

Uitgewerkt ontwerp voor een stille modulaire betonweg vanuit geluidtechnische uitgangspunt

W. van Keulen
VANKEULEN advies bv, Vlijmen

J. van Keulen
Civiele Techniek en Milieu, Dalen

1. Inleiding

In een andere paper (91) is aangetoond dat door anders om te gaan met verschillende constructies en materialen oplossingen kunnen ontstaan welke nooit waren ontstaan indien uitgegaan was van bestaande ideeën.

Door gebruik te maken van de eigenschappen van beton kunnen concepten bedacht worden die een hoge geluidreductie combineren met een lange levensduur.

Uitgaande van de gestelde technische en gebruikerseisen wordt een constructie samengesteld waarbij ieder onderdeel ervan is geoptimaliseerd met betrekking tot materiaal- en constructie-eigenschappen per functie of functionele eigenschap. Dit is alleen mogelijk indien niet van een specifieke bouwstof wordt uitgegaan maar simultaan van de gewenste eigenschappen van verschillende bouwstoffen. In deze paper wordt een dergelijk ontwerpproces nader uitgewerkt tot een technisch concept.

De volgende uitgangspunten zijn hier gehanteerd:

- Hoge geluidreductie
- Snelle aanleg, modulair
- Duurzaam (lange levensduur)

In deze paper zijn alle genoemde geluidreducties ten opzichte van de Referentie uit CROW-publicatie 316.

2. Hoge geluidreductie

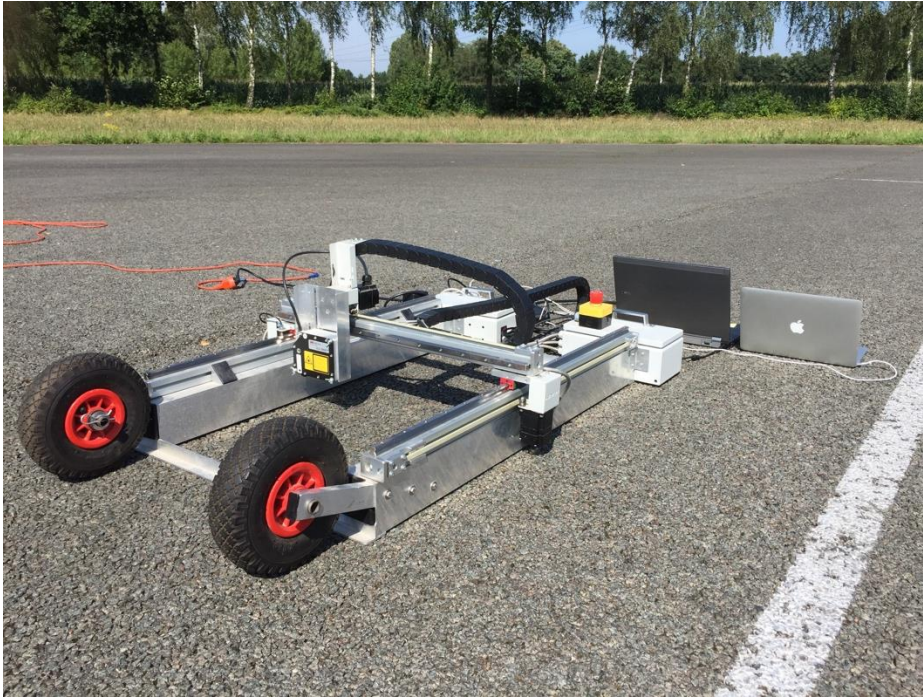
Voor een hoge geluidreductie is de belangrijkste parameter de textuur van het oppervlak van de verharding. Hoe fijner de textuur hoe minder geluidemissie. Hierbij komt bij dat de aard van het geluid verbetert. De tweede parameter waarna we in deze paper kijken, is absorptie welke gehaald wordt uit resonantie elementen.

Insteek voor het concept is dat met de conventionele technieken de grenzen van de haalbare geluidreductie zijn benaderd. Weliswaar is middels doorontwikkeling op het gebied van 2-laags zoab-varianten nog een extra geluidsreductie mogelijk, maar de duurzaamheid van het wegdek komt daarmee steeds meer onder druk te staan.

Het geluid wordt gereduceerd door toevoeging van een speciale geluidreducerende constructie: de Helmholtzresonator. Deze resonator maakt het mogelijk om specifieke frequenties uit het aanwezige geluid te absorberen. Voor een maximale beperking van het geluid moet worden gekeken naar een wegdek met een minimale emissie en een maximale absorptie van dié frequenties die het meest bijdragen aan de overlast.

2.1 Textuur

Om de initiële geluidsemisatie zo laag mogelijk te maken, wordt gebruik gemaakt van een opgelegde textuur. Dit houdt in dat er uitgegaan moet worden van een stijf niet-visco-elastisch materiaal. Hiermee is de keus voor cementbeton verklaard. De optimale textuur kan verkregen worden uit de Akoestische Optimalisatie Tool SIROTOL. Deze tool is samen met de TU Delft ontwikkeld en heeft bewezen een zeer hoge nauwkeurigheid te bezitten van +/- 0,1 dB(A). Omdat SIROTOL een parametermodel is en geen gesloten mathematisch model is, is recursief rekenen wel mogelijk maar ook tijdrovend. Verder is de vraag zoals bij alle recursieve methoden of er geen lokaal in plaats van globaal optimum gevonden wordt. Daarom wordt er een tussenstop ingelast: van een bestaande bitumineuze dunne deklaag met zeer gering percentage holle ruimte wordt met behulp van van een laser de textuur in 3D gemeten met een nauwkeurigheid van 0,1 mm. In figuur 1 staat een voorbeeld van een dergelijke zeer nauwkeurige laser textuurmeter.



figuur 1: laser textuurmeter van de TU Delft/VANKEULEN advies

De aldus gemeten 3D textuur wordt geanalyseerd en geoptimaliseerd in SIROTOL, vervolgens geïnverteerd en daarna in de bodem van een mal aangebracht dmv van een numerieke frees of een 3D printer. De afdruk van de textuur komt dan weer positief bovenop het betonnen prefab element. Hiermee is de textuur en de daarmee te verwachten geluidreductie identiek aan die van de oorspronkelijke dunne deklaag.

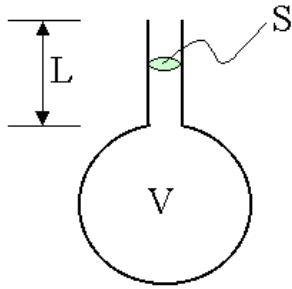
2.2 Absorptie

De absorptie wordt verkregen door resonantie in de constructie. Hierbij wordt uitgegaan van pseudo-oneindig lange resonatoren. Hierdoor zijn randeffecten verwaarloosbaar. Omwille van de constructie (zie volgend hoofdstuk) liggen de resonatoren in de lengterichting, dus met de rijrichting mee. Het negatieve effect van overbruggingen wordt meegenomen in de oppervlakte dichtheid van de resonatoren.

Kort gesteld komt de werking van de resonator neer op het volgende: uit het aanwezige geluid wordt de energie van specifieke frequenties opgenomen waardoor deze uit de oorspronkelijke geluidsgolf verdwijnt. De Helmholtz resonator wordt gevormd door een "veer" (de samendrukbare lucht in de buik van de resonator) en een "massa" (de lucht in de hals van de resonator plus een bijdrage van de luchtmasa direct voor en achter de hals). Afhankelijk van de geometrie van de constructie wordt de energie van een specifieke frequentie geabsorbeerd en omgezet in warmte. Het grote voordeel van de resonator is dat deze specifieke frequenties uit het geproduceerde geluid kan absorberen. Dit is met de gangbare wegebouwtechnieken vrijwel onmogelijk. De eigenfrequentie f_0 van een Helmholtzresonator wordt gegeven door (zie ook figuur 2):

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(l + \Delta l)}},$$

met c : de geluidssnelheid (344 m/s), S : oppervlak van de mond, V : volume van de holte, L : lengte van de mond

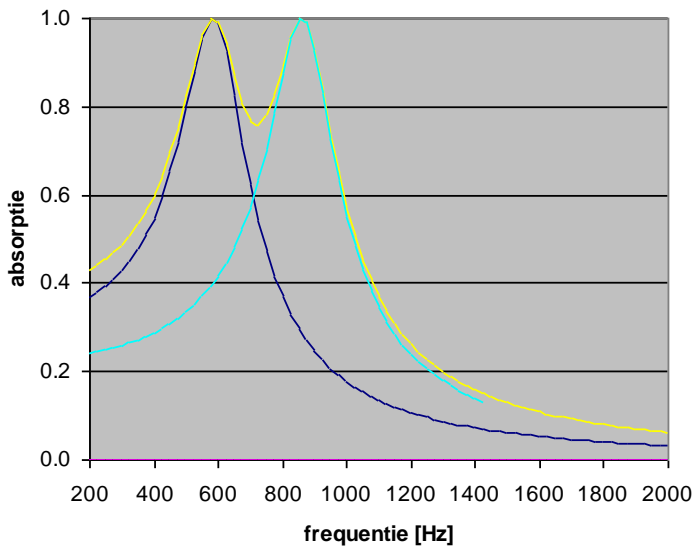


figuur 2: parameters van een Helmholtzresonator

Voor een pseudo-oneindig lange ligger met lengte L geldt $S = L b$, met b de breedte van de spleet en geldt $V = L A$, met A de doorsnede van het volume. Invullen levert dan:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{b}{A(l + \Delta l)}}$$

In figuur 3 staat een typisch voorbeeld van een absorptiekromme van twee resonatoren volgens de bovenstaande formule.



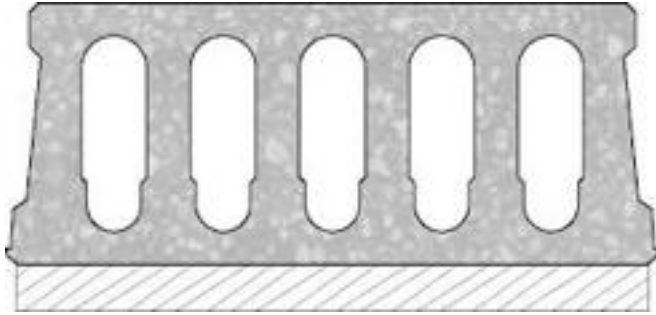
figuur 3: Absorptiekromme van twee resonatoren getuned op de gewenste frequenties

Door de spleet zal het onder de band lucht kunnen wegstromen zodat er een significante onderdrukking is van airpumping geluid. Ook andere verder hier verder niet genoemde mechanismen zullen gunstig door deze oppervlakte porositeit worden beïnvloed.

3. Constructies in beton

De Helmholtzresonator, volgens figuur 2 kan eenvoudig in betonelementen uitgevoerd worden. Bij de toepassing van dragende elementen in de woning- en utiliteitsbouw worden geprefabriceerde kanaalplaten toegepast; de lange kanalen zijn hierbij de basis voor de Helmholtzresonator. De kanalen kunnen op elke gewenste afmeting gekozen worden en de vorm

kan rond, ovaal en rechthoekig zijn. Zie figuur 3 voor een voorbeeld.



figuur 4: betonelementen voor de creatie van Helmholtzresonatoren. Hierbij zijn de monden nog niet aangegeven.

De betonelementen worden in een zogenaamd lange-bank systeem in een vaste of in een mobiele fabriek (veldfabriek) als voorgespannen beton vervaardigd met hoge drukvastheden en zijn snel toepasbaar (geconditioneerde omstandigheden).

De lengte en de breedte van de elementen zijn variabel en worden bepaald door bijvoorbeeld randvoorwaarden met betrekking tot transport.

Gewapend beton gedraagt zich bij belasting elastisch, derhalve is er geen permanente vervorming te verwachten bij een lijnbelasting en de vervorming over de lange lengte kan opgevangen worden door voldoende voorspanning en door de tegendruk van de ondergrond.

3.1 Afmetingen

De breedte van de elementen worden afgeleid van de breedte van een weg of een rijstrook. De (werkende) lengte wordt bepaald door de belasting (het verkeer), de draagkracht van de ondergrond (beddingconstante) en de toe te passen hoogte.

De hoogte (de dikte) van de elementen is eveneens te variëren en omvat een integrale fundatie, tussen- en deklaag. De afwerking aan de bovenzijde kan op diverse manieren afgewerkt worden waarmee de oppervlaktetextuur bepaald kan worden m.b.t. extra geluidreductie en noodzakelijke stroefheid voor het verkeer (zie hoofdstuk hiervoor).

3.2 Transport en montage

De betonelementen kunnen via transport over de weg en het water met en zonder ontheffing eenvoudig aangevoerd en gelost worden met een mobiele kraan, voorzien van een evenaar.

24 uur per dag een gegarandeerde aanvoer en snelle montage volgens een van te voren vastgesteld legplan.

3.3 Voegen

De zijwanden van de elementen zijn dusdanig vorm gegeven dat na montage een langsvoeg ontstaat die als de “mond” een Helmholtzresonator functioneert. Op deze wijze ontstaat over het gehele lengteprofiel een resonator.

De noodzakelijk dwarsvoegen (de verbinding van de elementen in langsrichting) kunnen uitgevoerd worden met prefab hulpstukken dan wel met een natte voeg, waarbij de kanalen oneindig lang en de elementen constructief gekoppeld worden met enkele bruggen. Deze hebben

nauwelijks invloed op de akoestische resonantie.

3.4 Hemelwater

De afvoer van hemelwater kan op eenvoudige wijze via de spleten en de kanalen afgevoerd worden in zowel langs- en dwarsrichting en opgevangen worden in prefabputten.

3.5 Vorst

Bij winterse omstandigheden kunnen de elementen verwarmd worden middels een elektrische stroom die door de wapening gevoerd wordt of middels verwarmd water dat via de kanalen wordt geleid (hergebruik van hemelwater en ingestorte zonnecollectoren).

3.6 Optische begeleiding

Beton bezit twee kleuren: donkergrijs bij nat weer en lichtgrijs bij droog weer). Met de huidige betontechnologie is de mogelijk aanwezig om licht gekleurde beton te maken en in de samenstelling reflecterend materiaal toe te voegen (geen afwerklaag!!!!!!), bv gemalen glas.

Op deze wijze ontstaat een oplichtende weg dat de verkeersveiligheid ten goede komt en een besparing oplevert van de openbare verlichting.

4. Conclusies

De in deze paper voorgestelde prefab constructie maakt modulair bouwen mogelijk. Dit beperkt de afsluiting van een weg significant. Verder is de levensduur 30 jaar of meer met behoud van de gunstige akoestische eigenschappen. Uiteraard is er een tal van andere functionaliteiten welke in het ontwerp kunnen worden meegenomen. Voor de invulling van deze functies worden de volgende zaken onderscheiden:

- autonome intelligentie,
- detectie,
- signalering,
- communicatie,
- voertuigondersteuning.

De geluidreductie van de toplaag zal variëren tussen de 4 en 6 dB(A) afhankelijk van de snelheid. Optimalisatie van de textuur zal ongeveer 1 dB(A) winst opleveren hetgeen ongeveer gecompenseerd zal worden door de hogere mechanisch impedantie van beton ten opzichte van asfalt.

Het effect van de resonatoren bedraagt 3 tot 5 dB(A) afhankelijk van de snelheid. Hiermee komt de totale geluidreductie vanwege optimale textuur en absorptie op 7 – 11 dB(A) afhankelijk van de snelheid.