

**Zehnder-ventilatiesysteem
WHR CO₂ met
uitbreidingssensoren**

Gelijkwaardigheidsverklaring volgens VLA-
methodiek 1.1



Zehnder-ventilatiesysteem WHR CO₂ met uitbreidingssensoren

Gelijkwaardigheidsverklaring volgens VLA-methodiek 1.1

Zehnder Group Nederland B.V.

Postbus 621

8000 AP ZWOLLE

(038) 429 69 11

Vertegenwoordigd door: de heer ing. R. Bruins

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Vestiging Utrecht

Postbus 40217

3504 AA Utrecht

T 030 - 241 34 27

utrecht@nieman.nl

www.nieman.nl

Uitgevoerd door: dr. ir. F.J.R. van Mook
 ir. H.J.J. Valk

Referentie: Wz120146aaA2.fmo

Status: definitief

Datum: 6 mei 2015



Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 Inleiding	3
Hoofdstuk 2 Zehnder-ventilatiesysteem WHR CO₂ met uitbreidingssensoren	4
2.1 Componenten	4
2.2 Regeling	4
2.3 Hulpenergie	7
Hoofdstuk 3 Methode	8
3.1 NEN 7120, NEN 8088-1 en de VLA-methodiek	8
3.2 Bepalingsmethode	8
3.3 Contam	10
3.4 Modelleren van het onderzochte ventilatiesysteem	12
3.5 Afwijkingen ten opzichte van de VLA-methodiek	13
Hoofdstuk 4 Resultaten	14
Hoofdstuk 5 Conclusie	18
Hoofdstuk 6 Literatuur	20
Bijlage 1 Woningtypen	
Bijlage 2 Verblijfstijden	
Bijlage 3 Ventilatiehoeveelheden systeem D	
Bijlage 4 Resultaten	



Hoofdstuk 1 Inleiding

Voor Zehnder Group Nederland B.V., vertegenwoordigd door de heer ing. R. Bruins, onderzoekt Nieman Raadgevende Ingenieurs het Zehnder-ventilatiesysteem WHR CO₂ met uitbreidingssensoren in verband met de energieprestatieberekeningen volgens NEN 7120 en NEN 8088-1. Het doel is voor dit systeem een gelijkwaardigheidsverklaring volgens de VLA-methodiek 1.1 op te stellen. In dit rapport zijn de uitgangspunten en resultaten van het onderzoek weergegeven.

Het ventilatiesysteem wordt in Hoofdstuk 2 kort beschreven. De methode van het onderzoek, de resultaten en de conclusies komen in Hoofdstuk 3, Hoofdstuk 4 en respectievelijk Hoofdstuk 5 aan de orde.

Het copyright van dit rapport behoort aan Zehnder Group Nederland B.V. toe.



Hoofdstuk 2 Zehnder-ventilatiesysteem WHR CO₂ met uitbreidingssensoren

2.1 Componenten

Het Zehnder-ventilatiesysteem WHR CO₂ met uitbreidingssensoren is een ventilatiesysteem van het type D (mechanische toevoer en mechanische afvoer van lucht).

Het systeem bestaat uit de volgende componenten:

- een warmteterugwinunit WHR CO₂ (met een maximaal totaal afzuigdebiet van 350 m³/h);
- afzuiging in keuken, badkamer, toilet en wasmachineopstelplaats. De afzuigdebieten staan steeds in een vaste verhouding tot elkaar;
- luchttoevoerpunten in woonkamer, keuken (als de keuken een apart vertrek is) en elke slaapkamer. De toevoerdebieten staan steeds in een vaste verhouding tot elkaar;
- een CO₂-sensor in de woonkamer en in elke slaapkamer;
- het debiet wordt automatisch bepaald met input van:
 - o de CO₂-sensor(en),
 - o een keuken/woonkamer- en een badkamerbediening (door bewoners).

Met de keuken/woonkamer- en de badkamerbediening overrulen bewoners het ventilatiesysteem en gaat deze gedurende een door bewoners instelbare tijd in de hoogstand (d.i. de capaciteit volgens Bouwbesluit/ventilatiesysteem D).

Standaard worden de capaciteiten van de luchttoevoer- en afvoerpunten aan de hand van de minimale eisen voor een ventilatiesysteem D volgens het Bouwbesluit gedimensioneerd.

2.2 Regeling

De ventilatiestand wordt bepaald door (volgorde in toenemende prioriteit):

- de meting van de CO₂-sensor(en),
- de keuken/woonkamer- en de badkamerbediening.

Het algoritme voor de regeling van het ventilatiesysteem is in Tabel 1 in een pseudoprogrammeertaal beschreven. Het is gebaseerd op een door de leverancier geleverde flowchart (flowchart uit het Excelblad "R0441c flowchart CO₂-sensor en simulatie met plot 20100210.xls").

De belangrijkste kenmerken van de regeling luiden in woorden:

- De regeling bestaat uit een cyclus van (60×Interval) seconden, waarbij grootte Interval aan 0,5 is gelijkgesteld. De cyclustijd is dus 30 seconden.
- Elke keer dat de cyclustijd verstreken is, worden de sensoren en de keuken/woonkamer- en badkamerbedieningen uitgelezen, en wordt als nodig de ventilatiestand gewijzigd.



- De ventilatiestand wordt als een percentage van de totale afvoercapaciteit van de woning volgens Bouwbesluit/ventilatiesysteem D uitgedrukt. (De ventilatiestand wordt in de programmeercode met de grootte "Ventilation_dwelling" aangegeven.)
- De ventilatiestand varieert tussen een minimum (de afwezigheidsstand) en een maximum (de hoogstand). De waarden hiervan zijn respectievelijk 20% en 100%.
- Met de gemeten CO₂-concentratie in een ruimte wordt een gewenste ventilatiestand voor de desbetreffende ruimte uitgerekend. Dit gebeurt aan de hand van een PID-algoritme, dat in Tabel 1 in detail is beschreven. De grootste waarde van de reeks gewenste ventilatiestanden van alle afzonderlijke ruimten met een CO₂-sensor is de waarde voor de ventilatiestand die (voor de hele woning) gerealiseerd wordt. (Er is geen zonering en daarom geldt voor een woning slechts een enkele ventilatiestand.)
- De in het vorige bullet bepaalde gewenste ventilatiestand kan overruled worden:
 - o door de bewoners met de keuken/woonkamer- of badkamerbediening. De ventilatiestand is gelijk aan hoogstand (100%) als de keuken/woonkamer- of badkamerbediening aanstaat.

Tabel 1: Algoritme van de regeling, beschreven in een pseudoprogrammeertaal.

```
(-- definities bij het opstarten van de regeling: --)

Afwezig := 20; (-- afwezigheidsstand in procenten --)
Aanwezig := 50;
Hoog := 100; (-- hoogstand in procenten --)
Max := 100; (-- maximaalstand in procenten --)
Setpointmax := 100;
Setpoint := 53;
Interval := 0,5; (-- minute --)
Timetosetpoint := 5; (-- minute --)
Pmax := 50;
Lmax := 0;
Linmin := 25;
Linmax := 60;
Somerrormax = (100 - Setpoint) * (Timetosetpoint / Interval);
N := 3;
P := Pmax / (100 - Setpoint);
L := Lmax / (Linmax - Linmin);
I := Setpointmax / Somerrormax;

stand_bedieningsknop := "aanwezig";

Ventilation_dwelling := Aanwezig; (-- percentage van totale capaciteit woning --)
Capacity_dwelling := ...; (-- m3/s, totale capaciteit woning --)

(-- beginwaarden van variabelen per zone met sensor: --)
doe voor elke ruimte R met sensor:
{
    Reset[R] := true;
    Manual[R] := false;
}

(-- beginwaarden van variabelen per toe/afvoerpunt: --)
doe voor elk toevoerpunt P:
{
    Fraction[P] := ...; (-- capaciteit ruimte gedeeld door totale capaciteit woning --)
```



```

    Flowrate[P] := Fraction[P] * (Ventilation_dwelling /100) * Capacity_dwelling;
    Flowrate[P] wordt in het luchtstroommodel opgelegd;
}

doe voor elk afvoerpunt P:
{
    Fraction[P] := ...; (-- capaciteit ruimte / totale capaciteit woning --)
    Flowrate[P] := Fraction[P] * (Ventilation_dwelling /100) * Capacity_dwelling;
    Flowrate[P] wordt in het luchtstroommodel opgelegd;
}

(-- na het opstarten gaat de simulatie en daarmee de regeling aan de gang: --)

doe voor elke keer dat (60*Interval) seconden verstreken is:
{
    lees stand_bedieningsknop af; (-- in de simulatie is de stand van de bedieningsknop
afhankelijk van de klok, conform het tijdschema voor afzuigkap en badkamer van Tabel 2; de
stand kent dan slechts twee posities: ofwel auto-stand ofwel hoogstand --)

    doe voor elke ruimte R met een sensor:
    {
        (-- dit blok vertegenwoordigt het programma in elk sensorkastje --)

        Previous_sensor_value[R] := Sensor_value[R];

        als Reset[R] == true, dan:
        {
            Previous_sensor_value[R] := Setpoint;
            Somerror[R] := (Aanwezig * Somerrormax)/Setpointmax;
        }

        de sensor in ruimte R meet de CO2-concentratie in ppm en de gemeten waarde wordt
in Concentration[R] opgeslagen;
        Sensor_reading[R] := Concentration[R] / 20;

        Sensor_value[R] := (Previous_sensor_value[R] * (N - 1) + Sensor_reading[R]) / N;

        Lin[R] := Sensor_value[R] - Linmin;
        Error[R] := Sensor_value[R] - Setpoint;
        Somerror [R]:= Somerror [R] + Error[R];
        als Somerror[R] > Somerrormax, dan Somerror [R] := Somerrormax;
        als Somerror[R] < 0, dan Somerror [R] := 0;

        Paction[R] := P * Error[R];
        Iaction[R] := I * Somerror[R];
        PIaction[R] := Paction[R] + Iaction[R];
        Laction[R] := L * Lin[R];

        Ventilatie[R] := max( PIaction[R], Laction[R] );

        als Ventilatie[R] > Max, dan Ventilatie[R] := Max;
        als Ventilatie[R] < Afwezig, dan Ventilatie[R] := Afwezig;

        als stand_bedieningsknop == "afwezig" of "aanwezig" of "hoog", dan:
        {
            Ventilatie[R] := Afwezig, of Aanwezig, of respectievelijk Hoog;
            Manual[R] := true;
        }
        als stand_bedieningsknop == "auto", dan:
        {
            als Manual[R] == false,
                dan Reset[R] := false;
            anders Reset[R] := true;
            Manual[R] := false;
        }
    }
}

```



```
}  
  
(-- de volgende commando's vertegenwoordigen de regeling in de ventilatorbox: --)  
  
Ventilation_dwelling = max( Ventilatie[R1], Ventilatie[R2], Ventilatie[R3], ... ); (-- voor  
alle ruimtes R1, R2, R3, ... met sensor --)  
  
doe voor elk toevoerpunt P:  
{  
    Flowrate[P] = Fraction[P] * (Ventilation_dwelling /100) * Capacity_dwelling;  
    Flowrate[P] wordt in het luchtstroommodel opgelegd;  
}  
  
doe voor elk afvoerpunt P:  
{  
    Flowrate[P] = Fraction[P] * (Ventilation_dwelling /100) * Capacity_dwelling;  
    Flowrate[P] wordt in het luchtstroommodel opgelegd;  
}  
  
het luchtstroommodel voert een simulatie uit voor een periode van (60*Interval) seconden;  
}
```

Toelichting bij de notatie van de bovenstaande pseudoprogrammeercode:

- Een commando eindigt met een puntkomma.
- Met accolades worden commando's gegroepeerd, vergelijkbaar met ronde haakjes bij het groeperen in wiskundige formules.
- Tussen (-- en --) staat commentaar/uitleg.
- Het teken := betekent "wordt".

2.3 Hulpenergie

Onder de hulpenergie bij het ventileren wordt de elektrische energie voor eventuele elektronica, sensoren, klepsturing en dergelijke verstaan. Volgens opgave van de leverancier is deze gemiddeld voor het Zehnder-ventilatiesysteem WHR CO₂ met uitbreidingssensoren:

- CO₂-sensor: ≤1 W per stuk;
- keuken/woonkamer- of badkamerbediening: ≤1 W per stuk.

(Het energiegebruik van ventilatoren wordt volgens hoofdstuk 7 van NEN 8088-1 bepaald, en staat los van de hier bedoelde hulpenergie.)



Hoofdstuk 3 Methode

3.1 NEN 7120, NEN 8088-1 en de VLA-methodiek

De energieprestatie van een gebouw is mede afhankelijk van de energie-uitwisseling vanwege ventilatie. Input voor de berekening van de EPG volgens NEN 7120 zijn de luchtvolumestromen die volgens NEN 8088-1 worden bepaald. Een van de onderscheiden luchtvolumestromen is de systeemstroom, de luchtvolumestroom ten gevolge van het ventilatiesysteem. In NEN 8088-1 wordt met de coëfficiënt f_{reg} de ventilatiehoeveelheid ten gevolge van een zeker ventilatiesysteem gerelateerd aan de ventilatiehoeveelheid ten gevolge van een standaardventilatiesysteem. Een standaardventilatiesysteem heeft dan ook een f_{reg} van 1,0. Een ventilatiesysteem met een betere energieprestatie zal een f_{reg} kleiner dan 1,0 hebben. Daarnaast is er de coëfficiënt f_{sys} die afhankelijk is van de hoofdgroep waartoe een ventilatiesysteem behoort (A, B, C, D of X). In tabel 2 van NEN 8088-1 worden van diverse ventilatiesystemen forfaitaire waarden van f_{sys} en f_{reg} gegeven.

Andere luchtvolumestromen die in NEN 8088-1 onderscheiden worden, zijn de luchtvolumestromen ten behoeve van spuien, ten gevolge van infiltratie, en ten behoeve van open verbrandingstoestellen. In de norm worden alle vier de luchtvolumestromen als onafhankelijk van elkaar beschouwd, hoewel dit vaak niet helemaal realistisch is.

De Vereniging Leveranciers Luchttechnische Apparaten heeft samen met Peutz, Nieman Raadgevende Ingenieurs, Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs en TNO een methodiek opgesteld voor ---in concreto--- de bepaling van de coëfficiënten f_{sys} en f_{reg} van NEN 8088-1 voor een zeker ventilatiesysteem.

De VLA-methodiek bevat de volgende onderdelen:

- procedure voor het opstellen van een kwaliteitsverklaring of een gelijkwaardigheidsrapport, inclusief toetsing door een collegiaal bureau en geschillencommissie,
- bepalingsmethode, aan de hand van een meerzone-luchtstroommodel, voorgeschreven invoergegevens voor het luchtstroommodel en referenties. De bepalingsmethode bevat uiteindelijk een methode voor de vertaling van de simulatieresultaten naar de coëfficiënten f_{sys} en f_{reg} van NEN 8088-1,
- criteria voor de toetsing van de binnenluchtkwaliteit en de minimale luchtvolumestromen.

De criteria zijn van belang voor een goed en gezond binnenklimaat, waar een ventilatiesysteem mede toe moet bijdragen.

3.2 Bepalingsmethode

Een ventilatiesysteem wordt getoetst en gekarakteriseerd aan de hand van simulaties met een meerzone-luchtstroommodel. Daarbij gaat het om simulaties van 7 verschillende woningvarianten.

Een simulatie met een luchtstroommodel houdt in dat luchtstromen in een woning vanwege infiltratie en vanwege het ventilatiesysteem als functie van de tijd worden berekend. Het luchtstroommodel bestaat uit



een stelsel van zones (vertrekken c.q. buiten) en luchtstroompaden (ventilatieopeningen, ventilatoren, naden, kieren e.d.). Er wordt rekening gehouden met luchtstromen die door temperatuurverschillen, winddrukken en ventilatoren worden gedreven. Meestal worden temperaturen in het luchtstroommodel niet uitgerekend, maar worden zij opgegeven. De invoer van het luchtstroommodel van een woningvariant bestaat uit de volgende onderdelen:

- plattegrond (indeling in vertrekken) en oriëntatie van de woning;
- binnenluchttemperaturen;
- winddrukcoëfficiënten;
- meteocondities (uurlijkse buitenluchttemperatuur, windsnelheid en windrichting);
- luchtdoorlatendheid van de gebouwschil;
- ventilatiecapaciteiten (toe/afvoerdebieten) per vertrek;
- aanwezigheid van bewoners per tijdstip en per vertrek;
- CO₂-concentratie buiten;
- CO₂-productie door bewoners;
- gebruik van ramen, binnendeuren, ventilatieroosters en afzuigventilator;
- het ventilatiesysteem (componenten, hun luchttechnische eigenschappen en eventuele regelalgoritmes).

De VLA-methodiek heeft voorschriften voor al deze invoer, behalve uiteraard het laatst genoemde punt (de aanvrager van de kwaliteitsverklaring of het gelijkwaardigheidsrapport geeft informatie over het ventilatiesysteem). Voor de details van de voorschriften wordt verwezen naar de VLA-methodiek zelf. Afwijkingen van de voorschriften die in de onderzochte ventilatiesysteem zijn doorgevoerd, komen in paragraaf 3.5 aan de orde.

Een belangrijk uitgangspunt van de VLA-methodiek is de evaluatie van de luchtkwaliteit aan de hand van CO₂-concentraties die door bewoners ondervonden worden, en niet aan de hand van andere emissies. Met vocht wordt in de VLA-methodiek (voorlopig) ook geen rekening gehouden. Een ander belangrijk uitgangspunt is dat in de modellering geen spuien voorkomt; dit is een gevolg van NEN 8088-1.

Een simulatie met het luchtstroommodel bestaat uit een opeenvolging van tijdstappen en beslaat een stookseizoen (209 dagen). De tijdstap is maximaal een uur (meteocondities zijn als uurlijkse waarden gegeven), maar is meestal een kwartier of kleiner. In de VLA-methodiek voorgeschreven aanwezigheid van bewoners per vertrek kan per kwartier veranderen. Anderzijds zal de tijdstap afgestemd worden op het ritme waarin het ventilatiesysteem regelt, als er sprake is van een regelalgoritme.

Een simulatie resulteert in gegevens per tijdstap, namelijk lucht volumestromen per luchtstroompad en CO₂-concentraties per zone. Met de simulatieresultaten van alle 7 woningtypes kan het ventilatiesysteem geëvalueerd worden qua luchtkwaliteit en qua f_{reg} .

De plattegronden van de 7 woningtypen zijn Bijlage 1 opgenomen. Ieder woningtype heeft met name een zekere plattegrond, een zeker aantal bewoners en een zekere luchtdoorlatendheid van de gebouwschil. Ter informatie zijn de verblijfstijden van de bewoners in Bijlage 2 opgenomen; deze komen rechtstreeks uit de voorschriften van de VLA-methodiek.



De vertaling van de simulatieresultaten naar de coëfficiënt f_{reg} van NEN 8088-1 is gebaseerd op referenties. De referenties zijn woningtypes met een standaardventilatiesysteem C c.q. D, waarvoor in de VLA-methodiek de resultaten zijn opgenomen.

De waarde van coëfficiënt f_{sys} is afhankelijk van de hoofdgroep waartoe een ventilatiesysteem behoort (A, B, C, D of X), en volgt uit tabel 2 van NEN 8088-1.

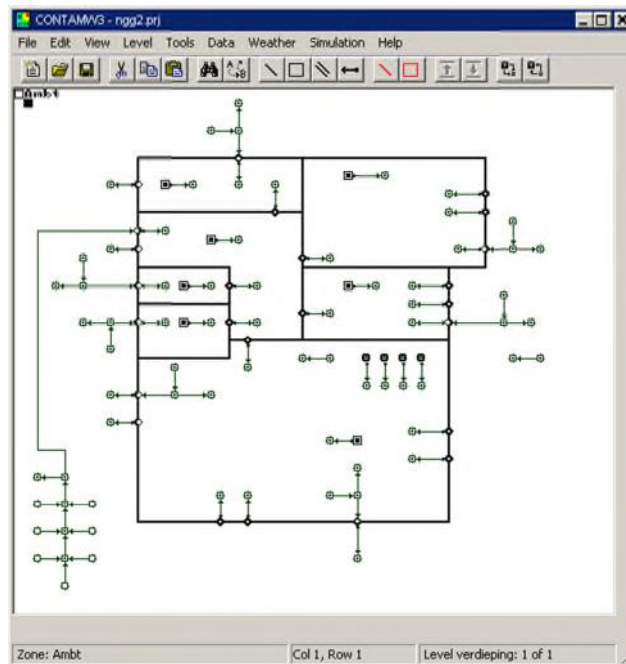
De VLA-methodiek laat de keuze voor de software voor het luchtstroommodel over aan de opsteller van de kwaliteitsverklaring of het gelijkwaardigheidsrapport. Echter, de evaluatie van simulatieresultaten zal met een speciaal voor de VLA-methodiek ontwikkelde versie van het softwareprogramma COMIS uitgevoerd moeten worden om discussies over eventuele verschillen tussen verschillende softwarepakketten te vermijden. Samen met de VLA-methodiek geeft de VLA de invoerbestanden voor de simulaties van de 7 woningtypen met de standaardventilatiesystemen C en D uit.

De speciale versie van COMIS die we in het onderzoek hebben toegepast, heeft het kenmerk "COMIS V4.1 tno15 2012jun26".

3.3 Contam

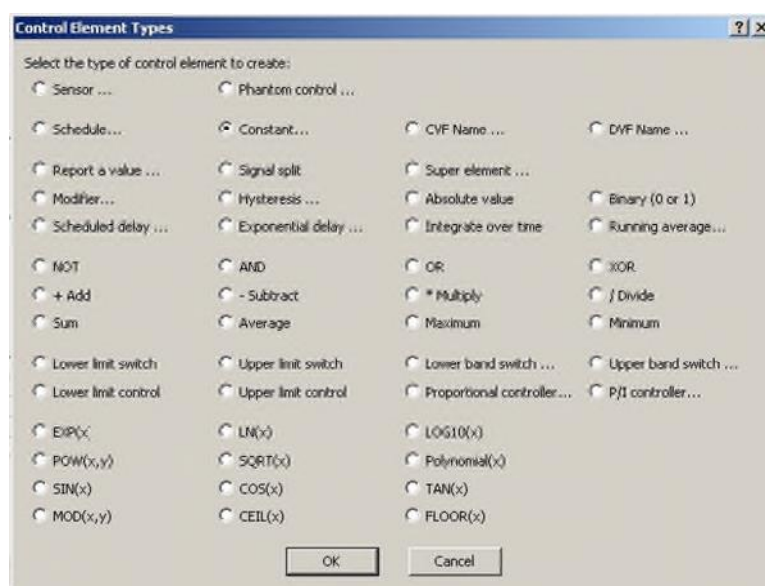
Een van de beperkingen van COMIS is de onmogelijkheid om allerlei regelalgoritmes direct in het luchtstroommodel op te nemen. Het gaat bijvoorbeeld om regelalgoritmes met terugkoppelingen, zoals de aansturing van een afzuigventilator die afhankelijk is van de gemeten CO₂-concentraties in een vertrek. Voor zulke gevallen is geavanceerdere software nodig. Wij gebruiken dan het programma Contam (versie 3.0a, handleiding door Walton & Dols 2010). Dit programma wordt ontwikkeld door het National Institute of Standards and Technology in de VS.

Contam heeft een grafische interface voor de invoer. In Figuur 1 is een voorbeeld te zien van een plattegrond met diverse knooppunten zoals dat kan worden getekend. De knooppunten kunnen o.a. zones, ventilatieopeningen, infiltratieopeningen, ventilatoren en regelementen inhouden. De ruimten hoeven overigens niet op schaal getekend te worden.



Figuur 1: Een plattegrond met diverse knooppunten met de grafische interface van Contam.

Er is een beperkt aantal regelementen waaruit men kan kiezen (Figuur 2). Zo zijn er regelementen voor het "meten" van een concentratie in een zone, voor het uitvoeren van een waarde in de .log-file, voor berekeningen, voor het inlezen uit een file van waarden als functie van de tijd, en voor het aansturen van luchtstroompaden. Met de regelementen kan men in Contam bijvoorbeeld een eenvoudige CO₂-regeling programmeren. Voor ingewikkelde regelalgoritmes en voor maximale flexibiliteit kiezen we ervoor om het regelalgoritme niet in Contam te programmeren, maar om het regelalgoritme in een apart programma in de programmeertaal Perl te programmeren. We gebruiken dan van de mogelijkheid van Contam om gegevens per tijdstap via TCP/IP met een ander programma uit te wisselen.



Figuur 2: De soorten regelementen in Contam.

De uit te wisselen gegevens zijn CO₂-concentraties (van Contam naar het Perl-programma) en debieten van de luchtafvoerpunten (van het Perl-programma naar Contam). Aan het einde van iedere tijdstap



levert Contam via TCP/IP de actuele CO₂-concentraties van alle vertrekken aan het Perl-programma. Het Perl-programma rekent vervolgens volgens het regelalgoritme de (gewenste) debieten van de luchtafvoerpunten uit en zendt deze debieten aan Contam, die met deze gegevens verder simuleert tot de tijdstap is verstreken.

De VLA-methodiek schrijft een evaluatie van resultaten aan de hand van een speciale COMIS-versie voor. Na de simulatie met het tandem Contam+Perl voeren we daarom steeds een simulatie met COMIS uit. Dergelijke COMIS-simulaties zijn gebaseerd op tijdreeksen van de luchtvolumestromen van de luchtafvoerpunten, zoals die met het tandem Contam+Perl zijn gesimuleerd. Onze werkwijze voor de simulatie van een woningtype met een zeker ventilatiesysteem wordt dus als volgt:

1. simulatie met het tandem Contam+Perl --- ze levert o.a. tijdreeksen van de luchtvolumestromen van de afvoerpunten,
2. simulatie met COMIS met de gegeven tijdreeksen,
3. vergelijk van alle COMIS- en Contam-resultaten --- deze moeten natuurlijk nagenoeg gelijk aan elkaar zijn,
4. met de COMIS-resultaten: toetsing aan de VLA-criteria en bepaling van f_{reg} .

3.4 Modelleren van het onderzochte ventilatiesysteem

We hanteren we de volgende bijzonderheden bij het modelleren van het te onderzoeken ventilatiesysteem in het luchtstroommodel:

- Kanalen, verzamelboxen en ventilatorboxen worden niet expliciet gemodelleerd. We zullen aannemen dat het systeem zodanig is ingeregeld dat het in te stellen debiet ook daadwerkelijk door toe- c.q. afvoer via het desbetreffende kanaal/ventiel gehaald wordt.
- De door de CO₂-regeling berekende ventilatiestand wordt in het luchtstroommodel zonder vertraging en zonder geleidelijk op- of aftoeren van de ventilator gerealiseerd.
- In werkelijkheid zal elke sensor op een willekeurig moment gedurende de periode van 30 seconden zijn signaal aan de ventilatorbox doorgeven. In de simulatie geven alle sensoren hun signaal gelijktijdig door.
- De toe te passen ventilatorboxen hebben een maximaal totaal afzuigdebiet van 350 m³/h (0,097 m³/s). Dit is ruim voldoende om te voorzien in de benodigde afzuigcapaciteit voor alle zeven woningtypen van de VLA-methodiek (Bijlage 3). In de modellering hoeft het totale afzuigdebiet dus niet tot een maximum te worden beperkt.
- De luchttoevoer- en afvoerpunten hebben een capaciteit volgens een standaardventilatiesysteem D conform de VLA-methodiek. Deze capaciteiten zijn in Bijlage 3 overgenomen.
- De VLA-methodiek biedt geen uitgangspunten en geen methode voor de simulatie van andere verontreinigingen dan CO₂. In het luchtstroommodel wordt daarom geen rekening met andere verontreinigingen dan CO₂ gehouden.
- Het algoritme voor de regeling van het systeem is in Tabel 1 in een pseudoprogrammeertaal beschreven. Dit algoritme is in de modellering opgenomen.
- Voor de keuken/woonkamer- en de badkamerbediening wordt een tijdschema volgens Tabel 2 gehanteerd:



- o Uitgangspunt is dat er in de woning een keuken/woonkamer- en een badkamerbediening aanwezig is, en dat bewoners daadwerkelijk bij keuken- en badkamergebruik de knop indrukken.
- o De tijdsperiode van overruling komt steeds overeen met de duur dat bewoners volgens de VLA-methodiek in de keuken of badkamer aanwezig zijn (zie ook Bijlage 2).
- o Keuken/woonkamer- of badkamerbediening betekent dat het systeem in de hoogstand (d.i. de capaciteit volgens Bouwbesluit/ventilatiesysteem D) gaat.
- Er is in het toilet geen (vorm van) aanwezigheidsdetectie of andere detectie waardoor het ventilatiesysteem op het gebruik ervan zou reageren. Daarom bevat het tijdschema voor de overruling geen gebruikstijden voor een toilet.

Tabel 2: Tijdschema voor de overruling in verband met het gebruik van keuken en badkamer. Overruling betekent hoogstand.

afzuigpunt	aantal personen	tijden		
		gezin	ma t/m vr	za en zo
afzuigkap	1		06:15 – 06:30	08:15 – 08:30
			18:45 – 19:30	18:45 – 19:30
	2		08:15 – 08:30	08:15 – 08:30
			18:45 – 19:30	18:45 – 19:30
	4		06:15 – 07:00	08:15 – 08:30
			07:30 – 08:00	09:15 – 09:30
			18:45 – 19:30	18:45 – 19:30
	badkamer	1	06:00 – 06:15	08:00 – 08:15
			22:45 – 23:00	22:45 – 23:00
		2	08:00 – 08:15	08:00 – 08:15
			22:45 – 23:00	22:45 – 23:00
		4	06:00 – 06:15	08:00 – 08:15
			07:15 – 07:45	09:00 – 09:15
			19:00 – 19:15	20:00 – 20:15
			20:00 – 20:15	21:00 – 21:15
			22:45 – 23:00	22:45 – 23:00

3.5 Afwijkingen ten opzichte van de VLA-methodiek

In de modellering van het onderzochte ventilatiesysteem zijn geen afwijkingen ten opzichte van versie 1.1 van de VLA-methodiek (24 mei 2013) doorgevoerd.

Hoofdstuk 4 Resultaten

De resultaten van de simulaties zijn in Bijlage 4 samengevat. De belangrijkste gegevens daaruit zijn in Tabel 3 tot en met Tabel 6 weergegeven en worden hieronder toegelicht.

Luchtkwaliteit

De gesimuleerde luchtkwaliteit wordt in Iki (luchtkwaliteitsindex) uitgedrukt. Dit is een maat voor de blootstelling van personen aan CO₂ in het binnenklimaat van de woning en heeft de eenheid kppmh (kilo-ppm-uur). Conform de VLA-methodiek mag deze niet groter zijn dan 30 kppmh per bewoner.

Uit de simulaties (Tabel 3) blijkt dat de Iki in elk woningtype voldoet.

Tabel 3: Gesimuleerde luchtkwaliteitsindex per bewoner en per woningtype.
a) WHR CO₂ met uitbreidingssensoren

criterium/ bewoner	grens- waarde	een- heid	woningtypes						
			gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
Iki/1	≤30	kppmh	0	4	0	3	2	0	3
Iki/2	≤30	kppmh		4	0	3	2		3
Iki/3	≤30	kppmh		4			1		
Iki/4	≤30	kppmh		4			1		
voldoet?			ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Minimale luchthoeveelheden

De criteria met betrekking tot de minimale luchthoeveelheden worden uitgedrukt met de volgende grootheden:

- q_{mom} = de momentane luchtstroom die de woning uitgaat,
- q_{24} = de over 24 h voortschrijdend gemiddelde luchtstroom die de woning uitgaat,
- $q_{24;\text{nat}}$ = de over 24 h voortschrijdend gemiddelde luchtstroom die via de bedoelde ventilatievoorzieningen de natte ruimten van de woning uitgaat;
- $q_{\text{mom};Z}$ = de momentane luchtstroom die via de bedoelde ventilatievoorzieningen ruimte Z van de woning uitgaat. Het gaat om elk van de natte ruimten afzonderlijk.

Tot de natte ruimten worden niet alleen keuken, toilet en badkamer gerekend, maar óók berging en zolder, omdat in deze ruimten plaats is voor een wasmachine en wasdroger.

De VLA-methodiek legt de volgende drie criteria met betrekking tot de minimale luchtstromen op:

1. $q_{\text{mom}} \geq 0,010 \text{ m}^3/\text{s}$,
2. $q_{24} \geq L \text{ m}^3/\text{s}$. De grenswaarde L is afhankelijk van de samenstelling van een huishouden:
 - $0,0060 \text{ m}^3/\text{s}$ per volwassen man,
 - $0,0055 \text{ m}^3/\text{s}$ per volwassen vrouw,
 - $0,0045 \text{ m}^3/\text{s}$ per kind van 10 jaar,
 - $0,0040 \text{ m}^3/\text{s}$ per kind van 4 jaar.

Echter, q_{24} mag niet kleiner zijn dan $0,010 \text{ m}^3/\text{s}$ per huishouden,

3. $q_{24;nat} \geq 0,50 \times L \text{ m}^3/\text{s}$. Dit betekent dat minstens 50% van de grenswaarde bij het tweede criterium via de natte ruimten afgevoerd worden,
4. $q_{mom;z} \geq 0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$, voor elke natte ruimte Z.

Voor elk van de vier criteria geldt dat het moet gelden in minimaal 95% van de tijd gedurende het stookseizoen.

Uit de simulaties (Tabel 4) blijkt dat aan de criteria met betrekking tot de minimale luchthoeveelheden voldaan wordt.

Tabel 4: Beoordeling van de gesimuleerde minimale luchthoeveelheden per woningtype in termen van onderschrijdingskansen.
a) WHR CO₂ met uitbreidingssensoren

criterium	grens- waarde	een- heid	woningtypes						
			gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
P ₁	< 0,05	-	0	0	0	0	0	0,001	0
P ₂	< 0,05	-	0	0	0	0	0	0	0
P ₃	< 0,05	-	0	0	0	0	0	0	0
P ₄	< 0,05	-	0	0	0	0	0	0	0
voldoet?			ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Symbolen bij Tabel 4:

- $P_1 = P(q_{mom} < 0,010 \text{ m}^3/\text{s})$ = het eerste VLA-criterium met betrekking tot de minimale luchtstromen.
- $P_2 = P(q_{24} < L)$ = het tweede VLA-criterium met betrekking tot de minimale luchtstromen.
- $P_3 = P(q_{24;nat} < (0,50 \times L))$ = het derde VLA-criterium met betrekking tot de minimale luchtstromen.
- $P_4 = P(q_{mom;z} < 0,0020 \text{ m}^3/\text{s})$ danwel $P(q_{per;z} < 0,0020 \text{ m}^3/\text{s})$ = het vierde VLA-criterium met betrekking tot de minimale luchtstromen.
- $L = 0,0100 \text{ m}^3/\text{s}$ voor woningtypen gg1 en ngg3, $0,0115 \text{ m}^3/\text{s}$ voor woningtypen gg3, ngg1 en ngg4, $0,0200 \text{ m}^3/\text{s}$ voor woningtypen gg2 en ngg2. Zie de samenstellingen van de huishoudens in Bijlage 1.
- $P(x < y)$ = het aantal keren dat $x < y$ voorkomt in de tijdreeks, gedeeld door het totaal aantal keren.

Gemiddelde luchthoeveelheden

De gemiddelde luchthoeveelheden zijn maatgevend voor de energieprestatie van het ventilatiesysteem.

De volgende grootheden komen in Bijlage 4 en in Tabel 5 voor:

- q_{mech} = de over het stookseizoen gemiddelde luchtstroom die mechanisch de woning uitgaat,
- $q_{inf+sys}$ = de over het stookseizoen gemiddelde luchtstroom die vanwege infiltratie en vanwege het ventilatiesysteem de woning ingaat,
- $q_{sys;ber}$ = de over het stookseizoen gemiddelde systeemstroom, d.i. de luchtstroom die vanwege het ventilatiesysteem de woning ingaat in het geval dat alle naden en kieren in de schil hermetisch dicht zijn,
- $q_{sys;VLA} = q_{sys;ber}$ voor een standaardventilatiesysteem C c.q. D, bepaald door de VLA-werkgroep (bijlage D van de VLA-methodiek),

- $f_{\text{reg;verv}}$ = de correctiefactor voor het regelsysteem, die geldt voor het onderzochte ventilatiesysteem en die in plaats van f_{reg} uit tabel 2 van NEN 8088-1 kan worden gebruikt,
- f_{sys} = de aan het ventilatiesysteem gerelateerde lucht volumestroomfactor, die geldt voor het onderzochte ventilatiesysteem en die uit tabel 2 van NEN 8088-1 is overgenomen.

De factor $f_{\text{reg;verv}}$ waarmee het onderzochte ventilatiesysteem in verband met de energieprestatie wordt gekarakteriseerd, is gelijk aan de verhouding tussen:

- het gewogen gemiddelde van $q_{\text{sys;ber}}$ dat de simulatie oplevert, en
- het gewogen gemiddelde van $q_{\text{sys;VLA}}$ dat voor een standaardventilatiesysteem in bijlage D van de VLA-methodiek is gepubliceerd.

De weegfactoren van de 7 woningtypes zijn in Bijlage 1 opgenomen.

Bij de omrekening van volumestroom naar massastroom en vice versa is gerekend met een dichtheid van 1,215 kg/m³ voor binnenlucht en 1,265 kg/m³ voor buitenlucht.

Tabel 5: Gesimuleerde gemiddelde luchthoeveelheden, per woningtype en gewogen-gemiddeld.

a) WHR CO₂ met uitbreidingssensoren

grootheid	eenheid	woningtypes							gewog. gemid.
		gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4	
$q_{\text{sys;ber}}$	m ³ /s	0,0166	0,0372	0,0224	0,0262	0,0310	0,0133	0,0205	0,0236
$q_{\text{sys;VLA}}$	m ³ /s	0,0410	0,0652	0,0501	0,0443	0,0515	0,0324	0,0441	0,0484
$f_{\text{reg;verv}}$	-								0,488
f_{sys}	-								1,00

Kwaliteit van de simulaties

De tabellen in Bijlage 4 geven ook informatie over de kwaliteit van de simulaties zelf:

- het aantal "foutieve tijdstappen", namelijk het aantal tijdstappen dat in de COMIS-simulatie geen oplossing is gevonden,
- het quotiënt van het aantal foutieve tijdstappen met het totale aantal tijdstappen in de COMIS-simulatie. Dit quotiënt wordt hier "CER-errorfractie" genoemd. Volgens de VLA-methodiek mag het quotiënt niet groter zijn dan 5%,
- het relatieve verschil ($|q_1 - q_2|/q_2$) tussen de gemiddelde luchtstroom vanwege natuurlijke en mechanische ventilatie mét alle foutieve tijdstappen (q_1) en die zónder foutieve tijdstappen (q_2). Dit relatieve verschil wordt hier "rel. fout IB" genoemd. Volgens de VLA-methodiek mag het relatieve verschil niet groter zijn dan 5%,
- quotiënten van gemiddelde luchthoeveelheden volgens de Contam-simulatie met die volgens de COMIS-simulatie. De quotiënten zijn uiteraard idealiter 1; een afwijking tot 5 % is acceptabel.

In een simulatie voor de bepaling van $q_{\text{sys;ber}}$ zijn idealiter alle naden en kieren in de schil hermetisch gesloten. Omdat dit bij de meeste ventilatiesystemen tot een vastlopende simulatie zou leiden, worden de naden en kieren toch enigszins opengelaten. Deze openingen mogen volgens de VLA-methodiek bij de bepaling van $q_{\text{sys;ber}}$ maximaal 1% van de oorspronkelijke grootte zijn (oftewel een "lekfactor" $\leq 0,01$).



Aan de bovenstaande kwaliteitscriteria moet dan ook worden voldaan, wat in het algemeen lastig kan zijn, omdat hoe kleiner de naden en kieren zijn, hoe groter de kans op foutieve tijdstappen is.

Uit de gegevens van Bijlage 4 blijkt dat de simulaties van voldoende kwaliteit zijn. Een relevant deel uit de bijlage is hieronder in Tabel 6 weergegeven, namelijk de kwaliteitcijfers van de simulaties met COMIS bij de bepaling van $q_{\text{sys;ber}}$. Er is een lekfactor van 0,005 toegepast.

Tabel 6: Kwaliteit van de simulaties met COMIS bij de bepaling van $q_{\text{sys;ber}}$
a) WHR CO₂ met uitbreidingssensoren

criterium	grens- waarde	een- heid	woningtypes						
			gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
lekfactor	≤ 0,010	-	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
CER-error- fractie	≤ 0,050	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
rel. fout IB	≤ 0,050	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
voldoet?			ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja



Hoofdstuk 5 Conclusie

In dit rapport is het onderzoek beschreven naar de prestatie van het Zehnder-ventilatiesysteem WHR CO₂ met uitbreidingssensoren in verband met de energieprestatieberekeningen volgens NEN 7120 en NEN 8088-1.

WHR CO₂ met uitbreidingssensoren is een ventilatiesysteem van het type D (mechanische toevoer en mechanische afvoer van lucht). In Hoofdstuk 2 zijn de relevante eigenschappen van het systeem kort beschreven. Ze komen niet overeen met een van de subcategorieën van type D uit tabel 2 van NEN 8088-1.

Voor de beoordeling van de prestatie zijn simulaties met een luchtstroommodel aan de hand van de VLA-methodiek uitgevoerd (paragraaf 3.1 en 3.2). De Vereniging Leveranciers Luchttechnische Apparaten heeft deze methodiek opgesteld voor een uniforme bepaling van de coëfficiënten f_{sys} en f_{reg} van NEN 8088-1 voor een zeker ventilatiesysteem.

De simulaties zijn met het geavanceerde softwareprogramma Contam uitgevoerd, omdat met deze software het mogelijk is een complexe CO₂-regeling met terugkoppelingen aan het luchtstroommodel van een woning te koppelen. Conform de VLA-methodiek zijn de met Contam gegenereerde tijdreeksen van lucht volumestromen van ventilatoren vervolgens voor simulaties met de speciale COMIS-versie gebruikt om het ventilatiesysteem te evalueren. Contam en de werkwijze met COMIS zijn in paragraaf 3.3 kort beschreven. Bijzonderheden en belangrijke aannamen bij de modellering van het ventilatiesysteem zijn in paragraaf 3.4 aan de orde gekomen. De toegepaste afwijkingen in de methodiek en de modelleringen ten opzichte van de VLA-methodiek (versie 1.1 van 24 mei 2013) zijn in paragraaf 3.5 opgesomd.

In Hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de simulatie in termen van luchtdebieten en luchtkwaliteit gepresenteerd. Daaruit blijkt dat met de gegeven regeling het onderzochte ventilatiesysteem een goede luchtkwaliteit, in termen van de criteria van de VLA-methodiek, opleveren. De waarden van de coëfficiënten f_{sys} en f_{reg} uit NEN 8088-1, die in de plaats van de forfaitaire waarden uit tabel 2 van de norm voor het onderzochte ventilatiesysteem mogen worden gebruikt, zijn:

- $f_{reg} = 0,488$;
- $f_{sys} = 1,00$.

Deze vervangende waarden voor f_{reg} zijn gebaseerd op een gewogen gemiddelde van alle woningtypen uit de VLA-methodiek en is dus geldig voor zowel grondgebonden als niet-grondgebonden woningen.

Belangrijke voorwaarden bij de vervangende waarde voor f_{reg} zijn onder meer (vergelijk Hoofdstuk 2 en paragraaf 3.4):

- dat het ventilatiesysteem is voorzien van een regeling conform het algoritme beschreven in Tabel 1,
- dat het ventilatiesysteem is voorzien van een keuken/woonkamer- en een badkamerbediening,
- dat het ventilatiesysteem conform de instructies van de leverancier wordt geïnstalleerd en ingeregeld.



De geldigheidsduur voor de gelijkwaardigheidsverklaring bedraagt 2 jaar. Als het systeem na deze 2 jaar ongewijzigd zijn, en als ook de VLA-methodiek ongewijzigd is, kan de verklaring verlengd worden.

Als blijkt dat de kwaliteit van de toegepaste componenten afwijkt van de in deze rapportage gehanteerde specificaties, of als blijkt dat de inbouw en installatie afwijkt van wat in deze rapportage is aangehouden, dan komt deze gelijkwaardigheidsverklaring te vervallen en dient uitgegaan te worden van de forfaitaire rekenwaarden uit de geldende versie van NEN 8088-1.

Utrecht, 6 mei 2015

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

dr. ir. F.J.R. van Mook



Hoofdstuk 6 Literatuur

NEN 7021:2011. *Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode*. Delft: NEN, april 2011. Inclusief Correctieblad C2 van december 2011.

NEN 8088-1:2011. *Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen – Bepalingsmethode voor de toevoerluchttemperatuur gecorrigeerde ventilatie- en infiltratieluchtvolumestromen voor energieprestatieberekeningen – Deel 1: Rekenmethode*. Delft: NEN, april 2011. Inclusief Correctieblad C1 van december 2011.

Vereniging Leveranciers Luchttechnische Apparaten (2013). *VLA-methodiek – gelijkwaardigheid voor energiebesparende ventilatieoplossingen in woningen*. Versie 1.1, 24 mei 2013.

Walton, G.N., & W.S. Dols (2010). *Contam – User guide and program documentation*. NISTIR 7251, Gaithersburg MD: NIST, 14 december 2010.



Bijlage 1

Woningtypen



De onderscheiden woningtypes in de VLA-methodiek (de plattegronden volgen op de bladzijden na de tabel):

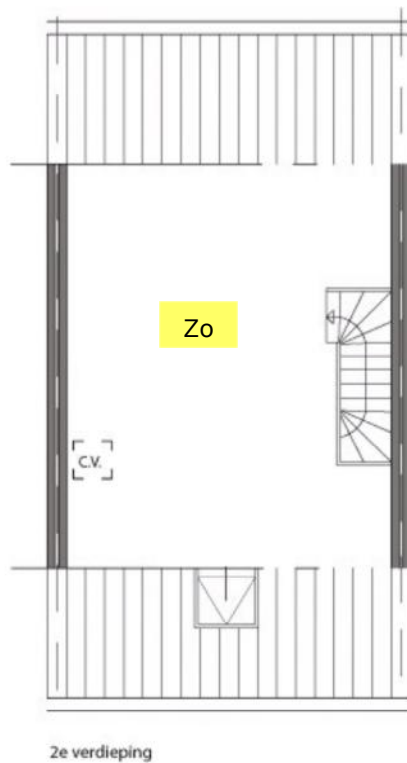
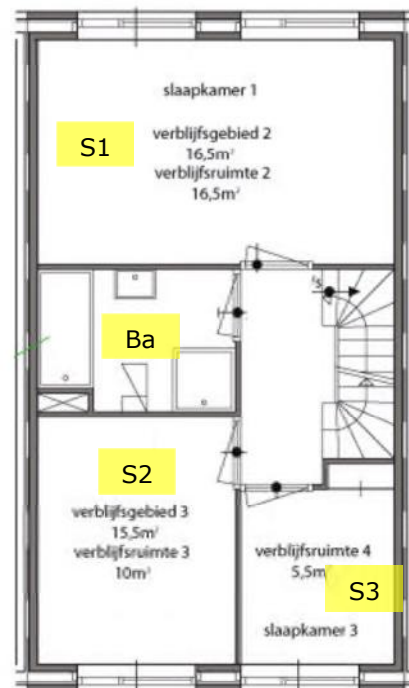
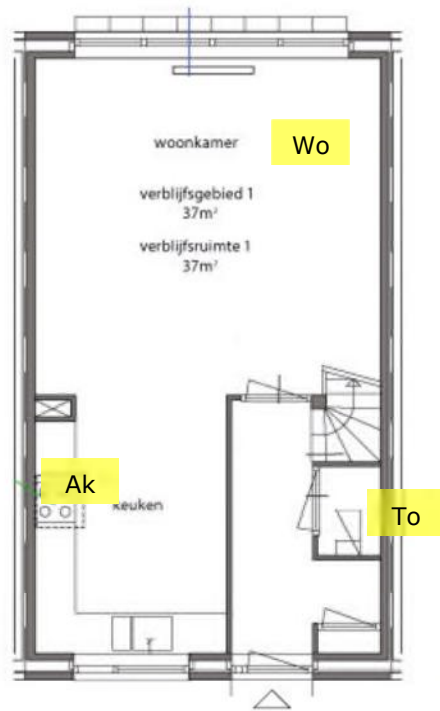
type	opp. [m ²]	keuken	aantal pers.	q _{v10} [L/s]	wind	hoogte gebouw	hoogte woning	weegfactor [-]
gg1 (tussenwoning)	124	open	1	80	beschut		maaiveld	0,70*0,40
gg2 (vrijstaand)	170	gesloten	4	120	onbeschut		maaiveld	0,70*0,30
gg3 (tussenwoning)	124	open	2	80	beschut		maaiveld	0,70*0,30
ngg1 (portiek, hoek)	92	gesloten	2	40	onbeschut	12 m	2 ^e verd.	0,30*0,20
ngg2 (portiek, hoek)	92	open	4	20	beschut	30 m	6 ^e verd.	0,30*0,20
ngg3 (galerij, tussen)	82	gesloten	1	50	onbeschut	12 m	2 ^e verd.	0,30*0,30
ngg4 (galerij, tussen)	82	open	2	40	beschut	30 m	6 ^e verd.	0,30*0,30

De minimale totale capaciteit van de mechanische afvoer van een standaardventilatiesysteem C of D volgens het Bouwbesluit per woningtype uit de VLA-methodiek:

grootheid	eenheid	woningtypes						
		gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
q _{af;BB;C}	m ³ /s	0,049	0,056	0,049	0,049	0,049	0,042	0,042
q _{af;BB;D}	m ³ /s	0,061	0,078	0,061	0,054	0,062	0,048	0,054

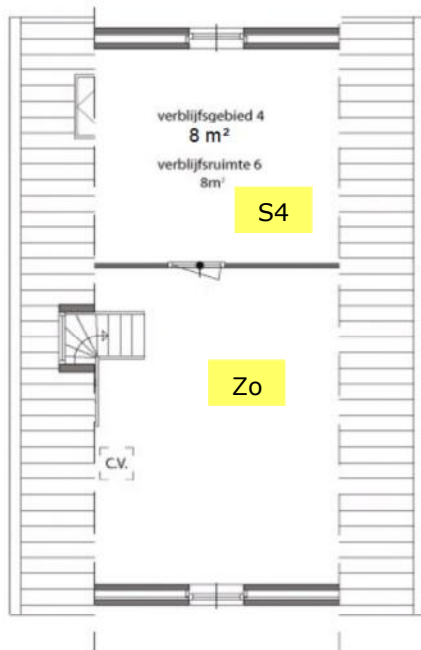
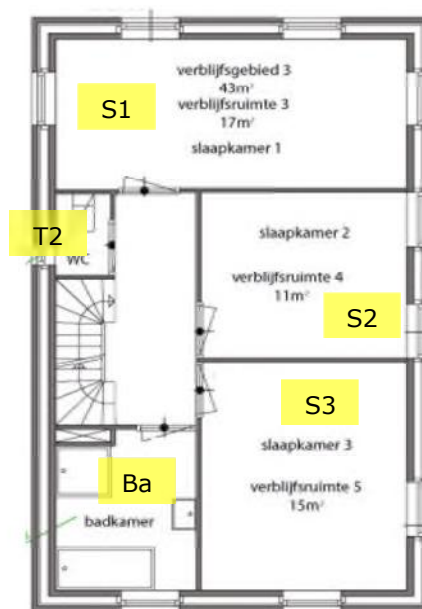
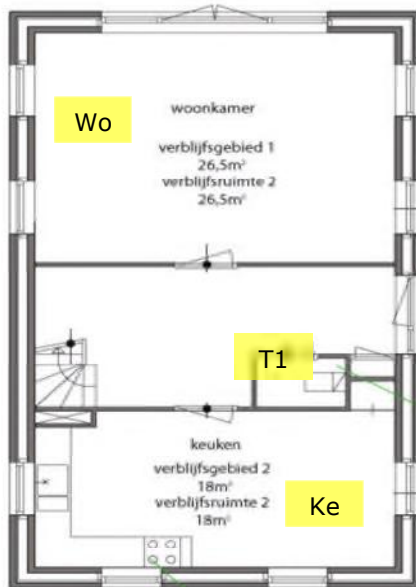
Plattegrond woningtypes gg1 en gg3

Tussenwoning open keuken



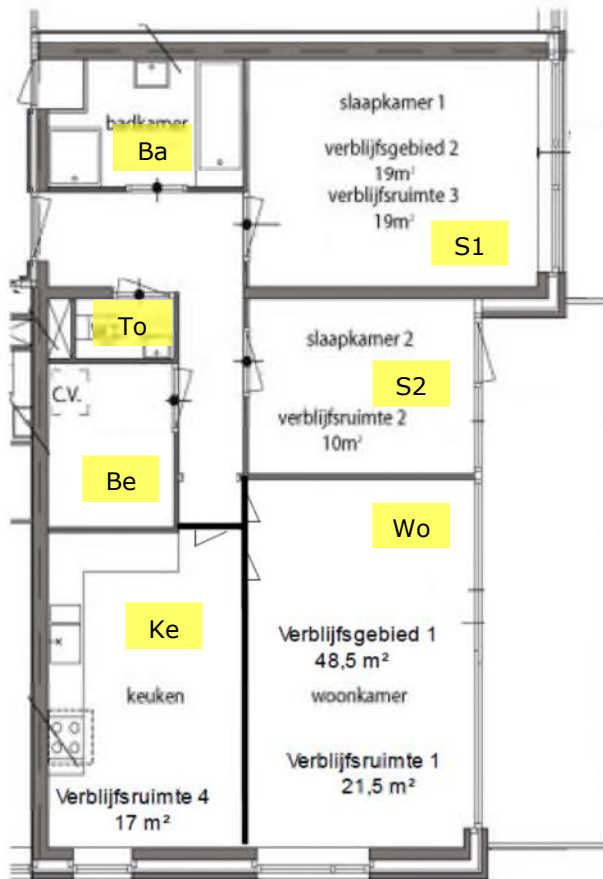
Plattegrond woningtype gg2

Vrijstaande woning gesloten keuken



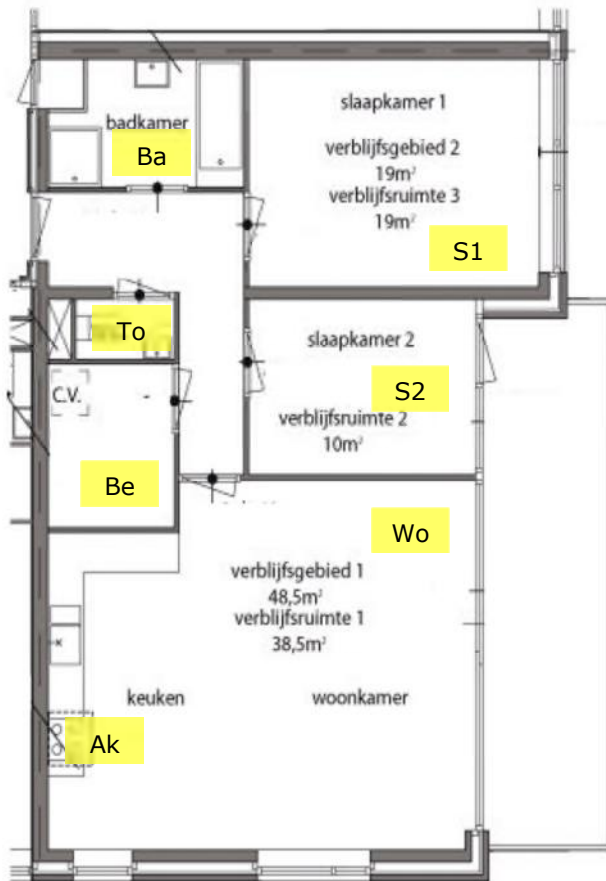
Plattegrond woningtype ngg1

Portiekwoning met gesloten keuken 92 m²



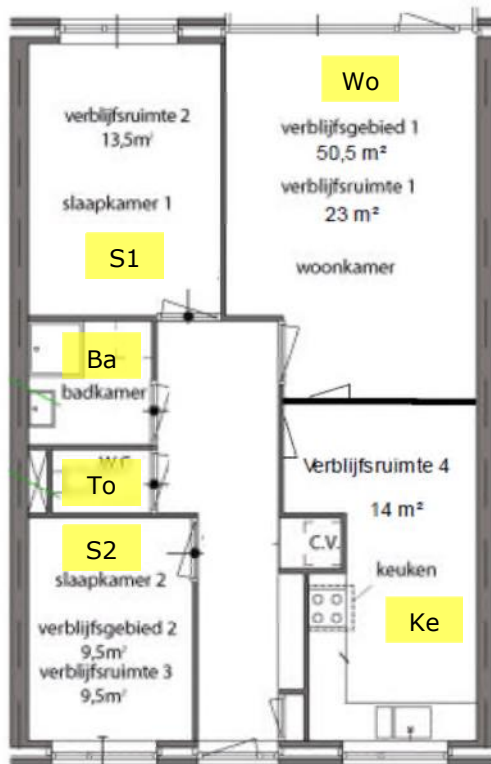
Plattegrond woningtype ngg2

Portiekwoning met open keuken 92 m²



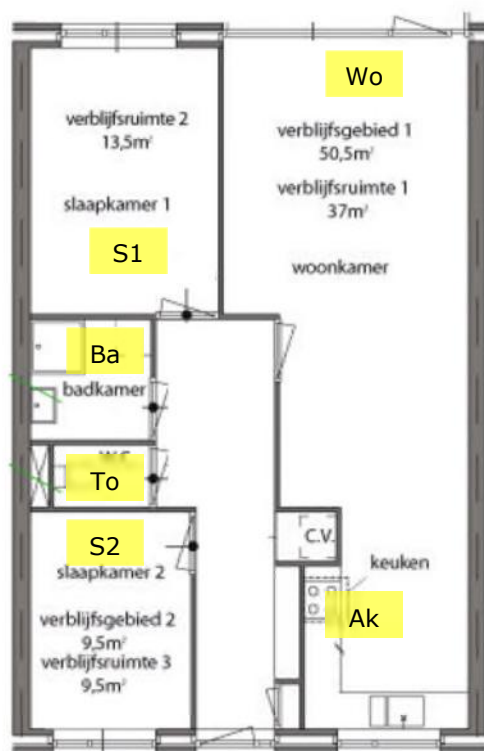
Plattegrond woningtype ngg3

Galerijwoning gesloten keuken 82 m²



Plattegrond woningtype ngg4

Galerijwoning open keuken 82 m²





Bijlage 2

Verblijfstijden



De VLA-methodiek schrijft de volgende gezinssamenstellingen voor:

- gezin van 1 persoon: werkend (m),
- gezin van 2 personen: beide thuisblijvend (m + v),
- gezin van 4 personen: werkende ouder (m), verzorgende ouder (v), thuisblijvend kind (4 jaar), schoolgaand kind (10 jaar).

Per gezinssamenstelling schrijft de VLA-methodiek de volgende verblijfstijden per bewoner per ruimte voor:

Gezin 1 van persoon:

- Persoon 1
 - o Maandag t/m vrijdag
 - slaapkamer 1 0.00u – 6.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 6.30u – 7.00u ; 18.00u – 18.45u ; 19.30u – 22.45u
 - keuken 6.15u – 6.30u ; 18.45u – 19.30u
 - badkamer 6.00u – 6.15u ; 22.45u – 23.00u
 - o Zaterdag en zondag
 - slaapkamer 1 0.00u – 8.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 8.30u – 11.00u ; 14.00u – 18.45u ; 19.30u – 22.45u
 - keuken 8.15u – 8.30u ; 18.45u – 19.30u
 - badkamer 8.00u – 8.15u ; 22.45u – 23.00u

Gezin van 2 personen:

- Persoon 1
 - o Maandag t/m zondag
 - slaapkamer 1 0.00u – 8.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 8.30u – 11.00u ; 14.00u – 18.45u ; 19.30u – 22.45u
 - keuken 8.15u – 8.30u ; 18.45u – 19.30u
 - badkamer 8.00u – 8.15u ; 22.45u – 23.00u
- Persoon 2
 - o Maandag t/m zondag
 - slaapkamer 1 0.00u – 8.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 8.30u – 11.00u ; 14.00u – 22.45u
 - keuken 8.15u – 8.30u
 - badkamer 8.00u – 8.15u ; 22.45u – 23.00u

**Gezin van 4 personen:**

- Persoon 1
 - o Maandag t/m vrijdag
 - slaapkamer 1 0.00u – 6.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 6.30u – 7.00u ; 18.00u – 22.45u
 - keuken 6.15u – 6.30u
 - badkamer 6.00u – 6.15u ; 22.45u – 23.00u
 - o Zaterdag en zondag
 - slaapkamer 1 0.00u – 8.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 8.30u – 11.00u ; 14.00u – 22.45u
 - keuken 8.15u – 8.30u
 - badkamer 8.00u – 8.15u ; 22.45u – 23.00u
- Persoon 2
 - o Maandag t/m vrijdag
 - slaapkamer 1 0.00u – 6.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 7.00u – 11.00u ; 14.00u – 18.45u ; 19.30u – 22.45u
 - keuken 6.15u – 7.00u ; 18.45u – 19.30u
 - badkamer 6.00u – 6.15u ; 22.45u – 23.00u
 - o Zaterdag en zondag
 - slaapkamer 1 0.00u – 8.00u ; 23.00u – 0.00u
 - woonkamer 8.30u – 11.00u ; 14.00u – 18.45u ; 19.30u – 22.45u
 - keuken 8.15u – 8.30u ; 18.45u – 19.30u
 - badkamer 8.00u – 8.15u ; 22.45u – 23.00u
- Kind 4 jr
 - o Maandag t/m vrijdag
 - slaapkamer 2 0.00u – 7.30u ; 19.15u – 0.00u
 - woonkamer 8.00u – 11.00u ; 14.00u – 19.00u
 - keuken 7.45u – 8.00u
 - badkamer 7.30u – 7.45u ; 19.00u – 19.15u
 - o Zaterdag en zondag
 - slaapkamer 2 0.00u – 9.00u ; 20.15u – 0.00u
 - woonkamer 9.30u – 11.00u ; 14.00u – 20.00u
 - keuken 9.15u – 9.30u
 - badkamer 9.00u – 9.15u ; 20.00u – 20.15u
- Kind 10 jr
 - o Maandag t/m vrijdag
 - slaapkamer 3 0.00u – 7.15u ; 20.15u – 0.00u
 - woonkamer 7.45u – 8.00u ; 18.00u – 20.00u
 - keuken 7.30u – 7.45u
 - badkamer 7.15u – 7.30u ; 20.00u – 20.15u
 - o Zaterdag en zondag



- slaapkamer 3 0.00u – 9.00u ; 21.15u – 0.00u
- woonkamer 9.30u – 11.00u ; 14.00u – 21.00u
- keuken 9.15u – 9.30u
- badkamer 9.00u – 9.15u ; 21.00u – 21.15u



Bijlage 3

Ventilatiehoeveelheden systeem D

Toe- en afvoercapaciteiten volgens de VLA-methodiek, in de zeven woningtypen van de VLA-methodiek.

Bemerkt dat in de VLA-methodiek uitgaat van een berging c.q. zolder met een opstelplaats voor een wasmachine (vergelijk oude GIW-eis). In die ruimte is er een afvoercapaciteit van 0,007 m³/s.

Woningtype	gg1/gg3		
Ruimte	Vloeropp.	Toevoer- capaciteit	Afvoer- capaciteit
Wo (incl. Ke)	37 m ²	0,030 m ³ /s	0,033 m ³ /s
S1	16,5 m ²	0,015 m ³ /s	
S2	10 m ²	0,009 m ³ /s	
S3	5,5 m ²	0,007 m ³ /s	
To			0,007 m ³ /s
Ba			0,014 m ³ /s
Zo	24 m ²		0,007 m ³ /s
totaal		0,061 m ³ /s	0,061 m ³ /s

Woningtype	gg2		
Ruimte	Vloeropp.	Toevoer- capaciteit	Afvoer- capaciteit
Wo	26,5 m ²	0,024 m ³ /s	
Ke	18 m ²	0,008 m ³ /s	0,043 m ³ /s
S1	17 m ²	0,015 m ³ /s	
S2	11 m ²	0,010 m ³ /s	
S3	15 m ²	0,014 m ³ /s	
S4	8 m ²	0,007 m ³ /s	
T1			0,007 m ³ /s
T2			0,007 m ³ /s
Ba			0,014 m ³ /s
Zo	12 m ²		0,007 m ³ /s
totaal		0,078 m ³ /s	0,078 m ³ /s



Woningtype	ngg1		
Ruimte	Vloeropp.	Toevoer-capaciteit	Afvoer-capaciteit
Wo	21,5 m ²	0,019 m ³ /s	
Ke	17 m ²	0,008 m ³ /s	0,026 m ³ /s
S1	19 m ²	0,018 m ³ /s	
S2	10 m ²	0,009 m ³ /s	
To			0,007 m ³ /s
Ba			0,014 m ³ /s
Be			0,007 m ³ /s
totaal		0,054 m ³ /s	0,054 m ³ /s

Woningtype	ngg2		
Ruimte	Vloeropp.	Toevoer-capaciteit	Afvoer-capaciteit
Wo (incl. Ke)	38,5 m ²	0,035 m ³ /s	0,034 m ³ /s
S1	19 m ²	0,018 m ³ /s	
S2	10 m ²	0,009 m ³ /s	
To			0,007 m ³ /s
Ba			0,014 m ³ /s
Be			0,007 m ³ /s
totaal		0,062 m ³ /s	0,062 m ³ /s

Woningtype	ngg3		
Ruimte	Vloeropp.	Toevoer-capaciteit	Afvoer-capaciteit
Wo	23 m ²	0,021 m ³ /s	
Ke	14 m ²	0,006 m ³ /s	0,027 m ³ /s
S1	13,5 m ²	0,012 m ³ /s	
S2	9,5 m ²	0,009 m ³ /s	
To			0,007 m ³ /s
Ba			0,014 m ³ /s
totaal		0,048 m ³ /s	0,048 m ³ /s

Woningtype	ngg4		
Ruimte	Vloeropp.	Toevoer-capaciteit	Afvoer-capaciteit
Wo (incl. Ke)	27 m ²	0,033 m ³ /s	0,033 m ³ /s
S1	13,5 m ²	0,012 m ³ /s	
S2	9,5 m ²	0,009 m ³ /s	
To			0,007 m ³ /s
Ba			0,014 m ³ /s
totaal		0,054 m ³ /s	0,054 m ³ /s



Bijlage 4

Resultaten

Zehnder WHR CO₂ met uitbreidingssensoren

systeem hoofdtype methode			sw2 D VLA-methodiek 1.1								
simulaties met Comis											
			gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4		
kenmerk			20141105s	20141105s	20141105s	20141105s	20141105s	20141105s	20141105s		
tijdstappen			120384	120384	120384	120384	120384	120384	120384		
CER-errors			0	0	0	0	0	0	0		
CER-errorfractie			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
rel. fout IB			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
kenmerk			lek 0	20141105s	20141105s	20141105s	20141105s	20141105s	20141105s		
lekfactor			lek 0	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050		
tijdstappen			lek 0	120384	120384	120384	120384	120384	120384		
CER-errors			lek 0	0	0	0	0	0	0		
CER-errorfractie			lek 0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
rel. fout IB			lek 0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
luchtkwaliteit volgens Comis											
criterium			grens- waarde	eenheid							
					gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
lki bewoner 1			≤30	kppmh	0	4	0	3	2	0	3
lki bewoner 2			≤30	kppmh		4	0	3	2		3
lki bewoner 3			≤30	kppmh		4			1		
lki bewoner 4			≤30	kppmh		4			1		
minimale luchthoeveelheden volgens Comis											
criterium			grens- waarde	eenheid							
					gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
P(qmom<K)			<0.05	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
P(q24<L)			<0.05	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P(q24nat<0.5×L)			<0.05	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P(qmomWo<M)			<0.05	-	0.000		0.000		0.000		0.000
P(qmomKe<M)			<0.05	-		0.000		0.000		0.000	
P(qmomBa<M)			<0.05	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P(qmomTo<M)			<0.05	-	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P(qmomT1<M)			<0.05	-		0.000					
P(qmomT2<M)			<0.05	-		0.000					
P(qmomBe<M)			<0.05	-				0.000	0.000		
P(qmomZo<M)			<0.05	-	0.000	0.000	0.000				
K				m3/s	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
aantal bewoners			-		1	4	2	2	4	1	2
L				m3/s	0.0100	0.0200	0.0115	0.0115	0.0200	0.0100	0.0115
M				m3/s	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
gemiddelde luchthoeveelheden volgens Comis											
grootheid			eenheid						gewogen		
					gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
qmech			m3/s		0.0165	0.0371	0.0223	0.0261	0.0309	0.0132	0.0204
qinf+sys			m3/s		0.0335	0.0734	0.0392	0.0370	0.0368	0.0274	0.0323
qsys;ber			m3/s		0.0166	0.0372	0.0224	0.0262	0.0310	0.0133	0.0205
qsys;ber;cor (**)			m3/s								
qsys;VLA			m3/s		0.0410	0.0652	0.0501	0.0443	0.0515	0.0324	0.0441
qsys;ber/qsys;VLA			-		0.404	0.570	0.447	0.592	0.602	0.410	0.465
freg;verv			-								
fsys			-								
(*) in de gewogen middeling zijn alleen de gesimuleerde woningtypes meegenomen. Als een qsys;ber;cor is gegeven, is deze in plaats van de ongecorrigeerde waarde meegenomen. (**) een gecorrigeerde waarde voor qsys;ber die moet worden bepaald als in een simulatie te veel foutieve tijdstappen ontstaan.											
gemiddelde luchthoeveelheden in verhouding Contam/Comis											
verhouding met			eenheid						gewogen		
					gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4
qmech			-		1.000	0.998	0.997	0.998	1.001	0.998	0.998
qinf+sys			-		0.986	0.973	0.982	0.977	0.977	0.982	0.980
qsys;ber			-		1.034	1.205	1.217	1.208	1.129	1.170	1.316
freg;verv			-								
simulaties met verschillende lekfactoren, met Comis											
woningtype	systeem	lekfactor	kenmerk	tijdstappen	CER-errors	CER-errorfractie	rel. fout IB	qsys;ber			
gg1	sw2	0.005	20141105s	120384	0	0.000	0.000	0.0166			
gg2	sw2	0.005	20141105s	120384	0	0.000	0.000	0.0372			
gg3	sw2	0.005	20141105s	120384	0	0.000	0.000	0.0224			
ngg1	sw2	0.005	20141105s	120384	0	0.000	0.000	0.0262			
ngg2	sw2	0.005	20141105s	120384	0	0.000	0.000	0.0310			
ngg3	sw2	0.005	20141105s	120384	0	0.000	0.000	0.0133			
ngg4	sw2	0.005	20141105s	120384	0	0.000	0.000	0.0205			

uitgebreide gegevens volgens Comis									
grootheid	eenheid								uit tijdreeksen:
		gg1	gg2	gg3	ngg1	ngg2	ngg3	ngg4	
min(qmom)	m3/s	0.0136	0.0233	0.0136	0.0110	0.0125	0.0099	0.0111	direct uit Comis:
gem(qmom)	m3/s	0.0351	0.0768	0.0409	0.0386	0.0384	0.0287	0.0337	
max(qmom)	m3/s	0.1314	0.2567	0.1313	0.1322	0.1104	0.1282	0.1243	
min(q24)	m3/s	0.0237	0.0493	0.0322	0.0327	0.0287	0.0157	0.0261	
gem(q24)	m3/s	0.0351	0.0768	0.0409	0.0386	0.0384	0.0287	0.0337	
max(q24)	m3/s	0.0771	0.1617	0.0794	0.0788	0.0570	0.0808	0.0730	
min(q24nat)	m3/s	0.0142	0.0239	0.0161	0.0134	0.0149	0.0111	0.0134	
gem(q24nat)	m3/s	0.0165	0.0370	0.0223	0.0261	0.0308	0.0132	0.0203	
max(q24nat)	m3/s	0.0186	0.0520	0.0268	0.0326	0.0428	0.0187	0.0274	
min(qmech)	m3/s	0.0121	0.0155	0.0121	0.0107	0.0123	0.0095	0.0107	
gem(qmech)	m3/s	0.0165	0.0370	0.0223	0.0261	0.0308	0.0132	0.0203	
max(qmech)	m3/s	0.0607	0.0776	0.0607	0.0537	0.0614	0.0477	0.0536	
min(qinf+sys)	m3/s	0.0131	0.0223	0.0130	0.0106	0.0120	0.0095	0.0106	
gem(qinf+sys)	m3/s	0.0337	0.0738	0.0393	0.0371	0.0369	0.0276	0.0324	
max(qinf+sys)	m3/s	0.1262	0.2466	0.1261	0.1270	0.1060	0.1232	0.1194	
lki bewoner 1	kppmh	0	4	0	3	2	0	2	
lki bewoner 2	kppmh		4	0	3	2		2	
lki bewoner 3	kppmh		4			1			
lki bewoner 4	kppmh		4			1			
min(qmomWo)	m3/s	0.0066		0.0066		0.0067		0.0065	
gem(qmomWo)	m3/s	0.0089		0.0120		0.0169		0.0124	
max(qmomWo)	m3/s	0.0328		0.0328		0.0337		0.0328	
min(qmomKe)	m3/s		0.0086		0.0052		0.0054		
gem(qmomKe)	m3/s		0.0204		0.0125		0.0074		
max(qmomKe)	m3/s		0.0427		0.0258		0.0268		
min(qmomBa)	m3/s	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	
gem(qmomBa)	m3/s	0.0038	0.0066	0.0051	0.0067	0.0070	0.0039	0.0053	
max(qmomBa)	m3/s	0.0139	0.0139	0.0139	0.0139	0.0138	0.0139	0.0139	
min(qmomTo)	m3/s	0.0014		0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	
gem(qmomTo)	m3/s	0.0019		0.0026	0.0034	0.0035	0.0019	0.0026	
max(qmomTo)	m3/s	0.0070		0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	
min(qmomT1)	m3/s		0.0014						
gem(qmomT1)	m3/s		0.0033						
max(qmomT1)	m3/s		0.0070						
min(qmomT2)	m3/s		0.0014						
gem(qmomT2)	m3/s		0.0033						
max(qmomT2)	m3/s		0.0070						
min(qmomBe)	m3/s				0.0014	0.0014			
gem(qmomBe)	m3/s				0.0034	0.0035			
max(qmomBe)	m3/s				0.0070	0.0070			
min(qmomZo)	m3/s	0.0014	0.0014	0.0014					
gem(qmomZo)	m3/s	0.0019	0.0033	0.0026					
max(qmomZo)	m3/s	0.0070	0.0070	0.0070					
qmech	lek 0	m3/s	0.0165	0.0371	0.0224	0.0262	0.0310	0.0132	0.0204
qinf+sys	lek 0	m3/s	0.0166	0.0372	0.0224	0.0262	0.0310	0.0133	0.0205
min(qmom)	lek 0	m3/s	0.0121	0.0156	0.0121	0.0107	0.0123	0.0096	0.0107
gem(qmom)	lek 0	m3/s	0.0172	0.0387	0.0233	0.0272	0.0323	0.0138	0.0213
max(qmom)	lek 0	m3/s	0.0673	0.0861	0.0673	0.0596	0.0681	0.0529	0.0594
min(q24)	lek 0	m3/s	0.0144	0.0252	0.0172	0.0137	0.0154	0.0113	0.0137
gem(q24)	lek 0	m3/s	0.0172	0.0386	0.0233	0.0272	0.0323	0.0138	0.0213
max(q24)	lek 0	m3/s	0.0196	0.0542	0.0272	0.0354	0.0465	0.0204	0.0296
min(q24nat)	lek 0	m3/s	0.0142	0.0240	0.0161	0.0135	0.0149	0.0111	0.0134
gem(q24nat)	lek 0	m3/s	0.0165	0.0370	0.0223	0.0261	0.0310	0.0132	0.0204
max(q24nat)	lek 0	m3/s	0.0186	0.0520	0.0268	0.0327	0.0431	0.0187	0.0274
min(qmech)	lek 0	m3/s	0.0121	0.0155	0.0121	0.0107	0.0123	0.0095	0.0107
gem(qmech)	lek 0	m3/s	0.0165	0.0370	0.0223	0.0261	0.0310	0.0132	0.0203
max(qmech)	lek 0	m3/s	0.0611	0.0781	0.0611	0.0543	0.0627	0.0480	0.0540
min(qinf+sys)	lek 0	m3/s	0.0117	0.0150	0.0117	0.0103	0.0118	0.0092	0.0103
gem(qinf+sys)	lek 0	m3/s	0.0166	0.0371	0.0224	0.0261	0.0310	0.0133	0.0204
max(qinf+sys)	lek 0	m3/s	0.0646	0.0827	0.0646	0.0572	0.0654	0.0509	0.0570

Het ventilatiesysteem wordt volgens de VLA-methodiek beoordeeld aan de hand van de resultaten van simulaties met het luchtstroommodel Comis. Deze simulaties zijn gebaseerd op tijdsreeksen van lucht-volumestromen van de mechanische luchttoe- en afvoerpunten, die met het tandem Contam+Perl zijn berekend.

Per woningtype worden twee situaties gesimuleerd: de woning met de voorgeschreven lekken in de gebouwschil én de woning zonder die lekken of met zeer kleine lekken. De laatste situatie wordt met “lek 0” in de tabel aangeduid.

Tijdens het simuleren kan het voorkomen dat het luchtstroommodel tijdens een tijdstap geen oplossing kan vinden (geen convergentie). In de tabel is (mede daarom) per simulatie aangegeven:

- “kenmerk”, een volgnummer voor intern gebruik,
- “tijdstappen”, het totaal aantal tijdstappen per simulatie,
- “CER-errors”, het aantal foutieve tijdstappen, oftewel het aantal keer dat er geen oplossing is gevonden, volgens het .cer-bestand,
- “CER-errorfractie”, het quotiënt van “CER-errors” en “tijdstappen”. Volgens de VLA-methodiek mag deze niet groter zijn dan 5%,
- “rel. fout IB”, het relatieve verschil ($|q_1 - q_2|/q_2$) tussen de gemiddelde luchtstroom vanwege natuurlijke en mechanische ventilatie mét alle foutieve tijdstappen (q_1) en die zónder foutieve tijdstappen (q_2). Volgens de VLA-methodiek mag deze niet groter zijn dan 5%,
- “lekfactor”, de factor waarmee de grootte van een lek in de gebouwschil wordt vermenigvuldigd. Deze factor is uiteraard kleiner dan 1 voor de situatie “lek 0”. Volgens de VLA-methodiek wordt in eerste instantie een waarde kleiner of gelijk aan 0,01 genomen.

De resultaten worden getoetst aan de VLA-criteria, te weten:

- de luchtkwaliteit in lki (luchtkwaliteitsindex). Dit is een maat voor de blootstelling van personen aan CO₂ in het binnenklimaat van de woning en heeft de eenheid kppmh (kilo-ppm-uur). Conform de VLA-methodiek mag deze niet groter zijn dan 30 kppmh per bewoner.
- minimale luchthoeveelheden. In de tabel komen de volgende grootheden voor:
 - $q_{mom} = q_{mom}$ = de momentane luchtstroom die de woning uitgaat,
 - $q_{24} = q_{24}$ = de over 24 h voortschrijdend gemiddelde luchtstroom die de woning uitgaat,
 - $q_{24;nat} = q_{24;nat}$ = de over 24 h voortschrijdend gemiddelde luchtstroom die via de bedoelde ventilatievoorzieningen uit de natte ruimten wordt afgevoerd,
 - $q_{mom;Z} = q_{mom;Z}$ = de momentane luchtstroom die via de bedoelde ventilatievoorzieningen uit zone Z afgevoerd wordt. Het gaat om elk van de natte ruimtes apart.

De momentane luchtstroom is een tijdsgemiddelde van 15 minuten.

Onder “bedoelde ventilatievoorzieningen” worden geen naden of kieren, open ramen, overstroomvoorzieningen in deuren en dergelijke verstaan.

De VLA-methodiek legt de volgende vier criteria met betrekking tot de minimale luchtstromen op:

1. $q_{mom} \geq 0,010 \text{ m}^3/\text{s}$,
2. $q_{24} \geq L \text{ m}^3/\text{s}$. De grenswaarde L is afhankelijk van het aantal personen: namelijk $0,0060 \text{ m}^3/\text{s}$ per volwassen man, $0,0055 \text{ m}^3/\text{s}$ per volwassen vrouw, $0,0045 \text{ m}^3/\text{s}$ per kind van 10 jaar en $0,0040 \text{ m}^3/\text{s}$ per kind van 4 jaar. Echter, L mag niet kleiner zijn dan $0,010 \text{ m}^3/\text{s}$ per huishouden,
3. $q_{24;nat} \geq 0,50 \times L \text{ m}^3/\text{s}$,
4. $q_{mom;Z} \geq 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$,¹ voor elke natte ruimte Z . Een ventilatiesysteem voldoet ook aan deze eis, als de over de systeemafhankelijke periode gemiddelde afvoerstroom² niet kleiner is dan de grenswaarde.

Voor elk criterium geldt dat het moet gelden in minimaal 95% van de tijd gedurende het stookseizoen.

En om tot een f_{reg} te komen zijn de volgende grootheden van belang:

- luchthoeveelheden gemiddeld over het stookseizoen. In de tabel komen de volgende grootheden voor:

¹Sinds het addendum bij de VLA-methodiek versie 1.1 geldt een grenswaarde $0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$.

²In de tabel zijn voor dit criterium middelingen over 15 minuten weergegeven, niet middelingen over de eventuele systeemafhankelijke periode.

- $q_{\text{mech}} = q_{\text{mech}}$ = de over het stookseizoen gemiddelde luchtstroom die mechanisch de woning uitgaat,
- $q_{\text{inf+sys}} = q_{\text{inf+sys}}$ = de over het stookseizoen gemiddelde luchtstroom die vanwege infiltratie en vanwege het ventilatiesysteem de woning ingaat,
- $q_{\text{sys;ber}} = q_{\text{sys;ber}}$ = de over het stookseizoen gemiddelde systeemstroom, d.i. de luchtstroom die vanwege het ventilatiesysteem de woning ingaat in het geval dat alle naden en kieren in de schil hermetisch dicht zijn,
- $q_{\text{sys;VLA}} = q_{\text{sys;VLA}}$ = de waarde van $q_{\text{sys;ber}}$ voor een standaardventilatiesysteem C c.q. D, bepaald door de VLA-werkgroep (bijlage D van de VLA-methodiek),
- $f_{\text{reg;verv}} = f_{\text{ref;verv}}$ = de correctiefactor voor het regelsysteem, die geldt voor het onderzochte ventilatiesysteem en die in plaats van f_{reg} uit tabel 2 van NEN 8088-1:2011 kan worden gebruikt. De factor wordt bepaald aan de hand van $q_{\text{sys;ber}}$ gewogen gemiddeld over alle woningtypen: $f_{\text{ref;verv}} = (\sum_i w_i \times q_{\text{sys;ber;i}}) / (\sum_i w_i \times q_{\text{sys;VLA;i}})$,
- $f_{\text{sys}} = f_{\text{sys}}$ = de aan het ventilatiesysteem gerelateerde lucht volumestroomfactor, die geldt voor het onderzochte ventilatiesysteem en die uit tabel 2 van NEN 8088-1:2011 is overgenomen.

Als bij een simulatie te veel foutieve tijdstappen ontstaan (zie “CER-errorfractie”), of als de foutieve tijdstappen een te grote invloed hebben op de resultaten (zie “rel. fout IB”), moet er een nadere analyse voor de bepaling van $q_{\text{sys;ber}}$ volgens de VLA-methodiek worden uitgevoerd. Daarbij worden minimaal drie extra simulaties met verschillende lekfactoren gemaakt. De waarden voor de lekfactoren zijn dan vaak 0,05, 0,10 etc., omdat in het algemeen geldt hoe groter de lekfactor hoe minder foutieve tijdstappen. Met de waarden voor $q_{\text{sys;ber}}$ uit de extra simulaties wordt via extrapolatie een waarde voor $q_{\text{sys;ber}}$ bij een lekfactor van nul bepaald. Dit laatste heet in de tabel $q_{\text{sys;ber;cor}}$, en is de waarde die bij de berekening van $f_{\text{ref;verv}}$ wordt gebruikt.

De simulaties met het luchtstroommodel Comis en die met het tandem Contam+Perl dienen dezelfde resultaten te hebben. Voor een snelle beoordeling zijn in de tabel tenslotte de verhoudingen van de gemiddelde luchthoeveelheden (‘Contam gedeeld door Comis’) weergegeven. De verhouding is uiteraard idealiter 1; een afwijking tot 5 % is acceptabel.



RAADGEVENDE INGENIEURS

Nieman
Groep

Nieman Groep B.V.

Vestiging Utrecht

Atoomweg 400
Postbus 40217
3504 AA Utrecht
T 030-241 34 27

Vestiging Zwolle

Dr. Van Lookeren -
Campagneweg 16
Postbus 40147
8004 DC Zwolle
T 038-467 00 30

In 't Hart van de Bouw