

TNO-rapport

98-BBI-R0386

Herziening NEN 5128

**Formules voor berekening warmteverlies door
ventilatie en infiltratie**

Datum	maart 1998
Auteur(s)	Ing. W. Kornaat Ing. W.F. de Gids
Aantal pagina's	46
Opdrachtgever	VROM
Projectnummer	726.6.3041
Projectleider	Ing. W.F. de Gids

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

SAMENVATTING

In NEN 5128, eerste druk, worden formules gegeven voor de inschatting van het warmteverlies door ventilatie en infiltratie. Hierbij wordt een opsplitsing gemaakt in een drietal posten, namelijk lucht volumestromen door:

- infiltratie en natuurlijke ventilatie;
- mechanische ventilatie;
- gebruik van ventilatie- en spui voorzieningen.

Deze opsplitsing is echter niet eenduidig doorgevoerd (of sowieso door te voeren), hetgeen de formules ondoorzichtig maakt.

Verder zijn de formules gebaseerd op gegevens ontleend uit de bijlage van NEN 2687, waarbij de interactie tussen de verschillende posten niet nauwkeurig beschouwd is.

In het kader van de herziening van de NEN 5128 is door de afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en Installaties van TNO Bouw modelonderzoek uitgevoerd om te komen tot aangepaste ventilatieformules, die beter inzichtelijk en meer coherent zijn. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van VROM/DGVH/BD.

Het modelonderzoek is uitgevoerd met het VENCON ventilatie- en concentratierekenmodel van TNO Bouw (zie [1]). Met dit rekenmodel kan de ventilatie van een woning en de blootstelling van bewoners aan verontreinigingen in een woning in de tijd gesimuleerd worden. Diverse van invloed zijnde factoren kunnen hierbij in de tijd gesimuleerd worden, zoals: verloop in de meteorische omstandigheden, gebruik van de ventilatievoorzieningen, verblijf van de bewoners, etc. Op deze wijze kan een goed inzicht verkregen worden in de, over een stookseizoen optredende, ventilatie- en infiltratiestromen en bijbehorende warmteverliezen met als parameters het ventilatiesysteem en de luchtdoorlatendheid van de woning.

Een belangrijk uitgangspunt bij het modelonderzoek was het gebruik van de ventilatievoorzieningen, zoals ook in de praktijk gewenst zou zijn, af te stemmen op het gebruik van de woning, meteorische omstandigheden, etc. Het doel hierbij is per ventilatiesysteem een goede binnenluchtkwaliteit (acceptabele CO₂-concentraties) te onderhouden. Bij natuurlijke ventilatie en mechanische afzuiging is hierbij vooral het gebruik van ventilatieroosters en ramen van belang en bij balansventilatie en mechanische toevoer de schakeling van de ventilator(en).

Geconcludeerd kan worden dat, op basis van het uitgevoerde modelonderzoek, eenvoudige en inzichtelijke formules afgeleid kunnen worden voor het beschrijven van de infiltratie en het bijbehorende energiegebruik van woningen.

Een voorstel voor nieuw op te zetten formules gaat uit van:

- een basis infiltratie (ventilatie) van 36 dm³/s, zijnde het systeemdebiet zoals dat bij alle beschouwde ventilatiesystemen (ongeacht de luchtdoorlatendheid) optreedt;
- een infiltratie (ventilatie) van 2,8 dm³/s voor spuien (ongeacht ventilatiesysteem en luchtdoorlatendheid);
- een extra infiltratie (ventilatie) afhankelijk van de luchtdoorlatendheid (maar onafhankelijk van het ventilatiesysteem).

In vergelijking tot de huidige NEN 5128, geven de resultaten van het uitgevoerde modelonderzoek:

- een lagere infiltratie en energiegebruik;
- geen verschillen in infiltratie en energiegebruik afhankelijk van het ventilatiesysteem.

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	5
2. UITGANGSPUNTEN	6
2.1 Woningmodel	6
2.2 Binnenluchttemperaturen	7
2.3 Winddrukcoëfficiënten	7
2.4 Meteocondities	7
2.5 Gebruik van de ventilatievoorzieningen	8
2.5.1 Raamgebruik	8
2.5.2 Schakeling ventilatoren	14
2.6 Gebruik binnen- en buitendeuren	16
2.7 Binnenluchtkwaliteit	16
3. OPZET NIEUWE FORMULES	20
4. RESULTATEN	21
4.1 Infiltratie(warmteverlies)	21
4.2 Spuiventilatie	23
4.3 Luchtkwaliteit	23
5. BESPREKING VAN DE RESULTATEN	24
5.1 Infiltratie(warmteverlies)	24
5.2 Spuiventilatie	25
5.3 Luchtkwaliteit	25
6. VOORSTEL VOOR NIEUWE FORMULES	26
7. CONCLUSIES	27
LITERATUUR	28
Bijlagen:	
A: Verklaring van enige termen en definities	29
B: Modelgegevens	32
C: Cumulatieve histogramman inzake infiltratie en infiltratiewarmteverlies	35
D: Tabellen met onder- en overschrijdingen t.o.v. systeemdebiet en bijbehorend energiegebruik	40
E: Histogrammen genormeerde effectieve ventilatie	43

1. INLEIDING

In NEN 5128, eerste druk, worden formules gegeven voor de inschatting van het warmteverlies door ventilatie en infiltratie. Hierbij wordt een opsplitsing gemaakt in een drietal posten, namelijk lucht volumestromen door:

- infiltratie en natuurlijke ventilatie;
- mechanische ventilatie;
- gebruik van ventilatie- en spui voorzieningen.

Deze opsplitsing is echter niet eenduidig doorgevoerd (of sowieso door te voeren), hetgeen de formules ondoorzichtig maakt.

Verder zijn de formules gebaseerd op gegevens ontleend uit de bijlage van NEN 2687, waarbij de interactie tussen de verschillende posten niet nauwkeurig beschouwd is.

In het kader van de herziening van de NEN 5128 is door de afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en Installaties van TNO Bouw modelonderzoek uitgevoerd om te komen tot aangepaste ventilatieformules, die beter inzichtelijk en meer coherent zijn. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van VROM/DGVH/BD.

Het modelonderzoek is uitgevoerd met het VENCON ventilatie- en concentratierekenmodel van TNO Bouw (zie [1]). Met dit rekenmodel kan de ventilatie van een woning en de blootstelling van bewoners aan verontreinigingen in een woning in de tijd gesimuleerd worden. Diverse van invloed zijnde factoren kunnen hierbij in de tijd gesimuleerd worden, zoals: verloop in de meteorische omstandigheden, gebruik van de ventilatievoorzieningen, verblijf van de bewoners, etc. Op deze wijze kan een goed inzicht verkregen worden in de, over een stookseizoen optredende, ventilatie- en infiltratiestromen en bijbehorende warmteverliezen.

Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd aan een model van een eengezinswoning met open keuken, waarbij zijn beschouwd:

- 4 verschillende ventilatiesystemen, namelijk
 - natuurlijke ventilatie (systeem A);
 - mechanische afzuiging (systeem C);
 - gebalanceerde ventilatie (systeem B);
 - mechanische toevoer en natuurlijke afvoer (systeem D);
- verschillende luchtdoorlatendheden van de woningschil.

Een belangrijk uitgangspunt bij het modelonderzoek was het gebruik van de ventilatievoorzieningen, zoals ook in de praktijk gewenst zou zijn, af te stemmen op het gebruik van de woning, meteorische omstandigheden, etc. Het doel hierbij is per ventilatiesysteem een goede binnenluchtkwaliteit (acceptabele CO₂-concentraties) te onderhouden. Bij natuurlijke ventilatie en mechanische afzuiging is hierbij vooral het gebruik van ventilatieroosters en ramen van belang en bij balansventilatie en mechanische toevoer de schakeling van de ventilator(en).

De uitgangspunten bij het modelonderzoek zijn nader verwoord in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 wordt de opzet van de nieuwe ventilatie formules toegelicht.

In hoofdstuk 4 en 5 worden de resultaten weergegeven en besproken.

2. UITGANGSPUNTEN

2.1 Woningmodel

Het modelonderzoek is uitgevoerd aan een eengezinswoning met open keuken. Een plattegrond van deze woning is weergegeven in bijlage B.

Van deze woning zijn configuraties beschouwd:

- met 4 verschillende ventilatiesystemen, t.w.:
 - natuurlijke ventilatie (systeem A);
 - mechanische afzuiging (systeem C);
 - gebalanceerde ventilatie (systeem B);
 - mechanische toevoer en natuurlijke afvoer (systeem D);
- waarbij, per ventilatiesysteem, 4 luchtdoorlatendheden zijn beschouwd zoals aangegeven in tabel 1.

tabel 1: Aangehouden luchtdoorlatendheden bij de verschillende ventilatiesystemen.

ventilatiesysteem	luchtdoorlatendheid in dm^3/s bij 10 Pa ($q_{v,10}$ -waarde)				
	30	75	100	150	200
natuurlijke ventilatie (A) mechanische afzuiging (C)		*	*	*	*
gebalanceerde ventilatie (B) mechanische toevoer (D)	*	*	*	*	

De aangehouden verdeling van de luchtdoorlatendheid (lekken in de gebouwschil), afhankelijk van de grootte van de luchtdoorlatendheid, is weergegeven in tabel 2.

tabel 2: Aangehouden verdeling van de luchtdoorlatendheid.

$q_{v,10}$ (dm^3/s)	verdeling (%)		
	gevels	dak	vloer
30	26	57	17
75	28	60	12
100	28	60	12
150	30	55	15
200	28	55	17

2.2 Binnenluchttemperaturen

De volgende binnenluchttemperaturen zijn aangehouden:

- woonkamer en keuken 20°C;
- slaapkamers, badkamer en zolderkamer 18°C;
- entreehal, trap en overloop 17°C;
- kruipruimte 14°C.

Een nachtverlaging van 2,5°C is gesimuleerd van 22:00 t/m 7:30 uur.

2.3 Winddrukcoëfficiënten

De drukverdeling over een woning, ten gevolge van windaanval, wordt bij het ventilatierekenmodel tot uitdrukking gebracht met behulp van zogenaamde winddrukcoëfficiënten. De bij dit onderzoek aangehouden winddrukcoëfficiënten zijn weergegeven in tabel B1 (bijlage B). Deze winddrukcoëfficiënten gelden voor een 'normale' ligging, hetgeen wil zeggen dat het gebouw omgeven is door vergelijkbare gebouwen met eenzelfde hoogte. In dit geval komt dit neer op ligging in een woonwijk.

Bij het modelonderzoek is alleen de situatie beschouwd met windaanval op de woonkamergevel (=achtergevel). Dit is gedaan omdat de infiltratie en ventilatie van de gehele woning (gezien de symmetrie) nauwelijks verschilt bij windaanval op voor- of achtergevel. Verder zijn de aangehouden winddrukcoëfficiënten (of verschillen tussen de winddrukcoëfficiënten op de beschouwde posities) ook geldig voor situaties, waarbij de wind meer schuin op 1 van de gevels staat. Of met andere woorden, met de aangehouden winddrukcoëfficiënten wordt een groot deel van de optredende windrichtingen beschouwd. Uit praktische overwegingen (beperking van het aantal uit te voeren berekeningen) is hiermee dan ook volstaan.

2.4 Meteocondities

Bij het modelonderzoek zijn de meteocondities aangehouden volgens het zogenaamde 'verkorte ventilatie jaar', zoals door TNO afgeleid op basis van literatuuronderzoek [2]. In dit 'verkorte ventilatie jaar' wordt elk van de vier seizoenen beschreven door 3 zogenaamde seizoensdagen met, voor betreffend seizoen, karakteristieke combinaties van windsnelheden en buitenluchttemperaturen.

Van deze 3 seizoensdagen betreft steeds:

- 1 dag een situatie met 'wat mildere' condities (lagere windsnelheden, hogere buitentemperaturen);
- 1 dag een situatie met 'meer gemiddelde' condities;
- 1 dag een situatie met 'meer extreme' condities (hogere windsnelheden, lagere buitentemperaturen).

Tezamen geven de 3 seizoensdagen een goed gemiddeld beeld voor het betreffende seizoen, terwijl door de gradatie in de condities over de dagen tevens uitschieters in beschouwing worden genomen.

In relatie tot de doelstelling van het onderhavige modelonderzoek is alleen het stooksei-

zoen van belang. Vandaar dat het najaar, de winter en het voorjaar volgens het 'verkorte ventilatie jaar' beschouwd zijn. Verder is aangehouden dat het stookseizoen 212 dagen lang is en bestaat uit:

- 61 najaar dagen;
- 90 winter dagen;
- 61 voorjaar dagen.

2.5 Gebruik van de ventilatievoorzieningen

2.5.1 Raamgebruik

Bij het natuurlijke ventilatiesysteem (systeem A) en mechanische afzuiging (systeem C) is gebruik van de ramen en ventilatieroosters in de gevels gesimuleerd. Bij deze systemen is dit noodzakelijk in verband met het realiseren van luchttoevoer.

Bij gebalanceerde ventilatie (systeem B) en mechanische toevoer (systeem D) is geen raamgebruik gesimuleerd. Bij deze systemen is regeling van de ventilatie immers mogelijk door schakelen van de ventilator(en), zoals beschreven in paragraaf 2.5.2. Opgemerkt wordt dat bij deze systemen B en D echter wel het raamgebruik in de slaapkamers ten behoeve van spuien is gesimuleerd, overeenkomstig als bij natuurlijke ventilatie en mechanische afzuiging. Het effect van eventueel overig raamgebruik bij systemen B en D blijft bij het modelonderzoek dus buiten beschouwing en zal dan ook eventueel separaat moeten worden beschouwd.

Voor het raamgebruik is onderscheid gemaakt in 5 ventilatiepatronen. Opgemerkt wordt dat, alhoewel specifiek over raamgebruik wordt gesproken, hieronder ook het gebruik van ventilatieroosters wordt verstaan.

De volgende 5 ventilatiepatronen zijn beschouwd:

- 1) de situatie met alle ramen gesloten;
- 2) het ventileren van de slaapkamers, hetgeen veelal 's avonds en 's nachts plaatsvindt;
- 3) het luchten van de slaapkamers, hetgeen veelal 's morgens bij huishoudelijke werkzaamheden plaatsvindt;
- 4) het ventileren van de woonkamer en keuken bij gebruik van de keuken;
- 5) het ventileren van de badkamer tijdens gebruik.

De tijdstippen, waarop deze ventilatiepatronen gehanteerd worden, en bijbehorende raamstanden zijn nader bepaald in relatie tot de meteorologische condities (windsnelheden en buitenluchttemperaturen), volgens de seizoensdagen van het 'verkorte ventilatie jaar'.

Voor een gemiddelde buitenluchttemperatuur $< 5^{\circ}\text{C}$, tussen de 5 en 10°C en $> 10^{\circ}\text{C}$, is een overzicht van de gehanteerde ventilatiepatronen over de dag en bijbehorende raamopeningen weergegeven in respectievelijk de schema's A t/m C.

Bij het opzetten van de schema's A t/m C is onder andere uitgegaan van de in tabel 3 weergegeven gemiddelde raamopeningen over de dag, afhankelijk van de buitenluchttemperatuur. Oftewel het netto-doorlaatoppervlak, dat gemiddeld over 24 uur van alle gebruikte ramen tezamen, openstaat. Dit raamgebruik kan aangeduid worden als een energiebewust restrictief gebruik, waarbij de bewoner streeft naar een redelijk

ventilatieniveau.

tabel 3: Netto-doorlaat aan geopende ramen gemiddeld over een dag afhankelijk van de gemiddelde buitenluchttemperatuur over een dag.

gemiddelde buitenlucht- temperatuur over 24 uur	netto-doorlaat geopende ramen gemiddeld over 24 uur
< 5°C	120 cm ²
> 5°C en < 10°C	440 cm ²
> 10°C	1950 cm ²

Verder kunnen ten aanzien van de schema's A t/m C de volgende punten opgemerkt worden:

- de aangehouden raamopeningen bij een gemiddelde buitentemperatuur < 5°C (schema A), komen ongeveer overeen met de volgens de geldende normen vereiste doorlaatcapaciteiten;
- voor het luchten van de slaapkamers is steeds aangehouden dat de ramen kortstondig en nagenoeg volledig geopend worden. Voor de verschillende situaties ten aanzien van de buitentemperatuur (schema's A t/m C) zijn dan ook steeds dezelfde raamopeningen aangehouden bij het luchten van de slaapkamers;
- bij een buitentemperatuur tussen 5°C en 10°C (schema B) komen de gehanteerde ventilatiepatronen over de dag overeen met schema A (buitentemperatuur < 5°C), echter zijn de ramen verder geopend (uitgezonderd bij het luchten van de slaapkamers);
- bij een buitentemperatuur > 10°C is een afwijkende verloop in de ventilatiepatronen over de dag aangehouden. De woonkamer en keuken worden overdag gedurende langere tijd geventileerd (ramen worden opengezet). Vergeleken met schema B (buitentemperatuur tussen 5°C en 10°C) zijn de ramen weer verder geopend, uitgezonderd bij het ventileren van de slaapkamers (en uiteraard het luchten van de slaapkamers, zie hiervoor). Bij het ventileren van de slaapkamers is namelijk aangehouden dat 's nachts alleen klappen in de slaapkamers zijn geopend, zodat de raamopening toch enigszins beperkt gehouden moet worden;
- tijdens dag 2 van het voorjaar bedraagt de windsnelheid tussen 9:00 en 10:00 uur 10 m/s. Het luchten van de slaapkamers is in verband hiermee niet gesimuleerd gedurende deze dag.

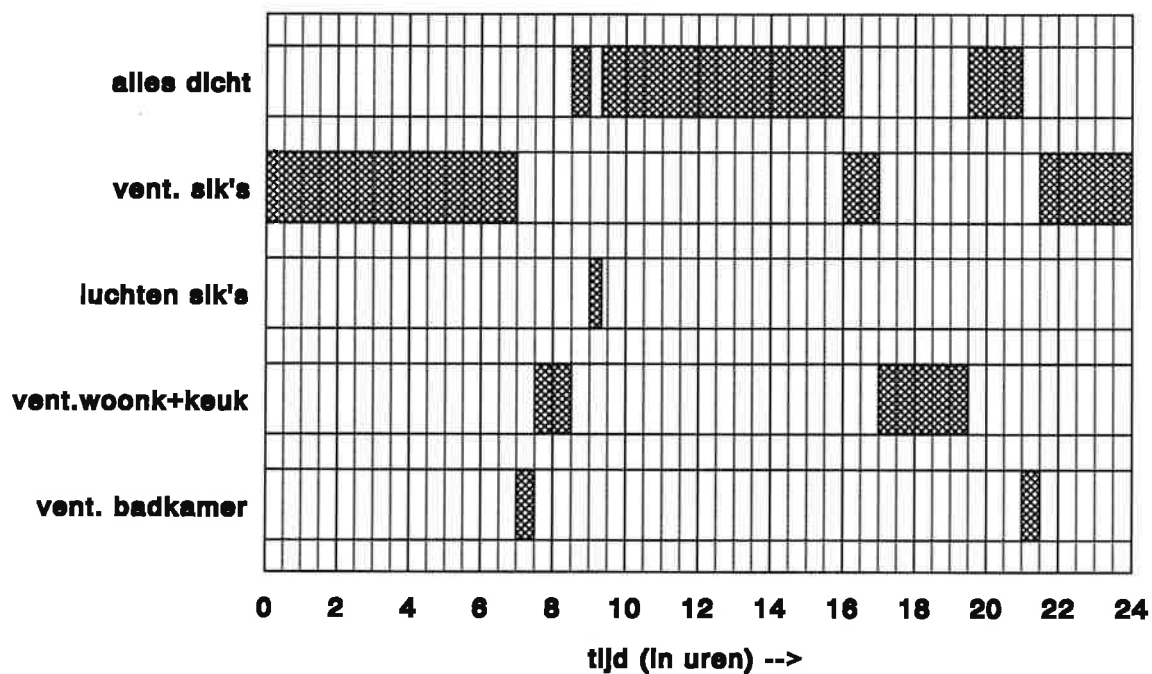
Voor de volledigheid zijn in tabel 4 per seizoensdag voor het najaar, de winter en het voorjaar weergegeven welke van de opgezette (ventilatie)schema's zijn gehanteerd.

tabel 4: Overzicht van de gehanteerde (ventilatie)schema's tijdens de seizoensdagen voor het najaar, de winter en het voorjaar.

seizoensdag ⁽¹⁾	gehanteerd (ventilatie)schema ⁽²⁾		
	najaar	winter	voorjaar
1	A	A	A
2	B	A	B
3	C	B	C

opm.: (1) zie [1].

(2) betreffende (ventilatie)schema's A t/m C zijn weergegeven op volgende bladzijden.

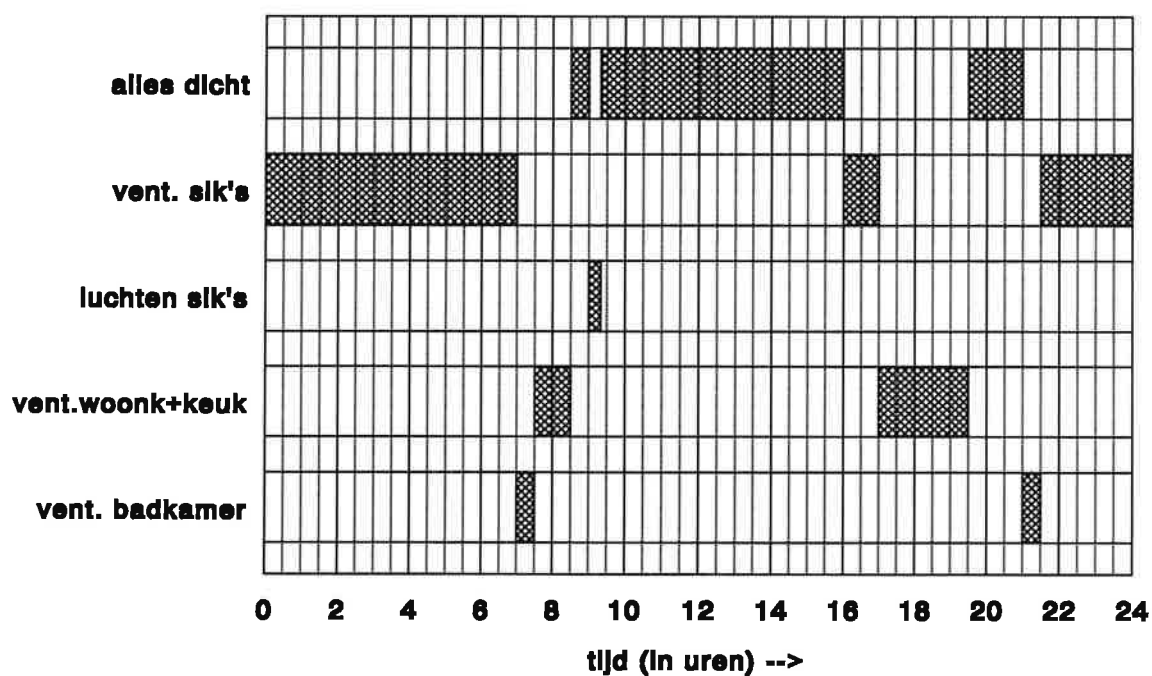


ventilatie patroon	netto-doorlaat ramen/ventilatieroosters (cm ²)					
	woonk	keuk	slk1	slk2	slk3	badk
alles dicht	-	-	-	-	-	-
ventileren slk's	-	-	35	35	70	-
luchten slk's	-	-	1800	1800	1800	-
ventileren woonkamer keuken	140	140	-	-	-	-
ventileren badkamer	-	-	-	-	-	210

opm.:

- Bij gebalanceerde ventilatie (systeem B) en mechanische toevoer (systeem D) is alleen raamgebruik t.b.v. het luchten van de slaapkamers gesimuleerd;
- Zie tabel 5 en 6 voor het gebruik van het (eventueel aanwezige) mechanische ventilatiesysteem tijdens de ventilatiepatronen.

schema A: Overzicht van de ventilatiepatronen over de dag (arcering= periode waarover betreffend patroon geldt) met bijbehorende raamstanden (ventilatie-rooster-standen), indien de gemiddelde dagtemperatuur lager is dan 5°C.

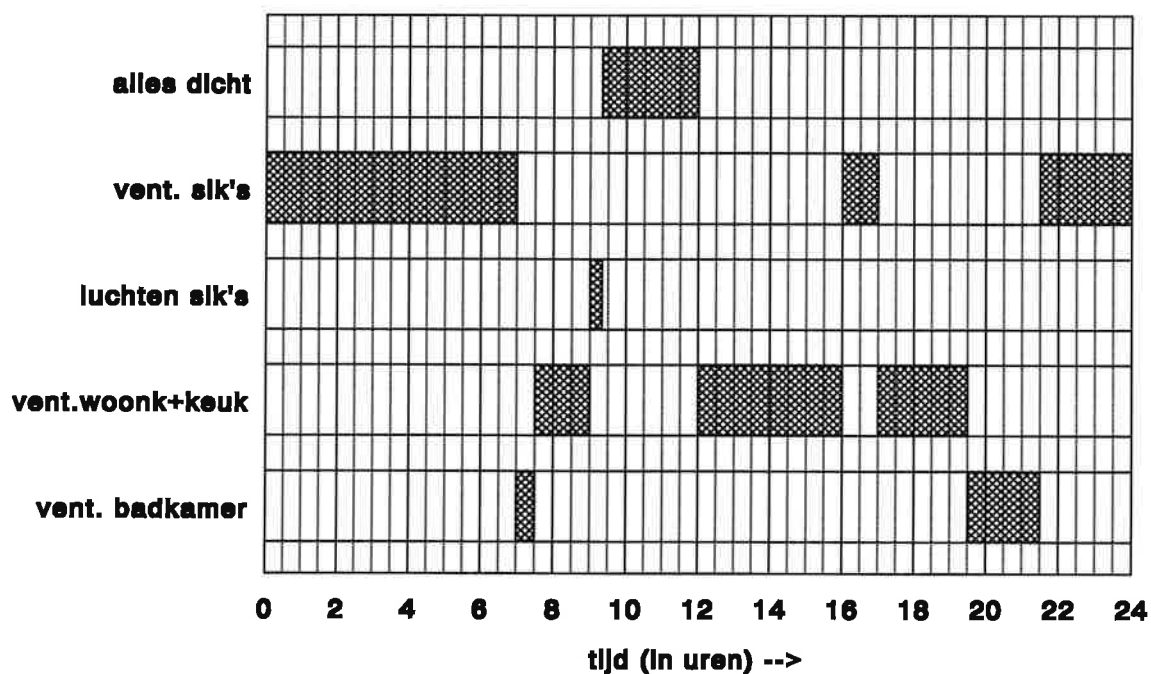


ventilatie patroon	netto-doorlaat ramen/ventilatieroosters (cm ²)					
	woonk	keuk	slk1	slk2	slk3	badk
alles dicht	-	-	-	-	-	-
ventileren slk's	-	-	130	130	259	-
luchten slk's	-	-	1800	1800	1800	-
ventileren woonkamer keuken	518	518	-	-	-	-
ventileren badkamer	-	-	-	-	-	777

opm.:

- Bij gebalanceerde ventilatie (systeem B) en mechanische toevoer (systeem D) is alleen raamgebruik t.b.v. het luchten van de slaapkamers gesimuleerd;
- Zie tabel 5 en 6 voor het gebruik van het (eventueel aanwezige) mechanische ventilatiesysteem tijdens de ventilatiepatronen.

schema B: Overzicht van de ventilatiepatronen over de dag (arcering= periode waarover betreffend patroon geldt) met bijbehorende raamstanden (ventilatie-roosterstanden), indien de gemiddelde dagtemperatuur tussen de 5 en 10°C ligt.



ventilatie patroon	netto-doorlaat ramen/ventilatieroosters (cm ²)					
	woonk	keuk	slk1	slk2	slk3	badk
alles dicht	-	-	-	-	-	-
ventileren slk's	-	-	130	130	259	-
luchten slk's	-	-	1800	1800	1800	-
ventileren woonkamer keuken	2072	2072	-	-	-	-
ventileren badkamer	-	-	-	-	-	3108

opm.:

- Bij gebalanceerde ventilatie (systeem B) en mechanische toevoer (systeem D) is alleen raamgebruik t.b.v. het luchten van de slaapkamers gesimuleerd;
- Zie tabel 5 en 6 voor het gebruik van het (eventueel aanwezige) mechanische ventilatiesysteem tijdens de ventilatiepatronen.

schema C: Overzicht van de ventilatiepatronen over de dag (arcering= periode waarover betreffend patroon geldt) met bijbehorende raamstanden (ventilatie-roosterstanden), indien de gemiddelde dagtemperatuur hoger is dan 10°C.

2.5.2 Schakeling ventilatoren

Het gebruik van de afvoerventilator bij het mechanische afzuigstelsel (stelsel C) is weergegeven in tabel 5. Afhankelijk van het ventilatiepatroon zijn de standen, waarin de mechanische afzuiging geschakeld wordt met bijbehorende luchtdebieten, weergegeven. Op eenzelfde wijze is in tabel 6 het gebruik van de ventilatoren bij het gebalanceerde stelsel en het stelsel met mechanische toevoer weergegeven.

Een belangrijk verschil in het gebruik van de ventilatoren is: het gebruik van de hoogstand 's nachts (ventileren slk's) bij gebalanceerde ventilatie (stelsel B) en mechanische toevoer (stelsel D) in tegenstelling tot het gebruik van de middenstand bij mechanische afzuiging (stelsel C). Bij stelsel B en D is hoogstand nodig om (bij gesloten ramen) voldoende luchtverversing in de slaapkamers te realiseren. Bij mechanische afzuiging (stelsel C) wordt voldoende luchtverversing gerealiseerd in combinatie met het openen van ramen.

Om te voorkomen dat, door het voorgaande, bij mechanische afzuiging gemiddeld beduidend lagere mechanische ventilatiestromen gesimuleerd (onderhouden) zouden worden, zijn bij een aantal andere ventilatiepatronen (alles dicht, ventileren woonk/keuken) verhoudingsgewijs hogere mechanische debieten aangehouden bij stelsel C in vergelijking tot de systemen B en D.

In totaal resulteert het aangehouden gebruik van de ventilatoren erin, dat, bij alle drie de systemen, het mechanisch onderhouden ventilatiedebiet circa $36 \text{ dm}^3/\text{s}$ bedraagt gemiddelde over de 9 gesimuleerde seizoensdagen.

Volledigheidshalve wordt nog opgemerkt dat de ventilatiekanalen, bij het natuurlijke ventilatiesysteem (stelsel A) en het stelsel met mechanische toevoer (stelsel D), niet geregeld worden. Bij beide systemen is uitgegaan van een vaste netto-doorlaat van de ventilatiekanalen in de keuken, badkamer en toilet van respectievelijk 95, 85 en 30 cm^2 . Bij het natuurlijke ventilatiesysteem (stelsel A) kan, uitgaande van deze netto-doorlaatoppervlakken, een goede afvoer in keuken, badkamer en toilet bewerkstelligd worden. Vooruitlopend op de resultaten wordt al opgemerkt dat, gemiddelde over de 9 seizoensdagen, het afvoerdebiet via de 3 afvoerkanalen eveneens circa $36 \text{ dm}^3/\text{s}$ bedraagt. Het afvoerdebiet is dus vergelijkbaar als het mechanisch onderhouden debiet bij de overige systemen. Of met andere woorden het systeemdebiet (door het ventilatiesysteem onderhouden debiet) is bij alle 4 de verschillende systemen vergelijkbaar en bedraagt circa $36 \text{ dm}^3/\text{s}$.

tabel 5: Aangehouden mechanische afzuigdebieten (bij systeem C) bij de verschillende ventilatiepatronen.

ventilatiepatroon ⁽¹⁾	stand mechanische afzuiging	afzuigdebiet (dm ³ /s)		
		keuken	badkamer	toilet
alles dicht	laagstand (gedurende 2 uur/dag) hoogstand (overige uren)	10,5	7	3,5
		21	14	7
ventileren slk's luchten slk's	middenstand	15,5	10,5	5,5
ventileren woonkamer en keuken ventileren badkamer	hoogstand	21	14	7

opm.: (1) Perioden van de dag, waarover deze ventilatiepatronen optreden, zijn aangegeven in de schema's A t/m C.

tabel 6: Aangehouden luchtdebieten bij het gebalanceerde ventilatiesysteem (systeem B) en het systeem met mechanische toevoer (systeem D) bij de verschillende ventilatiepatronen.

ventilatiepatroon ⁽¹⁾	stand ventilatie systeem	afzuigdebiet ⁽²⁾ (dm ³ /s)			toevoerdebiet (dm ³ /s)			
		keuk	badk	toilet	woonk	slk1	slk2	slk3
alles dicht luchten slk's ⁽³⁾ ventileren woonkamer/ keuken	midden	15,5	10,5	5,5	10,5	10,5	5,25	5,25
ventileren slk's ventileren badkamer	hoog	21	14	7	14	14	7	7

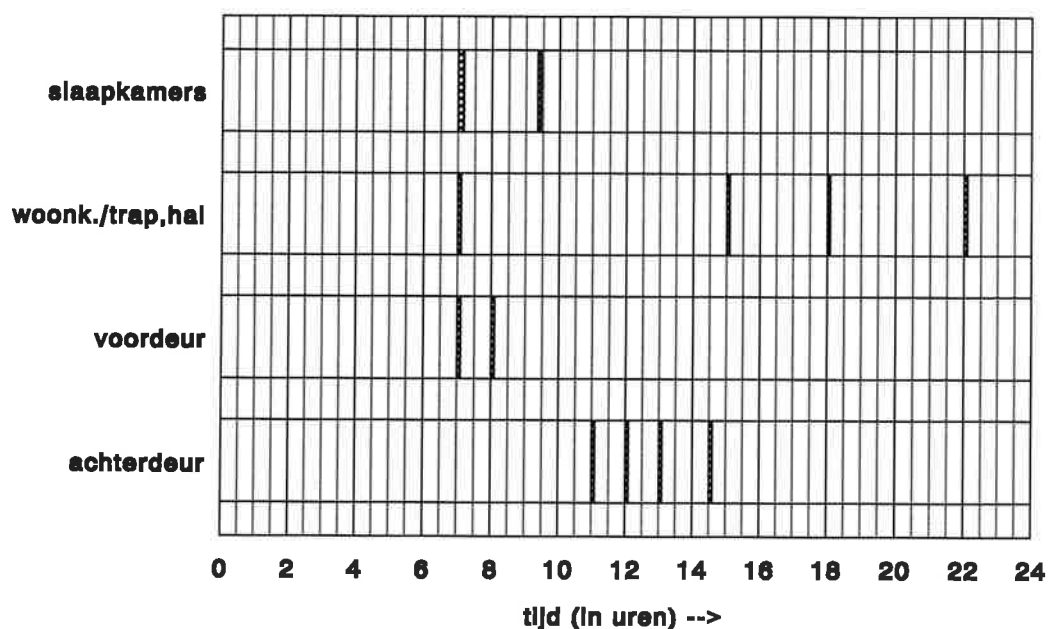
opm.: (1) Perioden van de dag, waarover deze ventilatiepatronen optreden, zijn aangegeven in de schema's A t/m C.

(2) Niet van toepassing bij mechanische toevoer (systeem D).

(3) Bij het luchten van de slaapkamers is, conform de situaties met natuurlijk ventilatiesysteem en mechanische afzuiging, gesimuleerd dat de ramen in de slaapkamers ver open zijn gezet (netto-doorlaat 1800 cm²). Bij de overige ventilatiepatronen is geen raamgebruik gesimuleerd in de situatie met gebalanceerd ventilatiesysteem en systeem met mechanische toevoer.

2.6 Gebruik binnen- en buitendeuren

Het aangehouden gebruik van de binnen- en buitendeuren is weergegeven in figuur 1.



- opm.: - doordat de deuren veelal kortstondig geopend zijn, ontstaat in de figuur een aantal maal slechts een streep i.p.v. een gearceerd oppervlak.
 - de voor- en achterdeur zijn steeds slechts circa 15 seconden geopend.

figuur 1: Het gebruik van de binnen- en buitendeuren (gearceerde oppervlak= openstaan) over de dag.

2.7 Binnenluchtkwaliteit

Om inzicht te verkrijgen in de binnenluchtkwaliteit, is bij het onderzoek de blootstelling van bewoners aan, door hen zelf geproduceerde, kooldioxide (CO_2) gesimuleerd.

De volgende karakteristieke bewoners zijn hiervoor gesimuleerd:

- een werkende partner;
- een verzorgende partner;
- een schoolgaand kind (van 14 jaar);
- een peuter.

Het gesimuleerde verblijf van deze bewoners in de woning is weergegeven in de figuren 2 t/m 5. Opgemerkt wordt dat het een verblijf voor een doordeweekse dag betreft, waarbij de werkende partner en het schoolgaande kind overdag afwezig zijn. De perioden, waarin bewoners afwezig zijn, zijn eveneens weergegeven in de figuren.

De CO₂-produktie door de bewoners wordt in het simulatiemodel bepaald volgens Bouwman [3]. De CO₂-produktie is hierbij voornamelijk afhankelijk van de activiteiten van de bewoners en hun afmetingen (dubois oppervlak).

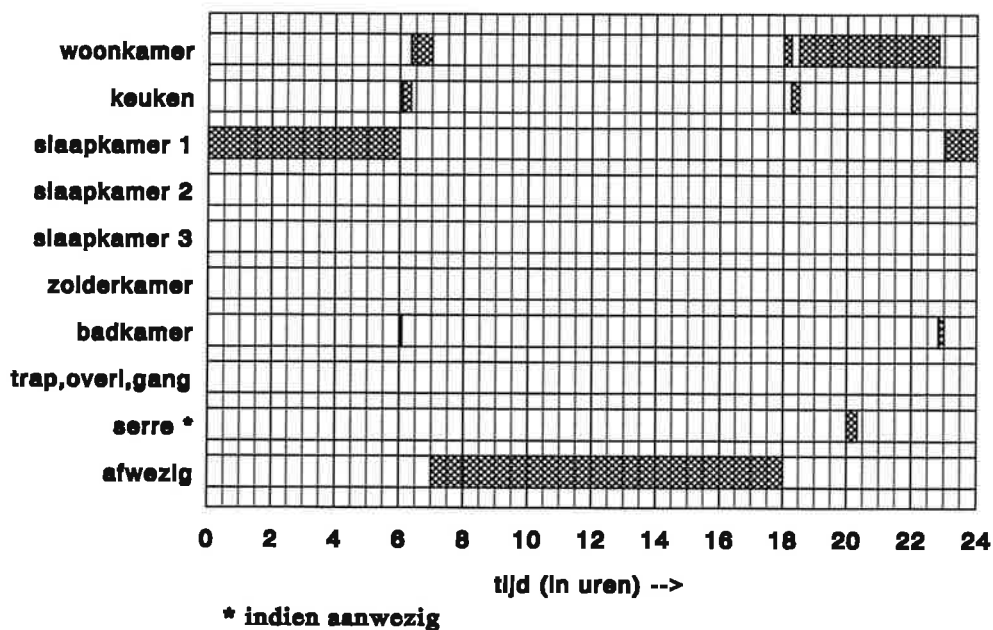
Omdat de bewoners zich in het simulatiemodel, volgens een opgegeven patroon, in de tijd van ruimte naar ruimte begeven, wisselt de bronsterkte per ruimte.

De CO₂-concentraties, waaraan bewoners blootgesteld worden, zal in de tijd variëren afhankelijk van het verblijf van de bewoners en de ventilatie van de woning (op zich weer afhankelijk van variaties in meteocondities, raamgebruik, etc).

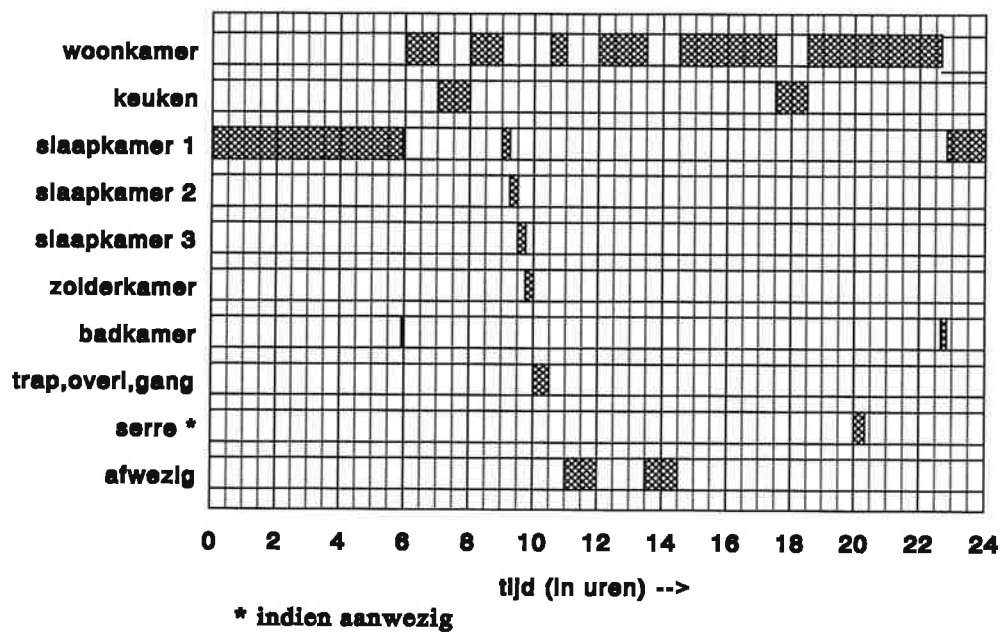
Over de gesimuleerde periode wordt per bewoner een distributieve frequentieverdeling bepaald van de blootstelling van betreffende bewoner aan CO₂-concentraties (percentages van de tijd bepaald dat bewoner aan verschillende niveau's van CO₂-concentraties wordt blootgesteld).

Het rekenmodel rekent de CO₂-concentraties vervolgens om naar een zogenaamde genormeerde effectieve ventilatie (Q_{en}). Hierbij wordt als grenswaarde aangehouden een verhoging van de CO₂-concentratie met 800 ppm t.o.v. de buitenluchtconcentratie [4]. Situaties, waarin de verhoging van de CO₂-concentratie t.o.v. de buitenlucht dus 800 ppm bedraagt, komen overeen met een Q_{en} van 1. Hogere CO₂-concentraties resulteren in een Q_{en} kleiner dan 1 én lagere CO₂-concentraties in een Q_{en} groter dan 1.

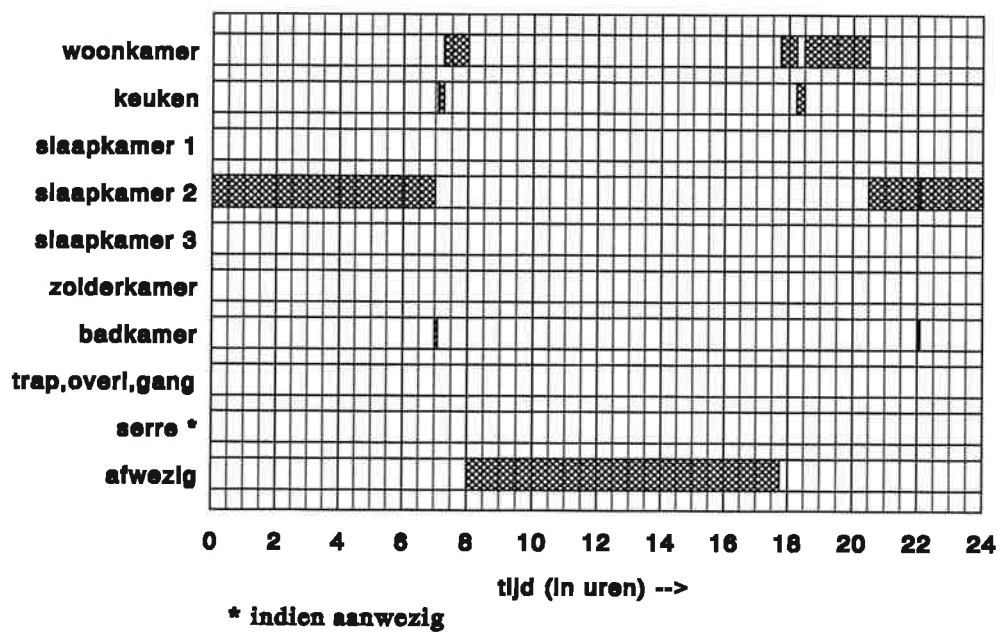
Het rekenmodel herleidt vervolgens een cumulatief histogram van de genormeerde effectieve ventilatie, waarin is aangegeven het percentage van de tijd dat een bepaalde Q_{en} wordt overschreden. Aan de hand deze figuren kan de blootstelling van een bewoner aan verontreinigingen, afhankelijk van zijn verblijf in de woning, goed beoordeeld worden.



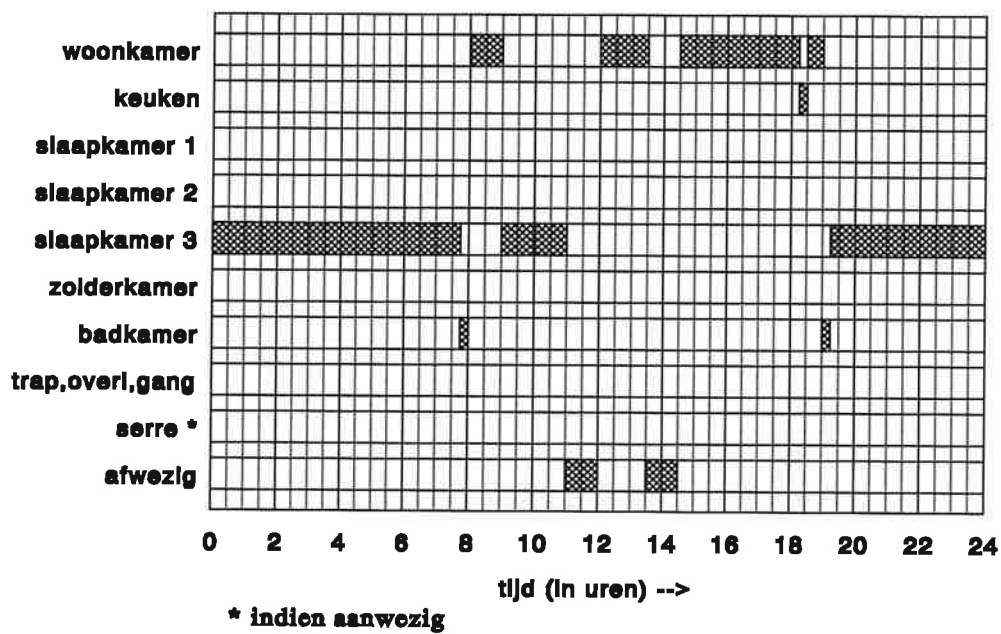
figuur 2: Verblijf in de verschillende ruimten over de dag (gearceerde oppervlakken) voor de werkende partner.



figuur 3: Verblijf in de verschillende ruimten over de dag (gearceerde oppervlakken) voor de verzorgende partner.



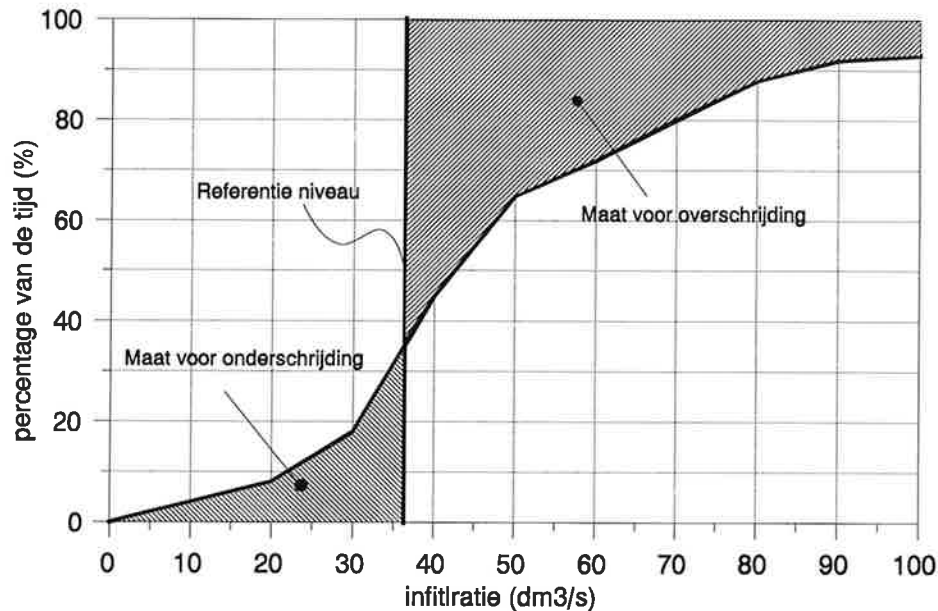
figuur 4: Verblijf in de verschillende ruimten over de dag (gearceerde oppervlakken) voor het schoolgaande kind.



figuur 5: Verblijf in de verschillende ruimten over de dag (gearceerde oppervlakken) voor de peuter.

3. OPZET NIEUWE FORMULES

Op basis van de modelberekeningen is per beschouwde variant (ventilatiesysteem in combinatie met luchtdoorlatendheid) een cumulatief histogram (zie figuur 6) gemaakt van het percentage van de tijd dat een bepaald infiltratiedebiet (infiltratiewarmteverlies) onderschreden wordt.



figuur 6: Voorbeeld cumulatief histogram met referentieniveau, onderschrijding en overschrijding.

Voor de opzet van de nieuwe formules is gestreefd naar:

- 1) het bepalen van één referentieniveau voor infiltratie en infiltratiewarmteverlies voor alle beschouwde varianten;
- 2) het bepalen per variant van de gemiddeld over het stookseizoen optredende onderschrijding en overschrijding van dit referentieniveau op basis van het cumulatieve histogram, waarbij vervolgens geldt:

$$\text{gemiddelde infiltratie(warmteverlies)} = \text{referentie} - \text{onderschrijding} + \text{overschrijding}$$

- 3) de onder- en overschrijdingen beschrijven afhankelijk van het ventilatiesysteem en/of luchtdoorlatendheid.

4. RESULTATEN

4.1 Infiltratie(warmteverlies)

Zoals in paragraaf 2.5.2 al is aangegeven, is het systeemdebiet bij de verschillende systemen vergelijkbaar en bedraagt circa $36 \text{ dm}^3/\text{s}$. Bij het mechanische afzuigstelsel, gebalanceerde ventilatiesysteem en het systeem met mechanische toevoer, betreft dit het mechanisch onderhouden luchtdebiet. Bij het natuurlijke ventilatiesysteem het, via de kanalen, afgevoerde luchtdebiet.

Als referentieniveau voor de infiltratie ten opzichte waarvan de gemiddeld over het stookseizoen optredende onderschrijdingen en overschrijdingen in debiet zullen worden vastgelegd (zie hoofdstuk 3), is dan ook dit systeemdebiet van $36 \text{ dm}^3/\text{s}$ aangehouden. Wat betreft gebalanceerde ventilatie (systeem B) en het systeem met mechanische toevoer (systeem D), is hierbij uitgegaan van geen raamgebruik anders dan voor spuien.

Als referentieniveau voor het energiegebruik, is het energiegebruik aangehouden als gevolg van het systeemdebiet.

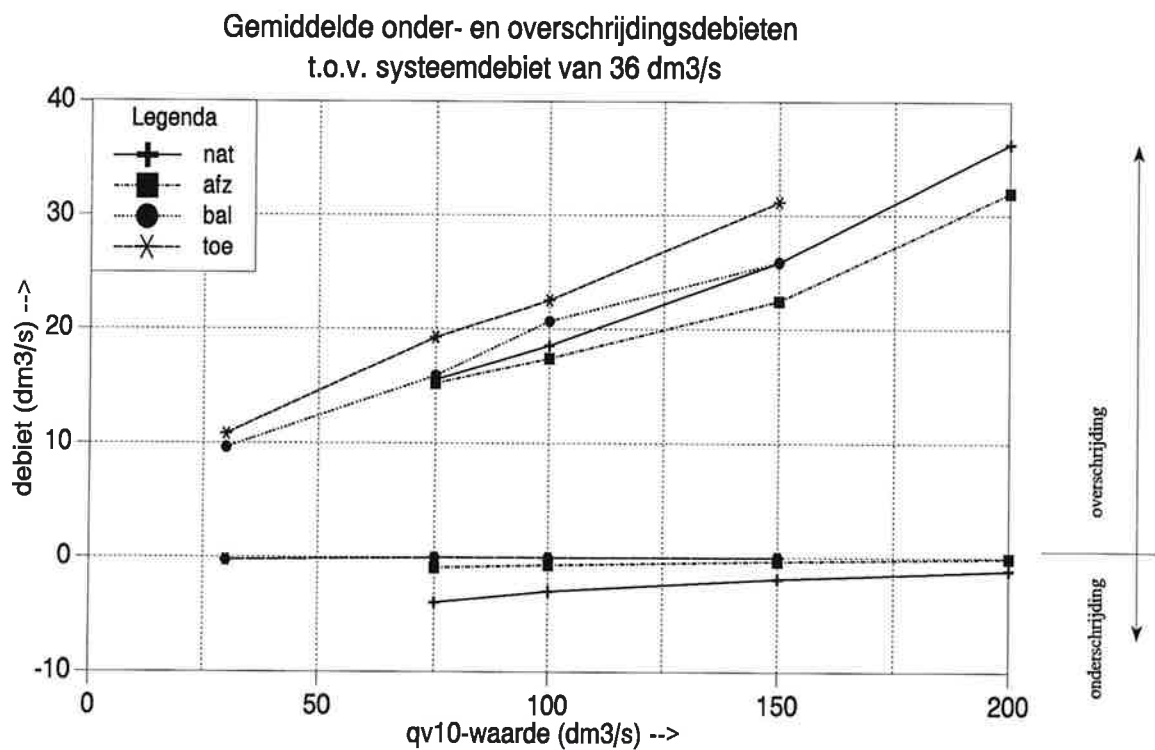
Uitgaande van:

- een stookseizoen van 180 dagen;
 - een gemiddeld temperatuurverschil tussen binnen en buiten over het stookseizoen van $11,8 \text{ K}$;
 - een soortelijke massa van de infiltratielucht van $1,27 \text{ kg/m}^3$ (luchttemperatuur 5°C);
- komt een systeemdebiet van $36 \text{ dm}^3/\text{s}$, overeen met een energiegebruik van $8,4 \text{ GJ}$.

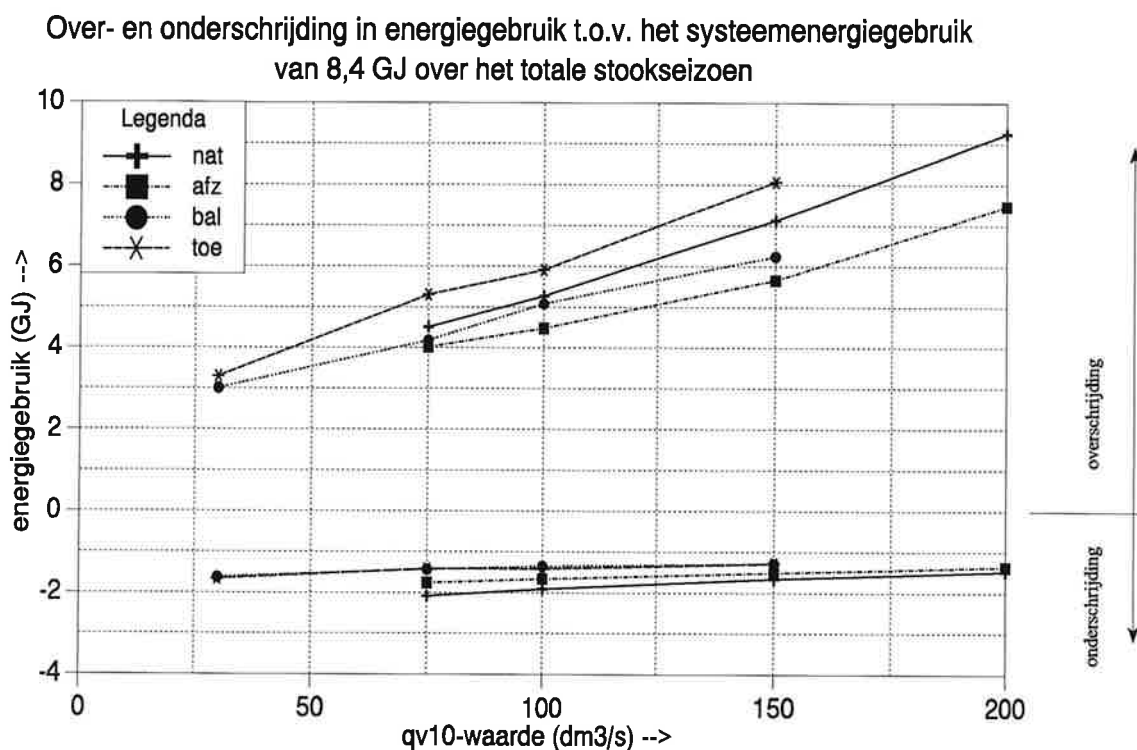
Ter illustratie zijn in bijlage C de met het modelonderzoek berekende cumulatieve histogrammen van infiltratie en infiltratiewarmteverlies weergegeven voor de verschillende ventilatiesystemen bij een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$. Het betreft hier histogrammen van het percentage van de tijd dat een bepaalde infiltratie(warmteverlies) wordt overschreden.

Aan de hand van deze histogrammen zijn de onder- en overschrijdingen in infiltratie en energiegebruik vastgesteld t.o.v. de hiervoor vermelde referentieniveaus. Voor de omrekening van het warmteverlies naar energiegebruik is hierbij uitgegaan van een stookseizoen van 180 dagen.

In bijlage D zijn de berekende onder- en overschrijdingen in tabelvorm voor de verschillende varianten weergegeven. In de figuren 7 en 8 is een en ander grafisch weergegeven.



figuur 7: Gemiddeld over het stookseizoen optredende onder- en overschrijdingsdebieten t.o.v. een systeemdebiet van 36 dm³/s bij de verschillende ventilatiesystemen afhankelijk van de luchtdoorlatendheid.



figuur 8: Gemiddeld over het stookseizoen optredende onder- en overschrijdingsdebieten t.o.v. een systeem energiegebruik van 8,4 GJ bij de verschillende ventilatiesystemen afhankelijk van de luchtdoorlatendheid.

4.2 Spuiventilatie

Bij alle beschouwde combinaties van ventilatiesystemen en luchtdoorlatendheden, bedraagt de spuiventilatie steeds (gemiddeld over het stookseizoen) 2,8 dm³/s. Als spuiventilatie is hierbij beschouwd het luchten van de slaapkamers.

4.3 Luchtkwaliteit

Ter illustratie zijn in bijlage E een aantal cumulatieve histogrammen weergegeven van de genormeerde effectieve ventilatie per bewoner gemiddelde over het stookseizoen (voor toelichting zie paragraaf 2.7).

Het betreft hier een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van 100 dm³/s met respectievelijk:

- natuurlijke ventilatie;
- mechanische afzuiging;
- gebalanceerde ventilatie.

5. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

5.1 Infiltratie(warmteverlies)

Uit figuur 7 blijkt dat de verschillen in onder- en overschrijdingsdebiet bij de verschillende systemen beperkt zijn. De gemiddelde infiltratie over het stookseizoen (= systeemdebiet + overschrijding - onderschrijding) is voor de verschillende systemen dus vergelijkbaar. Deze nivellering is een gevolg van het gebruik van de ventilatievoorzieningen, waarbij gesteeft is naar het voorkomen van situaties met een onacceptabele binnenluchtkwaliteit.

Dit is afwijkend ten opzichte van de huidige rekenregels in de NEN 5128, welke leiden tot verschillen in infiltratie voor de verschillende ventilatiesystemen. Zoals al aangegeven (zie hoofdstuk 1) komt dit omdat in de huidige NEN 5128 de infiltratie wordt beschreven met 3 aparte posten (gebaseerd op de bijlage van NEN 2687), waarbij de interactie tussen deze posten niet voldoende nauwkeurig beschouwd is.

Samenhangend hiermee zijn verder de infiltratiestromen volgens onderhavig model-onderzoek duidelijk lager dan de huidige regels in de NEN 5128. Voor een woning met een gebruiksoppervlak van 100 m², een $q_{v,10}$ -waarde van 143 dm³/s en een natuurlijk ventilatiesysteem, geeft de huidige NEN 5128 een infiltratie van 73 dm³/s en volgt uit figuur 7 (+ 2,8 dm³/s spuiventilatie, zie paragraaf 5.2) een infiltratie van circa 62 dm³/s. Voor een woning met een gebruiksoppervlak van 100 m², een $q_{v,10}$ -waarde van 62,5 dm³/s en een gebalanceerd ventilatiesysteem, geeft de huidige NEN 5128 een infiltratie van 74 dm³/s en volgt uit figuur 7 (+ 2,8 dm³/s spuiventilatie, zie paragraaf 5.2) een infiltratie van circa 53 dm³/s.

Uit figuur 7 blijkt duidelijk, zoals ook verwacht mag worden, dat bij toenemende luchtdoorlatendheid de overschrijdingsdebieten toenemen.

Verder blijkt dat alleen bij het natuurlijke ventilatiesysteem sprake is van een relevant onderschrijdingsdebiet. Bij de overige systemen zou echter eenvoudig een vergelijkbare mate van onderschrijding verkregen kunnen worden, door een kleine verandering in het gebruik van het mechanische systeem. Bijvoorbeeld iets meer gebruik maken van de laagstand en/of uitstand van de installatie.

De invloed van de luchtdoorlatendheid op de onderschrijdingen is, uitgezonderd voor de situatie met natuurlijke ventilatie, beperkt.

Uit figuur 8 blijkt dat ook in relatie tot energiegebruik de verschillen tussen de ventilatiesystemen beperkt zijn.

De overschrijdingen in energiegebruik vertonen weer een duidelijke relatie met de luchtdoorlatendheid.

De onderschrijdingen in energiegebruik stemmen bij de verschillende systemen beter met elkaar overeen als de onderschrijdingen in debiet (zie figuur 7). Er is een beperkte afhankelijkheid van de luchtdoorlatendheid zichtbaar.

Dat de onderschrijdingen in debieten en energiegebruik niet vergelijkbare tendenzen te zien geven, is een gevolg van de temperatuurverschillen waarbij de onderschrijdingen in debieten optreden. Schijnbaar treedt bij natuurlijke ventilatie dus een wezenlijke onderschrijding in debieten op, maar geeft dit geen verhoogde (i.r.t. de andere systemen) onderschrijding in energiegebruik omdat de temperatuurverschillen bij de debietsonderschrijding groot zijn. Dit is ook te verwachten, want bij grote

temperatuurverschillen (lage buitentemperaturen) zal men de ventilatie beperken door het sluiten van ramen.

Voor de beoordeling van de energiegebruiken dient men zich te realiseren, dat een energiegebruik van 1 GJ overeenstemt met een gasverbruik van circa 40 m³.

5.2 Spuiventilatie

De spuiventilatie verschilt niet voor de beschouwde combinaties van ventilatiesystemen en luchtdoorlatendheden.

In de nieuwe rekenregels kan de spuiventilatie dan ook door met een vaste waarde in rekening gebracht worden.

5.3 Luchtkwaliteit

Uit bijlage E blijkt dat de genormeerde effectieve ventilatie per bewoner voor de verschillende ventilatiesystemen vergelijkbaar is. Een effectieve ventilatie kleiner dan 1 (waarbij de CO₂-concentraties de grenswaarde van 800 ppm verhoging t.o.v. buiten overschrijden), treedt bij de verschillende systemen nauwelijks op.

6. VOORSTEL VOOR NIEUWE FORMULES

Het voorstel luidt de ventilatie en infiltratie in de NEN 5128 zo op te bouwen, dat wordt uitgegaan van een basisniveau gelijk aan het systeemdebiet (zoals dat bij alle ventilatiesystemen optreedt) van $36 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Voor alle ventilatiesystemen dient daarbij voor de infiltratie door spuien een vaste waarde (ongeacht de luchtdoorlatendheid) aangehouden worden van $2,8 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Verder moet nog een extra energiegebruik door ventilatie en infiltratie in rekening gebracht worden, welke alleen een functie is van de luchtdoorlatendheid conform de figuren 7 en 8 (verdiscontering van de onder- en overschrijdingen).

Mogelijk kan via een aanwijzing worden aangegeven dat bij gebalanceerde ventilatie (systeem B) en het systeem met mechanische toevoer (systeem D) een $q_{v,10}$ -waarde tussen de 25 en $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ moet worden gekozen en voor de andere systemen tussen de 75 en $200 \text{ dm}^3/\text{s}$.

De nieuwe situatie heeft veel voordelen:

- de formules worden eenvoudiger en inzichtelijker;
- er is geen onderscheid meer tussen ventilatiesystemen.

7. CONCLUSIES

- 1) Op basis van het uitgevoerde modelonderzoek kunnen eenvoudige en inzichtelijke formules afgeleid worden voor het beschrijven van de infiltratie en het bijbehorende energiegebruik van woningen.
- 2) Een voorstel voor nieuw op te zetten formules is, uitgaan van:
 - een basis infiltratie van $36 \text{ dm}^3/\text{s}$, zijnde het systeemdebiet zoals dat bij alle beschouwde ventilatiesystemen (ongeacht de luchtdoorlatendheid) optreedt;
 - een infiltratie van $2,8 \text{ dm}^3/\text{s}$ voor spuien (ongeacht ventilatiesysteem en luchtdoorlatendheid);
 - een extra infiltratie afhankelijk van de luchtdoorlatendheid (maar onafhankelijk van het ventilatiesysteem).
- 3) In vergelijking tot de huidige NEN 5128, geven de resultaten van het uitgevoerde modelonderzoek:
 - een lagere infiltratie en energiegebruik;
 - geen verschillen in infiltratie en energiegebruik afhankelijk van het ventilatiesysteem.



ing. W. Kornaat
Auteur



ir. H.J. Nicolaas
Afdelingshoofd Luchtkwaliteit,
Installaties, Ventilatie en Energie

LITERATUUR

- [1] Phaff ing.J.C.
Beschrijving van het programma VENCON voor woningen.
Een model voor ventilatie van gebouwen en verspreiding van binnenlucht-
verontreinigingen.
TNO rapport B-92-1217, Delft, 1992

- [2] Cornelissen ing.H.J.M.
Seizoensdagen.
MT-TNO memorandum, 11 sept. 1990

- [3] Bouwman ir.H.B., P.E. Joosting.
Binnenklimaat in gebouwen.
Het verband tussen de CO₂-afgifte van de mens, het metabolisme en enkele andere
parameters.
IMG-TNO rapport C457, Delft, 1980

BIJLAGE A

VERKLARING VAN ENIGE TERMEN EN DEFINITIES

Netto-doorlaatoppervlak:

Het netto-doorlaatoppervlak van een ventilatievoorziening of meer algemeen een opening kan bepaald worden met de volgende formule:

$$A_{netto} = \mu * VD * A_{bruto} \quad (m^2)$$

waarin:

- A_{netto} = netto-doorlaatoppervlak (m^2);
- μ = contractiecoëfficiënt (-) ;
- VD = vrije doorlaat factor (-) ;
- A_{bruto} = bruto oppervlak (m^2).

Het vrije doorlaatoppervlak van een opening kan kleiner zijn dan het bruto oppervlak. Denk hier, bijvoorbeeld bij toepassing van een ventilatierooster, aan de roosterlamellen die de daadwerkelijke doorlaat verkleinen. Met de factor VD wordt uit het bruto oppervlak het daadwerkelijke vrije doorlaatoppervlak van de opening bepaald. De factor VD zal afhankelijk van de uitvoering van de opening sterk kunnen variëren.

Bij een luchtstroming door een opening vindt een insnoering van de luchtstroming plaats. Het werkelijke doorlaatoppervlak wordt hierdoor in principe kleiner dan het vrije doorlaatoppervlak. Dit wordt in rekening gebracht met de zogenaamde contractiecoëfficiënt. Contractiecoëfficiënten kunnen aan de literatuur ontleend worden en zijn sterk afhankelijk van de uitvoering van de opening.

Infiltratie:

Onder infiltratie wordt verstaan lucht, die lucht van buiten af een woning/gebouw instroomt.

Ventilatie:

Onder ventilatie wordt verstaan alle lucht, die een woning/gebouw instroomt. Ventilatie betreft dus niet, zoals infiltratie, alleen lucht afkomstig van buiten, maar ook lucht afkomstig uit bijvoorbeeld andere ruimten.

Systeemdebiet:

Onder het systeemdebiet wordt het ventilatiedebiet verstaan dat onderhouden wordt door het ventilatiesysteem. Bij een mechanisch systeem betreft dit het mechanisch toegevoerde en/of afgevoerde luchtdebiet. Bij een natuurlijk ventilatiesysteem het via de ventilatiekanalen afgevoerde luchtdebiet.

Genormeerde effectieve ventilatie (Q_{en}):

De genormeerde effectieve ventilatie is gedefinieerd als de verhouding tussen de grensconcentratie (C_{grens}) en de momentaan optredende verontreinigingsconcentratie (C_t):

$$Q_{en} = \frac{C_{grens}}{C_t} \quad (-)$$

Een genormeerde effectieve ventilatie van 1, duidt dus op een juist toereikende ventilatie, waarbij de optredende verontreinigingsconcentratie gelijk is aan de ingevoerde grenswaarde.

Een genormeerde effectieve ventilatie kleiner dan 1, duidt op een onvoldoende ventilatieniveau, waarbij concentraties optreden hoger dan de grenswaarde.

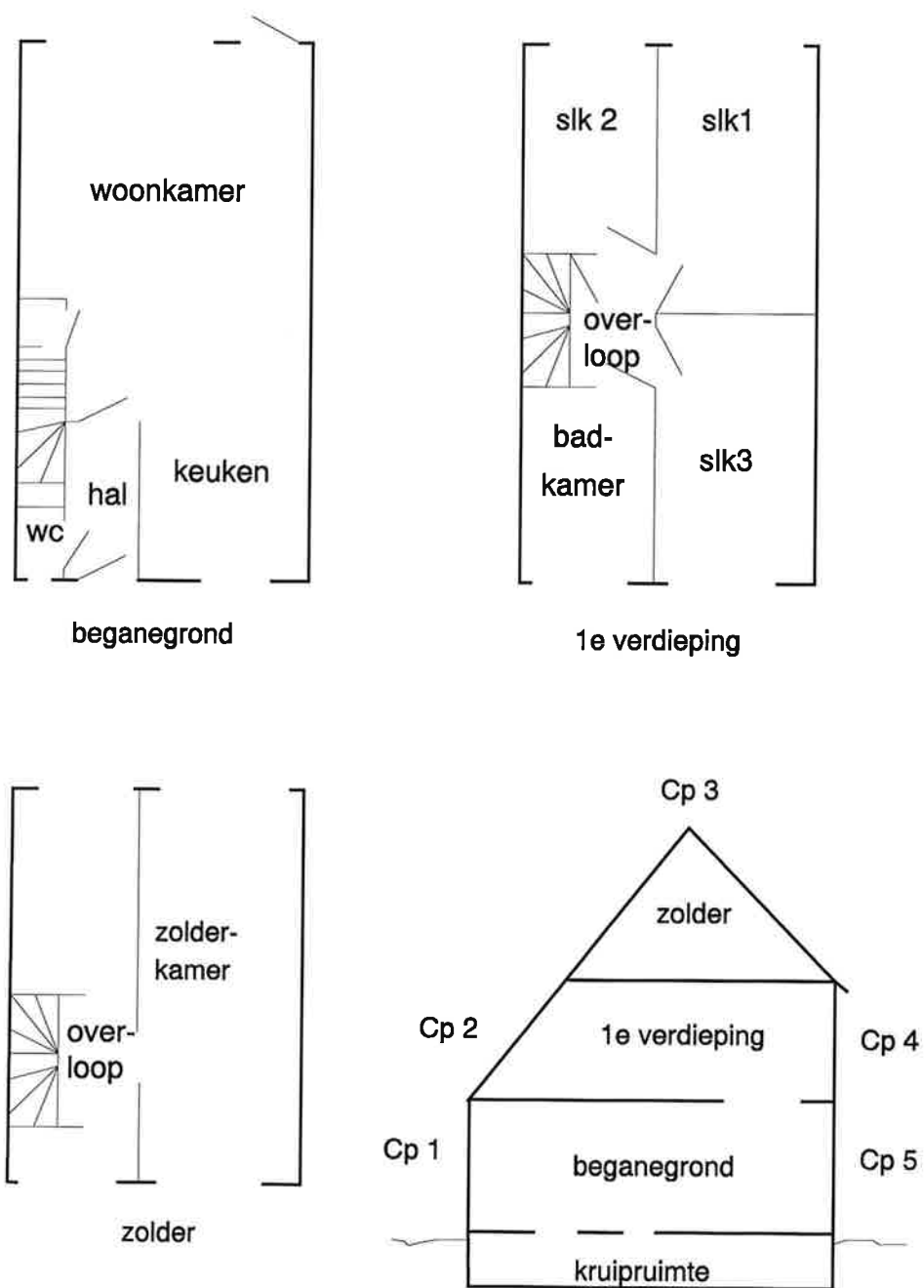
Een genormeerde effectieve ventilatie groter dan 1, duidt op een voldoende ventilatieniveau, waarbij concentraties optreden lager dan de grenswaarde.

Winddrukcoëfficiënt:

Een winddrukcoëfficiënt is een dimensieloze grootte, die vermenigvuldigd met de dynamische druk van de windsnelheid de lokale onder- of overdruk geeft ten gevolge van windaanval.

BIJLAGE B

MODELGEGEVENS



figuur B1: Plattegrond en doorsnede van de eengezinswoning.

tabel B1 : Overzicht winddrukcoëfficiënten.

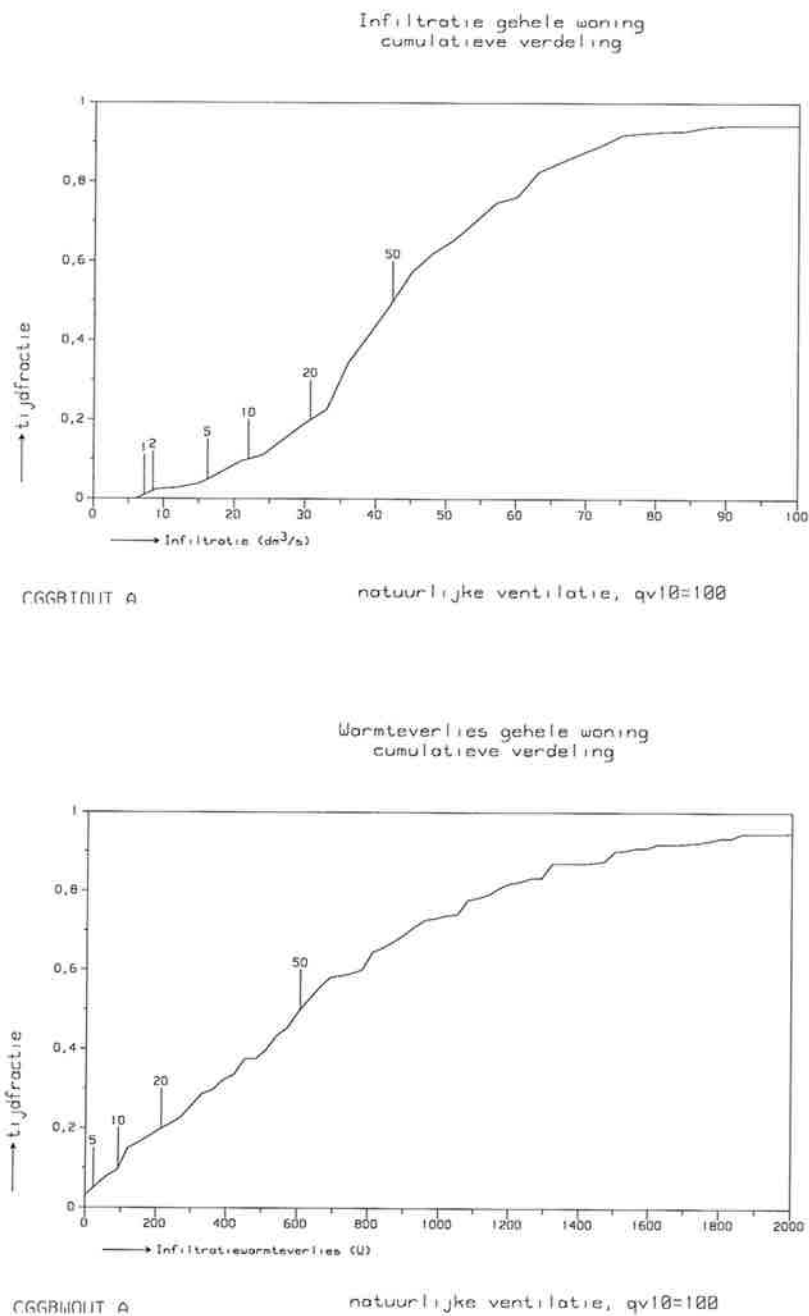
positie ¹	winddruk- coëfficiënt ² (-)
1	-0,15
2	-0,10
3	-0,18
4	0,15
5	0,15

opm.:

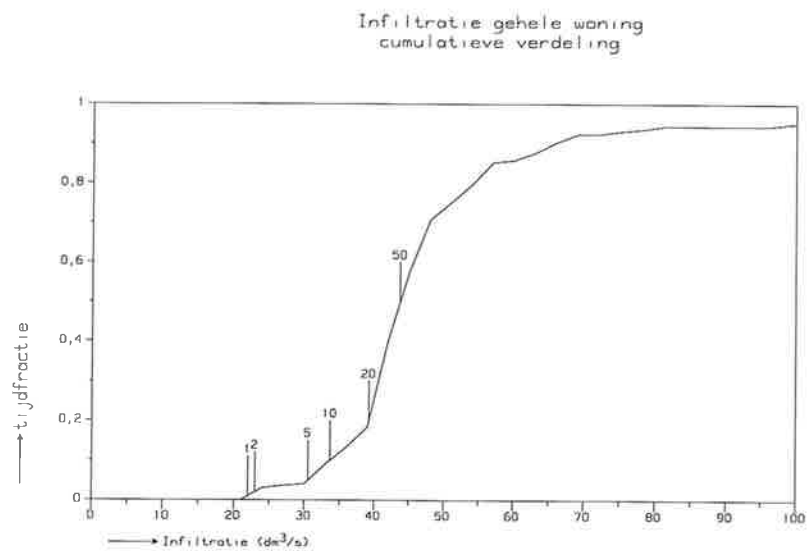
- 1) zie figuur B1
- 2) wind op woonkamergevel (=achtergevel)

BIJLAGE C

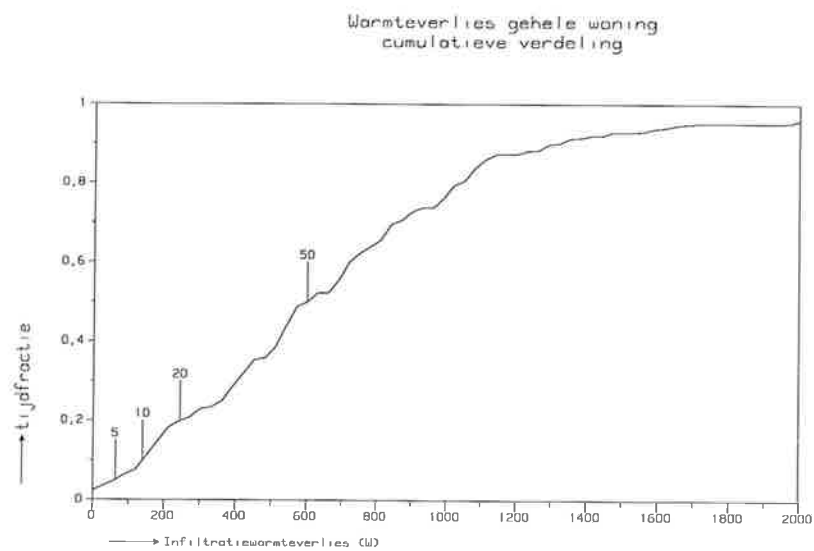
CUMULATIEVE HISTOGRAMMEN INZAKE INFILTRATIE EN INFILTRATIEWARMTEVERLIES



figuur C1: Cumulatieve histogrammen van de optredende infiltratie en infiltratiewarmteverliezen bij de variant met een natuurlijk ventilatiesysteem (systeem A) in een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$.

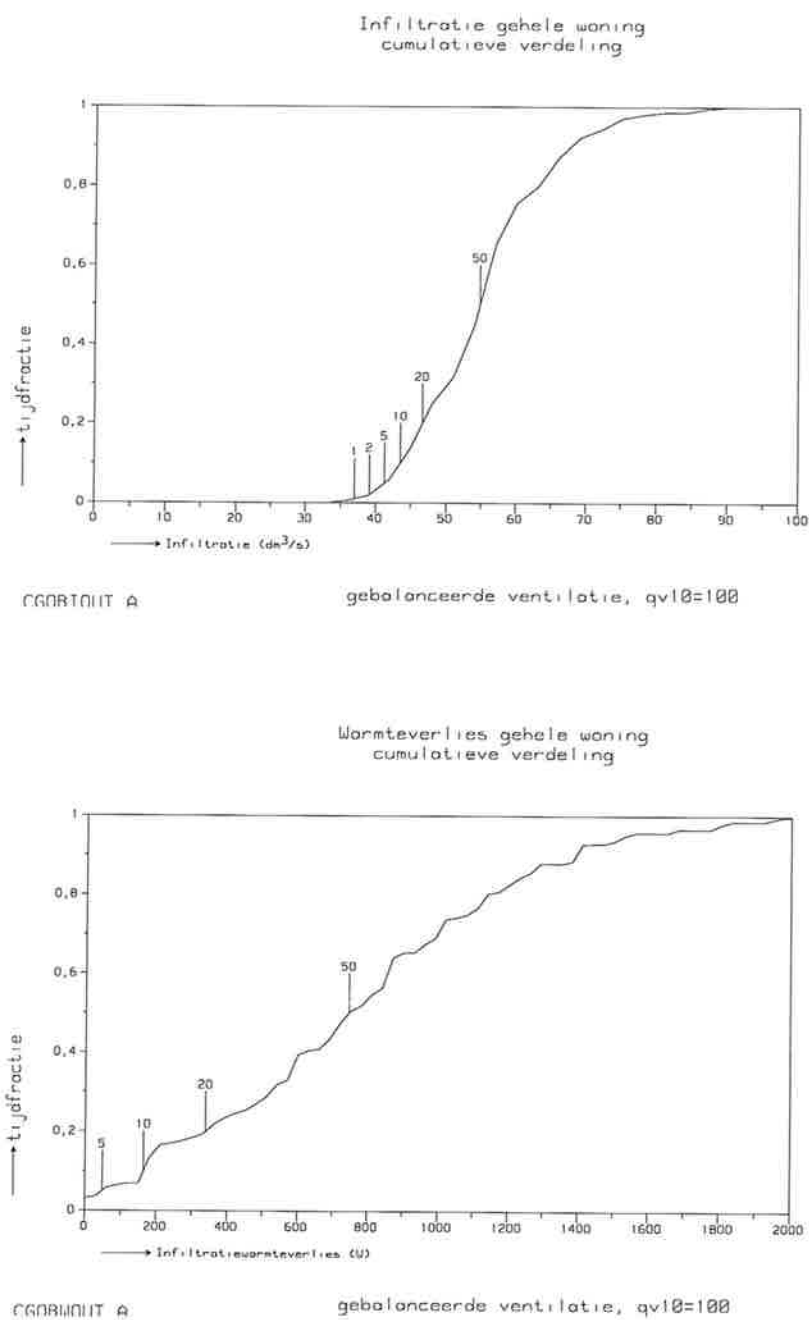


mechanische afzuiging, $q_{v10}=100$

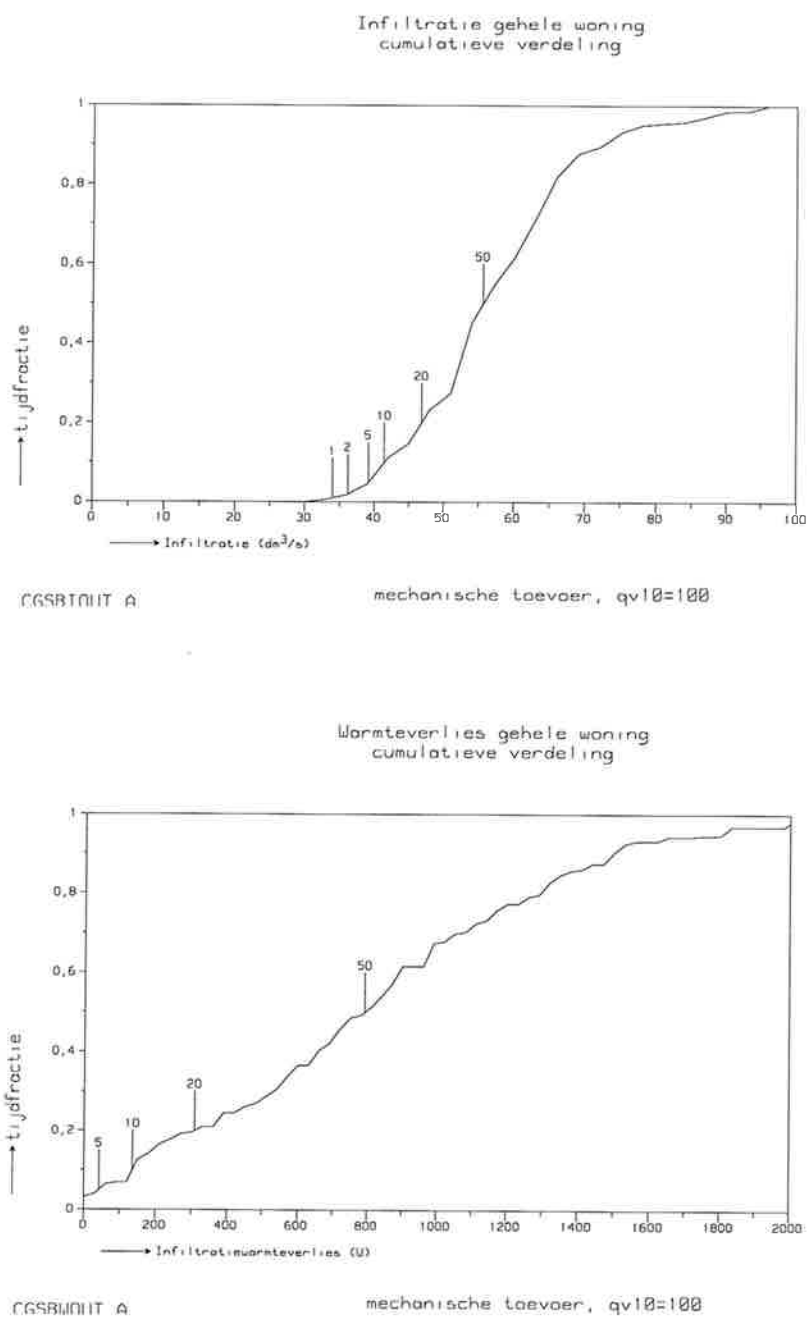


mechanische afzuiging, $q_{v10}=100$

figuur C2: Cumulatieve histogrammen van de optredende infiltratie en infiltratiewarmteverliezen bij de variant met een mechanische afzuigstelsel (stelsel C) in een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$.



figuur C3: Cumulatieve histogrammen van de optredende infiltratie en infiltratiewarmteverliezen bij de variant met een gebalanceerd ventilatiesysteem (systeem B) in een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van 100 dm^3/s .



figuur C4: Cumulatieve histogrammen van de optredende infiltratie en infiltratiewarmteverliezen bij de variant met een systeem met mechanische toevoer (systeem D) in een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$.

BIJLAGE D

TABELLEN MET ONDER- EN OVERSCHRIJDINGEN T.O.V. SYSTEEMDEBIET EN BIJBEHOREND ENERGIEGEBRUIK

tabel D1: Onder- en overschrijdingsdebiet (gemiddeld over het stookseizoen) t.o.v. systeemdebiet van 36 dm³/s bij de verschillende ventilatiesystemen en luchtdichtheden.

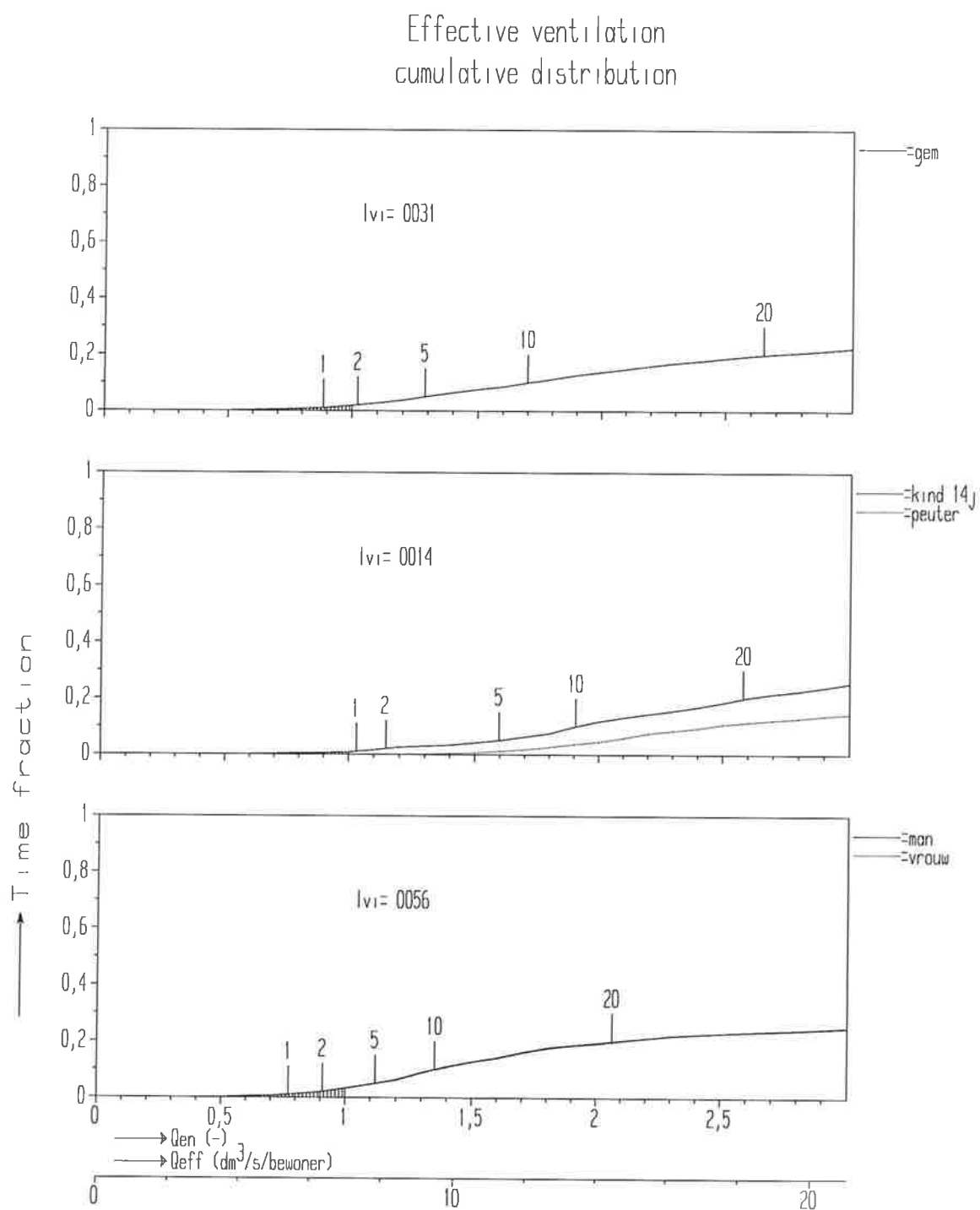
overschrijdingsdebiet (dm ³ /s) onderschrijdingsdebiet (dm ³ /s)					
ventilatie systeem	luchtdoorlatendheid in dm ³ /s bij 10 Pa (q _{v,10} -waarde)				
	30	75	100	150	200
natuurlijke ventilatie (A)	- -	15,55 -3,94	18,54 -2,96	25,86 -1,88	36,25 -1,13
mechanische afzuiging (C)	- -	15,23 -0,88	17,42 -0,66	22,45 -0,33	31,96 -0,08
gebalanceerde ventilatie (B)	9,63 -0,22	15,90 -0,04	20,69 -0,01	25,86 -0,01	- -
mechanische toevoer (D)	10,82 -0,21	19,27 -0,04	22,52 -0,04	31,16 -0,02	- -

tabel D2: Onder- en overschrijdingen in energiegebruik (gemiddeld over het stookseizoen)
t.o.v. systeemenergiegebruik van 8,4 GJ bij de verschillende ventilatiesystemen
en luchtdichtheden.

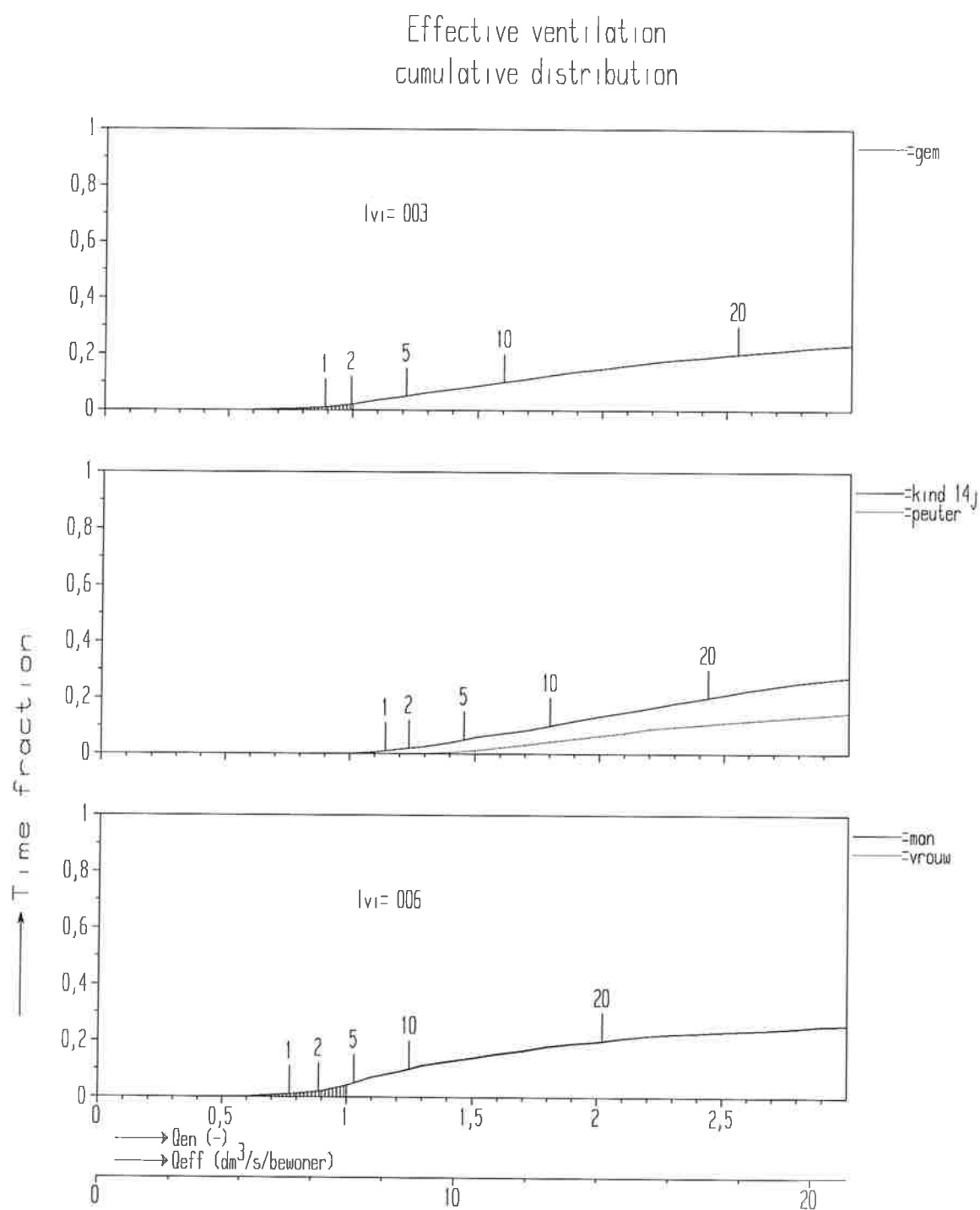
overschrijding (GJ) onderschrijding (GJ)					
ventilatie systeem	luchtdoorlatendheid in dm ³ /s bij 10 Pa (q _{v,10} -waarde)				
	30	75	100	150	200
natuurlijke ventilatie (A)	-	4,51	5,27	7,13	9,25
	-	-2,08	-1,90	-1,66	-1,48
mechanische afzuiging (C)	-	4,01	4,48	5,66	7,48
	-	-1,76	-1,66	-1,51	-1,36
gebalanceerde ventilatie (B)	3,01	4,18	5,08	6,24	-
	-1,62	-1,43	-1,35	-1,28	-
mechanische toevoer (D)	3,30	5,30	5,92	8,07	-
	-1,66	-1,41	-1,42	-1,28	-

BIJLAGE E

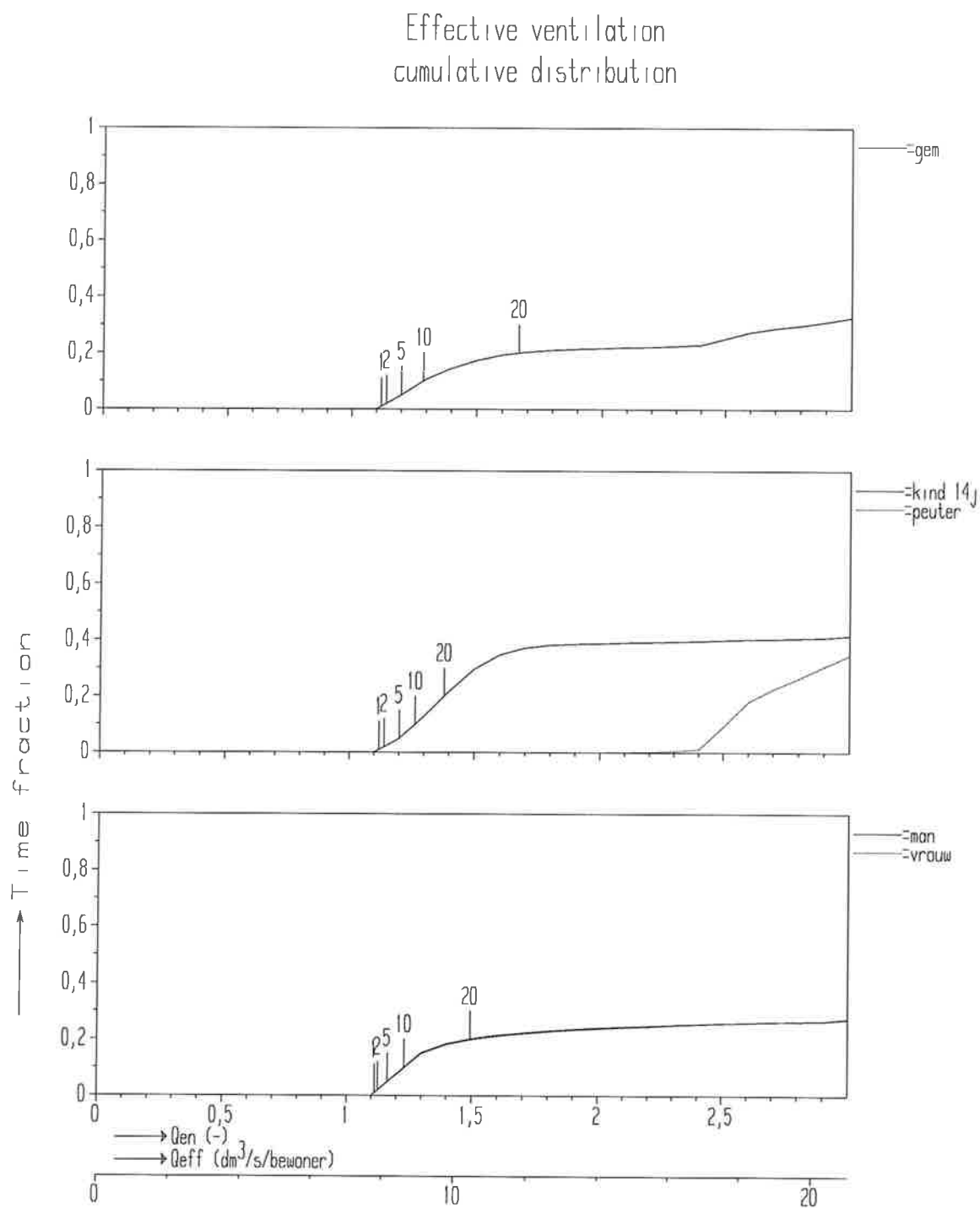
HISTOGRAMMEN GENORMEERDE EFFECTIEVE VENTILATIE



figuur E1: Histogrammen van de genormeerde effectieve ventilatie (Q_{en}) over het stookseizoen voor de verschillende bewoners bij een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ en een natuurlijk ventilatiesysteem (systeem A).



figuur E2: Histogrammen van de genormeerde effectieve ventilatie (Q_{en}) over het stookseizoen voor de verschillende bewoners bij een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ en een mechanisch afzuigstelsel (stelsel C).



figuur E3: Histogrammen van de genormeerde effectieve ventilatie (Q_{en}) over het stookseizoen voor de verschillende bewoners bij een woning met een $q_{v,10}$ -waarde van 100 dm³/s en een gebalanceerd ventilatiesysteem (systeem B).