

Alternatief hybride ventilatiesysteem voor schoolgebouwen

Gaan we voor natuurlijke ventilatie in combinatie met mechanische afzuiging of kiezen we toch voor volledig gebalanceerde ventilatie? Of bestaat er misschien een ventilatiesysteem dat het beste van natuurlijke en gebalanceerde ventilatie combineert? Deze vragen vormden de aanleiding voor een haalbaarheidsonderzoek naar mogelijke hybride ventilatieconcepten tijdens het ontwerp van het nieuwe VMBO-gebouw van het Herbert Vissers College te Nieuw-Vennep. Conclusie van het onderzoek: een hybride ventilatiesysteem op basis van natuurlijke ventilatie in combinatie met gebalanceerde ventilatie biedt voordelen en is energetisch en financieel verantwoord. Maar geluid en tocht in de winter vergen wel wat aandacht.

R. (Robbert) van Rijswijk MSc, adviseur Merosch

In het recent aangescherpte Bouwbesluit zijn de eisen voor de CO₂-concentratie en de daarmee samenhangende benodigde ventilatielucht verhoogd. Dit betekent, indien uitgegaan wordt van volledig gebalanceerde ventilatie, relatief grote luchtbehandelingskasten en kanalen. Een alternatieve uitvoering is dat optimaal gebruik wordt gemaakt van wat de natuur biedt. Via door de docent te openen ramen en/of roosters kan in de meeste gevallen gratis en comfortabel worden geventileerd. Probleem is echter dat dit in de winter niet comfortabel is en dus vanuit het oogpunt van comfort en energie (warmteterugwinning) vaak gekozen moet worden voor gebalanceerde ventilatie als basissysteem.

■ HET BESTE VAN BEIDE

Het alternatieve, hybride ventilatiesysteem wil het beste van beide combineren. De gedachte is dat in de winter het gebalanceerde ventilatiesysteem maximaal wordt ingezet voor de basisventilatie; dat slim en maximaal

gebruik wordt gemaakt van de luchthoud van de ruimte en het spuien van lucht via roosters/ramen in de gevel in de pauzes; en dat uitsluitend bij een, door een CO₂-monitor geconstateerde, overschrijding van de CO₂-concentratie aanvullende natuurlijke ventilatie wordt ingezet via de door de docent of leerlingen te openen ramen/of roosters, waarbij de kans op tocht maximaal wordt voorkomen. In de zomer zal maximaal worden ingezet op de mogelijkheden van natuurlijke ventilatie om zodoende zoveel als mogelijk de inzet van de gebalanceerde ventilatie te beperken.

In het haalbaarheidsonderzoek is onderzocht op welke wijze invulling gegeven kan worden aan een dergelijk hybride ventilatiesysteem. Daarbij ligt de nadruk op de manier waarop ventilatie via de gevel zo optimaal en ver mogelijk kan worden doorgevoerd en de kans op tocht in de winter zoveel mogelijk wordt voorkomen. Met een dergelijke insteek wordt tegenwicht geboden tegen de technocratisch gerichte aanpak om steeds grotere luchthoe-

veelheden mechanisch toe te voeren om te voldoen aan de wettelijke ventilatie-eisen en een gezond binnenklimaat te creëren. Zeker door de sterk wisselende bezetting in scholen, is het maar zeer de vraag of een mechanisch ventilatiesysteem dat is uitgelegd op het maximum vanuit ruimtelijk, energetisch en financieel oogpunt wenselijk is en blijft. Ook zou men zich wellicht af kunnen vragen in hoeverre het erg is dat zo af en toe de maximale CO₂-concentratie en de daarmee samenhangende verontreiniging van de binnenlucht worden overschreden.

■ DE INRICHTING

Vertrekpunt van het onderzoek is dat het ontwerp in principe altijd moet voldoen aan de wettelijke eisen uit het Bouwbesluit. Om te bepalen in hoeverre met een hybride ventilatiesysteem voldaan kan worden aan deze wettelijke eisen, zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het referentielokaal heeft een oppervlakte

- van circa 58 m² en een hoogte van 3,2 meter;
- aangezien de gemiddelde bezettingsgraad in het Herbert Vissers College lager ligt dan klasse B van het PvE Frisse Scholen, bedraagt de bezetting van het referentielokaal 28 personen (27 leerlingen en 1 docent) i.p.v. 31 personen (30 leerlingen en 1 docent);
- het gebalanceerde ventilatiesysteem voorziet in de winter in de basisventilatie en natuurlijke ventilatie wordt enkel ingezet voor de piekmomenten. In dat kader is ervan uitgegaan dat 2/3 van de benodigde ventilatiecapaciteit wordt geleverd door het gebalanceerde ventilatiesysteem en maximaal 1/3 van de benodigde ventilatiecapaciteit wordt geleverd door natuurlijke ventilatie. Met 2/3 van de benodigde ventilatiecapaciteit levert het gebalanceerde ventilatiesysteem een ventilatiecapaciteit die ongeveer gelijk is aan de totaal benodigde ventilatiecapaciteit volgens het oude Bouwbesluit (Bouwbesluit 2003);
- natuurlijke ventilatie vindt plaats met behulp van toevoorzieningen die zo hoog mogelijk in de uitwendige gevel zijn gelegen om het risico op tocht zoveel mogelijk te beperken.

Op basis van voornoemde uitgangspunten bedraagt de totaal benodigde ventilatiecapaciteit 238 dm³/s (= circa 855 m³/h). Hiervan wordt maximaal 80 dm³/s natuurlijk toegevoerd. De natuurlijke toevoer van verse buitenlucht kan plaatsvinden via hooggelegen klappen of roosters. De afvoer van ventilatielucht moet dezelfde capaciteit hebben als de luchttoevoer. Doordat de eisen aan de stromingsrichting van een ventilatievoorziening in het Bouwbesluit zijn komen te vervallen, is het niet meer van belang dat een luchttoevoer- of afvoer-voorziening een luchttoevoer- of afvoer-voorziening wordt en vice versa. Bovendien wordt gesteld dat de luchttoevoer en luchtafvoer gelijktijdig moeten kunnen functioneren, maar niet dat de luchttoevoer en luchtafvoer afzonderlijke componenten dienen te zijn. Dit betekent dat eenzelfde hoeveelheid klappen of roosters voor zowel de luchttoevoer als voor de luchttoevoer in principe volstaat. Belangrijk aandachtspunt bij de toepassing van een dergelijke natuurlijke ventilatievoorziening is dat aan de geluidseisen en de eisen voor de verdunningsfactor uit het Bouwbesluit moet worden voldaan. Bij het toepassen van klappen is het, zonder aanvullende voorzieningen, niet altijd mogelijk om aan de geluidseisen van het Bouwbesluit te voldoen. Door het toepassen van een akoestisch verlaagd plafond, baffles of plafondeilanden kan de geluidswering bij de toepassing van klappen wel enigszins worden verhoogd. Bij roosters kan

met de toepassing van (zeer diepe) suskasten de geluidswering worden verhoogd. Echter, vooral op locaties waar de geluidsbelasting hoog is, zal geluidswering voor ruimten met een onderwijsfunctie een zeer belangrijk aandachtspunt zijn voor het toepassen van natuurlijke ventilatievoorzieningen. Maar voor overige ruimten (bijvoorbeeld kantoren, aula/kantine, gymzaal, praktijklokalen, etc.), worden geen eisen gesteld aan de geluidswering van de gevel.

Om aan de wettelijke eisen t.a.v. de verdunningsfactor te kunnen voldoen dient er een minimale afstand te zijn tussen de luchttoevoer en luchtafvoer. Dit om te voorkomen dat de afgevoerde verontreinigde binnenlucht te sterk wordt gemengd met de toegevoerde verse buitenlucht. Om te kunnen voldoen aan de eisen voor de verdunningsfactor dient de minimale afstand tussen de luchttoevoer en luchtafvoer circa 1,8 meter te bedragen. Doordat de klappen in dezelfde gevel zijn gesitueerd en zowel dienen als luchttoevoer als luchtafvoer, zal het in theorie lastig worden om aan de eisen voor de verdunningsfactor te voldoen. Een mogelijkheid is om een klappaam aan te merken als luchttoevoer en een ander klappaam op een minimale afstand van 1,8 meter als luchtafvoer. Dit is wel enigszins arbitrair aangezien, zoals hiervoor opgemerkt, de klappen zowel dienen voor luchttoevoer als luchtafvoer. De vraag is echter wat er in de praktijk daadwerkelijk zal gebeuren met de verontreinigde binnenlucht. Door de aanwezigheid van het gebalanceerde ventilatiesysteem, mechanische afzuiging bij de toiletten en het feit dat binnendeuren niet altijd gesloten zullen zijn, zal de verontreinigde binnenlucht naar alle waarschijnlijkheid nauwelijks via de klappen worden afgevoerd.

Op basis van deze wettelijke eisen is een eerste inrichting gemaakt van een hybride ventilatiesysteem op basis van een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie. Over de gehele raam lengte worden zes klappen toegepast die zowel als luchttoevoer- als luchttoevoer-voorziening dienen. Om ervoor te zorgen dat de koude lucht niet opzij langs het open klappaam naar beneden valt, wordt aangenomen dat de klappen worden voorzien van zijschotten. Door de helft van de klappen aan te merken als luchttoevoer-voorziening en de andere helft als luchttoevoer-voorziening, wordt theoretisch gezien voldaan aan de wettelijke eisen voor de ventilatiecapaciteit.

■ LUCHTKWALITEIT

Alhoewel met een dergelijk hybride ventilatiesysteem voldaan wordt aan de wettelijke eisen, hoeft dit niet te betekenen dat een goed binnenmilieu in de groepsruimte wordt

gegarandeerd. Naast de wettelijke eisen is dan ook onderzocht in welke mate voldaan wordt aan klasse B van het Programma van Eisen Frisse Scholen.

De drijvende kracht achter natuurlijke ventilatie is wind en thermiek. Wind is bijna altijd aanwezig. Het ventilatiedebiet door wind is echter afhankelijk van de windsnelheid, de windrichting en omgevingskenmerken, zoals het type omgeving (open terrein, land met windobstakels, stedelijk, etc.) en de positie van de ventilatietoever. Thermiek treedt op doordat warme lucht stijgt en koude lucht daalt, waardoor er drukverschillen ontstaan tussen binnen en buiten. Thermiek wordt versterkt door het hoogteverschil tussen de luchttoevoer en luchtafvoer van het ventilatiesysteem, met als gevolg dat een groter hoogte- en temperatuurverschil leidt tot een hoger ventilatiedebiet. Maar dit betekent ook dat wanneer het verschil in binnen- en binnentemperatuur kleiner wordt, het ventilatiedebiet afneemt. Consequentie is dat in de theoretische situatie waarin de binnen- en buitentemperatuur aan elkaar gelijk zijn en het windstil is, er geen natuurlijke ventilatie plaatsvindt waardoor niet voldaan wordt aan het minimale ventilatiedebiet van klasse B van het PvE Frisse Scholen.

Onderzocht is daarom wat het natuurlijke ventilatiedebiet is als gevolg van thermiek en wind voor de voorgestelde inrichting van het hybride ventilatiesysteem met een openingswijdte van de klappen van circa 11 cm (figuur 1). Hieruit blijkt dat het natuurlijk ventilatiedebiet in grote mate afhankelijk is van wind en sterk varieert gedurende het jaar. Het ventilatiedebiet als gevolg van thermiek is nihil als gevolg van het zeer beperkte hoogteverschil tussen luchttoevoer en luchtafvoer. Uitgaande van een openingswijdte van de klappen van circa 11 cm, wordt het benodigde natuurlijke ventilatiedebiet bij een continue volle bezetting van een groepsruimte met 28 personen in circa 20% van de gebruikstijd onderschreden. Hiermee wordt niet voldaan aan klasse B van het PvE Frisse Scholen voor de luchtkwaliteit. Door de openingswijdte van de klappen te vergroten kan het natuurlijke ventilatiedebiet worden vergroot. Indien voor de klappen wordt uitgegaan van een openingswijdte van circa 20 cm, dan wordt het benodigde natuurlijke ventilatiedebiet bij een continue volle bezetting van een groepsruimte van 28 personen in slechts 3% van de gebruikstijd onderschreden. Hiermee wordt wel voldaan aan klasse B van het PvE Frisse Scholen voor de luchtkwaliteit.

De luchtkwaliteit, en het daarmee samenhangende ventilatiedebiet, is in het voorgaande gerelateerd aan een volle bezetting van het

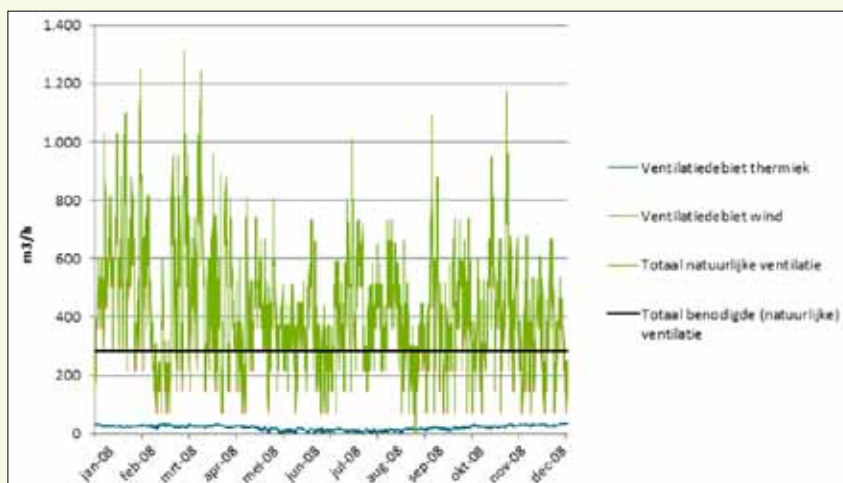
klaslokaal. Om het effect te bepalen indien enkel het gebalanceerde ventilatiesysteem van het hybride ventilatiesysteem is aangeschakeld (bijvoorbeeld op een koude winterdag), is de CO₂-concentratie in de groepsruimte berekend gedurende een lesdag van 8.00-15.00 uur, een standaard lesuur van 50 minuten en een half uur pauze van 12.00-12.30 uur (figuur 2).

Hieruit blijkt dat indien bij volle bezetting van het klaslokaal (28 personen) en enkel het gebalanceerde ventilatiesysteem ingeschakeld (klapramen gesloten), de CO₂-concentratie oploopt tot maximaal 1.200 ppm. In het eerste lesuur wordt de maximale CO₂-concentratie van 950 ppm uit het Programma van Eisen Frisse Scholen na ongeveer 23 minuten overschreden. Na elk opvolgend lesuur wordt de maximale CO₂-concentratie na een pauze van 10 minuten na circa 5 minuten overschreden, terwijl na een pauze van een half uur de maximale CO₂-concentratie na ongeveer 18 minuten wordt overschreden. Bij een bezetting van 19 personen en enkel het gebalanceerde ventilatiesysteem ingeschakeld wordt de maximale CO₂-concentratie gedurende een lesdag helemaal niet overschreden.

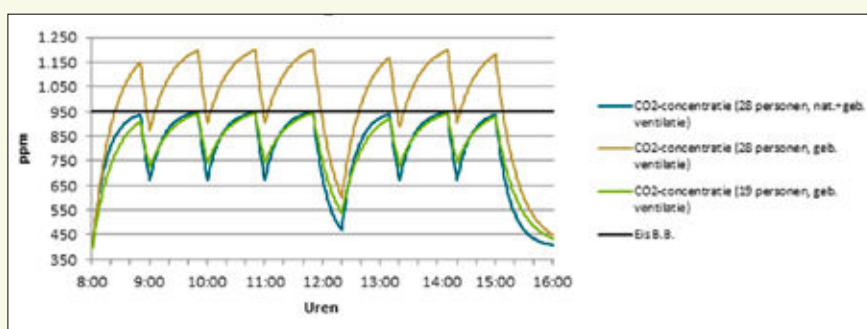
Hieruit kan geconcludeerd worden dat met een hybride ventilatiesysteem bestaande uit een combinatie van gebalanceerde ventilatie en natuurlijke ventilatie via 6 hooggelegen klapramen in een referentielokaal met maximaal 28 personen, een luchtkwaliteit gerealiseerd kan worden waarmee voldaan wordt aan klasse B van het PvE Frisse Scholen. Met het gebalanceerde ventilatiesysteem ingeschakeld én door uit te gaan van een openingswijdte van de klapramen van ongeveer 20 cm, wordt bij een volle bezetting van de groepsruimte met 28 personen in 97% van de gebruikstijd voldoende natuurlijk geventileerd. Echter, door tijdens pauzes en tussen lesuren in maximaal gebruik te maken van de natuurlijke ventilatievoorzieningen of bij een lagere bezetting van de groepsruimte, kan in een groot gedeelte van de gebruikstijd al voldoende geventileerd worden met enkel de inzet van het gebalanceerde ventilatiesysteem. Door toepassing van een CO₂-monitor kan in dat geval bepaald worden of de maximale CO₂-concentratie wordt overschreden en het inzetten van de aanvullende natuurlijke ventilatievoorzieningen noodzakelijk is. Belangrijk aandachtspunt bij het inzetten van de aanvullende natuurlijke ventilatievoorzieningen is wel dat tocht, in met name de wintermaanden, zoveel als mogelijk voorkomen moet worden.

COMFORT

Naast de luchtkwaliteit is ook het comfortaspect een belangrijk aandachtspunt bij de



-Figuur 1- Natuurlijke ventilatie-debiet; lestijden 8-18 uur, zomervakantie 6 juli - 23 augustus



-Figuur 2- CO₂-concentratie klaslokaal over een lesdag

toepassing van een hybride ventilatiesysteem. Zoals reeds aangegeven, is de kans op tocht door het gedeeltelijk natuurlijk ventileren van een groepsruimte in met name de wintermaanden en het tussenseizoen aanwezig. De kans op tocht is afhankelijk van de temperatuur van de toegevoerde lucht en de snelheid waarmee deze lucht de leefzone van de groepsruimte bereikt.

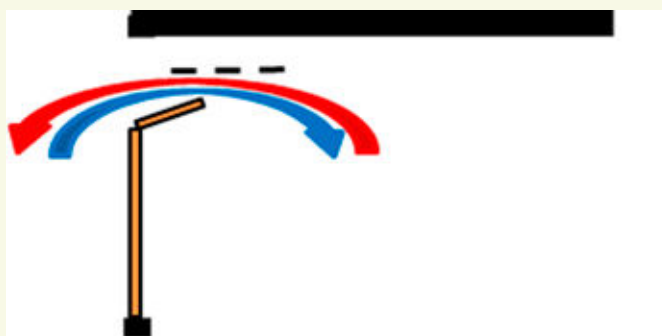
Om te kunnen bepalen in hoeverre aan de wettelijke eisen en de (hogere) eisen van klasse B van het PvE Frisse Scholen voor comfort kan worden voldaan, dient onderzocht te worden wat het effect is van een hybride ventilatiesysteem op de luchtsnelheid in de leefzone onder verschillende condities. Uit meerdere onderzoeken blijkt dat een natuurlijke luchttoevoer in klaslokalen zonder aanvullende bouwkundige voorzieningen en/of ondersteunende verwarming, zoals radiatoren in de wintermaanden, niet tochtvrij kan worden gerealiseerd. Zo blijkt dat bij een ventilatie-debiet van 175 dm³/s, een toevoerhoogte van

1,80 meter en een temperatuurverschil van 20°C tussen binnen en buiten, de lucht langs de gevel omlaag zal vallen en in de leefzone tocht bij de enkels zal veroorzaken [1]. Hierbij is echter rekening gehouden met een ventilatie-debiet die benodigd is om de groepsruimte geheel natuurlijk te ventileren. Uitgangspunt bij het hybride ventilatiesysteem is dat maximaal 1/3 van het benodigde ventilatie-debiet natuurlijk wordt toegevoerd. Bovendien is het uitgangspunt bij het hybride ventilatiesysteem dat de toevoerhoogte op 3,2 meter ligt.

Om het exacte effect te kunnen bepalen van de kans op tocht in de winter met een hybride ventilatiesysteem dient een CFD-berekening te worden uitgevoerd. Mocht hieruit blijken dat niet voldaan wordt aan de wettelijke eisen voor comfort of, in het geval er wel aan de wettelijke eisen voor comfort wordt voldaan, de overschrijding van de eis uit klasse B van het PvE Frisse Scholen als niet acceptabel wordt beschouwd, dienen aanvullende maatregelen genomen te worden om de tochtkans te



winterstand



zomerstand

-Figuur 3- Mogelijke inrichting hybride ventilatie voor wintersituatie en voor zomersituatie

verkleinen.

Er kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het optimaal mengen van de toevoerlucht met warme ruimtelucht. Door TNO is reeds het effect op de luchtsnelheid in de leefzone bepaald van meerdere oplossingen om natuurlijk toevoerlucht gelijkmatiger te verdelen. Uitgangspunt bij alle onderzochte oplossingen is de toepassing van een bouwkundige voorziening voorzien van kleine luchttoevoergaatjes met voldoende afstand ten opzichte van elkaar, waarmee de toevoerlucht in de groepsruimte wordt gebracht [2]. Uit het onderzoek blijkt dat het toepassen van een (geperforeerde) omkasting om het klapraam, een lagere luchtsnelheid tot gevolg heeft dan een natuurlijke toevoer via roosters. De luchtsnelheid ligt echter nog wel hoger dan de wettelijke eisen in klasse B uit het PvE Frisse Scholen. Een door TNO ontwikkelde oplossing waarbij de toegevoerde ventilatielucht met ventilatoren boven een verlaagd plafond wordt geleid en via kleine gaatjes in de plafondtegels met lage

snelheid in de groepsruimte wordt ingeblazen, voldoet wat betreft de luchtsnelheid wel aan zowel de wettelijke eisen als aan klasse B uit het PvE Frisse Scholen.

Om tochtklachten bij het toepassen van een hybride ventilatiesysteem te voorkomen, zou dus gedacht kunnen worden aan een variant die tussen een dergelijke omkasting om het klapraam en een plafondtoevoer in zit, waarbij het klapraam een winterstand en een zomerstand kent (figuur 3). De gedachte achter deze variant is dat de verse buitenlucht langs een gedeeltelijk geperforeerd verlaagd plafond wordt geleid, waardoor deze optimaal wordt gemengd met de warme ruimtelucht. Doordat maximaal 1/3 van het benodigde ventilatie-debiet op deze wijze wordt toegevoerd en de lucht via de luchttoevoergaatjes in het plafond over een groter oppervlak wordt toegevoerd, zal de luchtsnelheid (aanzienlijk) lager liggen dan bij de (geperforeerde) omkasting om het klapraam uit het onderzoek van TNO. De exacte lengte van het gedeeltelijk verlaagd

plafond en de optimale afstand tussen de luchttoevoergaatjes in het plafond zal nader onderzocht moeten worden. Door het ontbreken van de ventilatoren uit het TNO-concept zal de gecontroleerde toevoer van de toevoerlucht bij deze variant wel een belangrijk aandachtspunt zijn.

■ VERANTWOORD ALTERNATIEF

Om te bepalen in hoeverre een dergelijk hybride ventilatiesysteem verantwoord is, is deze vergeleken met twee alternatieve ventilatiesystemen: een conventioneel ventilatiesysteem met 100% CO₂-gestuurde gebalanceerde ventilatie zonder aanvullende natuurlijke ventilatievoorzieningen én een ventilatiesysteem met 100% CO₂-gestuurde gebalanceerde ventilatie in combinatie met aanvullende natuurlijke ventilatievoorzieningen die in zowel de zomer als de winter maximaal kunnen worden ingezet zonder dat er comfortklachten optreden.

Grootste voordelen van een hybride ventilatiesysteem ten opzichte van 100% gebalanceerde ventilatie is de ruimtebesparing als gevolg van de kleinere luchtbehandelingskasten en kanalen en de mogelijkheid om maximaal natuurlijk te kunnen koelen in de zomer door het grotere oppervlak aan te openen ramen. Vanuit financieel en energetisch oogpunt zijn de verschillen echter klein. Hoewel een hybride ventilatiesysteem qua investeringskosten en energiegebruik een licht voordeel heeft ten opzichte van 100% gebalanceerde ventilatie, is het verschil in levensduurkosten van beide ventilatieconcepten voor een leslokaal gering. Maar voor ruimten waar de bezettingsgraad lager is of sterk varieert (zoals kantoren, aula, gymzaal, etc.), zal een hybride ventilatiesysteem vanuit het oogpunt van levensduurkosten een groter voordeel behalen.

■ WIE DURFT?

Uit het haalbaarheidsonderzoek is gebleken dat een hybride ventilatiesysteem mogelijk is voor schoolgebouwen, zowel wettelijk gezien als vanuit het oogpunt van binnenmilieukwaliteit. Maar geluid en tocht in de winter vergen wel wat aandacht. De toepassing van een hybride ventilatiesysteem wijkt af van de traditionele paden. Dit betekent dat de verdere uitwerking van het systeem de nodige creativiteit en aandacht vraagt. Wie durft?

■ LITERATUUR

1. Jacobs, P., Knoll, B., Phaff, H., 'Luchtverversing en temperatuurbeheersing in scholen', Bouwfysica nr. 4, 2009
2. Jacobs, P., Knoll, B., Warners, B., 'Ontwerp en beproeving van verbeterde geveltoevoer voor scholen', TNO-rapport, 2009