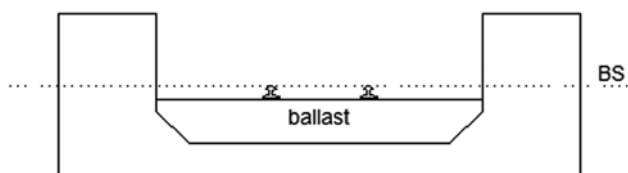


TROGBRUGGEN, SPECIFIEKE ONTWERPASPECTEN

ir. C.S. van der Horst

In Nederland zijn in de afgelopen decennia tientallen trogbruggen gebouwd die vrijwel allemaal bestemd zijn voor spoorverkeer. In het verleden zijn incidenteel ook voor het wegverkeer trogbruggen gebouwd. Deze worden echter slechts beperkt toegepast, voornamelijk uit oogpunt van verkeersveiligheid (wandvrees en zijwindhinder). Zowel bij het ruimtelijk als het constructief ontwerp moet rekening worden gehouden met een aantal specifiek voor dit constructietype geldende kenmerken. In figuur 1 is de schematische doorsnede van een trogbrug voor spoorverkeer gegeven.



Figuur 1: Doorsnede trogbrug voor spoorverkeer

Een trogbrug is opgebouwd uit grote hoofdliggers met daarin de langvoerspanning, die overspannen tussen de verschillende steunpunten, en daartussen een relatief dunne vloer. De constructiehoogte van de vloer is onafhankelijk van de overspanning van de liggers en wordt bepaald door de doorbuigingseis van de vloerplaat en de toe te passen spoorbevestiging. De afschuiningen tussen de hoofdliggers en de vloer zijn aangebracht om te zorgen voor een gelijkmatige spanningsopbouw en een goede overdracht van de ophangkrachten tussen vloer en hoofdligger. De oplegblokken ter plaatse van

de steunpunten worden midden onder de hoofdliggers geplaatst (twee oplegblokken per steunpunt).

In het algemeen wordt voor een trogbrug gekozen bij een overspanning tot circa 55 m of een kleine toelaatbare constructiehoogte. Een grote overspanning ontstaat onder andere bij een scheve kruising. Een voorbeeld hiervan is de hangtrogbrug bij Terneuzen waar het spoorverkeer de toeleidende weg naar de Westerschelde kruist (figuur 2). Meer hierover elders in dit nummer.

Door een relatief grote vrijheid bij het plaatsen van steunpunten onder de hoofdliggers kunnen met asymmetrisch ondersteunde trogbruggen zeer scheve kruisingen worden gerealiseerd. Dat is bijvoorbeeld het geval bij de Utrechtboog, een opvallend kunstwerk bij het station Amsterdam - Bijlmer. Grote overspanningen hebben daar geleid tot de keuze voor een trogbrug. De boog bestaat uit twee naast elkaar gelegen enkelsporige voorgespannen trogbruggen van respectievelijk 1450m en 1700 m lengte. In het architectonisch ontwerp is de vorm van de trogbrug aan de onderzijde afgerond zodat deze brug met de grote overspanningen en circa 15 m hoge kolommen slank oogt.

Een andere locatie waar vanwege de geringe constructiehoogte ook voor een trogbrug gekozen is, is Amsterdam CS. Hier is voor het spoorverkeer een dubbelsporige trogbrug gebouwd voor die situaties waar een minimale constructiehoogte gewenst is. Zo kan het spoor zo laag mogelijk over de dwangpunten heen worden ontworpen. Een ander voordeel is, dat de op- en afritten behalve lager ook smaller en korter kunnen worden.



Figuur 2 Hangtrogbrug Terneuzen

Tenslotte hebben de hoofdliggers ook een geluidsafschermende functie, waardoor dit type zeer geschikt is voor toepassing in stedelijk gebied.

Zoals hiervoor is vermeld moet zowel bij het ruimtelijk ontwerp als het constructief ontwerp van trogbruggen rekening worden gehouden met een aantal specifiek voor dit constructietype geldende kenmerken. Het ruimtelijk ontwerp van trogbruggen voor spoorverkeer wordt deels bepaald door richtlijnen van de NS. Daarin worden specifieke eisen gesteld aan de vluchtmogelijkheden in geval van een calamiteit, die consequenties hebben voor de afmetingen van een trogbrug. Een trogbrug is een geschikte constructie om snel in een bestaande spoorbaan met spoor in exploitatie in te schuiven en op te vijzelen.

Door de relatief hoge hoofdliggers van een trogbrug in langsrichting voor te spannen, kunnen grote overspanningen worden gehaald. Omdat vaak grote overspanningen en daarmee grote voorspankrachten worden toegepast, moet bij het ontwerp uitgebreid worden stilgestaan bij de dimensionering van kop- en slijtwapening in de hoofdliggers en dwarsvoorspanning in de vloer. De vloerdikte kan beperkt blijven, omdat de vloer slechts een overspanning heeft die gelijk is aan de hart op hart afstand van de hoofdliggers. Door de excentrische belasting uit de vloer op de hoofdliggers worden deze liggers belast door een ophangkracht uit de vloer die leidt tot wringende momenten in de hoofdliggers. Een ander aandachtspunt bij de bepaling van deze wringende momenten zijn de rubber oplegblokken die worden toegepast ter plaatse van de steunpunten van de trogbrug.

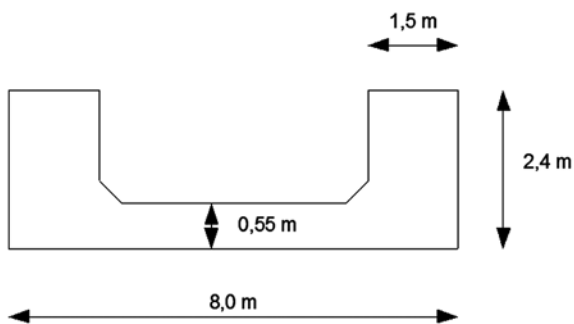
De berekening van wringing in trogbruggen door zowel permanente als mobiele belasting wordt in het volgende voorbeeld uitgewerkt. Daarin wordt ook aangegeven welke invloed de oplegblokken hierop hebben.

Fictief voorbeeld

Uitgegaan wordt van een symmetrische trogbrug met vier overspanningen. De eindvelden hebben een overspanning van 25 m, de tussenvelden overspannen 32 m (figuur 3).



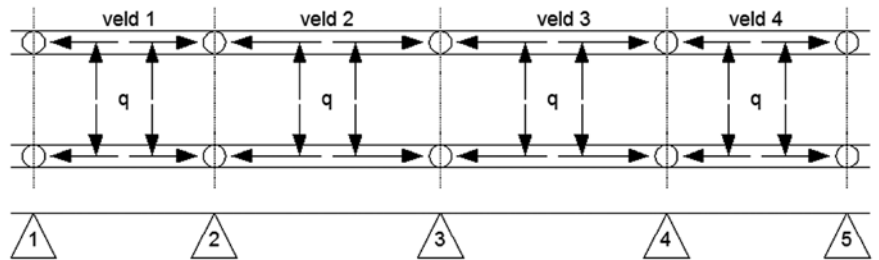
Figuur 3 Schema trogbrug in langsrichting



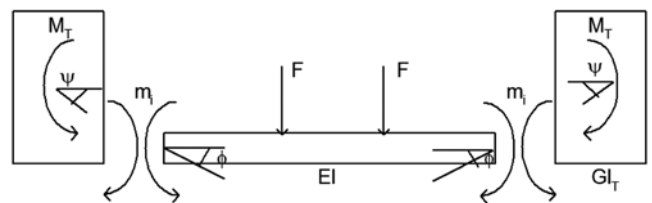
Figuur 4 Dwarsdoorsnede trogbrug

In de dwarsdoorsnede (figuur 4) is aangegeven dat de hoofdliggers een afmeting hebben van 1,5 m bij 2,4 m. De vloer van de trog heeft een overspanning in dwarsrichting van 5 m tussen de hoofdliggers en een gemiddelde dikte van 0,55 m.

Een trogbrug wordt meestal uitgevoerd in betonkwaliteit B45. De hoofdliggers zijn in langsrichting voorgespannen. De vloer is zowel in langsrichting als in dwarsrichting gewapend. De stijfheidsverschillen die hierdoor ontstaan leiden ertoe, dat het overgrote deel van de belasting van de vloer via de kortste weg naar de hoofdliggers zal worden afgedragen. De hoofdliggers dragen de belasting vervolgens af naar de steunpunten (figuur 5).



Figuur 5 Krachtsafdracht trogbrug



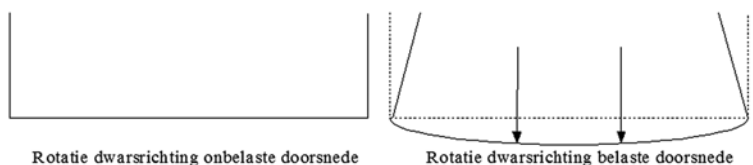
Figuur 6 Schema krachtsafdracht dwarsrichting

De krachtswerking tussen de vloer en de hoofdliggers is in figuur 6 aangegeven.

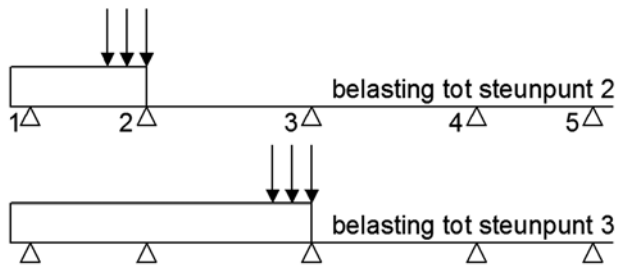
Wringing in de hoofdliggers van de trog ontstaat wanneer de vloer in langsrichting van de trogbrug slechts over een deel verticaal belast wordt. Het belaste deel zal willen roteren in dwarsrichting, terwijl het onbelaste deel dit niet wil (figuur 7).

Bij een voldoende lange trogbrug die over een gedeelte belast wordt, zal de hoekverdraaiing aan het belaste uiteinde vrijwel gelijk zijn aan de hoekverdraaiing van een geheel belaste trogbrug. In dat geval zal de hoekverdraaiing aan de niet belaste zijde vrijwel gelijk aan nul zijn. Tussen de uiteinden zal de hoekverdraaiing verlopen tussen deze twee waarden.

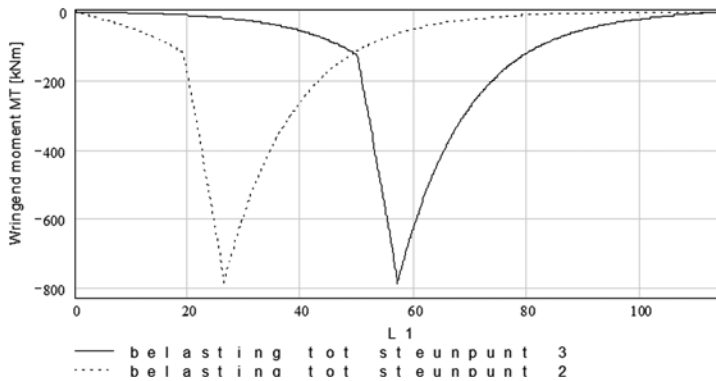
Het maximale wringende moment wordt gevonden als de trogbrug, door bijvoorbeeld mobiele belasting slechts belast wordt in de velden 1 en 2 (figuur 8). Op de overgang van het belaste op het onbelaste gedeelte (ter plaatse van steunpunt 3) zal de verandering van de hoekverdraaiing van de hoofdliggers en daarmee het wringend moment maximaal zijn.



Rotatie dwarsrichting onbelaste doorsnede
Rotatie dwarsrichting belaste doorsnede
Figuur 7 Rotatie dwarsrichting onbelaste en belaste doorsnede



Figuur 8 Belastingenschema voor maximaal wringend moment steunpunt 2 en 3



Figuur 9 Wringende momenten ten gevolge van mobiele belasting

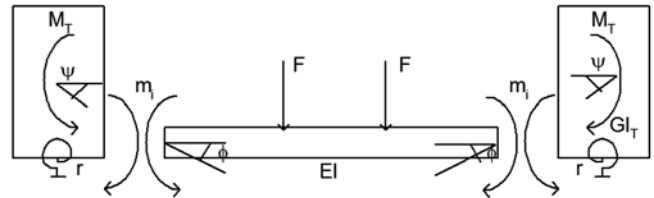
Wringing door mobiele belasting

Voor de berekening van de wringing door mobiele belasting wordt de invloed van de oplegblokken ter plaatse van de steunpunten verwaarloosd. Dit houdt in dat de trog wordt verondersteld vrij te kunnen roteren in dwarsrichting, zodat een gelijkmatig verdeelde belasting langs de gehele trog zal leiden tot een constante hoekverdraaiing en geen wringende momenten. Er is volgens de richtlijnen uitgegaan van een VOSB belasting vanuit het spoor: een gelijkmatig verdeelde belasting op de eerste twee velden en puntlasten juist voor het middensteunpunt (figuur 8). De wringende momenten die dit oplevert zijn weergegeven in figuur 9. Daarin zijn de momenten ter plaatse van steunpunt 2 en 3 aangegeven wanneer de belasting respectievelijk tot steunpunt 2 of 3 is aangebracht.

De maximale wringende momenten worden gevonden op de plaats waar het belaste deel overgaat in het onbelaste deel. Voor beide belastinggevallen geldt, dat het eerste, relatief flauw verlopende deel wordt belast door de gelijkmatig verdeelde belasting terwijl voor het tweede gedeelte ook de drie puntlasten tot een extra gelijkmatig verdeelde belasting zijn omgerekend. De derde tak in de grafieken is het onbelaste gedeelte.

Wringing door permanente belasting

Bij de bepaling van de wringende momenten door mobiele belasting is de invloed van de rotatiestijfheid van de opleggingen buiten beschouwing gelaten. In werkelijkheid geeft deze rotatiestijfheid een extra wringend moment. Door ter plaatse van de steunpunten een extra rotatieveer aan het systeem toe te voegen, ontstaat een situatie als in figuur 10.



Figuur 10 Schema krachtsafdracht dwarsrichting inclusief rotatieveren

Door een rotatieveer toe te voegen ter plaatse van de steunpunten krijgt de verticale oplegreactie een zekere excentriciteit. De rotatiestijfheid van de steunpunten wordt bepaald door de stijfheid van de onderbouw en de stijfheid van de oplegblokken.

Wanneer de rotatie in dwarsrichting met de invloed van de oplegblokken wordt bepaald, blijkt de invloed van deze oplegblokken op de rotatie beperkt. Deze invloed is het grootst bij de opleggingen met relatief rotatiestijve oplegblokken. Hier zal de rotatie van de ligger met oplegblokken (werkelijke situatie) iets minder zijn dan wanneer de opleggingen worden geschematiseerd tot steunpunten zonder rotatiestijfheid.

Wanneer uit het verloop van de rotatie het wringend moment in de hoofdliggers wordt bepaald, blijkt in het voorbeeld dat het maximale wringende moment juist links van het middelste steunpunt met circa 10% toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door de invloed van de rotatiestijve opleggingen en is niet verwaarloosbaar. Het uitwendige moment uit de opleggingen dat wordt veroorzaakt door excentriciteit van de oplegreacties kan, aangezien de rotatie niet noemenswaardig verandert door de opleggingen, worden benaderd door de samengestelde rotatiestijfheid van de oplegging en onderbouw te vermenigvuldigen met de rotatie zonder de invloed van de opleggingen

$$(M_{\text{uitwendig}} \cong r_{\text{totaal}} \cdot \psi_{\text{zonder invloed oplegging}})$$

Dit moment wordt in de constructie gespreid naar twee zijden en zo als wringend moment opgenomen in de hoofdliggers. Dit betekent dat rotatiestijve oplegblokken een relatief grote bijdrage aan het wringend moment in de hoofdliggers leveren. Deze bijdrage mag dan ook niet verwaarloosd worden.

Op basis van deze bovenstaande conclusie zijn de volgende ontwerphandreikingen geformuleerd voor de berekening van trogbruggen:

- Allereerst moet worden nagegaan of de invloed van de opleggingen relevant is (in verhouding tot de wringing door mobiele belasting) door uit te gaan van de hoekverdraaiing zonder invloed van de oplegblokken en de rotatiestijfheid van de blokken.
- Wanneer de invloed op de wringende momenten groot is kan ervoor worden gekozen minder stijve (bijvoorbeeld hogere) oplegblokken toe te passen.
- Bij een Eindige-Elementen-berekening moet altijd de stijfheid van de opleggingen worden meegenomen door de opleggingen te schematiseren tot rotatieveren of een set van translatieveren.