

TNO-rapport

Rapport nr.: R 88/049

Auteur: Ing B. Knoll

EISEN VOOR ZELFREGELEND VENTILATIE- ROOSTERS IN EENGEZINSWONINGEN

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie
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 Onderzoeks-
en Ontwikkelingsopdrachten TNO 1979',
dan wel de desbetreffende terzake
tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 1988 TNO

Afdeling Binnenmilieu

Datum : 1988-02-09

Opdrachtnr. : 17552

Opdrachtgever:

De uitvoering van dit project wordt on-
dersteund door het Projectbeheerbureau
Energie-Onderzoek (PEO) in het kader
van het nationaal programma Rationeel
Energiegebruik in de Gebouwde Omgeving
(REGO)

Projectnr.: 11.31-140.10

INHOUDblz.

SAMENVATTING	3
1. INLEIDING	4
2. VENTILATIE-UITGANGSPUNTEN VOLGENS NORM	6
3. PRINCIPE VAN ZELFREGELENDEN ROOSTERS	8
4. EISEN AAN ZELFREGELENDEN ROOSTERS MET BETREKKING TOT VENTILATIE	10
4.1 Algemeen	10
4.2 Plaats van roosters	10
4.3 Drukgebied waarbinnen moet worden geregeld	10
4.4 Blootstelling aan extreme drukschommelingen	14
4.5 Toevoer of afvoer	16
4.6 Compensatie voor woninglekken	17
4.7 Sluiten en instellen van het rooster	19
5. OVERIGE EISEN AAN ZELFREGELENDEN ROOSTERS	21
6. AANVULLENDE EISEN EN WENSEN TEN AANZIEN VAN DE WONING	23
7. TOEPASSINGSGEBIED EN EFFECT VAN ZELFREGELENDEN ROOSTERS	25
7.1 Toepassingsgebied	25
7.2 Effect	25
8. CONCLUSIE	28
9. LITERATUUR	30

SAMENVATTING

Om een aanvaardbare luchtkwaliteit te bereiken en tevens het energieverbruik te beperken is het noodzakelijk dat de ventilatie van woningen op een gewenste waarde kan worden ingesteld en gehouden. Met de bestaande ventilatievoorzieningen in woningen met natuurlijke ventilatie of mechanische afzuiging is dit echter praktisch niet mogelijk. Dit wordt veroorzaakt door het grote aantal invloedsfactoren en de sterke variatie van belangrijke invloedsfactoren zoals de wind, alsmede door het ontbreken van goede signalen die het ventilatieniveau aangeven.

Met zelfregelende roosters is het echter mogelijk de toevoer van ventilatielucht in te stellen en nagenoeg constant te houden. Hiervoor dienen de roosters aan bepaalde ventilatietechnische en andere eisen te voldoen. Deze eisen zijn in dit rapport samengevat en toegelicht.

1. INLEIDING

Ventilatie van woningen is noodzakelijk om geurproblemen, vochtproblemen en dergelijke te voorkomen. Uit het oogpunt van energieverbruik dient de ventilatie echter zo klein mogelijk te zijn. Dit vereist voorzieningen die de ventilatie beperken tot een vooraf ingestelde waarde.

Nu bezitten woningen kieren en naden, maar ook kanalen waardoor ongecontroleerde luchtstromen gaan. Aan kieren en naden worden daarom eisen gesteld in een nieuwe norm (NEN 2687) [1]. Aan kanalen en regelbare ventilatievoorzieningen, zoals klappramen en roosters, worden eveneens eisen gesteld (NEN 1087) [2].

De bedoeling is dat de regelbare ventilatievoorzieningen door de bewoners steeds zo worden ingesteld dat juist in de minimale verse-luchtbehoefte wordt voorzien. In de praktijk blijkt dit echter, zelfs bij goed traploos instelbare voorzieningen, ondoenlijk. Dit komt doordat de ventilatie van een vertrek, behalve van de instelling van ventilatievoorzieningen, sterk afhankelijk is van de volgende factoren:

- windsnelheid,
- windrichting,
- vorm van de woning,
- obstakels in de omgeving van de woning,
- temperatuurverschil tussen binnen en buiten,
- woningindeling,
- luchtlek van de woning,
- standen van binnendeuren,
- plaats en grootte van afvoerkanalen,
- standen van ventilatievoorzieningen in andere vertrekken.

Het complexe samenspel van deze factoren bepaalt de ventilatie. De ondoorzichtigheid hiervan in combinatie met de geringe herkenbaarheid en sterke variatie van een aantal factoren maakt een optimale handinstelling van ventilatievoorzieningen onmogelijk. Het ontbreken van goede signalen die de gewenste ventilatie aangeven is hier mede debet aan. In de praktijk blijkt dat hierdoor ruwweg éénderde van de bewoners te weinig, éénderde gemiddeld redelijk en éénderde te veel ventileert. Dit leidt tot nadelige effecten op het energieverbruik en het binnenmilieu.

In de huidige woningbouw tracht men dit op te lossen door mechanische afzuiging op de afvoerkanalen toe te passen. Dit blijkt wel de totale woningventilatie gunstig te beïnvloeden, maar de ventilatie van afzonderlijke vertrekken blijft vaak onvoldoende [3]. Een oplossing voor nieuw te bouwen woningen is gebalanceerde ventilatie, veelal gecombineerd met (lucht)verwarming. Er blijft echter een aanzienlijk bestand aan bestaande woningen met natuurlijke ventilatie of mechanische afzuiging.

Hier blijken zelfregelende roosters een sterke verbetering van de ventilatie te kunnen geven [4]. Er moet dan wel worden voldaan aan een aantal voorwaarden die in dit rapport worden samengevat. Dit is belangrijk omdat in het verleden het niet voldoen aan dergelijke voorwaarden heeft geleid tot mislukkingen van ontwikkelingen op dit gebied.

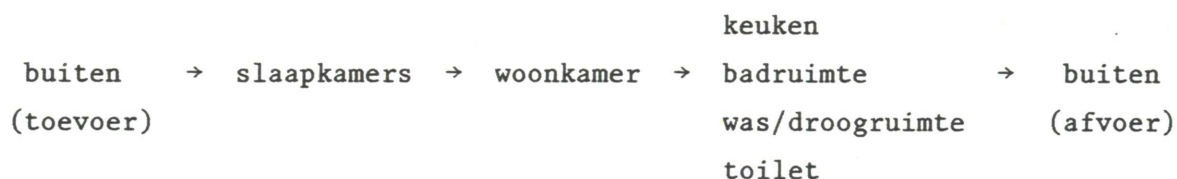
2. VENTILATIE-UITGANGSPUNTEN VOLGENS NORM

In de norm NEN 1087 [2] wordt de benodigde minimum ventilatie van woningen aangegeven. Voor de permanente ventilatie van woon- en slaapvertrekken worden menselijke lichaamsgeuren bepalend geacht. Voor de keuken wordt warmte en vocht van kooktoestellen bepalend geacht. In badruimte, was/droogruimte en toilet wordt vocht bepalend geacht. Samengevat noemt de norm de volgende minimum lucht volumestromen:

woonkamer	21-42 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(75-150 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
slaapkamer per persoon	ca. 7 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(ca. 25 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
keuken	21-42 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(75-150 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
badruimte	14 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(50 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
was/droogruimte	14 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(50 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
toilet	7 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(25 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)

De norm stelt nog dat deze volumestromen onder vrijwel alle omstandigheden, afhankelijk van de behoefte moeten kunnen worden ingesteld. Bovendien dienen de ventilatievoorzieningen traploos regelbaar te zijn.

Als toegestane stromingsrichting wordt genoemd:



Dit betekent dat het theoretisch mogelijk is dat de totale woning met minimaal $21-42 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ventilatievouden van circa 0,2 tot 0,6 per uur) wordt geventileerd. Vaak wordt dit als ontwerpgegeven beschouwd zonder dat voldoende duidelijk is of een juist gebruik van de voorzieningen mogelijk is of dat de juiste stromingsrichting kan worden gewaarborgd.

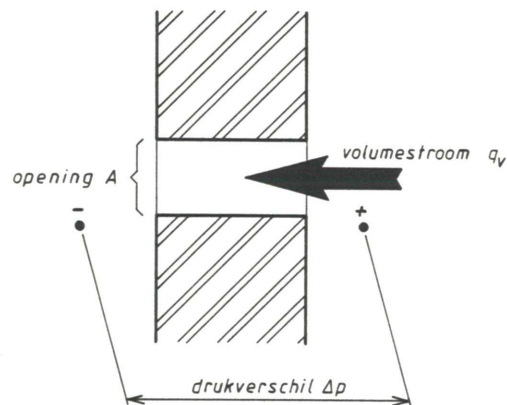
In de bij de norm behorende Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 1085 [5] wordt aangegeven met welke ventilatievoorzieningen de normventilatie kan worden gerealiseerd. Voor natuurlijke ventilatiesystemen noemt men de volgende voorzieningen:

	regelbare gevel- of dakopeningen	afvoerkanalen
woonkamer	x	
slaapkamers	x	
keuken	x	x
badruimte		x
was/droogruimte		x
toilet		x

Voor mechanische ventilatiesystemen wordt in de eenvoudige vorm hetzelfde schema genoemd waarbij de afvoerkanalen zijn voorzien van een ventilator. In uitgebreidere vorm zijn gebalanceerde toe- en afvoersystemen mogelijk al of niet voorzien van verwarming van de toevoerlucht, bijmenging van recirculatielucht en warmteterugwinning.

3. PRINCIPE VAN ZELFREGELENDEN ROOSTERS

Luchttransport via een al of niet voor ventilatie bedoelde opening in de woningschil vindt plaats ten gevolge van een drukverschil over de opening (figuur 1).



Figuur 1: Luchttransport door een opening ontstaat door drukverschil.

De grootte van het luchttransport (de volumestroom) is afhankelijk van de grootte van het drukverschil en van de grootte en weerstand van de opening, in formule:

$$q_v = A \times (2\Delta p)^{1/n} \times \rho^{-0,5} \quad (1)$$

waarin:

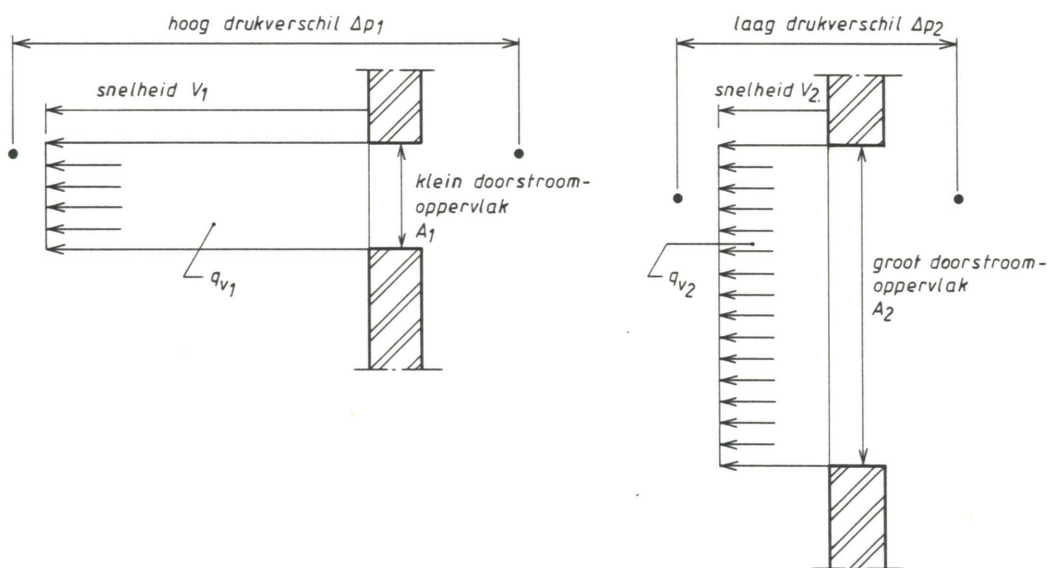
q_v	= lucht volumestroom door de opening	[m ³ /s]
A	= doorstroomoppervlak van de opening	[m ²]
Δp	= drukverschil over de opening	[Pa]
n	= coëfficiënt voor de aard van de stroming	[-]
	$n = 1$ bij laminaire stroming	
	$n = 2$ bij turbulente stroming	
ρ	= soortelijke massa van lucht	[kg/m ³]

Het drukverschil (Δp) over openingen in de woningschil varieert in de praktijk binnen een bepaald bereik.

De momentane waarden worden bepaald door de reeds in hoofdstuk 1 genoemde invloedsfactoren. Vooral de windsnelheid heeft een belangrijke invloed, waarbij de vlagerigheid van de wind zorgt voor snelle, aanzienlijke fluctuaties.

Het doorstroomoppervlak (A) bepaalt met de vorm van de opening de weerstand die de stroming ondervindt. Dit uit zich in de aard van de stroming (n).

Het principe van zelfregelende roosters komt er op neer dat afhankelijk van het optredende drukverschil de grootte en/of weerstand van ventilatie-openingen automatisch wordt bijgesteld, zodanig dat de volumestroom constant blijft. In principe is ook het compenseren van het drukverschil tot een constante waarde bij een vaste opening mogelijk. Het meest voor de hand liggend is aanpassing van de grootte van de doorstroomopening (zie figuur 2).



$$q_{v1} = A_1 \times v_1 = q_{v2} = A_2 \times v_2$$

Figuur 2: Door aanpassing van het doorstroomoppervlak van ventilatie-openingen aan het optredende drukverschil kan de volumestroom (ventilatie) constant blijven.

4. EISEN VAN ZELFREGELLENDE ROOSTERS MET BETREKKING TOT VENTILATIE

4.1 ALGEMEEN

Met behulp van het computermodel voor simulatie van de ventilatiehuishouding is een studie naar de werking van zelfregelende roosters in representatieve eengezinswoningen verricht [4]. Uit deze studie zijn de eisen met betrekking tot ventilatie afgeleid.

4.2 PLAATS VAN ROOSTERS

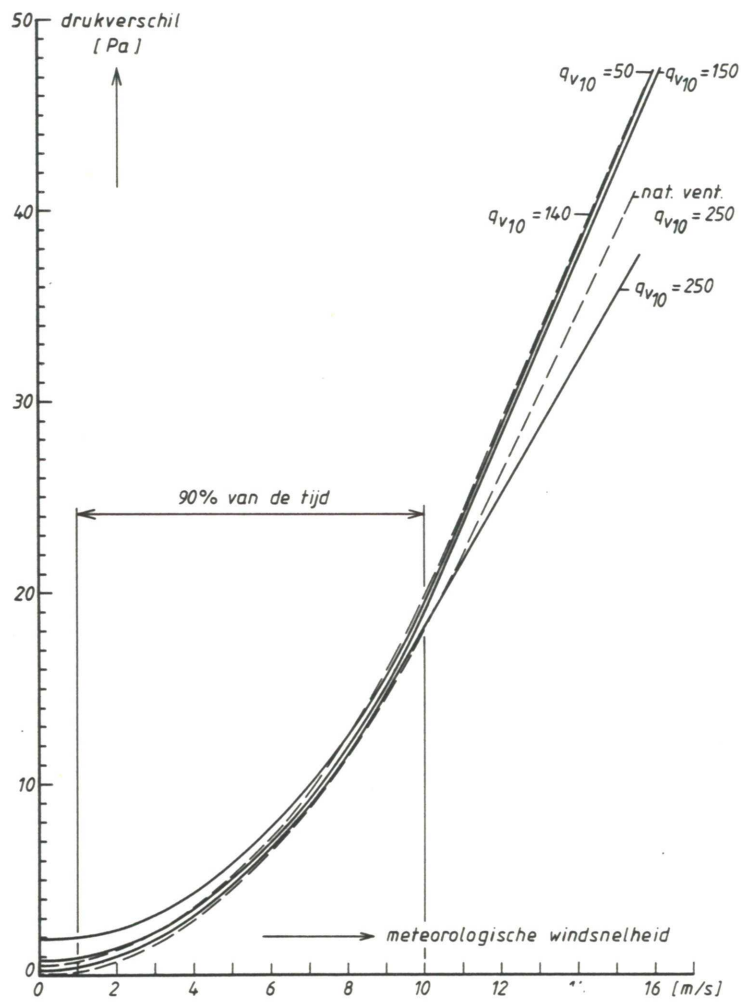
Er is getracht de in hoofdstuk 2 genoemde hoofdstroomrichting volgens de norm te bereiken. Dit houdt in dat de roosters in de slaapvertrekken worden geplaatst om daar de toevoer te regelen. De afvoer vindt op natuurlijke of mechanische wijze voornamelijk plaats in de zogenaamde natte vertrekken (keuken, badkamer, toilet en eventueel was/droogruimte), die van afvoerkanalen zijn voorzien.

De woningindeling bepaalt hoe en in welke mate de ventilatielucht op zijn weg door de woning de woonkamer doorstroomt. Als lucht uit de hal alleen via de woonkamer de keuken kan bereiken kunnen zelfregelende roosters in de woonkamer achterwege blijven. In de overige gevallen zijn ook in de woonkamer zelfregelende roosters aan te bevelen.

4.3 DRUKBEREIK WAARBINNEN MOET WORDEN GEREGELD

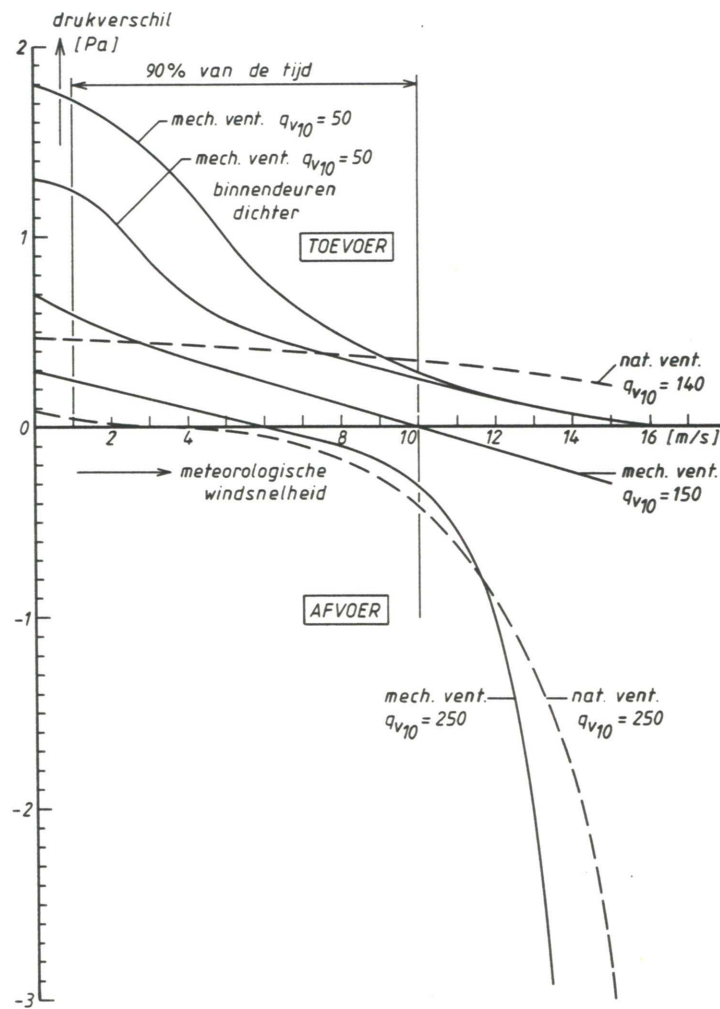
Binnen een bepaalde variatie van het drukverschil over een gevel moeten de zelfregelende roosters de volumestroom constant houden. De roosterstanden beïnvloeden daarbij weer het drukverschil. De optredende gemiddelde drukverschillen die zijn berekend voor een representatieve eengezinswoning zijn in de figuren 3 en 4 voor loef- en lijzijdegevels weergegeven.

De drukverschillen worden behalve door de wind bepaald door de thermiek en de grootte en verdeling van openingen in de woningschil (zie ook paragraaf 4.5).



Figuur 3: Drukverschil over een loefzijde gevel (aan de windzijde)

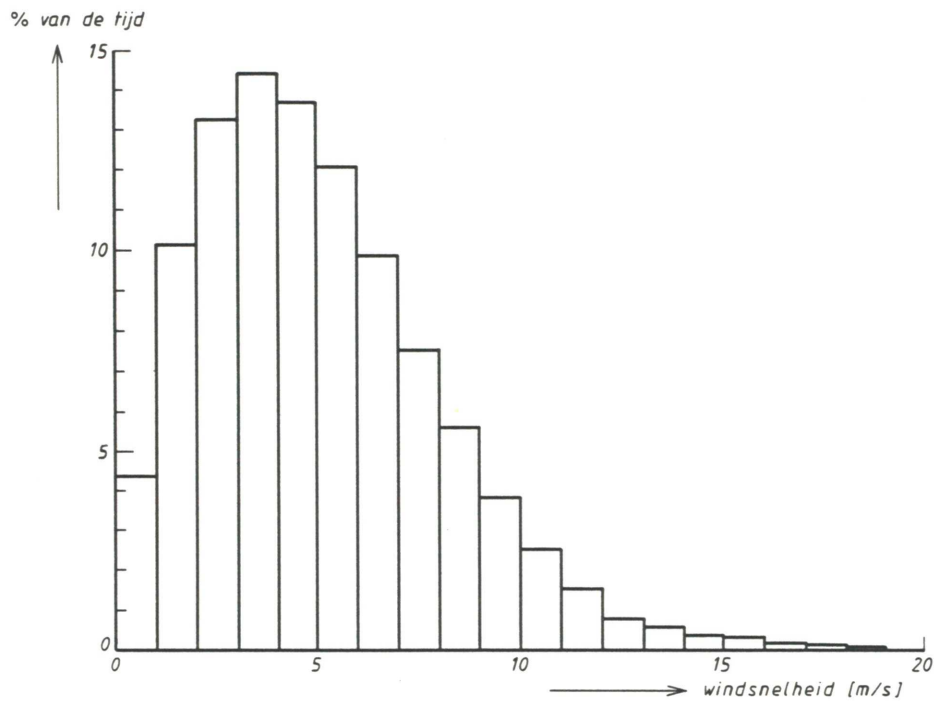
- gemiddelde weersomstandigheden tijdens stookseizoen
- eengezinswoning met zelfregelende roosters
- ligging in buitenwijk van een stad
- verschillende luchtdoorlatendheden volgens NEN 2687 [dm^3/s]
- natuurlijke ventilatie of mechanische afzuiging
- buitentemperatuur 5°C .



Figuur 4: Drukverschil over een lijzijdegevel (van de wind afgekeerd)

- gemiddelde weersomstandigheden tijdens stookseizoen
- eengezinswoning met zelfregelende roosters
- ligging in buitenwijk van een stad
- verschillende luchtdoorlatendheden volgens NEN 2687 [dm^3/s]
- natuurlijke ventilatie of mechanische afzuiging
- verschillende luchtdoorlatendheden van de binnendeuren
- buitentemperatuur 5°C .

De gemiddelde drukverschillen in de figuren 3 en 4 zijn als functie van de meteorologische windsnelheid weergegeven. In Nederland liggen gedurende 90% van de tijd de windsnelheden tussen 1 en 10 m/s (zie figuur 5). Voor de loefzijdegevels varieert binnen dit bereik het gemiddelde drukverschil tussen circa 0,5 en 20 Pa. Voor lijzijdegevels treedt een variatie tussen circa -0,5 en +2 Pa op.



Figuur 5: Percentage van de tijd dat een bepaalde windsnelheid voorkomt.

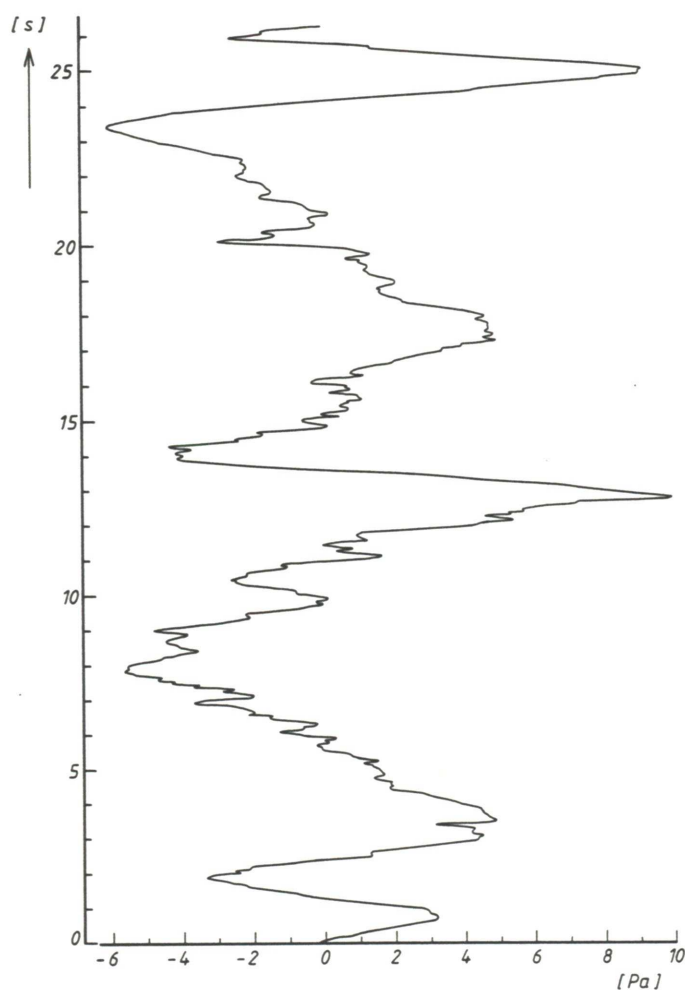
Afhankelijk van de plaats in Nederland, maar vooral van een meer of minder beschutte ligging kunnen de gemiddelde drukverschillen nog sterker variëren. Gemiddelde drukverschillen over loefzijdegevels van 40 Pa in eengezinswoningen en van 100 Pa in flatwoningen kunnen optreden. Regeling van de ventilatieroosters bij dergelijke drukken wordt echter weinig zinvol geacht. Er treedt dan namelijk een aanzienlijke ventilatie op via de kieren en naden in de woning. Op de ventilatie via de roosters mag deze kierventilatie in mindering worden gebracht (zie ook paragraaf 4.6). De drukverschillen over loefzijde, waarbij roosters met een nominale doorlaat voldoende voor één persoon, geheel mogen sluiten, zijn afhankelijk van de luchtdoorlatendheid van de woning:

- circa 20 Pa voor een traditionele woning $(q_{v10} = 250 \text{ dm}^3/\text{s});$
- circa 30 Pa voor een woning volgens huidige norm $(q_{v10} = 150 \text{ dm}^3/\text{s});$
- circa 55 Pa voor een zeer dichte woning $(q_{v10} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}).$

Regeling van de roosters bij hogere drukverschillen over loefzijde is dus niet zinvol. De regeling van de roosters voor de lijzijde kan zelfs geheel achterwege blijven. In paragraaf 4.5 wordt dit nader toegelicht.

4.4 BLOOTSTELLING AAN EXTREME DRUKSCHOMMELINGEN

De windsnelheid ter plaatse van woningen kan evenals de windrichting snel veranderen. Hierdoor kunnen grote variaties van het drukverschil over een gevel optreden. Vooral bij geringe gemiddelde drukverschillen wordt de ventilatie door de drukschommelingen verhoogd. Daarnaast beïnvloeden ze de sterkte en regeling van het rooster. Figuur 6 geeft een voorbeeld van de drukschommelingen. Het betreft een lijzijdegevel op de verdieping van een vrijstaande, traditioneel gebouwde woning, bij een gemiddelde windsnelheid van circa 5 m/s.



Figuur 6: Voorbeeld van snelle drukfluctuaties over een gevel.

Het gemiddelde drukverschil is ongeveer 0 Pa, hetgeen volgens figuur 4 ook te verwachten is. Er treden echter fluctuaties op van -6 tot +10 Pa. Dit gehele traject (circa 15 Pa) blijkt incidenteel in 1 à 1,5 s te kunnen worden doorlopen (0,3-0,5 Hz).

De veel voorkomende schommelingen zijn echter kleiner (circa + of -5 Pa) en trager (doorlooptijd circa $3 \text{ s} \cong 0,15 \text{ Hz}$). Naast deze schommelingen treden nog aanzienlijk snellere schommelingen op die in het algemeen (beduidend) kleiner zijn naarmate de frequentie hoger is. Behalve onder de omstandigheden van dit voorbeeld zijn ook onder andere omstandigheden drukverschillen geregistreerd.

Hieruit blijkt globaal dat de incidenteel optredende grootste drukfluctuaties steeds in de orde van grootte liggen van -40% tot +60% van de totale stuwdruk van de gemiddelde meteorologische windsnelheid ($= \frac{1}{2}\rho \bar{v}_m^2$). Dit is ongeveer gelijk aan -120% tot +180% van de in figuur 3 weergegeven gemiddelde drukverschillen. De bijbehorende frequentie blijkt 0,3 tot 1,0 Hz te zijn.

In de literatuur worden vergelijkbare proefnemingen beschreven [6]. Hierin worden ook pieken in drukschommelingen genoemd; bijvoorbeeld drukfluctuaties tot 45% van de totale stuwdruk met frequenties van 2-7 Hz. De verschillen met de eigen registraties hangen samen met de proefcondities.

De fluctuaties blijken namelijk verband te houden met de gevormde wervelingen rond een gebouw. De grootte van de wervelingen en de heersende windsnelheid zijn bepalend voor de amplitude en frequentie van fluctuaties. Ook dempende invloeden door luchtbuffers buiten of binnen de woning spelen een rol.

Omdat de grootte van de wervelingen sterk afhangt met de vorm en afmetingen van de woningen, alsmede van hun ligging, zullen er zeker bepaalde voorkeurfrequenties en amplitudes voor eengezinswoningen in buitenwijken zijn aan te geven. Dit zou echter een uitgebreid onderzoek vergen. Vooralsnog moet worden gesteld dat het optreden van de grootste drukschommelingen bij frequenties tussen 0,3 en 7 Hz kan worden verwacht en dat amplitudes van 40 tot 60% van de totale stuwdruk mogelijk zijn.

Hogere frequenties dan 7 Hz treden eveneens op, maar de amplitude blijkt snel af te nemen naarmate de frequentie hoger wordt. Ze kunnen voor de dynamica van het regelend gedeelte van het rooster dan ook als ondergeschikt worden beschouwd.

Lagere frequenties dan 0,3 Hz ontstaan vooral door vlagen in het windaanbod en minder door lokale effecten [7]. De amplitudes kunnen aanzienlijk zijn. De regeling van het rooster zal dergelijke trage schommelingen in het algemeen echter goed kunnen volgen.

Dit geldt, afhankelijk van de constructie, niet of in mindere mate voor druk-

schommelingen van 0,3 tot 7 Hz. Door een eigen frequentie van het regelgedeelte in dit gebied kan generatie van ongewenste slingerverschijnselen met effecten als geluidoverlast (klapperen) en breuk van onderdelen (vermoeiing) het gevolg zijn. Om dit te voorkomen dienen de roosters op de genoemde drukfluctuaties te worden berekend en beproefd.

4.5 TOEVOER OF AFVOER

Door verandering van de windrichting kunnen zowel overdrukken als onderdrukken op gevels ontstaan, waardoor zowel toevoer als afvoer via zelfregelende roosters in de gevels mogelijk is. Uit de figuren 3 en 4 blijkt echter dat vooral hoge positieve drukverschillen optreden (toevoer). Uit figuur 4 blijkt dat negatieve drukverschillen (afvoer) over de roosters in dichtere woningen pas bij hoge windsnelheden optreden en bij lekke woningen vanaf de gemiddelde windsnelheid. De negatieve drukverschillen blijken echter gering te zijn. Een natuurlijk of mechanisch ventilatiesysteem maakt wat dit betreft weinig verschil.

Als oorzaak van de geringe negatieve drukverschillen moet de onderdruk in de woning worden gezien. De onderdruk in de woning wordt veroorzaakt doordat de meeste openingen van de woning in het onderdrukgebied rond de woning uitmonden. Vooral de afvoerkanalen, met de uitmonding bovendaks, bepalen in hoge mate de onderdruk in de woning. Op roosters in de lijzijdegevel zullen daarom binnen en buiten ongeveer gelijke drukken staan. Dit verklaart de geringe drukverschillen over lijzijdegevels (figuur 4) ten opzichte van loefzijdegevels (figuur 3). Dit effect is tevens een verklaring voor de slechte ventilatie van lijzijdekamers in de praktijk. Een geringe drukverschil betekent immers geringe luchttransport. Het verder openen van de ventilatievoorzieningen aan lijzijde brengt hierin geen verbetering. Met het vergroten van de afvoeropening wordt namelijk het drukverschil over de opening kleiner, zodat de luchtstroom nauwelijks verandert. Dit is de reden dat regeling van de afvoeropening van zelfregelende roosters niet zinvol wordt geacht. Een afvoermogelijkheid op zich wordt echter wel aanbevolen. Enige afvoer is altijd nog beter dan geen ventilatie.

Overigens blijkt het toepassen van zelfregelende roosters de ventilatie van lijzijdekamers gunstig te beïnvloeden. Dit komt doordat de zelfregelende roosters aan de loefzijde steeds een minimale toevoer garanderen. Door deze

toevoeropeningen wordt de druk in de woning hoger en het drukverschil over lijzijde positief beïnvloed.

In combinatie met thermische effecten kunnen dan zelfs geringe positieve drukverschillen (toevoer) over de lijzijde optreden, vooral bij dichtere woningen (zie figuur 4). Regeling van de lijzijderoosters beïnvloedt ook in deze situatie vooral het drukverschil en in mindere mate de ventilatiestroom. Ook hier geldt dat de aanwezigheid van de (toevoer)opening belangrijker is dan de regeling ervan. De regeleigenschappen worden dus voornamelijk afgestemd op de drukverschillen die optreden als het rooster aan de loefzijde ligt. Zowel toe- als afvoer moet echter mogelijk zijn, waarbij uitsluitend de toevoer wordt geregeld.

4.6 COMPENSATIE VOOR WONINGLEKKEN

Behalve door de zelfregelende roosters zal ook door de lekken in de woning lucht worden toegevoerd. De ongecontroleerde luchtstroom door de lekken neemt toe naarmate het drukverschil groter wordt. Om desondanks de minimum ventilatie constant te houden zou het zelfregelende rooster dit moeten compenseren. Daartoe is het nodig inzicht te hebben in de plaats en grootte van lekken in woningen.

Met het verschijnen van de nieuwe norm voor luchtdichtheid van woningen [1] en de daaraan gekoppelde metingen zal dit inzicht ontstaan. De lekcompensatie door de roosters is daarom aan drie klassen volgens deze norm gerelateerd, te weten:

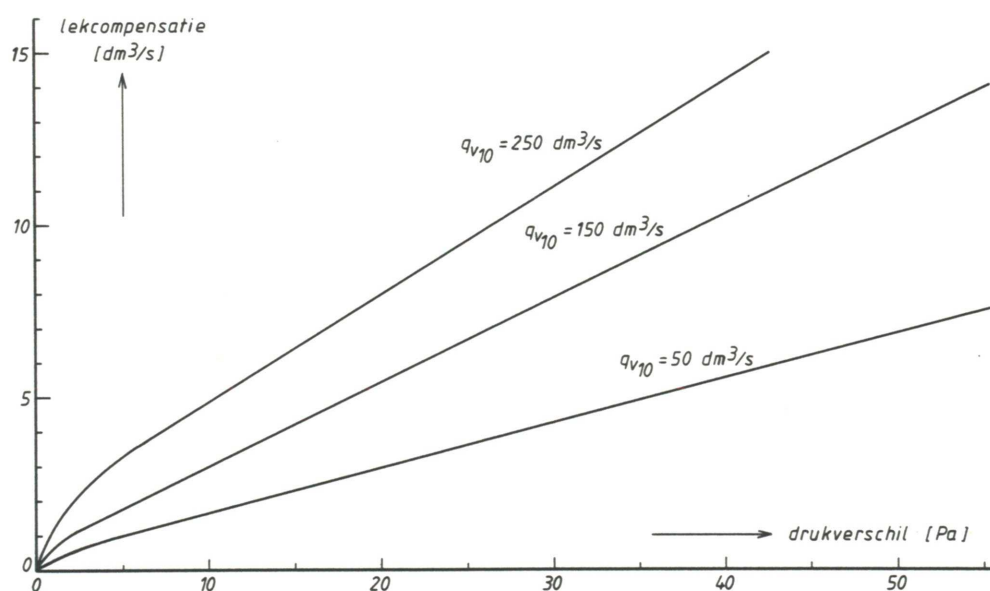
- traditionele woning ($q_{v10} = 250 \text{ dm}^3/\text{s}$);
- woning volgens norm ($q_{v10} = 150 \text{ dm}^3/\text{s}$);
- zeer dichte woning ($q_{v10} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}$);

Uit ventilatieberekeningen voor deze drie dichtheden blijkt dat lekcompensatie vooral een positief effect heeft op de drukverschillen over lijzijde. Lekcompensatie betekent namelijk vermindering van de totale doorlaat in de gevels en dus vermindering van de horizontale doorstroming (dwarsventilatie) en verbetering van de verticale doorstroming (afvoer via kanalen en dak, toevoer via gevels en vloer). Omdat dit de zwakke ventilatie van lijzijdekamers verbetert (zie paragraaf 4.5) wordt lekcompensatie aanbevolen.

Lekcompensatie blijkt ook de overschrijding van de minimum-ventilatie bij hogere windsnelheden te verminderen. De invloed blijkt echter beperkt omdat alleen de lek van de vertrekken met zelfregelende roosters wordt gecompenseerd. Ongecontroleerde dwarsventilatie via bijvoorbeeld de lekken in de zolder blijft echter plaatsvinden.

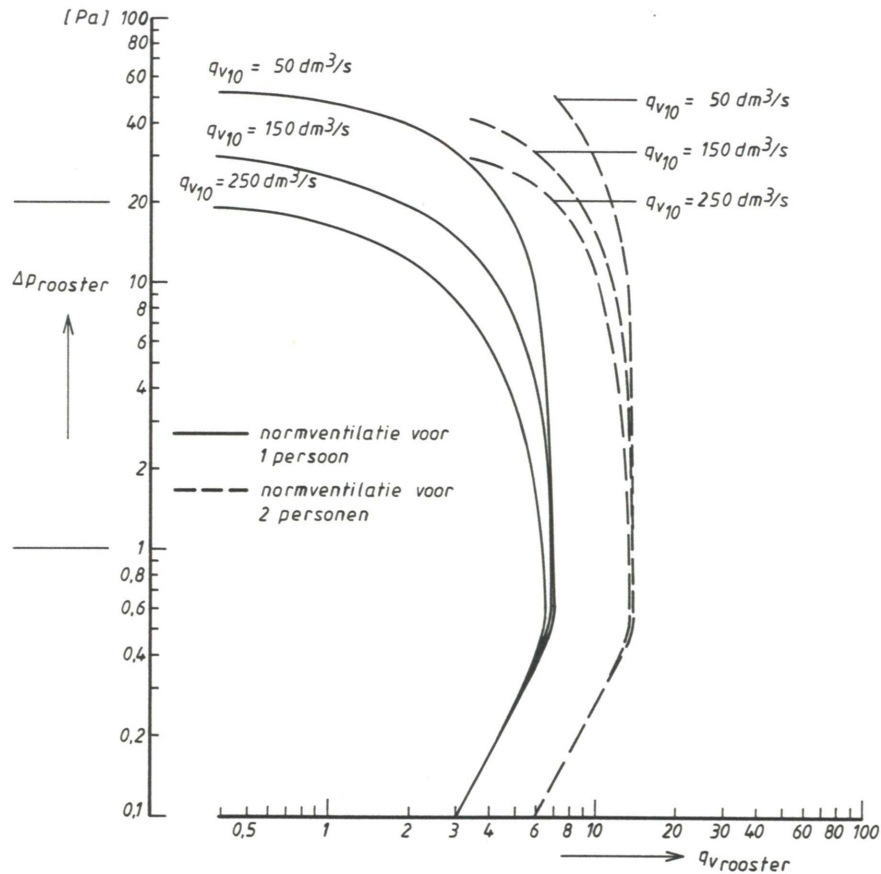
Lekcompensatie betekent dat bij grotere drukverschillen het rooster minder doorlaat. Bij grote drukverschillen is de snelheid waarmee de lucht in het vertrek komt hoger en de kans op tocht groter (impuls groter). Door de verminderde volumestroom ten gevolge van lekcompensatie wordt de toeneming van de totale impuls echter beperkt en dus ook de verhoogde kans op tocht.

De gemiddelde lekcompensatie voor gevels in woningen van de drie beschouwde dichtheden is in figuur 7 weergegeven. De gegevens zijn uit de berekeningen [4] afgeleid.



Figuur 7: Compensatie van de doorgelaten volumestroom door zelfregelende roosters in verband met stroming door lekken, afhankelijk van het drukverschil over het rooster en de woningdichtheid.

Voor zelfregelende roosters die de minimale lucht volumestroom voor één of twee personen moeten regelen, leidt de lekcompensatie tot roosterkarakteristieken, afhankelijk van de woningdichtheid, zoals in figuur 8 weergegeven.



Figuur 8: Gewenste roosterkarakteristieken bij lekcompensatie voor drie woningdichtheden.

4.7 SLUITEN EN INSTELLEN VAN HET ROOSTER

Volgens de ventilatienorm is het wenselijk dat ventilatievoorzieningen zoals het rooster kunnen worden geregeld. Dit betekent dat naar behoefte volumestromen tussen nul en de in hoofdstuk 2 genoemde minima moeten kunnen worden ingesteld. Energiebesparing tijdens bijvoorbeeld afwezigheid van de bewoners is hiervoor een argument.

Bij zelfregelende roosters kan de instelmogelijkheid worden verwezenlijkt door het verleggen van het regelgebied. Het sluiten van de roosters kan op de gebruikelijke wijze plaatsvinden of door zodanig verleggen van het regelgebied dat de doorlaatopening geheel wordt dichtgeregeld en de regeling niet meer aanspreekt.

Een mogelijke uitbreiding is een instelmogelijkheid voor verschillende ventilatie-behoefden, bijvoorbeeld een instelling voor één persoon, voor twee personen en voor hoge vochtproduktie. Een dergelijke, meer universele instelmogelijkheid kan de toepassing van de roosters vergroten en komt standaardisatie ten goede.

5. OVERIGE EISEN AAN ZELFREGELENDEN ROOSTERS

Naast de ventilatie-eisen gelden voor de zelfregelende roosters nog de volgende eisen of wensen:

- regeninslagvrij rooster, aan de buitenzijde aangevuld met een "insectengaas";
- inbraakvrije uitvoering;
- in te bouwen in de diverse bestaande geveluitvoeringen;
- werking ongevoelig voor vervuiling, eventueel in combinatie met goede mogelijkheden voor periodieke schoonmaak;
- werking weinig gevoelig voor veranderingen van temperatuur en vochtigheid, zoals die in het buitenklimaat optreden;
- geen geluidproductie door het rooster zelf, zoals "klapperen" van onderdelen ten gevolge van drukfluctuaties of "fluiten" door grote drukverschillen over kleine openingen;
- goede vormgeving van de instroomopening, zodat de kans op tocht in de betreffende woonvertrekken zoveel mogelijk wordt beperkt;
- werking bij voorkeur zonder externe aansluitingen voor hulpenergie in verband met de relatief hoge extra installatiekosten;
- indien gewenst ook in geluidwerende uitvoering;
- storingsongevoelig, voldoende lange levensduur en bestand tegen onoordeelkundig gebruik;
- eenvoudige en eenduidige bediening;
- concurrerende verkoopprijs.

Ten aanzien van de verkoopprijs geldt een aantal overwegingen.

De belangrijkste overweging is dat in de bouw een lage aanneemsom bepalend is voor de prijzen (en dus ook voor de kwaliteit) en niet het minimaliseren van de woonlasten. Hoewel bij de vervangingsmarkt (waar een belangrijk afzetgebied voor het rooster wordt gezien) juist lagere woonlasten een aanleiding voor vervanging zijn, is ook hier de aanneemsom of aanschafprijs vaak doorslaggevend. Dit geldt vooral voor de renovatiemarkt en minder voor de doe-het-zelfmarkt. Voor invoering van zelfregelende roosters op redelijke schaal is een prijs, die vergelijkbaar is met de prijs van bestaande voorzieningen, dus van het grootste belang. Een goedkope oplossing voor het regelende gedeelte van het rooster is daarom vereist. Een middel hiervoor is

standaardisatie, gekoppeld aan massaproductie. Het grote woningbestand rechtvaardigt dit.

Alleen in Nederland zijn naar schatting al circa drie miljoen eengezinswoningen die in aanmerking komen voor plaatsing van gemiddeld vier zelfregelende roosters. Met dergelijke aantallen mag de inspanning in de ontwikkelingsfase ook groot zijn.

Tegenover de overwegingen voor een lage kostprijs staat dat een verlaging van de woonlasten wel degelijk is te becijferen. Dit rechtvaardigt een hogere kostprijs. Om de markt bereid te krijgen de hogere prijs te betalen zal op zijn minst een goede, beargumenteerde voorlichting noodzakelijk zijn, waarin de verlaging van de woonlasten wordt aangetoond. De argumenten voor lagere woonlasten zijn energiebesparing en beperking van vochtschade. De besparingen zullen vooral in de praktijk moeten worden aangetoond, omdat het bewonersgedrag en eventuele beïnvloeding ervan doorslaggevend zijn. De potentiële energiebesparing is het grootst voor de categorie bewoners die thans teveel ventileert. Weet men dit met de zelfregelende roosters te beperken dan is een gemiddelde besparing in één derde deel van de eengezinswoningen mogelijk van maximaal 300 m³ gas ofwel circa f 150,- per jaar [8]. Daartegenover staat een deel van de woningen waar te weinig wordt geventileerd. Dit is één van de oorzaken van vochtproblemen waarmee 15 tot 18% van het woningbestand kampt.

De vochtproblemen uiten zich in nadelige effecten op de gezondheid en meer of minder ernstige bouwschade, die volgens ruwe schattingen op kan lopen tot f 10.000,- per woning [9], [10].

Tussen deze uitersten ligt een categorie woningen waar de besparingen veel minder spectaculair en vaak zelfs marginaal zullen zijn. Hier uit het effect van zelfregelende roosters zich vooral door moeilijk in geld uit te drukken verbeteringen van de luchtkwaliteit in de gehele woning of in bepaalde vertrekken van de woning.

6. AANVULLENDE EISEN EN WENSEN TEN AANZIEN VAN DE WONING

Vanuit slaapvertrekken, waarin zelfregelende roosters lucht toevoeren, dient ook bij gesloten binnendeuren lucht over te kunnen stromen naar de rest van de woning. Hiertoe dienen ventilatie-openingen, al of niet voorzien van roosters, in binnendeuren, kozijnen of binnenwanden te zijn aangebracht. Het minimale netto doorlaatoppervlak moet gelijk zijn aan het grootste doorlaatoppervlak van het zelfregelende rooster. Voor een eenpersoonskamer is dit 70 cm² en voor een tweepersoonskamer 140 cm². Dit is het eenvoudigst te realiseren door een spleet onder de binnendeur van minimaal 1 cm respectievelijk 2 cm aan te brengen. Men dient wel na te gaan of dan aan de eisen voor geluidwering wordt voldaan.

Om het rooster goed te laten regelen moet de weerstand over het rooster in belangrijke mate bepalend zijn voor de totale weerstand die de lucht op zijn weg door de woning ondervindt. Niet alleen de binnendeuren, maar ook de kanalen moeten dus relatief weinig weerstand ten opzichte van de roosters hebben. In het algemeen wordt aan de eis voor de kanalen voldaan als de reeds geldende aanbevelingen uit de praktijkrichtlijn NPR 1088 [5] worden opgevolgd. Het verder verlagen van de weerstand van binnendeuren en kanalen zal de werking van de roosters verbeteren.

Zoals in paragraaf 4.2 reeds is opgemerkt is het voor een optimale doorstroming van de woonkamer aan te bevelen de ventilatie van de keuken met afgevoerde lucht uit de woonkamer uit te voeren. Een woningindeling en deurgebruik waardoor dit wordt bevorderd zijn dus aan te bevelen.

De stroming door woninglekken is oncontroleerbaar en beïnvloedt de regelbaarheid van de ventilatie door de roosters nadelig. Zelfregelende roosters functioneren dan ook het beste in dichte woningen. Dit geldt ook als lekcompensatie op de roosters wordt toegepast. Lekcompensatie kan slechts beperkt corrigeren voor de lekken in de kamers waar de roosters zijn aangebracht. Vooral lekken in de vloer en in het dak, die in het algemeen een belangrijk deel van de totale woninglek vormen, kunnen niet of slechts weinig worden gecorrigeerd. Het blijft dus aan te bevelen om aandacht aan de luchtdichtheid van woningen te besteden, met name wat betreft de lekken in de vloer en

het dak. Daarbij heeft vooral vermindering van de lekken in de vloer een gunstig effect op de werking van de roosters, omdat via de vloer in het algemeen toevoer naar de woning plaatsvindt. De toevoer zal dan voor een belangrijk deel over de roosters plaatsvinden en dus geregeld worden.

7. TOEPASSINGSGEBIED EN EFFECT VAN ZELFREGELENDE ROOSTERS

7.1 TOEPASSINGSGEBIED

Zelfregelende roosters zijn toe te passen in eengezinswoningen met natuurlijke ventilatie of mechanische afzuiging.

Toepassing in andere woontypen wordt eveneens mogelijk geacht. De eisen aan de roosters dienen dan wellicht te worden aangepast. Een nadere studie zou dit uit moeten wijzen.

De roosters dienen de toevoer te regelen. Regeling van de afvoer met gevelroosters is niet zinvol. De afvoer wordt namelijk in hoge mate bepaald door de stroming door de afvoerkanalen. Regeling van de stroom door de kanalen zou in natuurlijk geventileerde woningen wel zinvol zijn. In woningen met mechanische afzuiging zorgt de ventilator er voor dat de stroom constant blijft. In beide gevallen blijven echter aanvullende voorzieningen noodzakelijk voor de vertrekken die niet in directe verbinding staan met een afvoerkanaal.

De toepassing van zelfregelende roosters, anders dan in woningen, wordt eveneens mogelijk geacht. Voorbeelden zijn (kleine) kantoorvertrekken en industriële toepassingen. Ook voor deze toepassingen geldt dat de eisen nader moeten worden bepaald.

7.2 EFFECT

Zelfregelende roosters in woningen met natuurlijke toevoervoorzieningen kunnen de minimale ventilatie van woonvertrekken beter verzekeren en constant houden. Afhankelijk van de oorspronkelijke ventilatie-omstandigheden zal dit een gunstig effect hebben op het energiegebruik of de luchtkwaliteit of een combinatie van beide (zie hoofdstuk 5). Tabel 1 geeft hiervan een indruk.

Tabel 1 Globaal effect van zelfregelende roosters op het energieverbruik en de luchtkwaliteit, afhankelijk van het oorspronkelijke ventilatiegedrag (ontleend aan [4]).

Oorspronkelijke ventilatiegedrag	Invloed van zelfregelende roosters op:		
	het energieverbruik voor ventilatie	de gemiddelde luchtkwaliteit van de hele woning	de luchtkwaliteit in afzonderlijke vertrekken
overmatig ventileren	10 tot 40% besparing	blijft voldoende	lichte verbetering
gemiddeld voldoende ventilatie	gelijk	lichte verbetering	duidelijke verbetering
te weinig ventilatie in sommige vertrekken	maximaal 10% verhoging	duidelijke verbetering	sterke verbetering
te weinig ventilatie in de gehele woning	maximaal 40% verhoging	sterke verbetering	sterke verbetering

Opm. 1: 10% energieverbruik voor ventilatie komt ongeveer overeen met f 20,- per jaar
40% energieverbruik voor ventilatie komt ongeveer overeen met f 80,- per jaar

Opm. 2: Sterke verbetering van de luchtkwaliteit betekent sterke beperking van de kans op bouwschade door vocht oplopend tot f 10.000,- per woning.

De praktijk zal uit moeten wijzen wat de exacte verbeteringen zijn. Er kan echter worden gesteld dat het totaalbeeld steeds zal verbeteren, vooral in afzonderlijke woonvertrekken zoals slaapkamers indien ze aan de lijzijde liggen. Ondanks de verbetering van de ventilatie van lijzijdekamers door zelfregelende roosters zal ook hiermee echter niet onder alle omstandigheden de minimum-ventilatie zijn gegarandeerd. Daar staat tegenover dat de verbeteringen juist het grootst zijn in dichte woningen, waar dit probleem het grootst is.

Met zelfregelende roosters kan worden gecompenseerd voor de lekken in de woning. De beperking van de ongecontroleerde stroom door lekken heeft een gunstig effect op het energieverbruik. Volledige lekcompensatie is echter niet mogelijk omdat zich ook lekken bevinden in ruimten die niet van zelfregelende roosters zijn voorzien. Het effect van lekcompensatie op het energieverbruik blijft hierdoor beperkt. Lekcompensatie is echter tevens van belang voor het verbeteren van de ventilatie van lijzijde-vertrekken.

Naarmate een woning meer lek heeft zullen zelfregelende roosters een kleiner aandeel in de ventilatie hebben. De positieve effecten van zelfregelende roosters zijn daarom in lekke woningen minder dan in dichte woningen. Toch zijn zelfregelende roosters niet alleen in dichte woningen maar ook in lekke woningen aan te bevelen. Naast de reeds genoemde effecten zijn ook de betere toevoercondities hiervoor een argument. Ventilatie zal hierdoor vaker tochtvrij plaats vinden dan met de huidige voorzieningen.

Zelfregelende roosters zijn eenvoudig in bestaande woningen in te bouwen. Om de ventilatie beter te beheersen zijn ze daarom een alternatief voor gebalanceerde ventilatiesystemen, die moeilijker zijn in te bouwen in bestaande woningen. Met zelfregelende roosters kan echter geen warmte-terugwinning worden toegepast. Daar staat tegenover dat wel lekcompensatie mogelijk is, hetgeen bij gebalanceerde ventilatie niet plaatsvindt.

8. CONCLUSIE

Zelfregelende roosters kunnen zowel in bestaande als in nieuw te bouwen woningen de ventilatie verbeteren ten opzichte van de huidige voorzieningen in woningen met natuurlijke ventilatie of mechanische afzuiging.

Naar verwachting zal dit leiden tot gemiddeld lagere woonlasten en verbetering van de luchtkwaliteit tot een meer acceptabel niveau. In situaties dat de luchtkwaliteit nog onvoldoende wordt geacht, is door de zelfregelende roosters toch van een verbetering sprake.

Ontwikkeling van zelfregelende roosters, zowel voor bestaande als voor nieuw te bouwen woningen, is daarom aan te bevelen.

Voor de ontwikkeling gelden de volgende uitgangspunten:

- plaatsing in slaapkamers en eventueel in de woonkamer;
- volumestromen volgens NEN 1087 [2], traploos instelbaar van nul tot de normwaarde. Bij voorkeur ook instelbaar op andere ventilatieniveaus;
- globaal regelbereik voor eengezinswoningen
 - 0,5 tot 20 Pa voor traditionele woningen ($q_v = 250 \text{ dm}^3/\text{s}$),
 - 0,5 tot 30 Pa voor woningen met normdichtheid ($q_v^{10} = 150 \text{ dm}^3/\text{s}$),
 - 0,5 tot 40 Pa voor zeer dichte woningen ($q_v^{10} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}$);
- uitsluitend regeling van de toevoer is zinvol. Het rooster moet wel als afvoer kunnen fungeren;
- compensatie van de doorgelaten volumestroom voor woninglekken is sterk aan te bevelen;
- dynamica afstemmen op drukfluctuaties tot 60% van de stuwdruk van de meteorologische windsnelheid, in het frequentiegebied 0,3 tot 7 Hz;
- afschermen voor of bestand tegen regeninslag, insecten, inbraak, vervuiling, schommelingen van temperatuur en vochtigheid, onoordeelkundig gebruik, lawaai van buiten (indien gewenst). Andere constructie-eisen zijn ongevoeligheid voor storing, lange levensduur, geen eigen geluidproductie, eenvoudige en eenduidige bediening en universele inbouwmogelijkheden;
- kans op tocht beperken door vormgeving van de instroomopening;
- werking bij voorkeur zonder externe aansluitingen voor hulpenergie;
- concurrerende verkoopprijs.

Naast deze eisen dienen in de binnenwanden van de woning voldoende overstrommogelijkheden aanwezig te zijn. Ook de weerstand van kanalen dient voldoende laag te zijn. Een woningindeling en deurgebruik waardoor afvoer vanuit de keuken via de woonkamer plaatsvindt is aan te bevelen. Tevens is vermindering van de woninglek aan te bevelen.

9. LITERATUUR

- [1] Ontwerp NEN 2687
Luchtdoorlatendheid van gebouwen. Eisen.
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, oktober 1986.
- [2] NEN 1087
Ventilatie van woongebouwen. Eisen.
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1981.
- [3] Knoll, B.
De rol van ventilatie bij vochtproblemen in energiezuinige woningen.
MT-TNO, Delft, 1987, P 87/002.
- [4] Kornaat, W. en B. Knoll
Rekenstudie inzake zelfregelende ventilatieroosters.
MT-TNO, Delft, 1988, R 88/034.
- [5] NPR 1088
Ventilatie van woongebouwen. Aanwijzingen voor en voorbeelden van de
constructieve uitvoering van ventilatievoorzieningen.
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1975.
- [6] Cermak, J.E.
Wind Engineering, Volume 1.
Pergamon Press, Oxford, proceedings of the fifth International Conference, July 1979, p 161-172, 357-367, 435-450, 519-528, 541-551, 567-575.
- [7] Davenport, A.G.
The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds.
Qu. Jrl. Roy. Met. Soc., Vol. 87, April 1961.
- [8] Gids, W.F. de
Vocht en ventilatie. Aanwezigheid en gebruik van ventilatievoorzieningen.
MT-TNO, Delft, 1987.

- [9] Tammes, E. e.a.
Inventarisatie vocht- en schimmelproblematiek in woningen.
Rapport no. 6362, Bouwcentrum, 1985.
- [10] Kwalitatieve Woning Registratie
Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,
1985.