

Stil, hier ligt een brug

Bij renovatie of vervangen van een stalen brug kan meteen de geluidemissie worden aangepakt. Een aantal maatregelen ligt voor handen, maar berekeningen en metingen komen niet altijd overeen. Zo blijkt uit een praktijkcasus van de Kruiswaterbrug in de A7.

drs. W. Gardien, ing. S.P. Voeten en ing. W.J.A. van Vliet

Wybo Gardien is adviseur dynamica en modellering en Stefan Voeten is adviseur geluid, beiden bij Movares in Utrecht. Willem-Jan van Vliet is adviseur geluidmaatregelen bij Rijkswaterstaat in Utrecht. Met dank aan Peter Juijn.

Verkeersbruggen vormen vaak een bron van geluidoverlast. Auto's en vrachtwagens produceren bandengeruis en een bonkend geluid bij voegovergangen. Daarbij brengen ze de constructie in trilling, met eveneens forse geluidproductie. Het gaat dan vooral om laagfrequent geluid, van minder dan 500 Hertz. Zeker als een brug in de directe omgeving van bebouwing ligt – wat in Nederland vaak zo is – kan dit tot geluidhinder leiden. Hoewel bruggen in een verkeersweg meestal meer geluid produceren dan de weg zelf, wordt hiermee in de huidige regelgeving, het Reken- en meetvoorschrift Geluid 2012, geen rekening gehouden (zie kader 'Technisch bezwaar'). Dat neemt niet weg dat beheerders, inspeland op klachten vanuit de omgeving, steeds vaker eisen stellen aan geluidemissie. Dat gebeurt meestal wanneer een brug gerenoveerd of vervangen moet worden. De komende jaren zal dat bij veel bruggen het geval zijn. De meeste stammen uit de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw en moeten nodig worden aangepakt. Ze kampen met vermoeiingsverschijnselen en zijn niet berekend op de verkeerstoename en hogere aslasten.

Praktijkcasus: Kruiswaterbrug

Een voorbeeld waarbij vervanging is aangegrepen om geluidemissie aan te pakken, is de Kruiswaterbrug in de A7 pal ten zuiden



Gerenoveerd val Kruiswaterbrug, met vijf dwarsdragers en inspectiepad met roosters.

Tabel 1. Effecten bestaand en nieuw wegdek.

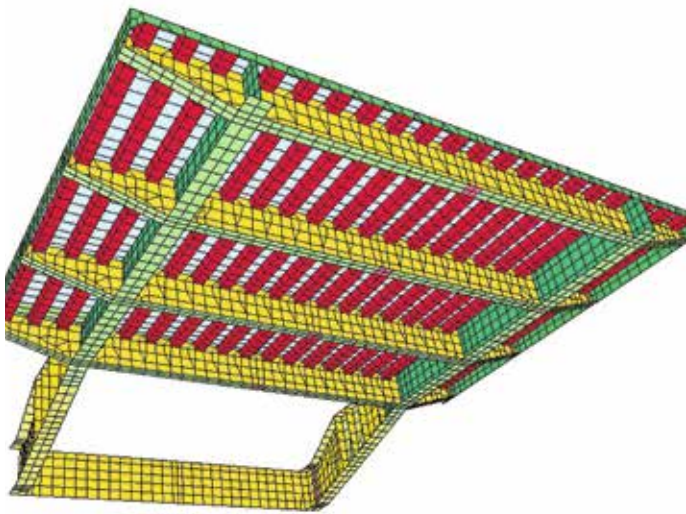
	effect oorspronkelijk ontwerp (dB)	effect gewijzigd ontwerp (dB)	eis (dB)
63 Hz-octaaftand	-4,7	-8,1	-10
125 Hz-octaaftand	-5,4	-11,7	-7

Technisch bezwaar

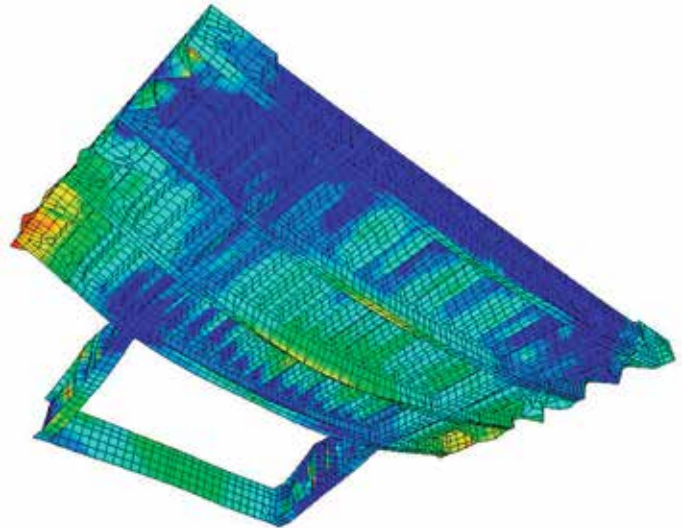
Voor de Rijksweginfrastructuur is het uitgangspunt dat een stille deklaag wordt toegepast, zoals ZOAB. Vooral bij bestaande bruggen is ZOAB vaak alleen mogelijk als er relatief dure maatregelen worden getroffen, zoals versterking van het brugdek. Voor deze situaties bestaat de mogelijkheid om een 'technisch bezwaar' voor open deklagen van toepassing te verklaren en alternatieve geluidreducerende maatregelen te nemen. Bijvoorbeeld aanpassingen aan de onderzijde van de brugconstructie die de geluidafstraling beperken, zoals bij de Kruiswaterbrug.

van Bolsward. Hier passeert de snelweg het Kruiswater met in beide rijrichtingen een basculebrug met stalen dek. In 2014 heeft Rijkswaterstaat (RWS) het zuidelijke dek vernieuwd, nadrukkelijk rekening houdend met geluidsklachten van omwonenden. Rijkswaterstaat eiste dat het nieuwe brugdek stiller moet zijn dan het bestaande, waarbij de reductie in de octaafband van 63 Hz

minimaal 10 dB moet zijn en in de octaafband van 125 Hz minimaal 7 dB. Rijkswaterstaat wil de komende jaren meer bruggen renoveren of vervangen, en wellicht dan ook direct stiller maken. Voor inzicht in de beste aanpak is rond de renovatie van de Kruiswaterbrug een onderzoeksproject opgezet. Movares heeft daartoe onder andere geluid- en trillingsmetingen geanalyseerd van



Eindige-elementenmodel (FEM) van oud val Kruiswaterbrug.



Berekende trilsnelheid in oud val op 0,5 seconden na aanstoting.

voor en na de vervanging van het brugdek. Ook zijn FEM- en BEM-berekeningen gemaakt om respectievelijk de trillingsvormen in het brugdek te bepalen en de geluidafstraling/-druk die daardoor ontstaat. Voor deze berekeningen zijn het bestaande dek en het ontwerp van het nieuwe dek (Volker Infra) vertaald naar wiskundige modellen.

Aangepast ontwerp

Het bestaande brugdek en het nieuwe ontwerp zijn doorgerekend om te bepalen of het nieuwe brugdek tot de vereiste geluidreductie zou (kunnen) leiden. Aangezien dat niet het geval was, is gezamenlijk gekeken (RWS, Movares en Volker Infra) op welke punten het ontwerp moest worden aangepast. Zo is in het definitieve ontwerp een extra dwarsbalk toegepast om het brugdek te verstijven (zie kader 'Constructieve maatregelen geluidreductie'). Verder zijn voor de looppaden aan de zijkant van het dek geen staalplaten maar roosters gebruikt, en zitten er openingen in de randbeplating, waardoor deze minder geluid afstralen. Zie tabel 1 voor de berekende reducties tegenover de bestaande en de eisen.

Het nieuwe, aangepaste dek is gebouwd en geplaatst. Daarna zijn weer geluid- en trillingsmetingen verricht. De geluidreductie boven het brugdek kwam voor de drie onderzochte frequenties (63, 125 en 250 Hz) vrijwel

Constructieve maatregelen geluidreductie

Beperking trillingen in het brugdek

Een halvering van het trillingsniveau leidt tot een geluidreductie van 6 dB. Trillingen in de brug kunnen worden beperkt door:

- reductie van de aanstoting van de constructie, bijvoorbeeld door een goede vlakheid van het brugdek, en een zo klein mogelijk hoogteverschil tussen het brugdek en het aangrenzende vaste wegdek;
- verhogen van de ingangsimpedantie van het dek door het extra te verstijven, hoe stijver het brugdek, des te minder trillingen.

Verkleining geluidafstralende oppervlak

Het vermogen waarmee een brug geluid produceert, hangt af van het afstralende oppervlak. Bij een gelijk trillingsniveau leidt een halvering van het oppervlak tot een geluidreductie van 3 dB.

Beperking afstraalefficiëntie

De afstraalefficiëntie is de mate waarin een trillend oppervlak leidt tot geluidafstraling en hangt onder andere

af van de stijfheid en afmetingen van de plaatdelen. Slappere platen en langere overspanningen leiden tot een lagere afstraalefficiëntie. Verder hebben dunne profielen een lagere afstraalefficiëntie dan dikke plaatdelen.

Afscherming tussen geluidbron en ontvanger

Dit werkt vooral aan de onderzijde van een brug. Denk aan een omkasting van de delen die het hardst trillen.

Beperking nagalmtijd in de ruimte onder de brug

Dit kan door absorptiemateriaal onder de brug aan te brengen. Voor de aanpak van laagfrequent geluid zijn meestal specifieke oplossingen met afgestemde resonatoren nodig.

Verhoging demping in het brugdek

Als trillingen in de brug korter aanhouden, leidt dat tot een lager geluidniveau. Een van de opties is een sandwichbeplating met dempingsmateriaal tussen de staalplaten.

exact overeen met de berekende waarden. Bij de metingen onder de brug gold dit alleen voor 125 en 250 Hz. De reductie bij 63 Hz was met $\pm 2,5$ dB aanmerkelijk kleiner dan de voorspelde 8,1 dB. Deze tegenvaller was voor Rijkswaterstaat aanleiding om vervolgonderzoek naar de oorzaak van de verschillen uit te laten voeren. Overigens is de

beperkte reductie bij 63 Hz in de praktijk minder erg dan het lijkt, omdat voor de totale hinderbeleving ook de hogere frequenties meetellen waarbij de eis is gehaald.

Oorzaak en gevolg

Vervolgonderzoek naar deze onverwachte uitkomst resulteerde in drie oorzaken voor



Oud val tijdens vervanging Kruiswaterbrug, met vier dwarsdragers.

de verschillen tussen het berekende en gemeten effect. De eerste is klankkasteffect. Door de afmetingen van de ruimte onder het brugdek en de harde oppervlakken worden bepaalde geluidfrequenties versterkt. De vrije doorvaarhoogte is 2,9 m en dat is precies de golflengte van geluid van 60 Hz: deze geluidgolven tussen onderkant dek en het wateroppervlak gaan weerkaatsen. Ook in het horizontale vlak is sprake van weerkaatsing. De afstand tussen de brugwanden is 7,9 m, wat overeenkomt met de golflengte van geluid van 41 Hz en twee keer de golflengte van 82 Hz. Door de forse invloed van dit klankkasteffect is het dus raadzaam om hiermee rekening te houden.

De tweede oorzaak komt door de simulatie van de geluidbelasting in het rekenmodel. Bij de Kruiswaterbrug moest dat op zes posities op het brugdek gebeuren, waarna de berekende waarden moesten worden gemiddeld. Dat leidde ertoe dat het effect van een maatgevende positie werd 'weggemiddeld'. De derde oorzaak betreft de microfoonpositie. Vooral bij lage geluidfrequenties luistert deze nauw. Een kleine variatie kan tot aanzienlijke verschillen leiden. Op basis van de drie gevonden oorzaken zijn aanbevelingen gedaan voor het aanpassen van de rekenmethode, resumerend:

- opnemen van klankkasteffect;
- behalve het middelen van resultaten van belastingposities, ook de resultaten van belangrijke belastingposities individueel

Geluidafstraling

Als een trillend oppervlak in contact staat met lucht, gaat ook de omringende lucht trillen en ontstaat er geluid. Bij staalconstructies zijn vooral de buiggolven in plaatdelen verantwoordelijk voor de geluidafstraling. De mate van geluidafstraling hangt grotendeels af van de volgende aspecten.

1. Het trillingsniveau. Een hoger trillingsniveau in de constructie leidt ook tot een hoger trillingsniveau in de lucht en daarmee tot meer geluid.
2. De grootte van het afstralende oppervlak. Hoe groter het trillende oppervlak, hoe meer lucht er gaat trillen en hoe meer geluid er wordt geproduceerd.
3. De afstraalefficiëntie. De afstraalefficiëntie bepaalt in hoeverre trillingen worden omgezet in geluidgolven. Als de buiggolflengte in een staalplaat korter is dan de lengte van de geluidgolf in de omringende lucht, dan doven de pieken en dalen van de buiggolf elkaar uit en is er sprake van inefficiënte geluidafstraling, ook wel akoestische kortsluiting genoemd. Plaatdelen stralen hierdoor bij lage frequenties minder efficiënt geluid af dan bij hoge frequenties. Verder stralen slappe platen bij lage frequenties minder geluid af dan stijve platen.

Voor de afstraalefficiëntie bemoeilijkt het optimaliseren van de geluidemissie van constructies als brugdekken. Zo zorgt het verstijven van de constructie tot een lager trillingsniveau, maar tegelijkertijd kan het ook leiden tot een hogere afstraalefficiëntie, waardoor de geluidemissie maar beperkt afneemt. Om dit soort effecten beter te kunnen voorspellen, moet de kwaliteit van modellen omhoog. Rijkswaterstaat wil in dat kader fundamenteel onderzoek laten uitvoeren. Daarnaast zijn pilotprojecten met geluidreducerende maatregelen nodig bij bestaande en nieuw te bouwen bruggen om de modelontwikkeling en de effecten van maatregelen te kunnen valideren.

toetsen, belangrijke posities zijn bij de overgangen van het brugdek;

- meerdere microfoonposities beschouwen.

Geluidreductie mogelijk

De casus laat zien dat geluidemissie van stalen bruggen omlaag kan en dat renovatie of vervanging een geschikt moment daarvoor is. Tegelijkertijd is duidelijk dat een aantal geluidreducerende maatregelen niet automatisch leidt tot het gewenste resultaat. De aanpak met FEM- en BEM-berekeningen is

momenteel de meest aangewezen methode om bij laagfrequent geluid kwantitatief te voorspellen welk effect een (aangepast) brugontwerp heeft. Maar de berekeningen zijn complex. Verder moet bij basculebruggen rekening worden gehouden met het extra gewicht van geluidreducerende maatregelen. Als een nieuw dek zwaarder wordt, bijvoorbeeld door een sandwichbeplating, moet ook het contragewicht en de basculekelder waarin het gewicht beweegt, worden aangepast. Dat is vaak lastig en kostbaar. •