

Praktijkvoorbeeld: Gezond Bouwen Concept

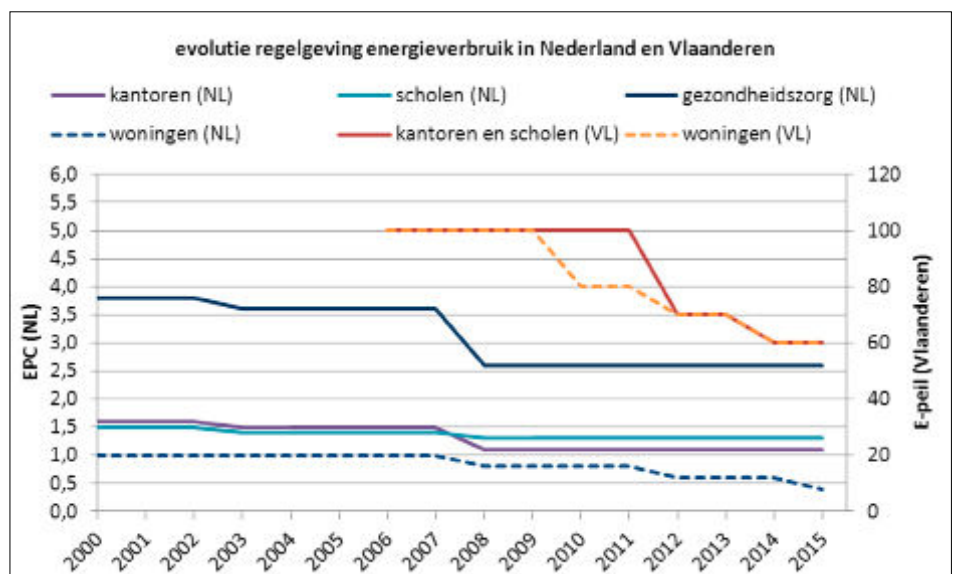
De energetische eisen die in Nederland en België aan nieuwbouw worden opgelegd vanuit de energieprestatieregelgeving, worden steeds strenger. Gebouwen worden evenwel niet opgericht om zoveel mogelijk energie te besparen maar om een comfortabele en gezonde leef- en werkomgeving te creëren. Renson biedt als producent van ventilatie- en zonweringsproducten een totaaloplossing aan waarbij een gezond en comfortabel binnenmilieu centraal staat, binnen energiezuinige en economisch haalbare randvoorwaarden: het Healthy Building Concept voor de utiliteitssector (o.a. kantoren, scholen en de zorgsector). De luchtkwaliteit en het thermische zomercomfort staan centraal.

Ir. A. (Anneleen) Vens, Renson Ventilation, België; prof.dr.ir. I. (Ivan) Pollet, Renson Ventilation, Universiteit Gent, België

De energiegebruikseisen in nieuwbouw in Nederland en België (Vlaanderen), zoals beschreven in respectievelijk het Bouwbesluit [1] en de Vlaamse EPB-regelgeving [2], worden regelmatig aangescherpt. Deze evolutie is voorgesteld in figuur 1 voor diverse gebruiksfuncties vanaf 2000. Nederland voerde als koploper in Europa reeds vanaf 1995 een EPC-eis in; Vlaanderen pas vanaf 2006 met de invoering van een E-peileis conform de Europese EPBD richtlijn. Zowel de EPC als het E-peil zijn relatieve waarden die op een verschillende manier worden berekend. Bovendien verschilt de rekenmethodiek tussen woningbouw en niet-woningbouw. In beide landen is te zien dat er een verstrenging in maximaal energiegebruik optreedt door de jaren heen, die eind 2020 moet uitmonden in de eis voor bijna-energie neutrale gebouwen. In Vlaanderen is er vooralsnog enkel een E-peileis in woningen, kantoren en scholen. Pas vanaf 2015 wordt er ook een E-peileis voor de andere gebruiksfuncties ingevoerd, zoals deze reeds in Nederland geldt.

Nast de energieprestatie-eisen worden in tabel 1 ook de minimaal te installeren hygiënische ventilatiecapaciteiten in nieuwbouw

weergegeven voor Nederland en België [1,2,3]. Aan het ventilatorverbruik wordt zowel in Nederland als Vlaanderen geen eis opgelegd.



-Figuur 1- Evolutie van de eisen voor energiegebruik van gebouwen in Nederland (linker-as) en Vlaanderen (rechter-as), zoals vastgelegd in respectievelijk het Bouwbesluit [1] en de EPB-regelgeving [2]

Wel werd recent het akoestisch comfort als gevolg van technische installaties in Nederland gereguleerd via het Bouwbesluit [1,3]. Deze geluidseisen zijn streng en vrij gelijklopend met de eisen in de Belgische akoestische norm NBN S01-400.

De eisen vanuit regelgeving wat betreft het thermisch zomercomfort zijn vrij beperkt. Op het gebied van spuiventilatie of intensieve ventilatie moet in Nederland in een verblijfsruimte van een woning, een gebouw voor kinderopvang en een basisschool minstens een beweegbaar raam met een capaciteit van 6 l/s/m² aanwezig zijn. In Vlaanderen wordt dit beperkt tot een aanbeveling voor woningbouw. Spuiventilatie kan zowel in Nederland als Vlaanderen gewaardeerd worden in de energieprestatieberekening. De regelgeving omvat geen zonweringseisen, maar zonwering beïnvloedt wel de energieprestatie van het gebouw.

HEALTHY BUILDING CONCEPT

Het Healthy Building Concept (HBC) is samengesteld vanuit de verwachtingen die algemeen

aan een bouwconcept worden opgelegd. Deze zijn onder vier noemers te catalogeren: comfort en gezondheid, energiezuinigheid, eenvoud en robuustheid en betaalbaarheid. In Tabel 2 zijn deze samengevat voorgesteld met daarbij de verschillende aspecten waarop het HBC inspeelt. In figuur 2 is het HBC toegepast op een klaslokaal in de vorm van het Healthy School Concept. In wat volgt zijn elk van deze pijlers en de daaraan gekoppelde oplossingen (zoals voorgesteld in figuur 2) kort verder besproken. Integratie van meerdere functies in één product wordt zo veel mogelijk nagestreefd.

COMFORT EN GEZONDHEID

Zoals aangegeven in tabel 2 vallen onder de noemer comfort en gezondheid: luchtkwaliteit, akoestisch comfort, thermisch comfort in zomer en winter, en visueel comfort [4,5]. De **luchtkwaliteit** wordt gegarandeerd via een vraaggestuurd mechanisch afvoerventilatiesysteem C+, waarbij een natuurlijke luchttoevoer via raamroosters gecombineerd wordt met een CO₂-gestuurde afvoer rechtstreeks

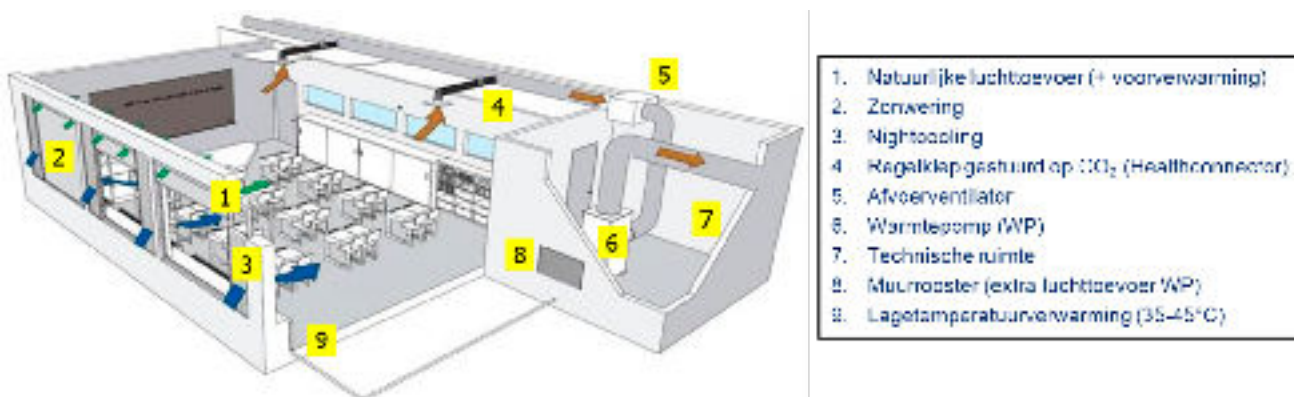
uit de verblijfsruimten. De modulatie in functie van de luchtkwaliteit, waarvoor CO₂ als maatstaf wordt gebruikt, gebeurt door middel van regelkleppen (Healthconnector) geïntegreerd in de afvoerzijkkanalen. De CO₂-sensor is ingebouwd in de regelklep en vormt op die manier een autonoom functionerend regelement. De CO₂-concentratie in het afvoerkanaal benadert immers goed de gemiddelde CO₂-concentratie in het klaslokaal. Op basis van het CO₂-signaal en het ingestelde setpunt op de regelklep (tussen 600 en 1.600 ppmv), wordt de kleppositie en het afvoerdebiet aangepast. Verder omvat het afvoersysteem een centrale constant-drukventilator in combinatie met een lage-drukhoofdkanaal. De luchttoevoer gebeurt bij zogenaamde 10 Pa zelfregelende toevoerroosters geplaatst bovenop de ramen (zie verder). Dit principe is toegepast in de nieuwe vergaderzalen van een kantoorgebouw in Waregem en voorgesteld in figuur 3 (links). Hierbij wordt bovendien het CO₂-signaal van de regelkleppen doorgestuurd naar de raamroosters, om het toevoerdebiet te balanceren met het afvoerdebiet.

Hygiënische ventilatiedebieten		Nederland	België	
			Ruimten voor menselijke bezetting	Ruimten voor niet-menselijke bezetting
Kantoren		≥ 6,5 l/s/pers.	≥ 6 l/s/pers (IDA 3)	≥ 0,35 l/s/pers (IDA 3)
Scholen		≥ 8,5 l/s/pers.		
Gezondheidszorg	Bedgebied	≥ 12 l/s/pers.		
	Ander verblijfsgebied	≥ 6,5 l/s/pers.		
Verblijfsgebied (woning)		≥ max. (0,9 l/s/m ² ; 7 l/s)	≥ 1 l/s/m ²	

-Tabel 1- Capaciteitseisen voor hygiënische ventilatie in Nederland en België, zoals opgelegd door respectievelijk het bouwbesluit [1,3] en de EPB-regelgeving [2]

Comfort en gezondheid	Energiezuinigheid	Eenvoud en robuustheid	Betaalbaarheid
<ul style="list-style-type: none"> - luchtkwaliteit - akoestiek - thermisch comfort (winter en zomer) - visueel comfort 	<ul style="list-style-type: none"> - ventilatoren - vraagsturing - warmterecuperatie - passieve koeling 	<ul style="list-style-type: none"> - ontwerp - installatie - gebruik - onderhoud 	<ul style="list-style-type: none"> - ontwerp - installatie - gebruik - onderhoud

-Tabel 2- De vier pijlers van het Healthy Building Concept

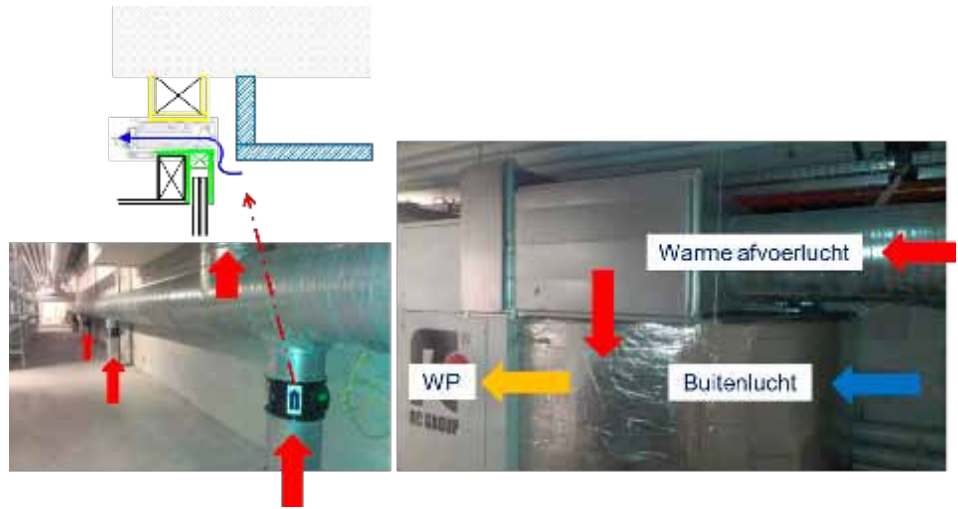


-Figuur 2- Componenten van het Healthy School Concept

Het **akoestisch comfort** wordt op twee manieren aangepakt: via het dempen van het omgevingsgeluid en via het beperken van het installatiegeluid. Het dempen gebeurt door het toepassen van 10 Pa-suskasten met hoge akoestische isolatie voor de natuurlijke luchttoevoer. Het installatiegeluid wordt beperkt door:

- het vermijden van toevoerventilatoren (enkel extractie);
- geluidsdempers in de zijkanalen tussen de afvoerroosters en de regelkleppen;
- grote kanaaldiameters;
- vraagsturing waardoor het gemiddeld debiet sterk daalt, wat het stromings- en ventilatorgeluid ten goede komt.

Ventilatie beïnvloedt gunstig het **thermisch comfort** in de winter via het beperken van het tocht risico en het realiseren van een voldoende hoge relatieve luchtvochtigheid. Een comfortabele natuurlijke luchttoevoer vereist een minimum plaatsingshoogte van 1,8 m boven het vloeroppervlak, conform het Bouwbesluit [1,3]. Bijkomend zijn de raamroosters voorzien van een zelfregelende klep (i-Flux technologie) die ervoor zorgt dat bij een toenemend drukverschil over de gevel het ventilatiedebiet nagenoeg constant blijft. Ten derde worden zogenaamde 10 Pa-roosters toegepast in combinatie met een directe mechanische afvoer uit de ruimte op basis van een gelijkwaardigheidsverklaring (utiliteit), opgesteld door VentGuide en op regelgevingstechnische aspecten collegiaal getoetst door Nico Scholten van ERB. In België is het reeds standaard in de wetgeving opgenomen om in utiliteitsbouw een 10 Pa zelfregelend raamrooster toe te passen in combinatie met een rechtstreekse mechanische afvoer. Het toepassen van 10 Pa roosters biedt immers heel wat voordelen ten opzichte van een 1 Pa rooster. Om eenzelfde debiet te realiseren is slechts een derde van de opening noodzakelijk. Dit resulteert niet alleen in een betere akoestische gevelisolatie, maar ook de inblaas snelheid net na het rooster neemt gevoelig toe, waardoor er veel meer luchtmenging of inductie optreedt met de binnenomgeving. Als gevolg hiervan zal de luchttemperatuur in de binnenkomende luchtstraal veel sneller toenemen en de luchtsnelheid snel afnemen, wat resulteert in aanvaardbare tocht risico's ter hoogte van de leefzone. Bovendien wordt ongewenste dwarsventilatie vermeden. Het Healthy Building Concept biedt nog een vierde mogelijkheid om hoge eisen aan het thermische comfort te garanderen: via een actieve voorverwarming op de natuurlijke luchttoevoer (figuur 4). In dit geval wordt een lucht-waterconvector gemonteerd tegen de



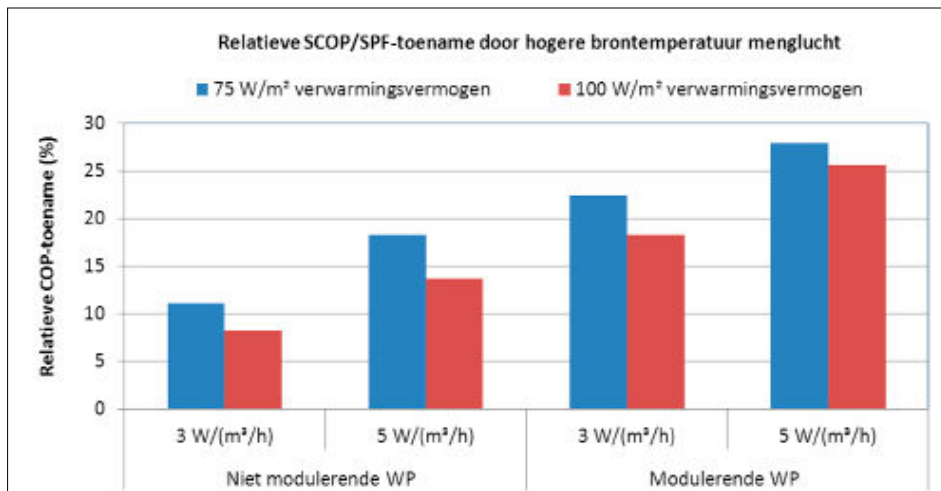
-Figuur 3- HBC toegepast op kantoren (Waregem) - ventilatieprincipe. Foto links onder: vraag gestuurde mechanische afvoer uit de vergaderzalen (CO₂-regelkleppen). Foto links boven: De klep van de raamroosters wordt gestuurd op basis van het CO₂-signaal van de regelkleppen. Foto rechts: de afvoerlucht wordt gerecupereerd over een warmtepomp aangesloten op de vloerverwarming. Een gasketel is voorzien als back-up.



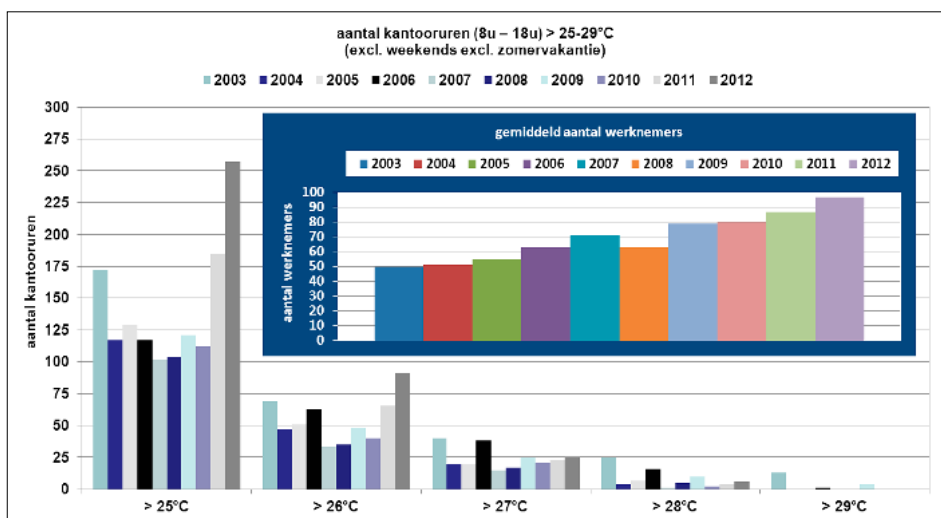
-Figuur 4- Doekzonwering met geïntegreerd verluchttingsrooster waarachter zich een convector en lichtgeleidingsplaat bevinden voor actieve voorverwarming van de buitenlucht

luchttoevoeropening. Aan de hand van een thermostatische kraan met voeler in de luchtstroom wordt de inblaas temperatuur tussen 15 à 18°C geregeld. De convector kan zowel op lage- als hoge-temperatuurverwarming aangesloten worden en is demonteerbaar voor onderhoud. Ten slotte blijft de relatieve vochtigheid van de binnenlucht voldoende hoog tijdens het stookseizoen. Dit als gevolg van het gemiddeld lager ventilatiedebiet door het toepassen van vraagsturing. Een eerste belangrijke stap in het realiseren van een goed **thermisch zomercomfort** is, net zoals voor het wintercomfort, een kwalitatieve gebouwschil: thermisch goed geïsoleerd, zonwering op zonbelaste ramen, luchtdicht en koudebrugvrij [6,7]. Een onderscheid wordt gemaakt in doekzonwering (eventueel geïntegreerd in het toevoerrooster, figuur 4) of structurele zonwering onder de vorm van

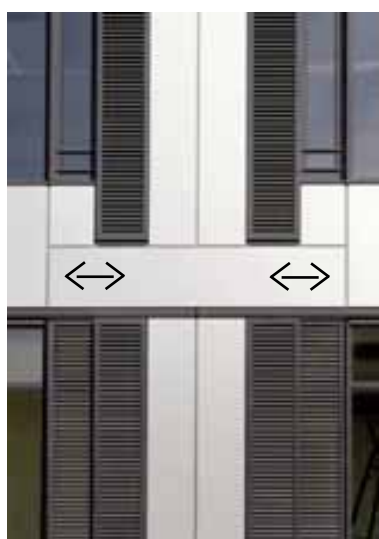
lamellen (figuur 7) in het vlak van het raam of uitkragend. Buitenzonwering is het meest performant in het weren van de zonnewarmte en kan bovendien gebruikt worden om het **visueel comfort** te garanderen. Hinderlijke hoge lichtniveaus, verblinding door reflecties etc. kan met behulp van 'lichtwering' vermeden worden [5]. Daarnaast wordt bij voorkeur voldoende bereikbare thermische gebouwmassa voorzien om het temperatuurniveau in de zomer en de temperatuurschommelingen te beperken. Halfopen valse plafonds zijn een goede oplossing om de structurele warmtecapaciteit te benutten. Verder wordt waar mogelijk spuiventilatie (nightcooling) toegepast als vorm van hernieuwbare koeltechniek (nr. 3 in figuur 2). Dit principe bestaat uit opengaande ramen waarvoor zich een al dan niet inbraakwerend rooster met weerstandsklasse WK2 conform



-Figuur 5- Relatieve SCOP/SPF-toename door hogere brontemperatuur van de menglucht



-Figuur 6- Grote grafiek: resultaat meetcampagne in een landschapskantoort te Waregem dat passief gekoeld wordt. Aantal kantooruren (tussen 8h en 18h) dat een binnentemperatuur heeft van >25 à 29°C (excl. weekends en zomervakantie). Kleine grafiek: toename aantal aanwezigen in landschapskantoort



-Figuur 7- Beweegbare roosters/lamellen (schuifpanelen) met dubbele functie. Als de opening afgesloten is, doen ze zowel dienst als zon(lucht)wering en als afsluiting van een spui-opening. Als de opening niet afgesloten is, worden de zonnwarmte en het licht benut.

de EN1627-30 bevindt. Via deze open ramen kan een koelcapaciteit van 5 W/m²/luchtwissel (of 1°C temperatuurdaling per luchtwissel) gerealiseerd worden indien het buiten 5°C koeler is dan binnen (typisch 's nachts en tijdens de morgen) [8]. Dit principe is toegepast op kantoren in Waregem in combinatie met voldoende bereikbare thermische massa in het plafond. De resulterende binnentemperatuur is voorgesteld in figuur 6 (grote grafiek). Hierbij valt duidelijk de hittegolf in de zomer van 2003 en 2006 op en het aantal werknemers dat in tien jaar tijd sterk is toegenomen tot boven de ontwerpbezetting (figuur 6, kleine grafiek). Dit gaat gepaard met stijgende interne warmtelast ten gevolge van de aanwezige personen, maar zeker ook ten gevolge van de toename in aanwezige apparatuur (typisch computers met één of meer schermen). Met een criterium van maximaal 100 overschrijdingsuren boven de 26°C tijdens bezette perioden, blijkt dat de temperatuur via natuurlijke koeling doorgaans onder controle

kan worden gehouden. Behalve bescherming tegen inbraak, biedt het rooster voor de raamopening ook bescherming tegen regen, insecten, hevige wind, ... Het rooster kan tevens de functie van zon- of lichtwering vervullen. In de toepassing voorgesteld in figuur 7 bijvoorbeeld zijn de lamellen/roosters verschuifbaar zodat deze ofwel het licht kunnen doorlaten, ofwel een zonwerende functie kunnen hebben en/of bijkomend de opening afsluiten voor regen en wind wanneer deze geopend is voor spuien. Een mooi voorbeeld van productintegratie en multifunctionaliteit.

ENERGIEZUINIGHEID

Het HBC richt zich vooral op de ventilatietechniek en de 'koeltechniek' om een gebouw energiezuinig te maken. Om het **energiegebruik ten gevolge van ventilatie** te beperken gelden algemeen de drie volgende stappen:

- het aantal, het rendement (1/SFP) en de sturing van de ventilator. Die hebben een belangrijke impact op het elektraverbruik;
- sterke reductie van de ventilatieverliezen via een intelligente sturing van het luchtdebiet op basis van sensorwaarden die de vraag detecteren. Zowel in België als in Nederland wordt dit gewaardeerd via respectievelijk een reductiefactor $f_{\text{reduc,vent}}$ als een correctiefactor regelsysteem f_{reg} zoals gedefinieerd in de NEN 8088. Deze reductiefactoren weerspiegelen het potentieel van vraaggestuurde ventilatie, namelijk een besparing tussen 30 tot 50% die gerealiseerd kan worden;
- toepassen van warmterugwinning. Dit kan op twee manieren, ofwel met een warmtewisselaar die doorgaans een rendement van 50 tot 80% heeft ofwel via een lucht-waterwarmtepomp (nr. 6 in figuur 2). Bij toepassing van een lucht-waterwarmtepomp neemt het rendement van de warmtepomp toe naarmate een hogere brontemperatuur (menglucht) behaald wordt. De relatieve COP-toename die met een al dan niet modulerende warmtepomp gerealiseerd kan worden, is voorgesteld in figuur 5. Deze COP-toename varieert tussen 10 à 25%. Bij de modulerende warmtepomp varieert het debiet over de warmtepomp in functie van het benodigd vermogen. In dit geval wordt het relatief aandeel ventilatielucht ten opzichte van buitenlucht gemiddeld gezien hoger, wat de hogere COP-toename verklaart. Uit de COP- of SPF-toename kan ook het terugwinrendement op de ventilatieverliezen door middel van de warmtepomp als volgt berekend worden: terugwinrendement op ventilatie = (verwarmingsbehoefte x SPF-toename)/ventilatieverliezen. Afhankelijk van de verwarmingsbehoefte en

de ventilatieverliezen, resulteert dit doorgaans in een energiebesparing op ventilatie van 20 à 40%.

- Het effect van warmteterugwinning via een lucht-waterwarmtepomp wordt momenteel opgenomen in de Vlaamse EPB-methodiek. In Nederland is een waardering al mogelijk via bijlage E van NEN 7120. Warmteterugwinning via een warmtepomp werd toegepast in een nieuwe showroom te Waregem, zoals geïllustreerd in figuur 3 (rechts).

Het energiegebruik **ten gevolge van de toegepaste koelingsstechniek** wordt in het Healthy Building Concept tot een minimum beperkt door geen of minimaal gebruik te maken van klimatisering (actieve koeling), maar door passieve koeling (spuien of nightcooling) toe te passen (nr. 3 in figuur 2). Uit diverse studies en meetcampagnes blijkt dat kantoren uitgerust met zonwering en passieve koeling, hun HVAC-elektriciteitsverbruik met 50% kunnen verminderen ten opzichte van kantoren met volledige airconditioning [8].

■ EENVOUD EN ROBUUSTHEID

Eenvoud en robuustheid van het systeem worden nagestreefd van ontwerpfase tot gebruiksfase. Intelligentie wordt geïntegreerd, maar mag niet equivalent zijn met complexiteit. Het ontwerp is eenvoudiger dan dat van een volledig mechanisch ventilatiesysteem, aangezien enkel ruimte voorzien moet worden voor de afvoerkanalen en de ventilatie-unit opmerkelijk kleiner is. Tijdens de werking opereert de afvoerregelklep als 'stand alone'-systeem. Elke klep kan ruimte per ruimte afgesteld worden (debiet en CO₂-setpunt) en het hoofdkanaal wordt aangesloten op een centrale constant-drukventilator. Eenmaal in gebruik zal het systeem op basis van de sensoroutput aangestuurd worden en is manuele tussenkomst in principe onnodig. Indien gewenst kan dit altijd via een schakelaar gebeuren.

Tot slot is ook het onderhoud een niet onbelangrijke factor in een robuust ontwerp. De luchttoevoer gebeurt via ventilatieroosters in de gevel die gemakkelijker te onderhouden zijn dan onbereikbare toevoerkanalen. In tegenstelling tot een volledig mechanisch ventilatiesysteem zijn geen filters aanwezig die op geregelde tijdstippen vervangen moeten worden. Er dient slechts één ventilator onderhouden te worden en het aantal kanalen is ook gehalveerd aangezien er enkel afvoerkanalen zijn. Onderhoud van een eventuele warmtepomp omvat vooral het reinigen van de verdampers. Het onderhoud komt ook aan bod in het volgende deel waarin de Totale Actuele

Kosten (TAK) van verschillende systemen met elkaar vergeleken wordt (figuur 8, onderhoudskosten groen).

■ BETAALBAARHEID

Tot slot is ook de betaalbaarheid van het geïnstalleerde systeem van doorslaggevende betekenis. In figuur 8 zijn voor een klaslokaal verschillende systemen met elkaar vergeleken: een C-systeem, een centraal en een decentraal D-systeem met rendement 80%. Ook de sturing is gevarieerd: een kloksturing versus een sturing op basis van het CO₂-niveau (reductiefactor 80%). In totaal zijn dus zes systemen met elkaar vergeleken, het tweede systeem (C + CO₂ (80%)) is een toepassing van het Healthy Building Concept. In de vergelijking is naast het ventilatiesysteem ook het verwarmingssysteem meegenomen. In elk systeem is een gasketel voorzien met een totaal systeemrendement van 90%. In geval van een C-systeem is de te installeren verwarmingscapaciteit 5 à 15 W/m³ hoger dan bij een D-systeem, wat ook meegerekend werd. Voor elk van de zes systemen is de Totale Actuele Kost over een periode van 30 jaar berekend volgens EN15459:

$$C_G(\tau) = C_i + \sum [\sum (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{fr}(j)]$$

De aannames hiervoor zijn:

- de eenmalige investeringskosten C_i zijn de som van het ventilatiesysteem en het verwarmingssysteem zoals voorgesteld in tabel 3. De investeringskosten lopen op naarmate het ventilatiesysteem sensoren bevat en/of een warmtewisselaar heeft. Decentrale systemen hebben de hoogste investeringskosten. De hogere verwarmingscapaciteit die noodzakelijk is bij toepassing van een C-systeem, vertaalt zich ook in hogere investeringskosten;
- de energiekosten $C_{a,i}$ (energie) zijn bepaald op basis van dynamische simulaties in Trnsys. De randvoorwaarden voor deze simulaties zijn samengevat in tabel 3;
- de onderhoudskosten $C_{a,i}$ (onderhoud) zijn bepaald als percentage van de respectievelijke investeringskosten en voorgesteld in tabel 3. De onderhoudskosten voor de verwarming zijn gelijk gesteld aan 2% van de investeringskosten, de onderhoudskosten van het ventilatiesysteem zijn gelijk gesteld aan 4% van de investeringskosten;
- de rente R_d is gebaseerd op een actualisatiegraad van 2% en een energieprijsstijging van 4% bovenop de inflatie;
- de restwaarde van de investeringen op het eind van de beschouwde periode $V_{fr}(j)$ is nul.

De formule wordt dus:

$$C_G(\tau) = C_i + \sum (C_{a,i}(\text{energie}) \times R_d(i)) + \sum (C_{a,i}(\text{onderhoud}) \times R_d(i))$$

Op te merken valt dat in deze vergelijking geen rekening is gehouden met de voorverwarming die mogelijk voorzien wordt op een C- of D-systeem. Ook de extra bouwkundige kosten voor de benodigde ruimte of afwerking van een bepaald systeem (bijvoorbeeld vals plafond) zijn niet in rekening gebracht.

Uit figuur 8 valt af te leiden dat de meerkosten voor energiegebruik van een C-systeem niet opwegen tegen de hogere kostprijs en onderhoudskosten van een D-systeem. Vraagsturing zorgt voor een lager energiegebruik en meer comfort, maar betekent ook hogere onderhoudskosten. Decentrale units kunnen heel energiezuinig zijn, maar de investerings- en onderhoudskosten kunnen hoog oplopen vanwege het vele aantal units.

■ CONCLUSIES

Mechanische systemen zoals balansventilatie al dan niet in combinatie met airconditioning worden frequent toegepast in utiliteitsgebouwen. Er zijn evenwel andere systemen op de markt, zoals het Healthy Building Concept, die qua comfort, gezondheid en energiezuinigheid op een gelijkaardig niveau presteren. Bovendien is het concept goedkoper in investering en onderhoud dan gangbare concepten. Vraaggestuurde afvoerventilatie, buitenzonwering, spuiventilatie en al dan niet warmteterugwinning door middel van een warmtepomp vormen de kern van dit concept, dat het mogelijk maakt om duurzame gebouwen te ontwerpen.

■ REFERENTIES

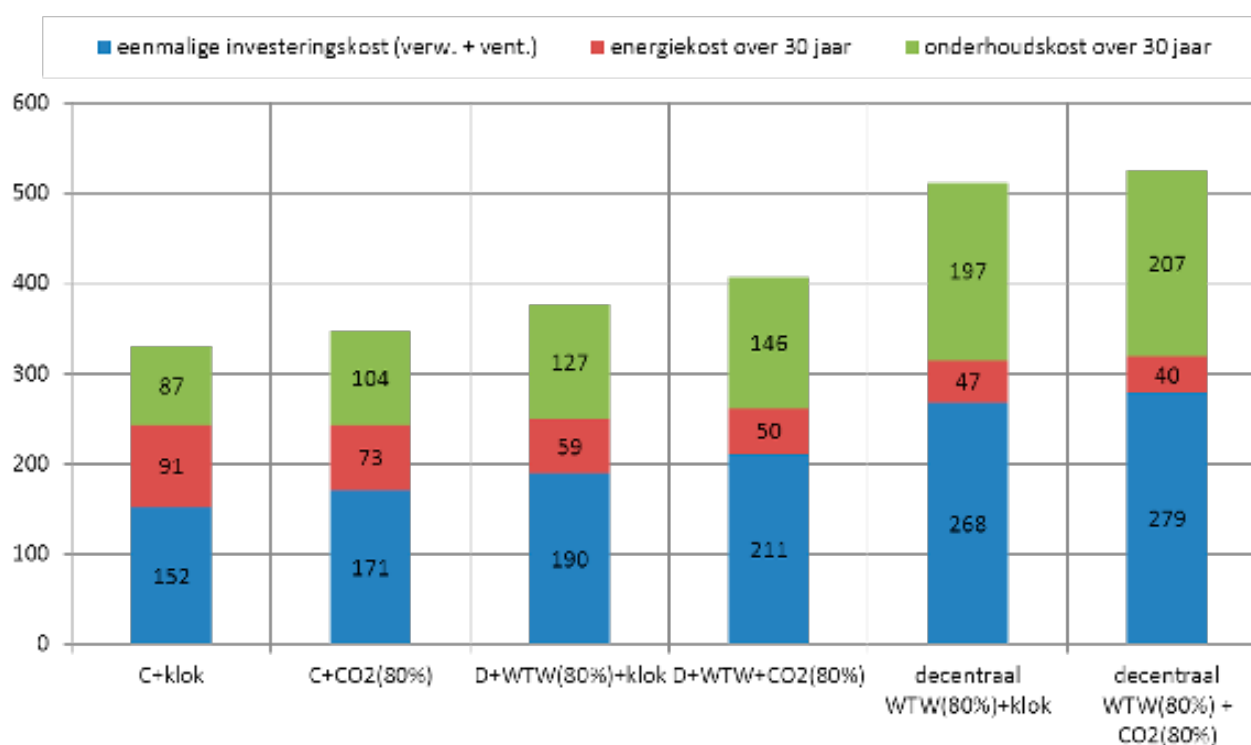
1. Bouwbesluit 2012 <http://www.bouwbesluitonline.nl/>
2. Website Vlaams Energieagentschap (VEA) <http://www.energiesparen.be/>
3. Harm Valk, Praktijkgids Bouwbesluit Ventilatie
4. ISSO-publicatie 89, Binnenklimaat scholen
5. F.R. d' Ambrosio Alfano et al., Rehva Guidebook No. 13: Indoor environment and energy efficiency in schools - Part 1 Principles
6. Pollet, I., Dolmans D. & Van Eycken, A. (2011). Solar shading solutions to secure sustainable summer comfort and to reduce energy consumption in buildings. Passive house Symposium, Brussels (Belgium) 7 October 2011, 226-237.
7. W. Beck et al., Rehva Guidebook No.12: Solar shading - how to integrate solar shading in sustainable buildings
8. Pollet, I.V. & Renson P. (2008). Nightcooling - Practical experiences in offices and the need for standard implementation into energy performance legislation. International Journal of Ventilation, 6(4),

	C + klok	C + CO ₂ (80%)	D + WTW (80%) + klok	D + WTW (80%) + CO ₂ (80%)	decentraal WTW (80%) + klok	decentraal WTW (80%) + CO ₂ (80%)
Enmalige investeringskosten verwarming (€/m ²)	110	110	97	97	97	97
Enmalige investeringskosten ventilatie (€/m ²)	42	61	93	115	171	182
Jaarlijkse onderhoudskosten verwarming (€/m ²)	2,2	2,2	1,9	1,9	1,9	1,9
Jaarlijkse onderhoudskosten ventilatie (€/m ²)	1,7	2,4	3,7	4,6	6,8	7,3

-Tabel 3- Investeringskost en jaarlijkse onderhoudskost per systeem

Afmetingen klaslokaal		8 x 8 x 3 m ³
Bezettings- en ventilatiepatroon		25 personen à 25 m ³ /h/persoon (max. ventilatie-debiet 625 m ³ /h) Ventilatie maximaal van 8.40h tot 17h, daarbuiten 10% van max. debiet
Interne warmtelast	tgV personen	65 W/persoon (ISO 7730 – zittend, zeer licht schrijfwerk)
	tgV verlichting	10 W/m ²
In-/exfiltratie		0,25 h ⁻¹ - n ₅₀ = 2 h ⁻¹
Ventilator(en)	C-systeem	SFP 2 (625 Ws/m ³)
	D-systeem	SFP 3 (1.000 Ws/m ³)
		SFP varieert lineair met debiet: 50% debietsdaling resulteert in 25% vermogensdaling
Energieprijs	elektriciteit	0,10 €/kWh
	gas	0,03 €/kWh

-Tabel 4- Randvoorwaarden Trnsys-simulatie klaslokaal



-Figuur 8- Totaal Actuele Kost (TAK) van verschillende systemen (ventilatie en verwarming) over een periode van 30 jaar