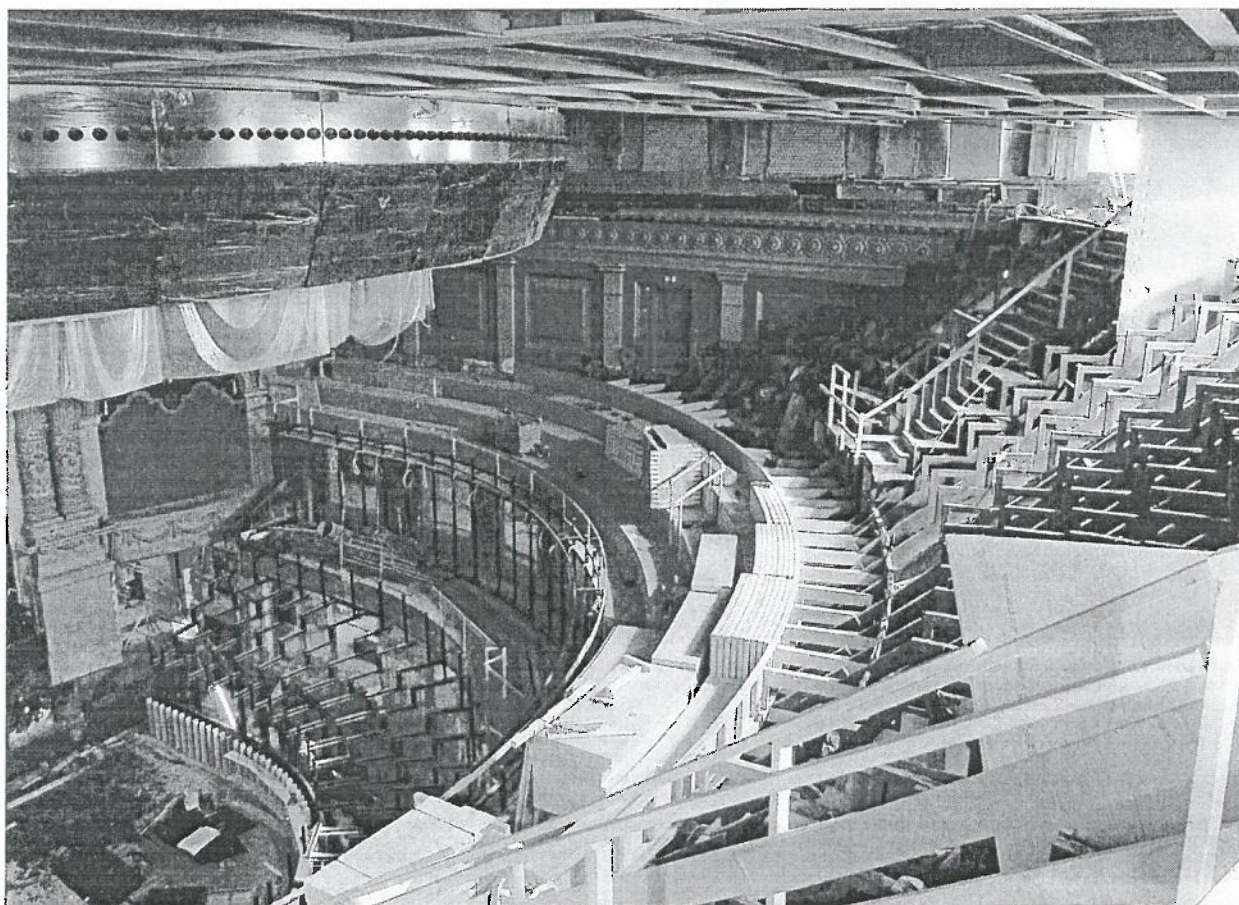


Koninklijk Theater Carré krijgt weer lucht

Jaap Wynna,
Rob Meijermeijer

Met de grondige renovatie van het Koninklijk Theater Carré stonden de ontwerpers en uitvoerders voor een flinke uitdaging. Zowel ten aanzien van de klimaatinstallatie als de milieuwetgeving (geluid) moest het theater van eind 19^e naar het niveau van de 21^e eeuw worden gebracht. De specifieke eisen aan het comfort, de akoestische eisen en de plaats van de technische installaties heeft gezorgd voor een ingewikkelde opgave.



1. Verdringsroosters (onderzijde) en nozzlebakken (bovenzijde) tijdens de bouw. Van het plafond is nog slechts het ophangstelsel aangebracht. (bron: Greiner van Goor Architecten)

Het Koninklijk Theater Carré had, toen het werd gebouwd tegen het einde van de 19^e eeuw, nog weinig te maken met milieuwetgeving. Ook het mechanisch ventileren en klimatiseren behoorden in die tijd nog niet tot de standaarduitrusting van een theater; in dit geval een circus-theater.

In onze tijd, waarin het besef steeds sterker aanwezig is dat een monument als Carré, in meerdere opzichten, moet

worden behouden en versterkt, ontstaat vervolgens een situatie waarin het monument, zeker als het om diverse, andere redenen gaat worden gerenoveerd en verbeterd, ook op het gebied van klimatisering en milieuwetgeving aan de eisen van de 21^e eeuw moet gaan voldoen.

In dit kader had Carré twee problemen. Het zeer lichte dak, gebouwd met een unieke lichte onderspannen dakconstruc-

tie, had een zeer beperkte geluidisolatie. Omdat Carré midden in een druk bewoonde wijk van Amsterdam staat, leidde dat soms tot geluidhinder bij de naaste burens. De milieuvergunning, die Carré in bezit had, stond in feite de normale activiteiten (musicals, live versterkte muziek) niet toe: bij hogere geluidniveaus in de zaal (meer dan 85 tot 90 dB(A)) werd de geluidnorm in de omgeving overschreden. Kortom, er was een reden om wat aan het dak te doen. Een eerder door Peutz uitgevoerd onderzoek, leidde tot de conclusie dat het voor het normaal kunnen exploiteren van Carré nodig was een zwaar, geluidsisolerend plafond (liefst een betonvloer) onder het bestaande dak aan te brengen. In afbeelding 1 van de dakconstructie, genomen tijdens de sloopfase van de renovatie, is te zien dat hier behoorlijk wat fysieke ruimte beschikbaar was.

Het dak was sinds het midden van de 20^e eeuw al door een verlaagd plafond aan het zicht onttrokken, wellicht om zaalakoestische redenen (volumeverkleining, eliminatie van de focuswerking van het gekromde dak), maar ook om theatertechnische installaties en lichtbruggen op een enigszins acceptabele manier onder te brengen.

Daarnaast was Carré enigszins berucht om de warmte in de zaal bij voorstellingen. Het aanwezige ventilatiesysteem dat onder het dak en boven het verlaagde plafond hing, was beperkt qua capaciteit, maar maakte vooral te veel lawaai, zodat het meestal tijdens voorstellingen niet kon worden aanzet.

Zoals in de hoofddoorsnede van Carré in afbeelding 2 is te zien, is het oorspronkelijke gebouw niet meer dan een zaal met een zeer beperkte restruimte, die als foyer dienst doet. Installatieontwerpers zien onmiddellijk dat er weinig ruimte is voor verticaal luchttransport.

VOORONDERZOEK

Uit een integraal vooronderzoek, dat zowel het probleem geluid naar de omgeving, klimaatinstallaties als theatertechniek omvatte, lag de conclusie voor de hand dat, om al deze problemen in een keer op te lossen, een nieuwe zoldervloer moest worden gecreëerd. Deze zou voldoende geluidisolatie moeten hebben om zowel het geluidprobleem naar buiten op te lossen als op een verantwoorde wijze klimaatinstallaties in te bouwen. Hierbij werden meteen alle voorwaarden geschapen om de zaalbruggen te verbeteren en daarmee het gehele (theatertechnische) plafond. Daarbij werd vooral winst geboekt voor het zicht en de ruimtelijke beleving van de toeschouwers in de hoge zaaldelen achterin, zoals op de doorsnede (afbeelding 2) te zien is.

Kortom, met deze aanpak vielen alle puzzelstukjes op hun plaats en werden bijna alle technische problemen in één keer opgelost. Door vervolgens de installaties op de nieuwe zoldervloer compact te ontwerpen ontstond, weliswaar als 'bijproduct', een grote extra foyerruimte. Voor het theater en zijn bezoekers was dit misschien wel het belangrijkste winstpunt.

Door Peutz is, in samenwerking met Greiner van Goor Architecten, gewerkt aan het concept en de akoestische aspecten van de installatie. Engineering en uitwerking zijn gedaan door K&R consultants (Reinder Bielleman) en GTI Noord West (Jan Schouten).

DE ONTWERPOPGAVE

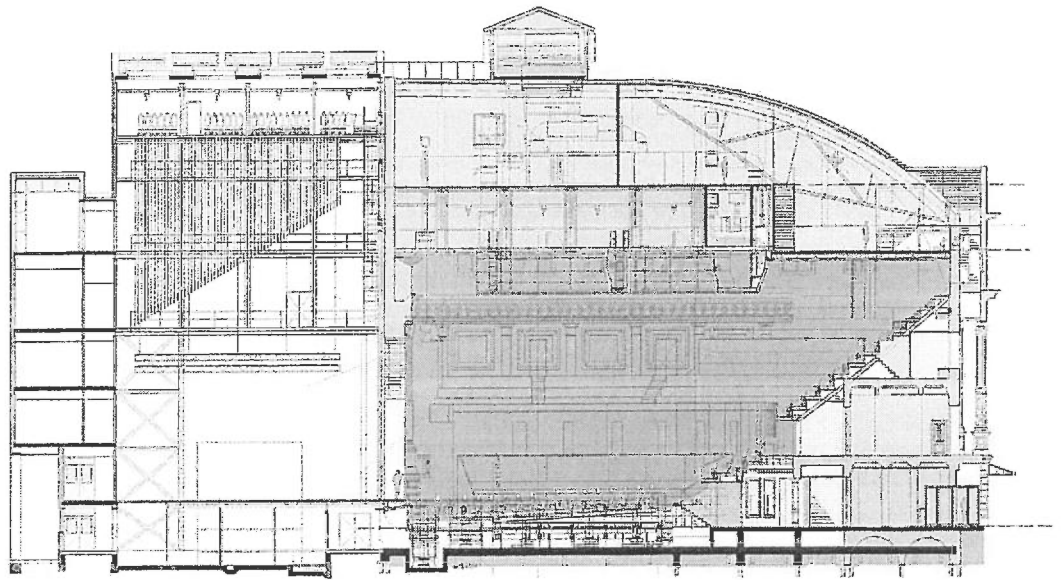
Een ieder die klimaatinstallaties ontwerpt voor grote zalen, waarin een hoog thermisch comfort samen moet gaan met een zeer laag geluidniveau, weet dat het vrijwel altijd de voorkeur verdient de geconditioneerde lucht laag (vanuit of nabij de stoelpoten) en zoveel mogelijk inducerend in te blazen. Hoewel er vrij laat in het ontwerpproces nog een serieuze poging is gedaan om ten gunste van het behoud van de bijzondere dakconstructie de technische ruimte onder de arena te plaatsen, waardoor inblaas vanuit de vloer (upflow-systeem) wellicht mogelijk was geweest, is uiteindelijk toch gekozen voor een technische ruimte boven de zaal, waardoor de volgende zeer uitdagende ontwerppoging ontstond:

- luchtinblaas van boven zonder verticale kanalsystemen in het gebouw;
- genuanceerde comfortcriteria, maximaal 26 °C op de meest ongunstige plaatsen tijdens voorstellingen met 1700 personen en een, als maximaal mogelijk te kwalificeren langetijdgemiddelde, interne warmtelast door toneelverlichting van 100 kW en 24 à 25 °C bij een meer normale 50 à 70 kW toneelverlichting en luchtsnelheden in het publiekvlak onder 0,2 m/s, waarbij enige overschrijding op maximaal vijf procent van de plaatsen als toelaatbaar wordt beschouwd;
- het geluidniveau in de zaal < 25 dB(A).

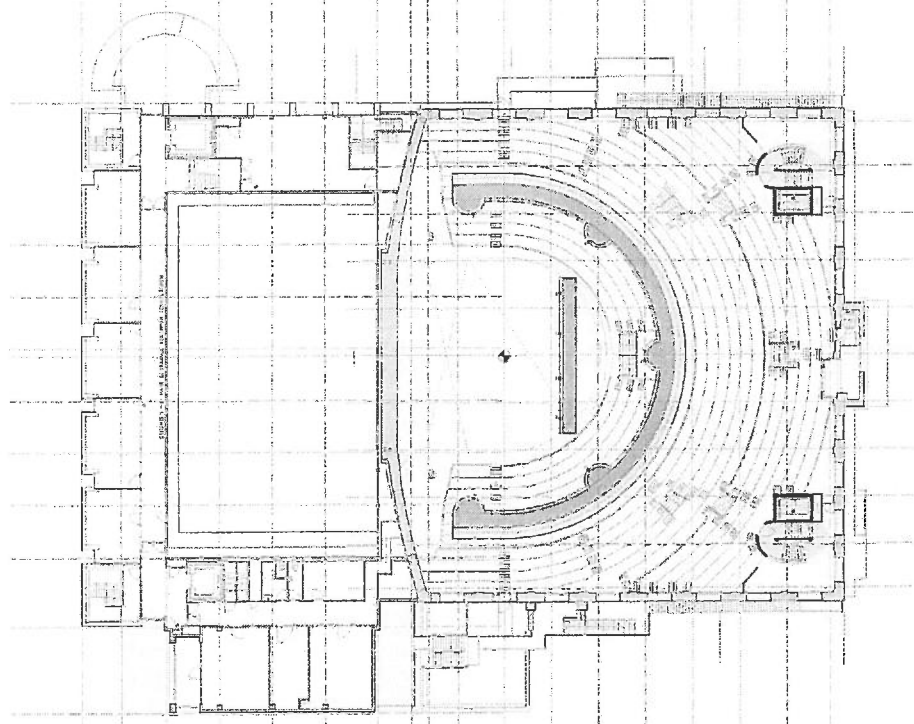
De combinatie van de comforteis, de plaats van de technische installaties en de akoestische eis maakt de opgave tamelijk complex.

AKOESTISCHE ASPECTEN TECHNISCHE RUIMTE

Alvorens in te gaan op de wijze waarop met het thermisch comfort is omgegaan, eerst even iets over de wijze waarop de akoestische problematiek van de opstellingsruimte voor



2. Langdoorsnede Carré. (bron: Greiner van Goor Architecten)



3. Nieuwe lichtbrug (blauw) en tevens positie van de inblaasroosters. (bron: Greiner van Goor Architecten)

de luchtbehandelingskasten is behandeld. Het moeilijkste en riskantste deel bestond uit het feit dat de ruimte waarin de luchtbehandelingsinstallaties zijn opgesteld, zich direct boven de zaal bevindt. Hierdoor ontstaat in eerste instantie een luchtgeluidisolatieprobleem: directe overdracht van geluid uit de technische ruimte naar de zaal. Tussen de zaal en de technische ruimte bevindt zich weliswaar een zolder voor de theatertechniek, maar de vloer hiervan is akoestisch volledig open.

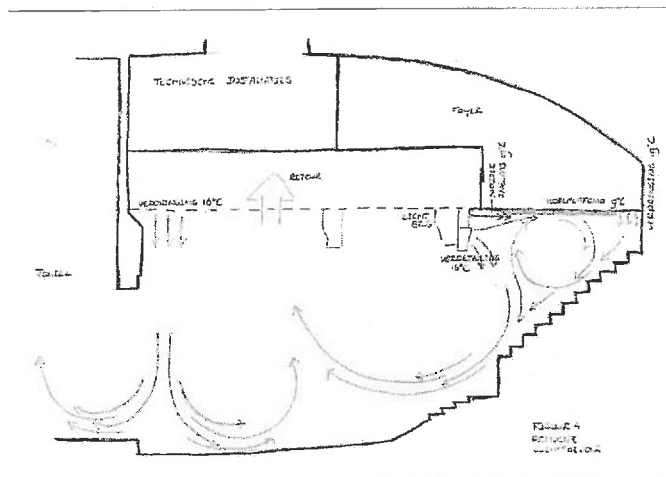
Voor de geluidemissie naar buiten is een vloer met een geluidwering van 25 à 30 dB(A) (voor het heersende muziek-spectrum) voldoende, maar voor de vloer van de technische ruimte zou deze eis rond 45 dB(A) moeten liggen. Hierbij gelden als neven-eisen dat de vloer voldoende weerstand moet hebben tegen directe aanstoting door de mechanische trillingen van de ventilatoren (en eventueel pompen), maar vooral dat de vloer zo licht mogelijk moet zijn. Het verzoek van de constructeur was om een zo gering mogelijke marge te nemen met de eis aan de massa van de vloer. Na veel wikken en wegen en risico's inschatten is besloten uit te gaan van een vloer massa van 250 kg/m², ongeveer 10 cm beton. Ondanks deze relatief lichte vloer was het nodig langs en in de bestaande buitenwanden van de zaal een stelsel van nieuwe stalen kolommen met een geheel nieuw stelsel van dakspanten aan te brengen; een spectaculaire ingreep in de eerste fase van de verbouwing.

Om met deze lichte vloer het gestelde akoestische doel te bereiken is gekozen voor:

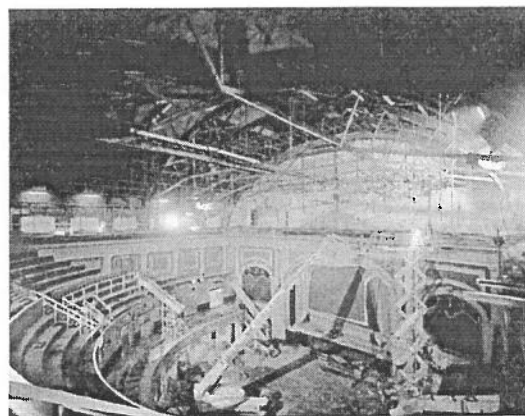
- acht relatief kleine luchtbehandelingskasten, met aanzuigen en persgeluiddempers direct voor en achter de ventilator in de kast, zodat het in de technische ruimte uitgestraalde geluidvermogen zo laag mogelijk zou zijn. Gestreefd is naar een luchtgeluidniveau in de luchtbehandelingsruimte van circa 60 dB(A);
- een verhoogde opstelling van de kasten (onderkant kast circa 30 cm boven de vloer) om de directe luchtgeluid-aanstoting van de vloer voldoende te beperken;
- toepassing van een zorgvuldig trillinggeïsoleerd, gemeenschappelijk stalen frame voor alle kasten, waarmee gelijktijdig de verhoogde opstelling van de kasten is bereikt.

Nog een voordeel van de keuze voor verscheidene kleinere kasten is dat deze alle een eigen zone of deelsysteem kunnen voorzien van lucht van een specifieke temperatuur.

Een ander geluidisolatieprobleem vormen de kanaaldoorvoeren door de vloer van de technische ruimte naar de zaal. Dit is opgelost in combinatie met het dempen van het geluid in de ventilatiekanalen zelf.



4. Principe luchttoevoersysteem en luchtstromingen.

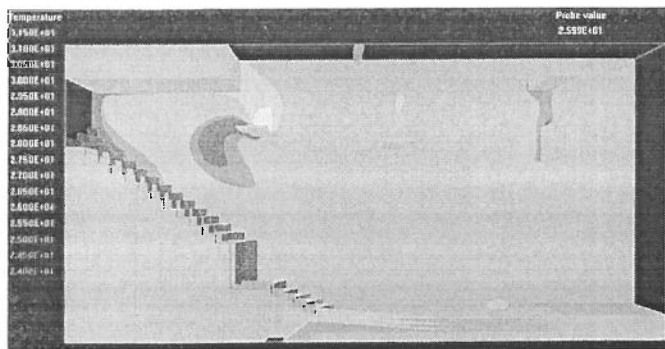


5. Het zaaldak voordat de nieuwe technische vloer was aangebracht. (bron: Greiner van Goor Architecten)

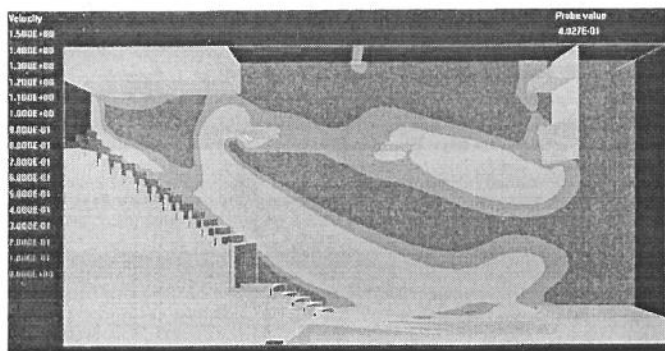
KLIMATISERINGSCONCEPT

Het klimaatstelsel is feitelijk alleen bedoeld voor luchtverversing en koeling. Doordat de zaal vrijwel geheel inpandig is en veel elektrische apparaten warmte produceren, is verwarmen met lucht niet aan de orde. Dit vereenvoudigde de opgave voor het systeemontwerp. Hoog inblazen vereist in een zaal van deze relatief grote hoogte desondanks een zorgvuldige aanpak.

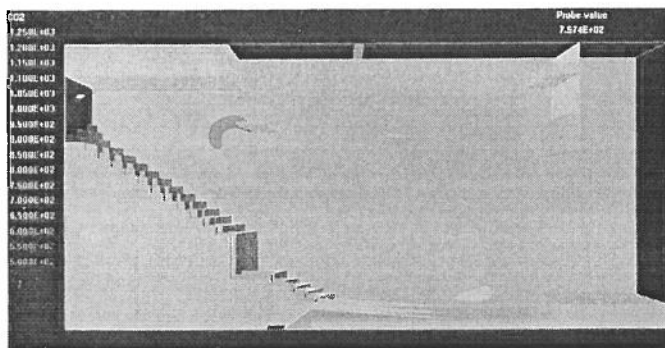
Al snel was duidelijk dat een combinatie van het inblaasstelsel met de lichtbrug, die bij de renovatie een geheel nieuwe vorm kreeg, erg voor de hand lag (afbeelding 3). Deze nieuwe vorm past niet alleen beter bij de zaalvorm, ook de plaats ervan blijkt vrij optimaal te passen bij de voorgestelde verdringingsroosters als basisinblaasstelsel dat op basis van



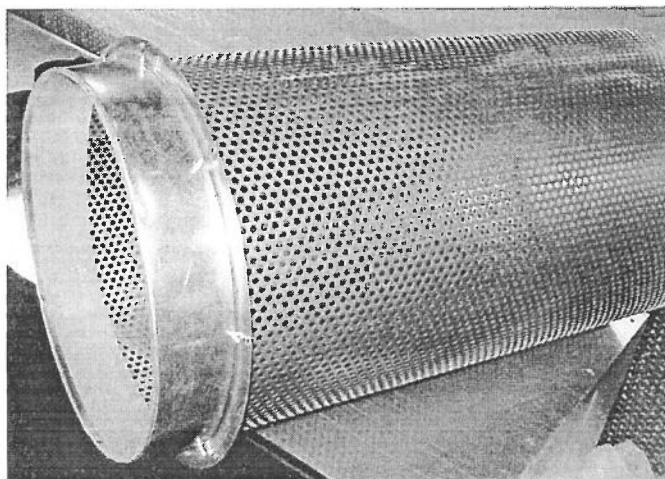
6. Temperatuurverdeling, langsdoorsnede midden zaal.



7. Verdeling lichtsnelheden, langsdoorsnede midden zaal.



8. Verdeling CO₂-concentraties, langsdoorsnede midden zaal.



9. Voor de verdringingsunits ontwikkelde geperforeerde 'karven' voor een voldoende gelijkmatige luchtverdeling over het roosteroppervlak.

ondertemperatuur de lucht zachtjes naar beneden laat zakken. Aanvullend zijn verdringingsroosters vrij kort voor de podiumopening aangebracht, zodat een vrijwel gesloten lijn ontstaat waar gekoelde lucht naar beneden valt.

Uit de eerste CFD-berekeningen is al snel duidelijk dat te weinig lucht en koeling aanwezig was achterin het hoge deel van de zaal. Toen is de ongebruikelijke beslissing genomen om in het midden van de zaal, over circa 75 procent van de breedte, nozzles toe te voegen om lucht achterin de zaal te brengen. Om dit met niet te hoge inblaassnelheden te hoeven doen (vanwege geluid- en tochtproblemen) en om te voorkomen dat de lucht te snel naar beneden zal vallen, is besloten de lucht uit de nozzles een hogere temperatuur te geven en het plafond achterin de zaal als koelplafond uit te voeren. Hiermee zou moeten worden bereikt dat de lucht in eerste instantie boven aan het vlakke plafond blijft 'piakken' en verderop door de afkoeling langs het plafond naar beneden valt.

Geheel achterin de zaal nog een strook verdringingsroosters toegevoegd om deze beweging goed in stand te houden. In afbeelding 4 is het principe van het luchtinblaassysteem geschetst.

De totale luchthoeveelheid van circa 58.000 m³/h voor 1600 à 1700 personen is als volgt verdeeld:

- verdringingslucht op circa 2 m voor de podiumopening boven de (luchtopen) rollenzoldervloer: 8.000 m³/h, inblaasttemperatuur 16 °C;
- verdringingslucht over de gehele lengte van de lichtbrug: 29.000 m³/h, inblaasttemperatuur 16 °C;
- nozzlebakken aan achterbrug voor het achterste zaalgedeelte: 15.000 m³/h, inblaassnelheid van de nozzles 4 m/s, inblaasttemperatuur 19 °C, door inductie met ruimtelucht stijgt deze met circa 3 °C;
- verdringingslucht geheel achterin zaalplafond: 6.000 m³/h, inblaasttemperatuur 19 °C;
- Koelplafond, oppervlaktetemperatuur 19 °C.

Op de foto (afbeelding 5) kan een indruk worden verkregen van het meest in het oog springende element: de verdringingsroosters met daarboven de nozzlebakken, die rondom tegen de achterzijde van de lichtbrug zijn gebouwd. Deze elementen zijn hier nog niet geheel mat zwart geschilderd en dus nog duidelijk zichtbaar.

Zoals eerder gezegd, zijn er al akoestische redenen om het systeem in een aantal subsystemen op te delen. Het omschreven ontwerp vraagt echter ook om een aantal afzonderlijk in temperatuur regelbare systemen, zodat deze twee uitgangspunten elkaar ondersteunen.

TOETSING

Een driedimensionaal CFD-model is gemaakt met Phoenix om het systeem te toetsen en te optimaliseren is. Hiermee is een aantal aspecten onderzocht, zoals de temperatuurverdeling over de zaal, de controle of het boven achterin de zaal voldoende koel zou blijven en of niet te grote temperatuurverschillen zouden optreden.

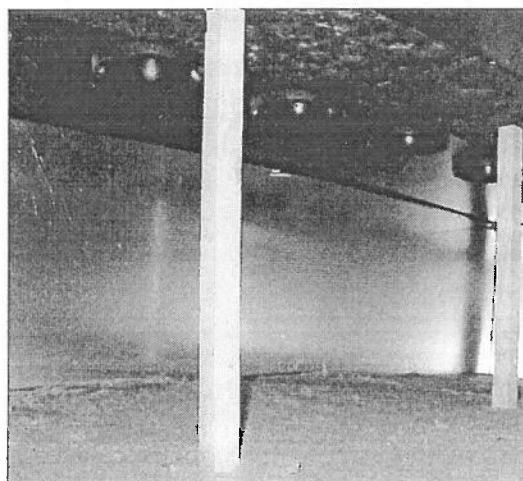
Verder zijn ook de luchtsnelheden in de publieksvlakken onderzocht in verband met voelbare tocht. Als absolute maximumwaarde is een criterium van 0,4 m/s aangehouden. Voor meer dan 95 procent van de plaatsen blijken de luchtsnelheden dan onder 0,2 m/s te blijven. Ook is gekeken naar de verdeling van CO₂-concentraties over de zaal, ofwel de efficiëntie van de luchtverversing op alle plaatsen. En als laatste is de optimalisering van de (onderlinge) instellingen van de inblaastemperaturen en de temperatuur van het koelplafond voor de minimalisering van tochtverschijnselen onderzocht.

Zoals te verwachten, is het naar beneden komen van de luchtstroom op het steil hellende publieksvlak de meest kritische factor. Deze luchtstroom kan door de keuze van de onderlinge verschillen in de inblaastemperaturen goed onder controle worden gekregen. In afbeelding 6 tot en met 8 zijn de rekenresultaten gegeven ter plaatse van de (meest kritische) hoofddoorsnede van de zaal. De rekenresultaten zijn bekeken van alle doorsneden om ten slotte te kunnen concluderen dat het systeem voldoende mogelijkheden biedt om een comfortabel binnenklimaat te realiseren. Vooral de informatie uit het rekenmodel over de beïnvloedbaarheid van de luchtstromingspatronen door het onderling variëren van de inblaastemperaturen van de verschillende subsystemen is van waarde.

GELUID

De inblaasunits zijn speciaal voor dit project ontwikkeld, waarbij de volgende uitgangspunten gelden:

- totale geluidproductie van het toevoersysteem in de zaal < 20 dB(A), voor de luchtafzuig en de geluidoverdracht via de vloer was al 22 dB(A) 'gereserveerd';
- een aansluiting op het hoofdverdeelstelsel in de technische ruimte via ronde kanalen, diameter 315 mm en twee stuks per inblaaseenheid, om de geluidin- en uitstraling voldoende te beperken.
- direct boven de inblaasunits ronde geluiddempers om het geluid van de inregelkleppen, het andere strominggeluid en het vanuit de technische ruimte ingestraalde geluid te reduceren tot de vereiste waarden;



10. Binnenzijde plenum nozzie-inblaas met absorberend materiaal, plaatdempend materiaal en (provisorische) verstijvingen.

- omdat dichtbij de inblaasunits luidsprekers kunnen worden geplaatst, mogen deze op geen enkele wijze resoneren of rammelen.

In het laboratorium van Peutz zijn proefopstellingen gemaakt om al deze aspecten te onderzoeken en waar nodig te optimaliseren, en om na te gaan of de luchtverdeling over alle inblaasroosters en -nozzles voldoende gelijkmatig was. Hierbij bleek het vooral lastig de luchtverdeling over de verdringingsroosters voldoende gelijkmatig te krijgen. Het was nodig extra geperforeerde platen en kanaaldelen ('korven') toe te voegen om aan de luchttechnische, maar vooral ook akoestische eisen te kunnen voldoen.

NAWOORD.

In dit artikel gaat vooral over de ontwerp kant van het systeem en niet over de zeer complexe engineering die uitgevoerd is door K&R consultants en GRI. Het in een bestaand, monumentaal gebouw inbouwen van deze installaties die moeten voldoen aan alle geschetste eisen mag worden gezien als een prestatie van formaat. Dat dit toch vrij ingewikkelde systeem na enige aanloopprobleempjes zonder noemenswaardige problemen functioneert en heeft aangetoond onder alle omstandigheden een comfortabel binnenklimaat te kunnen realiseren, is dan ook in hoge mate aan deze partijen te danken.

Auteurs

Jaap Wijnia, Rob Metkemeijer, Peutz.