
Low frequency noise from air treatment systems, in utility buildings

ir. B.J. Aalbers, ing. H. Neuteboom, ing. B. van der Graaf, DGMR Bouw B.V.
Van Pallandtstraat 9-11, Postbus 153, 6800 AD Arnhem

Abstract

In recent years some severe cases of low frequency noise has been found in new office buildings originating from ventilation systems. Complaints are described as a 'roar', 'drone', 'air plane propellor noise', 'vibrations'. Noise specialists will use the term Low Frequency Noise (LFN). In general it concerns excessive sound pressure level in the frequency range of the 16 Hz up to the 125 Hz octave bands. Both pure tonal noise and random noise are found to be the cause, originating from mechanical and aerodynamic (flow) phenomena in both the air treatment plant and air duct system to and from the room with occupants. In some cases the annoyance level led to abundance of the room, or some of the employees became ill or refused to work in the specific room. In these cases the overall sound level in the room in dB(A) was not necessarily high and still complaints were filed based on the LFN content. This type of noise annoyance is completely different from situations where excessive flow noise is being generated in inlet/outlet grilles, regulating valves, silencers etc. are present.

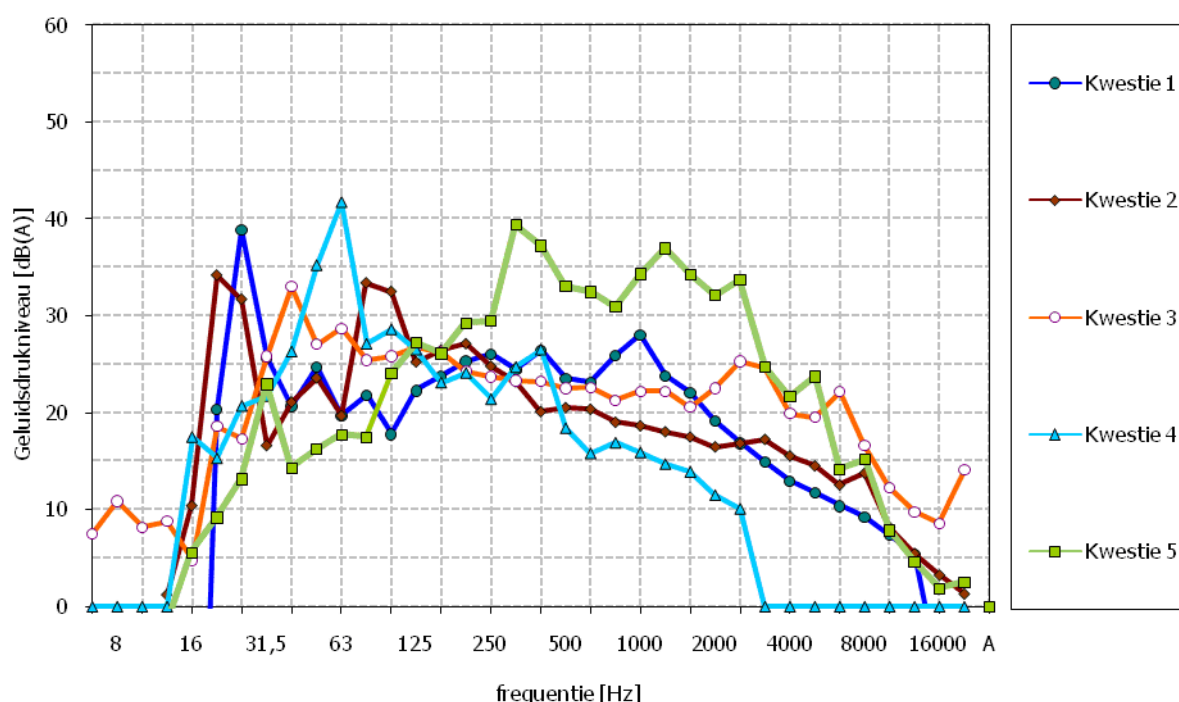
This paper intends to present some typical complications, the availability or the lacking of engineering guidelines and the existing technical options to solve this kind of problems. Also the restrictions of 'stakeholders' are pointed out. The purpose of the paper is to deliver a 'showcase' and to pin point most obvious omissions in regulations and engineering guidelines as being applied in the Netherlands. In future cases 'stakeholders' should decide more proactive in troubleshooting similar complex deviations, at least in collaborative action. Finally adequate regulation and guidelines should be developed and implemented to prevent this severe nuisance for occupants and costly repairs after the building has been taken in service.

1. Inleiding

De laatste jaren is in een aantal juist gereed gekomen gebouwen gebleken dat overschrijdingen van de installatiegeluid eis in een verblijfsruimte, te wijten zijn aan de luchtbehandelingskasten en/of een niet optimale inbouw hiervan. Meestal betrof het ruimten op korte afstand of direct naast de opstelplaats van de luchtbehandeling(LB) kast. De klachtomschrijving is soms wat vaag en luidt dan: 'doffe dreun', 'Schiphol kamer' of 'trillingen'. Kortweg wordt dit door de geluidsdeskundige benoemd als laagfrequent (LF-) geluid. In een aantal gevallen werd besloten om de ruimte maar niet in gebruik te nemen, dan wel willen een aantal medewerkers niet meer in de ruimte werken of leidt het tot ziekmelding. Het overgrote deel van de saneringsprojecten rond LB systemen aangeboden bij ons bureau betreft LF-geluid. Deels worden deze opgelost door het treffen van aanvullende bouwkundige voorzieningen, maar net zo vaak door middel van verbeteringen in het mechanisch ontwerp van de LB kast, de installatie hiervan of aanpassing aan het kanaalontwerp.

Deze paper bespreekt kort de typische mechanismen die, apart of in combinatie, het LF geluid veroorzaken. Dit wordt gedaan aan de hand van praktijkvoorbeelden. Een gedegen ontwerp van zowel de LB kast, het kanalen systeem maar ook een optimale integratie in de bouwkundige constructie vraagt een integrale ontwerp aanpak. De 'partijen' die hierbij een rol spelen zijn: de gebruiker, de architect, de projectontwikkelaar, de installatieadviseur, de bouwfysicus, de installateur en/of de leverancier. Ook als de integratie ontaard in een kwestie moet worden gepoogd die partijen bij elkaar te houden en niet te laten terugtrekken in hun eigen loopgraaf. In het laatste geval resteren er bij dergelijke kwesties feitelijk allen maar 'verliezers'. Er blijkt vaak dat een aantal of zelfs alle 'partijen' tenminste een 'deuk' in hun imago, maar vaker ook tegen forse kosten, op lopen. Het is van groot belang dat men gaat inzien dat bij LF- geluidskwesties er vaak sprake blijkt te zijn van een gedeelde verantwoordelijkheid.

In figuur 1 is van een aantal meest aansprekende saneringsprojecten het gemeten installatiegeluid in verblijfsruimten gepresenteerd.



Figuur 1: Installatiegeluid gemeten in verblijfsruimten bij diverse LF geluidkwesties

Op basis van nader onderzoek zijn een aantal typische oorzaken herkend, die in veel kwesties overeen komen. Soms was er sprake van een combinatie van oorzaken. In het algemeen moet gesteld dat er niets nieuws onder de zon is, toch blijkt dat de installateur, leverancier en/of fabrikant niets aan deze problemen kan of wil doen. Bij het doornemen van richtlijnen, handreikingen of handboeken blijken er feitelijk meerdere lacunes te bestaan, zijnde: het ontbreken van een algemeen geaccepteerde grenswaarde, praktische ontwerpregels en/of kennis bij de apparaat en/of systeem ontwerpers. Kortom de vertraging wordt bepaald door lacunes in kennis en gedeelde verantwoordelijkheden.

2. Toetsingskader

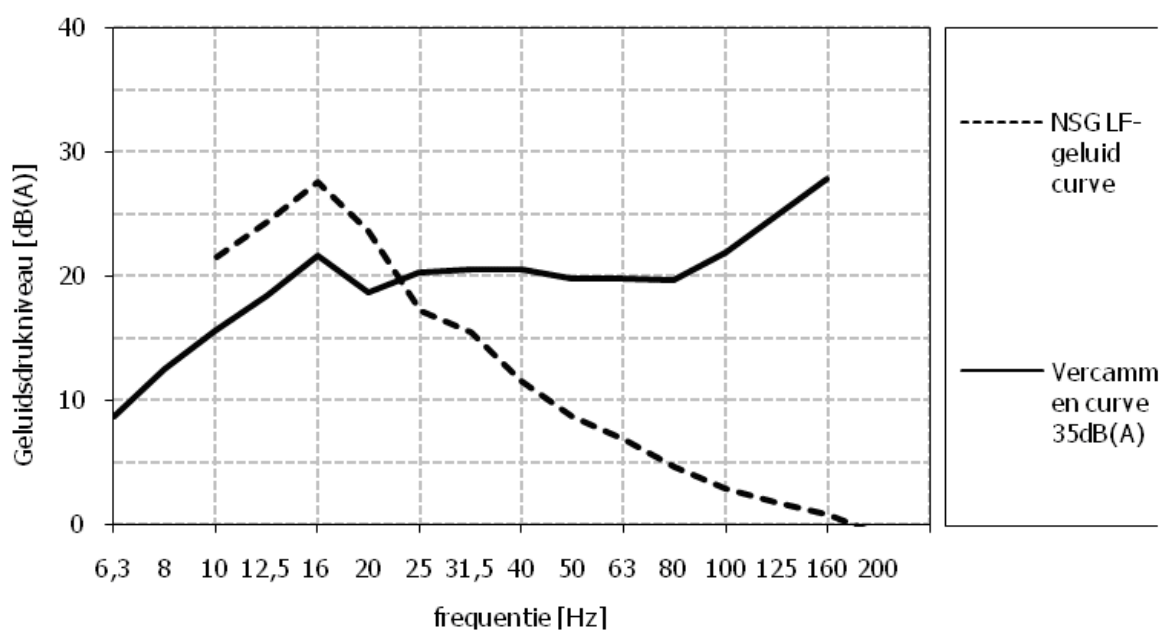
Voor een kantooromgeving worden regulier eisen gesteld aan het achtergrondgeluid, variërend van 30 tot 35 dB(A) afhankelijk van de vereiste mate van concentratie en communicatie. Voor werkplekken waarbij geregeld (telefoon)communicatie aan de orde is worden wel soepelere eisen gesteld: globaal van 38 dB(A) tot 40 dB(A). Voor de kwesties in deze paper geldt een eis van 35 dB(A). Door het hanteren van een eengetalswaarde als eis worden er feitelijk in het frequentiegebied van de octaafbanden 31,5 Hz; 63 Hz en 125 Hz, aanmerkelijke geluidsdruk niveaus toegelaten, niveaus die door personen als hinder omschreven worden. Het komt geregeld voor dat de eengetalslimiet niet of slechts beperkt overschreden wordt, terwijl er toch een oncomfortabel LF-geluidsmilieu aan de orde is.

Voor het toetsen van een LF-geluidsmilieu in kantooromgeving bestaan in principe geen concrete criteria ter beschikking uit hoofde van het Bouwbesluit of de door RijksgebouwenDienst (RGD) gehanteerde richtlijn op dit gebied. Ook in de ISSO publicatie 24 [1] wordt geen gerichte aandacht gevestigd op LF-geluid toetsingscriteria. Wel zijn er diverse principemaatregelen in deze richtlijn omschreven, die direct effect kunnen hebben op LF-geluid opwekking.

Slechts in een beperkt aantal projectbestekken worden criteria voor tonaal geluid opgenomen. LF-geluid in ventilatiesystemen heeft veelal ook een tonaal karakter. In die gevallen kan dit dan leiden tot een 'straf toeslag' van 5 dB, waarmee dan wellicht sprake is van een overschrijding van de ééngetalslimiet. Voor een dergelijke aanpak is overigens geen instructie te vinden in enige regelgeving noch richtlijnen op het gebied van geluid in een binnensituatie. Dit in tegenstelling tot de beheersing van industrielawaai, waar middels de Handreiking Meten en Rekenen Industrielawaai (HMRI) wel een aanpak van tonaal geluid omschreven wordt. De huidige

ISO 1996-2, primair gericht op omgevingsgeluid, definieert ook tonaal geluid en geeft indicatie hoe een straftoeslag (0 tot 6 dB) nader bepaald kan worden.

Wel bestaat de Nederlandse stichting Geluidhinder (NSG) LF-geluid richtlijn en inmiddels ook de 'Vercammen curve'. In figuur 2 zijn beide limietcurve getoond. Met de laatste bestaat inmiddels jurisprudentie over LF geluid in het kader van industriewelvaai-beheersing.



Figuur 2: Toetsingscurven voor LF geluid: NSG richtlijn en Vercammen curve.

Bij beide aanpakken worden normen en/of onderzoek uit het buitenland aangehaald. De Vercammen curve differentieert nog over de toegelaten ééngetalswaarde voor een zekere situatie. In figuur 2 is de curve getoond toepasselijk voor een 35 dB(A) eis en betreft globaal een vlakke limietcurve van circa 20 dB(A) voor tertsbanden vanaf 20 Hz tot en met de 80 Hz tertsband, ofwel het audio gebied. Het geluid in frequentiegebied onder 20 Hz wordt infrageluid genoemd, waarvoor met afnemende frequentie ook een steeds strengere limiet zou moeten gelden. De NSG LF-geluid richtlijn propageert daarentegen een sterk aflopend limiet waarde. Deze is voor de 31,5 Hz terts globaal gelijk aan de 'Vercammen curve' maar is voor de 125 Hz terts circa 17 dB strenger. Op basis van ervaring in de diverse kwesties is het hanteren van de Vercammen curve nuttig gebleken.

3. Karakteristieke kwesties van LF geluid in kantoorvertrekken

In de volgende paragrafen worden een aantal karakteristieke kwesties gepresenteerd waarin de oorzaken benoemd worden die, soms in combinatie dan wel afzonderlijk, steeds aan de orde blijken te zijn als er sprake is van LF geluidsklachten in kantoorwerkvertrekken. Verderop *in de paper* wordt benoemd wat de voor handen zijnde Nederlandse praktijk richtlijn en/of de ISSO publicaties hierover adviseren.

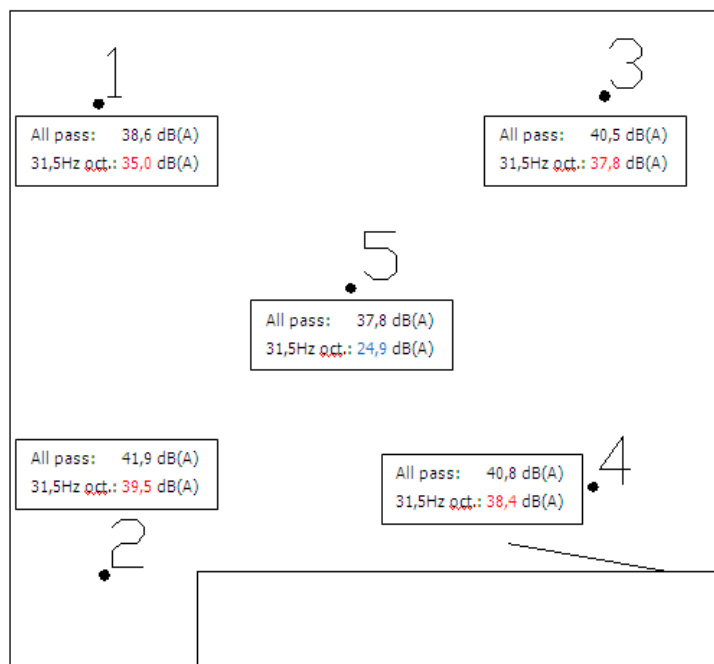
3.1 Kwestie 1 Vast opgestelde ventilator en staande golf in ontvangvertrek

3.1.1 Omschrijving

In een nagenoeg vierkant kantoorvertrek met afmetingen (LxBxH) 7, x 7, x 2,7 m en een oppervlak van circa 46 m, wordt een laag frequente brom ervaren, zodanig irritant voor de werknemers dat deze aanhoudend klagen over het gebrom. Al gedurende circa 1 jaar is de werkruimte niet meer in gebruik. Men heeft al wel bepaald welk apparaat de veroorzaker is maar nu moet het mechanisme verklaard, en een oplossing aangedragen worden. Boven de werkruimte is een ICT ruimte gesitueerd. In een rij aaneengeschaalde computerkasten zijn

twee luchtkoel kabinetten geplaatst elk voorzien van een motor ventilator (MV) combinatie. de V-snaar gedreven ventilator (asvermogen circa 1 kW) was vast opgesteld in de luchtkoel eenheid. De geluiddruk niveaus op diverse posities in de ruimte, zowel in de bepalende tertsbands als het 'all pass' niveau staan in de figuur 3 gepresenteerd.

Meetlocaties kamer 7.46



Figuur 3: Geluidniveaus op diverse posities in de ruimte: 'all pass' en 31,5 Hz octaafband

3.1.2 Analyse

Smalbandige analyse van het sterk tonale geluid in de kamer toonde feitelijk twee tonen met frequenties circa 24,5 en 29 Hz. Deze gemeten frequenties bleken overeen te komen met de toerentallen van de MV combinatie in de koelkabinetten. De altijd aanwezige restonbalans levert een ronddraaiende vrije kracht op het vloerveld boven het 'geplaagde' kantoorvertrek. Hoewel de 'vrije kracht' beperkt van grootte is wordt het vloerveld in trilling gebracht met een frequentie die nagenoeg samenvallen met twee 'holte' Eigenfrequenties van het kantoorvertrek. De lichte zweving werd veroorzaakt door licht afwijkend toerentallen van de twee stuks opgestelde koelkabinetten. Nadat de beide MV- combinaties 'slap verend' opgesteld waren, was deze LF geluid kwestie opgelost.

3.1.3 Conclusie

Ook kleine ventilatoren toegepast in de utiliteitsbouw moeten regulier verend opgesteld worden. Voor seriematig geproduceerde apparaten zijn de kosten beperkt en heeft het naast geluidsbeheersing meer voordelen zoals flexibiliteit qua toepassing en levensduur van de lagers. De ISSO publicatie 24 levert hiervoor ook een dergelijke aanbeveling in tabel 19, weliswaar weinig specifiek gemaakt.

3.2 Kwestie 2: Kleine WTW vast opgesteld op dak boven gebruiksruimten

3.2.1 Omschrijving

Deze kwestie betreft een compacte Warmte Terug Win (WTW) installatie vast opgesteld op het dak boven drie geluidsgevoelige ruimten: 2x behandelkamer en één vergaderruimte. De toe- en afvoer MV combinaties in de kast zijn nagenoeg vast gemonteerd. De WTW maakt in verband met warmte-uitwisseling gebruik van vier kruisende luchtstromen, twee afvoer en twee toevoerstromen. In het afvoerdeel van de kast is een condensdruppelvanger opgenomen waarmee de luchtstroom lokaal sterk wordt afgebogen. De afvoerkanalen zijn vast gemonteerd aan de onderzijde van de WTW en worden, verdeeld over twee takken, geleid boven de

verlaagde plafonds van de behandelkamers (boven iedere ruimte één tak). In de op de onderliggende verdieping gesitueerde geluidgevoelige ruimten (eis 30 dB(A)) worden, bij het in bedrijf zijn van alleen de afvoerventilator, geluidniveaus gemeten van 39 tot 41 dB(A). Daarbij wordt een bijdrage in de 20Hz tertsband van 30 tot 34 dB(A) geregistreerd. Het totale A-gewogen geluidniveau wordt vrijwel geheel bepaald door het frequentiegebied van 16 Hz tot en met 250 Hz octaafbanden.

3.2.2 Analyse

- a) De MV- combinaties zijn feitelijk vast gemonteerd. De tussen gevoegde 'stijve' rubberen ringen kunnen op de slappe plaatstalen steunpunten geen voldoende impedantie sprong realiseren. Trillingen van de MV-combinatie worden nu door de ventilatoren direct afgegeven aan de bouwkundige constructie, waardoor wand-, dak- en vloervlakken in de geluidgevoelige ruimten LF- geluid afstralen.
- b) De luchtkanalen zijn vast aan de bodem van de luchtbehandelingskast gemonteerd. Het effect is gelijk als omschreven in de vorige analyse.
- c) De druppelvanger in de LBK zorgt voor een grote obstructie van de luchtstroom in de afvoertak. Het is niet uitgesloten dat daardoor forse wervelopwekking plaats vindt. Dit leidt tot hogere drukval en kan aanleiding geven tot plaatveld excitatie en daarmee LF geluid opwekking.

3.2.3 Conclusies

1. De MV- combinaties hadden beter, uit hoofde van kosten, levensduur van lagers en multifunctionele toepassingsmogelijkheden, al fabrieksmatig slap verend in de WTW eenheid opgesteld moeten zijn.
2. De in de MV combinatie opgewekte trillingen (= constructiegeluid) en de in de WTW opgewekte wervels brengen de kanaal wanden in trilling, en/of worden 'wervelstraten' opgewekt die een typische wervel loslaat frequentie kunnen hebben. Beide stromingsgeïnduceerde fenomenen leiden tot verhoogde geluidsproductie in de luchtkanalen. Vervolgens wordt dit weer als geluid afgestraald. Door de kanalen met flexibele manchetten aan te sluiten op de WTW wordt trillingsoverdracht naar de aangesloten luchtkanalen sterk gereduceerd.

3.3 Kwestie 3: LB kasten naast en hoofdkanalen door kantoorvertrek

3.3.1 Omschrijving

In een schoolgebouw is de luchtbehandeling met warmteterugwinning (LBK en LAK) van een gehele gebouwvleugel gesitueerd in een technische ruimte (TR) direct grenzend aan een grote kantoortuin (1x1xh= 16.5 x 8.5 x 3m). De LF-geluidhinder is dermate, dat enkele medewerkers zich ziek meldden en/of niet meer in die ruimte wilde werken. De geluideis 35 dB(A) werd tot 3,9 dB(A) overschreden, veroorzaakt door met name de 40 Hz tertsband. Het geluidniveau in de TR bedroeg circa 60 dB(A), niet bijzonder hoog, maar bevatte ook aanmerkelijk LF-geluid. Verder zijn t.o.v. de limiet volgens ISO 14694 forse hogere trillingssnelheden op de lagers aan aandrijfzijde van de ventilatoren gemeten.

De LAK(afvoer) staat boven op de LBK(toevoer), beide kasten hebben een dubbele motor-ventilator opstelling en geluidempers aan zowel perszijde en zuigzijde van de ventilatoren. In de TR wordt het toevoerkanaal door drie kort achter elkaar geplaatste bochten en een versleping met daaropvolgend een regelklep, boven het plafond gebracht. De toe- en afvoerkanalen van lager gelegen verdiepingen lopen boven het open raster plafond van de kantoorruimte en zijn bekleed met geluiddempende matten. De scheidingswand betreft een MS-wand met aan beide zijden dubbele gipskarton plaat, gescheiden stijlen inclusief spouwvulling. Met als uitgangspunt het betrekkelijk hoge LF-geluidsniveau in de TR blijkt de MS-wand in het frequentiegebied van de 63 Hz octaaf en lager, ontoereikend qua geluidisolatie.

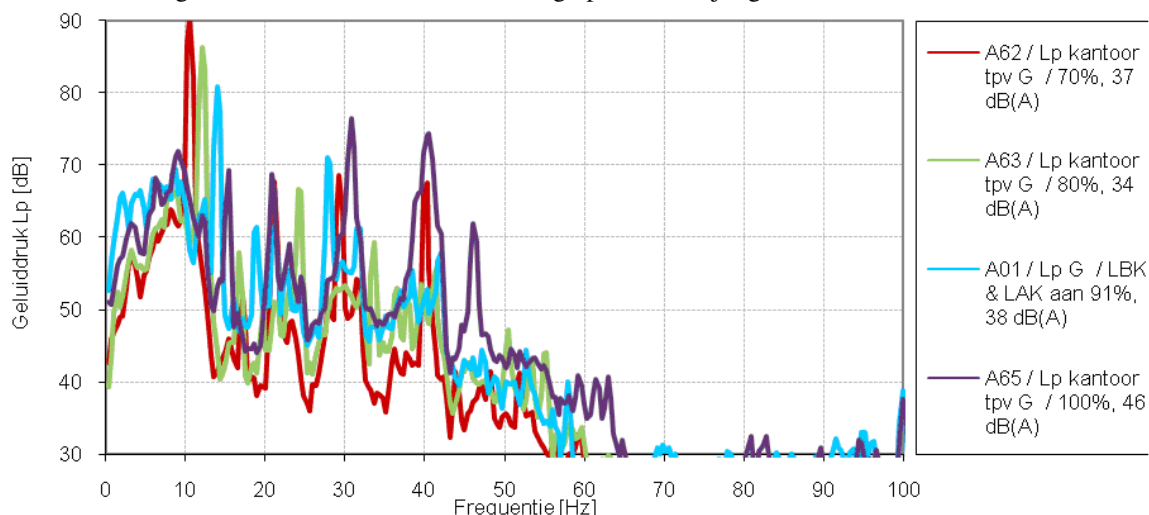
Diverse aanpassingen zijn door de installateur uitgevoerd zoals het plaatsen van weerstandplaten achter de uitblaasopeningen van de ventilatoren, kortere coulissen, het wijzigen van pouli diameters, het plaatsen van een scheidingschot, het aanspannen van de V-snaar en uiteindelijk ook het verstijven van het motorventilator frame. De eengetalswaarde van het installatiegeluid in het kantoorvertrek veranderde niet. Wel is een reductie van het geluid niveau in de 40Hz tertsband gerealiseerd, echter zeer dominante tonen bij 12,8 Hz en 25,6 Hz, zijnde 0,7 en 1,4 maal het ventilatoroerental, resteerden. Deze bleken veroorzaakt door een onjuist werkpunt van de ventilator, buiten de toegelaten grenzen op de leveringscurve (te hoge opvoerhoogte c.q. te laag debiet). Met een nieuwe ventilator (helaas slechts op een van de twee posities) met een grotere opvoerhoogte waren deze dominante tonen verdwenen. De overige 'tonen' (rond 30 Hz en 40 Hz) in het frequentiespectrum vallen samen met de eigenmodi van de ventilatorondersteuning en de plaatvelden van het slakkenhuis van de ventilator. Aanstoting van deze eigenmodes kan optreden door de restonbalans van motor- en/of ventilatoras, de

kogellagertonen (4 stuks), V-snaartrillingen en door optredende wervels in de luchtstroming die tegen het slakkenhuis ‘aanstoot’.

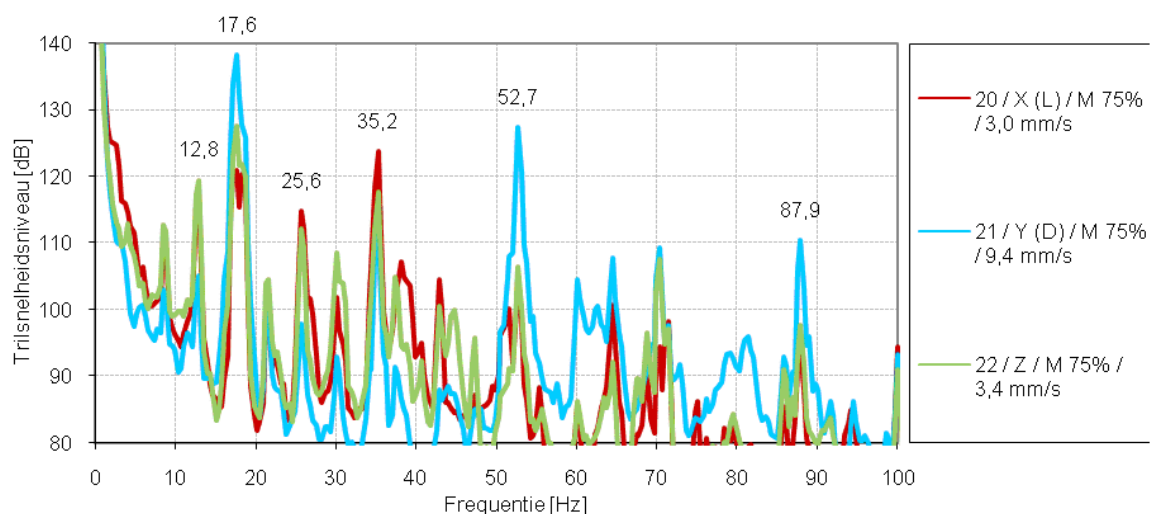
3.3.2 Analyse

De laagste stoortonen met een vaste verhouding van 0,71 en 1,43x ventilator-toerental, bleken veroorzaakt te worden door een niet juist geselecteerde ventilator qua leveringscurve. Dit is geconcludeerd door het toerental stapsgewijs te variëren, zie de figuur 3a: bij lagere toerentallen stijgt de geluiddruk van de laagste toon (0,7 x toerental) fors! Het gevolg was dat het dak van de LBK als ook alle overige begrenzingen van het luchtstroompad, in de LB kast en de luchtkanalen, sterk in trilling geraakte. Door het toelaten van extra lucht aan de zuigzijde of het afblazen van lucht aan de perszijde, bleek dat het fenomeen opgeheven kon worden. De precieze oorzaak van het ontstaan van de sterke drukwisselingen bij 0,7 en 1,4 maal toerental is onbekend gebleven, ondanks vragen in die richting bij de leverancier.

Het geluidniveau in dit frequentiegebied blijkt ook sterk te fluctueren bij het variëren van het toerental, zie figuur 4a. De ‘tonen’ in het frequentiespectrum van 10 tot 50Hz zijn afkomstig van het deel van het LB systeem dat in de TR gesitueerd is: bestaande uit de MV combinatie, een groot verloopstuk, drie bochten, een versleping en regelklep op korte afstand achter elkaar. Diverse eigen modi van de ventilatorbehuizing maar ook de plaatvelden van de luchtkanalen zijn hier debet aan. Daarnaast zijn er hoge trillingssnelheden op de kogellager aan aandrijfszijde van de ventilator gemeten, die fors hoger zijn dan toegelaten conform de klasse BV-3 van de ISO 14694. De figuur 4b toont de smalle band meting op het aandrijfslager van een van de ventilatoren.



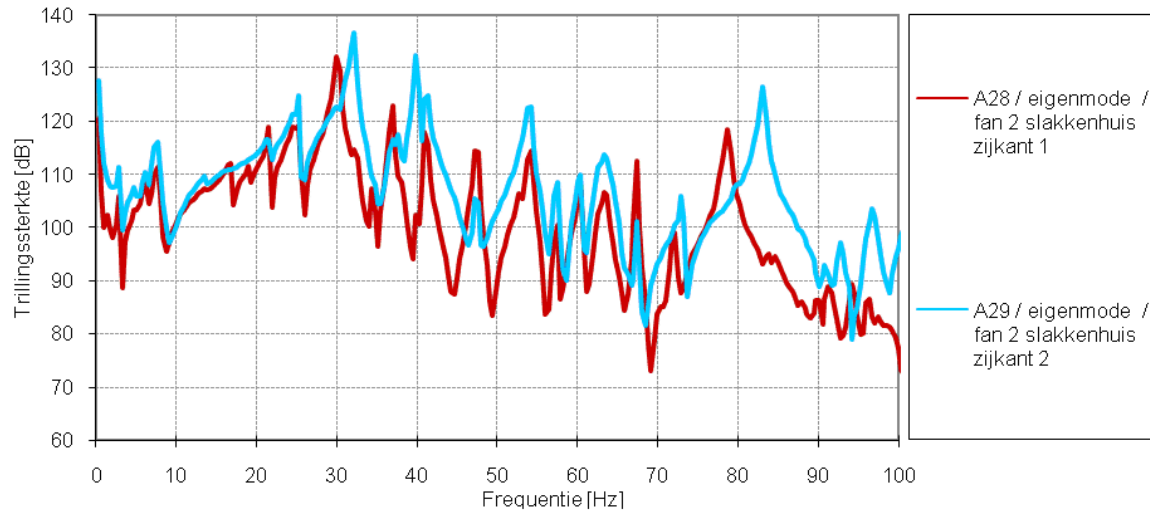
Figuur 4a: Geluiddruk spectra op één kantoorlocatie bij enkele toerentallen



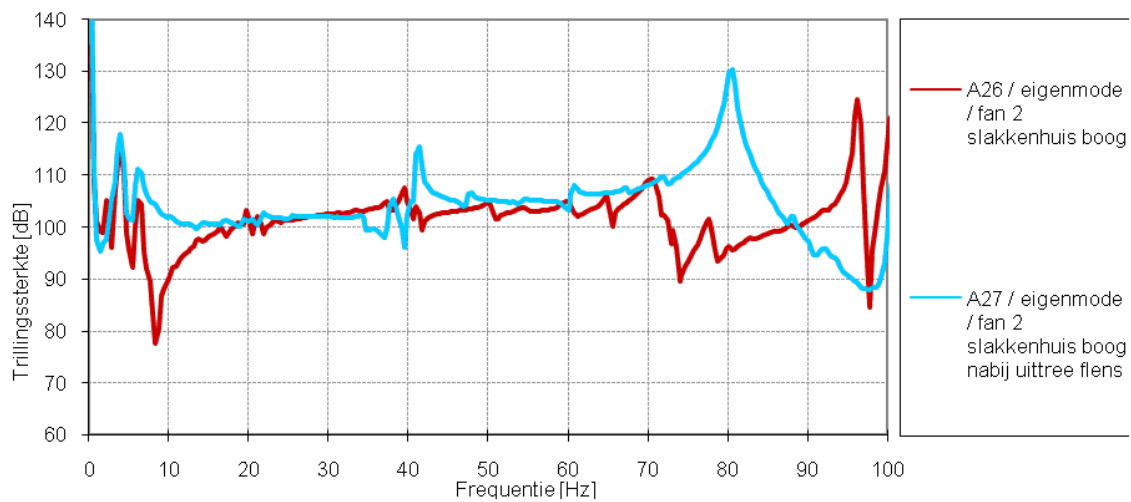
Figuur 4b: Trillingspectra op ventilator lager aandrijfszijde

Nader onderzoek naar de ligging van de eigen modi van de plaatvelden van de ventilator: respectievelijk de beide zijvlakken en de spiraal gebogen plaat van het slakkenhuis heeft uitgewezen, dat de zijvlakken (zie figuur 4) een betrekkelijk hoge mode dichtheid bezitten, al vanaf circa 17 Hz en hoger. Diverse eigenfrequenties van de zijvlakken alsmede van de ventilatorondersteuning komen overeen met frequenties in de gemeten

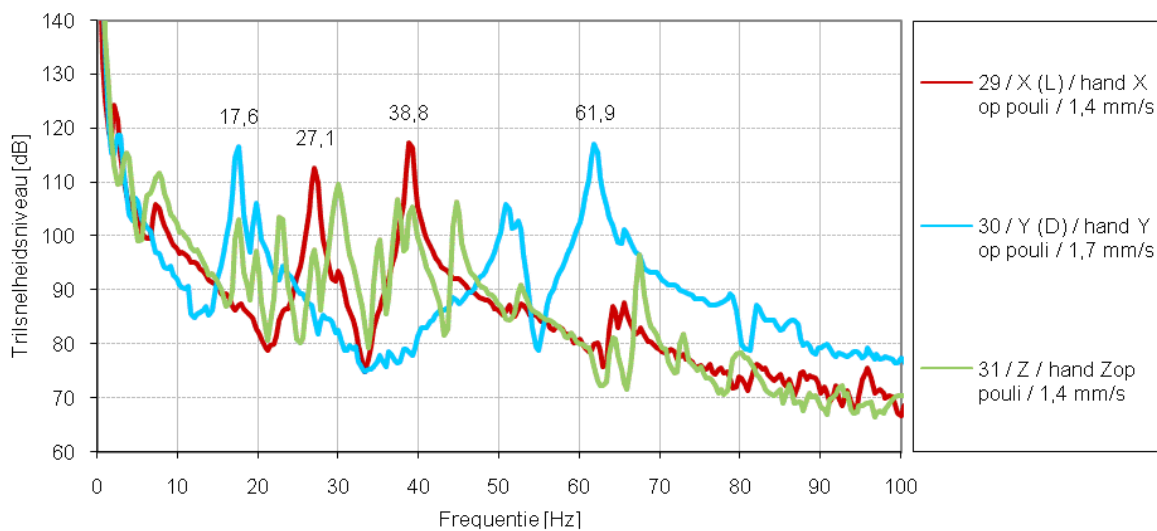
geluidspectra in de kantoortuin. Voor het spiraal gebogen plaatveld (figuur 5) blijkt de eerste en tweede eigen mode te liggen bij circa 38 Hz respectievelijk 80 Hz.



Figuur 5: Eigenmodi zijvlakken slakkenhuis



Figuur 6: Eigenmodi spiraalboog slakkenhuis



Figuur 7: Eigenmodi ventilatorondersteuning, x = hor. dwars op de as, y = hor. axiaal, z = ver. dwars op de as

De eigenmodi van de gemeten plaatvelden van het kanaalwerk direct achter de LBK komen niet overeen met de hinderlijke pieken. De kanaalwanden van het toevoerkanaal na de eerste bocht achter de LB kast zijn niet gemeten. Verwacht wordt dat in dit kanaaltraject en vooral in de verticale versleping juist voor de regelklep er mogelijk nog, meer breedbandige aanstoting van de kanaalwand plaatvelden optreedt.

3.3.3 Conclusies

Het in de TR heersende LF geluid kon door het lichte MS wandstelsel onvoldoende geïsoleerd worden van het kantoorvertrek. DE LF geluidopwekking werd veroorzaakt deels door de LB kast maar ook, meer ruisachtig van karakter, in delen van het kanaalwerk.

De dominante tonen in het LF geluid betroffen:

- 0,7x en 1,4x het ventilator-toerental. De oorzaak was een foutief bedrijfspunt op de Q-H (leverings)curve;
- verder bevatte het geluid spectrum in het kantoorvertrek ook 1x en 2x toerental frequenties.

De eigenmodi van de ventilator as-ondersteuning en de plaatvelden van het slakkenhuis liggen in het frequentiegebied van het gemeten LF-geluid. Zie de figuren 4, 5 en 6. Aanstoting van deze eigenmodi kan optreden door de restonbalans van motor- en/of ventilator- as, de kogellagertonen (4 stuks), V-snaartrillingen maar ook door de luchtstroming die tegen het slakkenhuis aanstoot. Het toerental wordt door een regelsysteem continu gevarieerd. Hierdoor vallen altijd wel enkele stoorfrequenties uit de ventilator samen met enkele Eigen modi en ontstaat er een variërende LF geluid signatuur. Om die reden is het van belang dat de Eigen frequenties van de laagste buig- en torsie modi zo mogelijk tenminste een factor 1,4x het hoogste toerental liggen en/of kritische trilvormen van de zijvlakken van het slakkenhuis gedempt worden.

De eigenmodi van de gemeten plaatvelden van het rechte kanaalstuk direct achter de LBK komen niet overeen met de hinderlijke pieken in het geluidsspectrum, de plaatvelden van de ventilatorbehuizing vallen echter wel in hetzelfde frequentiegebied (30-40 Hz). De kanaalwanden van het toevoerkanaal na de eerste bocht achter de LB kast zijn niet gemeten. Verwacht wordt dat in dit kanaaltraject en vooral in de verticale versleping juist voor de regelklep er mogelijk nog, meer breedbandige aanstoting van de kanaalwand plaatvelden plaats vindt. De hierdoor opgewekte kanaalwand trillingen kunnen nog onderdrukt worden door het verstijven en dempend bekleden. anderzijds kan de luchtstroming beter geleid worden waardoor wervels niet meer optreden.

3.4 Kwestie 4: LBK opgesteld in TR naast kantoorvertrek

3.4.1 Omschrijving

In een kantoorvertrek van circa 15m², direct gelegen naast een technische ruimte, wordt laagfrequent geluid ervaren. Het kantoorvertrek is nooit in gebruik genomen en het personeel noemt deze ruimte de 'Schiphol kamer'. In de TR zijn twee luchtbehandelingskasten opgesteld. De voor deze casus relevante LBK is, in verband met de kleine ruimte, met de kopse kant op circa 0.3 m van de scheidingswand met het kantoor geplaatst. De toevoerkast is voorzien van twee parallelle ventilatoren (afstand tot scheidingswand circa 1m), die aan de persflens direct aangesloten zijn op het kanaalwerk, dat via een bocht boven het verlaagde plafond van het kantoorvertrek loopt. Elk van de ventilatoren wordt aangedreven via een V-snaar door een elektromotor, op een vast toerental. Motor en ventilator zijn samengebouwd met een combinatie frame (de MV-combinatie) dat weer slap verend opgesteld is in de LB kast. De primaire geluidsdemper ligt boven het kantoorvertrek, na circa 2 m kanaallengte (BxH 2,4x0,5m). Op basis van de klachten is het verlaagde plafond verzwaard met gipsplaten en is op de scheidingswand aan TR zijde brandwerende beplating geschroefd.

Bij de eerste schouwing bedraagt het gemiddelde geluidniveau in de kantooruimte 44 dB(A), met een sterk dominante toon (55Hz) zijnde 2x ventilator-toerental. Daarnaast wordt er een geluidbijdrage waargenomen in de 250 tot 1000Hz octaafbanden. Aanbevolen wordt om aanvullende, uitgebreide geluid en trillingsmetingen te doen in kantoorvertrek en aan de toevoerkast. Trillingssterkte verdeling op de scheidingswand toont 'scherp' de contour van de erachter opgestelde LB kast. Evenwel gaat de installateur direct maatregelen treffen: in de eerste bocht komen coulissen en direct na de ventilator uitblaas wordt een geperforeerde plaat opgenomen. De klacht wordt helaas niet weggenomen. Ter compensatie van de extra weerstand is het ventilator toerental verhoogd.

Vervolgonderzoek leert dat de recente defecten aan de V-snaar het gevolg zijn van een te slap combinatieframe. Hoge axiale trillingsterkte duidt op schavielen van de V-snaar in de groef van de pouli's, gelijkaardig als het slijtage beeld bij 'uitlijn' stand. Dit wordt bevestigd door de sterke tweede orde toerentaltoon die in het kantoor wordt geregistreerd. In het kantoor wordt na de eerder omschreven maatregelen, een gemiddeld geluidniveau gemeten van 41 dB(A), ofwel er is een geluidreductie van 3 dB(A) bereikt. Dit blijkt bepaald te worden door de reductie in het middenfrequente gebied, als gevolg van de extra coulissen in de bocht. De dominante toon is verschoven naar 59Hz, veroorzaakt door de 1^{ste} MV- combinatie. Deze toon daalt 8 dB(A) als de 2^{de} MVC

wordt uitgeschakeld. Het geluidniveau in de TR bedraagt naast de LBK circa 71 dB(A), dominant bepaald door de 59Hz toon. In de LBK zijn op diverse posities ook geluidmetingen uitgevoerd. De 59 Hz toon is ter plaatse van de V-snaar en in het aanzuigplenum voor de ventilatoren dominant aanwezig. De trillingsterkte op de lagers van de ventilator bedragen in zowel axiale als verticale richting tot 24.8 mm/s! Trillingssterkten op de lagers van ventilatoren met HVAC functie zouden volgens ISO 14694:2003(E) moeten kunnen voldoen aan de klasse BV-3. De grenswaarde voor een 'in situ' meting is 6.3 mm/s. Op het opstelframe van de 1^{ste} MVC worden bij 59Hz trillingssterkten gemeten tot 15.8 mm/s, op de 2^{de} MVC is dit slechts 1.4 mm/s!

3.4.2 Analyse

a) De waargenomen dominante toon in het installatiegeluid in het kantoorvertrek blijkt terug gevonden te zijn in de trillingsignatuur op de lagers van beide MV- combinaties. De oorzaak hiervan kan gelegen zijn in een of meer van de in kwestie 3 opgesomde aspecten, met betrekking tot het mechanische ontwerp van de MV combinaties.

b) Door het uitschakelen van de 2^{de} MVC wordt een verschuiving van het bedrijfspunt voor de 1^{ste} MVC gerealiseerd. De opvoerhoogte zal bij hetzelfde toerental lager komen te liggen en tegelijkertijd zal deze meer debiet gaan leveren. Voor de 59Hz toon is een reductie van 8dB gemeten, waarmee vermoed wordt dat de bewuste ventilator in normaalbedrijf op een verkeerd bedrijfspunt draait. Door een te slap opstelframe kan de V-snaar gaan klapperen. Controlemetingen met een stroboscooplamp zijn evenwel niet uitgevoerd door de installateur of fabrikant, omdat de gereedschappen inmiddels niet meer regulier voor handen zijn.

c) De betrekkelijk lichte scheidingswand tussen TR en kantoorruimte, in combinatie met de korte afstand tussen toevoerventilatoren en wand (circa 1m), zorgt voor een geluidbijdrage in het kantoor via de bouwkundige constructie. Voor de lagere frequenties is massa benodigd om een voldoende hoge geluidisolatie te behalen. Deze is, gelet op de hoge trillingsniveaus die zijn gemeten op de wand, niet aanwezig. Geadviseerd wordt:

- 'sandwich' demping op zijvlakken slakkenhuizen aan te brengen;
- zwaardere lagerondersteuning aan brengen;
- eventueel het MV combinatieframe uitvoeren in gewalste profielen (UNP);
- kalkzandsteenwand in TR op te trekken.

3.4.3 Conclusies

1. Een controle van het in theorie bepaalde bedrijfspunt van de MVC's in zowel LBK als LAK is noodzakelijk. Hiermee kan onnodige slijtage aan de MVC's en geluidhinder in nabij gelegen geluidgevoelige vertrekken voorkomen worden. Indien het bedrijfspunt goed is bevonden maar LF geluid optreedt, dan moet de trillingssterkten op de lagers worden gemeten, waarbij voldaan moet worden aan tenminste de klasse BV-3 uit de ISO 14694:2003(E);

2. Ruimtereservering voor gebouwgebonden installaties is van groot belang voor het succesvol integreren van technische (geluidproducerende) en geluidgevoelige ruimten. In de ontwerpfase moet er al rekening gehouden worden met een bufferzone tussen beiden. Een zware bouwkundige wand had in dit geval slechts gedeeltelijk soelaas geboden.

3.5 Kwestie 5: LBK in ruime TR, met PIR-hoofdkanalen boven naastgelegen kantoren

3.5.1 Omschrijving

In een kantoorgebouw is in het midden van de vleugel een gangzone gelegen met vier aangrenzende kantoren. Het gebouw is uitgerust met gebalanceerde ventilatie. Aan het einde van deze gangzone bevindt zich een deur naar een tussenportaal, waaraan de TR (zuidzijde) en een magazijn (noordzijde) gelegen zijn. De TR grenst direct aan één van de kantoren, waarbij de scheidingsconstructie bestaat uit een wand opgebouwd uit gelijmde kalkzandsteenblokken. De LBK voor de kantoren is voorzien van een enkele MVC, die met een flexibele verbinding aangesloten is op het toevoerkanaal. De LAK is gelijkaardig uitgerust. Bij beide systemen (toe- en afvoer) zijn de kanalen na geluiddempers opgesplitst in noord- en zuid- takken en uitgevoerd in kunststof (PIR), daar waar ze door het magazijn lopen van en naar de kantooromgeving.

In de kantoren aan de zuid- en noordzijde worden geluidniveaus gemeten van respectievelijk 43 tot 46 dB(A) en 38 tot 44 dB(A). Dominant zijn de frequentiebanden 315 en 400Hz tertsband, daarnaast wordt ook LF geluid waargenomen in de 31,5 Hz terts band weliswaar bescheiden ad. 23 dB(A). De toevoerkast blijkt verantwoordelijk. Na het plaatsen van extra demper is reductie bereikt to circa 40 dB(A). Wel wordt er nu in alle vier de kantoren aan de gangzone een laagfrequent gebrom waargenomen in de 31.5Hz tertsband. De geluidniveaus in deze tertsband bedragen hier circa 23 dB(A) in de kantoren aan de noordzijde tot 27 dB(A) in

de kantoren aan de zuidzijde. Dit LF geluid is aan noordzijde dus niet verbeterd en aan zuidzijde nu pas opgetreden. Nadere inspectie toont lekke PIR kanalen waardoor besloten wordt deze te vervangen en te omtimmeren met gipsplaat 15 mm. Na vervanging van de kanalen en gedeeltelijke omtimmering worden geluidniveaus gemeten van 32 tot 35 dB(A). Het LF-geluid wordt in kantoor 1 waargenomen met een geluidniveau van 23 dB(A) in de 31.5Hz tertsband. In overige kantoren varieert de bijdrage van de 31.5Hz tertsband tussen de 8 en 12 dB(A). In het kantoor waar de omtimmering nog niet is aangebracht worden geluidniveaus tussen 14 en 17 dB(A) gemeten in de 31.5Hz tertsband, dit was niet hinderlijk. De algehele reductie van het LF- geluid na de laatste aanpassing, weliswaar niet van extreme sterkte, kan op basis van de waarnemingen niet beredeneerd worden.

3.5.2 Analyses en conclusies

Tijdens de stapsgewijze aanpassingen is er tijdelijke een fors hogere bijdrage in LF geluid opgetreden. Dit kan niet anders verklaard worden dan dat er aanmerkelijke wijzigingen qua bedrijfspunt optraden (verhoogde tegendruk en/of verhoogd debiet door grote lekkage). Het introduceren van stalen kanalen en omtimmering brachten uiteindelijk weer de beginsituatie qua LF geluid terug. In de eindsituatie bleek een overschrijding van de Vercammen curve, hoewel van beperkte aard, toch als hinderlijk ervaren te worden. Lagere LF geluid niveaus waren in andere vertrekken nog hoorbaar maar niet hinderlijk. Ook in een situatie waarbij de LB kasten feitelijk achter een betrekkelijk zware scheidingswand geplaatst zijn, is er nog sprake van LF geluid waarneming en wordt dus de prestatie van de LB kast nog steeds verdacht.

4. Mogelijke oorzaken van LF geluid in LB systemen

4.1 LB kast ontwerp

4.1.1 Mechanisch ontwerp

Als uitgangspunt geldt dat de 'geluid' bronsterkte van de LB kast moet voldoen aan wat regulier van een beproefd ontwerp en seriematig vervaardigd product verwacht mag worden. De bronsterkte omvat enerzijds het luchtgeluid dat via de lucht aan- en afvoer opening en de kastwand uitgestraald wordt en anderzijds het in de opstelpunten van de LB kast aanwezige constructiegeluid. Voor beide bronsterkten bestaat de mogelijkheid om in de installatie nog (aanvullende) geluidisolerende maatregelen te treffen. De voorkeur gaat uit naar het toepassen van maatregelen bij de bron. Hierna wordt afzonderlijk op deze punten nader ingegaan.

4.1.1.1 Bronsterkte

De bronsterkte wordt bepaald door enerzijds de MV- combinatie en anderzijds de luchtstroming door diverse systeemcomponenten in de LB kast.

4.1.1.2 Trillingen/Constructiegeluid

De trilling bronsterkte van een ventilator wordt, mede bepaald door het dynamisch gedrag van de MV-combinatie, veroorzaakt door de restonbalans, kogellagertonen, trillingen in de aandrijfriem, en de luchtstroming door de ventilator. De bronsterkte kan aanmerkelijke variëren door:

- toerental variatie, waardoor typische stoofrequenties al dan niet samenvallen met Eigen trilvormen van de MV- combinatie. Toerental variatie (instelbaar of regelbaar) bereikt men door diameterkeuze van de aandrijfpoeli's respectievelijk met behulp van de continu variabele (toerental)frequentieregelaar;
- verhoogde restonbalans, door toepassing van andere poeli's zonder dat er balancering in situ uitgevoerd wordt;
- exemplarische variatie door de licht geconstrueerde ventilatorbehuizing en lagerondersteuning, hierbij kan men variëren op:
 - o samenstelling slakkenhuis (i.v.m. eigenmodi):
 - plaatdikte (als functie van opvoerhoogte) van het slakkenhuis;
 - wijze van samenstellen: gefelst of gelast;
 - o kogellagertype;
 - o lagerbevestiging: 'gedrukt' plaatstalen strip of gegoten lager 'blokken';
 - o lagerondersteuning:
 - licht stalen strips, al dan niet getwist of met doorgedrukte 'rug', die slechts reiken tot de instroomconus contour in de zijvlakken;
 - dikke gewalste stalen strip gelast, met enkel- of meervoudige ondersteuningstaven en schoenen die reiken tot de buiten contour van het slakkenhuis;

- het dynamisch gedrag van het MV- combinatie frame voor snaaraandrijving, de hoofdvarianties zijn:
 - o lichte gevouwen plaatliggers, diverse subvarianten, of
 - o zwaar raamwerk opgebouwd uit gewalste profielen (UNP- en INP-)
- Als alternatief verdient een directe aandrijving met toerentalregeling sterk de voorkeur;
- het combinatie frame (functie: buig- en torsie-stijfheid) benodigd om:
 - o de aandrijfriem te kunnen spannen zodanig dat klappen niet optreedt
 - o het dynamisch gedrag als eerder genoemd te voorkomen;
- 'hydraulische' interactie tussen 2 parallel geplaatste MV- combinaties in één LB kast;
- Een bedrijfspunt dat binnen het bedrijfsgebied van de zogeheten QH-(leverings)curve ligt;
- de onderhoudstoestand van kogellagers, aandrijfriem en de afstelling ('in lijn' stand) van de assen.

De variatie in 'trilling' bronsterkte komt tot uitdrukking als variatie in het afgestraalde luchtgeluid (romp en aanzuig- afblaas- openingen) en in de constructiegeluid sterkte die de opstelvoer belast. Voor een verantwoord ontwerp moet er zekerheid bestaan over de trillingsprestatie van de MV-combinatie. Dit vraagt een beproefd ontwerp over het gehele bereik. De modulaire opbouw van de LBK's en de specifieke eigenschappen van iedere MV-combinatie, maakt iedere LBK uniek. Ondanks dat wordt de samengestelde LBK uit kosten overweging niet in de fabriek beproefd. Hierin ligt nu één van de oorzaken voor de vooralsnog incidenteel optredende LF- geluid kwesties. Om die reden wordt ten sterkste aanbevolen Lagertrillingen op MV-combinaties in LB kasten minimaal te laten voldoen aan ISO 14694. De prestaties volgens deze norm zijn gedifferentieerd in gebruiksklassen (BV- 1 t/m 5) en het as vermogen van de ventilatoren.

4.1.1.3 Stromingstechnisch ontwerp

Het sterk ongelijkmatige uitstrooprofiel van de luchtstroom in de ventilator uittree opening kan tot sterke wervels in de LB kast (met als gevolg LF-geluid) leiden. Om die reden moet de ventilator bij voorkeur in een 'ontspan' persplenum in de LB kast uitblazen voordat de lucht een kanaal instroomt. Zo nodig wordt ook nog een 'weerstandplaat' voor de uittree opening geplaatst. Hiermee kan de luchtstroom verder afgevlakt worden.

4.1.1.4 Luchtgeluid

Regulier zal de A-gewogen geluidsignatuur van ventilatoren vooral bepaald worden door een ruisachtig karakter in het frequentie gebied van de 250 Hz tot 4 kHz octaafbanden, veroorzaakt door de luchtstroming door de ventilatorwaaier en het slakkenhuis. LF- geluid is hierbij ondergeschikt, zolang:

- de ventilator binnen zijn werkgebied (deel van de QH-curve) wordt gebruikt en er in de uitstroopening of direct daarachter, geen grote wervelvorming kan ontstaan;
- de trillingsbronsterkte van de MV- combinatie geen afwijkend hoge signatuur te zien geeft.

Regulier wordt er een coulissen demper opgenomen in de LB kast. Soms worden hier coulissen met 'resonantie' paneel toegepast. Deze leveren echter nauwelijks tot geen reductie in het frequentie gebied onder de 63 Hz.

4.1.2 Luchtgeluidbeheersing

In een relatief groot aantal kwesties wordt, in verband met gebrek aan ruimte, de toevoerventilator direct op het kanaal aangesloten. Hierdoor wordt het door de ventilator geproduceerde geluidvermogen direct in het kanaal afgestraald. Veelal is de geluidisolatie van de LB kastwanden, zijnde dubbelwandige panelen, aanmerkelijk. Dit in tegenstelling tot de geluidisolatie van de lichte plaatstalen kanalen. Daarom wordt bij voorkeur de geluiddemper opgenomen in de LB kast. Als de demper toch in het kanaalwerk opgenomen wordt, dan bij voorkeur op een zo kort mogelijke afstand tot de uittree opening van de LB kast en dient het kanaalwerk tot de demper met een verhoogde geluidisolatie uitgevoerd te zijn.

4.1.3 Constructiegeluid (trillings-) beheersing

Ventilatoren moeten (zowel in de LB kast als ook los in het gebouw geplaatst) slap verend opgesteld worden. De te kiezen afveer frequentie hangt af van de bronsterkte, de ondersteuningsconstructie en de geluid eis in de geluidgevoelige ruimten. Normaliter wordt hiermee voldoende trillingsisolatie bereikt waarmee LF-geluid hinder door constructiegeluid overdracht kan worden voorkomen. In sommige gevallen kan trillingsoverdracht via de aangesloten kanalen nog een substantiële bijdrage opleveren. Dit overdrachtspad kan onderbroken worden door middel van flexibele manchetten tussen LB kast en luchtkanalen.

4.2 Installatieontwerp

4.2.1 Stromingstechnisch ontwerp

LF-geluidsofwekking in een kanaalsysteem kan worden gereduceerd door wervelvorming zoveel mogelijk te voorkomen. De luchtsnelheid en daarmee de doortocht, de vormgeving en de constructieve uitvoering van luchtkanalen spelen een belangrijke rol. Met name dit ter plaatse van bochten, verslepingen, aftakkingen en splitsingen in luchtkanalen. In ISSO publicatie 24 [1] maar ook in de Eurovent richtlijn [2] worden de actoren bij stromingsgeluid benoemd en een aantal limieten ten aanzien van maximaal aanbevolen luchtsnelheden gegeven. Hierbij is geen uitsplitsing gemaakt ten aanzien van LF-geluid. In de ISSO publicatie worden geen concrete aanwijzingen gegeven voor 'goede aerodynamische vormgeving' en concrete dimensionering van vormgevingen die beaplend zijn voor de luchtstroming. Dit laatste krijgt in de Eurovent richtlijn meer aandacht. Het manco van beide richtlijnen is dat deze, gezien vanuit de behoeften bij systeemopzet, te globaal zijn. Verder is er nog een zeer lezenswaardig rapport opgesteld in opdracht van het Amerikaanse departement voor energie (DOE) [3]. Hierin worden voor zowel LB kasten als ook complete systemen nuttige richtlijnen gegeven. Deze richten zich op zowel mechanische als ook stromingstechnische ontwerpaspecten, die direct effect hebben op de LF-geluidopwekking. Ook dit document mist echter nog een uitwerking op ontwerpniveau.

4.2.2 Bedrijfspuntbepaling

In de ontwerpfase moet er aan de hand van het luchtdebiet en de benodigde opvoerhoogte een geschikte ventilator geselecteerd worden. Omdat met name het bedrijfspunt van centrifugaal ventilatoren gevoelig is voor variaties in opvoerhoogte, moet er, ter bepaling van deze parameter, een nauwkeurige weerstandsberekening aan ten grondslag liggen. In diverse kwesties bleek een weerstandsberekening echter niet voor handen.

4.2.3 Kanalen

Door de compacte, kosten-efficiënte, inrichting die meestal wordt toegepast in de utiliteitsbouw, staat ruimtereservering voor gebouwgebonden installaties altijd onder druk. Dit heeft tot resultaat dat onder andere hoofdkanalen weggestopt worden boven verlaagde plafonds van geluidgevoelige ruimten en dat er veel bijzondere, en daardoor geluidopwekkende, kanaalstukken worden toegepast. Er wordt in deze gevallen onvoldoende aandacht besteed aan stromingsgeluid opwekking door het optreden van wervelingen. Het is wel bekend dat ronde kanalen minder gevoelig zijn voor wervel opwekking en daarenboven ook een hogere geluidisolatie hebben voor LF-geluid. Door gebrek aan inbouwhoogte wordt echter niet zo vaak gekozen voor ronde kanalen, zeker niet bij horizontale kanalen onder verdiepingvloeren.

Om geluidoverdracht vanaf kanalen naar de bouwkundige constructie te voorkomen, kan gekozen worden voor trillingsgeïsoleerde bevestiging (opstellen of ophangen). De beschikbare hulpmiddelen richten zich normaliter op constructiegeluid isolatie vanaf circa de 63 Hz octaafband en hoger. Als daar aanleiding toe gezien wordt moet de bouwfysische adviseur in een vroeg stadium hier de aandacht op vestigen en aanvullend adviseren. Dit geldt feitelijk ook voor de plaatsing van de LB kast. De inbouwwijze moet gespecificeerd worden afhankelijk van de reeds in de LB kast toegepaste trillingsisolatie en de overige randvoorwaarden in de inbouwpositie.

4.3 Bouwkundig ontwerp

Tegenwoordig is vrije indeelbaarheid het credo in de utiliteitbouw. De bouwkundige constructie is veelal gereduceerd tot een samenstelling van kolommen en vloervelden met minimale stabiliteitselementen (te weten trappenhuis en/of liftschachten). De interne scheidingsconstructies worden gevormd door lichte, snel te monteren, wandsystemen die veelal zijn te typeren als 'metal stud' (MS)wand. Dergelijke lichte binnenwanden worden vaak ook geprojecteerd rond deze TR's, maar hebben volstrekt onvoldoende geluidisolatie voor het substantieel weren van LF-geluid, opgewekt door LB systemen. Hiervoor wordt steeds gepleit om steenachtige wandsystemen toe te passen, bijvoorbeeld kalkzandsteen 12 cm dik. Overigens: een 'falend' LB systeem zal hiermee echter niet volledig geïsoleerd kunnen worden.

Te pleiten valt voor het opnemen van een zogenaamde bufferzone tussen technische ruimten en geluidgevoelige ruimten, aangezien een groot deel van het LF-geluid afgestraald wordt in de direct naast de TR gelegen ruimten. Deze bufferruimte kan bijvoorbeeld bestaan uit een toiletgroep, trappenhuis en/of werkkast. Daarnaast is het wenselijk (maar alleen als de regelgeving dit toelaat) om de LB kast op het dak te plaatsen. Dit, in combinatie met lichtgewicht kanalen (bijvoorbeeld PIR), zorgt ervoor dat het LF-geluid vanuit de LBK al grotendeels wordt uitgestraald naar de omgeving. Het is duidelijk dat dit alleen 'kan' met redelijk correcte systemen.

In diverse praktijksituaties zijn (in verband met compact, efficiënt inrichten van een gebouw) hoofdkanalen vanuit de TR boven het verlaagd plafond van een (meestal naastgelegen) geluidgevoelige ruimte weggewerkt. In

het geval van verticale kanalen wordt vanzelfsprekend een bouwkundige schacht toegepast. Ook bij horizontale hoofdkanalen is aanvullende geluidisolatie, ordegrootte gelijk aan die van een schachtwand, wel degelijk noodzakelijk. Hiertoe moet een zware omtimmering toegepast worden als de kanalen door een geluidgevoelig gebied geleid wordt. Het leiden van de hoofdkanalen boven een verkeersgebied(gang) verdient uiteraard altijd de voorkeur.

4.4 Integraal ontwerpen

In de meeste gevallen is er sprake van een ‘ontwerpteam’ aanpak. Dit team zal zich in een vroeg stadium moeten buigen over de volgende vraagstukken ten aanzien van de ruimtereservering, zoals:

- de locatie van de LB kasten;
- de kanalenloop, middels schachten en horizontaal onder verdiepingsvloeren;
- de wandconstructie rond de TR.

In dit stadium is niet altijd voldoende marge gelaten voor een optimale inbouw van het LB systeem. Netto vloer oppervlak heeft immers een hogere prioriteit. Parametrisch ontwerpen is nog niet vanzelfsprekend waardoor het effectief voldoen aan randvoorwaarden van een combinatie van deelaspecten niet automatisch tot een juiste opzet van het LB systeem leidt. Het ‘standaard’ bouwakoestisch advies om de scheidingswanden rond de LB kast uit te voeren in halfsteens metselwerk, wordt tegenwoordig niet meer als vanzelfsprekend gehonoreerd. Al te vaak wordt verwezen naar projecten ‘waar toch niets mis mee is’. Helaas wordt daarmee dan het risico ‘genomen’, al dan niet bewust, dat een tegenvallende LF geluidsprestatie van het LB systeem tot geluidhinder zal leiden. Aanvullend hoort hier dan een kritische beschouwing van de LB kast en opzet van het kanalsysteem op te volgen. Dat dit dan ook daadwerkelijk plaatsvindt is niet vanzelfsprekend. Het aanwenden van (extra) manuren voor een technisch specialist is namelijk de consequentie. Een van de partijen moet in ontwerpfase dan wellicht extra kosten maken. Gelet op de hiervoor omschreven mogelijke oorzaken is het duidelijk dat er sprake moet zijn van voorspelbare prestaties van de LB kast én het kanalsysteem. Het is echter, met het oog op flexibiliteit en kostenbeheersing in ontwerpfase, gemeengoed geworden om te praten van ‘bestekken op hoofdlijnen’. Uitgebreide specificaties worden niet altijd meer gewaardeerd/gewenst. Om die reden moet er meer gewerkt kunnen worden met ‘normen’ en gedetailleerde richtlijnen. Hiervoor moet tenminste toch een specifieke paragraaf worden ingeruimd in de standaard besteksmethodiek, om deze normen en/of richtlijnen, al dan niet adequaat, van kracht te verklaren.

In de realisatiefase van een bouwwerk ligt de verantwoordelijkheid uitsluitend bij de installateur. Die heeft op belangrijke hoofdkeuzes geen invloed gehad. Prijsdruk in de markt is er verder debet aan dat ‘op het scherpst van de snede’ ingekocht moet worden. Dit heeft als gevolg dat er steeds lichtere apparaten ontwerpen in de markt verschijnen, meer dan eens met teleurstellende prestaties. Als in de opstartfase afwijkend gedrag, in het bijzonder LF geluid wordt waargenomen, ontstaat het ‘afschermen’ van informatie. Het behoeft geen betoog dat in een eindfase ‘het kruis meestal wel vershoten is’ waardoor er verdere verstarring in de onderlinge communicatie op gaat treden. Omdat het fenomeen meerdere oorzaken kan hebben, is het van groot belang dat er nu juist wel ‘open’ en uitgebreid overleg plaats vindt. Zo kunnen sommige oorzaken weggestreept worden en sneller tot de kern van het probleem gekomen worden. Meer dan eens eindigen dit soort kwesties in handen van advocaten en arbitrage commissie.

5. Samenvatting

5.1 Toetsingskader

Een algemeen geaccepteerd toetsingskader voor LF geluid ontbreekt. Het verdient zonder meer aanbeveling om limieten aan te houden voor LF-geluid in verblijfsruimten voor personen. De tertsband limieten volgens de Vercammen curve zijn zeker haalbaar, vooropgesteld dat er beproefde apparatuur en een correct systeemontwerp gehanteerd worden. De plaats voor nadere regulering of richtlijn ten aanzien van LF-geluid in de (kantoor)werkomgeving zouden kunnen zijn de NEN normen aangaande Geluidwering in gebouwen, zoals NEN 1070: “- Specificatie en beoordeling van de kwaliteit” en NEN 5077: “- Bepalingsmethoden voor de grootheden..... geluidniveaus door installaties en nagalmtijden”. Het Bouwbesluit verwijst naar deze normen voor de gebouwfuncties: wonen, gezondheidszorg en onderwijs. Het is van zelf sprekend dat de utiliteitsbouw ene dergelijke normstelling zal omarmen.

5.2 Bronmaatregelen

5.2.1 Bronsterkte

5.2.1.1 Mechanisch ontwerp LB kast

De trillingprestatie van ventilatoren kunnen 'beheerst' worden met de norm ISO 14694. Deze norm specificeert de maximaal toegelaten restonbalans en trillingsterkte op de lagers. Hier aan ten grondslag ligt een voldoende buig- en torsie- stijf combinatieframe. Ook is het van belang om de luchtstroming voor en na de ventilator goed te spreiden en wervels te voorkomen. Meer gerichte ontwerpregels zijn gewenst.

5.2.1.1 Installatie ontwerp

Om opwekking van LF-geluid in het luchtkanalen systeem te voorkomen is enerzijds van belang het voorkomen van grote luchtwervels en anderzijds het voldoende onderdrukken van de dynamische respons van de kanaalwand constructie. Voor beide aspecten zijn wel richtlijnen beschikbaar, maar deze zijn feitelijk te globaal van aard. Het verdient aanbeveling om op basis van deze richtlijnen en te verrichten literatuuronderzoek, desnoods aangevuld met experimenteel werk, te komen tot meer concrete ontwerpregels.

5.3 Isolatie maatregelen

Normaal gesproken moet elke ventilator van enige betekenis verend opgesteld worden. Voor utiliteitsbouw is uit hoofde van de aanbevelingen in de ISSO publicatie 24 tabel 19 voor ventilatoren in LB kasten een afveer frequentie van circa ≤ 5 Hz opportuun. Voor woningbouw is volgens de NPR5072 bij montage op een betrekkelijk lichte ondergrond (beter: de 'impedantie' van de ondergrond), verder nog afhankelijk van het systeem concept, een afveer frequentie ≤ 10 Hz aan te houden .

5.4 Integrale ontwerp aanpak

Het is duidelijk dat LF geluid kan ontstaan vanuit legio oorzaken, van mechanisch, installatietechnisch en/of bouwkundige aard. Om die reden wordt gepleit voor het in gebruik nemen van concrete prestatie eisen voor de LB kasten en de installatie qua toegestane trilling- en LF geluid bronsterkte. Verder moet in een vroeg stadium een reële ruimtereservering aangehouden worden en een specificatie van de bouwkundige scheidingsconstructies geformuleerd worden.

Dankbetuiging

Onze dank gaat uit naar de vrijwilligers van het NAG, de diverse brancheverenigingen, de collega adviesbureaus en niet in de laatste plaats de opdrachtgevers. Mede door de van hen ontvangen stimulering, de onderlinge kennis uitwisseling, de financiële middelen en de vastberadenheid om van problemen uitdagingen te maken, is deze paper tot stand gekomen.

Literatuur

1. ISSO, 1990, Installatiegeluid, ISSO publicatie 24, 87 pagina's.
2. Eurovent, 1992, Practical Guidelines for flow-generated noise in selected elements, 8/10-1992, 38 pagina's (inclusief 36 figuren).
3. US Department of Energy en AMCA, April 2003, Improving fan system Performance, DOE/GO-102003-1294, 88 pagina's.