

Natuurlijke ventilatie en infiltratie

Kennisbank Bouwfysica

Dictaat ct 4220 Bouwfysica II, TU-Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen,
samengesteld door prof.ir. J.J.M. Cauberg

1 Inleiding

Natuurlijke ventilatie heeft eeuwenlang de basis gevormd voor de ventilatie van onze gebouwen. Nog in 1951 stond in de toenmalige ontwerpnorm V1068 "Thermische eigenschappen en ventilatie van woningen" dat de spleten en kieren van ramen niet te luchtdicht mochten zijn, omdat anders de ventilatie van de woning niet gewaarborgd was. In de jaren zestig wordt langzaam maar zeker de totaal onbewuste ventilatie vervangen door bewuste ventilatie, weliswaar op een natuurlijke basis. Er ontstaan eisen aan de luchtdichtheid van spleten en kieren, waardoor bewust ventilatieramen (klepramen) en ventilatieroosters verschijnen. Vervolgens wordt de natuurlijke afvoer van de ventilatielucht via verticale schachten/shuntkanalen vervangen door mechanische afzuiging. Zodoende wordt ook de ventilatie in de zomer - als de thermische trek niet werkt - gewaarborgd. De energiecrisis van 1974 leidt via vele tussenwegen naar mechanische, gebalanceerde ventilatie-installaties met warmteterugwinning.

Gestimuleerd door het Sick Building Syndroom in kantoorgebouwen ontstaat in de tachtiger jaren een hernieuwde belangstelling voor natuurlijke ventilatie in kantoorgebouwen. Omdat natuurlijke ventilatie niet onze huidige eisen met betrekking tot beheersbaarheid en comfort kan waarborgen, zullen in de toekomst hybride ventilatiesystemen verschijnen.

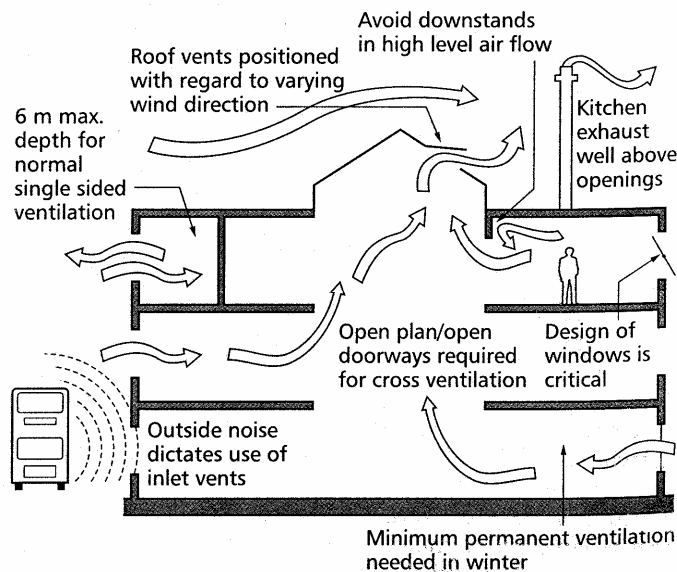
2 Strategie en aandachtspunten

Het doel van ventilatie is het verzorgen van een gezond en aangenaam binnenmilieu. In plaats van mechanische energie zoals bij klimaatinstallaties het geval is, maakt natuurlijke ventilatie gebruik van de wind en thermische trek om de ventilatielucht van buiten naar binnen te brengen en vervolgens weer naar buiten af te voeren. Natuurlijke ventilatie draagt bij tot een duurzame samenleving omdat:

- er geen elektrisch vermogen nodig is om de ventilatieluchtstroom te verzorgen;
- het over het algemeen door gebruikers positiever beoordeeld wordt dan mechanische ventilatie.

Omdat geen gebruik gemaakt wordt van ventilatoren, koelmachines etc. is de bouwfysische kwaliteit bij het realiseren van een gebouw dat geschikt moet zijn voor natuurlijke ventilatie van groot belang. De koelcapaciteit van alleen de ventilatielucht is beperkt, hetgeen betekent dat de warmtelast ten gevolge van zoninstraling en interne warmteproductie zoals verlichting, apparatuur etc. beperkt moet worden. De vorm, lay-out en de situatie moeten dan ook afgestemd zijn op het feit dat er een natuurlijk ventilatiesysteem wordt aangebracht.

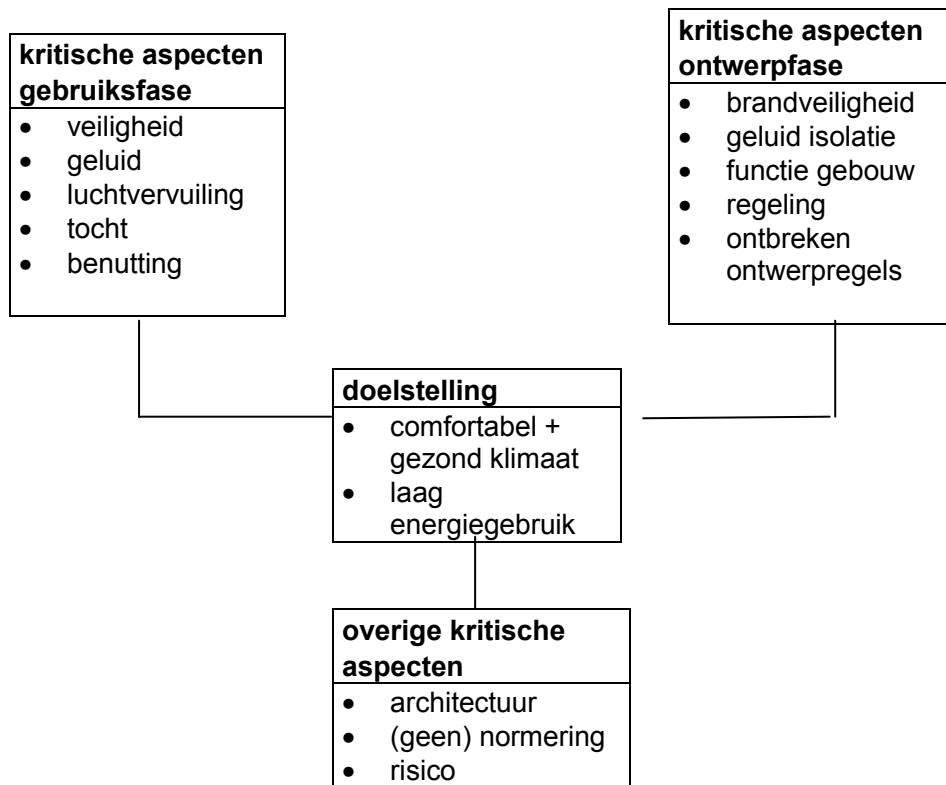
Natuurlijke ventilatie vereist dat de verblijfruimten direct aan een gevel gesitueerd zijn. De "indringdiepte" van natuurlijke ventilatie is beperkt tot een diepte van maximaal vijfmaal de hoogte. De verblijfruimte wordt hetzij begrensd door de gevels hetzij door een gevel in combinatie met een atrium dat als luchtafvoer dienst doet (zie figuur 1). Wordt de ruimte eenzijdig geventileerd dan is een maximale vertrekdiepte van maximaal circa zes meter toelaatbaar.



figuur 1. aandachtspunten bij een natuurlijk ventilatieconcept

Hoge ruimten hebben het voordeel dat de ruimte boven de leefzone als buffer optreedt voor verontreinigingen (stoffen, warmte). Fluctuaties in de ventilatiehoeveelheden zijn dan minder kritisch. Zoals gezegd, moet de externe warmtelast beperkt zijn omdat de natuurlijke ventilatielucht maar een beperkt koelvermogen heeft. Niet te grote glasvlakken in combinatie met een goede zonwering zijn de uitwerking van deze randvoorwaarde. Dit kan aangevuld worden met een daglichtregeling waardoor optimaal gebruik wordt gemaakt van de situering aan de gevel om de interne warmtelast te beperken; dit draagt ook bij tot een besparing op de verlichtingsenergie. De warmtelast - gezien als de piekwaarde - kan ook gereduceerd worden door de massa van het gebouw bereikbaar te maken voor de binnenlucht. Te streven is naar een momentane maximale warmtelast van 15 W/m^2 à 20 W/m^2 .

De drijvende kracht achter de natuurlijke ventilatie is wind en thermiek. Een groot gedeelte van de tijd is deze drijvende kracht slechts beperkt aanwezig. NEN 1087 gaat bij voorbeeld uit van een drukverschil over de ventilatieopening in een gevel van 1 Pa, zijnde het drukverschil dat in 95% van de tijd overschreden wordt. Natuurlijke ventilatie vereist daarom grote ventilatieopeningen. Toevoeropeningen moeten goed bruikbaar en regelbaar zijn, zodat de gebruiker zelf zijn ventilatie kan regelen en bij voorbeeld bij een lage buitenlucht temperatuur kan beperken. Afvoeropeningen (in het dak) moeten veelal automatisch en/of elektrisch bedienbaar zijn. Een voordeel van natuurlijke ventilatie is dat 's nachts, indien het gebouw warm is, de natuurlijke ventilatie gebruikt kan worden als nachtkoeling, waarbij de warmte die overdag in de massa van het gebouw is opgenomen, weer wordt afgevoerd. Figuur 2 geeft een overzicht van kritische aspecten die bij de toepassing van natuurlijke ventilatie overwogen moeten worden.



figuur 2. kritische aspecten bij de toepassing van natuurlijke ventilatie

3 Fysisch model

3.1 Basisvergelijking

Het basismodel voor de natuurlijke ventilatie stelt de ruimte voor als een koker met een instroomopening en een uitstroomopening. Het totale drukverlies tussen instroomopening en uitstroomopening is gelijk aan het drukverschil over de koker; in formule:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \zeta_i \rho v_i^2 + \frac{1}{2} \left(\mu \frac{L}{D} + \zeta_a \right) \rho v_a^2 \quad (1)$$

Met:

ΔP	drukverschil in Pa
ζ_i	weerstandscoefficiënt toevoeropening
v_i	snelheid toevoeropening in m/s
μ	weerstandscoefficiënt voor de koker
L	lengte koker in m
D	diameter koker in m
ζ_a	weerstandscoefficiënt uittrede-opening
v_a	snelheid in uittrede-opening in m/s
ρ	soortelijke massa in kg/m^3

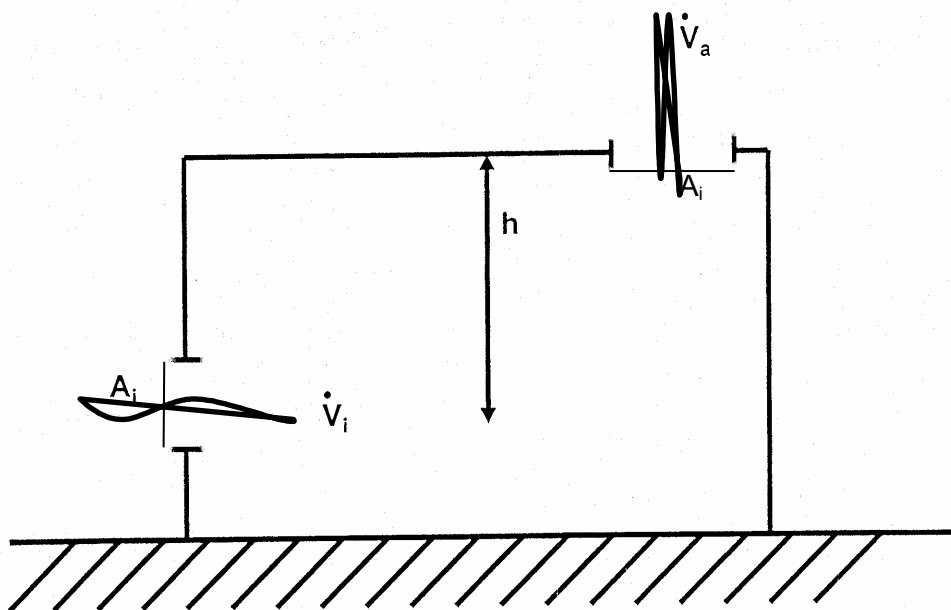
Normaliter kan de stromingsweerstand in de ruimte zelf - in de formule voorgesteld door $\mu L/D$ - verwaarloosd worden.

Het totale drukverschil dat tussen de toevoer- en afvoeropening aanwezig is, wordt veroorzaakt door winddruk en thermische trek ten gevolge van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten.

3.2 Berekeningsmethode ventilatiedebieten

3.2.1 Eenzonemodel

Voor een globale berekening van het ventilatiedebiet dat onder bepaalde condities aanwezig is, wordt gebruik gemaakt van het eenzonemodel. Dit betekent dat het gebouw gezien wordt als een groot luchtvolume waarin zich ventilatie-Openingen bevinden (zie figuur 3)



figuur 3. eenzonemodel voor berekening van de natuurlijke ventilatie

Basis voor het berekenen van de ventilatieluchthoeveelheid is:

$$\Delta P_w + \Delta P_T = \left(\frac{\dot{V}_i}{C_d A_i} \right)^2 \frac{\rho}{2} + \left(\frac{\dot{V}_a}{C_d A_a} \right)^2 \frac{\rho}{2} \quad (2)$$

Met:

- ΔP_w drukverschil tussen toevoer en afvoer ten gevolge van wind in Pa
- ΔP_T drukverschil ten gevolge van thermiek tussen toevoer en afvoer in Pa
- \dot{V}_i toevoerdebiet in m³/s
- \dot{V}_a afvoerdebiet in m³/s
- C_d stromingscoëfficiënt
- A_i oppervlak toevoeropening in m²
- A_a oppervlak afvoeropening in m²
- ρ soortelijke massa van lucht in kg/m³

Voor deze vereenvoudigde situatie geldt:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_a = \dot{V}_{tot} \quad (3)$$

Als alleen thermische trek aanwezig is, geldt $\Delta P_w = 0$.

(2) gaat in combinatie met (3) over in:

$$\frac{\rho g h \Delta T}{T} = \frac{\dot{V}_i^2 \rho}{C_D^2 2} \left[\frac{1}{A_i^2} + \frac{1}{A_a^2} \right] \quad (4)$$

Met: $\frac{1}{A_e^2} = \frac{1}{A_i^2} + \frac{1}{A_a^2}$ wordt vergelijking (4):

$$\dot{V}_{tot} = C_D \cdot A_e \sqrt{2gh\Delta T / T_a} \quad (5)$$

Indien de toevoeropening en/of de afvoeropeningen uit diverse openingen bestaan, dient eerst via:

$$\frac{1}{A_i^2} = \frac{1}{\sum_x A_{i,x}^2} \text{ resp. } \frac{1}{A_a^2} = \frac{1}{\sum_y A_{a,y}^2} \quad (6)$$

A_i en A_a te worden bepaald, die vervolgens in (4) kunnen worden ingezet.

Indien alleen winddruk aanwezig is, gaat (2) over in:

$$\dot{V}_{tot} = C_D A_e v_R (\Delta C_p)^{1/2} \quad (7)$$

Met:

v_R referentiesnelheid in m/s.

De referentiesnelheid is gekoppeld aan de definitie van C_p ; meestal wordt de windsnelheid genomen op dakhoogte bij afwezigheid van het gebouw.

Voor ΔC_p geldt:

$$\Delta C_p = C_{pi} - C_{pa}$$

Met:

C_{pi} drukcoëfficiënt ter plaatse van toevoeropeningen

C_{pa} drukcoëfficiënt ter plaatse van afvoeropening.

Indien zowel winddruk als thermiek aanwezig is, is (2) niet tot een eenvoudige formule te herleiden.

In [5] wordt afhankelijk van de grootte $v_r / \sqrt{\Delta T}$ bepaald of er sprake is van:

“thermische trek” situatie: $\rightarrow v_r / \sqrt{\Delta T} < C^x$

“winddruk” situatie: $\rightarrow v_r / \sqrt{\Delta T} > C^x$

Met:

$$C^x = 0,26 \cdot \left(\frac{A_{e,T}}{A_{e,W}} \right)^{1/2} \left(\frac{h}{\Delta C_p} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Met:

$A_{e,T}$ equivalent ventilatie-oppervlak voor de thermische-situatie in m^2

$A_{e,W}$ equivalent ventilatie-oppervlak voor de winddruk-situatie in m^2

h hoogteverschil tussen toevoer- en afvoeropening in m.

3.2.2 Eenzijdige ventilatievoorziening

Bij een eenzijdige ventilatievoorziening, ontstaat er een thermische trek over de hoogte van het raam. Aan de onderzijde stroomt lucht naar binnen die - na menging en opwarming - door het bovenste gedeelte van de raamopening weer naar buiten stroomt.

Voor het ventilatiedebiet door thermiek geldt:

$$\dot{V}_T = 0,2A \left(\frac{gh_R \Delta T}{T_a} \right)^{1/2} \quad (9)$$

Met:

A oppervlak van de raamopening in m^2

h_R hoogte van het raam in m

ΔT temperatuurverschil tussen binnen en buiten in $^{\circ}C$

T_a buitenluchttemperatuur in K

De winddruk over de opening is beperkt als verondersteld wordt dat de ruimte alleen via het raam in effectief contact staat met buiten.

Voor het ventilatiedebiet ten gevolge van de wind geldt:

$$\dot{V}_w = 0,05 AV_R \quad (10)$$

De totale luchtstroom wordt dus:

$$\dot{V} = 0,2A \left(\frac{gh_r \Delta T}{T} \right)^{1/2} + 0,05 AV_R$$