

BaOpt: een 'all air'-luchtbehandelingsysteem

Niet-gerichte, diffuse luchtverdeling met regeltechniek

Het 'Bauer Optimierung' (BaOpt) concept berust op een door Albert Bauer (München) ontwikkeld regelalgoritme in combinatie met een luchtbehandelingsysteem. Door het niet-laminaire aanbod van lucht zorgt dit systeem voor een homogene menging van toevoer- en retourlucht, een minimalisering van het energiegebruik en een grotere behaaglijkheid voor de gebruiker. Het principe is ontleend aan natuurlijke luchtmenging zoals zich dit onder andere in de bergen voordoet.

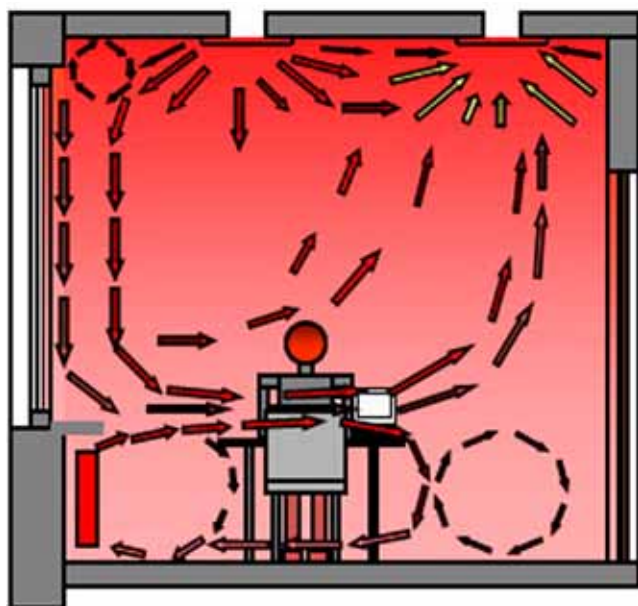
Ing. H.C.P. (Han) van Harderwijk, K & R Consultants, Apeldoorn; met ondersteuning van ing J.N. (Jan) van Dijk, New Climate Solutions, Hazerswoude-Dorp

De kern van dit systeem is dat het 'all air'-luchtbehandeling systeem met behulp van geringe pulserende luchtdrukverschillen een diffuse, niet-gerichte beweging van de binnenlucht veroorzaakt, waarbij de meetbare snelheid maximaal 0,2 m/s of minder is, terwijl op

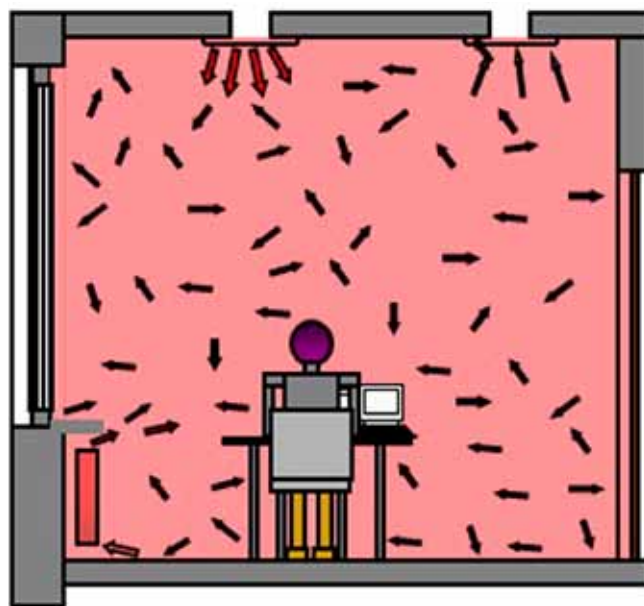
moleculair niveau botsingssnelheden optreden van ongeveer 2 m/s bij de gebruikelijke ruimtetemperaturen. Deze moleculaire beweging verklaart mede waarom geuren zich in een ruimte verspreiden zonder noemenswaardige luchtbevinging.

■ DIFFUSE LUCHTSTROMING

Er is sprake van diffuse luchtstroming wanneer de luchtmoleculen zich volkomen ongericht in de ruimte bewegen, onafhankelijk van de temperatuur. Figuur 1 schetst het stromingsprofiel in een conventionele situatie. Bij rooktesten



-Figuur 1- conventionele luchtstroming



-Figuur 2- chaotische luchtstroming

ziet men duidelijk gerichte stromingen van de worproosters, de koudeval, warmtelichamen, lampen e.d. Deze al of niet door inductie gerichte luchtstromen nabij ramen of bij het koelen worden frequent als tocht ervaren. In figuur 2 is het stromingsprofiel van een chaotische luchtstroming weergegeven. Te zien is dat lucht zich diffuus beweegt, zowel bij koelen als bij verwarmen. Zaken als koude ramen, warme lampen, obstakels zoals bureaus en (bewegende) mensen hebben hierop geen invloed.

Ook bij hoge ventilatievouden (bijvoorbeeld 10-voudig) blijft dit profiel van diffuse verspreiding gehandhaafd en neemt de waarneembare/meetbare gerichte luchtstroomsnelheid nauwelijks toe ($<0,2$ m/s), terwijl er toch sprake is van meer luchtbewegingen. Bij traditionele luchtsystemen neemt bij toenemende ventilatievoud de luchtbeweging wel toe.

■ OPBOUW

De diffuse luchtstroming wordt opgebouwd door luchtdrukvariaties te realiseren in de orde van grootte van -5 tot $+10$ Pascal tussen de luchtdruk in de ruimte en de buitenluchtdruk. In de aanloopfase worden relatief kort achtereen (enkel keren per minuut) luchtdruk- 'pulsen' opgewekt. Wanneer de lucht vol- doende in beweging is, gaat het systeem over in de onderhoudsstand en worden in de orde van grootte van enkele minuten drukveranderingen aangebracht.

De opstartfase varieert afhankelijk van de omvang en het soort ruimte en het verschil met de gewenste waarde van 15 minuten tot een uur. De luchtdrukvariaties worden gereali- seerd met het moduleren van de toerentallen van de toe- en afvoerventilatoren, soms in combinatie met de motorgestuurde kleppen op de toe- en afvoerkanalen van één of meer ruimten.

Tijdens het ventileren, koelen, verwarmen of recirculeren zal het systeem voortdurend de diffuse luchtstroming onderhouden, zoals gediceerd door de BaOpt-regelalgoritmen.

■ SPECIFIEKE EIGENSCHAPPEN

De diffuse luchtstroming zorgt voor een snelle en volledige menging van koude en warme lucht, waarbij de horizontale temperatuur- gradiënt maximaal 1 Kelvin is. De verticale temperatuurgradiënt is typisch maximaal 1,5 Kelvin per 10 meter hoogte verschil.

Een tweede eigenschap is dat de menging niet wordt gehinderd door obstakels zoals kasten, bureaus en mensen. Zelfs zeer warme lampen verstoren het bewegingspatroon niet.

Een derde opvallende eigenschap is dat zich op wanden, vloeren, plafonds en voorwerpen een stilstaand luchtlaagje van enkele millimeters

vormt. Dit laagje zorgt ervoor dat in de directe nabijheid van het oppervlak, het raam, de vloer, het voorwerp e.d. de ruimtetempera- tuur aannemen. Dit zorgt bij ramen en wanden voor een volstreekte afwezigheid van koude- val. Door het ontbreken van deze vorm van koudeval wordt het comfortgevoel verhoogd. Dit spreekt des te meer aan bij zwembaden met raampartijen waarbij de klimaatzone voor behaaglijkheid zich uitstrekt tot 'tegen' het raam.

Een vierde eigenschap is dat er geen worp meer is vereist bij het toevoeren van de lucht. Bij het suppleren op leef niveau dient bij BaOpt de worp via hoog inducerende roosters zelfs volle- dig te worden vermeden. Bij revisieprojecten is het raadzaam een paneel haaks op de toevoer te plaatsen waardoor de luchtsnelheid tot (ver) onder de 1 m/s te wordt teruggebracht. Alleen bij relatief hoge (5 meter of hogere) ruimten en horizontaal luchttoevoer mag de lucht- stroom bij een minimaal 6 meter vrije ruimte 4 m/s bedragen. Alles dient erop gericht te zijn om de lucht zonder worp in de leefzone in te brengen. De optimale menging wordt immers via luchtdrukvariaties verkregen.

■ ENERGIEGEBRUIK EN COMFORT

Zoals aangegeven is er voor volledige menging via chaotische luchtstroming geen worp vereist. Dit heeft als consequentie dat de menging ook bij zeer lage luchthoeveelhe- den optimaal blijft. Aangezien het systeem regelt op ruimtekwaliteit (temperatuur, CO₂ en, indien gewenst, RV), blijkt dat (ook bij revisieprojecten) de luchtbehandelingskast kan worden 'teruggetoerd' tot 85-90% van de nominale hoeveelheid, waardoor op elektri- sche energie voor de ventilatoren gemiddeld ongeveer 50% wordt bespaard.

Het verwarmen is door de diffuse luchtstro- ming efficiënter: de ruimte wordt homogeen verwarmd, terwijl bij conventionele systemen veel onnuttige warmte hoog in de ruimte aan- wezig is. Ook heeft de gebruiker minder snel de neiging om bij conventionele verwarming de regeling hoger te zetten, omdat koudeval en gerichte luchtstromen afwezig zijn.

Koelen vindt eveneens efficiënter plaats: in het systeem van diffuse luchtstroming kan kouder worden ingeblazen (vanaf 12°C zonder comfortverlies), zodat de gewenste setpoints zeer snel bereikt kunnen worden. Dit houdt anderzijds in dat met geringere luchtvolumen kan worden gewerkt en geconstrueerd.

Opvallend is dat de aanwezige personen de ruimtetemperatuur ongeveer 1 tot 2 K lager inschatten, wat bijdraagt aan het efficiënter koelen.

Gemiddeld genomen blijkt het systeem 20%

zuiniger met verwarming/koelingenergie dan conventionele systemen.

De diffuse luchtstroming in combinatie met het stilstaande luchtlaagje voorkomt koudeval langs ramen en muren volledig. Ook onver- warmde vloeren voelen niet meer koud aan. In het leefgebied zijn bovendien geen hogere luchtstroomsnelheden aanwezig, ook niet bij een hoger ventilatievoud. Hierdoor ervaart de gebruiker het op deze wijze geregelde binnen- klimaat als zeer comfortabel.

■ MEERDERE RUIMTEN

Het is mogelijk om in gebouwen met vele tientallen afzonderlijke ruimten diffuse luchtstroming(en) te creëren. Hiervoor komen twee manieren in aanmerking.

De eerste manier is dat iedere ruimte een afzonderlijke drukzone vormt met a. een eigen toe- en afvoer, b. een druksensor, c. een CO₂-sensor en d. een temperatuursensor. In dit geval wordt iedere ruimte volledig onafhanke- lijk gestuurd. Mochten er deuren naar verschil- lende ruimten openstaan, dan zal het systeem deze gekoppelde ruimte als één drukzone gaan beschouwen.

De tweede manier is dat er clusters van ruimten (bijvoorbeeld kantoren of klaslokalen) worden gevormd die gezamenlijk een drukzone vormen via overstroomroosters naar de gang. Iedere ruimte heeft dan wel zijn eigen toevoer- kanaal en temperatuur/CO₂-opnemer, maar er is slechts één centrale drukopnemer op de gang voor die zone. Als in één ruimte de ramen en deuren naar buiten openstaan, dan zal dit zowel de diffuse luchtstroming beïnvloeden van de eigen ruimte alsmede van de andere ruimten. Deze ruimten zijn immers luchttech- nisch aan elkaar gekoppeld.

Indien buitenramen en buitendeuren langere tijd (>15 min) geopend blijven, zal de diffuse luchtstroming verdwijnen. De sturing vindt nog steeds plaats op CO₂ en temperatuur, maar de homogeniteit verdwijnt.

■ TECHNISCHE VOORWAARDEN

Installatietechnisch gezien is een belangrijke voorwaarde dat de ventilatoren (toe- en afvoer) van de luchtbehandelingskast(en) zijn voorzien van frequentie-rotatieregeling. Bij meerdere individueel te sturen ruimten op één luchtbehandelingskast dienen voor elke ruimte toevoer- en afvoerleppen (luchtdichtheid- klasse 3) te zijn opgenomen, die van 0-10 V servomotoren zijn voorzien. Per ruimte dient een CO₂- en temperatuursensor en optioneel een RV-sensor te worden opgenomen.

Het is zeer goed mogelijk om in één gebouw zowel ruimten met chaotische als conventio- nele luchtbehandeling te combineren. Beide delen dienen wel luchttechnisch van elkaar

gescheiden te worden.

Beide systemen kunnen op gebouwbeheer-niveau gekoppeld worden via BACNet Of ModBus, zodat de gebruiker compleet toegang tot de installaties en instellingen van het gebouw heeft. Let wel: het aantal rekenbewerkingen van de nieuw te installeren regelapparatuur bedraagt tenminste het 40-voudige van een standaard regeling.

Bij nieuw te ontwerpen klimaatinstallaties is er een keuze tussen één toevoer (met evt. naverwarmers/nakoelers) en een dubbel toevoer-kanaalsysteem, waarbij de toevoer in twee derde/één derde wordt gesplitst voor respectievelijk koelen en verwarmen, zodat twee temperaturniveaus gecreëerd worden voor elke ruimte. De (individuele) regeling kiest welk kanaal verwarmde of gekoelde lucht suppleert. Dit resulteert in een optimale benutting van energie en een optimaal comfort. In beide varianten vindt zonering plaats via regelkleppen.

Bij ombouw van bestaande installaties worden zoveel mogelijk bestaande componenten (luchtbehandelingskast, kanalen, opnemers, roosters) hergebruikt, uiteraard met uitzondering van de regeltechniek.

Vanwege het 'all air'-principe zijn geen radiatoren, koelplafonds, betonkernactivering, VAV-regeling etc. nodig (een adequaat ventilatievoud van 2 op basis van de vereiste hoeveelheid buitenlucht volstaat voor verwarming; een ventilatievoud van 3 tot 4 dekt de koellast).

■ BOUWKUNDIGE GEVOLGEN

De meest in het oog springende gevolgen van het toepassen van diffuse luchtstroming op basis van . luchtdrukverschillen is de mogelijkheid om de verdeelkanalen in een ruimte achterwege te laten. Dit is echter geen vereiste. In bestaande panden (retrofit) blijft de kanaalinfructuur doorgaans ongewijzigd (zie foto's ter verduidelijking).

Per ruimte is slechts één temperatuursensor, één CO₂-opnemer en, indien gewenst, één RV-opnemer vereist. De plaats daarvan is niet kritisch, omdat de gehele ruimte homogeen van lucht wordt voorzien. Wel dient men zich te realiseren dat het beschreven dunne luchtdaagje langs wanden en glas als isolator optreedt.

Daar de kern van het systeem berust op luchtdrukverschillen tussen binnen en buiten is de luchtdichtheid van de schil een punt van aandacht (dichte doos). De BaOpt-regeltechniek werkt in het gebied van -5 Pa tot +10 Pa luchtdrukverschil tussen binnen en buiten. Het gemiddelde ligt tussen +1 en +3 Pascal.

Een gebouw dat volgens het bouwbesluit kierdicht is, is meer dan dicht genoeg voor het

systeem van luchtdruksturing. Ook in minder dichte gebouwen, zoals een monumentale kerk, functioneert het systeem van diffuse luchtstroming uitstekend. Met een afnemende dichtheid van het gebouw neemt uiteraard wel de energie efficiëntie af.

Praktisch gesteld kan met een luchthoeveelheid van 10.000 m³/h een permanent gat van 2 m² gecompenseerd worden, waarbij de diffuse luchtverdeling nog steeds kan functioneren.

■ BELANGRIJKE AANDACHTSPUNTEN

Tochtgevoeligheid

Het systeem functioneert op basis van gemeten luchtdrukverschillen tussen buiten en binnen. Oeningen aan weerskanten van het gebouw (sterke tocht) kan de opgebouwde luchtverdeling zeer snel afbreken. Het vraagt dan enige tijd voordat de regeling opnieuw optimaal functioneert. Hiermee dient in de planning rekening gehouden te worden.

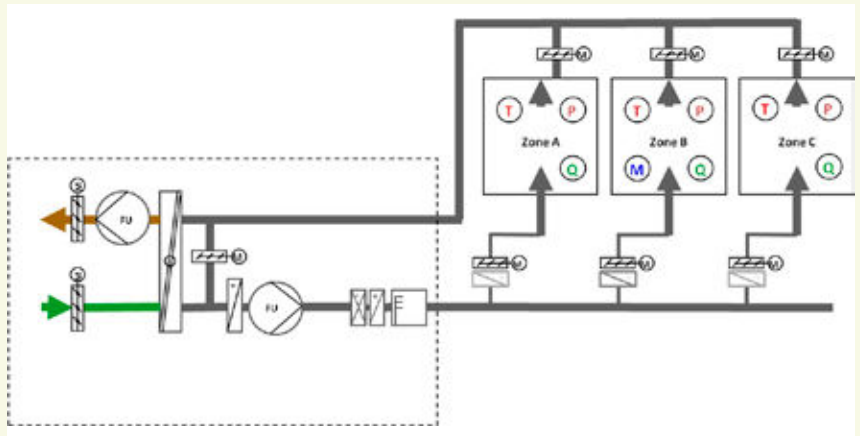
Brandveiligheid

Bij chaotische luchtverdeling mengt de lucht

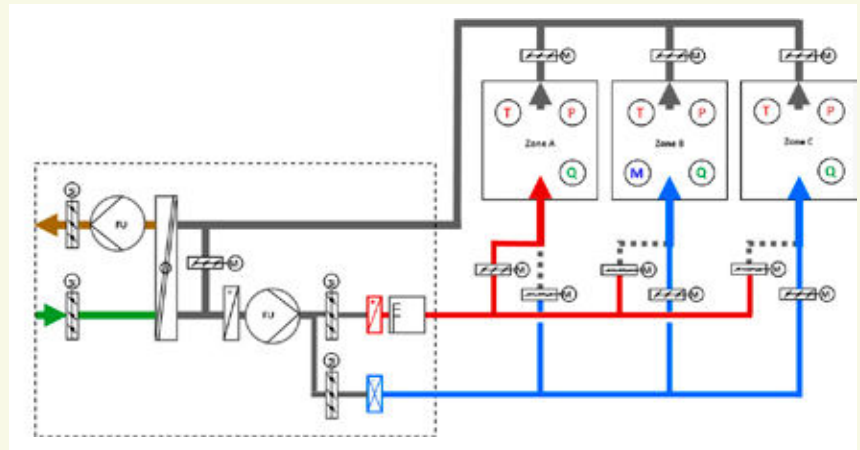
zich volledig. Dit is in het geval van brand/rookontwikkeling niet gewenst. Door het brandmeldsysteem te koppelen aan de BaOpt-regeltechniek zal bij een rook/brandmelding de diffuse suppletie snel worden afgebouwd. Dit vraagt, afhankelijk van de ruimte-omvang, meerdere seconden tot enkele minuten. Voor de brandveiligheid dient een berekening gemaakt te worden van de vluchttijd bij volledige menging. In de praktijk leidt dit zelden tot problemen.

Gesloten deuren/ramen

Een optimale werking van het systeem berust op het principe van een gesloten ruimte. Er zal de gebruikers op gewezen moeten worden dat het binnenklimaat veel beter te handhaven is als men deuren en ramen gesloten houdt. Indien gebruikers toch ramen en deuren openen dan merkt het systeem snel dat er geen verschil meer kan worden gemaakt tussen binnen- en buitenluchtdruk. Er zal toch getracht worden de gewenste druktoestand te continueren door meer lucht toe te voeren. Met het plaatsnemen van raamcontacten kan



-Figuur 3- Standaard uitvoering



-Figuur 4- Dual duct uitvoering

meteen duidelijk gemaakt worden dat een raam open staat (GBS!).

In de situatie van verlies van drukverschil kan het systeem op twee manieren worden geprogrammeerd: Allereerst kan op basis van CO₂ en temperatuur (conventioneel) blijvend worden ingeblazen. De diffuse luchtbeweging is dan onderbroken en gerichte luchtstromingen kunnen gaan optreden. Een tweede manier is om het systeem tijdelijk uit te schakelen. Het blijft wel continu onderzoeken of de luchtdruk-situatie zich herstelt.

Demarcatie

Het BaOpt-systeem is niet of minder geschikt voor clean rooms en soortgelijke ruimten; idem voor ruimten waardoorheen continu buitenlucht kan stromen (zoals docks). Ook voor kleine gebouwen (woonhuizen etc.) is het minder geschikt, vanwege het kostenaandeel. Kortom: wanneer geen variabele druksturing mogelijk is, werkt het systeem niet dan wel onvoldoende, evenals bij het gedeeltelijk toepassen van het systeem op een luchtbehandelingskast in combinatie met conventionele sturing.

EPG

De aanpassing van BaOpt op de EPG-berekening omvat het volgende:

De Rc-waarde kan opnieuw berekend worden met de gewijzigde conditie aan de binnenzijde van de wanden + glas.

Voor de ventilatie geldt:

- het ventilatiesysteem is 'mechanische toevoer, mechanische afvoer';
- de variant is 'CO₂ met zonerings';
- de berekende, vereiste hoeveelheid lucht moet worden ingevuld;
- terugregeling > 20%
- type warmtewisselaar (bijvoorbeeld kruisstroom);
- rekenzone: verwarming en koeling in luchtbehandelingskast.

SAMENVATTING

Het systeem van chaotische luchtstroming is toepasbaar in vrijwel alle situaties en ontwerpen, zowel nieuwbouw als ombouw. Het binnenklimaat heeft een hoge behaaglijkheidsfactor (lage luchtstroomsnelheid van 0,05 tot 0,1 m/s) en het energiegebruik is minimaal 25% gunstiger dan bij de standaard installaties.

Elke klimaatinstallatie is uniek; daarom dient elk ontwerp en elke ombouw op zijn eigen merites te worden beoordeeld. Bij het toepassen van het systeem met individuele ruimteregeling liggen de investeringskosten op het zelfde niveau tot mogelijk 20% lager dan bij een (statisch) klimaatsysteem voor verwarmen, koelen en CO₂-beheersing.

Met de mogelijkheid om bestaande gebouwen te modificeren met een terugverdiëntijd van

ongeveer 2 tot 5 jaar dient rekening te worden gehouden.

VOORBEELDPROJECTEN

Theater Het Speelhuis, Helmond

Na de brand in het theater Het Speelhuis werd besloten om dit theater gedurende minimaal vijf jaar onder te brengen in de monumentale Onze Lieve Vrouwen Kerk. CePeZed Architecten maakten het ontwerp. Om een uitstekend binnenklimaat te realiseren tegen beperkte kosten werd gekozen voor het BaOpt-systeem. Met één gesplitste luchttoevoer onder het toneel en één retourluchtopening in de toneelruimte wordt de gehele kerk (toneelruimte, podium, tribune, balkon en foyer) klachtenvrij en zeer efficiënt geklimatiseerd. Het verschil tussen zaal- en balkontemperatuur is minder dan 1K.

Sportcentrum de Kalkwijk, Hoogezand

In dit Hoogezandse sportcentrum (zwem en sporthal) is de regeltechniek vervangen door BaOpt. Hierdoor nam het comfort toe terwijl er minder energie wordt gebruikt. In tweede instantie is ook het complete luchttoevoer/verdeelkanaal verwijderd, omdat de ophangingen toe waren aan vervanging. Het comfort bleef op een hoog niveau. De energiebesparing is door de beheerder geschat op 25%.

Basisschool It Tredde Ste, Jirnsum

In deze nieuwbouwschool is een BaOpt 2-kanaalsysteem toegepast. De gebruikers zijn uitermate tevreden over het binnenklimaat, terwijl de stichtingskosten lager waren.

Neues Flora Theater, Hamburg Altona

Dit theater, onderdeel van Joop van den Ende Productions, heeft een lucht/regeltechnische renovatie ondergaan vanwege de gebrekkige klimaatbeheersing: de gestelde parameters werden niet, te laat of onvoldoende gehaald. Op verzoek van de opdrachtgever bleef de bestaande klimaatinstallatie geheel functioneel.

BaOpt heeft als experiment een geheel gescheiden regelkast ter beschikking gesteld met een omschakelknop naar de bestaande installatie. Sinds de in bedrijfstelling en inregeling op basis van BaOpt is er geen groter temperatuurverschil tussen vloer en schellinkje opgetreden dan 1 K en zijn er geen tochtklachten meer geuit.

Daarnaast bleek het verschil tussen de luchtstroom voor zaal en podium verdwenen te zijn. De voor sommige shows onontbeerlijke mist/rookpluimen worden nu niet meer afgebogen of ongewild verspreid. Het hele gebied binnen de theaterschil (foyer uitgesloten) vertoont een uniforme temperatuur bij een tenminste 20% gunstiger energiegebruik.

