

Geluidaspecten bij warmtekrachtinstallaties

Het plaatsen van een warmtekrachtinstallatie in de gebouwde omgeving kan geluidhinder opleveren. Daarom moeten geluidaspecten nadrukkelijk binnen het installatieontwerp aan de orde komen. Na een algemene inleiding zal dit artikel zich vooral richten op de overdracht van constructiegeluid bij motor-generator opstellingen.

-door Eddy Gerretsen en Erwin Jansen

Warmtekrachtinstallaties (wkk-installaties) kunnen in grote verscheidenheid voorkomen, variërend van installaties met relatief kleine vermogens tot kleine 'elektriciteitscentrales' met aandrijving door zuigermotoren of turbines. Daarbij kan ook de uitvoering en opstelling sterk uiteenlopende vormen aannemen. Akoestisch is een belangrijk onderscheid of we te maken hebben met een zogenaamd uitpandig geplaatste installatie dan wel een inpandig geplaatste installatie.

Voor **uitpandig geplaatste installaties** moet de aandacht vooral worden gericht op beperking van het uitgestraalde luchtgeluid: het geluid dat via in- en uitlaten en ventilatieopeningen en door de wanden en dak van de behuizing wordt uitgestraald. In het algemeen zijn voor deze geluiduitstraling de technieken en rekenregels voldoende voorhanden om adequate oplossingen aan te dragen. Problemen kunnen zich wel voordoen bij plaatsing in gebieden met zeer lage achtergrondgeluidniveaus. In die gevallen is meestal niet de directe geluiduitstraling van het gebouw of de omkasting het probleem, maar kan er bijvoorbeeld sprake zijn van hinderlijk laagfrequent uitlaatgeluid.

Bij **inpandige installaties**, waarbij binnen hetzelfde gebouw geluidgevoelige bestemmingen aanwezig zijn, is naast de luchtgeluidoverdracht vooral de overdracht van constructiegeluid van belang. Met name bij dakopstellingen of bij het later inbrengen van een wkk-installatie in een bestaand gebouw kunnen zich daarbij geluidproblemen voordoen.

Ruim tien jaar geleden heeft TNO TPD in opdracht van Novem een handleiding geluidbestrijding voor warmtekrachtinstallaties opgesteld [1], waarin ook voorspellingsmodellen zijn aangegeven. Deze handleiding vormt nog steeds een goede leidraad voor het geluidarm ontwerpen en installeren van wkk-installaties. In de adviespraktijk blijkt dat dergelijke voorspellingsmodellen ook inzicht geven in de kwaliteit van de uitvoering en een bruikbaar instrument zijn bij analyse van geluidproblemen achteraf.

Geluideisen

Bij uitpandige geplaatste installaties wordt de toegestane geluidbelasting op de relevante ontvangpositie - de gevels van nabijgelegen woningen - door de vergunningverlenende instanties veelal ontleend aan streefwaarden op grond van het type omgeving. In landelijke omgevingen is dat 40 dB(A) oplopend tot 50 dB(A) in stedelijke woonwijken. Aangezien de installaties dag en nacht (kunnen) werken betekent dit een nachtelijk toelaatbaar geluidniveau dat 10 dB(A) lager is. Als het aanwezige omgevingsgeluid reeds hoger is kan de eis hieraan worden aangepast. Ook bestuurlijke afwegingen kunnen tot een wat hoger toelaatbaar geluidniveau leiden. Ook het karakter van het geluid op de ontvangpositie kan nog van belang zijn; tonale geluiden (ventilatoren, motoruitlaat) kunnen een toeslag krijgen van 5 dB(A) alvorens aan de grenswaarde te toetsen. Het is dus zaak dergelijke extra hinderlijke geluiden te voorkomen.

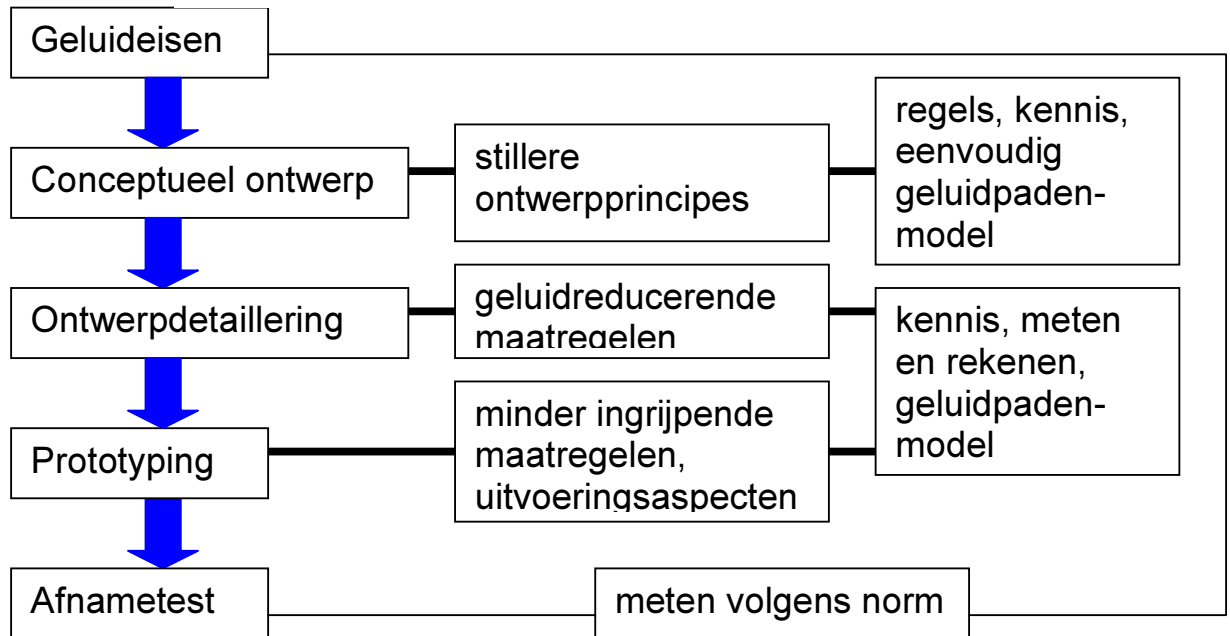
Bij in pandig geplaatste installaties is voor een geluideis naar de omgeving alleen het geluid ten gevolge van rookgasafvoer en ventilatie van belang. Die eisen zijn gelijksoortig als bij uitpandige geplaatste installaties. Veel belangrijker is meestal het geluidniveau in de ruimten binnen het gebouw zelf, hetgeen meestal wordt bepaald door constructiegeluidoverdracht. Het Bouwbesluit stelt in deze overigens geen expliciete eisen aan wkk-installaties, maar ten gevolge van een verwarmingsinstallatie mag het geluidniveau in verblijfsruimten niet hoger zijn dan 30 dB(A). In de norm NEN 1070:1999 [2] worden eisen aangegeven op verschillende kwaliteitsniveaus. Voor verwarmings- en ventilatie-installaties ?? geldt dan in verblijfsruimten (kamers) maximaal 30 dB(A) voor klasse 3 en 25 dB(A) voor een klasse beter. De bijbehorende meetmethode betreft hierbij overigens alleen het frequentiegebied boven 100 Hz, terwijl bij dit type installaties vaak juist de lagere frequenties belangrijk kunnen zijn voor geluid- en trillinghinder. Hiervoor bestaan geen wettelijke of genormeerde eisen, maar de nieuwe versie van de SBR-richtlijn over trillingen biedt hierbij goede aanknopingspunten [3].

Ontwerpen

Voor een wkk-installatie is geluid een ontwerpparameter waarbij het raadzaam is om er vanaf de eerste fase in het ontwerp aandacht aan te besteden. Die aandacht moet in eerste instantie uitgaan naar de omgeving waarin de installatie wordt geplaatst. Het vermijden van een akoestisch risicovolle situatie, bijvoorbeeld door verschuiven van de locatie, het wijzigen van de bestemming van aangrenzende ruimtes of door primaire bouwkundige voorzieningen, vormt een wezenlijk onderdeel van de aanpak.

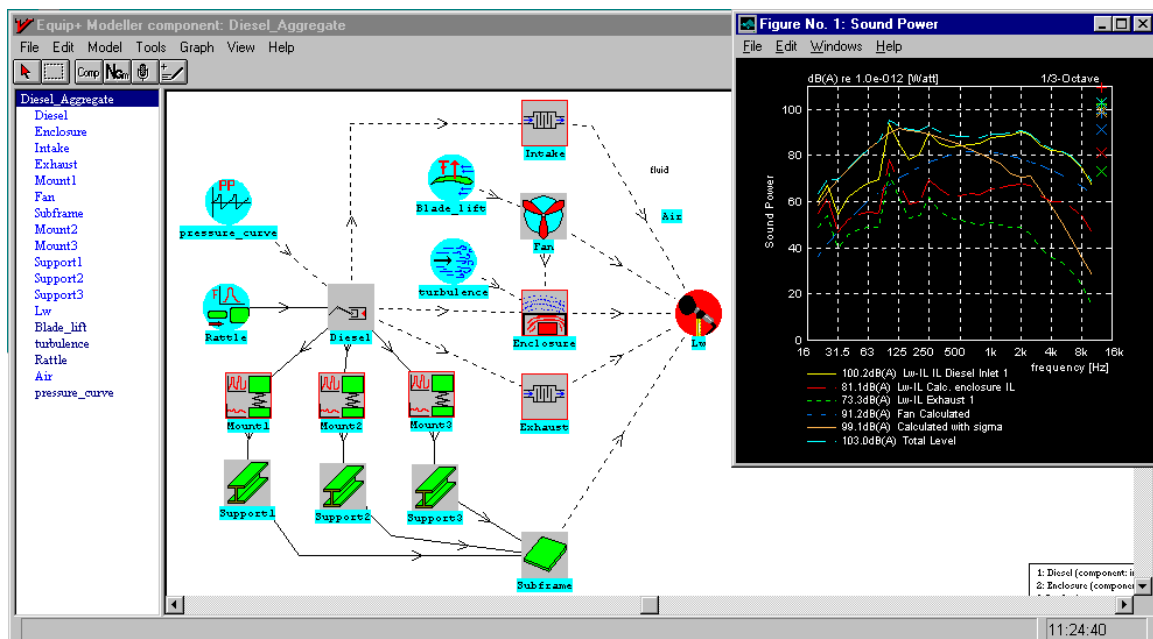
Een goed ontwerp wordt gekenmerkt door evenwichtige (qua effect, maar ook qua kosten) akoestische voorzieningen voor alle deelbronnen en geluidpaden. Belangrijk daarbij is dat robuuste oplossingen worden gekozen en dat maatregelen die gevoelig zijn voor fouten bij onzorgvuldige uitvoering zoveel mogelijk worden vermeden. Op die manier worden de kwaliteitskosten (kosten verbonden aan preventie en inspectie en foutkosten) zoveel mogelijk beperkt; zie ook [5]. Ook onderhoudsaspecten (regelsystemen luchtveren, elektronica en transducenten bij actieve geluidbestrijding) dient men bij de afweging te betrekken.

Geluid in het ontwerpproces



FIGUUR 1 Geluid in het ontwerpproces.

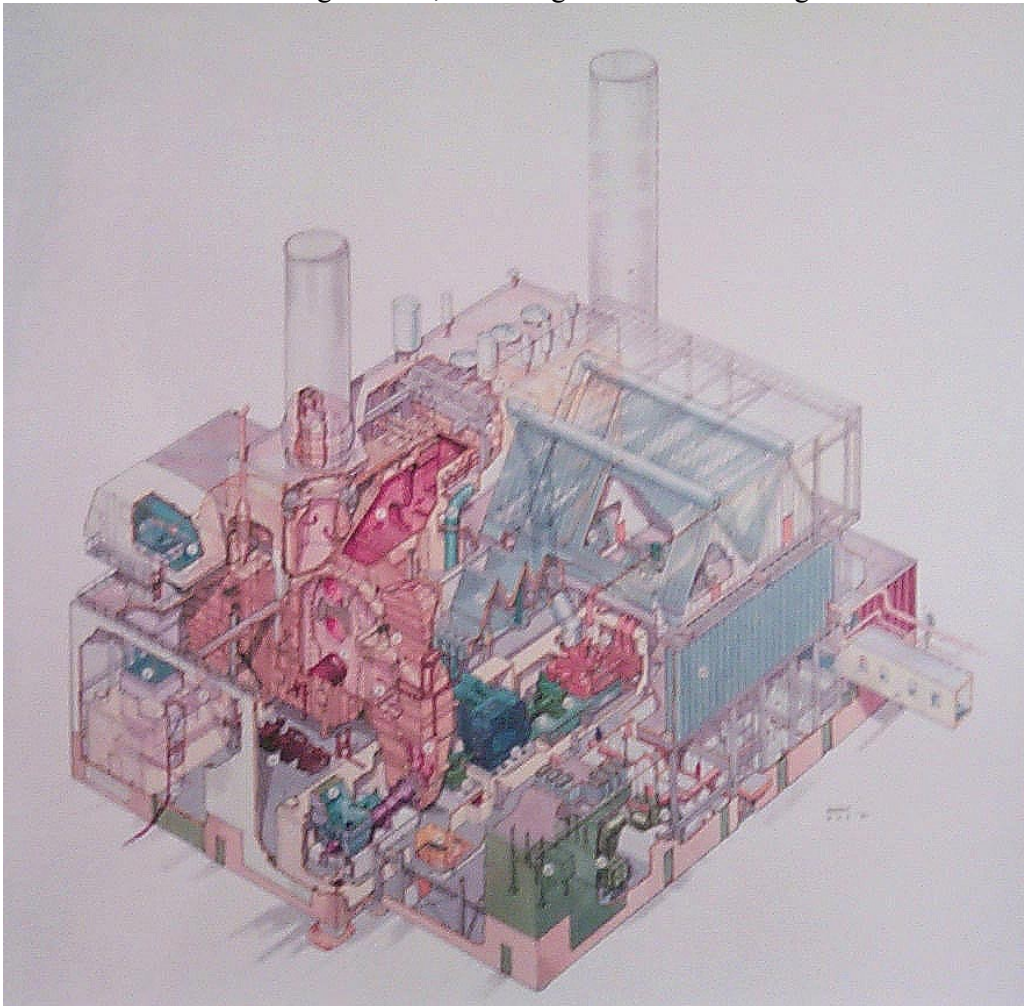
Een gebruikelijk ontwerpproces wordt geschetst in figuur 1. Een hulpmiddel in zo'n ontwerpproces kan een kennissysteem zijn, zoals EQUIP+, [6], waarin geluidbronnen en geluidoverdrachtpaden worden gemodelleerd. Binnen deze modellering kunnen geluidreducerende maatregelen worden geselecteerd en kan het effect van deelmaatregelen worden doorgerekend (zie figuur 2). Hierdoor is een 'akoestisch gebalanceerd' ontwerp mogelijk.



FIGUUR 2 Voorbeeld van een geluidpadenmodel.

Voorbeeld van maatregelen bij een grote installatie

Als voorbeeld wordt van de in figuur 3 geïllustreerde grote installatie globaal aangegeven welke maatregelen zijn genomen om aan de geluideisen te kunnen voldoen. Het betreft een installatie van ca. 6 MW elektrisch vermogen voor een papierfabriek; waarbij het surplus boven het eigen gebruik wordt geleverd aan het landelijk net. De installatie bestaat uit twee gasturbines waarvan de uitlaten via een header samen komen op een gemeenschappelijke stoomketel. Een deel van de hoge-druk stoom wordt gebruikt voor aandrijving van de stoomturbine. Deze drijft via een gemeenschappelijke as met één van de beide gasturbines een generator aan. De geluideis is in dit geval een maximaal geluidniveau in de nachtperiode van 40 dB(A) op 50 m afstand, of indien binnen 50 m woningen staan, voor de gevel van de woningen



FIGUUR 3 2x24 MW gasturbine-generator met 18 MW stoomturbine.

De installatie is ondergebracht in een "betonnen" gebouw met wanden van Durisol-M?evrietelementen, waardoor veel geluidabsorptie in de machinehal aanwezig is. De hefdeuren zijn van 10 cm dik beton en de loopdeuren naar de hal zijn dubbelwandige stalen deuren met kierafdichting. Het door de gasturbine zelf afgestraalde geluid (casing noise) ligt dicht bij de 100 dB(A) en deze zijn daarom in geluidisolerende omkastingen geplaatst. De gasturbines, generatoren en stoomturbine hebben elk een afzonderlijke omkasting. Bij de mechanische ventilatie van deze omkastingen vindt de aanzuiging van toevoerlucht van buiten plaats via

coulissendempers en zijn de afzuigventilatoren naar buiten toe van een geluidgedempte uitblaas voorzien. De ventilatie van de hal verloopt via geluidgedempte toevoerluchtunits (inblaas) en vijf geluidgedempte afzuigventilatoren op het dak. Ook de ventilatie van de accuruimte noodstroom, hoogspanningsruimte en airco-units t.b.v. regelkamer en schakelruimte is van geluidgedempting voorzien. De proceslucht voor de gasturbines wordt via filters en coulissendempers aangezogen, de rookgassen vanuit de ketel worden via een demper naar de schoorsteen geleid. Overtollige stoom wordt naar grote luchtcondensers gevoerd. Deze condensers hebben een axiaal ventilator met een diameter van 6,5 m! De koellucht wordt vanuit een aanzuigplenum via coulissenwanden aangezogen. De luco's blazen uit onder een horizontaal coulissenvlak met 500 mm dikke coulissen op 200 mm onderlinge afstand. Ook de waterkoelers zuigen aan en blazen uit via de bovengenoemde coulissen. Tenslotte is de installatie voorzien van een aantal geluidgedempte afblaasveiligheden en opstartventielen. Dit alles om aan voornoemde geluideis te kunnen voldoen. Uit deze beschrijving wordt wel duidelijk dat de benodigde akoestische maatregelen vooraf goed moeten worden doordacht en ontworpen om niet achteraf gedwongen te worden om moeilijke – en daarmee duurder – oplossingen te moeten nemen.

Constructiegeluidoverdracht bij wkk-installaties

In figuur 4 is een voorbeeld gegeven van een kleinere, in pandig geplaatste wkk-installaties. Zoals eerder gesteld worden bij in pandige wkk-installaties de plaatsingsmogelijkheden vrijwel altijd beperkt door de overdracht van constructiegeluid door het gebouw. We willen hier daarom vooral de constructiegeluidoverdracht bij motor-generator opstellingen belichten; zie ook [4].



FIGUUR 1 165 kW in pandig geplaatste gasmotor-generator, voorzien van een omkasting.

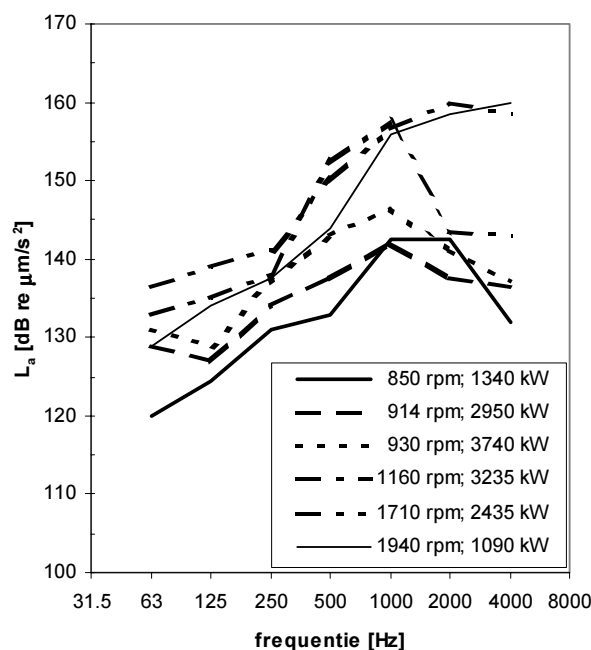
De overdracht van constructiegeluid door het gebouw dient al in een vroeg ontwerp stadium te worden gekwantificeerd. Verend opstellen van de geluidbronnen en goede ontkoppeling van het gebouw is daarbij vrijwel altijd noodzakelijk. Het concept voor constructiegeluid-overdracht vanaf een verend opgesteld werktuig naar een ontvangruimte waarin het geluid wordt afgestraald, kan worden beschreven met de keten: akoestische bronsterkte - overdracht door verend element naar fundatie - overdracht door het gebouw - resulterend geluidniveau. Deze onderdelen worden hieronder kort toegelicht.

Akoestische bronsterkte van werktuigen

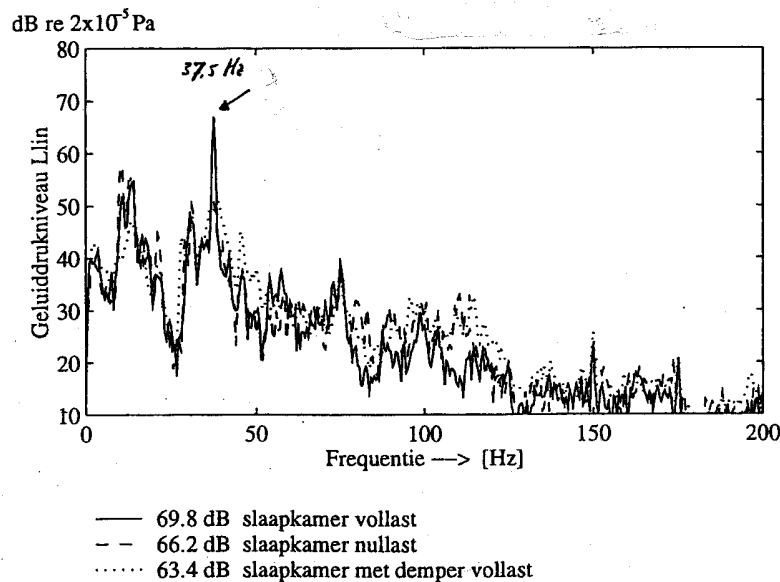
Voor de akoestische beschrijving van de geluidbronnen dienen gegevens over de bronsterkte voor lucht- en constructiegeluid beschikbaar te zijn. In principe zouden deze gegevens, zoals andere technische specificaties, moeten worden verstrekt door de fabrikant. In de praktijk zijn gegevens over de constructiegeluidbron echter zelden beschikbaar, en zijn gegevens over luchtgeluid veelal onvolledig (geen opgave van meetomstandigheden, inlaat- en of uitlaatconfiguratie, et cetera). Voor kritische opstellingen zijn derhalve proefstandmetingen - of metingen in een vergelijkbare bestaande situatie - in samenspraak met een akoestisch adviseur gewenst. Bij minder kritische opstellingen kan voor het ramen van de bronsterkte gebruik worden gemaakt van empirische formules op basis van de technische specificatie van de werktuigen (toerental, vermogen, massa/kW, et cetera).

Bij de geluidbronnen zijn onder meer de volgende aandachtspunten van belang:

- toerental, vermogen en specifieke massa (kg/kW) zijn belangrijke parameters voor het afgestraalde (breedbandige) luchtgeluid en voor de constructiegeluidbronsterkte van roterende machines (zie figuur 5).
- niet-opgeladen motoren vertonen sterk tonaal inlaat- en uitlaatgeluid. Bij een vast toerental van de motoren kan voor de geluidbeheersing daarvan gebruik worden gemaakt van geluiddempers in de vorm van afgestemde leidingstukken (kwart-lambda pijpen). Een voorbeeld van een toepassing is gegeven in figuur 6. In het ontwerpstadium kunnen dergelijke systemen met relatief geringe meerkosten geïntegreerd worden in het in- en uitlaatsysteem. In principe kunnen ook (curatief) antigeluidsystemen in aanmerking komen;
- uitlaatgaskoelers kunnen door de erin optredende stromingsweerstand en temperatuurval een belangrijke bijdrage leveren aan de reductie van het uitlaatgeluid. Dit dient in het ontwerp te worden meegenomen;
- componenten die aan de motor of generator zijn aangebouwd (zoals smeeroliepompen, drukvulgroep en ventilatieschoepen) kunnen sterk tonaal geluid produceren;
- voor verend opgestelde werktuigen zijn de trillingniveaus bij de veeraansluitpunten aan motor en generator bepalend voor de geluidbronsterkte. Om deze niveaus zoveel mogelijk te beperken is het noodzakelijk om korte, stijve motorvoeten en flenzen voor leidingaansluitingen toe te passen, zo dicht mogelijk op het 'massieve' blok. Lange, ver uitstekende, motorvoeten of leidingflenzen vertonen tot 10 dB hogere niveaus dan het motorblok.



FIGUUR 5 Versnellingniveaus, gemeten op de voeten van verend opgestelde dieselmotoren.



FIGUUR 6 Effect van de toepassing van een 'kwart-lambda-resonator in de inlaatleiding van een gasmotor. Gemeten in de slaapkamer die direct boven de WKK-opstellingsruimte is gelegen.

Geluidoverdracht via flexibele elementen (veren, slangen, balgen):

Voor het bepalen van de dynamische eigenschappen van flexibele elementen (veren, askoppelingen, slangen en balgen) zijn door TNO TPD meetmethoden ontwikkeld waarmee over een breed frequentiegebied de dynamische stijfheid voor alle translatie- en rotatierichtingen kan worden bepaald. Inmiddels zijn er ook ISO-normen die deels op deze methoden zijn gebaseerd [7]. Van een groot aantal typen veren zijn deze eigenschappen bemeaten; mede op grond van deze ervaringen kan voor een eenvoudige geometrie de dynamische stijfheid worden geschat. Vanwege het systeem van warmteterugwinning uit uitlaatgassen en motorkoeling zijn diverse koppelingen tussen leidingsystemen van de motor-generator-set en het leidingnet van het gebouw onvermijdelijk. Dit vraagt extra aandacht omdat deze leidingsystemen direct gekoppeld zijn aan de bouwkundige constructie en omdat via deze leidingen constructie- en vloeistofgeluid gemakkelijk wordt overgedragen door het gebouw.

Een aantal aandachtspunten is van belang bij de geluidoverdracht door flexibele elementen. Deze punten gelden niet alleen voor de draagveren onder de installatie, maar zijn tevens van belang voor slang- en balgaansluitingen:

- de verende opstelling dient trillingstechnisch in orde te zijn. De keuze van de eigenfrequenties van de verende opstelling hangt af van de ligging van sterke aanstootcomponenten in het bronnspectrum van het werktuig, zoals krukasfrequentie en cilinderontsteekfrequentie. De eigenfrequenties voor translaties en rotaties van de verende opstelling worden bij voorkeur een factor 3 tot 4 lager gekozen dan de frequenties van belangrijke aanstootcomponenten;
- veren en balgen worden geselecteerd op dynamische stijfheid in translatie- en rotatierichtingen. Zowel met luchtveren als met rubber veren zijn zeer laagfrequente opstellingen (vanaf circa

- 3 Hz) mogelijk. Het is belangrijk dat de veren vanaf lage frequenties tot circa 500 Hz geen inbreuken in de geluidoverdracht vertonen;
- de geluidoverdracht door een flexibel element wordt mede bepaald door de eigenschappen van de fundatie onder de veer of van het leidinggedeelte na een balgverbinding. Het verende element moet, in verhouding tot de constructies waartussen het zit, zeer slap zijn. Soms wordt daardoor ook de keuze voor het aantal veren en de dynamische stijfheid per veer bepaald. Met name in situaties waarbij lichte fundatieconstructies niet te vermijden zijn, kan het akoestisch gunstiger zijn om te kiezen voor een groter aantal, maar slappere veren;
 - directe balg- of leidingverbindingen met wanden of vloeren die in rechtstreekse verbinding staan met een geluidgevoelige ruimte moeten worden vermeden.

Overdracht door het gebouw.

Voor het voorspellen van de constructiegeluidoverdracht door gebouwen veroorzaakt door installaties zijn modellen in ontwikkeling in het kader van Europese normalisatie (zie elders in dit blad). Voor het type installaties waar we hier mee te maken hebben is een benadering van de installatie als krachtbron, direct of via een verende opstelling, vooralsnog goed bruikbaar en voorspellingsmodellen daarvoor zijn in principe beschikbaar [1], [8]. Daarnaast kan vaak ook gebruik worden gemaakt van experimenteel bepaalde waarden, zie [1].

Bij de geluidoverdracht door gebouwen dient men aan de volgende aspecten aandacht te besteden:

- vloer- en wandconstructies, met name in de directe nabijheid van de verende opstelling, moeten een hoge ingangsimpedantie hebben (ze moeten moeilijk in trilling te brengen zijn);
- binnen het gebouw kan de geluidafstraling door vloer, wanden en plafond zonodig worden beperkt door zwevende vloeren, voorzetwanden en een extra plafond (doos-in-doos constructie). Voor een relevante geluidreductie in het laagfrequente gebied is echter een grote spouwdiepte nodig. Voor gebruikelijke constructies met spouwdiepte van 5 tot 10 cm liggen de eigenfrequenties tussen circa 30 en 80 Hz. Dit impliceert dat globaal pas vanaf de 125 Hz octaafband een verlaging van de geluidniveaus kan worden gerealiseerd. Voor toepassing van deze maatregelen achteraf ontbreekt vrijwel altijd de ruimte. Bovendien vragen dergelijke maatregelen om zorgvuldige detaillering en uitvoering.

Resultierend geluidniveau

Ter vergelijking met gestelde eisen geldt in eerste instantie het resulterende geluidniveau in dB(A). Maar behalve dit niveau is ook de aanwezigheid van tonaal geluid van belang, zeker voor de hinderbeleving. En alhoewel geluid bij lage frequenties in principe min of meer wordt meegewogen in het feitelijke geluidniveau in dB(A), beperkt het dB(A)-niveau volgens de genormeerde meetmethoden zich vooralsnog tot het frequentiegebied boven 100 Hz. Overigens dient men in voorkomende gevallen te bedenken dat als er eenmaal klachten gaan optreden over een bepaalde geluidsituatie, er een drastische verbetering (minimaal 10 dB) nodig is, wil er een goede kans bestaan dat de verbeterde situatie blijvend wordt geaccepteerd.

Slotopmerkingen: vier tips uit de praktijk

- Een beslissing over plaatsing van een wkk-installatie dient in een vroeg ontwerpstadium van een project te worden genomen. In dat stadium zijn de voorwaarden aanwezig om door samenspraak van leverancier, architect, bouwer en beheerder een akoestisch evenwichtige, kosteneffectieve oplossing tot stand te brengen.
- Fabrikanten van motoren, generatoren, tandwielkasten, et cetera dienen in hun ontwerp een akoestisch gunstige opstelling voor te bereiden, bijvoorbeeld door positie en uitvoering van

werktuigvoeten en leidingaansluitingen te specificeren. Dit geldt ook voor leveranciers van wkk-installaties. Deze zullen zich bij het ontwerp bewust moeten zijn van de omgeving waarin de installatie wordt geplaatst, waardoor het installeren 'automatisch' akoestisch goed verloopt. Zo moeten bijvoorbeeld akoestische 'kortsluitingen' en te stijve leidingverbindingen worden vermeden in het productontwerp.

- Bij inpassende plaatsing is in eerste instantie de constructie van het gebouw bepalend of toepassing van een wkk-installatie akoestisch acceptabel zal zijn.
- Rekenmodellen vormen een goede leidraad in het ontwerpproces en zijn bruikbaar bij 'trouble shooting' en evaluatie.

Literatuur

- [1] Gerretsen, E. & A.A.F.M. Beeks, *Handleiding geluidbestrijding van uitpandig opgestelde warmtekrachtinstallaties en Handleiding geluidbestrijding van inpandig opgestelde warmtekrachtinstallaties*, Novem, 1988 en 1990.
- [2] NEN 1070, *Geluidwering in gebouwen – Specificatie en beoordeling van de kwaliteit*, NEN, 3^e druk, maart 1999.
- [3] Stichting Bouwresearch, *Trilling: meet- en beoordelingsrichtlijn*, september 2002.
- [4] Beeks, A.A.F.M., *Kwantificeren van de luchtgeluid- en constructiegeluidoverdracht van warmtekracht installaties in gebouwen*, Nederlands Akoestisch Genootschap (NAG) journal nr. 115, november 1992
- [5] NAG journal nr. 142, *Lawaai-beheersing bij energieopwekkinginstallaties*, voordrachten gehouden op de bijeenkomst van 9 juni 1998 te Ede.
- [6] Dittrich, M.G., *Een kennissysteem voor geluidarm ontwerpen*, de Constructeur, maart 1999
- [7] NEN-EN-ISO 10846, *Acoustics – Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements – Part 1: Principles and guidelines, Part 2.4: Dynamic stiffness of elastic supports and other elements for translatory motion*, 1998-2001
- [8] EN 12354, *Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements- Part 1: Airborne sound insulation between rooms, Part 2: Impact sound insulation between rooms*, 2000.