

# Hoe veilig is vluchtveilig? Noodzakelijke marges als gevolg van onzekere randcondities

*Ruud van Herpen*

**Een van de veiligheidsdoelen van het Bouwbesluit 2012 is instandhouding van de vluchtroutes, oftewel de vluchtveiligheid. Met name in grote compartimenten leidt het toepassen van de voorschriften van Bouwbesluit 2012 tot knelpunten. Er is weliswaar meer tijd beschikbaar om een groot compartiment te ontluchten, maar er is ook meer tijd nodig. Om die reden is een doelgerichte beschouwing van de vluchtveiligheid onvermijdelijk.**

## Inleiding

De veiligheid van bouwwerken onder zowel gebruikscondities als bijzondere condities (zoals brand) is vastgelegd in de voorschriften van Bouwbesluit 2012. Deze voorschriften zijn prescriptief van aard. Dat houdt in dat concrete functionele eisen zijn voorzien van eenduidige grenswaarden waaraan moet worden getoetst.

Een belangrijk doel van de publiekrechtelijke regelgeving is dat onder brandcondities het gebouw veilig kan worden ontlucht. In prescriptieve voorschriften leidt dat tot functionele eisen en grenswaarden aan loopafstanden, uitstroombreedten, doorstroom- en opvangcapaciteiten, aantal en kwaliteit van vluchtroutes, enzovoort. In grote compartimenten is het vaak niet mogelijk de vluchtveiligheid op een dergelijke wijze in te richten. Voldoen grote compartimenten dan niet aan het veiligheidsniveau van Bouwbesluit 2012?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is een doelgerichte beschouwing noodzakelijk. De voorschriften in Bouwbesluit 2012 dienen het bovenliggende doel in voldoende mate te garanderen. Wanneer aan de voorschriften voor veilig vluchten wordt voldaan mag worden aangenomen dat de faalkans (de kans dat niet veilig kan worden gevluht) voldoende klein is.

In grote compartimenten duurt het langer voordat de ruimtecondities ten gevolge van een brand tot gezondheidsschade leiden dan in kleine compartimenten. Er is dus meer tijd beschikbaar voor de ontluchting van een groot compartiment. Vaak is er ook meer tijd nodig, omdat in grote compartimenten doorgaans ook meer gebouwgebruikers aanwezig zijn. Zolang de benodigde tijd de beschikbare tijd niet overschrijdt, kan er veilig worden gevluht. Naarmate het verschil tussen

beschikbare en benodigde tijd groter wordt neemt ook het niveau van de vluchtveiligheid in het grote compartiment toe. De hamvraag is: hoeveel marge is nodig tussen beschikbare en benodigde vluchttijd om te kunnen spreken van voldoende vluchtveiligheid?



*Figuur 1. Markthal in Bolton (UK) als groot compartiment*

### **Publiekrechtelijke regelgeving**

De publiekrechtelijke bouwregelgeving stelt in Bouwbesluit 2012 eisen aan onder andere de brandveiligheid van zowel nieuw te bouwen als bestaande bouwwerken. Volgens de toelichting bij Bouwbesluit 2012 wordt onder brandveiligheid verstaan:

- het beperken van slachtoffers (doden en gewonden) in geval van brand;
- het voorkomen van branduitbreiding naar een ander perceel.

In Bouwbesluit 2012 zijn daartoe voorschriften opgenomen waarmee in geval van brand in een compartiment van het gebouw voldoende veiligheid van gebouwgebruikers en hulpverleners (zoals de brandweer) is geborgd en het overslagrisico naar buurpercelen gering is.

Die voorschriften bestaan uit functionele eisen die vervolgens per gebruiksfunctie in concrete prestatie-eisen met grenswaarden zijn vastgelegd. De functionele eisen kunnen in functionele veiligheidsdoelen worden ondergebracht (Van Herpen, 2013):

1. voorkomen van branduitbreiding naar buurpercelen (in risicotermen: toelaatbaar falen van branduitbreiding naar buurpercelen);
2. instandhouding bouwwerk of gebouw (in risicotermen: toelaatbaar falen van de draagstructuur);
3. beperken uitbreidingsgebied van brand en rook (in risicotermen: toelaatbaar falen van de compartimentering);

4. instandhouding vluchtroutes (in risicotermen: toelaatbaar falen van de vluchtroutes);
5. instandhouding aanvalsroutes (in risicotermen: toelaatbaar falen van de aanvalsroutes).

Voor constructieve veiligheid (het tweede veiligheidsdoel in de bovenstaande opsommingslijst) geeft de Eurocode (NEN-EN 1990 c.a., 2011) handvatten voor het kwantificeren van de toelaatbare faalkans van de draagconstructie. Deze is afhankelijk van de gevolgklasse (CC1, CC2 of CC3). De meeste gebruiksfuncties vallen in gevolgklasse CC2 met een toelaatbare faalkans van de draagconstructie van  $7,23 \cdot 10^{-5}$  gedurende de levensduur van het gebouw (Van Herpen e.a., 2014).

Voor andere veiligheidsdoelen is de toelaatbare faalkans (nog) niet gedefinieerd. Dat levert vaak discussie wanneer brandveiligheid doelgericht wordt uitgewerkt.

In dit artikel ligt de focus op het vierde doel in de opsommingslijst, de vluchtveiligheid. Met name in grote compartimenten leidt het toepassen van de voorschriften van Bouwbesluit 2012 tot knelpunten. Om die reden is een doelgerichte beschouwing van de vluchtveiligheid onvermijdelijk.

### Doelgerichte vluchtveiligheid

De voorschriften ten aanzien van loopafstanden en vluchtroutes (aantal, redundantie, capaciteit, afwerking e.d.) hebben tot doel om onder brandcondities de gebouwgebruikers de mogelijkheid te bieden het gebouw veilig te kunnen ontruimen. Daarmee wordt bedoeld dat de gebouwgebruikers zonder gezondheidsschade (of met een zeer laag risico van gezondheidsschade) het gebouw kunnen ontvluchten naar een veilige plaats (de openbare weg).

In een groot compartiment, waar brand is en waarin gebouwgebruikers aanwezig zijn, kan ook op een andere wijze invulling worden gegeven aan dit doel. In een groot compartiment kan rook worden gebufferd zonder dat daarmee de vluchtroutes worden gehinderd. De kans op gezondheidsschade voor gebouwgebruikers is vrijwel nihil als de rookbuffer voldoet aan de volgende voorwaarden:

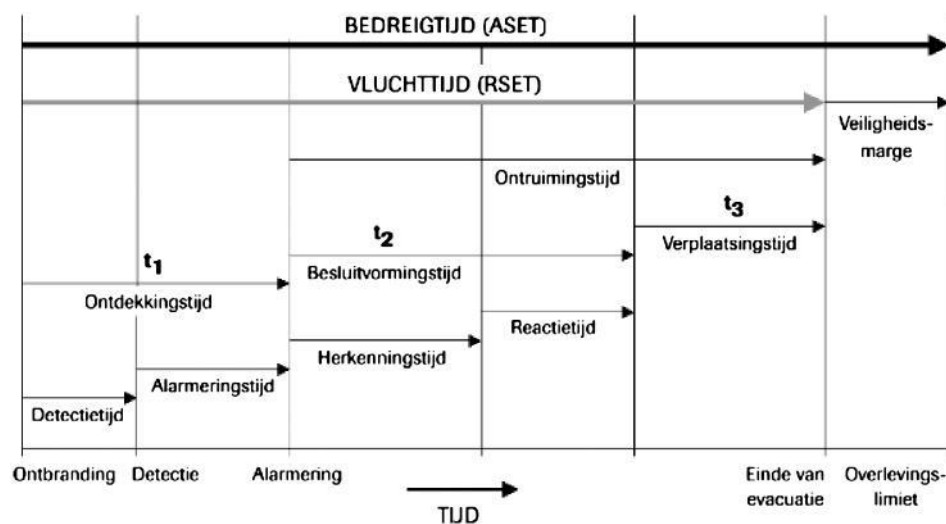
1. de rookvrije hoogte boven de vloer van de vluchtroute bedraagt minimaal 2,5 meter;
2. de stralingsflux vanaf de rookbuffer bedraagt op 1,8 meter boven de vloer van de vluchtroute (hoofdhoogte) niet meer dan  $2,5 \text{ kW/m}^2$ .

Zolang aan beide voorwaarden wordt voldaan is de kans op gezondheidsschade nihil. Dit bepaalt de beschikbare vluchttijd (ASET: Available Safe Egress Time).

De benodigde vluchttijd is de tijdsduur die de gebouwgebruikers nodig hebben om het bedreigde compartiment te ontruimen (RSET: Required Safe Egress Time). Zolang de benodigde tijd de beschikbare tijd niet overschrijdt kan veilig worden gevlucht.

In deze doelgerichte beschouwing van de vluchtveiligheid bevatten zowel ASET als RSET veel onzekerheid. Naarmate het interval (veiligheidsmarge) tussen ASET en RSET kleiner is neemt de faalkans (de kans dat niet veilig kan worden gevlucht) toe. Wanneer ASET en RSET in het geheel geen

onzekerheid zouden bevatten is de betrouwbaarheid zo hoog dat een veiligheidsmarge tussen ASET en RSET overbodig is.



Figuur 2. Veilig vluchten is mogelijk indien  $ASET > RSET$  (Kobes, 2008)

### Casus: markthal

Ter illustratie is de vluchtveiligheid doelgericht uitgewerkt voor een grote markthal. Het kenmerk van een markthal is de gelijktijdige aanwezigheid van vuurlast en personen in een groot compartiment waarin brand kan ontstaan.



Figuur 3. Markthal Rotterdam, combinatie van vuurlast en personen in één compartiment

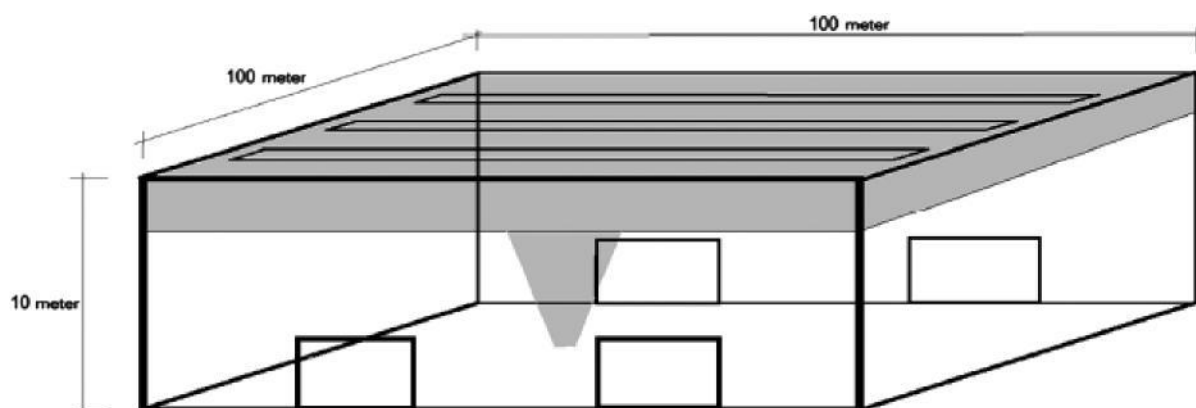
De vluchtveiligheid van het grote compartiment wordt bepaald op basis van een ASET-RSET-vergelijking, rekening houdend met onzekerheden in zowel ASET als RSET. Deze uitwerking is projectspecifiek. In plaats van generieke voorschriften worden projectspecifieke kenmerken gewaardeerd in de uitwerking.

Deze projectspecifieke kenmerken zijn onder te verdelen in (Hagen e.a., 2014):

- bouwkundige kenmerken (ruimte-afmetingen, daglichtopeningen, materialisering e.d.);
- installatietechnische kenmerken (detectie, alarmering, rookbeheersing, brandbeheersing e.d.);
- brandstofkenmerken (vuurlast door afwerking en inrichting);
- gebruikerskenmerken (aantal en verdeling van personen, persoonskenmerken).

De bouwkundige kenmerken en de brandstofkenmerken zijn relevant voor ASET. De gebruikerskenmerken zijn relevant voor RSET. De installatietechnische kenmerken zijn relevant voor zowel ASET als RSET.

Voor de markthal is uitgegaan van 10.000 m<sup>2</sup> vloeroppervlakte met een inwendige hoogte van 10 meter. Alle scheidingsconstructies zijn adiabatisch verondersteld (geen warmtebuffering en geen warmtetransmissie). Er zijn vier toegangen van elk 3 x 3 meter (9 m<sup>2</sup>), die bij brandmelding open worden gestuurd. Dat geldt ook voor de rook- en warmteafvoervoorzieningen (RWA) in het dak. De totale netto afvoeroppervlakte bedraagt 60 m<sup>2</sup>. Zie figuur 4.



*Figuur 4. Isometrie van de casus (markthal)*

De markthal wordt voorzien van automatische detectie die de brandmeldinstallatie aanstuurt. In geval van brandmelding wordt niet alleen de toevoer en afvoeroppervlakte van de RWA-voorziening geopend, maar wordt ook de ontruimingsalarmering geactiveerd. Echter, in een druk bezette hal wordt brand door de gebouwgebruikers vrijwel meteen ontdekt en heeft de automatische detectie weinig toegevoegde waarde.

De belangrijkste brandstofkenmerken zijn:

- cellulose brandstof met stoichiometrische constante van 1,27 kg/kg en verbrandingswaarde  $H_c = 17,5$  MJ/kg;
- uniform verdeelde vuurbelasting 1200 MJ/kg;
- kwadratische ontwikkeling van het brandvermogen met  $RHR = 500$  kW/m<sup>2</sup> en tijdconstante  $t_c = 150$  s;

- pluimmodel voor inmenging van omgevingslucht: Heskestad, bronhoogte 1 m boven vloerniveau;
- brand en pluim belemmeren één van de vier vluchtroutes.

De belangrijkste gebruikerskenmerken zijn:

- aantal aanwezige personen: 3000, uniform verdeeld over de vloeroppervlakte;
- ontdekkingstijd: 0 min (uitgaande van volle personenbezetting);
- pre movement-tijd (besluitvorming): 2 min.

### ASET en RSET: vluchten uit de markthal

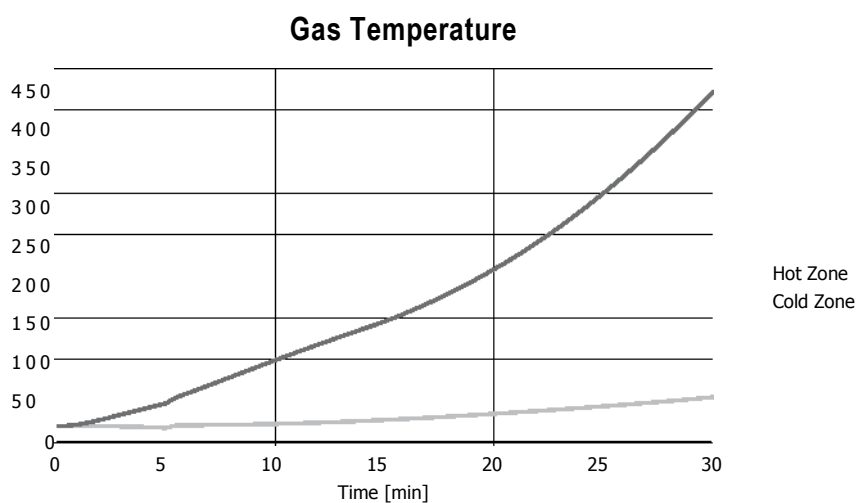
Voor ASET gelden als toetscriteria:

- rookvrije hoogte boven vloer vluchtroute  $> 2,5$  m;
- rooklaagtemperatuur  $< 200$  °C (overeenkomend met een stralingsflux van circa  $2,5$  kW/m<sup>2</sup>).

Voor RSET geldt als toetscriterium:

- 100% van de gebouwgebruikers evacueert naar buiten.

De condities van de rooklaag (van belang voor ASET) kunnen worden bepaald op basis van een natuurlijk brandconcept (NEN 6055, 2011), met bijvoorbeeld Ozone, Cfast of Vultijdenmodel. Met de gegeven kenmerken voor brandstof, gebouw, installaties en gebouwgebruikers levert dat een ASET voor het criterium rookvrije hoogte van 31 minuten (figuur 6). Dat wordt veroorzaakt door flashover op dit tijdstip: de lokale brand gaat dan over in een volledig ontwikkelde compartimentsbrand. Voor het criterium rooklaagtemperatuur bedraagt ASET 19 minuten (figuur 5).



Figuur 5. Gastemperatuur van de hete en de koude zone



*Figuur 6. Rookvrije hoogte boven vloerniveau*

De benodigde vluchttijd (RSET) kan worden bepaald met een evacuatiesimulatie. Omdat in dit geval de uitstroombreedte van het compartiment bepalend is voor de snelheid van evacueren, is de verplaatsingstijd aan de hand hiervan bepaald. Uitgaande van drie beschikbare toegangen van elk drie meter breed, met een capaciteit van 90 pers/(min.m), duurt het 3,7 min voordat alle 3000 aanwezigen buiten het compartiment zijn.

Voor de ontdekkingstijd wordt nul minuten gehanteerd, aangezien bij een hoge bezetting van de markthal brand onmiddellijk door de aanwezigen wordt waargenomen. Voor de besluitvormingstijd wordt twee minuten aangehouden. Deze waarde wordt ook internationaal veel gehanteerd en is nodig omdat de evacuatie nooit met maximale efficiëntie op gang komt.

De totale RSET bestaat uit de sommatie van ontdekkingstijd, besluitvormingstijd en verplaatsingstijd (zie figuur 2). In dit geval:  $RSET = 0 + 2 + 3,7 = 5,7$  min.

### Onzekerheden en kansverdeling van ASET-RSET

In de beschouwde markthal bedraagt de maatgevende ASET 19 min en de RSET 5,7 min. Er is dus een marge aanwezig van  $ASET - RSET = 13,3$  min. De marge is relatief groot, waardoor de kans op falen ( $ASET - RSET < 0$ ) gering is. Welke marge precies nodig is om de kans op falen nog juist als toelaatbaar te kwalificeren, hangt af van de onzekerheid in randcondities. Randcondities die door de brand en de omgeving worden geïntroduceerd zijn niet controleerbaar, waardoor met onzekerheid in deze randcondities (stochasten) rekening moet worden gehouden.

In de bepaling van de ASET zijn de belangrijkste stochasten:

- vuurbelasting:  $q = 1200$  MJ/m<sup>2</sup>, variatiecoëfficiënt 0,3;
- brandvermogensdichtheid:  $RHR = 500$  kW/m<sup>2</sup>, variatiecoëfficiënt 0,5;
- tijdconstante:  $t_c = 150$  s, variatiecoëfficiënt 0,3;



- pluimmodel: Heskestad met bronhoogte 1 m, variatiecoëfficiënt 0,5;
- stoichiometrische constante:  $r = 1,27$  kg/kg, niet gevarieerd;
- detectietijd: 5 min, variatiecoëfficiënt 0,3.

In de bepaling van de RSET zijn de belangrijkste stochasten:

- ontdekkingstijd: 0 min, niet gevarieerd;
- besluitvormingstijd: 2 min, variatiecoëfficiënt 0,5;
- aantal personen: 3000, variatiecoëfficiënt 0,5;
- aantal toegangen: 3, variatiecoëfficiënt 0,3.

In de bovenstaande opsommingslijstjes is bij de referentiewaarden een variatiecoëfficiënt aangegeven. De variatiecoëfficiënt stelt de relatieve marge voor bij de referentiewaarde, die als standaardafwijking op die referentiewaarde mag worden beschouwd.

Van elke stochast afzonderlijk is vervolgens de invloed van de variatie op het resultaat (ASET-RSET) bepaald. Dit is samengevat in de onderstaande tabellen.

**Tabel 1. Gevoeligheidsanalyse op ASET**

ASET	T < 200 °C	H > 2,5 m
Referentiecondities	19,0 min	Na flashover
Vuurbelasting + 30%	19,0 min	Na flashover
Brandvermogensdichtheid + 50%	16,5 min	Na flashover
Tijdconstante + 30%	14,0 min	Na flashover
Bronhoogte – 50%	20,0 min	Na flashover
Detectietijd + 30%	18,5 min	Na flashover

**Tabel 2. Gevoeligheidsanalyse op RSET**

RSET	100 % buiten	
Referentiecondities	2 + 3,7 =	5,7 min
Besluitvormingstijd + 50%	3 + 3,7 =	6,7 min
Aantal aanwezigen + 50%	2 + 5,6 =	7,6 min
Aantal toegangen – 30%	2 + 5,6 =	7,6 min

De benodigde rookvrije hoogte wordt in de pre-flashoverfase nooit onderschreden, noch onder referentiecondities, noch in de gevoeligheidsanalyse. Blijkbaar is in deze casus de rookvrije hoogte geen relevant criterium in de pre-flashoverfase, waardoor toetsing hieraan achterwege kan blijven voor de vluchtveiligheid in het compartiment.

In de gevoeligheidsanalyse zijn de stochasten gevarieerd met hun (vaak geschatte) standaardafwijking. Uit de afwijking die dit geeft in het resultaat ASET-RSET (in minuten) kan per stochast de variantie



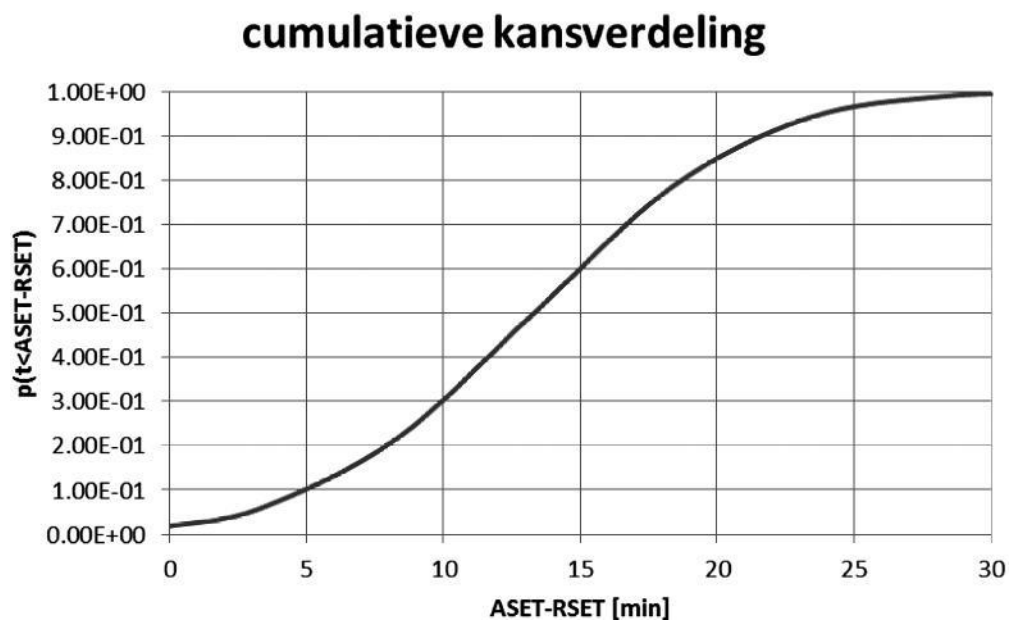
worden bepaald. Door de varianties van alle stochasten te sommeren wordt de totale variantie in het resultaat ASET-RSET verkregen (Van Herpen e.a., 2014).

De totale variantie bedraagt in deze casus:  $\text{var}(\text{ASET-RSET}) = 40,7 \text{ min}^2$ .

Dit geeft een standaardafwijking van:  $\text{sd}(\text{ASET-RSET}) = \sqrt{40,7} = 6,4 \text{ min}$ .

Bij een gemiddelde (referentie)waarde van:  $\text{avg}(\text{ASET-RSET}) = 13,3 \text{ min}$ .

Met dit resultaat kan de cumulatieve kansverdeling voor (ASET-RSET) worden vastgesteld voor het criterium rooklaagtemperatuur. Dit is grafisch weergegeven in figuur 7. De faalkans van veilig vluchten komt overeen met de onderschrijdingskans  $(\text{ASET-RSET}) < 0 \text{ min}$ . Deze bedraagt in dit geval bij een marge van  $(\text{ASET-RSET}) = 13,3 \text{ min}$  circa 0,019.



Figuur 7. Faalkans van het criterium rooklaagtemperatuur in relatie tot de marge tussen ASET en RSET

### Doelkwantificering

Nu de faalkans van de vluchtveiligheid kan worden gekwantificeerd moet ook het doel gekwantificeerd worden in een toelaatbare faalkans. De publiekrechtelijke regelgeving biedt hiervoor geen handvatten.

Voor constructieve veiligheid biedt de Eurocode enig houvast. Uitgaande van gevolgklasse CC2 voor deze casus is een faalkans van constructieve veiligheid (constructiefalen) toelaatbaar van (NEN-EN 1990 c.a., 2011):

$p(f) = 7,23 \cdot 10^{-5}$ , gedurende de levensduur (50 jaar) van het gebouw.

Falen ten gevolge van de thermische belasting door brand is hierin een bijzondere belasting, die incidenteel aanwezig kan zijn. De ontstaanskans op brand in het compartiment is hiervoor van belang. Voor grote compartimenten met een niet-slaapfunctie kan een ontstaanskans worden gehanteerd van (Van Herpen e.a., 2014):

$$p(f_i) = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2, \text{ gedurende de levensduur (50 jaar) van het gebouw.}$$

De markthal in deze casus bezit een oppervlakte van  $10.000 \text{ m}^2$ . Dat leidt tot een ontstaanskans op brand van 0,2 gedurende de boogde levensduur van het gebouw. Voor de toelaatbare kans op constructiefalen onder brandcondities kan dan worden geschreven:

$$p(f|f_i) = p(f) / p(f_i) = 3,615 \cdot 10^{-4} \text{ gedurende de levensduur van het gebouw.}$$

Hierin is:

$p(f)$ : toelaatbare faalkans;

$p(f_i)$ : kans op het ontstaan van brand;

$p(f|f_i)$ : toelaatbare faalkans, gegeven brandcondities (bezwijken draagconstructies).

Constructiefalen leidt tot overlijden van aanwezige gebouwgebruikers. Dat is bij falen van de vluchtveiligheid op het criterium rooklaagtemperatuur niet direct het geval. Het falen van de vluchtveiligheid leidt tot gezondheidsschade aan gebouwgebruikers (variërend van huidverbranding en schade aan ademhalingsorganen tot lethaliteit). Het aantal brandgewonden per jaar is een factor 14,5 groter dan het aantal branddoden, gemiddeld over de periode 2000-2012 (CBS Statline, 2015). Dit is blijkbaar maatschappelijk geaccepteerd. Dat houdt in dat de faalkans van de vluchtveiligheid op het criterium rooklaagtemperatuur een factor 14,5 groter mag zijn dan de toelaatbare faalkans van constructiefalen:

$$p(f|f_i) = 3,615 \cdot 10^{-4} \times 14,5 = 5,24 \cdot 10^{-3} \text{ gedurende de levensduur van het gebouw.}$$

Hierin is:

$P(f|f_i)$ : toelaatbare faalkans, gegeven brandcondities (overschrijding rooklaagtemperatuur).

### Consequenties voor vluchttijden

Nu de toelaatbare faalkans is gedefinieerd, blijkt dat de aanwezige marge tussen ASET en RSET van 13,3 min onvoldoende is. De faalkans bij de aanwezige marge bedraagt  $19 \cdot 10^{-3}$ ; deze overschrijdt de toelaatbare faalkans van  $5,24 \cdot 10^{-3}$ . Er is dus een grotere marge noodzakelijk om de faalkans te verkleinen.

Bij een marge tussen ASET en RSET van ten minste 16,4 min voldoet de onderschrijdingskans ( $ASET - RSET < 0 \text{ min}$ ) aan de toelaatbare faalkans van  $5,24 \cdot 10^{-3}$ .

Een grotere marge kan worden bereikt door verlenging van ASET of verkorting van RSET. Een verlenging van ASET is mogelijk door bijvoorbeeld een grotere RWA-voorziening. Een verkorting van de RSET is mogelijk door minder bezoekers toe te staan in de markthal of door meer uitstroomcapaciteit ter plaatse van toegangen en nooduitgangen te realiseren.

In plaats van een grotere marge kan ook worden gestreefd naar een grotere betrouwbaarheid van (ASET-RSET). Dat wordt bereikt met minder onzekerheid in randcondities. De tijdconstante en de referentie vermogensdichtheid zijn de belangrijkste randcondities in de betrouwbaarheid van (ASET-RSET). Hierin kan de onzekerheid alleen worden verminderd wanneer beperkingen aan de inrichting en verkoopgoederen worden gesteld. Dit is vaak niet wenselijk, maar het spreekt voor zich dat van een markthal, bedoeld voor alleen fresh-food, de onzekerheid in tijdconstante en referentie vermogensdichtheid kleiner is dan van een markthal, bedoeld voor food en non-food, winkelen en horeca. De fresh-food markthal zal dan ook met een kleinere marge in (ASET-RSET) kunnen voldoen aan de toelaatbare faalkans van vluchtveiligheid dan de markthal met food en non-food.

### Disclaimer

De hier gegeven consequenties zijn alleen geldig voor de beschouwde casus en mogen niet generiek worden geïnterpreteerd. In deze casus bleek voor de rooklaag alleen de stralingsflux als toetscriterium relevant te zijn, in andere gevallen kan de rookvrije hoogte als toetscriterium eveneens relevant zijn. De stochasten in de probabilistische uitwerking zijn lineair verondersteld, hierop is geen specifieke verdeling toegepast.

### Bibliografie

CBS Statline (2015). *Brandweer; branden, slachtoffers en reddingen, personeel, materieel, kosten*; <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=37511&D1=0-149&D2=0&D3=15-27&VW=T>

R.R. Hagen en L. Witloks, *The basis for fire safety – substantiating fire protection in buildings*, Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid 2014.

R.A.P. van Herpen, P.H.E. van de Leur, A.C.W.M. Vrouwenvelder, N.P.M. Scholten en A.F. Hamerlinck, *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies*, Zwolle: Nieman R.I. 2014.

R.A.P. van Herpen, 'Doelen en regelgeving voor brandveiligheid – consequenties voor een FSE-benadering', *Bouwregels in de praktijk* 2013-9, p. 32-36.

M. Kobes, *Zelfredzaamheid bij brand; kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen*, Den Haag: Boom Juridische uitgevers 2008.

Ministerie van VROM, *Visie op brandveiligheid; Gedeelde verantwoordelijkheid en heldere kaders vanuit een risiobenadering*, Den Haag: Ministerie van VROM 2008.

NEN-EN 1990+A1+A1/C2+ÑB, *Eurocode – Grondslag van het constructief ontwerp*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut 2011.

NEN 6055 (2011). *Thermische belasting op basis van het natuurlijk brandconcept – Bepalingsmethode*, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut 2011.