

Paneelabsorptie

Kennisbank Bouwfysica

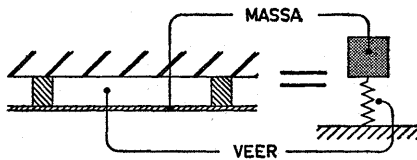
Auteur: ir. L. Nederlof, prof.ir. J.J.M. Cauberg

1 Niet-geperforeerde panelen

Niet-geperforeerde absorberende panelen, zoals niet-geperforeerde platen multiplex, spaanplaat, metaal, hardboard, gips, asbestcement, enz., die op enige afstand op een stijl- en regelwerk voor een harde wand zijn aangebracht, absorberen vooral lage tonen.

Zo'n paneel kan namelijk meetrillen met het geluid dat erop valt wanneer de frequentie juist overeenkomt met - of weinig verschilt van - de zogenaamde resonantiefrequentie van het paneel.

De constructie paneel-op-luchtlaag kan men opvatten als een trillingsstelsel bestaande uit een massa ("gewichtje") op een veer (zie figuur 1).



figuur 1. dicht paneel op enige afstand voor starre wand is te beschouwen als "massa op veer"

Een massa-veersysteem bestaat uit een trillingsgetal dat er juist bij "past": geeft men een duwtje tegen de massa, dan geraakt de massa in een vast tempo aan het trillen: de resonantiefrequentie. Een uitwendige wisselkracht met die frequentie leidt zonder moeite tot een hevige trilling.

Zo is het ook met het paneel dat de massa vormt en de luchtlaag die als veer werkt. Doorgaans is deze "luchtveer" stijver dan het paneel zelf. Het paneel kan dus ook in resonantie geraken op de luchtlaag.

Voor een mechanisch massa-veersysteem geldt voor de resonantiefrequentie:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{m_1 C}} \quad (1)$$

Met:

m_1 massa in kg/m^2 ;
 C stijfheid van de luchtveer.

Bij de resonantiefrequentie is geabsorbeerde energie in het systeem maximaal en dus het gereflecteerde geluid minimaal.

Substitutie van $C = \frac{D}{1,4 p_0}$ levert met $p_0 = 10^5$ [Pa]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1,4p_o}{m_1 D}} = \frac{60}{\sqrt{m_1 D}} \quad (2)$$

Met:

D afstand paneel tot starre achterwand in m

Volgens formule (1) kunnen we f_r , waarin nog in aanzienlijke mate wordt geabsorbeerd, en de absorptiecoëfficiënt a_{\max} bij de frequentie f_r binnen bepaalde grenzen regelen door de warmteontwikkeling te beïnvloeden, dat wil zeggen door de demping van het systeem te regelen, bij voorbeeld door de luchtlaag op passende wijze te vullen met glaswol, steenwol en dergelijke.

Figuur 2 brengt in beeld wat ongeveer te bereiken is met deze constructies. Bij gegeven m_1 en D leest men eruit af, hoe groot de eigen frequentie f_r is, alsmede in hoeveel octaven rond f_r de absorptiecoëfficiënt a groter is dan 25% als door passende spouwvulling bij f_r de absorptiecoëfficiënt gelijk aan 50% gemaakt is.

Zo is bij voorbeeld voor:

$m_1 = 4 \text{ kg/m}^2$, $D = 60 \text{ mm}$; $f_r = 125 \text{ Hz}$, $a > 25\%$ in 2 octaven, dat wil zeggen tussen 65 Hz en 250 Hz als $a = 50\%$ bij 125 Hz = eigen frequentie.

Figuur 2 geldt voor alzijdige inval. Grote precisie mag er niet van worden verwacht.

Figuur 3 laat kwalitatief zien wat er met de geluidabsorptiecoëfficiënt gebeurt. Bij vulling van de spouw wordt de maximale absorptiecoëfficiënt lager maar het frequentiegebied breder.

Bij de tot nu toe gehanteerde modellen is de buigstijfheid van de platen verwaarloosd. In werkelijkheid zijn de platen veelal ingeklemd en zijn de platafmetingen beperkt.

Voor niet al te kleine platen (groter dan $1 \times 1 \text{ m}^2$) kunnen deze benaderende formules echter met voldoende nauwkeurigheid worden toegepast.

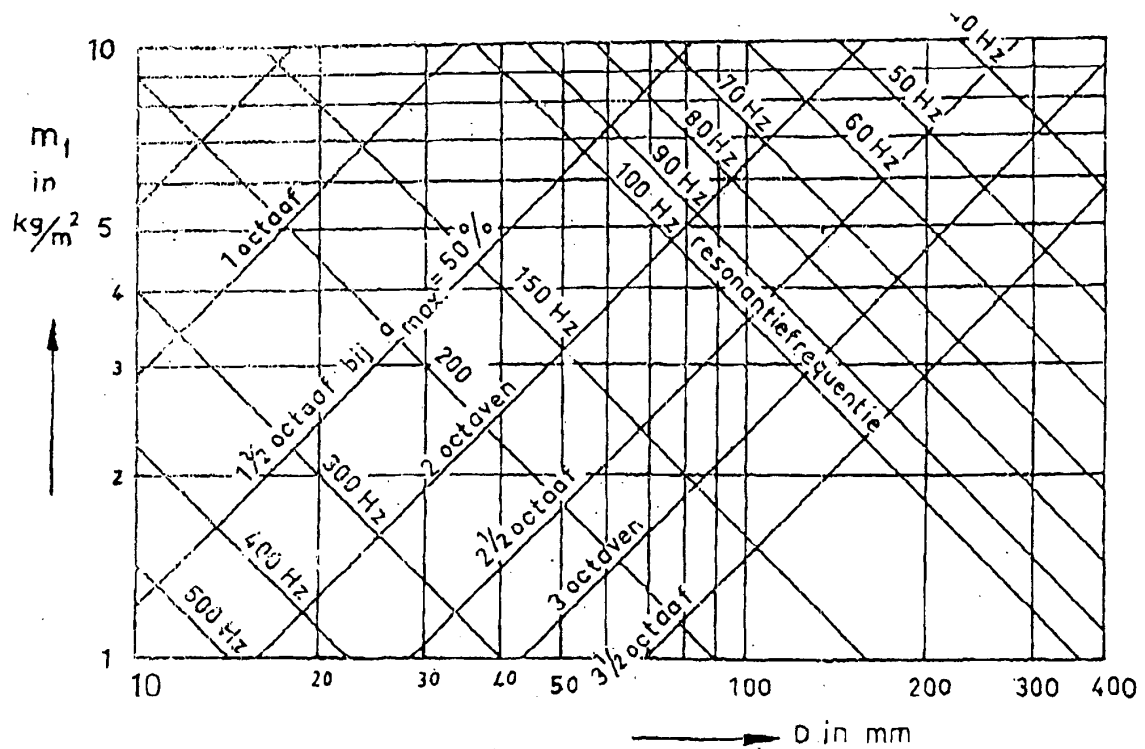
Een glasvlak in een ruimte kan ook als een niet-geperforeerd, absorberend paneel worden opgevat. Echter, de luchtlaag achter het glasvlak is nu erg dik en de resonantiefrequentie ligt dan ook erg laag. Niet-geperforeerde panelen zijn een waardevolle aanvulling van de poreuze absorptiematerialen, die doorgaans bij de lage frequenties weinig of te weinig absorberen. De moderne bouwwijzen in beton en steen vragen veelal ook om toepassing van lage-tonen-absorberende constructies, daar anders een onaangename sfeer wordt geschapen.

Formule (2) houdt geen rekening met de afmetingen van het resonerende paneel. Indien dit wel gebeurt, gaat (2) over in:

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{(m_1 + 0,6\sqrt{ab})D}} \quad (3)$$

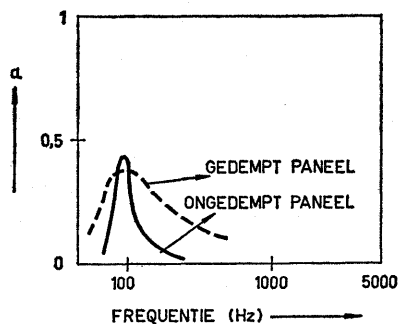
Met:

a, b afmetingen van het paneel in m



figuur 2. de frequentie f_r , waarbij een niet geperforeerd paneel met massa m kg/m^2 op een luchtlaag ter dikte D maximaal absorbeert, alsmede de bandbreedte waarbinnen de absorptiecoëfficiënt groter is dan 25% als door passende vulling van de luchtlaag de absorptiecoëfficiënt bij f_r gelijk aan 50% is gemaakt

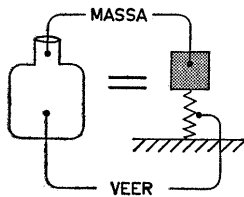
Samenvattend kan men stellen dat de absorptiecoëfficiënt veelal niet hoog is (ten hoogste 0,4 à 0,5); zijn waarde hangt af van de mate waarin de constructie "gedempt" is. Door de luchtlaag geheel of gedeeltelijk te vullen met poreus materiaal verhoogt men de demping. In het algemeen leidt geringe demping tot een smalle en vrij hoge absorptiepiek, veel demping tot een bredere, maar veelal lagere curve. In figuur 3 is dit te zien.



figuur 3. voorbeeld van de absorptiecurven voor resonerende panelen, al dan niet gedempt door vulling van de spouw met poreus materiaal

2 Helmholtz resonator

Een fles die via een hals in verbinding staat met de omgeving is een resonator. De massa wordt gevormd door de luchtmassa in de hals terwijl de lucht in de fles de veer vormt.



figuur 4. een enkele resonator, in de vorm van een “fles”, is een trillingsstelsel, dat kan worden vergeleken met een massa op een veer

Wordt zo'n fles nu ingebouwd in een wand met de opening naar buiten en valt er geluid op, dan zal het systeem in resonantie (in hevige trilling) geraken, wanneer dit geluid juist de frequentie heeft of bevat die eigen is aan de resonator. Geluidabsorptie, dus vernietiging van geluidenergie, heeft daarbij nog nauwelijks plaats; slechts bij die ene frequentie is daar sprake van, vanwege wrijvingsverliezen langs de omtrek van de hals en in de lucht. Pas wanneer de trilling weerstand ontmoet omdat in de hals van de resonator of in de gehele “fles” poreus materiaal is aangebracht, ontstaat in een frequentiegebied rondom de resonantiefrequentie geluidabsorptie. Dat frequentiegebied is doorgaans smal; door de weerstand te verhogen (poreus materiaal flink aanstoppen) wordt het wel breder, maar dit gaat (soms) ten koste van de waarde van de absorptiecoëfficiënt in de “piek” (bij de resonantiefrequentie).

3 Geperforeerde panelen

Een laag minerale wol, afgedekt door een geperforeerd paneel met een perforatiegraad van 5 à 10% is zo'n Helmholtz resonator. Deze absorbeert de middentonen goed, zeg van 300 tot 1500 Hz. Valt een golf in op zo'n constructie dan ontstaat voor het paneel een wisseldruk p , de geluidsdruk aldaar. Onder invloed van deze p , die afwisselend positief en negatief is, zal de lucht in de gaatjes heen en weer gaan trillen, zodat de luchtdruk in de met vezelig materiaal gevulde luchtlaag afwisselend verhoogd en verlaagd wordt. Dit drukvereffeningsmechanisme via de gaatjes gaat gemakkelijker dan het in trilling brengen van de massa van het geperforeerde paneel. Hierdoor blijft het paneel zelf praktisch in rust en hebben we het mechanisme herleidt tot dat der ongeperforeerde panelen. Ook de onderhavige constructie is dus een massa-veersysteem dat kan resoneren.

Echter, de trillende massa is uiterst klein; de eigenfrequentie dus dienovereenkomstig hoger. Figuur 2 leert dat we constructies krijgen geheel onder in de figuur en zelfs vrij ver eronder, dat wil zeggen een hoge resonantiefrequentie en absorptie in vrij veel octaven.

De vele materialen op basis van ingeboorde en ingezaagde tegels vallen ook in deze klasse; hun mechanisme is hetzelfde.

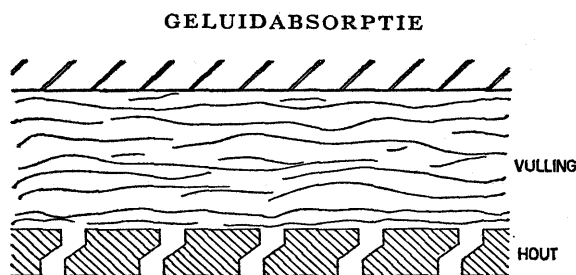
Voor de resonantiefrequentie geldt:

$$fr = 54 \sqrt{\frac{e}{dD}} \quad (4)$$

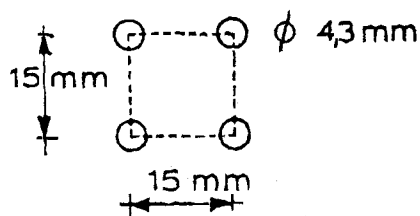
Met:

- d dikte van de geperforeerde plaat in m
- D afstand plaat tot achterwand in m
- e perforatiegraad

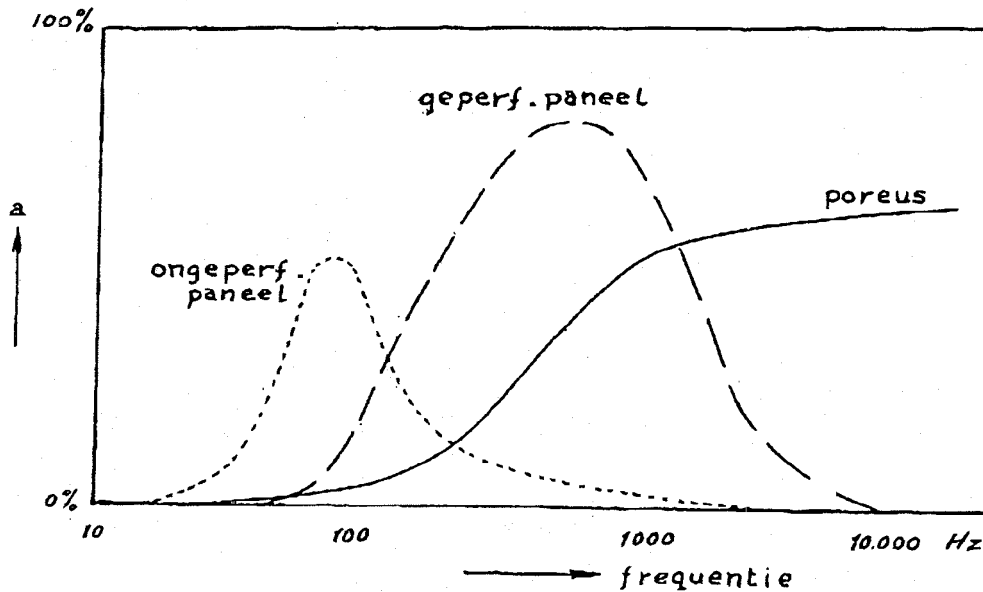
Een andere variant is een constructie, bestaande uit latjes van enkele centimeters breed, gescheiden door een spleet van enkele millimeters tot 1 centimeter (of meer), zie figuur 5. Is de aldus gevormde perforatie 30% dan kan men de latjes wegdenken. Het poreuze, bij voorbeeld vezelige, materiaal erachter absorbeert dan als poreus materiaal, dat wil zeggen vooral bij hoge frequenties. Des te kleiner het perforatiepercentage, des te minder worden de hoge en des te meer worden de lage tonen geabsorbeerd. Zo ontstaat het geluidabsorptieprincipe van een resonator. Des te kleiner de dikte der latjes des te beter is het akoestisch gedrag. Om esthetische redenen is het dikwijls raadzaam de latjes te profileren, zodat men het vezelmateriaal niet ziet. Indien gewenst, kan men tussen de latjes en het poreuze materiaal ook een zeer dun folie leggen.



figuur 5. latten met daartussen spleten en poreus vulmateriaal erachter vormen zogenaamde spleetresonatoren



figuur 6. gatenpatroon van een geperforeerd paneel



figuur 7. karakteristieke absorptiepatronen van paneelconstructies

Een gehele wand flink absorberend maken met dit soort resonatoren lukt slechts als het resonatorvolume per m² wand ongeveer gelijk is aan dat van een poreus materiaal van 50 à 100 mm dikte over die m², dat wil zeggen 50 à 100 liter per m².

Een hierop gelijkende constructie die wel enige mogelijkheden biedt, is een halfsteens muur, waarin men flinke stootvoegen toepast, die niet met specie zijn gevuld. Plaatst men deze geperforeerde "plaat" op bij voorbeeld 100 mm afstand voor een dragende muur en past men een passende spouwvulling toe, dan kan men behoorlijk absorberen. Dit is een mogelijkheid in gevallen dat men schoon metselwerk wenst. De halzen van 10 mm lengte zijn feitelijk langer dan gewenst; het resultaat is vaak ontoereikend.

In figuur 7 is ten slotte schematisch het absorptiegedrag van de drie verschillende typen absorptiematerialen en constructies in een figuur weergegeven. Numerieke waarden van absorptiecoëfficiënten voor dit soort constructies zijn te vinden in de literatuur.

poreuze materialen	niet-geperforeerde panelen	geperforeerde panelen
textiel, tapijten, steenwol, glaswol, h.w.c. platen, poreuze pleister	triplex, hardboard, aluminium of spaanplaat op luchtlag	ingeboorde of ingezaagde tegels perforatiegraad < 30%
absorptie in hoge frequenties	absorptie vooral in lage frequenties	absorptie vooral in middenfrequenties [300 - 1500 Hz]
verven niet toelaatbaar	verven toegestaan	verven toegestaan als gaatjes worden ontzien
specifieke luchtweerstand R grote R + grote dikte = zinloos kleine R + grote dikte = prima grote R: a meestal gering	$f_r = \frac{60}{\sqrt{m \cdot D}}$ a ≤ 0.5	paneel blijft in rust; massa lucht heel gering, dus f _r heel hoog ----- perforatiegraad ≥ 30% alsof er geen latjes aanwezig zijn

tabel 1. overzicht van de belangrijkste eigenschappen van de verschillende typen absorberende materialen