

Door:
ir. E.M.M. Willems,
mw. ir. Y.K. Wertwijn

Cauberg-Huygen
Raadgevende
Ingenieurs bv,
Rotterdam

ventilatie

Ventilatie staat centraal bij het waarborgen van een optimale binnenluchtkwaliteit in woningen en gebouwen. Daarnaast speelt ook het energiegebruik tengevolge van ventilatieverliezen en hulpenergie voor ventilatoren een belangrijke rol. Nieuwe innovatieve en energiezuinige ventilatie-concepten passen niet altijd binnen de huidige uitgangspunten van de EPN. Hierdoor krijgen ze een te hoge bijdrage aan de EPC-waarde toegekend. Op dit moment kan een beroep worden gedaan op het gelijkwaardigheidsbeginsel uit het Bouwbesluit waarmee een lagere bijdrage aan de EPC-waarde kan worden berekend. Onlosmakelijk hiermee verbonden is het aantonen van een gelijkwaardige binnenluchtkwaliteit bij het toepassen van lagere rekenwaarden voor de luchtvolumestromen dan NEN 5128 hanteert. Vanwege de complexiteit van de berekeningen lijkt het wenselijk de gelijkwaardigheid van ventilatie-concepten te laten beoordelen door een centrale, landelijk opererende instantie in plaats van toetsing door het gemeentelijk bevoegd gezag.

Innovatieve ventilatie-concepten en gelijkwaardigheid in de EPN

Verdere ontwikkeling en verbetering van volledig mechanische of natuurlijke ventilatiesystemen op energiebesparing en binnenluchtkwaliteit bereikt zijn grenzen. In de Techniekinventarisatie Ventilatie [1] wordt verwacht dat in de nabije toekomst de meest veelbelovende ventilatiesystemen gebaseerd zullen zijn op vraaggestuurde hybride ventilatietechnieken. In de praktijk is deze ontwikkeling zichtbaar aan de eerste vraaggestuurde ventilatiesystemen die behoedzaam de Nederlandse ventilatiemarkt betreden. In internationaal verband zijn het EU-KP5 project Reshyvent* (coördinator: Cauberg-Huygen) en IEA Annex 35 Hybrid Ventilation** (Nederlandse deelname: Cauberg-Huygen en TNO-Bouw) sprekende voorbeelden. Vergeleken met de gangbare systemen is de aanpassing van de regeltechniek voor de vraagsturing en de sensortechnologie voor het vaststellen van de ventilatiebehoefte het meest in het oog springend.

Bij vraaggestuurde ventilatie kan van een aantal technieken gebruik worden gemaakt voor de meting van de binnenluchtkwaliteit en de daarmee samenhangende ventilatiebehoefte. Voorbeelden zijn CO₂-sensoren, zelflerende klokregelingen en aanwezigheidsdetectie. De huidige bepalingsmethode NEN 5128 [2] voor de EPC houdt geen rekening met dit soort toepassingen en de verschillen in

de energetische kwaliteit die deze vraaggestuurde ventilatie-concepten bezitten.

Het Bouwbesluit [3] wil de toepassing van innovatieve of experimentele producten niet tegengaan, maar juist stimuleren. Daartoe is in hoofdstuk 1 van het Bouwbesluit een zogenaamde gelijkwaardigheidsbepaling opgenomen. Daardoor bestaat er de mogelijkheid om met een gelijkwaardige oplossing aan te tonen dat aan de gestelde prestatie-eisen, in dit geval binnenluchtkwaliteit en EPC-waarde, wordt voldaan.

Gelijkwaardigheidsbeginsel

Het Bouwbesluit laat ruimte voor innovatie door het zogenaamde gelijkwaardigheidsbeginsel. Energiezuinige ventilatieconcepten die niet passen binnen de uitgangspunten van de EPN en daardoor een te hoge EPC-waarde krijgen toegekend, kunnen op dit beginsel een beroep doen.

Daarnaast moeten de overwegingen uit andere afdelingen in het gelijkwaardigheidsvoorschrift verweven zitten en ook bij de beoordeling of de oplossing inderdaad gelijkwaardig is, worden betrokken. Voorbeelden van ventilatie-concepten waarvoor een gelijkwaardigheidsverklaring is opgesteld zijn het Airtronic-systeem van Duco/Itho en het Vent-o-systeem van Alusta/Bergschenhoek.

Gelijkwaardigheid aantonen

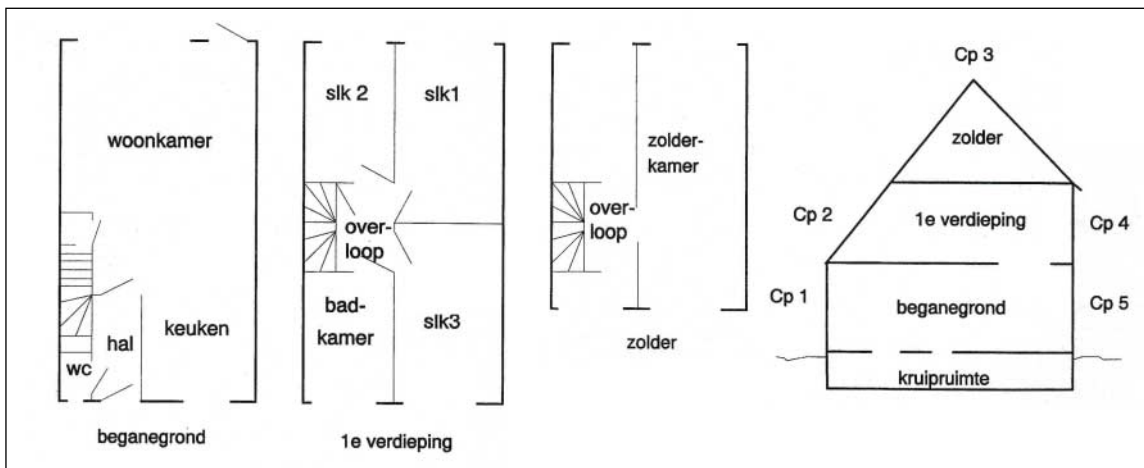
De uitdaging bij de ontwikkeling van innovatieve ventilatieconcepten is om te voldoen aan de eisen van de binnenluchtkwaliteit en tevens lagere rekenwaarden aan de luchtvolumestromen voor ventilatie en infiltratie toe te kennen. In de gelijkwaardigheid moet worden aangetoond dat de luchtkwaliteit voldoet aan de eisen uit het Bouwbesluit en dat de gehanteerde warmteverliezen lager zijn dan in NEN 5128 wordt aangehouden.

Beoordeling luchtkwaliteit

De eisen voor de binnenluchtkwaliteit liggen vast in het Bouwbesluit en omvatten twee belangrijke aspecten, namelijk de CO₂-concentratie en de relatieve vochtigheid.

De blootstelling aan de CO₂-concentratie wordt beoordeeld aan de hand van een dosis-effect-relatie. Hierbij wordt de lageventilatie-index (lvi, zie kader) gehanteerd, die aangeeft hoelang de blootstelling aan bepaalde CO₂-concentraties is.

Door de ventilatielucht via de natte ruimten rechtstreeks naar buiten af te voeren (hergebruik van lucht zoals volgens de ventilatiebalans mag worden toegepast) wordt tevens het vocht uit deze natte ruimten afgevoerd. De ventilatiedebieten voor de handhaving van voldoende luchtkwaliteit zijn zodanig groot dat problemen met de vochthuishouding op deze wijze



Figuur 1. Schematische weergave van het meerzone-ventilatiemodel met de belangrijkste fysieke grootheden.

niet zijn te verwachten. Relatieve vochtigheid is wel een aandachtspunt voor ventilatie-concepten die lokaal werken en dus niet de ventilatielucht afvoeren via de natte ruimten. Hiervoor zal ook gelijkwaardigheid ten aanzien van de optredende vochtconcentratie in de woning moeten worden aangetoond.

Berekening warmteverliezen

In NEN 5128 worden de warmteverliezen door ventilatie en infiltratie berekend over een stookseizoen. De onderbou-

wing voor de aangehouden rekenwaarde voor warmteverliezen door ventilatie en infiltratie uit NEN 5128 zijn gegeven in rapport 98-BBI-R0386 van TNO-Bouw [4]. Vergelijking 21 uit NEN 5128 geeft de rekenwaarde voor de luchtvolumestroom voor ventilatie en infiltratie:

$$q_{v,i} = 0,47 \times A_{g,i} + 0,13 \times q_{v,10;kar,i}$$

waarin:

$A_{g,i}$ de gebruiksoppervlakte van verwarmde zone i in m^2

$q_{v,10;kar,i}$ de karakteristieke luchtdoorlaatbaarheid van zone i in dm^3/s .

Vergelijking 22 uit NEN 5128 geeft de rekenwaarde voor de luchtvolumestroom die uitsluitend door het ventilatiesysteem in stand wordt gehouden:

$$q_{v,mech,i} = 0,36 \times A_{g,i}$$

In deze onderbouwing van deze vergelijkingen is tevens de luchtkwaliteit getoetst aan de eisen uit het Bouwbesluit.

Methode voor de beoordeling van de binnenluchtkwaliteit

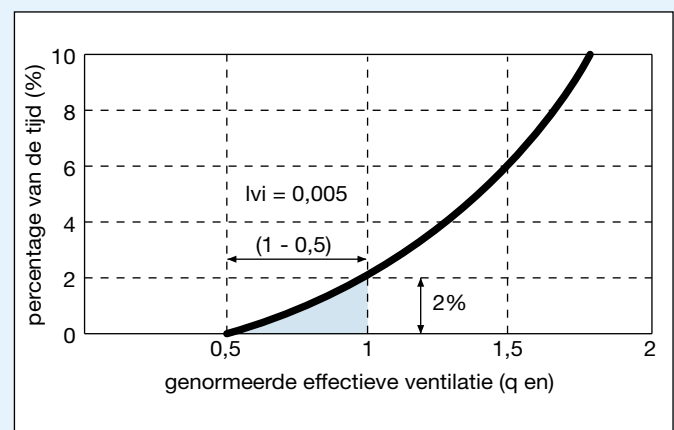
Bij het opzetten van de rekenregels voor ventilatie en ventilatie-warmteverliezen, zoals opgenomen in NEN 5128 [2], is voor de beoordeling van de luchtkwaliteit de zogenaamde lvi-waarde gebruikt, wat staat voor Lage Ventilatie Index. De lvi is beschreven in het TNO-rapport [4] en is een maat voor de beoordeling van de luchtkwaliteit in verschillende situaties. In de lvi komt zowel de mate waarin de ventilatie te laag is, als de tijdsperiode waarover de ventilatie te laag is tot uitdrukking (dosis-effectrelatie). Uit een histogram van de genormeerde effectieve ventilatie kan de lvi worden afgeleid. De genormeerde effectieve ventilatie (Q_{en}) is gedefinieerd als verhouding tussen de grensconcentratie (C_{grens}) en de momentaan optredende verontreinigingsconcentratie (C_t):

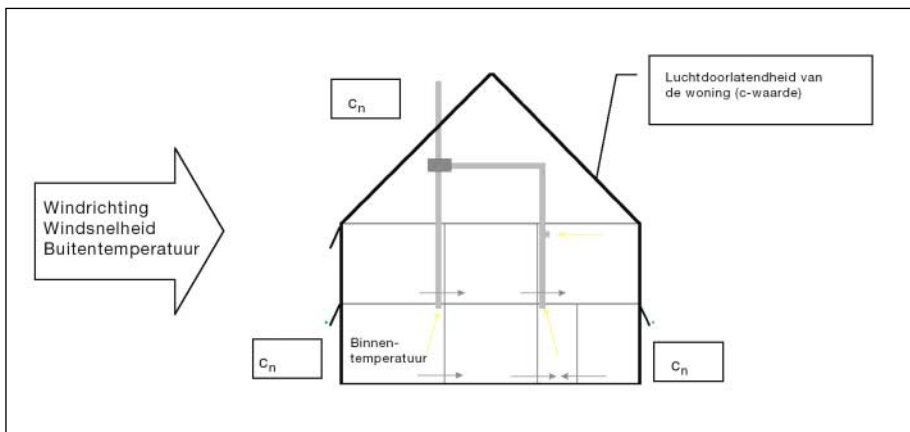
$$Q_{en} = C_{grens}/C_t$$

De genormeerde effectieve ventilatie is zodanig geschaald dat bij een waarde van 1 juist de grenswaarde voor de betreffende verontreiniging wordt bereikt. Is q_{en} lager dan 1 dan wordt de grensconcentratie overschreden, is de Q_{en} groter dan 1 dan is de concentratie lager dan de grensconcentratie.

In woningen is de grenswaarde voor de CO_2 -concentratie (C_{grens}) gesteld op 1200 ppm. Er wordt van uitgegaan dat de CO_2 -concentratie niet hoger dan 800 ppm boven de buiten-

luchtconcentratie (circa 400 ppm) mag uitkomen. In de onderstaande figuur is een histogram [4] weergegeven waarin q_{en} en de tijdsduur tegen elkaar staan uitgezet. De lvi is de oppervlakte onder de curve voor een genormeerde effectieve ventilatie lager dan 1. De lvi bedraagt $0,5 \times 0,5 \times 0,02 = 0,005$ (gearceerde oppervlakte van de driehoek waarvoor geldt $Q_{en} < 1$). De grenswaarde voor de lvi voor de aanwezige bewoners op basis van blootstelling aan CO_2 -concentratie die wordt geproduceerd door de bewoners zelf bedraagt gemiddeld 0,005.





Figuur 2. Voorbeeld van het bezettingpatroon van een persoon, werkende partner, in de referentiewoning. De bezetting hangt samen met het gebruik van ventilatievoorzieningen en de plaats van de CO₂-productie [4].

Uitgangspunten rekenmethode

Om goed inzicht te krijgen in de, over een stookseizoen optredende, ventilatie- en infiltratiestromen moet een modelonderzoek worden uitgevoerd. Aan de hand van een referentiewoning (figuur 1) kunnen in een dynamisch meerzone-ventilatiemodel de luchtstromingen worden berekend. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in ventilatie, infiltratie en luchtstroming binnen de woning.

Simulatieberekeningen kunnen in de tijd, met uurlijkse klimatologische waarden uit het Test Reference Year (TRY) [5], over een heel stookseizoen worden uitgevoerd. Diverse invloedsfactoren variëren hierbij in de tijd waaronder:

- windsnelheid;
- windrichting;
- buitentemperatuur;
- gebruik van ventilatievoorzieningen, te openen ramen e.d.;
- aanwezigheid van personen (CO₂-bronnen);
- definitie ventilatiesysteem en regeling.

Infiltratie

De toevoer van lucht via kieren en naden (infiltratie) komt tot stand door drukver-

schillen over de gevel. Deze drukverschillen komen tot stand door windaanval op de woning en door thermische trek.

De grootte van de drukverschillen rond een woning, veroorzaakt door windinvloeden, hangt af van de windsnelheid en de windrichting. De drukverdeling rond een woning wordt gegeven door:

$$\Delta p_w = \frac{1}{2} \rho \times c_p \times v^2$$

waarin:

- Δp_w drukverschil in Pa;
- ρ dichtheid van lucht in kg/m³;
- c_p winddrukcoëfficiënt afhankelijk van oriëntatie van de gevel op de windrichting;
- v windsnelheid in m/s.

De plaatsafhankelijke factor of winddrukcoëfficiënt C_p hangt af van de oriëntatie van het vlak, het referentiepunt voor de windsnelheid n en de beschutting rond de woning. Praktijkwaarden voor de winddrukcoëfficiënt hebben geresulteerd in winddrukcoëfficiënten die afhankelijk zijn van de windrichting beschutting en gebouwvorm. Deze gegevens

Gevel-oriëntatie	Winddrukcoëfficiënten bij bepaalde windhoek op de gevel							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Noord	-0.3	0.15	0.18	0.15	-0.3	-0.32	-0.2	-0.32
Zuid	-0.3	-0.32	-0.2	-0.32	-0.3	0.15	0.18	0.15
Dak	-0.18	-0.4	-0.23	-0.4	-0.18	-0.4	-0.23	-0.4

Tabel 1. Winddrukcoëfficiënten voor een woning in een bouwblok omgeven door gebouwen van gelijke hoogte [6].

zijn afkomstig uit een publicatie van AIVC's Wind Pressure Workshop [6]. In tabel 1 staan de c_p -waarden voor een woning die is gelegen in een woonwijk. Omdat in dit voorbeeld de beschutting is verdisconteerd in de winddrukcoëfficiënt kunnen in de berekening de terreincoëfficiënten waarmee de windsnelheid van 10 m hoogte naar maaiveldniveau wordt omgerekend, voor een open vlak gebied worden gekozen.

De resulterende lucht volumestroom die bij een bepaald drukverschil over een ventilatieopening optreedt wordt berekend met de vergelijking:

$$q = c \times \Delta p^{1/n}$$

waarin:

- q Lucht volumestroom [dm³/s];
- c Luchtdoorlatendheidscoëfficiënt [dm³/(s·Pa^{1/n})];
- Δp Gemiddeld drukverschil over de ventilatieopening [Pa];
- n Stromingsexponent afhankelijk van het type opening [-].

Voor ventilatieopeningen en voor kieren en naden zijn c -waarden gedefinieerd en onder andere vastgelegd in SBR-publicatie 200 [8]. Hiermee kan een totale c -waarde voor gevel en dak worden berekend en ook de daarmee samengangende q_{v10} -waarde. Figuur 2 geeft een schematische weergave van de vertrekken van het meerzone-ventilatiemodel en de bijbehorende fysische grootheden.

CO₂-bronnen en CO₂-concentratie

Uit de resultaten van de lucht volumestromen en de tijd en plaats van de CO₂-bronnen (figuur 4) kan per uur de CO₂-concentratie worden berekend. Figuur 3 geeft een voorbeeld van een aanwezigheidschema van een persoon (CO₂-bron in diverse vertrekken) [4]. In combinatie met de berekende ventilatiestromen kan de CO₂-concentratie worden uitgerekend. De beoordeling van de luchtkwaliteit vindt plaats door voor een geheel stookseizoen voor elke persoon de Ivi te berekenen en te toetsen of deze lager is dan 0,005. In figuur 4 is grafisch een voorbeeld van een berekeningsresultaat gegeven waaruit de Ivi kan worden afgeleid.

Bij Schilt in alle soorten en maten:

Flexibele geluiddempers en luchtbehandelingsslangen.

Door eigen productie zijn standaard maten uit voorraad leverbaar.

Flexibele luchtbehandelingsslangen, *ongeïsoleerd, thermisch geïsoleerd of geluiddempend*. Oók afwijkende diameters en lengtes zijn snel te leveren. Vraag vrijblijvend een offerte.



rodaco



**FLEXIBELE SLANGEN
IN ALLE SOORTEN
EN MATEN!
KORTE LEVERTIJD-
ZEER SCHERPE PRIJZEN!**

**MEER DAN 25 JAAR |
KLIMAATTECHNIEK**

Schilt

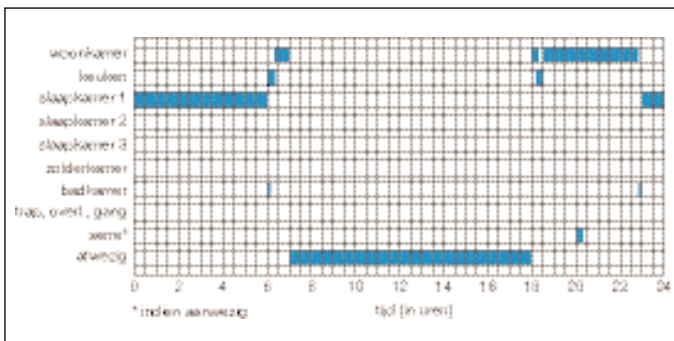
R O D A C O

Energieweg 29 / Postbus 3 / 4230 BA Meerkerk

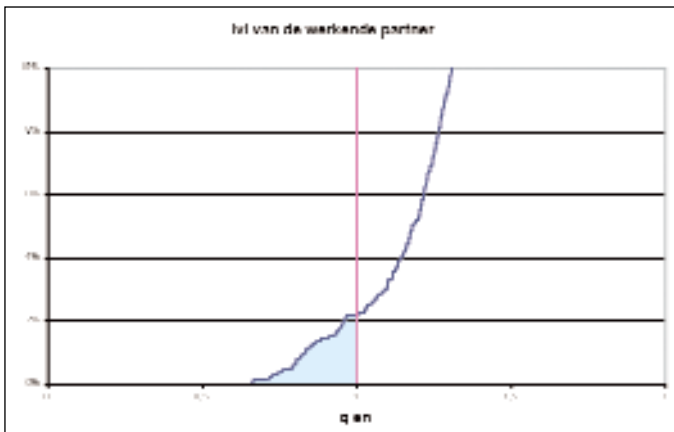
Telefoon (0183) 35 25 44 / Telefax (0183) 35 23 13

e-mail: info@schilt-meerkerk.nl / www.schilt-meerkerk.nl

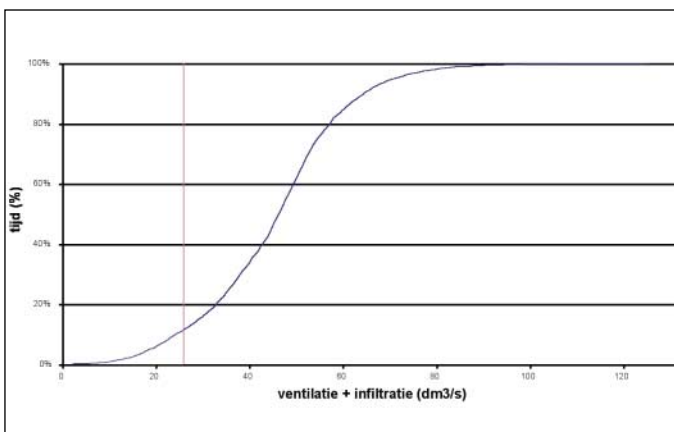
Schilt levert alleen wereldmerken



Figuur 3. Voorbeeld van de berekeningsresultaten van de lvi (gearceerde oppervlakte) voor een persoon in de referentiewoning.



Figuur 4. Voorbeeld berekeningsresultaten van de lvi (gearceerde oppervlakte) voor een persoon in de referentiewoning.



Figuur 5. Voorbeeld van een cumulatief histogram van optredende ventilatie- en infiltratiedebieten gedurende het stookseizoen. De verticale lijn geeft het gemiddelde ventilatiedebiet weer.

Verwerking van de resultaten

Indien de luchtkwaliteit als voldoende kan worden beoordeeld ($lvi < 0,005$) kunnen de resultaten verwerkt worden. De resultaten worden verzameld in een zogenaamd cumulatief histogram. Het totale infiltratiedebiet wordt berekend door de over- en onderschrijdingen ten opzichte van het gemiddelde ventilatiedebiet te berekenen uitgaande van een bepaalde luchtdoorlatendheid van de woning. Figuur 5 geeft een voorbeeld van een dergelijk histogram berekend bij een bepaalde q_{v10} -waarde van de woning. Wanneer deze histogrammen worden samengesteld voor verschillende luchtdoorlatendheidsklassen (q_{v10} -waarde) variërend van 30 tot 200 dm^3/s per

woning kunnen de gelijkwaardige formules voor de vergelijkingen 21 en 22 worden vastgesteld die een verlaging van de EPC-waarde kunnen opleveren. Hierbij moeten de resultaten voor de infiltratie en het gemiddelde ventilatiedebiet van het ventilatiesysteem worden gebruikt. In het rapport van TNO-Bouw [4] staat de te hanteren rekenmethode in detail uitgewerkt.

Tot slot

Beoordeling gelijkwaardigheid en bouwvergunning

De berekeningen van de CO_2 -concentratie en de lvi die ten grondslag liggen aan de gelijkwaardigheidsverklaring

moeten zijn uitgevoerd in een dynamische meerzone ventilatiemodel waarin uurlijkse resultaten zijn berekend. NEN 5128 en TNO-Bouw [4] geven gedetailleerd aan welke uitgangspunten moeten worden gehanteerd voor de bouwfysische kenmerken, gebruikersgedrag en CO_2 -productie van personen.

Uiteindelijk toont de indiener bij het gemeentelijk bevoegd gezag met berekeningen aan wat de EPC-verlaging is door het toepassen van een innovatief ventilatie-concept. Meestal is een eigen aanvullende berekening nodig, omdat de gelijkwaardige vergelijkingen niet in het rekenprogramma NPR 5129 (EPN) [7] kunnen worden ingevoerd. Op een separaat rekenblad, vergezeld van de gelijkwaardigheidsverklaring, kan de lagere EPC-waarde worden aangetoond en onderbouwd. Vanwege de complexiteit van deze gelijkwaardigheid van ventilatieconcepten lijkt het wenselijk om de beoordeling te laten uitvoeren door een centrale landelijk opererende instantie.

Literatuurlijst

- [1] Op 't Veld ir. P.J.M., ing. W.F. de Gids, Techniekinventarisatie ventilatie i.o.v. Novem, Verwarming & Ventilatie 69-79, januari 2000.
- [2] NEN 5128, Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen – Bepalingsmethode, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, december 2001.
- [3] Bouwbesluit fase II, januari 2003.
- [4] Kornaat. ing. W. ing. W.F. de Gids, Herziening NEN 5128, Formules voor berekening warmteverlies door ventilatie en infiltratie, 98-BBI-R0386, TNO-Bouw Delft, 1998.
- [5] Test Reference Year TRY, Weather data set for computing simulations of solar energy systems and energy consumption in buildings, EC, DG XII, 1985.
- [6] Wind Pressure Workshop Proceedings, AIVC-TN-13.1-84, Brussels, Belgium, maart 1984.
- [7] NPR 5129, Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen – Rekenprogramma (EPW) met handboek, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, mei 2002.
- [8] SBR-publicatie 200 Bouwtechnische details voor energie-efficiënte woningbouw; SBR-Novem Rotterdam/Sittard 1994.