

Auteurs

R.C.A. van Holsteijn, VHK Research; H.J.J. Valk, Nieman Raadgevend Ingenieurs;
J. Laverge, Bouwfysica, Constructie en Service Groep, Universiteit Gent; W.L.K. Li, VHK Research

Opnemen van ventilatieprestatie in bouwvoorschriften

Algemeen wordt aangenomen dat het voldoen aan de bouwvoorschriften resulteert in een acceptabele binnenluchtkwaliteit (indoor air quality - IAQ).

Praktijkonderzoek toont echter duidelijk aan dat dit vaak niet het geval is. De niveaus van de binnenluchtkwaliteit kunnen verre van voldoende zijn en er zijn grote onderlinge verschillen in ventilatieprestatie tussen de verschillende systemen en woningen. Er is behoefte aan een beoordeling van de werkelijke prestatie van ventilatiesystemen.

Tot op heden wordt aan de prestatie van ventilatiesystemen in woongebouwen weinig aandacht besteed. Er wordt algemeen aangenomen dat het voldoen aan de bouwvoorschriften resulteert in een acceptabele binnenluchtkwaliteit. Ook wordt aangenomen dat de verschillende typen ventilatiesystemen, die voldoen aan de voorschriften, vergelijkbaar presteren. Onderzoek in de praktijk toont echter aan dat beide aannames onjuist zijn: de kwaliteitsniveaus van de binnenlucht kunnen verre van voldoende zijn en er zijn grote onderlinge verschillen in ventilatieprestatie tussen systemen in woningen [1, 2, 7, 8, 9, 10, 11]. Omdat er vanwege de eisen en bepalingmethoden voor de energieprestatie steeds luchtdichter wordt gebouwd en de toepassing van te openen ramen zich beperkt tot vereiste spuivoorzieningen [9, 10], is er behoefte aan een onderlinge beoordeling van de werkelijke prestatie van ventilatiesystemen, ten einde een weloverwogen keuze voor een ventilatiesysteem te kunnen maken.

In de meeste landen zijn de bouwvoorschriften ten aanzien van ventilatie gebaseerd op óf de capaciteit van de te installeren ventilatievoorzieningen, óf op een minimum luchtdebiet voor het hele gebouw. De

gerealiseerde prestatie ten aanzien van luchtverversing in de individuele verblijfsruimtes en natte ruimtes worden niet in beschouwing genomen, ondanks het feit dat deze parameters van cruciaal belang zijn voor de optredende IAQ-niveaus. Deze praktijkprestatie wordt beïnvloed door onder andere de bedrijfszekerheid van de gekozen ventilatievoorzieningen, de besturing ervan, de windsnelheid, de luchtdichtheid van het gebouw en het gedrag van de bewoners.

Toen de Nederlandse normcommissie gevraagd werd een nieuwe ventilatienorm voor de bouwvoorschriften te ontwikkelen, is besloten om een prestatiebeoordelingsmethode voor ventilatiesystemen in de ontwerptekst op te nemen. Door de rapporteurs is voorgesteld deze indicatieve beoordelingsmethode voor de ventilatieprestatie te baseren op de methodiek die is ontwikkeld door VHK en de Universiteit Gent in overleg met de werkgroep Woningventilatie van de EVIA (Europese vereniging voor de Ventilatie-Industrie). Deze methodiek is gepresenteerd op de AIVC-conferentie in Nottingham [5] in 2017. De methodiek moest worden aangepast om te voldoen aan de publiekrechtelijke eisen van het Nederlandse Bouwbesluit [12]. Dit artikel beschrijft zowel de methodiek als hoe deze is aangepast om te kunnen worden toegepast in de nieuwe concept NEN1087, Ventilatiesystemen voor gebouwen. Deze norm is in het voorjaar van 2019 voor commentaar gepubliceerd.

Bouwvoorschriften

Grondbeginselen

De bouwvoorschriften verschillen aanzienlijk als het gaat om ventilatiewaarden en IAQ-cijfers, zelfs binnen de EU-landen, ondanks het feit dat nationale normcommissies deelnemen aan CEN-werkgroepen en technische commissies. Sommige landen gebruiken het aantal personen als basis voor de ventilatie-eisen, terwijl andere landen uitgaan van het vloeroppervlak, het CO₂-niveau en/of de relatieve vochtigheid.

De gemene deler in de verschillende benaderingswijzen is het feit dat er een ventilatievoorziening met een bepaalde

ventilatiecapaciteit moet worden geïnstalleerd. De aanname is dat als deze geïnstalleerde capaciteit voldoet aan de bouwvoorschriften - ongeacht het soort systeem - ook de gewenste luchtverversing bereikt wordt, en zo voldaan wordt aan het achterliggende doel van die bouwvoorschriften. De logische vervolgaanname is dat alle ventilatiesystemen die voldoen aan de bouwvoorschriften vergelijkbaar presteren op te bereiken luchtverversing en dus op IAQ. Zowel onderzoek in de praktijk als in modellen geeft echter duidelijk aan dat het type ventilatievoorziening en de besturing ervan significante invloed hebben op de werkelijk optredende luchtverversing [2, 3, 9, 11]. Daardoor lopen de werkelijk bereikte IAQ-niveaus zeer uiteen en is het IAQ-niveau vaak aanzienlijk slechter dan beoogd met de bouwvoorschriften en normen.

Overigens wordt er bovendien geen verschil gemaakt in ventilatiebehoefte tijdens aanwezigheid van bewoners of bij afwezigheid. Bij afwezigheid is ventilatie alleen nodig om accumulatie van de uitstoot van bouw- en interieurproducten te voorkomen, terwijl bij aanwezigheid de ventilatie bedoeld is voor het afvoeren van emissies die door de bewoners zelf worden veroorzaakt. Met andere woorden, de ventilatie tijdens de af- of aanwezigheid van bewoners dient een ander doel.

IAQ en ventilatiewaarden

Om de IAQ direct als prestatie-indicator te gebruiken is het nodig te begrijpen wat een goede IAQ eigenlijk is. Daarvoor zouden alle vervuilende stoffen moeten worden gedefinieerd, evenals hun grenswaarden en vereiste ventilatiewaarden.

Recente onderzoeken, inclusief werk uitgevoerd binnen de AIVC, geven telkens nieuwe inzichten in de parameters die een gezonde IAQ definiëren [14, 15, 16]. Vaak wordt geconcludeerd dat meer onderzoek nodig is om de mate van zekerheid over de geadviseerde ventilatiedebieten te vergroten. Het ligt niet in de verwachting dat deze benaderingswijze, hoewel waardevol, zal leiden tot nieuwe ventilatiestrategieën of geheel andere ventilatiewaarden dan die zijn opgenomen in de huidige normen en bouwvoorschriften. Dit wordt het duidelijkst geconstateerd door Carrer et. al. [15]: '... geen van de genoemde normen voorziet in een samenhangende, duidelijke en consequente strategie voor het ontwerpen van ventilatiewaarden die direct refereren aan gezondheidseisen en deze respecteren,...[vertaling]'

Wel is er consensus dat beheersing van de bronemissies (of in andere woorden de keuze van de juiste bouwmaterialen, interieur en decoratieve producten) de primaire strategie is voor een goede IAQ [14, 15]. Daarnaast speelt ventilatie een belangrijke rol in het verminderen van de blootstelling aan de resterende vervuiling [14]. Vanuit dit oogpunt dienen de meest recent aanbevolen ventilatieluchthoeveelheden te worden gezien. Het is duidelijk dat noch de relatieve luchtvochtigheid noch de CO₂-concentraties de complexiteit van IAQ evenaren. Maar als indicatoren van de luchtverversing in respectievelijk natte ruimtes en verblijfsruimtes zijn deze parameters het meest efficiënt en worden daarom algemeen gebruikt [13, 14].

Opmerkelijk in dit verband is dat in de HealthVent richtlijnen met betrekking tot het ventilatiesysteem wordt benadrukt dat een goed ontwerp, bediening en onderhoud van belang zijn om het systeem in overeenstemming te laten zijn met de geadviseerde ventilatiehoeveelheden [15]. De effectiviteit van het systeem (wordt de bedoelde luchtverversing in alle natte ruimtes en verblijfsruimtes werkelijk behaald) wordt niet genoemd.

Bouwbesluit

Het hoofddocument in de Nederlandse bouwvoorschriften is het Bouwbesluit, op dit moment Bouwbesluit 2012, laatste herziening in juli 2018 [12]. In dit document worden de eisen aan de ventilatiecapaciteit en een beperkt aantal inrichtingseisen voor alle gebouwtypes gesteld. Voor alle gebouwen, met uitzondering van woningen en woongebouwen, zijn de ventilatiewaarden vastgesteld op basis van het aantal personen waarvoor het gebouw ontworpen is. Voor woningen (waaronder appartementen) hangen de waarden af van de oppervlakte van het verblijfsgebied, in combinatie met het aantal en type natte ruimten. Dit is in het algemeen de totale oppervlakte van alle verblijfsruimtes, zonder verder onderscheid naar het soort gebruik van de ruimtes. Voor natte ruimtes wordt onderscheid gemaakt tussen badkamer, toilet en keuken.

Het Bouwbesluit geeft minimumcapaciteiten voor de luchtverversing van verblijfsgebieden en natte ruimtes. In dit artikel richten we ons op woningen. De ventilatie-eisen in Bouwbesluit 2012 voor alle woningen (onveranderd sinds midden jaren '80) zijn weergegeven in tabel 1.

Soort ruimte	Minimum te installeren ventilatiecapaciteit
verblijfsgebied	0,9 l/s.m ² (met een minimum van 7 l/s per ruimte)
toilet	7 l/s
badkamer	14 l/s
keuken	21 l/s

Tabel 1: Bouwbesluiteisen (2012) voor ventilatie.

De capaciteit dient te worden berekend volgens NEN 1087:2001. De Nederlandse Normcommissie is gevraagd deze norm te herzien en heeft besloten om een prestatiebeoordelingsmethode voor ventilatiesystemen op te nemen, gebaseerd op voorlopig onderzoek [1, 10].

Consequenties voor kwaliteitsbeoordeling

Om de gerealiseerde ventilatiehoeveelheid te kunnen beoordelen dient met alle factoren die van invloed zijn op de luchtverversing in een ruimte rekening te worden gehouden en dienen deze te worden beoordeeld. De ventilatiehoeveelheid is representatief voor zowel de hoeveelheid verse lucht en als de afvoer van vervuilde stoffen, onafhankelijk van de aard van de vervuiling in een specifieke situatie. Daarom is het ventilatiesysteem en de mate van luchtverversing waar het systeem voor zorgt representatief voor de waarschijnlijkheid dat er tijdens het verblijf van de ruimte een gezonde binnenluchtkwaliteit aanwezig is. De 'kwaliteit van een ventilatiesysteem' is de uitkomst van de invloed van alle onderdelen van het ventilatiesysteem inclusief de besturing, de mate van invloed van het gebouw en de omgeving en de waarschijnlijkheid dat de bewoners het systeem correct gebruiken.

Tijdens de ontwikkeling van de herziene Nederlandse ventilatienorm, hebben de auteurs zoals eerder vermeld voorgesteld de gevraagde beoordelingsmethode te baseren op de methodiek die is ontwikkeld door VHK en de Universiteit Gent in overleg met de werkgroep Woningventilatie van de EVIA (Europese vereniging voor de Ventilatie-Industrie). Voor deze indicatieve beoordelingsmethode is de volgende definitie aangenomen voor de indicator voor de ventilatieprestatie in woningen (AEP: air exchange performance) *'het vermogen de gevraagde luchtverversing te realiseren in iedere ruimte van een woning met het doel alle gevaarlijke en vervelende stoffen te verwijderen en/of de concentraties daarvan te verlagen'* [5].

Deze aanpak heeft natuurlijk ook nadelen. Het is niet mogelijk onder alle omstandigheden de precieze IAQ in een specifieke ruimte in een specifiek gebouw te voorspellen. Dit is beperkt tot een beredeneerde en onderbouwde verwachting van de mate waarin en de waarschijnlijkheid dat de vereiste luchtverversing kan worden bereikt. In die zin past deze benaderingswijze bij de algemeen beschreven ventilatiedoelen in het Nederlandse Bouwbesluit: *'een gebouw heeft een voorziening voor luchtverversing waarmee een ongunstige binnenluchtkwaliteit wordt voorkomen'*. [12; art 3.29 lid 1'].

Beoordelingsmethode

Algemeen overzicht

De methodologie die is ontwikkeld en voorgesteld [6] beoordeelt de werkelijke luchtverversing op ruimteniveau tijdens aanwezigheid en afwezigheid. Deze ventilatieprestatie-indicator (Air Exchange Performance - AEP) bepaalt in welke mate het ventilatiesysteem in staat is de concentraties vervuilde stoffen te verwijderen en/of te verlagen in de verschillende ruimtes, vooral als er mensen aanwezig zijn die hieraan worden blootgesteld. In vergelijking met de huidige praktijk, waarbij alleen de ventilatiewaarde van het gebouw wordt beoordeeld, is dit een belangrijke stap naar een meer relevante beoordeling van de ventilatievoorziening in een woning. De huidige praktijk maakt immers geen verschil tussen de te ventileren ruimtes en ook niet tussen periodes van aan- of afwezigheid. Dit houdt in dat met de huidige methode een systeem dat vooral de gangen ventileert net zo gewaardeerd wordt als een systeem dat de verblijfsruimtes van verse lucht voorziet. Zo wordt er ook geen verschil gemaakt tussen luchtverversing die plaatsvindt als er wel of geen mensen aanwezig zijn; dit wordt als even relevant beschouwd. Het is duidelijk dat de huidige praktijk niet leidt tot een juiste beoordeling van de ventilatieprestatie [14].

Reikwijdte van de voorgestelde beoordelingsmethode

In eerste instantie ligt de nadruk op ventilatiesystemen voor woningen:

- Alleen van toepassing op ventilatiesystemen die correct geïnstalleerd zijn (volgens de geldende bouwvoorschriften, nationale installateursrichtlijnen en fabrieksrichtlijnen)
- Voor keukenafzuiging is alleen de vereiste afzuiging meegenomen, waarbij wel is aangenomen dat deze ter plaatse van het kooktoestel wordt gerealiseerd.
- Mechanische ventilatiesystemen die gebruik maken van voortdurend afwisselende luchtstroomrichtingen zijn niet opgenomen (er is geen representatief praktijkonderzoek beschikbaar)
- Alleen technische systeemkenmerken dienen als input voor de beoordeling

Uitleg

Gebaseerd op het principe dat beschreven is in 'Methodology for assessing the air-exchange performance of residential ventilation systems' [5], wordt een berekeningsmethode voorgesteld die de ventilatiewaarden beoordeelt in zowel verblijfsruimtes als natte ruimtes tijdens periodes van aan- en afwezigheid.

In de beoordelingsmethode worden twee soorten ruimtes beschouwd met een bijbehorende ventilatiestrategie.

Verblijfsruimtes (Habitable Spaces - HS: woonkamers, slaapkamers, studeerkamers, etc.), met langdurige blootstelling van de bewoners aan (eventueel vervuilde) binnenlucht tijdens hun aanwezigheid. De ventilatiestrategie is te zorgen voor luchtverversing tijdens aanwezigheid waarbij de aanvoer van voldoende verse buitenlucht het belangrijkste is en de afvoer hieraan wordt aangepast. Bij afwezigheid is basisventilatie nodig om accumulatie van de uitstoot van bouw- en interieurproducten te voorkomen.

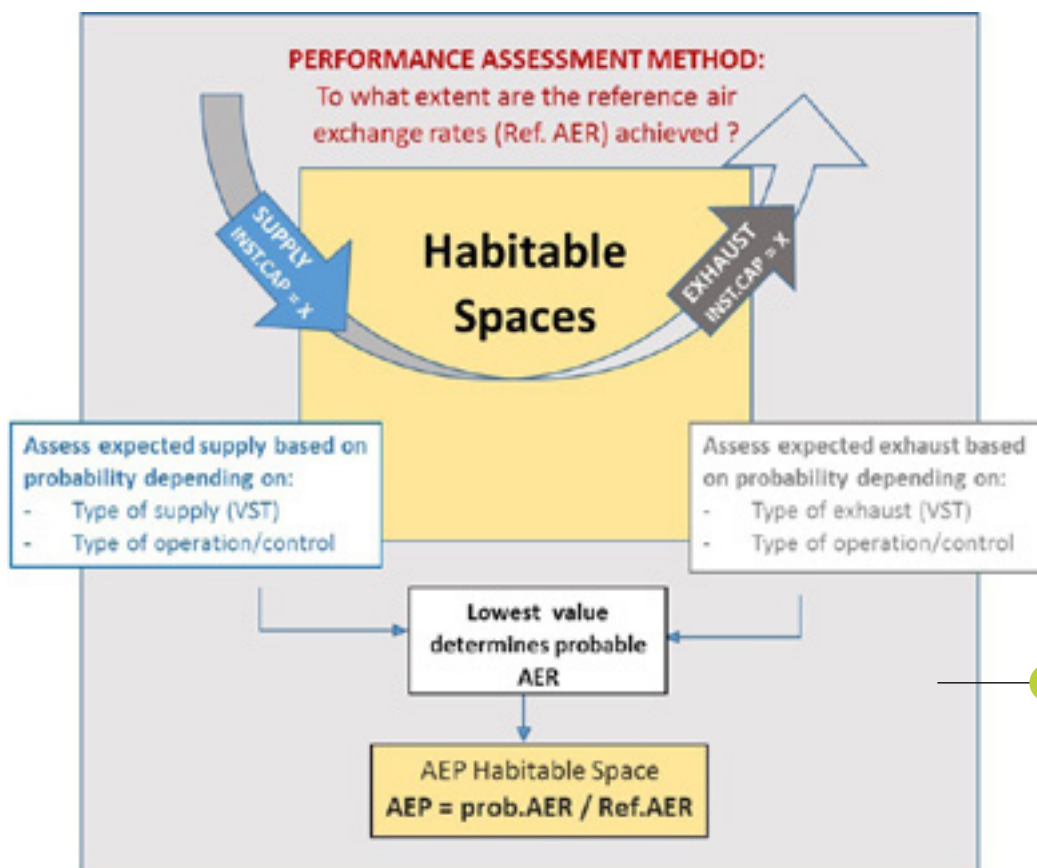
Natte ruimtes (Exhaust Spaces - ES: keuken, badkamer, toilet, wasruimte), met kortdurende blootstelling voor de bewoners, maar met mogelijk hoge vochtigheidsniveaus, welke leidend zijn.

De ventilatiestrategie is het afvoeren van voldoende lucht zodat het vocht/de geur wordt verwijderd. Ook bij de afwezigheid van de bewoners dient de lucht te worden afgevoerd totdat de luchtvochtigheidsniveaus onder de drempelwaarden komen, daarna gevolgd door basisventilatie.

De volgende technische specificaties en parameters van het ventilatiesysteem zijn vereist:

- Soort luchtverversingsvoorziening (direct/indirect, drijvende kracht)
- Geïnstalleerde maximale luchtstroomcapaciteit (beperkende factor voor de te bereiken ventilatiewaarden)
- Soort bediening en/of besturing (dit beïnvloedt de mogelijkheid van het systeem om de gevraagde ventilatie te bereiken op het juiste moment op de juiste plaats)

De referentie ventilatiewaarden (AER) zijn gebaseerd op de ventilatiewaarden die beschreven zijn in prEN16798-1 [4].



Figuur 1: Uitleg over de beoordelingsmethode voor ventilatieprestatie.

Soorten ventilatiesystemen

(Ventilation system type - VST)

De Europese vereniging voor de Ventilatie-Industrie (EVIA) maakt een onderscheid tussen zeven verschillende principes van ventilatiesystemen in de verschillende Europese markten. Deze soorten systemen kunnen worden geïdentificeerd aan de hand van de ventilatievoorziening die zij gebruiken in verblijfsruimtes en natte ruimtes. De Nederlandse normcommissie heeft deze duidelijke

classificatie in de nieuwe prNEN1087 overgenomen, ter vervanging van de indeling in systeem A, B, C en D uit NPR 1068. De onderstaande tabel geeft een kort overzicht van de kenmerken van deze systemen met een beschrijving van de soort ventilatievoorzieningen.

Berekening van de Luchtverversing-Prestatie

De voorgestelde beoordelingsmethode maakt een onderscheid tussen periodes van aanwezigheid en periodes van afwezigheid. Dit betekent dat er extra informatie nodig is over patronen van aanwezigheid (te baseren op gegevens over de gangbare bezettingsgraad van woningen).

Daarnaast geldt voor de ventilatievoorzieningen in de verschillende soorten ventilatiesystemen in tabel 1 dat de besturingen die zijn toegepast bepalen in welke mate de ventilatievoorzieningen op de gewenste capaciteit zijn ingesteld tijdens periodes van aan- en afwezigheid. Voor ventilatievoorzieningen die afhangen van natuurlijke drijvende kracht moet rekening worden gehouden met de waarschijnlijkheid dat deze krachten (wind, thermiek in een schoorsteen of beide) aanwezig zijn. Deze worden bepaald op basis van natuurkundige principes en statistische gegevens.

Tenslotte heeft het gebouw of de woning zelf invloed op de optredende ventilatiewaarden, wat leidt tot de noodzaak om bepaalde gebouwparameters (luchtdichtheid en aantal verblijfs- en natte ruimtes) op te nemen in de berekeningswijze.

Op basis van deze data wordt de waarschijnlijk optredende luchtverversing (AER) bepaald. Door de waarschijnlijke AER te delen door de referentie AER (zoals gespecificeerd in de bouwvoorschriften) wordt de ventilatieprestatie-indicator (AEP) verkregen en kan een referentie voor de AER op woningniveau worden bepaald.

Aanpassing van het Bouwbesluit

De methodiek moest worden aangepast om te voldoen aan de eisen van het publiekrechtelijke Nederlandse Bouwbesluit [12]. Hoewel de methode zelf in eerste instantie een private toevoeging is aan de nieuwe versie van NEN1087,

VST	Soort ruimte	Ventilatievoorziening	Afkorting	
1	verblijfsruimtes	toevoer	natuurlijke directe toevoer	NDS
		afzuiging	natuurlijke indirecte afzuiging	NIE
	natte ruimtes	toevoer	natuurlijke indirecte toevoer	NIS
		afvoer	natuurlijke directe afvoer	NDE
2	verblijfsruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	natuurlijke directe afvoer	NDE
	natte ruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	natuurlijke directe afvoer	NDE
3	verblijfsruimtes	toevoer	natuurlijke directe toevoer	NDS
		afzuiging	mechanische indirecte afzuiging	MIE
	natte ruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	mechanische directe afvoer	MDE
4	verblijfsruimtes	toevoer	natuurlijke directe toevoer	NDS
		afvoer	mechanische directe afvoer	MDE
	natte ruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	mechanische afvoer	MDE
5	verblijfsruimtes	toevoer	mechanische directe toevoer	MDS
		afzuiging	mechanische indirecte afzuiging	MIE
	natte ruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	mechanische directe afvoer	MDE
6	verblijfsruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	mechanische directe afvoer	MDE
	natte ruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	mechanische directe afvoer	MDE
7	verblijfsruimtes	toevoer	mechanische directe toevoer	MDS
		afvoer	mechanische directe afvoer	MDE
	natte ruimtes	toevoer	mechanische indirecte toevoer	MIS
		afvoer	mechanische directe afvoer	MDE

Tabel 2: Soorten ventilatiesystemen (Ventilation system type - VST).

zal in overleg met het betrokken ministerie (BZK) de methode eventueel in de toekomst worden gebruikt in de bouwvoorschriften.

Er zijn voor de Nederlandse situatie vier belangrijke aanpassingen aan de oorspronkelijke methode gemaakt:

- Er wordt geen onderscheid gemaakt in type gebruik van een verblijfsruimte, om aan te sluiten bij het principe van gebruiksvrijheid uit de bouwregelgeving.
- De referentie-AER is toegesneden op de capaciteitseisen volgens het Bouwbesluit 2012, zonder gebruik te maken van een indeling in ventilatie-classes.
- Vaststellen van de bezettingspatronen.
- Verwijdering van het ventilatie-prestatie label.

Het afzien van differentiatie naar soort gebruik (huiskamer, slaapkamer of studeerkamer) maakt de methode minder specifiek voor een specifieke woning en specifiek gebruik, maar is belangrijk om de principes van het Nederlandse Bouwbesluit aan te kunnen houden.

Verwachte ontwikkelingen

De volgende stap is om de eerste AEP-resultaten van deze nieuwe beoordelingsmethode te toetsen aan de praktijk en de uitkomst van multizone luchtstroommodellen, om zo een onderbouwing te bieden voor het gebruik van dit beoordelingsmodel en de toepasbaarheid van de nieuwe AEP- en AER-parameters. Op basis van deze uitkomsten zal de Nederlandse normcommissie een besluit nemen

over de invoering in de nieuwe versie van de norm NEN 1087. Verder zullen de resultaten worden gepresenteerd aan CEN-TC 156, voor evaluatie, commentaar en mogelijke input voor verdere ontwikkeling. Dit voor zowel de methodologie zelf als uiteindelijk voor de serie normen EN 13141 en EN 16798.

Conclusies

De aanpassingen die nodig waren om de methode geschikt te maken voor de bouwvoorschriften resulteerden in meer generieke prestatiewaarden voor verblijfsruimtes, maar deze zijn niet minder waardevol. Het is daarbij belangrijk erop te wijzen dat de indicatieve beoordelingsmethode voor de ventilatieprestatie niet gebruikt kan worden om de te verwachten IAQ-niveaus te voorspellen, maar dat het de bedoeling is ventilatiesystemen te vergelijken op hun mogelijkheid de gevraagde luchtverversing te realiseren op de juiste plaats en de juiste tijd. Hiermee komt een relatief eenvoudige methode beschikbaar binnen de context van bouwvoorschriften, waardoor het mogelijk wordt om - naast ventilatiecapaciteitseisen - grenswaarden te stellen voor prestatie-indicatoren.

Dankwoord

De auteurs willen Marco Hofman van ISSO bedanken voor zijn bijdrage.

Dit artikel is gebaseerd op de presentatie tijdens de 39^e AIVC Conferentie, die gehouden is op 18-19 september 2018 in Antibes Juan-Les-Pins in Frankrijk.

Referenties

1. Van Holsteijn, R.C.A., Li, W.L.K., Valk, H.J.J., Kornaat, W., (2016), Improving the IAQ- & Energy Performance of Ventilation Systems in Dutch Residential Dwellings, International Journal of Ventilation, Vol. 14, No. 4, p.363-370
2. Laverge, J., Delghust, M., Janssens, A., (2015) Carbon dioxide concentrations and humidity levels measured in Belgian standard and low energy dwellings with common ventilation strategies, International Journal of Ventilation, Vol.14, No. 2, p.165-180
3. Van Holsteijn, R.C.A., Knoll, B., Valk, H.J.J., Hofman, M.C. (2015). Reviewing Legal Framework and Performance Assessment Tools for Residential Ventilation Systems, Proceedings of the 36th AIVC Conference, Madrid, Spanje
3. Final draft prEN 16798-1:2016, Energy performance of buildings – Part 1: Indoor environment input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6.
5. Van Holsteijn, R.C.A., Laverge, J., Li, W.L.K., Methodology for assessing the air-exchange performance of residential ventilation systems, Proceedings of the 38th AIVC Conference, Nottingham, UK
6. Van Holsteijn, R.C.A., Laverge, J., Li, W.L.K., Methodology for assessing the air exchange performance of residential ventilation systems – Documentation, EVIA, 2017 (niet gepubliceerd)
7. Tappler, P., Hutter, H.P., Hengsberger, H., Ringer, W. (2014), Lüftung 3.0 – Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten energieeffizienten Wohnhäusern, Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO), Wenen, Oostenrijk
8. McGill, G.M., Oyedele, L.O., Keeffe, G.K., McAllister, K.M., Sharpe, T. (2015), Bedroom Environmental Conditions in Airtight Mechanically Ventilated Dwellings, Conference Proceedings Healthy Buildings Europe May 2015, Nederland, Paper ID548.
9. Sharpe, T., McGill, G., Gupta, R., Gregg, M., Mawditt, I., (2016), Characteristics and Performance of MVHR Systems, A meta study of MVHR systems used in the Innovative UK Building Performance Evaluation Programme, Rapport gepubliceerd door Fourwalls Consultants, MEARU en Oxford Brookes University.
10. Kornaat, W., Bezemer, R., (2016), Voorstudie voor herziening NEN1087. TNO-rapport TNO2016R10956
11. Van Holsteijn, R.C.A., Li, W.L., namens Consortium Monicair deel A, (2014), Resultaten van een monitoring onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit- en energieprestaties van ventilatiesystemen in de woningbouw, Eindrapport WP1a.
12. Bouwbesluit 2012, (2018), Besluit van 29 augustus 2011 houdende vaststelling van voorschriften met betrekking tot het bouwen, gebruiken en slopen van bouwwerken (Bouwbesluit 2012), Stb. 2011, 416, laatstelijk gewijzigd bij het Besluit van 22 juni 2018, houdende wijziging van het Bouwbesluit 2012 inzake de aansluiting op het distributienet voor gas, Stb. 2018, 197.
13. De Gids, W.F., (2011), Ventilatie van ruimten ten behoeve van personen, Achtergronden van de eisen, TNO-rapport 060-DTM-2011-00610, 2011
14. Borsboom, W., De Gids, W., Logue, J., Sherman, M. Wargowski, P., (2016) Residential ventilation and health, AIVC Technical Note 68.
15. Carrer, P., de Oliveira Fernandes, E., Sabtos, H., Hänninen, O., Kephelopoulou, S., Wargowski, P., (2018), On the development of health-based ventilation, Guidelines: Principles and Framework
16. Jones, B., (2017), Metrics of Health Risks from Indoor Air, Ventilation Information Paper 36, INIVE EEIG