

U.D.C. 699.81:697.92

ROOKVERSPREIDING EN VENTILATIESYSTEMEN

H.Ph.L. den Ouden

I N H O U D

1. INLEIDING
2. ROOK EN VENTILATIESYSTEMEN
3. MOGELIJKHEDEN VAN ONDERZOEK
4. WIJZE VAN ONDERZOEK IN HET STROMINGSANALOGON
5. BASISGEGEVENS BETREFFENDE HET GEBOUW
6. GEGEVENS BETREFFENDE DE BRAND
7. GEBOUW VAN ÉÉN VERDIEPING; LAGEDRUKSYSTEEM MET 7 LUCHT-
WISSELINGEN PER UUR
8. GEBOUW VAN 7 VERDIEPINGEN MET EEN LAGEDRUKSYSTEEM MET
7 LUCHTWISSELINGEN PER UUR
9. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK
10. BELANGRIJKSTE CONCLUSIES
11. HOGEDRUKSYSTEEM MET 2,5 LUCHTWISSELINGEN PER UUR
12. LITERATUUR

1. INLEIDING

Brand is van oudsher één der meest voorkomende rampen geweest.

De gebruikte bouwmaterialen, met name hout, en de toenmalige korte afstand tussen de woningen, hadden tot gevolg dat hele stadswijken en soms steden in de as werden gelegd. Niet alleen veel mensenlevens waren en zijn hiermee gemoeid (Engeland 1000 per jaar, U.S.A. 12000 per jaar, Nederland 50 per jaar), ook de materiële schade is aanzienlijk (Engeland £100 mill. per jaar, Nederland f200 mill.).

Door de technische ontwikkeling zijn weliswaar de brandbestrijders thans van aanzienlijk betere en meer effectieve bestrijdingsmiddelen voorzien, zoals blusmateriaal, detectiemateriaal, enz.

Dezelfde technische ontwikkeling vergroot echter ook de kansen op zeer grote branden. Oorzaken hiervoor zijn o.a.: grotere fabriekscomplexen, grotere hallen van soms enkele tienduizenden vierkante meters zonder tussenwanden, het verwerken van soms zeer brandbare, vroeger onbekende grondstoffen en halffabrikaten.

Buiten de industrie doet zich hetzelfde voor. Bij ziekenhuisbranden in de U.S.A. zijn b.v. narcotica, zuurstoftenten en zelfs koelkasten aanleiding tot soms grote branden geweest.

De Japanner Kawago legt verband tussen de hoeveelheid verbruikte energie per inwoner en het aantal slachtoffers per 100.000 inwoners (zie fig. 1). Hieruit zou men kunnen afleiden, dat een relatieve stijging van het aantal slachtoffers bij toenemende industrialisatie in de lijn der verwachting ligt. Statistische gegevens ondersteunen deze hypothese, al neemt Nederland thans met o.a. Frankrijk en Zwitserland een relatief gunstige plaats in op deze zwarte lijst.

2. ROOK EN VENTILATIESYSTEMEN

Voor wat betreft het in de titel gelegde verband tussen rookverspreiding en ventilatiesystemen is met betrekking tot de rook op te merken dat het percentage slachtoffers dat direct aan de rook is toe te schrijven volgens Amerikaanse gegevens 85% bedraagt van het totaal en volgens een canadese bron tenminste 50%.

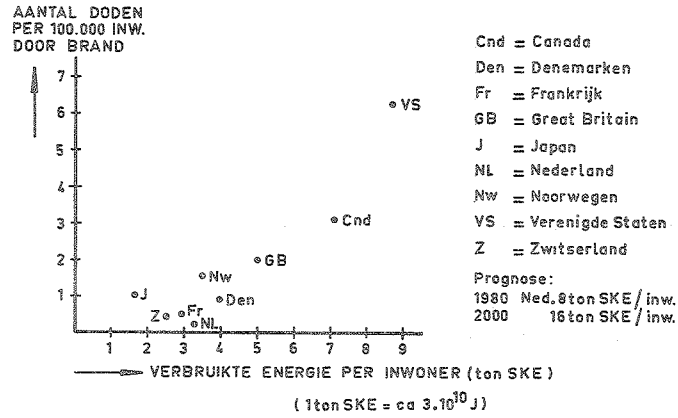


FIG.1 VERBAND TUSSEN AANTAL DODELIJKE ONGEVALLLEN DOOR BRAND EN DE HOEVEELHEID VERBRUIKTE ENERGIE (vlg. Kawago)

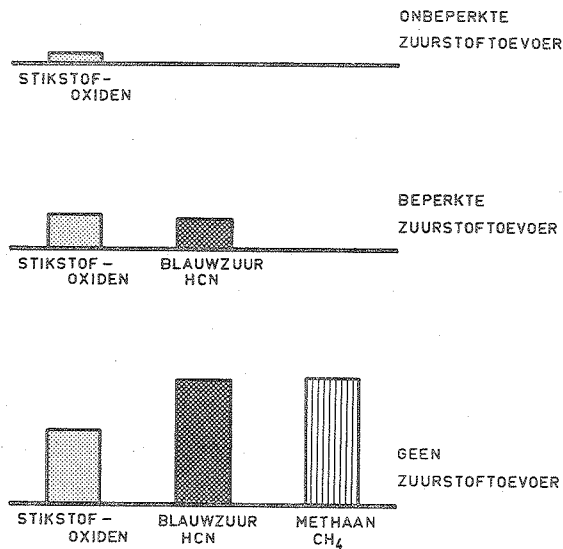


FIG.2 VERBRANDING VAN ACRYLVEZELS

Meestal is de oorzaak gebrek aan zuurstof of het inademen van koolmonoxide. Moderne synthetische bouwmaterialen en andere eventueel aanwezige kunststoffen hebben dit gevaar vergroot. Onder de omstandigheden tijdens een brand is gewoonlijk te weinig zuurstof aanwezig om volledige verbranding te verkrijgen.

Naast het op zichzelf reeds gevaarlijke koolmonoxide ontstaat dan bij aanwezigheid van polyvinylchloride (p.v.c.) waterstofchloride, dat met water zoutzuur vormt en in het geval van acrylaten waterstofcyanide of blauwzuur en het explosieve methaan, terwijl ook het gehalte aan stikstofoxiden stijgt bij afnemende zuurstoftoevoer. (fig.2). Niettemin blijft koolmonoxide verreweg het grootste gevaar.

Verbrandingsprodukten van p.v.c. hebben echter aanleiding gegeven tot rookschade die de brandschade met een faktor 10 overtreft.

In de allereerste plaats echter is, zowel met het oog op de ont-ruiming van een gebouw, als met het oog op de brandbestrijding, een belemmering van het zicht gevaarlijk en ongewenst. Het zien van rook heeft als psychologisch gevolg, dat men dikwijls nalaat te vluchten als dit nog wel mogelijk is. Genoemd wordt een gewenst minimum zicht van ongeveer 20 m in een onbekende omgeving en van 6 m in een bekende omgeving. (Kawago).

Wat de ventilatiesystemen betreft is het duidelijk, dat de aanwezigheid hiervan een onbekende en onzekere faktor vormt bij een brand en bij de verspreiding van rook in het bijzonder.

Het afvoersysteem mag dan bijdragen tot de afvoer van de rook, de toevoer vormt in principe een bijdrage tot de zuurstofbehoefte van de brand. Verder vormen de kanalen een weg waarlangs vuur en rook zich, zowel horizontaal als vertikaal, kunnen verspreiden.

Het is begrijpelijk dat, zowel in als buiten ons land, de voorschriften ingeval van brand bij aanwezigheid van een ventilatiesysteem dan ook dikwijls omvatten het uitschakelen van de ventilatoren en het afsluiten van de kanalen door rook- en/of brandkleppen. Een mogelijke gunstige invloed van het ventilatiesysteem onder deze omstandigheden wordt door deze voorschriften bij voorbaat uitgeschakeld. Alleen een systematisch onderzoek kan een betere basis voor de te treffen maatregelen verschaffen.

3. MOGELIJKHEDEN VAN ONDERZOEK

Onderzoek dat tot een meer verantwoorde benadering van dit probleem leidt, vond eerst betrekkelijk kort geleden plaats, met name in Japan, de U.S.A. en Canada. Dat juist deze landen hiermee begonnen zal mede veroorzaakt zijn door de daar eerder en meer dan hier voorkomende hoogbouw, die door de ontoereikendheid van brandladders reeds andere benaderingsmethoden voor de brandbestrijding nodig maakt. Bovendien bevordert de door de brand opgewekte trek bij grotere bouwhoogten zowel vlam- als rookverspreiding, terwijl de vluchtwegen beperkter in aantal en langer zijn t.o.v. lagere gebouwen met dezelfde inhoud.

Zoals op ander gebied staan voor het onderzoek naar de rookverspreiding in principe twee wegen open: die van het experiment en die van berekening. Het onderwerp brengt met zich mee, dat experimenteel onderzoek maar in beperkte mate mogelijk is. Wel kunnen tijdens zich voordoende branden ervaringen worden opgedaan. De omstandigheden zijn dan echter zodanig, dat de van belang zijnde gegevens dikwijls niet meer te achterhalen zijn.

Berekeningen waren eerst mogelijk, nadat de vergelijkingen voor luchttransport, rookproduktie en de invloed van andere factoren, zoals de windsnelheid en -richting, temperatuurverschillen tussen binnen en buiten het gebouw enz., waren opgesteld. Ook thans echter moeten voor de getalwaarden van een deel van de diverse invloedsfactoren schattingen worden gedaan. De gecompliceerdheid van dit soort berekeningen maakte uitvoering ervan eerst mogelijk met de nieuw ontwikkelde rekentechnieken: de computermethode en de bij het beschreven onderzoek toegepaste analoge methode.

De T.V.V.L. heeft het initiatief genomen om een onderzoek als hierboven genoemd te doen verrichten, teneinde tot meer inzicht en betere preventieve maatregelen te geraken.

Het doel van dit onderzoek was na te gaan of

- rookverspreiding via een ventilatiesysteem optreedt en hoe deze is te voorkomen
- een ventilatiesysteem kan bijdragen tot de beperking van de rookhinder in geval van brand

- naast dit ventilatiesysteem nog aanvullende ventilatiemogelijkheden wenselijk zijn
 - een rookvrije vluchtweg zo goed mogelijk kan worden gehandhaafd.
- Naast dit onderzoek naar de verspreiding van rook door ventilatiesystemen zullen door de betrokken Werkcommissie nog een aantal aspecten worden onderzocht, t.w. de vlamuitbreiding bij luchtkanalen en de uitbreiding door doorslag en overslag.
- In de werkgroep zijn vertegenwoordigd de Rijksinspectie van de Brandweer, het Centrum voor Brandveiligheid van het I.B.B.C.-TNO de Stichting Bouwresearch, die ook financiële medewerking verleent, en het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, dat het onderzoek naar de rookverspreiding verrichtte en dat gebruik kon maken van het daar aanwezige elektrische stromingsanalogon.

4. WIJZE VAN ONDERZOEK IN HET STROMINGSANALOGON

In dit analogon wordt gebruik gemaakt van de overeenkomst tussen enerzijds de elektrische stroomsterkte, de elektrische weerstand en de elektrische spanning in een circuit en anderzijds de volumestroom, de luchtweerstand en het drukverschil over een element waar lucht doorheen stroomt.

Voor het laatste is gevonden, dat het luchttransport door b.v. een raamkier zich laat voorstellen door

$$V = l \cdot C \cdot (\Delta p)^{\frac{1}{n}}$$

waarin:

- V de volumestroom
- l de totale lengte van de raamspleten
- C de infiltratiecoëfficiënt, die een maat is voor de luchtdichtheid van de constructie
- Δp het drukverschil over de constructie
- $\frac{1}{n}$ een exponent, waarin $n = 1$ voor zuiver gelaagde of laminaire stroming
 $n = 2$ voor volledig turbulente stroming

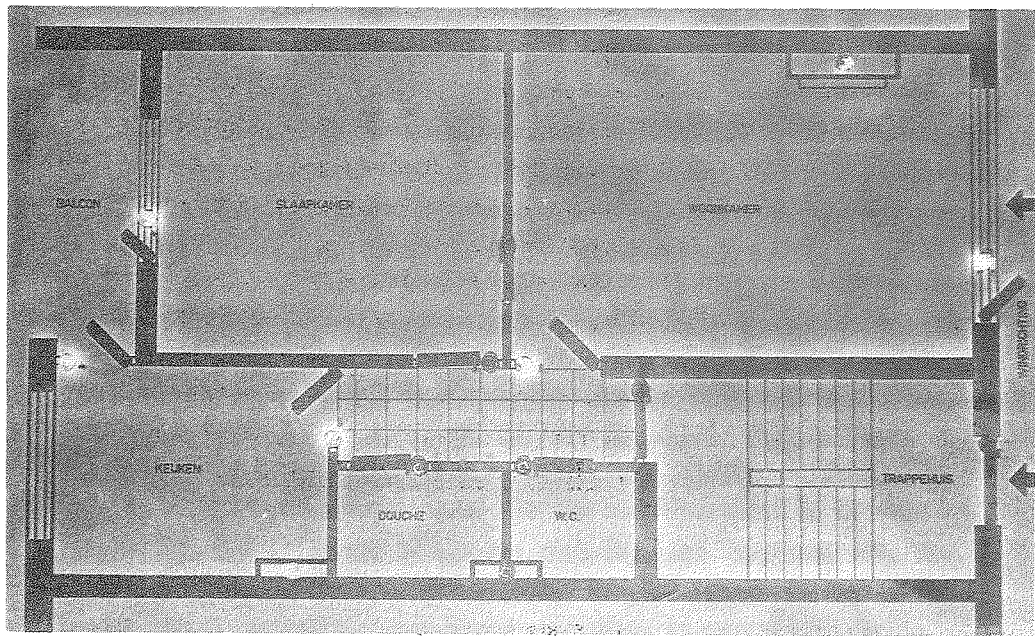


FIG. 3

PRINCIPE VAN HET STROMINGSANALOGON

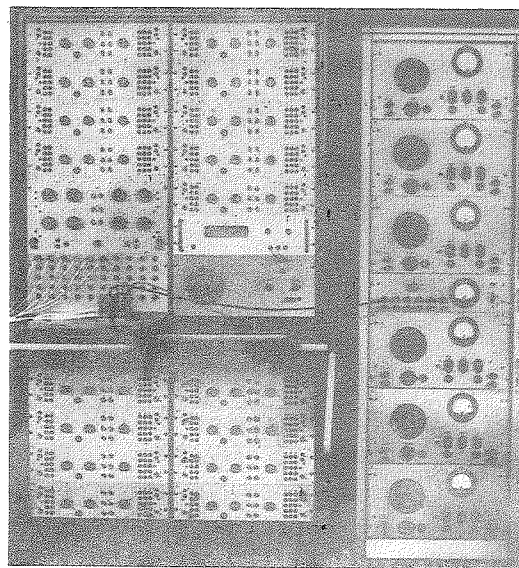


FIG. 4

HET ANALOGON MET DE VOEDINGSEENHEDEN

De analoge formule voor een stroomkring luidt:

$$i = \frac{1}{R} E^n$$

waarin:

i de stroomsterkte

E de spanning

R de weerstand

$$1 \leq n \leq 2$$

Voor andere openingen wordt het produkt $l \times C$ vervangen door een van de grootte van de opening afhankelijk coëfficiënt, b.v. voor open ramen, roosters, luchtkanalen, enz.

Uit de formule blijkt, dat voor zuiver laminaire stroming gebruik gemaakt kan worden van Ohmse weerstanden, waarbij stroom en spanning recht evenredig zijn. Zuiver laminaire stroming komt technisch weinig voor, zodat gezocht moest worden naar andere typen elektrische weerstanden. Het bleek dat gloeilampen, al dan niet gasgevuld, de mogelijkheid gaven het gestelde doel te bereiken. Door combinaties van vacuumlampen, gasgevulde lampen en/of Ohmse weerstanden is elke gewenste exponent hiermee in te stellen. Het vermogen van de gloeilampen is daarbij evenredig met de luchtdoorlatendheid.

Een eenvoudige toepassing van dit analogon is in fig. 3 weergegeven, waarbij het luchttransport door een eenvoudige plattegrond van een woning onder invloed van de wind kan worden vastgesteld.

In dit geval is één spanningsbron aanwezig die de winddruk over het gebouw voorstelt.

Is op het dak een andere druk te verwachten dan aan de zijzijde van het gebouw, dan zal een tweede spanningsbron noodzakelijk zijn of een aftakking van de reeds aanwezige.

Bij meer gecompliceerde plattegronden is het aantal elementen uiteraard groter, al zullen een aantal vereenvoudigingen mogelijk zijn, b.v. in het geval van identieke parallel gelegen vertrekken.

Voor eventueel aanwezige ventilatoren en voor de trek ten gevolge van temperatuurverschillen in ventilatiekanalen of trappehuizen kunnen overeenkomstige spanningsbronnen in het elektrische netwerk worden opgenomen.

In de loop der jaren is gebleken dat dit analogon op andere wijze moeilijk te beantwoorden vragen kon helpen oplossen. Hiertoe behoren o.a. de invloed van beweegbare ramen op de werking van een ventilatiesysteem, bijzondere eisen te stellen aan voorzieningen in b.v. radiologische laboratoria.

Fig. 4 geeft een afbeelding van dit stromingsanalogon. Als aangenomen wordt, dat de gegevens voor de opbouw van het elektrisch model bekend zijn, resp. hiervoor een redelijke schatting kan worden gemaakt, zoals de dichtheid der diverse elementen, de capaciteit van ventilatoren enz., blijven als uitwendige, onbekende factoren de wind en de daardoor veroorzaakte drukken, b.v. op de gevels, op de aanzuigopeningen en de buitentemperatuur.

Voor deze buitentemperatuur kan een redelijke aanname worden gedaan, naar gelang het jaargetijde. De winddrukken kunnen reeds in de ontwerpfasen van een gebouw worden bepaald aan de hand van een onderzoek aan een maquette in een windtunnel. De Afdeling Binnenklimaat van het I.G.-TNO beschikt voor dit doel over een dergelijke tunnel. Deze wordt b.v. ook gebruikt voor het onderzoek naar de verspreiding van rook uit schoorstenen.

5. BASISGEGEVENS BETREFFENDE HET GEBOUW

Bij het onderhavige onderzoek is het niet mogelijk het vraagstuk in zijn algemeenheid op te lossen. Men dient uit te gaan van een fictief gebouw en in het model hiervan de invloed van de diverse factoren na te gaan.

Gekozen is een type gebouw, dat veel voorkomt en waarbij zich tussen twee trappehuizen een gang bevindt, aan weerszijden waarvan een aantal kamers is gelegen (fig. 5).

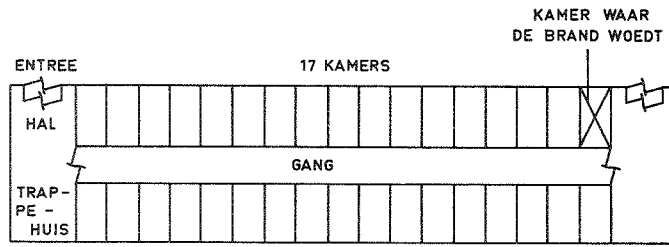


FIG. 5 PLATTEGROND

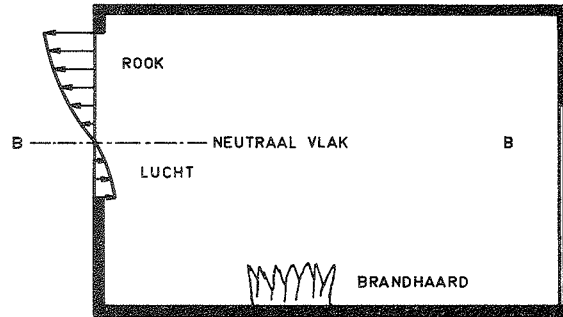


FIG. 6 PLAATS NEUTRALE VLAK EN SNELHEIDS VERLOOP IN OPEN RAAM

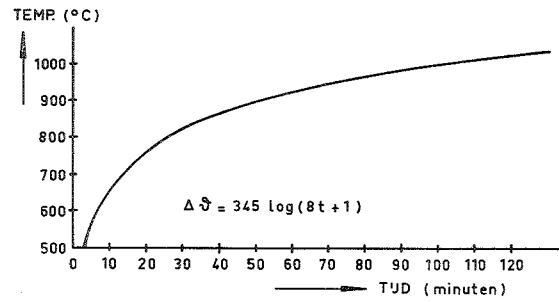


FIG. 7 STANDAARD BRANDKROMME

De constructieve bijzonderheden van dit gebouw zijn op grond van ervaring gekozen en in getalwaarde in het model verdisconteerd.

Hiertoe behoren bijvoorbeeld:

- de afmetingen en dichtheid van de ramen
- de afmetingen en dichtheid van kamerdeuren, gangdeuren en toegangsdeuren
- het aantal verdiepingen

In eerste instantie werd een gebouw van één verdieping onderzocht, later uit te breiden tot zeven verdiepingen.

- de windsnelheid

Als ongunstigste omstandigheid is een vrij krachtige wind (8 - 11 m/s) aangenomen loodrecht op de gevel waar de brandhaard zich bevindt.

- het type ventilatiesysteem.

Aangezien het onderzoek betrekking heeft op de eventuele rookverspreiding via dit systeem, is allereerst een lagedruk-systeem gekozen, waarin de kans op rookverspreiding het grootst lijkt. Dit systeem maakt gebruik van een vrij groot aantal luchtwisselingen, in dit geval ca. 7 x per uur, waarbij roosters met een lage luchtweerstand worden toegepast. Zowel toe- als afvoer-roosters zijn aangebracht in de vertrekken aan de gangzijde. Bij de momenteel veel toegepaste hogedrukssystemen met weinig luchtwisselingen en relatief hoge roosterweerstand lijkt de kans op rookverspreiding o.a. door deze beide eigenschappen geringer. De juistheid van deze gedachte werd nagegaan voor een dergelijk systeem met 2,5 luchtwisselingen per uur.

In de derde plaats werd nogmaals een lagedrukstelsel echter met een zeer hoog aantal luchtwisselingen (15) onderzocht, o.a. met het oog op de toepassing hiervan in moderne ziekenhuizen.

Voor de weergave van de invloeden van de brand werd gebruik gemaakt van door het Centrum voor Brandveiligheid van het I.B.B.C.-TNO verstrekte gegevens.

6. GEGEVENS BETREFFENDE DE BRAND

Indien in een vertrek zich een brandhaard bevindt zal de verhoogde temperatuur een drukverschil veroorzaken, zodanig dat boven in het vertrek een drukverhoging aanwezig is en bij de vloer een drukverlaging. Ergens hiertussen bevindt zich een neutrale zône; bij een homogene temperatuur in het vertrek is dit een horizontaal vlak. Als, bij intact zijnde gesloten ramen, de kamerdeur wordt geopend, kan de hoogte van de neutrale zône worden berekend uit:

$$\frac{4,94 \sqrt{1 + \alpha t}}{3,975} = \sqrt{\left(\frac{2 - h_1}{h_1}\right)^3}$$

waarin:

- α de uitzettingscoëfficiënt van gassen = $\frac{1}{273}$
- t de temperatuur in $^{\circ}\text{C}$
- h_1 de te berekenen hoogte in m

De beide coëfficiënten zijn afhankelijk van het soortelijk gewicht van de rookgassen en van de toename van het volume rookgassen ten opzichte van dat van de verbrandingslucht in gereduceerde toestand. Bij de aangenomen deurhoogte van 2 m blijkt h_1 te variëren van 0,663 tot 0,760 m bij temperaturen tussen 500 en 1200 $^{\circ}\text{C}$. (fig. 6). Hoewel het analogon in principe de bepaling van deze hoogte zelf als resultaat geeft, kon reeds rekening worden gehouden met het feit, dat bij open deur en gesloten raam tot op 1/3 van de hoogte vanaf de vloer lucht toestroomt en door de rest rook ontwijkt. Voor de temperatuur van de rookgassen werd ca. 800 $^{\circ}\text{C}$ gekozen. Bij het begin van een brand mag verder worden aangenomen, dat de temperatuur van de rookgassen vrij snel daalt tijdens de verspreiding. In feite betekent dit, dat dié toestand onderzocht is, waarbij de deur juist wordt geopend op het ogenblik dat de temperatuur in het gehele vertrek 800 $^{\circ}\text{C}$ bedraagt. Zowel engelse, japanse als nederlandse onderzoekresultaten geven aan, dat deze temperatuur tijdens een brand in het algemeen niet zal worden overtroffen. Volgens de standaard brandkromme (NEN 1076) wordt deze temperatuur na ca. 30 minuten bereikt (fig. 7).



FIG. 8

ROOKPROEVEN EN LUCHTTOEVOER BIJ EEN UITSLAANDE BRAND

Bij een zgn. uitslaande brand is dikwijls goed te zien hoe de rook door het bovenste deel van de vensteropeningen ontwijkt. Het toestromen van lucht in het onderste deel is uiteraard niet zichtbaar. (fig. 8). Opent men de deur van een overigens gesloten brandend vertrek, dan zal dikwijls een steekvlam door de aanwezigheid van brandbare gassen van dit openen het gevolg kunnen zijn, juist in het bovenste deel van de opening. Op deze omstandigheid is de brandweer uiteraard voorbereid.

De gegevens voor wat de drukverhoging door de brand betreft zijn hiermede bekend. De situering van de brand kan voor het onderzoek het best op de meest ongunstige plaats worden aangenomen.

Dit betekent in het algemeen een brand op de laagste verdieping, omdat het effect van de veroorzaakte trek dan maximaal is.

Als ongunstigste toestand t.o.v. de wind werd verder een windsnelheid van 8 à 11 m/s aangenomen, loodrecht op de gevel waar de brand woedt. De hierdoor veroorzaakte overdruk werd bepaald op 40 N/m^2 (4,0 mmWK) oplopend tot 58 N/m^2 (5,8 mmWK) voor de hogere verdiepingen; de onderdruk aan de lijzijde bedraagt overal 12 N/m^2 (1,2 mmWK).

Met de hier genoemde gegevens werd het onderzoek verricht. Hierbij werd er steeds van uitgegaan, dat eventuele recirculatie na het constateren van de brand onmiddellijk wordt uitgeschakeld. In het midden wordt daarbij gelaten of dit met de hand dan wel automatisch geschiedt.

7. GEBOUW VAN ÉÉN VERDIEPING; LAGEDRUKSYSTEEM MET 7 LUCHTWISSELINGEN PER UUR (fig. 9).

Bij dit systeem is uitgegaan van een opvoerhoogte van de toevoer-ventilator van 300 N/m^2 (30 mmWK) en een weerstand van de toevoer-roosters van 30 N/m^2 (3 mmWK).

Dit eerste deel van het onderzoek toonde aan, dat de luchttoevoer in het brandende vertrek, ondanks het betrekkelijk hoge ventilatievoud, minder dan 10% van de luchtbehoefte van de brand dekt.

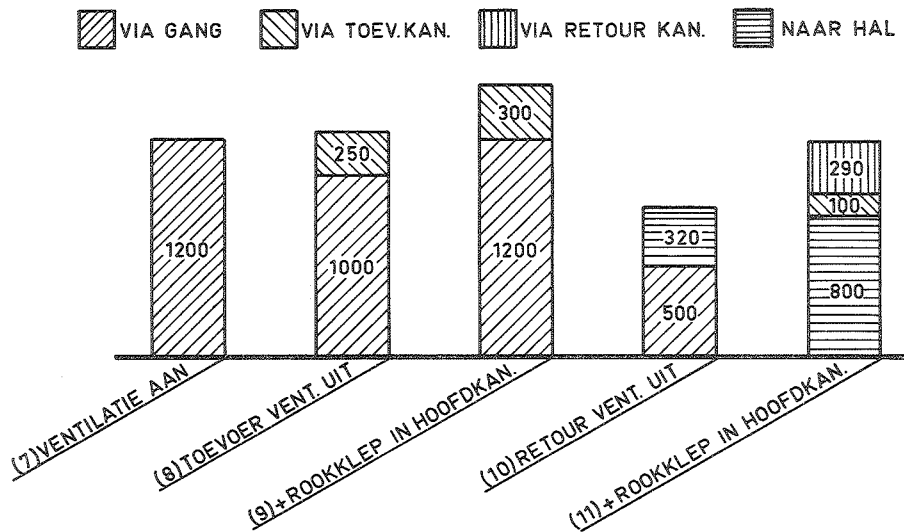


FIG.9 ROOKVERSPREIDING IN m³/h BIJ ÉÉN VERDIEPING EN LAGEDRUK VENT.

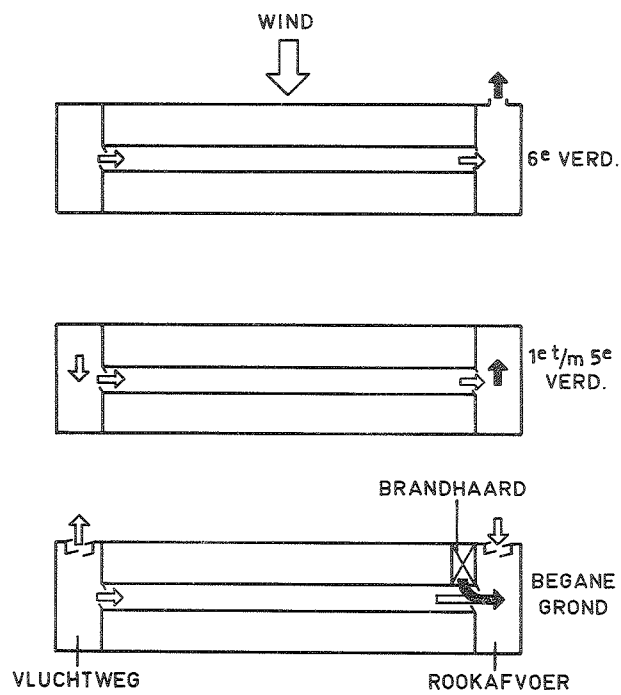


FIG.10 TOESTAND WAARNAAR WORDT GESTREEFD

Het bleek bovendien dat verspreiding van rook noch via de toevoerkanaalen noch via de retourkanalen optreedt bij ingeschakelde ventilatie. Via de retourleiding blijkt, als de deur van de brandende kamer geopend is, ca. 12% van de totale hoeveelheid rook te ontwijken. Verspreiding via het systeem vindt dus niet plaats. Tevens werd nagegaan wat de invloed is van achtereenvolgens het uitschakelen van de toevoerventilator, al dan niet met een rook- of brandklep in de toevoerleiding. Ook voor de retourventilator werd dit nagegaan.

Uitschakelen van de toevoerventilator blijkt verspreiding van rook via het systeem naar de andere op het systeem aangesloten vertrekken mogelijk te maken. De overdruk in de brandkamer ter plaatse van de toevoerroosters, samen met de onderdruk in de andere kamers, is hiervan de oorzaak. Rookkleppen in het hoofdkanaal vergroten dit transport enigszins, doordat alle lucht nu via de ramen binnenkomt en de drukverschillen tussen de kamers en de brandkamer, iets toenemen.

Uitschakelen van de retourventilator veroorzaakt een drukverhoging in het gebouw, waardoor meer rook rechtstreeks naar buiten wordt geblazen, met name als het raam is bezweken. Rookverspreiding via het systeem vindt dan niet plaats. Een eventuele rookklep in het hoofdkanaal blijkt ook hier ongunstig: zowel via toe- als afvoerkanaalen vindt dan transport naar andere vertrekken plaats.

De voorlopig hieruit getrokken conclusies, zoals deze op het Brandweercongres te Eindhoven in 1968 konden worden medegedeeld, waren dan ook:

- de recirculatie moet worden uitgeschakeld
- de luchttoevoer vormt, zelfs bij een hoog ventilatievoud, slechts een klein deel van de luchtbehoefte van de brand
- een ingeschakeld ventilatiesysteem is eerder gunstig dan ongunstig
- de aanwezigheid van brandkleppen of rookkleppen kan soms de rookverspreiding nadelig beïnvloeden
- tussen het uitschakelen van òf het toevoer- òf het retourstelsel bestaat in dit geval geen groot verschil, al is het laatste iets gunstiger.

Deze conclusies konden worden getrokken aan de hand van de uitkomsten van 36 metingen, waarbij een aantal variaties betreffende de windrichting en de al of niet open verbinding van de brandende kamer met de gang en/of buiten werden onderzocht.

8. GEBOUW VAN 7 VERDIEPINGEN MET EEN LAGEDRUKSYSTEEM MET 7 LUCHT-
WISSELINGEN PER UUR

Het betrof een gebouw met dezelfde plattegrond en met hetzelfde lagedruk-ventilatiesysteem, echter in 7 bouwlagen.

Voor een dergelijk gebouw zijn de gewenste richtingen van de lucht- en rooktransporten in fig. 10 aangegeven.

Een aantal situaties werd onderzocht waarvoor 37 metingen werden verricht.

De beschouwde factoren kunnen als volgt worden toegelicht:

- Als zeer ongunstige faktor t.o.v. het gebouw van één verdieping komt bij de aanwezigheid van meerdere verdiepingen het ongunstig werkende verticale temperatuurverschil in de trappehuizen naar voren (schoorsteeneffekt). Om dit maximaal tot uitdrukking te brengen werd verondersteld dat de deuren tussen de laagst gelegen gang en één der trappehuizen waren bezwaken of openstonden. Over de temperatuurstijging in het trappenhuis, die hiervan het gevolg is, kon slechts een schatting worden gemaakt. Gekozen is een temperatuurverloop van 70°C beneden tot gemiddeld 30°C boven in het trappenhuis.
- Daar de buitentemperatuur nu ook een belangrijke invloedsfaktor gaat vormen is deze op -10°C aangenomen, zodat de te verwachten trek hierdoor maximaal wordt.
- In één der trappehuizen is een liftkoker gedacht. Deze koker heeft een, zij het kleine, rechtstreekse verbinding met het dak.
- Praktijk is verder in een gebouw, dat de deuren naar het trappenhuis dikwijls, in strijd met de voorschriften, blijvend openstaan. In een 5-tal metingen is ook de invloed hiervan onderzocht.

- Dergelijke, meestal zelfsluitende, deuren vertonen bovendien de eigenschap, dat deze zich bij een bepaald drukverschil gedeeltelijk openen. Dit verschijnsel kon elektrisch goed worden nagebootst. Daartoe werd in een bestaand gebouw voor een aantal van dit soort deuren vastgesteld, dat dergelijke zelfsluitende binnendeuren zich gemiddeld bij een drukverschil groter dan 25 N/m^2 (2,5 mmWK) over de deuren gedeeltelijk openen.
- Eén meting vond plaats, waarbij de plaats van het aanzuigrooster voor het systeem aan de windzijde werd aangenomen. Deze omstandigheid verhoogt de druk in het gebouw en beperkt zodoende de rookverspreiding. Bij alle andere metingen werd van de in dit opzicht ongunstiger toestand uitgegaan, dat de lucht op een plaats met onderdruk wordt aangezogen.
- Dikwijls wordt de retourlucht via de gang afgezogen, waarbij roosters b.v. in de deuren zijn aangebracht. Eén meting aan een dergelijk systeem werd verricht.
- Als methode om de rook af te voeren wordt soms het aanbrengen van een automatisch openend luik in het dak van een trappenhuis voorgeschreven. De invloed daarvan werd mede onderzocht.
- Als variant hierop werd opgenomen het systeem met een afzuigventilator in het trappenhuis, dat het dichtst bij de brand is gelegen ("rooktrappenhuis").
- Uit de resultaten bleek het nuttig bovendien na te gaan wat het effect was van een gelijktijdig inschakelen van een toevoerventilator in het andere trappenhuis. ("vluchttrappenhuis").
- Ook bij deze serie metingen werd nagegaan, wat het effect was van het uitschakelen van de retourventilator van het systeem.
- Evenals bij de eerste serie metingen betroffen de overige variaties het al dan niet aanwezig zijn van wind, terwijl ook bij de, op zich zelf gunstige, toestand dat de brand aan de lijzijde woedde, een aantal metingen werd verricht.

in m³/h.

ROOK VAN BR. KAMER:
NAAR GANG



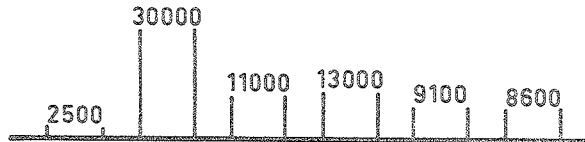
NAAR VENT. SYSTEEM



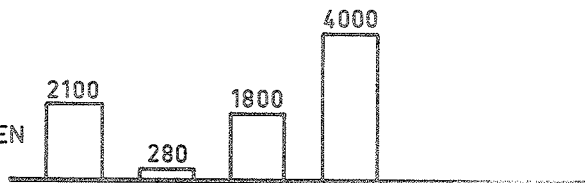
ROOK VAN GANG:
NAAR ANDERE KAMERS
NAAR VLUCHTTR. HUIS



NAAR ROOKTR. HUIS



ROOK VAN TR. HUIS
NAAR HOGER GELEGEN GANGEN



LUCHT VAN:
GANGEN NAAR VLUCHTTR. HUIS



- (45) VENT. SYSTEEM IN
- (53) als 45 + ROOKLUIK
- (57) als 45 + MECH. ROOKAFZ.
- (63) als 57 + LUCHT INBL. VL. TR. HUIS
- (70) als 63 ZONDER RET. VENTILATOR
- (73) als 70 MET OPEN DEUREN IN ROOKTR. HUIS

(ZOWEL RAAM ALS DEUR UITGEBRAND)

FIG. 11 ROOKVERSPREIDING BIJ 7 ETAGES MET L.D. VENT.

9. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

Als steeds bij dergelijke onderzoeken is het zaak om het aantal metingen te beperken. Op de keuze van de hiervoor genoemde variabelen is daardoor zeker kritiek mogelijk. Toch werd de invloed van bepaalde factoren zeer duidelijk aangetoond.

Sommige hiervan zijn min of meer voor de hand liggend.

Zo is de in het gebouw verspreide hoeveelheid rook uiteraard het geringst, als de deur van het brandende vertrek intact is, maar het raam reeds is bezweken. Voor de vlamverspreiding is dit een minder gunstige toestand, maar wij beperken ons tot rookverspreiding.

Verder is aannemelijk, dat als èn het raam èn de deur bezweken zijn en een luik in één der trappehuizen is geopend, verticale stromingen maximaal zullen zijn.

Dat geopende gangdeuren boven in het gebouw ongunstig zijn was wel te voorzien. Kwantitatief bleek dat de naar de betrokken gang stromende hoeveelheid rook ongeveer verzesvoudigd werd.

Figuur 11 geeft een aantal meetresultaten. Deze betroffen alle de situatie, dat van de "brandkamer" èn het raam èn de deur zijn uitgebrand. Verder zijn de volgende variaties onderzocht:

1. ventilatiesysteem ingeschakeld
2. als 1. met rookluik in trappehuis
3. als 2. met afzuigventilator i.p.v. rookluik
4. als 3. met inblaasventilator in vluchttrappehuis
5. als 4. echter met uitgeschakelde retourventilator van het ventilatiesysteem
6. als 5. met openstaande gangdeuren boven in het trappehuis.

Uit de eerste meting blijkt, dat zonder maatregelen de rook wèl via de benedengang maar niét via het ventilatiesysteem in het vluchttrappehuis doordringt. Bovendien verspreidt de rook zich via de gangen door het gebouw. Noch het aanbrengen van een rookluik (2), noch een afzuigventilator in het trappehuis (3) waren voldoende om dit te voorkomen. Wordt bovendien een inblaasventilator in het vluchttrappehuis aangebracht, dan is wel de vluchtweg rookvrij,

maar de rook verspreidt zich nog naar de gangen en de kamers, zelfs in beperkte mate via het ventilatiesysteem (4). Wanneer van het ventilatiesysteem de retourventilator wordt uitgeschakeld (5), wordt het gestelde bereikt. Zelfs als een aantal deuren tussen hooggelegen gangen en het trappenhuis geopend zijn blijft dit het geval (6).

10. BELANGRIJKSTE CONCLUSIES

A. Als eerste en belangrijkste algemene conclusie kon duidelijk worden vastgesteld, dat drukverhoging in het gebouw een vereiste is om het gestelde doel te bereiken. Dit beperkt de hoeveelheid rook, die in het gebouw doordringt, en voert meer rook direkt naar buiten af.

De volgende factoren werken hiertoe mede:

- Zeer belangrijk is het uitschakelen van de retourventilator
- Wanneer zowel de aan- als de afvoeropeningen aanwezig zijn op de gevel, waar de wind op staat, verhoogt dit de druk in het gebouw. Uiteraard is dit van de toevallige weersomstandigheid afhankelijk. Open buitendeuren aan de windzijde bleken later eveneens gunstig. (zie hoofdstuk 11).

B. Als tweede belangrijke algemene conclusie is verder geconstateerd dat een systeem waarbij lucht in het vluchttrappenhuis wordt ingeblazen en rook in het rooktrappenhuis wordt afgezogen, zowel voor een rookvrije vluchtweg als voor een zo gunstig mogelijke rookafvoer, de meeste zekerheid geeft. Dit is het geval onder combinaties van allerlei ongunstige omstandigheden, t.w.:

- uitgebrand raam en/of deur
- wind op de brandkamer
- een geopende gangdeur

Alleen wanneer gangdeuren op verschillende verdiepingen worden geopend kan er toch nog rook in het vluchttrappenhuis doordringen via de hoogst gelegen verdiepingen.

De gewenste capaciteit werd voor dit geval vastgesteld op ca. $8000 \text{ m}^3/\text{h}$ bij $40 \text{ à } 50 \text{ N/m}^2$ ($4 \text{ à } 5 \text{ mmWK}$) en een zo steil mogelijke karakteristiek.

- C. Ten derde bleek dat, hoewel een rookluik ongeveer dezelfde hoeveelheid rook kon afvoeren als een ventilator, de laatste mogelijkheid minder verspreiding van de rook gaf, vooral als ook het raam in de brandkamer bezweken was. De oorzaak hiervan is dat, terwijl een ventilator de rook vanuit het trappenhuis wegzuigt en de druk hierin dus verlaagt, bij het transport door een rookluik een overdruk vóór het luik vereist is die weliswaar de rook door het luik afvoert, maar tevens de kans op transport van rook naar de gangen op de hogere verdiepingen doet toenemen.

Samenvattend blijkt het uitschakelen van de retourventilator gecombineerd met een dwarsventilatie door de gangen vanuit het vluchtrappehuis naar het rooktrappenhuis het meest effectief te zijn. Een twintigtal metingen aan eenzelfde systeem, echter met 15 luchtwisselingen per uur, geven geen aanleiding tot het wijzigen van deze conclusies.

11. HOGEDRUKSYSTEEM MET 2,5 LUCHTWISSELINGEN PER UUR

Van belang is hierbij de opvoerhoogte van de in het ventilatiesysteem toegepaste ventilatoren. Deze zijn gesteld op resp. 1000 en 300 N/m^2 (100 en 30 mmWK) voor de toe- en afvoerventilator met overeenkomstige roosterweerstand van resp. 200 en 20 N/m^2 (20 en 2 mmWK).

Het blijkt dat bij toepassing van de methode met uitgeschakelde retourventilator en een toe- en afvoer in resp. het éne en het andere trappenhuis, het resultaat minder gunstig is dan bij de overeenkomstige metingen bij lagedrukssystemen met veel luchtwisselingen. De oorzaak hiervan is te vinden in de combinatie van weinig luchtwisselingen en grote opvoerhoogte van de aanvoerventilator. De overdruk in het gebouw zal onder deze omstandigheden bij uitschakelen van de retourventilator minder hoog worden dan bij lagedrukssystemen onder dezelfde omstandigheden.

De vluchtweg blijft in principe wel rookvrij, maar rook kan in de bovenverdiepingen doordringen via de gangen vanuit het rooktrappenhuis. Wordt de capaciteit van de ventilatoren in de trappehuizen vergroot, dan kan hetzelfde gunstige resultaat worden bereikt als bij de vorige serie metingen.

Oriënterend kan deze ventilatorcapaciteit voor dit gebouw en met dit hogedrukventilatiesysteem gesteld worden op ca. $12000 \text{ m}^3/\text{h}$, bij 60 à 80 N/m^2 en een zo steil mogelijke karakteristiek.

Een afzonderlijk deel van het onderzoek vormde de invloed van openstaande buitendeuren.

Nagegaan werd het gevolg van het openstaan van deuren in beide trappehuizen, en in elk trappenhuis afzonderlijk. Voor al deze gevallen is er bovendien verschil tussen deuren aan de lijzijde en aan de loefzijde van het gebouw.

De resultaten tonen aan, dat met name een open deur aan de loefzijde in het rookvrije trappenhuis (met luchttoevoer) een gunstige invloed heeft.

Staat ook in het andere, met rook gevulde, trappenhuis een deur aan de windzijde open, dan wordt de totale rookverspreiding in het gebouw aanzienlijk kleiner (ongeveer met een faktor 4), maar een volkomen rookvrije vluchtweg is niet helemaal gegarandeerd.

De rook is dan echter sterk verdund.

Open buitendeuren aan de lijzijde van het gebouw zijn altijd ongunstiger dan gesloten deuren. Dit betreft zowel de hoeveelheid rook als de verspreiding hiervan.

Als laatste werd onderzocht de invloed van de aanwezigheid van een zgn. rookpui in gangen die een bepaalde lengte overschrijden. Een dergelijke rookpui, bestaande uit een stel zelfsluitende deuren halverwege de gangen, wordt in sommige gemeenten geëist bij lengten van de gangen van 30 m of meer. Deze rookpui belemmert uiteraard enigszins de dwarsventilatie, zoals deze uit dit onderzoek wenselijk bleek. Mits deze deuren van hetzelfde type zijn als de overige deuren tussen gangen en trappehuizen is deze nadelige invloed echter beperkt. Mogelijkerwijs is van deze rookpui in bepaalde situaties een gunstige invloed te verwachten. Dit is niet nader onderzocht.

12. LITERATUUR

- ir. Lie Tiam Tjoan en
dr. C.W. van Hoogstraten
Brandvertraging door
schotten en ventilatie.
Bouw, 23 sept. 1961, 38

- Waar brand is is rook
Bouwwereld 66, 1970,
14 aug., 33

- Klaus Daniels
Brandventilation für
innenliegende Treppenräume
in Wohnhochhäusern.
Bauwelt, 1970, Heft 7

- M. Galbreath and
G.W. Shorter
Air pressures contribute
to a smoke-free corridor.
Fire Res. Note no. 3, apr.1966
Nat. Res. Council Canada,
Div. of Build. Res.

- G.T. Tamura, J.H. Mc Guire,
A.G. Wilson
Air handling systems for
control of smoke movement.
ASHRAE Jnl, nov. 1970

- dr. Kunio Kawago
Le projet de construction
et la protection contre le feu.
Build Internat. 1, dec. 1968,3

- J. Brooks Semple
Smoke control in high rise
buildings.
ASHRAE Jnl, apr. 1971

- Takao Wakamatsu
Calculation of smoke
movement in buildings.
First report, aug. 1968
Second report, march 1971,
Jap. Build. Res. Institute,
Tokyo

- Proceedings of the Symposium Movement of smoke on escape routes
in buildings, held at the Watford Coll. of Technol., april 1969.
Her Majesty's Stationery Office, 1971

- Occupancy fire record : Hospitals.
Fire Record Bull. FR 61-1 (Nat. Fire Protection Ass., Boston)

- H.Ph.L. den Ouden
Brandpreventie in verband met
ventilatiesystemen, deel II.
3e Internat. Brandweer
Symposium Eindhoven, okt. 1968
(publ. 312 I.G.-TNO)

