



een zingende brug als geluidhinderprobleem

ing. C.A. Nierop Azn.

M + P Akoestische Adviseurs BV,
Amstelveen

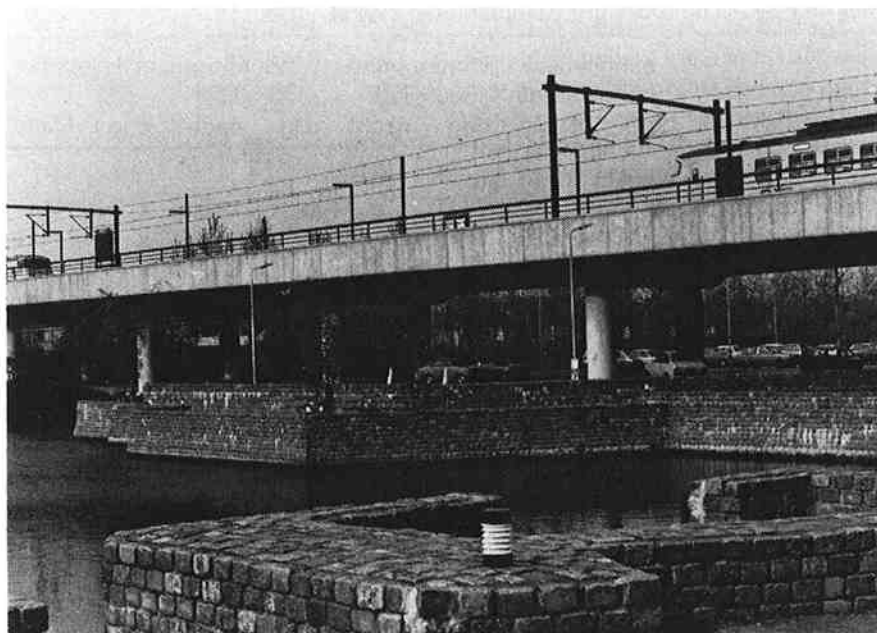
Een niet alledaags akoestisch probleem deed zich voor bij een brugconstructie. Bij een sterke wind werd één zware zwevende bromtoon opgewekt, die geluidhinder naar de omwonenden veroorzaakte. Het onderhavige artikel geeft een beschrijving van de wijze waarop dit probleem werd aangepakt en opgelost.

inleiding

Omwonenden van het Meerzichtviadukt te Zoetermeer (fig. 1) werden regelmatig bij harde wind vanuit een richting dwars op de brug uit hun slaap gehouden door een doordringende zwevende bromtoon. Deze bromtoon bleek afkomstig te zijn van het nieuw gebouwde spoorwegviadukt. Het bleek uiterst moeilijk te zijn om de oorzaak van het geluid zonder meer aan te wijzen gezien het feit dat de lage bromtoon geen richtingsinformatie bevatte en ook van plaats tot plaats sterk varieerde. Derhalve werd het, om zinvolle maatregelen te kunnen treffen, noodzakelijk geacht het geluidprobleem fundamenteeler aan te pakken, waarbij in eerste instantie op theoretische gronden mogelijke oorzaken werden vastgesteld.

mogelijke oorzaken van het geluid

Na grondige bestudering van de constructie van de brug werd geconcludeerd, dat een van de meest waarschijnlijke oorzaken van het 'zingen' van de brug gelegen was in een Helmholtz-effect, veroorzaakt door de tussen de T-liggers omsloten ruimte en de spleet tussen de flenzen van de T-liggers (fig. 2). Dit effect kan men vergelijken met het aanblazen van een lege bierfles. In principe wordt een Helmholtz-resonator gevormd door een massa-veersysteem, waarbij de massa bestaat uit de lucht in een doorsnedevernauwing en de veer uit een daarachter liggend luchtvolume, zoals in figuur 3 schematisch is voorgesteld. Een dergelijke resonator is, zoals bij een massa-veersysteem als bekend mag worden veron-



1. Meerzichtviadukt Zoetermeer (de 'zingende' brug).

dersteld, werkzaam in één scherp afgebakend frequentiegebied, de resonantiefrequentie van het systeem, zoals in figuur 4 duidelijk te zien is. Deze eigenfrequentie van het systeem, dat wil zeggen die frequentie waarbij de piek uit figuur 4 optreedt, kan worden berekend met vergelijking (1):

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(l_0 + 2\Delta l)}} \quad [\text{Hz}] \quad (1),$$

waarin:

c = geluidssnelheid [m/s];

S = oppervlak van de hals [m^2];

V = volume van de kamer [m^3];

l_0 = lengte van de hals [m];

Δl = mondingscorrectie [m].

In de onderhavige situatie wordt de massa gevormd door de luchtmasa in de spleet tussen de flenzen van de T-ligger, en de veer door het luchtvo-

lume tussen de T-liggers (fig. 2). De mondingscorrectie $2\Delta l$ kan voor dit specifieke geval worden benaderd door $b_{s, \max}$, dit is de grootste breedte van de hals. Voorts kan, wanneer de randeffecten aan het einde van de liggers worden verwaarloosd, de constructie worden benaderd door een oneindig lange Helmholtz-resonator.

Als de lengte van de liggers L [m] wordt genoemd, dan wordt het halsoppervlak S [m^2], respectievelijk het volume V [m^3] van vergelijking (1) gegeven door:

$$S = L \cdot b_s \text{ en}$$

$$V = L \cdot S_v,$$

met:

b_s = breedte van de halsopening (spleet) [m] en S_v = doorsnede van het volume [m^2].

Substitutie van S en V in vergelijking (1), tezamen met de benadering voor de mondingscorrectie leidt tot:

2. Constructie van het spoorwegviadukt.

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{b_s}{S_v (l_0 + b_{s, \max})}} \text{ [Hz]} \quad (2).$$

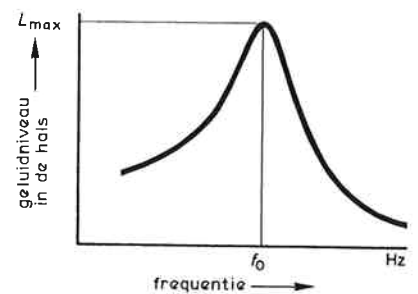
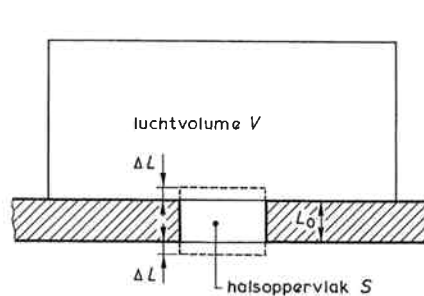
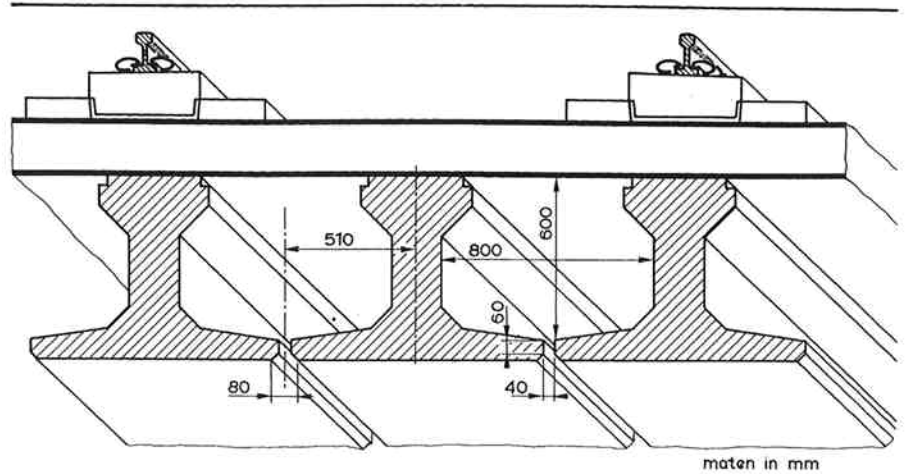
Voor de onderhavige situatie wordt met:

$S_v = 80 \cdot 60 \text{ cm}^2$, $b_s = 4 \text{ cm}$, $b_{s, \max} = 8 \text{ cm}$ en $l_0 = 6 \text{ cm}$, de resonantie-frequentie van het Helmholtz systeem berekend op $f_0 = 42 \text{ Hz}$.

Om de minimale windsnelheid te bepalen waarbij de bromtoon kan worden opgewekt, moet rekening worden gehouden met de trechtervormige opening van de spleet. Deze windsnelheid kan bij benadering worden berekend met behulp van:

$$v_0 = \frac{f_0 \cdot b_{s, \max}}{0,5} \cos \alpha \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

met: α als hoek waaronder de wind op de spleet inblaast. Voor $\alpha = 0$ wordt een minimale windsnelheid berekend van $v_0 = 7 \text{ m/s}$. Hierbij is het van belang te weten dat de windsnelheid wordt bepaald in het vlak van de spleet. Door wrijvingen zal de windsnelheid direct aan de grenslaag met de T-ligger lager zijn dan de vrije winduitbreiding.

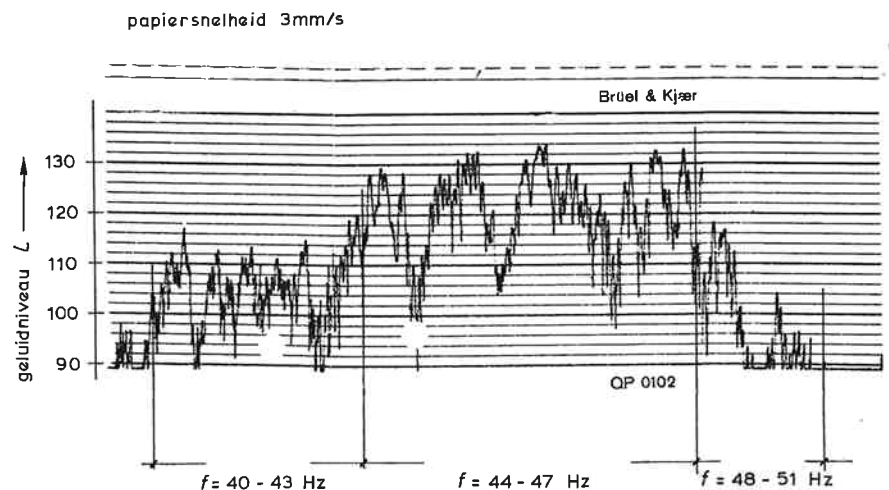


3. Brugliggers, als Helmholtzresonator geschematiseerd.

4. Resonantiekromme van een op f_0 afgestemde Helmholtzresonator.

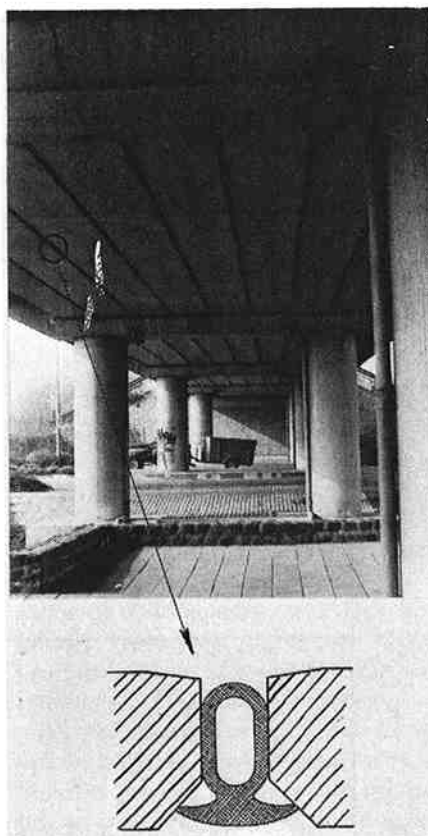
praktische beproeving van de hypothese

Indien de hierboven gegeven hypothese correct was, moest in de spleet tijdens het optreden van de bromtoon een extreem hoog geluidniveau aanwezig zijn, en wel nabij de berekende resonantiefrequentie $f_0 = 42 \text{ Hz}$. Dit niveau zou bij benadering 120 dB of hoger kunnen zijn. Alvorens voorzieningen vast te stellen werd het zinvol geacht dit door metingen te verifiëren. Deze metingen werden verricht op een tijdstip dat het effect werd geconstateerd, bij een windsnelheid van 12 ... 15 m/s. De onder, respectievelijk in de spleet optredende geluidniveaus werden op band geregistreerd en later in het laboratorium uitgewerkt. Uit de analyse van het op band opgenomen signaal wer-



den met behulp van een smalle-band-analysator de optredende geluidniveaus en de frequentie f_0 bepaald. Gemeten werden de volgende maximale niveaus:

5. Het in de frequentiebanden 40 ... 43 Hz, 44 ... 47 Hz en 48 ... 51 Hz gemeten geluidniveau in de ruimte tussen de T-ligger, afhankelijk van de tijd.



6. Aanzicht onderzijde brug met door middel van neopreen profielen afgedichte spleten.

direct onder de hals (spleet):

$$L_{\max} = 120 \text{ dB};$$

tussen de flenzen van de T-liggers:

$$L_{\max} = 115 \text{ dB(A)};$$

in de ruimte tussen de T-liggers:

$$L_{\max} = 135 \text{ dB}.$$

Deze maximale niveaus werden geregistreerd bij een frequentie van: $f_0 = 45 \text{ Hz}$, terwijl direct buiten deze frequentie de niveaus afnamen. Tevens werd een sterke fluctuatie in niveau geregistreerd, hetgeen overeenkwam met de op subjectieve gronden waargenomen zweving van het geluid. In figuur 5 is dit niveau, zoals rond de 45 Hz frequentieband werd geregistreerd, weergegeven. Tevens is de zweving duidelijk te zien.

Wanneer de door metingen gevonden resultaten werden vergeleken met de aan de hand van de hypothese uitgesproken verwachting dan kon een zeer goede overeenstemming worden gevonden. Op basis hiervan kon worden gesteld dat het Helm-

holtz-effect inderdaad de oorzaak was van het geluidhinderprobleem. Door het onderzoek op deze doelgerichte wijze aan te pakken konden de voorzieningen specifiek voor dit probleem worden ontworpen zodat de kosten van de maatregelen in relatie tot het te bereiken effect werden geoptimaliseerd.

getroffen maatregelen

Uit het onderzoek kwam naar voren dat het probleem, vanuit de te treffen voorzieningen geredeneerd, op eenvoudige (en dus relatief goedkope) wijze kon worden opgelost. De maatregelen bestonden in principe uit het dichtzetten van de spleten tussen de flenzen van de liggers. Deze voorziening, waarbij gebruik is gemaakt van een afdichtingsprofiel, is duidelijk op de foto van figuur 6 te zien. De bromtoon is inderdaad sindsdien niet meer opgetreden.

cursus lawaai- beheersing

In aansluiting op de in juni jongstleden gehouden driedaagse cursus 'Industrial and Machinery Noisy Control Practice' organiseren de Bond voor Materialenkennis en de Stichting Bijzondere Cursussen een vierdaagse leergang: Noise control for the environment and industry. Deze leergang wordt gepresenteerd door: Dr N.A. Halliwell, professor J.B. Large en Professor E.J. Richards van het 'Institute of Sound and Vibration Research' van de universiteit van Southampton. Het programma omvat:

- De eerste dag: Noise in the environment and in work: The ear and deafness, door Professor E.J. Richards.
- De tweede dag: Introductory Lecture over Noise Units, Measurement, Materials for Noise Control, door Dr N.A. Halliwell.
How noise is created, a theoretical introduction to machinery noise, door Professor. E.J. Richards.
The environmental Impact of Noise: Prediction, Assessment, Human Response, Sources, Prediction & Control of Road Transportation Noise, door Professor J.B. Large.
- De derde dag:
Planning to reduce Noise in the Neighbourhood caused by railways, construction and road traffic noise; Airport noise and airport planning and examples, door Professor J.B. Large.
Sources of Noise in Machinery, door Professor E.J. Richards.

Noise from Punch Presses and Heavy Machinery, door Dr. N.A. Halliwell.

- De vierde dag:
Diesel Engine Noise for Fan Noise, door Professor E.J. Richards.
Noise from Jets, Furnaces en Noise from enclosed sources, pipes, enclosures, valves, door Dr. N.A. Halliwell.
Examples of Noise Reduction in the Factory and in the Environment, door Professor E.J. Richards.

Deze leergang wordt gehouden van 28 tot en met 31 oktober 1980 in het SBC-conferentieoord 'Huize het Laar' te Ommen. Inlichtingen verkrijgbaar bij: Stichting Bijzondere Cursussen, Postbus 415, 3330 AK Zwijndrecht; telefoon (078) 19 40 00. Contactpersoon Stichting Bijzondere Cursussen: de heer G.P. Giesberts.