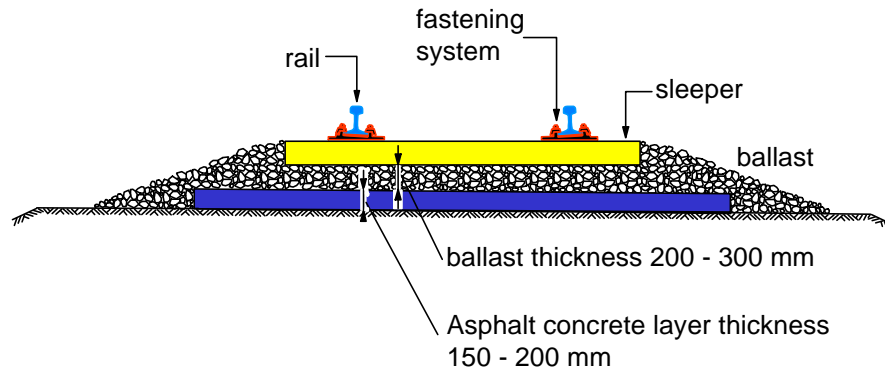
- het zijdelings en in lengterichting verplaatsen van het spoor (zwemmen), als functie van de tijd, door niet-lineair en irreversibel materiaalgedrag;
- begrenzing van de niet-gecompenseerde zijdelingse versnellingen in bogen als gevolg van de beperkte zijdelingse ballastweerstand;
- Opwervelen van ballast bij hoge snelheden, waardoor ernstige schade aan spoorstaven en wielen kan ontstaan;
- afname van de doorlatendheid (drainage) door vervuiling, verpulvering van ballastmateriaal en migratie van fijne delen uit de ondergrond;
- een relatief groot eigen gewicht, wat bij bruggen en viaducten met doorgaand ballastbed tot kostenverhoging leidt;
- een relatief grote constructiehoogte, met directe gevolgen voor tunneldiameters en op- en afritten.

De aftakeling van het spoor is sterk afhankelijk van de kwaliteit bij aanleg, waarbij met name rail-geometrie, homogeniteit van de funderingslagen en draagkracht van de sub-ballastlaag dominant zijn.

Op kunstwerken met een doorgaand ballastbed dient extra elasticiteit te worden gecreëerd door:

- toepassing van ballastmatten tussen ballastbed en kunstwerk;
- verhoging elasticiteit van de bevestigingsmiddelen.

3. VERSTERKENDE LAGEN



Figuur 2 Traditionele spoorconstructie met asfaltbetonlaag

Als gevolg van verweking van de ondergrond kunnen grote problemen ontstaan, zeker in combinatie met trillingen. Bij de hogesnelheidslijnen in Japan en Italië past men derhalve een waterafsluitende asfaltlaag toe met een dikte van 5 à 8 cm.

Om de spanningen in de ondergrond te spreiden, en daarmee te reduceren, kan deze asfaltbetonlaag worden verzwaard tot 15 à 20 cm (figuur 2). De goede onderhoudbaarheid van de spoorgeometrie, inherent aan de klassieke spoorconstructie in ballast, blijft in deze optie dus gehandhaafd.

Toepassing van asfaltlagen zou tot grote voordelen kunnen leiden bij de aanleg van nieuwe sporen met relatief hoge aslasten, en een hoog bruto jaartonnage. Maar ook voor de toepassing van klassiek spoor voor reizigersvervoer kunnen versterkende lagen tot een aanzienlijke afname in de onderhoudsfrequentie van de spoorgeometrie leiden.

4. BALLASTLOOS SPOOR

Om de eerder gememoreerde nadelen van spoor in ballast het hoofd te kunnen bieden, is de ontwikkeling van diverse ballastloze spoorconstructies in gang gezet. Daarbij zijn verschillende extra redenen aan te geven als:

- beschikbaarheid van het spoor
- life cycle kosten
- reductie van geluid- en trillingshinder;
- toegankelijkheid van de spoorbaan voor wegvoertuigen;
- gebrek aan geschikt ballast materiaal;
- beperking van stofverplaatsing uit het ballast naar de omgeving.

Platenspoor is relatief duur in aanleg, maar onderhoudsarm tijdens de exploitatie, mits goed geconstrueerd. Op kunstwerken, waar de plaat in feite in het kunstwerk zelf is geïntegreerd, vormt de geringe constructiehoogte een belangrijk argument. Vanwege het ontbreken van het ballastbed is het echter wel noodzakelijk om extra elasticiteit toe te voegen.

De baten van een dergelijke, in aanleg, dure constructie worden verkregen uit:

- reductie constructiehoogte;
- geringer onderhoud en daarmee grotere beschikbaarheid;
- levensduurverlenging.

Om het onderhoudsvrije karakter van het platenspoor op de vrije baan te waarborgen, dient grote zorg te worden besteed aan de homogeniteit en draagkracht van de funderingslagen. Men treft toepassingen aan van zowel geprefabriceerde, als van in-situ gestorte platen. De hoge investeringskosten hebben tot nu toe een grootschalige invoering van platenspoor op de vrije baan steeds in de weg gestaan. Er dient echter niet alleen naar de investeringskosten gekeken te worden, maar met name naar de totale life cycle kosten. De besparingen zullen daarbij vooral in de kunstwerken (tunnels en bruggen) moeten worden gevonden. Ook de toepassing van rationelere bouwmethoden uit de wegebouw zullen de aanlegkosten verder kunnen reduceren.

5. TOEPASSINGEN BALLASTLOOS SPOOR

Momenteel worden over de gehele wereld, in zeer veel verschillende uitvoeringen, ballastloze spoorconstructies toegepast. Slechts een beperkt gedeelte hiervan is speciaal ontwikkeld voor het gebruik in hoge snelheidslijnen, zoals o.a. in Japan, Duitsland, Frankrijk en Italië het geval is. Sommige ballastloosspoor-concepten die voor lagere snelheden zijn ontworpen, bieden eveneens perspectieven voor hogere snelheden.



Figuur 3 Detail Rheda constructie

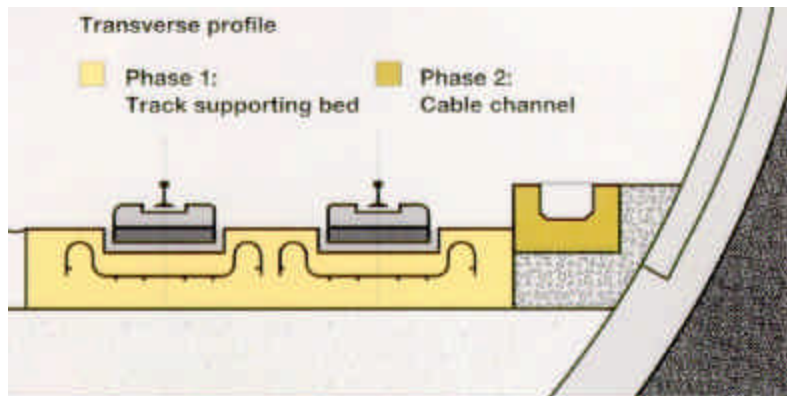
Met name in Duitsland maakt ballastloos spoor een grote ontwikkeling door. In Karlsruhe heeft DB AG sinds 1996 een proefvak ingericht waarin 7 nieuwe varianten zijn ingebouwd. De bekendste Duitse constructies zijn Rheda (Figuur 3) en Züblin .

In Japan is ballastloos spoor altijd uitgevoerd als geprefabriceerd platenspoor, met een plaatlengte van bijna 5 meter, ondersteund door een continue betonplaat. Wel verschilt het aandeel van ballastloos spoor per aangelegde lijn aanzienlijk. Met name de nieuwere constructies bevatten meer ballastloos spoor (tot 96%). Overigens is de constructie van ballastloos spoor vanaf de eerste toepassing in 1972 nauwelijks veranderd.

In Italië is ballastloos spoor weinig toegepast. In 1992 beschikte FS over nog geen 100km, waarvan 2 x 5.4 km op de hogesnelheidslijn tussen Rome en Florence ligt. De constructie, geleverd door IPA, is gebaseerd op het eerder besproken Japanse systeem .

De Franse Stedef constructie, bestaande uit een tweeblok dwarsligger met de onderkant een rubber schoen, treft men hoofdzakelijk aan in tunnels. Het gaat hierbij vooral om metrosystemen, maar er zijn ook toepassingen in hogesnelheidsnetten. Door de rubber schoen wordt een grote elasticiteit gecreëerd, hetgeen gunstig is voor geluids- en trillingsisolatie. Een constructie die

nauwe verwantschap aan de Stedef vertoont, is het systeem Sonnevile Low Vibration Track, dat onder andere is toegepast in de Kanaaltunnel.



Figuur 4 Walo systeem

ÖBB (Oostenrijk) beschikt thans over 25 km ballastloos spoor, hoofdzakelijk in tunnels en op viaducten. Dit geldt eveneens voor Zwitserland dat veelal het WALO systeem (Figuur 4) toepast, wat vergelijkbaar is met de Stedef constructie.



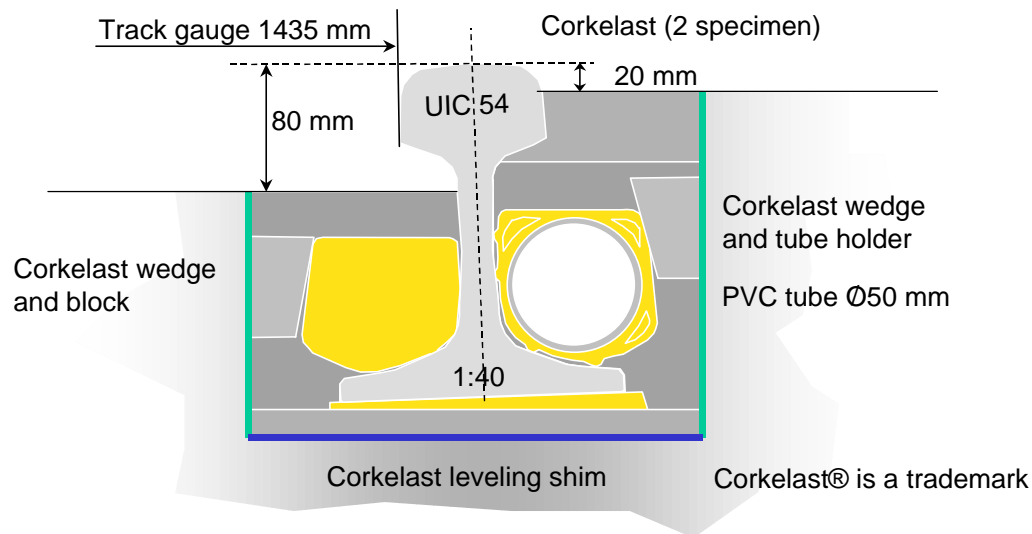
Figuur 5 Edilon bloksysteem

Het Edilon bloksysteem (Figuur 5) wordt eveneens hoofdzakelijk toegepast op bruggen en in tunnels. Bij dit top-down systeem bestaat de eerste constructiestap uit het in positie brengen van de spoorstaven en de blokken. De blokken worden vervolgens ingegoten in corkelast, voor het leveren van de nodige elasticiteit. In Nederland ligt ongeveer 100 km blokkenspoor, verdeeld over NS en de andere openbaarvervoerbedrijven. Bij de metro van Madrid ligt eveneens een lengte van ongeveer 100 km.

6. EMBEDDED RAIL CONSTRUCTIE

De tot nu toe besproken constructies waren alle gebaseerd op een discrete ondersteuning van de spoorstaaf volgens het dwarsliggerprincipe. In Nederland wordt sinds 1976 op bescheiden schaal een continu ondersteunde railconstructie toegepast, welke bekend staat als de Embedded Rail Constructie (ERC). Details van deze constructie zijn weergegeven in figuur 6. De spoorstaaf is continu ondersteund door middel van een gietmassa bestaande uit corkelast (polyurethaan vermengd met kurk). Het grote voordeel van deze constructie is dat het spoor top down wordt gebouwd, waarmee de toleranties in de ondersteunende constructie geen invloed hebben

op de te realiseren spoorgeometrie. Uit de ruim 20 jaar ervaring van NS blijkt, dat deze constructie inderdaad onderhoudsarm is.



Figuur 6 Embedded rail

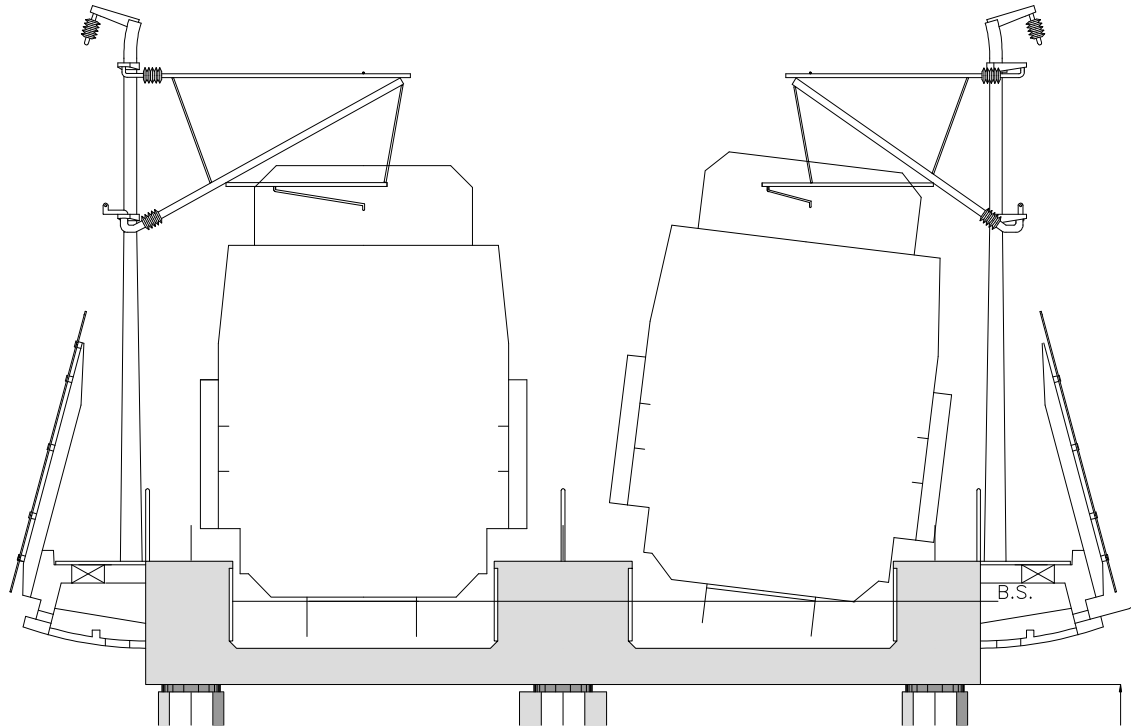
Recente studies, uitgevoerd door onder andere de TU Delft [2], laten zien dat de ERC qua life cycle kosten 20 tot 30 % goedkoper is dan klassiek spoor.

Vanwege de vele positieve eigenschappen wordt de ERC gezien als zeer aantrekkelijk alternatief voor toekomstige spoorlijnen, niet alleen voor high-speed en freight corridors, maar ook voor conventionele snelheden, alsmede tram- en metrolijnen. In het huidige ERC concept wordt nog een klassieke rail toegepast, hetgeen verre van optimaal is. Verder onderzoek zal moeten worden gepleegd naar een geoptimaliseerd railprofiel in combinatie met gootafmetingen en eigenschappen van de corkelast.

HSL-Zuid

In het westen van Nederland is de bodemgesteldheid zodanig slecht dat hierop niet zondermeer een HSL te bouwen is. Het zijn met name de Rayleigh golven en de daarmee samenhangende kritische treinsnelheden, die dit veroorzaken. Mede gelet op het toch al grote aantal kunstwerken (ongeveer 60 % van de lijn) is besloten om de sporen boven de Moerdijk als een laag viaduct, dwz een continue betonplaat op palen, uit te voeren. Dit heeft geleid tot het concept van de zogenoemde dubbele U-baan als afgebeeld in figuur 7. Deze constructie is ontworpen voor 300 km/h, waarbij rekening gehouden is met een exploitatie van 24 h per dag [3].

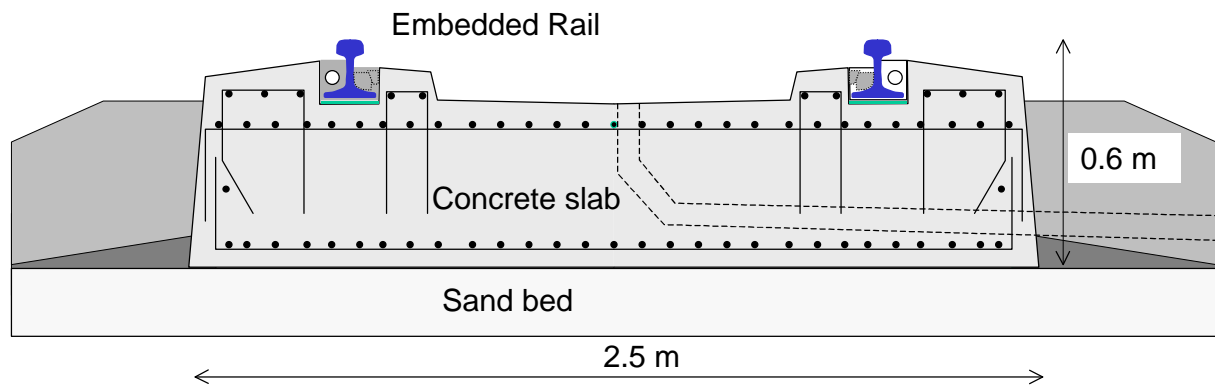
De constructie is zodanig vormgegeven dat het geluid reeds voor een deel wordt afgeschermd. De betonnen bak voorziet tevens in een optimale ontsporingsgeleiding, waardoor de kans op calamiteiten, zoals het recente ongeluk met de ICE bij Eschede, aanzienlijk kan worden beperkt. In het ontwerp is eveneens rekening gehouden met de geschiktheid voor industrieel bouwen, met daarbij een zekere oplossingsruimte voor de aannemer.



Figuur 7 Dubbele U-baan HSL-Zuid

Op de toe te passen spoorconstructie zelf wordt nog gestudeerd. Ofschoon de thans vigerende constructie het Rheda spoorconcept is, geniet op theoretische gronden en de goede ervaringen bij NS, de ERC nog steeds de voorkeur. Een praktijkproef bij 300 km/h zal waarschijnlijk niet mogelijk zijn en daarom zal een theoretisch onderzoek, tezamen met een risicoanalyse, uit moeten wijzen of de ERC inderdaad geschikt is voor de HSL-Zuid.

Proefvak Best



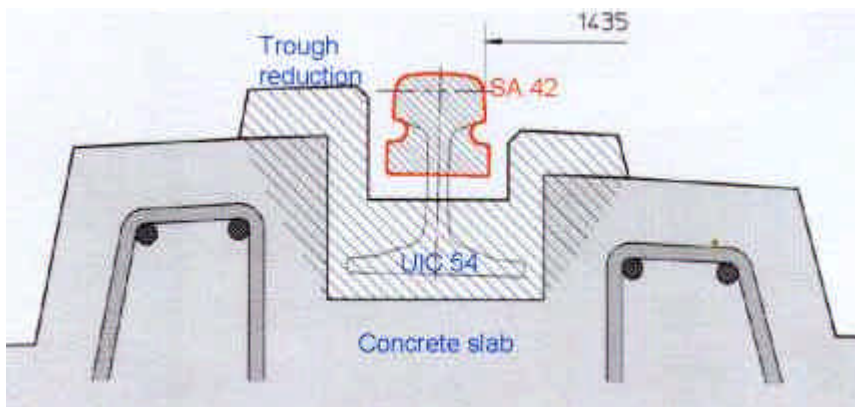
Figuur 8 Betonplaat in proefvak bij Best

In verband met het op grotere schaal toepassen van de ERC, wellicht ook bij de HSL, is onlangs een 3 km lang proefvak bij Best gebouwd in de lijn Boxtel - Eindhoven. Het principe van deze plaatconstructie is weergegeven in figuur 8. Deze continue plaat van gewapend beton is vervaardigd met behulp van een slipform paver zoals afgebeeld in figuur 9. De uiteindelijke aanlegkosten zullen voor een groot deel afhangen van de wijze waarop een dergelijke constructie wordt gerealiseerd. De primaire doelstelling was dan ook het opdoen van ervaring bij het industrieel bouwen van dergelijke slabs en het verder optimaliseren van dit proces. Daarnaast zullen in de loop van 1998/99 ook de nodige metingen worden uitgevoerd onder treinbelasting.



Figuur 9 Slipform paver

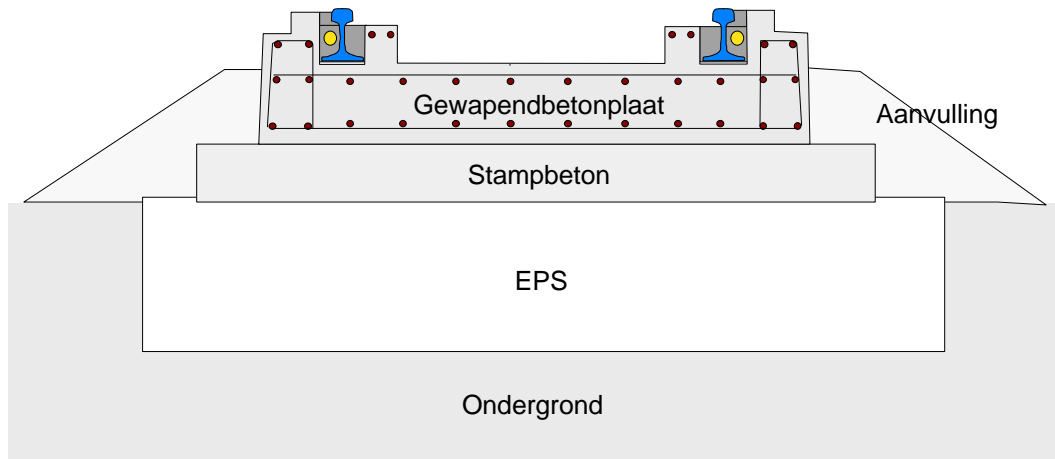
In het kader van het STV project (Stiller TreinVerkeer) is een embedded rail ontwikkeld die 5 dB(A) minder geluid produceert dan het klassieke ballastspoor [4]. Figuur 10 toont deze constructie zoals die wordt toegepast over 150 m in het proefvak bij Best. De rail heeft een blokvorm met een UIC 54 kop en is ingebed in een relatief dunne corkelast laag. Deze combinatie levert de benodigde flexibiliteit en de benodigde afstandsdemping om de geluidsreductie te realiseren. In feite is dit een eerste voorbeeld van het optimaliseren van het railprofiel in samenhang met de eigenschappen van de gietmassa, zoals eerder werd genoemd. Afgezien van de geluidsreductie vormt deze oplossing een prima uitgangspunt voor light rail concepten.



Figuur 10 STV spoor (150 m) in proefvak bij Best

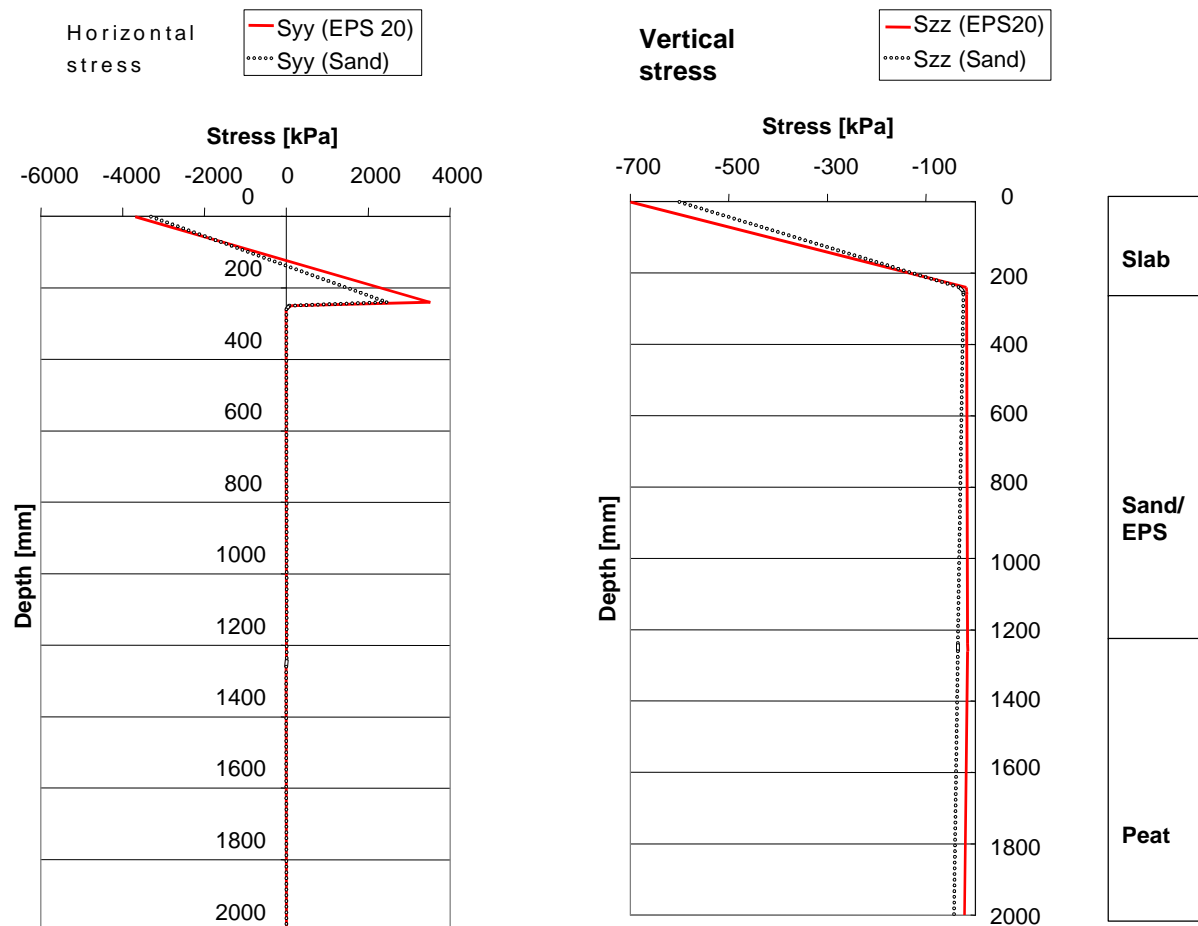
7. EPS TOEPASSINGEN

In gebieden met een slechte ondergrond, waar grote zettingen worden verwacht, kan worden overwogen een evenwichtsconstructie met EPS (Expanded Polystyrene) toe te passen. Een dergelijke constructie bestaat uit EPS, tezamen met een buigstijve (beton)plaat, waarop de spoorconstructie is geplaatst. Dit kan een klassieke constructie zijn, bijvoorbeeld bij een spoorverdubbeling, of, wat bij nieuwbouw meer voor de hand ligt, een ballastloze oplossing (Figuur 11). In het laatste geval heeft ook de ERC grote voordelen, zeker als deze in de betonplaat kan worden geïntegreerd. EPS kan eveneens met succes worden toegepast in overgangsconstructies tussen aardebaan en kunstwerk [5].



Figuur 11 Voorbeeld van constructie met EPS

In figuur 12 worden de horizontale en verticale spanningen weergegeven in een constructie bestaande uit een betonplaat ondersteund door respectievelijk een zandlaag op veen en een EPS-laag op veen. In dit voorbeeld worden de verticale spanningen in de veenlaag bij toepassing van EPS gereduceerd van 36 kN/m² tot 15 kN/m².



Figuur 12 Spanningsreductie als gevolg van EPS

8. CONCLUSIES

In combinatie met een goede bodemstabilisatie en toepassing van versterkende lagen van bijvoorbeeld asfaltbeton, zal het dwarsliggerspoor nog tot ver in de 21ste eeuw een attractief concept blijven. Voor de nieuw aan te leggen hoofdcorridoren in het hogesnelheidsverkeer en het goederenvervoer zullen argumenten als duurzaamheid, gering onderhoud, beschikbaarheid en potentie voor het verhogen van snelheden en aslasten steeds zwaarder gaan wegen. Ballastloze concepten bieden in dit opzicht grote voordelen. Ofschoon de investeringskosten relatief hoog zijn, zal er in de afweging veel meer dan voorheen rekening dienen te worden gehouden met de totale life cycle kosten. Besparingen op de bouwkosten van kunstwerken, die een dergelijke systeemkeus kan teweegbrengen, mogen beslist niet over het hoofd gezien worden.

Bij een slechte bodemgesteldheid zoals in het westen van Nederland zal voor hogesnelheidslijnen in ieder geval een forse inspanning moeten worden gepleegd voor het verstijven van de ondergrond, daar anders problemen ontstaan met golfvoortplanting en de daarmee samenhangende kritische treinsnelheid. Een onderhoudsarm platenspoor is een logische component in een concept gericht op het creëren van voldoende verticale spoorstijfheid.

Toepassing van constructies met EPS vormen in situaties waarin grote zettingen zijn te verwachten een aantrekkelijk alternatief.

9. REFERENTIES

- [1] Esveld, C.: Modern Railway Track, ISBN 90-800 324-1-7, Zaltbommel, 1989
- [2] Zoeteman, A.: A financial comparison of alternative track structures, TU Delft, april 1998
- [3] Trel, E.: De dubbele U-baan, dwarsprofiel, HSL, november 1997
- [4] Bos, J.A. : Geluidsarme spoorbaan, Publicatie Holland Railconsult, februari 1998
- [5] Siderius, R.: The feasibility of EPS as a sub-base material in a rail structure, TU Delft, september 1998