

# GELUIDSISOLATIE TUSSEN TWEE VERTREKKEN

## INLEIDENDE BEGRIPPEN

Bart Ingelaere, ir., hoofd van het laboratorium Akoestiek, technologisch adviseur (\*)

(\*) Technologische Adviseerdienst "Bouwakoestiek", gesubsidieerd door de Gewesten.

Met dit eerste, theoretische artikel wordt een reeks artikelen over de luchtgeluidsisolatie tussen twee ruimten ingeleid. Basisbegrippen en grootheden worden er uitgelegd en het wordt snel duidelijk dat de geluidsoverdracht tussen twee aangrenzende kamers niet zo eenvoudig is als algemeen wordt aangenomen. Binnen ditzelfde nummer vindt men dan een eerste "toegepast" artikel in verband met houten vloeren als woningscheidende constructies. Toekomstige bijdragen zullen betrekking hebben op gemene muren tussen rijwoningen, gemene muren en vloeren tussen appartementen enz.

## 1 INLEIDING

De problematiek van burenlawaaihinder (in woningen, kantoren, hotels enz.) wordt behandeld in de Belgische bouwakoestische normen NBN S 01-400:1977 en NBN S 01-401:1987. Beide documenten worden echter binnenkort vervangen door normen met strengere prestatieaanbevelingen, zoals nu reeds het geval is in onze buurlanden. Het doel is aldus te komen tot constructies waarvan het akoestische comfort ten aanzien van burenlawaai dichter aanleunt bij het werkelijk ervaren comfort.

Het bouwakoestische onderzoek bij het WTCB richt zich naar onderzoeksresultaten die het mogelijk moeten maken bouwrichtlijnen op te stellen voor constructies die beantwoorden aan deze nieuwe prestatieaanbevelingen. Omgekeerd wordt ook het technische en economische realisme van eventuele prestatie-eisen onderzocht.

## 2 BASISPRINCIPES

Beschouwen we twee aangrenzende balkvormige ruimten (een zendruimte en een ontvangstruimte). De totale constructie, uitgevoerd volgens vooropgestelde richtlijnen, moet ervoor zorgen dat, wanneer er in de zendruimte veel lawaai gemaakt wordt, er in de ontvangstruimte zo weinig mogelijk van te horen is. Met andere woorden we proberen de *niveaureductie* (geluidsniveau zendruimte – geluidsniveau ontvangstruimte) te maximaliseren.

Maar hoe ontstaat het geluid in de ontvangstruimte ?

In dit hoofdstuk leggen we dit op een wat "plastische" wijze uit, om het daarna meer wetenschappelijk aan te pakken.

Het geluid uit de zendruimte dringt door tot de ontvangstruimte waar het wordt afgestraald door de constructie. Dit kan men vergelijken met het afstralen van het geluid door luidsprekers naar een ontvangstruimte.

Velen denken dat het geluid enkel afgestraald wordt door de gemene muur of vloer. Dit is echter niet het geval. Alle begrenzend wanden van de ontvangstruimte stralen immers lawaai af. Dit kan men horen wanneer men met het oor tegen de wanden luistert. Meestal is het geluid slechts zwak hoorbaar, maar speelt het wel degelijk een rol in het totale geluidsniveau van de ontvangstruimte.

Het volgende beeld zal dit fenomeen wellicht verduidelijken.

□ Elke m<sup>2</sup> van de wanden van de ontvangstruimte kan voorgesteld worden door een luidsprekertje. De luidsprekertjes van de scheidingswand zenden het geluid krachtig uit, deze van de andere wanden zenden het geluid een stuk zwakker uit.

□ Alleen zijn er veel meer m<sup>2</sup> niet-scheidende wanden, dus stil spelende luidsprekertjes. Hoewel ze elk individueel geluid zwak afstralen, kunnen ze samen voldoende geluid afstralen om in vergelijking met de luidsprekers van de scheidingswand een groot (en voor bepaalde constructies soms een dominant) aandeel te hebben in de geluidsoverdracht.

□ Wanneer in een bepaald geval enkel de scheidingswand akoestisch wordt verbeterd, schakelt men daarbij de luidsprekertjes van de andere wanden niet uit. Vandaar dat de akoestische “renovatie” niet altijd vruchten blijkt af te werpen of op zijn minst niet tot het verhoopte resultaat leidt.

Uit het voorgaande blijkt dat alle wanden geluid afstralen, waardoor binnen de ontvangstruimte een zeker geluidsniveau ontstaat. We voelen echter ook aan dat het resulterende geluidsniveau als gevolg van het afgestraalde geluid ook afhangt van de eigenschappen van de ontvangstruimte zelf, bv. zijn grootte en zijn “absorptie”.

Ook hier kan een beeld gebruikt worden om dit te verduidelijken. We beschouwen het geval van een lichtbron, bv. een gloeilamp van 100 W, die we aanbrengen in een kamer van 4 m x 4 m x 3 m. Als we alle wanden in het wit schilderen, zal het resulterende lichtniveau in de kamer hoog zijn. Indien we alle muren, plafonds en vloeren zwart schilderen, zal het resulterende lichtniveau als donker ervaren worden. Blijven we een bepaalde beschildering van de wanden behouden, maar vergroten we aanzienlijk het volume van de kamer, dan moet het licht zich verdelen over een groter volume. Het wordt dan ook donkerder.

Keren we nu terug naar het geluid : voor eenzelfde afgestraald geluidsvermogen (naar analogie met de gloeilamp van 100 W) zal in een kamer met veel geluidsabsorberende materialen (bv. gordijnen, tapijten en ander meubilair met een poreuze, luchtdoorlatende structuur) een geringer geluidsniveau tot stand komen (vergelijk de kamer met zwart geverfde wanden). Ook wanneer de ruimte groter wordt, zal voor eenzelfde afgestraald geluid het totale geluidsvermogen in de ruimte afnemen. Naar analogie met de luidsprekers kan men aanvoelen dat met eenzelfde afgestraald geluidsvermogen door een luidspreker het geluidsniveau in de ruimte steeds kleiner wordt, wanneer het volume van de ruimte vergroot.

Met dit inleidende verhaal begrijpt men beter hoe het geluidsniveau in de ontvangstruimte

ontstaat. De niveaureductie hangt in grote lijnen af van :

- ◆ het totale afgestraalde geluid door alle wanden van de ontvangstruimte (dus niet alleen door de scheidingswand) : dit wordt gedetailleerd besproken in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3
- ◆ de ontvangstruimte zelf, namelijk haar volume en de aanwezige absorptie (hoofdstuk 4).

In hoofdstuk 5 gaan we dieper in op de grootheden waarmee de geluidsisolatie tussen twee kamers wordt gekarakteriseerd of waarmee de eisen worden gesteld. Bij bestekken, bij de oplevering of ook nog bij problemen is het natuurlijk belangrijk te begrijpen wat men met deze grootheden bedoelt.

### 3 GELUIDS- OVERDRACHT- WEGEN TUSSEN TWEË RUIMTEN

Het nogal plastische verhaal hierboven geeft een schets van de geluidsover-

dracht tussen twee ruimten. Om de zaken iets wetenschappelijker te bekijken, dienen we terug te grijpen naar de basistheorie over het geluid.

Wat we als geluid waarnemen in een punt van de ruimte, bestaat uit kleine, wisselende en opeenvolgende over- en onderdrukken ten opzichte van de atmosferische druk, die ons trommelvlies doen trillen. Ook de omhullende muren en vloeren van de kamer waarin het geluid aanwezig is, worden in trilling gebracht door de invallende geluidsgolven <sup>(1)</sup> : er ontstaan zogenaamde gedwongen buiggolven in de wand volgens het spoor van de invallende geluidsgolven.

Deze gedwongen buiggolven hebben volgende werkingen :

- ◆ ze dwingen de luchtdeeltjes aan de andere zijde van de wand ook in luchtgeluidsgolven : de invallende luchtgeluidsgolven vervolgen aldus (heel) verzwakt hun oorspronkelijke voortplantingsrichting. Dit noemt men het mechanisme van de *directe geluids-*

<sup>(1)</sup> De invallende geluidsgolven projecteren opeenvolgende zones van over- en onderdrukken ten opzichte van de atmosferische druk, die zich verplaatsen met de projectie (invalshoek van het geluid) van de lichtsnelheid. Deze over- en onderdrukken dwingen de wand in een buiggolfvorm die zich verplaatst met de projectie van de lichtsnelheid *c*, d.w.z. met een snelheid die minstens gelijk is aan de lichtsnelheid *c* (afhankelijk van de invalshoek). De beweging van de deeltjes staat loodrecht op de voortplantingsrichting van de buiggolf. Het zijn dus transversale golven, in tegenstelling tot de longitudinale voortplantingsrichting van het geluid in de lucht. De afstraling van deze gedwongen buiggolven (bv. wanneer de wand een vloer is) naar de ruimte onder de vloer (hoofddeel van de directe geluidstransmissie) gebeurt efficiënt (afstralingsgraad = 1) : de afgestraalde over- en onderdrukken verplaatsen zich immers opnieuw met de lichtsnelheid.

*overdracht*

- ◆ uiteindelijk botsen de gedwongen buiggolven op de aansluitingen met andere wanden. Hierin ontstaan door de lijnexcitatie andere trillingen (zwakker dan deze aan de zenzijde wegens een zekere verbindingsdemping), meer bepaald vrije buiggolven die zelf ook lawaai afstralen <sup>(2)</sup>. Dit wordt het mechanisme van de *flankerende geluids-overdracht* genoemd.

Beschouwen we nog even twee aangrenzende balkvormige ruimten, begrensd door vier over de twee ruimten doorlopende wanden. De geluidsoverdracht tussen beide ruimten resulteert uit de directe en de flankerende geluidsoverdracht.

De directe geluidsoverdracht “Dd” (dikke pijl op afbeelding 1) is wat iedereen het best kent en vergt geen verdere uitleg.

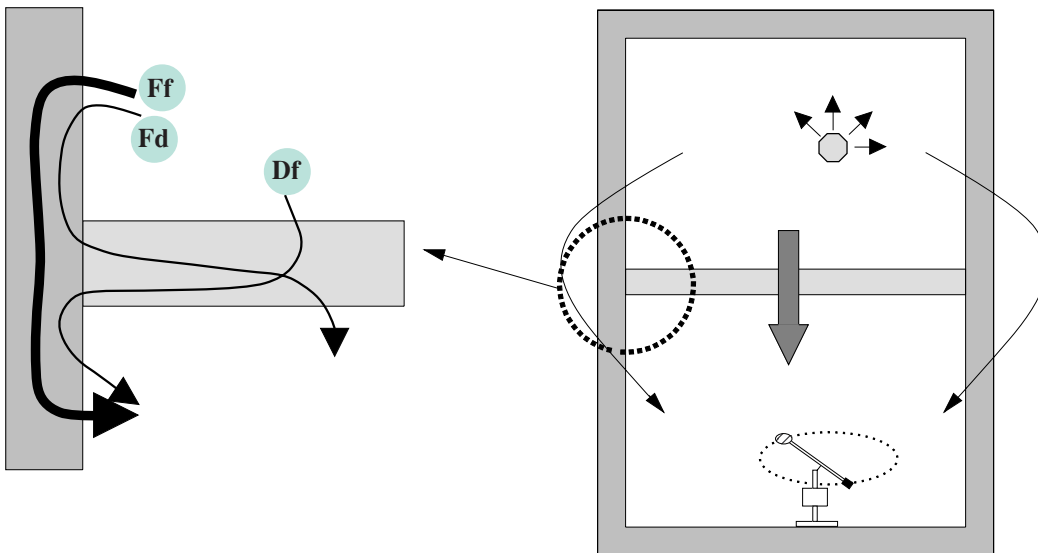
Voor de flankerende geluidsoverdracht dient ingezoomd te worden op de “knopen”: dit zijn de aansluitingen van de scheidingswand met elke andere (flankerende) wand. Er zijn in dit geval vier knopen. Per knoop kunnen de volgende flankerende geluidsoverdrachtswegen

beschouwd worden (zie afbeelding 1) :

- ◆ *overdrachtsweg Df* : het geluidsveld in de zendruimte doet de scheidingswand trillen (gedwongen buiggolven). Deze trilling wordt verminderd doorgegeven naar de kopse wand van de ontvangstruimte (vrije buiggolven) die het geluid afstraalt naar de ontvangstruimte. De verminderde doorgave is het gevolg van een demping ter plaatse van de koppeling tussen beide flankerende wanden
- ◆ *overdrachtsweg Fd* : het geluidsveld in de zendruimte doet de kopse wand trillen. Deze trilling wordt verminderd doorgegeven naar de scheidingswand, die het geluid naar de ontvangstruimte afstraalt
- ◆ *overdrachtsweg Ff* : het geluidsveld in de zendruimte doet de kopse wand trillen. Deze trilling wordt verminderd doorgegeven naar de kopse wand in de ontvangstruimte die daar het geluid afstraalt.

Zoals uitgelegd, bestaan er voor twee aangrenzende balkvormige ruimten vier knopen met elk drie overdrachtswegen. Dit betekent dat men in totaal met dertien overdrachtswegen moet rekening houden : twaalf flankerende en één directe.

**Afb. 1**  
Flankerende overdrachtswegen.



<sup>(2)</sup> Deze vrije buiggolven ontstaan bij om het even welke mechanische excitatie, bv. bij het kloppen op een plaat. Ook deze buiggolven zijn transversale golven. Hun snelheid is niet altijd gelijk aan de lichtsnelheid, maar in dit geval neemt ze toe met de frequentie. Het grote verschil voor de geluidsafstraling ligt in het feit dat hun snelheid kleiner kan zijn dan de lichtsnelheid onder een bepaalde frequentie. Voor deze frequentie zal de geluidsafstraling theoretisch zeer zwak zijn (hydrodynamische kortsluiting : ogenblikkelijk gecreëerde over- en onderdrukzones worden onmiddellijk gecompenseerd en dus geëlimineerd). Voor een bepaalde frequentie (de grensfrequentie, afhankelijk van het materiaal) zal de snelheid van de vrije buiggolf exact gelijk worden aan de lichtsnelheid : er wordt een luchtgeluidsgolf gegenereerd met voortplantingssnelheid aan de wand, waarbij de overdrukzones steeds verder worden samengeperst. Dit gebeurt ook voor de onderdrukzones. Theoretisch wordt de afstraling oneindig sterk. In de praktijk betekent het echter een verhoogde afstraling. Voor nog hogere frequenties neemt deze versterkende afstraling snel af naar een normale efficiënte afstraling (afstralingsgraad = 1).

Het populaire begrip “geluidsisolatie” is dus complexer dan men in het algemeen denkt. Wanneer men bijvoorbeeld lijsten opgeeft van gemene muur- of wandconstructies die in gebouwen steeds een bepaalde “geluidsisolatie” garanderen, houdt men immers enkel rekening met de directe geluidsisolatie.

## 4 BEGROTING VAN DE GELUIDSOVERDRACHT

### 4.1 HET BEGRIIP TRANSMISSIE $\tau$

Voor de (zowel directe als flankerende) geluidsoverdracht tussen twee vertrekken gaat men de hoeveelheid doorgedrongen geluidsvermogen per overdrachtsweg steeds uitdrukken *ten opzichte van het geluidsvermogen dat invalt op de scheidende wand* <sup>(3)</sup>. Deze verhouding (dit percentage) is een zeer klein getal en wordt de transmissie  $\tau$  genoemd.

Aldus heeft men :

- ◆ de directe geluidstransmissie :  $\tau_{Dd}$
- ◆ de flankerende geluidstransmissie per knoop :  $\tau_{Dr}, \tau_{Fd}, \tau_{Ff}$  (dus samen twaalf flankerende transmissiewegen  $\tau_{ij}$  voor de vier knopen).

Het is de bedoeling door een gewone sommatie van alle transmissies (die deelpercentages voorstellen) uit te drukken aan welk percentage van het invallende geluidsvermogen (op de scheidingswand) het totale ontvangen geluidsvermogen (via alle overdrachtswegen) in de zendruimte gelijk is. Hieruit is het dan mogelijk het resulterende geluidsniveau in de ontvangstruimte te berekenen.

*Opmerking* : deze transmissies blijken frequentieafhankelijk te zijn. Er wordt altijd meer geluidsvermogen doorgegeven in de lage frequenties dan in de hoge frequenties. Wanneer men een grote nauwkeurigheid wenst, dient alles dus spectraal berekend te worden.

### 4.2 BEGROTING VAN DE DIRECTE GELUIDSTRANSMISSIE

#### 4.2.1 GELUIDSVERZWAKKINGSINDEX $R$ EN DIRECTE GELUIDSTRANSMISSIE $\tau_{Dd}$

De *directe geluidstransmissie*  $\tau_{Dd}$  doorheen een

wand is een materiaal- of bouwelement-eigenschap.

Klassiek wordt een bouwelement echter in het laboratorium akoestisch gekarakteriseerd door zijn *geluidsverzwakkingsindex*  $R$  per frequentieband, dit is een spectrale grootheid (er bestaat dus een waarde  $R$  per frequentieband). De relatie met de transmissiecoëfficiënt  $\tau_{Dd}$  wordt gegeven door :

$$R = 10 \log (W_1/W_2) = -10 \log \tau_{Dd} \quad [1]$$

$$\text{of nog } \tau_{Dd} = 10^{(-R/10)} \quad [2].$$

Zoals hoger gesteld, kan de directe geluidstransmissie (of het ermee gerelateerde begrip geluidsverzwakkingsindex) een belangrijke bijdrage leveren in de mogelijke niveaureductie tussen twee ruimten. Het is echter niet de enige factor. Om te voldoen aan de aanbevelingen in de bestaande, oude Belgische norm, was dit het belangrijkste gegeven. Voor de strengere eisen in de toekomstige Belgische norm wordt de flankerende geluidstransmissie ook een zeer belangrijk element waarmee rekening dient te worden gehouden.

#### 4.2.2 GEWOGEN GELUIDSVERZWAKKINGSINDEX $R_w$

Het spectrum van geluidsverzwakkingsindices  $R$  is de meest volledige wijze om een bouwproduct of een bouwelement akoestisch te karakteriseren, maar het is wel omslachtig (minstens zestien waarden per spectrum). Minder omslachtig is de zogenaamde *gewogen geluidsverzwakkingsindex*  $R_w$ , ook wel de *eengetalsaanduiding* genoemd. Hoe deze grootheid bepaald wordt, kan men lezen in de norm EN ISO 717:1996. We wensen in dit artikel hierop niet dieper in te gaan.

In de norm EN ISO 717-1:1996 worden nog twee spectrum-aanpassingstermen toegevoegd, zodat een bouwelement gekarakteriseerd wordt als  $R_w(C;C_{tr})$  (bv.  $R_w(C;C_{tr}) = 44(-2;-7)$  dB). Dit geeft op beknopte wijze (doch met informatieverlies) weer, hoe het bouwelement bij laagfrequente geluidstransmissie akoestisch gekarakteriseerd wordt door de som  $R_w+C_{tr}$  (in het voorbeeld :  $R_w+C_{tr} = 44+(-7) = 37$  dB) en bij niet-dominant laagfrequente geluidstransmissie door de som  $R_w+C$  (in het voorbeeld :  $R_w+C = 44+(-2) = 42$  dB). Hiervoor verwijzen we naar vroegere artikels in WTCB-Tijdschrift [2, 3, 4].

<sup>(3)</sup> Dit kan vreemd lijken omdat het scheidende element in bepaalde flankerende wegen nauwelijks te pas komt, maar het vereenvoudigt het berekeningsmodel.

#### 4.2.3 BEGROTING VAN DE GELUIDSVERZWAKKINGSINDEX R

Door de geluidsverzwakkingsindex R te meten, begroot men eigenlijk ook de directe geluidstransmissie.

Het spectrum van geluidsverzwakkingsindices R kan enkel op praktische wijze gemeten worden in een akoestisch laboratorium, waarbij dankzij een speciale constructie geen flankerende geluidsoverdracht mogelijk is <sup>(4)</sup>.

Producenten vermelden het in het laboratorium gemeten spectrum van geluidsverzwakkingsindices R in hun technische documentatie. Soms beperkt deze informatie zich tot een gewogen geluidsverzwakkingsindex (eengetals-aanduiding), d.i.  $R_w(C;C_r)$ .

Er bestaan ook prognosemodellen voor enkelvoudige of meerlagige wanden.

### 4.3 BEGROTING VAN DE FLANKERENDE GELUIDSTRANSMISSIE

#### 4.3.1 FLANKERENDE GELUIDSVERZWAKKINGSINDEX $R_{lj}$ EN FLANKERENDE GELUIDSTRANSMISSIE $\tau_{lj}$

De grootte van een individuele flankerende geluidstransmissie  $\tau_{lj}$  (dus een van de twaalf flankerende overdrachtswegen) kan begroot worden uit de flankerende geluidsverzwakkingsindex  $R_{lj}$  voor de flankerende geluidsoverdracht van wand I in de zendruimte naar wand j in de ontvangstruimte. We hebben dus  $R_{Fd}$ ,  $R_{Dl}$ ,  $R_{Fl}$  en dit telkens voor de vier knopen.

Deze spectrale grootte wordt uitgedrukt als :

$$R_{lj} = -10 \log W_{lj}/W_1 = -10 \log \tau_{lj} \text{ [dB]} \quad [3]$$

$$\text{met } \tau_{lj} = W_{lj}/W_1 \text{ [%]} \quad [4]$$

$$\text{of nog } \tau_{lj} = 10^{-(R_{lj}/10)} \quad [5]$$

Hoe groter de flankerende geluidsverzwakkingsindex  $R_{lj}$ , hoe kleiner de flankerende geluidstransmissie  $\tau_{lj}$  is voor deze weg.

Net als bij de geluidsverzwakkingsindex R voor de directe geluidstransmissie bestaat een waarde  $R_{lj}$  per frequentieband (16 waarden voor de tertsbanden van 100 Hz tot 3150 Hz). Men kan dus spreken van een spectrum van flankerende geluidsverzwakkingsindices  $R_{lj}$ .

#### 4.3.2 GEWOGEN FLANKERENDE GELUIDSVERZWAKKINGSINDEX $R_{lj,w}$

Ook in dit geval kan de akoestische informatie, voorgesteld door het spectrum van flankerende geluidsverzwakkingsindices  $R_{lj}$ , gebundeld worden in een eengetalsaanduiding : de gewogen geluidsverzwakkingsindex  $R_{lj,w}$ . Dit gebeurt op analoge wijze als voor  $R_w$ .

#### 4.3.3 BEGROTING VAN DE FLANKERENDE GELUIDSVERZWAKKINGSINDEX $R_{lj}$ EN DE FLANKERENDE GELUIDSTRANSMISSIE $\tau_{lj}$

De waarde voor  $R_{lj}$  kan eveneens correct begroot worden uit metingen (volgens de norm EN ISO 12354-1:2000 en de ontwerpnorm prEN ISO 10848-1). De volgende elementen spelen een rol in deze meting :

- ◆ de geluidsverzwakkingsindex  $R_1$  van de flankerende wand aan de zenzijde en  $R_j$  aan de ontvangstzijde <sup>(5)</sup>; hoe groter deze waarden, hoe groter  $R_{lj}$
- ◆ de oppervlakten van de flankerende wanden  $S_1$  aan de zenzijde (geluidsoptname) en  $S_j$  aan de ontvangstzijde (afstralingsoppervlak), alsook het oppervlak van de scheidingswand (muur of vloer)  $S_s$  tussen de twee kamers. Hoe groter het oppervlak van de flankerende wand aan de zenzijde is, hoe groter het invallende geluidsvermogen. Analooeg wordt meer geluidsvermogen afgestraald aan de zenzijde bij een groter oppervlak van de flankerende wand aan de zenzijde. Aangezien bij transmissie alles uitgedrukt wordt in percentages ten aanzien van het invallende geluidsvermogen op de scheidende wand  $S_s$ , dient de formule een

<sup>(4)</sup> De meetprocedure verloopt volgens de norm EN ISO 140-3:1995. Het te testen element wordt in een speciale laboratoriumconstructie geplaatst tussen een zend- en een ontvangstkamer. De constructie (die dient te voldoen aan een reeks EN ISO-normen) is dusdanig dat het geluid enkel doorheen het te testen element van de zend- naar de ontvangstkamer kan dringen. De geluidsverzwakkingsindex per frequentieband is dan het verschil tussen de gemiddelde geluidsdrukkniveaus voor die tertsband aan zend- en ontvangstzijde, gecorrigeerd door een term die rekening houdt met de oppervlakte S van het te testen bouwelement en de hoeveelheid absorptie A in de ontvangstruimte, d.i. :  $R = L_{pm1} - L_{pm2} + 10 \log (S/A)$ . Men kan wiskundig aantonen dat bij een dergelijke constructie deze meetformule afgeleid kan worden uit de theoretische definitie van de geluidsverzwakkingsindex in formule [1].

<sup>(5)</sup> Deze vereenvoudiging is in feite enkel geldig boven de coïncidentie van de wand. Onder de coïncidentie is dit een onderschatting, omdat het hier niet om een gedwongen transmissie ten gevolge van gedwongen buiggolven gaat, maar wel om de afstraling ten gevolge van vrije buiggolven. Voor deze complexe materie verwijzen we naar de literatuur.

correctieterm te omvatten, die afhangt van deze oppervlakte

- ◆ de trillingsdemping ter plaatse van de koppeling tussen beide wanden. Naarmate deze groter is, neemt  $R_{ij}$  toe.

De uitleg hieromtrent is vrij complex en leidt te ver voor het doel van het huidige artikel. Voor een diepgaander inzicht verwijzen we naar de auteurs *Beranek, Gerritsen en Vermeir*, of naar de norm EN ISO 12354-1:2000.

#### 4.3.4 VEREENVOUDIGD REKENMODEL VOOR HET VOORSPELLEN MET EENGETALSAANDUIDINGEN

In de norm EN ISO 12354-1:2000 worden vereenvoudigde rekenmodellen gegeven om de grootte van  $R_{ij,w}$  in te schatten. Het betreft hier voorspellingsberekeningen via eengetalsaanduidingen.

Het vereenvoudigde rekenmodel is binnen het bestek van dit artikel interessant, omdat het aanduidt waarvan de flankerende geluidsverzwakkingsindex of, omgekeerd, de grootte van de flankerende geluidstransmissie afhangt.

Per knoop kan men de drie flankerende gewogen geluidsverzwakkingsindices  $R_{Ff,w}$ ,  $R_{Fd,w}$  en  $R_{Df,w}$  als volgt begroten :

$$R_{ij,w} = \frac{R_{I,w} + R_{j,w}}{2} + K_{ij} + 10 \log \frac{S_s}{1m \cdot \ell} \quad [6]$$

met  $I_j = Ff$ ,  $I_j = Fd$  en  $I_j = Df$  (zie afbeelding 1).

In deze formule is

$R_{ij,w}$  = de flankerende geluidsverzwakkingsindex voor de flankerende weg van wand I aan de zenzijde naar wand j aan de ontvangstzijde

$R_{I,w}$  = de geluidsverzwakkingsindex van de flankerende wand I aan de zenzijde; deze waarde kan uit de technische documentatie gehaald worden

$R_{j,w}$  = de geluidsverzwakkingsindex van de flankerende wand j aan de ontvangstzijde; deze waarde kan ook uit de technische documentatie gehaald worden

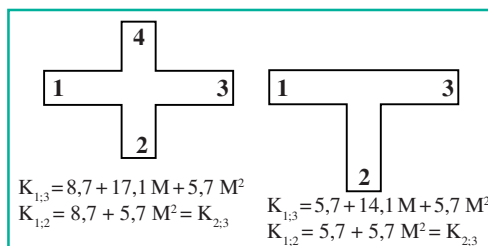
$K_{ij}$  = de trillingsverzwakkingsindex <sup>(6)</sup> van de koppeling tussen wand I aan de zend-

zijde en wand j aan de ontvangstzijde  
 $S_s$  = de oppervlakte van de scheidingswand (muur of vloer)  
 $\ell$  = de lengte van de voeg tussen wand I en wand j  
 1m = 1 meter.

Bij voorspellende berekeningen kunnen de meeste waarden in de formule ingevuld worden aan de hand van gegevens over of afmetingen van bouwelementen. De waarde  $K_{ij}$  vormt hierbij een probleem, omdat hierover bij de producenten geen informatie bekomen kan worden.

De bijlage E van de norm EN ISO 12354-1:2000 geeft echter een groot aantal empirische formules ter begroting van  $K_{ij}$ . Deze formules verschillen naargelang van :

- ◆ de aard van de knoop (T-vorm, kruisvorm enz., zie afbeelding 2)
- ◆ de aard van de samenstellende wanden (lichte wandconstructies, zware wanden, combinaties, ...).



**Afb. 2**  
 Kruisvormige en T-vormige verbinding in enkelvoudige wanden.

Elke formule om  $K_{ij}$  te begroten, is afhankelijk van M. De waarde van  $K_{ij}$  wordt groter indien de waarde van M toeneemt :

$$M = \log \frac{m'_{\perp I}}{m'_I} = \log \frac{\text{oppervlaktemassa wand } \perp \text{ flankerende wand I aan zenzijde in de weg } I_j}{\text{oppervlaktemassa flankerende wand I aan zenzijde in de weg } I_j} \quad [7].$$

Het is duidelijk dat een hoge waarde voor  $K_{ij}$  een hogere waarde voor de gewogen flankerende geluidsverzwakkingsindex  $R_{ij,w}$  veroorzaakt.

Wellicht is het goed hier even afstand te nemen van de wiskundige formulering om de betekenis van de verbindingsdemping en van de grootheid  $K_{ij}$  duidelijker te maken.

<sup>(6)</sup> De grootheid  $K_{ij}$  is verbonden met de transmissie van het trillingsvermogen langs de voeg tussen de wanden. Deze grootheid werd genormaliseerd om een onveranderlijke grootheid te krijgen. Ze wordt bepaald door de bidirectionele verbindingsdemping te normaliseren. Voor de gedetailleerde formule verwijzen we naar de norm EN ISO 12354-1:2000. De grootheid wordt gemeten volgens de ontwerpnorm prEN ISO 10848-1.

Voor deze verduidelijking beschouwen we twee boven elkaar gelegen, balkvormige kamers met muren die doorlopen over beide kamers (stel dat de schets in afbeelding 1 een doorsnede is). We bespreken de flankerende geluidstransmissie over de verticale wand (weg Ff) :

- ◆ men kan gemakkelijk inzien dat een veel zwaardere vloer (de loodrechte wand op de flankerende wand aan de zenzijde) een sterk dempende werking (hoge waarde voor  $K_{ij}$ ) heeft in de knoop op de overdracht van trillingen van de flankerende wand aan de zenzijde naar deze aan de ontvangtzijde
- ◆ anderzijds voelt men ook aan dat, in het geval van zware flankerende wanden aan de zend- en ontvangtzijde, beide moeilijk in trilling kunnen gebracht worden (de ene door het geluidsveld aan de zenzijde, de andere door de trillingsexcitatie van de gedwongen buiggolven in de koppeling tussen beide wanden). Zware wanden hebben hoge geluidsverzwakkingsindices  $R_{l,w}$  en  $R_{j,w}$ .

#### Toepassing 1

Stel een T-constructie met enkelvoudige muren en vloeren (zie afbeelding 2). Wil men voor de drie wegen Ff, Fd en Df geen negatieve waarde voor M (en dus een slechte waarde voor  $K_{ij}$ ) hebben, dan bestaat de beste oplossing erin alle muren en vloeren dusdanig te kiezen dat ze alle dezelfde oppervlakttemassa bezitten. Zo is M steeds nul en heeft  $K_{ij}$  overal dezelfde positieve waarde (+ 5,7 dB volgens de rekenformules uit de norm EN ISO 12354-1). Is de oppervlakttemassa daarenboven ook zwaar (bv.  $m'' > 450 \text{ kg/m}^2$ , d.i. alle wanden met een hoge globale geluidsverzwakkingsindex  $R_w$ ), dan zal de flankerende geluidstransmissie erg beperkt zijn en de globale geluidsisolatie relatief goed.

#### Toepassing 2

Een tweede toepassing van het vereenvoudigde rekenmodel vindt men in het artikel over houten vloeren verder in dit tijdschrift.

## 4.4 BEGROTING VAN DE TOTALE GELUIDSOVERDRACHT

### 4.4.1 TOTALE GELUIDSTRANSMISSIE $\tau'$

Per tertsband is de totale geluidstransmissie  $\tau'$  gelijk aan de som van de twaalf flankerende geluidstransmissies  $\tau_{ij}$  en de directe geluids-

transmissie  $\tau_{Dd}$ . De formule luidt :

$$\tau' = 10^{(-R/10)} + \sum 10^{-(R_{ij}/10)} \quad [8].$$

Dit kan gemakkelijk met een computer of rekenmachine uitgerekend worden.

De som van al deze percentages geeft per tertsband het totale doorgelaten vermogen  $W_2$  naar de zenzijde, uitgedrukt als een fractie van het op de scheidingswand invallende geluidsvermogen  $W_1$ , nl. :

$$\tau' = W_2/W_1 \quad [9].$$

Zoals reeds gesteld, gaat het bij normale constructies om heel kleine fracties. Voor woning-scheidende constructies met minimaal comfort betreft het vaak minder dan 1/100.000 van het op de scheidingswand invallende geluidsvermogen.

Men formuleert het begrip *schijnbare geluidsverzwakkingsindex* als volgt :

$$R' = -10 \log \tau' = 10 \log W_1/W_2 \text{ (')} \text{ [dB] [10].}$$

De schijnbare geluidsverzwakkingsindex  $R'$  is een maat om de geluidsisolatie tussen de twee ruimten te beschrijven als een logaritmische vermogensverhouding (zie § 6).

### 4.4.2 REKENREGELS VOOR DE SAMENSTELLING VAN DE FLANKERENDE EN DE DIRECTE GELUIDSISOLATIE

Hoewel de formules [8] en [10] met de computer berekenbaar zijn, is het toch handig een snelle schatting te kunnen maken met behulp van vereenvoudigde rekenregels voor het samenstellen van geluidsverzwakkingsindices.

*Men kan zich immers afvragen hoeveel de samengestelde geluidsverzwakkingsindex  $R_{\text{samengest}}$  bedraagt voor bv. 2 van de 13 transmissiewegen tussen twee ruimten.*

We stellen hierbij dat :

X = de geluidsverzwakkingsindex, overeenstemmend met de eerste transmissieweg (directe transmissieweg of een van de twaalf flankerende transmissiewegen)

Y = de geluidsverzwakkingsindex, overeenstemmend met de tweede transmissieweg (directe transmissieweg of een van de twaalf flankerende transmissiewegen).

(<sup>7</sup>) Deze grootheid kan ook in het gebouw gemeten worden en wordt bepaald door de formule  $R' = L_{pm1} + L_{pm2} + 10 \log S/A$ , d.i. dezelfde formule als deze voor de bepaling van de geluidsverzwakkingsindex in het laboratorium. Bij de meting in het laboratorium ontstaat het geluidsdrukniveau  $L_{pm2}$  in de ontvangsruimte enkel door directe geluidstransmissie. In het gebouw is dat het gevolg van het doorgelaten geluidsvermogen via directe en flankerende wegen.

## Oplissing

De som van beide transmissies is (zie formule [2] of [5]) :

$$10^{-(X/10)} + 10^{-(Y/10)}.$$

De samengestelde geluidsverzwakkingsindex voor beide transmissiewegen samen is dan (uit formule [1] of [4]) :

$$R_{\text{samengest}} = -10 \log [10^{-(X/10)} + 10^{-(Y/10)}] \quad [11].$$

Uit deze formule kunnen enkele vuistregels afgeleid worden voor het samenstellen (voorgesteld door  $\oplus$ ) van flankerende geluidsverzwakkingsindices (of voor het samenstellen met de geluidsverzwakkingsindex van de scheidingswand) bij eenzelfde situatie tussen twee ruimten :

$$X \oplus X = X - 3 \text{ dB, wanneer } X = Y \quad [12]$$

$$X \oplus (X + 10 \text{ dB}) = X \text{ dB} \quad [13]$$

Samenstelling van tien gelijke geluidsverzwakkingsindices :

$$(X \oplus X \oplus \dots \oplus X) = X - 10 \text{ dB} \quad [14].$$

## Toepassingsvoorbeeld

Veronderstellen we fictief dat de flankerende geluidsisolatie voor alle flankerende wegen dezelfde is (in de praktijk is dat bijna nooit het geval), namelijk  $X$  dB, waarbij  $X$  ongeveer 10 dB hoger is dan de directe geluidsisolatie (gekaracteriseerd door de geluidsverzwakkingsindex  $R$  van de scheidende wand).

□ Wanneer men in de ontvangstruimte staat, zal men de indruk hebben dat het geluid uit de scheidingswand (muur of vloer) komt, en zal het geluid afkomstig van een flankerende wand niet of nauwelijks hoorbaar zijn (tenzij men met het oor op de wand zelf luistert).

□ De totale flankerende geluidsisolatie is dan nagenoeg gelijk aan de directe geluidsisolatie (iets lager eigenlijk; zie vuistregel [14]). Dit betekent dat er evenveel geluid via de flankerende wegen overgaat als via de directe weg naar de ontvangstkamer. De globale geluidsisolatie (gekaracteriseerd door  $R'$ ) wordt dan 3 dB lager (zie vuistregel [12]) dan de geluidsverzwakkingsindex van de scheidende wand.

□ Wanneer men de geluidsisolatie van de scheidende wand (muur of vloer) verder probeert te verhogen (bv. door het gebruik van voorzetwanden), dan zal deze geleidelijk stijgen, maar nooit hoger kunnen worden dan de

totale flankerende geluidsisolatie (zie vuistregel [13]); dit is ook gemakkelijk te begrijpen, vermits men geen maatregel neemt tegen de bijdrage van de totale, flankerende transmissie.

In ons voorbeeld veronderstelden we dat de flankerende geluidsisolatie voor alle wegen dezelfde was (en 10 dB hoger dan de directe geluidsisolatie). In de praktijk is de flankerende geluidsisolatie bijna nooit voor alle wegen gelijk. Ze kan ook veel zwakker zijn dan in het voorbeeld, zodat de directe geluidstransmissie dominant wordt.

## 5 TOTALE NIVEAU-REDUCTIE

De einddoelstelling is de berekening van de totale niveaureductie tussen beide vertrek-

ken. Eerst dienen enkele begrippen gedefinieerd en toegelicht te worden.

### □ Absorptie

De totale geluidstransmissie straalt een geluidsvermogen af (zoals hierboven besproken) naar de ontvangstruimte. In hoofdstuk 2 werd vermeld dat het resulterende geluidsniveau in de ontvangstruimte ten gevolge van dit afgestraalde geluidsvermogen niet alleen afhangt van dit geluidsvermogen, maar eveneens van het volume en de geluidsabsorptiegraad van de wanden.

Wanneer geluid op een wand invalt, wordt niet het volledige, invallende geluidsvermogen weerkaatst : een deel ervan verdwijnt.

Men kan het begrip *absorptiecoëfficiënt*  $\alpha$  definiëren als de verhouding van het verdwenen geluidsvermogen tot het invallende geluidsvermogen. Deze dimensieloze grootte is bv. gelijk aan 0 voor perfect (niet-bestaande) reflecterende wanden en gelijk aan 1 (binnen zekere grenzen) wanneer het geluid invalt op een openstaand raam (vermits daar geen geluidsvermogen weerkaatst wordt).

Deze grootte is afhankelijk van de frequentie en is dus een spectrale grootte.

Men definieert het begrip *totaal equivalent absorptieoppervlak*  $A$  [ $\text{m}^2$ ] per tertsband aan de hand van de volgende formule :

$$A = \sum_i \alpha_i S_i \quad [\text{m}^2] \quad [15].$$

## □ Nagalmtijd

Wanneer men in een vertrek een constant geluidsveld opwekt, bestaande uit een krachtige ruis met voldoende geluidsenergie over het totale spectrum, en vervolgens dit geluidssignaal abrupt afbreekt, dan is de nagalmtijd  $T$  de tijd nodig om het geluid voor een bepaalde frequentieband met 60 dB te verminderen.

*Sabine* toonde aan dat de nagalmtijd toenam met het volume van de kamer, maar afnam met de totale hoeveelheid aanwezige absorptie. De volgende formule geldt :

$$T = 0,16 V/A \text{ [s]} \quad [16].$$

Met deze definities en relaties, en door te stellen dat het totale naar de ontvangstruimte toegevoerde geluidsvermogen gelijk moet zijn aan het totale uit deze ontvangstruimte verdwijnende geluidsvermogen (geabsorbeerd geluidsvermogen), kan men wiskundig aantonen dat de niveaureductie gelijk is aan :

$$R' - 10 \log (S_s/A) \text{ [dB]} \text{ (per tertsband)} \quad [17]$$

met  $S_s$  = de oppervlakte van de scheidingswand.

Door de formules [16] en [17] te combineren, bekomt men voor de geluidsniveaureductie de volgende uitdrukking :

$$\text{niveaureductie} = R' + 10 \log (0,16 V/S_s T).$$

Bij een voorspellingsberekening mag men ervan uitgaan dat in een klassiek Belgisch interieur de meubilair in verhouding met de ruimte steeds zodanig is dat de nagalmtijd  $T$  ongeveer 0,5 seconde bedraagt.

## 6 GELUIDSISOLATIE TUSSEN TWEE RUIMTEN VAN VERSCHILLENDE WONINGEN

Zoals uit het voorgaande blijkt, omvat het begrip “geluidsisolatie” nogal wat aspecten. Voor de meeste niet-akoestici is de geluidsisolatie tussen twee ruimten gelijk aan het verschil tussen het geluidsniveau in de zendruimte en wat je in de ontvangstruimte kan waarnemen. In de praktijk noemen we dat echter de *niveaureductie*.

Zoals reeds gezien, hangt deze niveaureductie o.a. af van de meubilering van de kamer. Daarom werden grootheden ontwikkeld, die opgemeten kunnen worden en die onafhankelijk zijn van deze parameter. Deze grootheden kunnen dan ook gebruikt worden om prestatie-eisen in bestekken, normen en wetten op te nemen.

Hiervoor gaat men als volgt te werk :

- ◆ men karakteriseert de mate van het galmend-zijn van de kamer akoestisch (nagalmtijd/absorptie)
- ◆ men corrigeert de meting van de niveaureductie op basis van het resultaat bij een referentienagalmtijd of referentieabsorptie (grootheden  $D_{nT}$  en  $D_n$ , zie hierna).

Een eerste grootheid is de *gestandaardiseerde akoestische isolatie* :

$$D_{nT} = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log (T/T_0)$$

met  $T_0 = 0,5 \text{ s}$ .

Hier wordt de niveaureductie herleid tot de niveaureductie die men zou meten indien de nagalmtijd in de ontvangstruimte herleid was tot 0,5 s door aanpassing van de meubilering.

Een tweede grootheid is de *genormaliseerde akoestische isolatie* :

$$D_n = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log (A_o/A)$$

met  $A_o = 10 \text{ m}^2$ .

Hier wordt de niveaureductie herleid tot de niveaureductie die men zou meten indien het equivalente absorptieoppervlak in de ontvangstruimte herleid was tot  $10 \text{ m}^2$  door aanpassing van de meubilering.

Voor de eengetalsaanduidingen van deze grootheden wordt overal de index “w” toegevoegd :  $R'_w, D_{n,w}, D_{nT,w}$ .

Het alternatief voor het normaliseren en standaardiseren van de niveaureductie is het gebruik van de grootheid  $R'$ , die als vermogensverhouding onafhankelijk is van de meubilering en van het volume van de kamer.

Ter herhaling, de schijnbare geluidsverzwakingsindex  $R'$  is een logaritmische verhouding van het totale naar de ontvangstruimte afgestraalde geluidsvermogen tot het op de scheidingswand invallende geluidsvermogen aan de zenzijde.

Het gaat dus niet om een niveaureductie die gecorrigeerd wordt met een standaardmeubilair, gekarakteriseerd door een bepaalde absorptie  $A_o$ .

Wel wordt deze logaritmische vermogensverhouding gemeten met behulp van een gemeten niveaureductie en een gemeten nagalmtijd (waaruit de absorptie  $A$  van de kamer bepaald wordt). Er kan wiskundig aangetoond worden dat de meetformule in nota (7) equiva-

lent is aan de definitie van  $R'$ . In de formule wordt de invloed van de absorptie geëlimineerd.

Elk van de grootheden heeft haar voor- en nadelen.

De oude Belgische norm NBN S 01-400:1977, die nog steeds van kracht is, gebruikt de grootheid  $D_n$  als eengetalsaanduiding voor de categorie. In de meeste landen wordt deze grootheid echter niet meer toegepast, omdat het gebruik ervan bij isolatiemetingen tussen grotere volumes ( $> 33 \text{ m}^3$ ) aanleiding gaf tot een strengere beoordeling van de situatie.

Deze Belgische norm wordt weldra vervangen en zal daarom niet verder besproken worden. De toekomstige Belgische norm zal de grootheid  $D_{nT}$ , en meer bepaald haar eengetalsaanduiding  $D_{nT,w}$ , gebruiken voor prestatieaanbevelingen.

Het is nog niet duidelijk hoe hoog men de lat zal leggen wat betreft de prestatieaanbevelingen voor de geluidsisolatie  $D_{nT,w}$  tussen woningen. Wel wordt rekening gehouden met psychoakoestische bevindingen die statistisch aantonen dat tot 30 % van de bewoners niet tevreden is met een geluidsisolatie  $D_{nT,w}$  van

54 dB. Dit aantal zou tot 10 % slinken voor een geluidsisolatie  $D_{nT,w}$  van 59 dB. De laatste waarde blijkt echter moeilijk te realiseren. Ondanks het gebrek aan akoestisch comfort voor een niet-onbelangrijke groep mensen, is het daarom zeker niet evident dergelijke aanbevelingen in de norm op te nemen.

## BESLUIT

Bij traditionele gemetselde constructies dient wel degelijk met de flankerende geluidstransmissie rekening gehouden te worden, wenst men een luchtgeluidsisolatie groter dan 52 dB te bekomen tussen twee vertrekken. Terwijl in het verleden met de nog bestaande Belgische norm meestal geen strengere eisen gesteld werden, wordt dit wel het geval in de toekomstige prestatieaanbevelingen. Basiskennis met betrekking tot de flankerende geluidstransmissie wordt dus belangrijk, ook al is dit geen voor de hand liggende materie. ■

De auteur dankt het ministerie van Economische Zaken en de Gewesten die het schrijven van dit artikel mogelijk maakten, dankzij hun steun respectievelijk aan het onderzoek en de Technologische Adviseerdienst *Bouwakoestiek*.

## LITERATUURLIJST

- 1** Comité Européen de Normalisation  
EN 12354-1:2000 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1 : Airborne sound insulation between rooms. Brussel, CEN, 2000.
- 2** Ingelaere B.  
Geluidsisolatie van vensters. Toepassing van de nieuwe norm EN ISO 717-1:1996. Deel 1 : akoestische prestaties van glas. Brussel, WTCB-Tijdschrift, lente 1998.
- 3** Soubrier D.  
Europese normalisatie inzake bouwakoestiek. Deel 1 : beoordeling van de lucht- en contactgeluidsisolatie. Brussel, WTCB-Tijdschrift, lente 1999.
- 4** Soubrier D.  
Europese normalisatie inzake bouwakoestiek. Deel 2. Brussel, WTCB-Tijdschrift, zomer 1999.