

## Aansturing rookdoorgangscriteria via NEN 6075

Rapportnummer	2013-Efectis-R0543
Sponsor	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties DG WBI, Directie Woningbouw T.a.v. dhr. M. Balk Postbus 20011 2500 EA DEN HAAG
Auteur(s)	ir. R.J.M. van Mierlo (Efectis) Prof. ir. P.H.E. van de Leur (DGMR) Dr. ir. N.P.R. Scholten (Stichting ERB)
Projectnummer	2013543
Rapportdatum	september 2014
Aantal pagina's	69

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande toestemming van Efectis Nederland.  
Het ter inzage geven van het Efectis-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgevoerd, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer  
verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan Efectis Nederland, dan wel de betreffende ter zake tussen  
de partijen gesloten overeenkomst.

## INHOUDSOPGAVE

---

1.	INLEIDING	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Opzet rapportage	4
2.	VIGERENDE DOELEN EN VOORSCHRIFTEN VOOR ROOKWERENDHEID	6
2.1	Doelen rookwerende scheidingen	6
2.2	Voorschriften rookwerende scheidingen	7
2.2.1	Loopafstanden / Plaats begrenzing subbrandcompartimenten (subBC's)	7
2.2.2	Omhuiling van de subBC's	7
2.2.3	Omhuiling van de vluchtroutes	8
2.3	Analyse van de doelen en de voorschriften	9
2.3.1	Loopafstanden	9
2.3.2	Status en omhuiling van de vluchtroutes	10
2.3.3	Richting van de brand- en rookwerendheidseisen	11
2.3.4	Niveau van de rookwerendheidseisen	11
3.	KWANTIFICERING VAN DE ROOKDOORGANG	13
3.1	INLEIDING	13
3.2	Gehanteerde variabelen	13
3.3	Conditie in de rook-ontvangende ruimte	14
3.4	Consequenties in drie voorbeeld-configuraties	15
3.5	Algemene conclusies voor de verschillende deurtypes	24
4.	ROOKDOORGANGSCRITERIA	25
4.1	Bepalende factoren	25
4.1.1	Inleiding	25
4.1.2	De factor tijd	25
4.1.3	Gebruiksfuncties en status van vluchtroutes	26
4.1.4	Cumulatieve aspecten van parallelle rooklekkages	26
4.1.5	Redundantie van eisen	27
4.1.6	Onderhoud, handhaving en acceptatie van maatregelen	27
4.2	Voorstellen voor rookdoorgangscriteria	28
4.2.1	Inleiding	28
4.2.2	Risicoprofiel 'Zelfredzaam en niet slapend'	28
4.2.3	Risicoprofiel 'Verminderd-zelfredzaam of slapend'	31
4.2.4	Risicoprofiel 'Grote hoge ruimten met lage bezetting met niet-slapende zelfredzamen'	33
4.2.5	Samenvatting voorstellen voor rookdoorgangscriteria	33
4.2.6	Randvoorwaarden en toelichting bij de rookdoorgangscriteria	36
4.2.7	Afwijkingen tussen de voorstellen en de eerdere NEN-voorstellen	36
5.	KOSTENVERGELIJKING	37
6.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	38
6.1	Analyse van de regelgeving	38

6.2	Voorstel voor de aansturing van NEN 6075	39
	Bijlage A: ROOKDOORGANGSBEREKENINGEN	42
	Bijlage B: PRESENTATIE REKENRESULTATEN	54
	Literatuur	69

## 1. INLEIDING

---

### 1.1 ACHTERGROND

Het Bouwbesluit heeft sinds de invoering in 1992 het aspect rookwerendheid/rookdoorgang van een scheidingsconstructie<sup>1</sup> geregeld via de brandwerendheid ervan. In de praktijk betekent dit dat rookwerende constructies substantiële hoeveelheden rook mogen doorlaten. Sinds enige jaren zijn Europese bepalingsmethoden beschikbaar voor de rookwerendheid van deuren en ventilatiekanalen. De resultaten daarvan worden voor deuren uitgedrukt in de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$ ; voor ventilatiekanalen en brandkleppen kleppen daarin wordt de rookwerendheid uitgedrukt in het S-criterium.

In de NEN 6075:2011+C1:2012 (verder in dit rapport kortweg NEN 6075 genoemd) zijn de prestaties van ventilatiekanalen en kleppen op basis van het S-criterium omgezet in een  $S_a$ - of  $S_{200}$ -prestatie. Hetzelfde is gedaan voor de prestaties van (groepen van) andere constructieonderdelen: steeds is aangegeven welke prestaties nodig zijn voor de constructieonderdelen om te 'kunnen worden gezien' als constructie met een  $S_a$ - of  $S_{200}$ -rookdoorlatendheid.

De NEN-normcommissies 351.007 'Brandveiligheid van bouwwerken' en 353.084 'Brandproeven' adviseren om de eisen aan rookwerendheid vanuit het Bouwbesluit 2012 via de NEN 6075 te gaan stellen op basis van deze bepalingsmethoden.

Een gezamenlijke werkgroep van beide genoemde NEN-normcommissies heeft een korte notitie uitgewerkt waarin wordt voorgesteld waar de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$  het best kunnen worden vereist, met daarin een korte toelichting bij de gemaakte keuzen en een indicatie van de kostenconsequenties. Binnen de werkgroep is inhoudelijk overeenstemming bereikt over de materiële inhoud van de eisen in de verschillende situaties.

Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties heeft behoefte aan een nadere onderbouwing bij de voorgestelde aansturing van de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$ . Deze onderbouwing is nodig om andere belanghebbenden te informeren en te overtuigen van nut en noodzaak van het voorstel.

Het voorliggende rapport bevat een voorstel en onderbouwing voor het toepassen van de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$  in de vorm van:

- Een toelichting bij de vigerende modellering achter de voorschriften voor rookverspreiding volgens het Bouwbesluit 2012;
- Een overzicht van de effecten op de veiligheid van het invoeren van de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$  bij behoud van de vigerende modellering;
- Een indicatie van de kosten van de rookdoorlatendheden.

### 1.2 OPZET RAPPORTAGE

In hoofdstuk 2 is een korte onderbouwing en toelichting uitgewerkt bij de vigerende modellering achter de voorschriften voor rookverspreiding volgens het Bouwbesluit 2012. Hierin is beschreven hoe de huidige eisen aansluiten op de doelen en waar deze aansluiting verbetering behoeft als basis voor nieuw te formuleren rookwerendheidseisen.

Hoofdstuk 3 bevat een kwantificering van de verschillen in vluchtcondities in ruimten afgescheiden van een brandruimte door een rookdoorlatendheid  $S_a$  of  $S_{200}$ . Voor deze kwantificering is een set van rookverspreidings-berekeningen uitgevoerd. Hiermee worden de vluchtcondities vergeleken die kunnen ontstaan bij aanwezigheid van de in het verleden

---

<sup>1</sup> Het Bouwbesluit gebruikt, analoog aan de voorschriften voor de 'Weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag' (WBDBO), de 'Weerstand tegen rookdoorgang' (WRD) tussen ruimten, in minuten. Deze weerstand volgt uit de rookdoorlatendheden of rookwerendheden op het rookverspreidingstraject. De begrippen rookdoorlatendheid en rookwerendheid worden in NEN 6075 overigens door elkaar gebruikt; ze beschrijven het zelfde begrip, maar in tegengestelde zin. Het Bouwbesluit kwantificeert de eis (in artikel 2.94) overigens in minuten, de NEN 6075 doet dit in eenheden  $S_a$  en  $S_{200}$ , een aansluiting die nog moet worden aangepast.

gehanteerde weerstand tegen rookdoorgang met de vluchtcondities die ontstaan bij aanwezigheid van de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$ .

De resultaten van de hoofdstukken 2, 3 worden in hoofdstuk 4 gecombineerd ter introductie en onderbouwing van het voorstel voor toepassing van de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$ .

Een summiere indicatie van de kosten van voorzieningen met een  $S_a$ - of  $S_{200}$ -classificatie in vergelijking met traditionele brandwerende voorzieningen is opgenomen in hoofdstuk 5. Het inzicht dat hierdoor ontstaat in de totale kosten van invoering van de voorgestelde rookwerendheden is helaas te beperkt om deze in de afweging zinvol te kunnen meenemen. Anderzijds lijken de kostenconsequenties niet van dien aard dat ze dominant zullen zijn in de afweging.

## 2. VIGERENDE DOELEN EN VOORSCHRIFTEN VOOR ROOKWERENDHEID

Het Bouwbesluit 2012 (hier aangeduid met BB2012) stelt in een aantal voorschriften eisen aan de rookwerendheid van scheidingsconstructies op basis van een aantal doelen.

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van:

- a. de doelen van de voorschriften voor rookwerendheid,
- b. de voorschriften zelf, en
- c. enige inconsistenties in het pakket doelen en voorschriften.

Vervolgens wordt geanalyseerd in welke mate de voorschriften aan de doelen bijdragen.

Omdat de voorgestelde eisen op basis van de rookdoorlatendheden  $S_a$  en  $S_{200}$  met name zullen worden toegepast in de nieuwbouweisen, betreffen onderstaande voorschriften de eisen aan nieuwbouw, tenzij anders vermeld.

### 2.1 DOELEN ROOKWERENDE SCHEIDINGEN

De doelen van de voorschriften zijn verwoord in de functionele eisen en in de bijbehorende toelichting:

- Afd. 2.11, Artikel 2.91  
Lid 1: Een te bouwen bouwwerk is zodanig (...) dat veilig kan worden gevlucht.
- Nota van Toelichting, afd. 2.11, onder kopje 'Algemeen'  
Citaat:  
"Uitgangspunt is dat alle ruimten waarin brand zou kunnen ontstaan binnen een subbrandcompartiment liggen. In een subbrandcompartiment is men enige tijd beschermd tegen een brand die elders in het brandcompartiment is ontstaan. Dit is vooral ook van belang voor mensen die slapen of die niet zelfstandig kunnen vluchten, zoals zeer kleine kinderen, bedgebonden patiënten of gedetineerden. In dergelijke gevallen is ten slotte meer tijd nodig om iedereen in veiligheid te brengen. Ook biedt een subbrandcompartiment bescherming tegen de brand in het subbrandcompartiment dat juist is ontvlucht."
- Afd. 2.12, Art. 2.101  
Lid 1: Een te bouwen bouwwerk heeft zodanige vluchtroutes dat bij brand een veilige plaats kan worden bereikt.
- Nota van Toelichting, afd. 2.12, onder kopje 'Algemeen'  
Citaat:  
"Uitgangspunt (...) is dat kan worden volstaan met één vluchtroute die start op de plaats waar het vluchten begint en eindigt op een veilige plaats. Het Bouwbesluit 2003 ging uit van ten minste twee vluchtroutes. De enkele vluchtroute is vanaf de uitgang van het subbrandcompartiment waarin de vluchtroute begint, binnen het brandcompartiment een beschermde vluchtroute en buiten dat brandcompartiment een extra beschermde vluchtroute of een veiligheidsvluchtroute. Met het uitgangspunt van een enkele vluchtroute is het uiteraard mogelijk<sup>2</sup> een tweede vluchtroute te realiseren. In dat geval zijn bepaalde voorschriften die op een enkele vluchtroute van toepassing zijn niet van toepassing vanaf het punt<sup>3</sup> dat de twee vluchtroutes door verschillende ruimten voeren (zie artikel 2.106)."

<sup>2</sup> De auteurs adviseren om hierbij aan te geven dat het realiseren van een 2<sup>e</sup> vluchtroute in diverse situaties niet alleen een mogelijkheid is, maar ook een verplichting; bijvoorbeeld bij een groot aantal personen dat op de vluchtroute is aangewezen.

<sup>3</sup> Deze formulering 'vanaf het punt' geeft geen duidelijkheid over de ruimte waarin de vluchtroutes splitsen en laat de mogelijkheid open dat beide vluchtroutes even later in de vluchtrichting binnen het brandcompartiment weer samenkomen zonder dat de voorschriften die op een enkele vluchtroute van toepassing zijn weer van toepassing worden. De toelichting is over beide punten wel duidelijk: "Vanaf het punt dat één van de vluchtroutes een deur naar een andere ruimte buiten het subbrandcompartiment passeert, en de vluchtroutes verder door verschillende

- Nota van Toelichting, afd. 2.12, onder kopje 'Nieuwbouw' - 'Artikel 2.102, 6<sup>e</sup> en 7<sup>e</sup> lid'  
Citaat:  
“(..)

dat in bepaalde gebruiksfuncties een lagere bezetting van het subbrandcompartiment een langere loopafstand tot gevolg mag hebben, omdat men bij een lagere bezetting de uitgang sneller kan bereiken<sup>4</sup>.”

## 2.2 VOORSCHRIFTEN ROOKWERENDE SCHEIDINGEN

### 2.2.1 Loopafstanden / Plaats begrenzing subbrandcompartimenten (subBC's)

Kort samengevat: De loopafstand binnen een subBC is gelimiteerd, daarbuiten leiden verkeersruimten dan wel verkeersroutes tot buiten het brandcompartiment. Bij lage bezetting is een langere loopafstand toegestaan.

- Afd. 2.12, Art. 2.102  
Lid 4: 'De gecorrigeerde loopafstand tussen een punt in een gebied en ten minste een uitgang van het subBC waarin dat gebied ligt, is niet groter dan de in tabel 2.101 aangegeven waarde.'

Leden 6 en 7 geven aan dat bij lage bezetting (resp. >12 m<sup>2</sup>/persoon en >30 m<sup>2</sup>/persoon) van het subBC een langere vluchtafstand is toegestaan (resp. ≤45 m en ≤60 m) voor gebruiksfuncties waarvoor die lage bezetting relevant kan zijn.

- Afd. 2.11, Art. 2.92  
Lid 1: 'Een brandcompartiment is ingedeeld in een of meer subBC's of verkeersruimten waardoor een beschermde vluchtroute voert.'

Lid 3 geeft een ontheffing van Lid 1: bewakingsfuncties zoals een receptiebalie en een zusterpost mogen in een ruimte liggen waar een beschermde vluchtroute door voert.

### 2.2.2 Omhulling van de subBC's

Kort samengevat: Het rookverspreidingsgebied is bij brand in een subBC beperkt door een E20-waarde van de omhulling. Aanvullende rookwerendheidseisen kunnen bij MR worden gesteld.

- Afd. 2.11, Art. 2.94  
Lid 1: 'De volgens NEN 6068 bepaalde weerstand tegen branddoorslag van een subBC naar een andere ruimte in het brandcompartiment is ten minste 20 minuten, waarbij voor de bepaling van de brandwerendheid met betrekking tot de scheidende functie van een scheidingsconstructie uitsluitend rekening wordt gehouden met het beoordelingscriterium vlamdichtheid met betrekking op de afdichting.'

Lid 3: 'Bij ministeriële regeling kunnen voorschriften worden gegeven over de rookdoorgang van een subBC en van een beschermd subBC naar een andere ruimte.'<sup>5</sup>

---

ruimten voeren, is er sprake van twee onafhankelijke vluchtroutes.” en “De twee vluchtroutes moeten tot het aansluitende terrein van elkaar gescheiden blijven (...). De auteurs adviseren de teksten van de toelichting in het voorschrift te verwerken, bijvoorbeeld door de formulering “(...) vanaf het punt dat de twee vluchtroutes door verschillende ruimten voeren” te vervangen door woorden van de strekking “(...) voor de punten op de twee vluchtroutes waar de routes door verschillende ruimten voeren”.

<sup>4</sup> Dit uitgangspunt is voor de betreffende lage bezettingen (minder dan 1 persoon per 12 m<sup>2</sup>) waarschijnlijk meestal onjuist. Bij die bezetting zullen vluchtroutes in een subBC namelijk zelden belast worden met personendichtheden van meer dan 1 persoon per m<sup>2</sup>, zodat de loopsnelheid waarschijnlijk nauwelijks toeneemt bij verlaging van bezetting. Zie ook paragraaf 2.3.1.

<sup>5</sup> De huidige Regeling Bouwbesluit geeft een dergelijk voorschrift (nog) niet; de voorliggende rapportage is een stap in die richting. Dat doet het Bouwbesluit wel voor bestaande bouw: Art. 2.100.1: de WRD volgens NEN 6075 van een subBC naar een besloten ruimte in hetzelfde brandcompartiment bedraagt ten minste 20 minuten, naast E20 vanuit

### 2.2.3 Omhulling van de vluchtroutes

Kort samengevat: Beschermd vluchtroutes worden tegen rookindringing beschermd door rookwerende scheidingen en sluisen.

- Hoofdstuk 1, Art. 1.1  
Lid 1: Een beschermd vluchtroute ligt buiten een subBC; een extra beschermd vluchtroute ligt buiten een BC; een veiligheidsvluchtroute is een extra beschermd vluchtroute die voert door een niet besloten ruimte en aansluitend daarop door een ruimte die uitsluitend kan worden bereikt vanuit niet besloten ruimten; deze drie vluchtroutes liggen in een verkeersruimte.
- Afd. 2.10, Art. 2.84  
Lid 1: WBDBO 60 min van BC naar een extra beschermd vluchtroute (soms 30 minuten voor niet-veiligheidsvluchtroute in woonfunctie (leden 2 en 3); en soms 30 minuten voor lage gebouwen op hetzelfde perceel in de meeste overige gebruiksfuncties (lid 4)).
- Afd. 2.12, Art. 2.103 (alleen voor niet-slaap-gebruiksfuncties):  
Lid 2: 'Een vluchtroute waarop ten hoogste 37 personen zijn aangewezen, is vanaf de uitgang van het subBC waarin de vluchtroute begint een beschermd vluchtroute (...).'  
Lid 3 geeft aan dat de beschermd vluchtroute buiten trappenhuisen is opgesplitst in stukken met een loopafstand niet groter dan 30 m.
- Afd. 2.12, Art 2.104 (alleen voor slaap-gebruiksfuncties)  
Lid 1: 'Een vluchtroute is vanaf de uitgang van het subBC waarin de vluchtroute begint een extra beschermd vluchtroute (...).'
- Afd. 2.12, Art. 2.104 (alleen voor niet-slaap-gebruiksfuncties):  
Lid 5: 'Een vluchtroute waarop meer dan 37 en ten hoogste 150 personen zijn aangewezen, is vanaf de uitgang van het subBC waarin de vluchtroute begint een extra beschermd vluchtroute (...).'
- Afd. 2.12, Art. 2.104  
Lid 7: 'Een vluchtroute in een trappenhuis waarin een hoogteverschil van meer dan 8 m wordt overbrugd, is een extra beschermd vluchtroute.'
- Afd. 2.12, Art. 2.105  
Lid 1: 'Een vluchtroute waarop meer dan 150 personen zijn aangewezen is vanaf de uitgang van het subBC waarin de vluchtroute begint een veiligheidsvluchtroute, tenzij die uitgang direct grenst aan het aansluitende terrein.'
- Afd. 2.12, Art. 2.105 (alleen voor logiesfuncties):  
Lid 2: 'Een vluchtroute in een besloten trappenhuis waarin een hoogteverschil van meer dan 12,5 m wordt overbrugd, is een veiligheidsvluchtroute.'
- Afd. 2.12, Art. 2.107  
Lid 1 en 3a: Beschermd vluchtroutes en in de vluchtrichting aansluitende ruimten zijn gescheiden met een E20-scheiding (lid 1), mogelijk bij MR aangevuld met een weerstand tegen rookdoorgang (lid 3a).  
  
Lid 2 en 3b: Tussen onafhankelijke vluchtroutes geldt een WBDBO-eis van 30 minuten (lid 2), mogelijk bij MR aangevuld met een weerstand tegen rookdoorgang (lid 3b).  
  
Lid 6: Een toegang (in de vluchtrichting) van een trappenhuis waarin 20 m of meer hoogteverschil wordt overbrugd heeft een sluis met de status van beschermd vluchtroute

---

beschermd subBC's (Art. 2.100.2). Uitsluitend voor celfuncties en bedgebonden zorg geldt bij toepassing van lid 2 de ontheffing t.a.v. de onderdorpel. Die ontheffing bestaat niet meer voor nieuwbouw.



- Afd. 7.1, Art. 7.10 en Afd. 7.2, Art. 7.16  
'Onverminderd het bij of krachtens dit besluit bepaalde is het verboden (...) waardoor: a. brandgevaar wordt veroorzaakt, of b. bij brand een gevaarlijke situatie wordt veroorzaakt.'. Dit "kapstok-artikel" maakt het mogelijk eisen te stellen vanwege het restrisico dat nog aanwezig is na het voldoen aan het verder in het BB gestelde.

De Nota van toelichting bij art. 7.10 'restrisico brandgevaar en ontwikkeling van brand' geeft als voorbeeld: 'indien op een beschermde of extra beschermde vluchtroute objecten staan die brandgevaar opleveren (onderdeel a)'.

- Regeling Bouwbesluit 2012, Art. 2.1.3  
Van BB art. 2.108, lid 1 (bepaling doorstroomcapaciteit vluchtroute) kan worden afgeweken als iedere ruimte op de bouwlaag buiten het bedreigde subBC binnen 3,5 minuten is verlaten, of als die ruimten binnen 6 minuten zijn verlaten én tussen het bedreigde subBC en die ruimten een WBDBO van 30 minuten bestaat. Elke verblijfsruimte kan in een scenario in het bedreigde subBC liggen. Alleen als de opvangruimte een beschermde verkeersroute is, hoeft de ruimte niet in enig scenario als bedreigd subBC te gelden.

### 2.3 ANALYSE VAN DE DOELEN EN DE VOORSCHRIFTEN

Om te bepalen hoe de rookwerendheids-voorschriften het best kunnen worden gegeven is het allereerst van belang wat er met deze voorschriften bereikt moet worden (de doelen) en of dit al wordt bereikt met andere voorschriften. In onderstaande bespreking zijn (mogelijke) problemen op deze gebieden besproken:

- De manier waarop de bestaande voorschriften bijdragen aan de genoemde doelen;
- 'Gaten' in de voorschriften waardoor bepaalde doelen onvolledig worden gerealiseerd;
- Voorschriften die (vooral) bijdragen aan een invulling van doelen die nergens (ook niet in de Toelichting) expliciet is genoemd<sup>6</sup>.

De voorschriften worden hieronder ingedeeld in voorschriften over loopafstanden, over de status van vluchtroutes en over de richting en het niveau van brand- en rookwerendheids-eisen.

#### 2.3.1 Loopafstanden

Het beperken van de afstand die een persoon eventueel door rook moet afleggen om het brandgebied te verlaten, bevordert in beginsel de vluchtveiligheid, omdat de verblijftijd in de rook wordt beperkt, en daarmee de blootstelling aan giftige stoffen.

De Nota van Toelichting bij art. 2.102 koppelt de standaard maximale loopafstand van 30 m aan het uitgangspunt dat mensen 30 seconden met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s door een ruimte met rook kunnen lopen. Naast het feit dat de waarden 30 s en 1 m/s wat arbitrair zijn, is de veronderstelling dat mensen door een ruimte met rook kunnen lopen lang niet altijd juist, zoals bij hete rook. Verder is het toestaan van een langere loopafstand bij lage bezetting niet in lijn met het principe van afstand met ingehouden adem<sup>7</sup>.

De voorschriften voor de loopafstanden zijn hierdoor in diverse gevallen onvoldoende in lijn met de doelstelling.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Deze doelen zijn alleen indirect af te leiden uit het bestaan van voorschriften en/of overwegingen in de toelichting.

<sup>7</sup> Om wel in lijn te zijn met dit principe zou de verblijftijd in rook ongeveer gelijk moeten blijven. Bij een langere loopafstand is hiervoor een evenredig hogere loopsnelheid nodig. Bij een bezetting in het verblijfsgebied van minder dan 1 persoon per 12 m<sup>2</sup> (de in de voorschriften gebruikte grenswaarde) zullen vluchtroutes in een subBC echter op maar weinig plaatsen belast worden met personendichtheden die de maximum loopsnelheid substantieel reduceren, zodat de loopsnelheid nauwelijks toeneemt bij vermindering van de bezetting.

<sup>8</sup> De auteurs adviseren om niet langer te verwijzen naar vluchten met ingehouden adem door rook, maar in plaats daarvan naar het algemenere uitgangspunt dat de kans om in het subBC door rook te worden gehinderd bij het vluchten beperkt moet zijn. Het toestaan van grotere loopafstanden bij een lage bezetting kan dan worden gekoppeld aan een beperkt aantal personen blootgesteld aan het risico.

### 2.3.2 Status en omhulling van de vluchtroutes

#### *Rookontwikkeling in vluchtroutes*

Het Bouwbesluit bevat voor constructie-onderdelen extra<sup>9</sup> eisen ter beperking van de kans op ontstaan & ontwikkelen van brand in ruimten waardoor veiligheids-vluchtroutes of extra beschermde vluchtroutes voeren, en in ruimten van slaapgebouwen waardoor beschermde vluchtroutes voeren.

De Nota van Toelichting vermeldt in de algemene toelichting, paragraaf 6.5 Brandveiligheid, onder het kopje 'beschermde vluchtroute' "in een ruimte waardoor een beschermde vluchtroute voert mag geen groot risico zijn op het uitbreken en ontwikkelen van brand." en onder het kopje 'extra beschermde vluchtroute' "in een ruimte waardoor een extra beschermde vluchtroute (voert) is het risico op het ontwikkelen van brand verder beperkt."

Echter:

- De brand-/rookontwikkeling wordt voor constructie-onderdelen in beschermde vluchtroutes van niet-slaap gebouwen niet extra beperkt (sterker beperkt dan de basiseis), zodat de toelichting hiervoor niet correct is. Verder betekenen de gestelde eisen niet dat er in (extra) beschermde vluchtroutes een kleine kans bestaat op brand van enige omvang, maar hoogstens dat de kans gereduceerd is t.o.v. de kans in subbrandcompartimenten.
- De eisen aan aankleding<sup>10</sup> zijn bijna<sup>11</sup> altijd zeer licht, d.w.z. een stuk lichter dan die voor de constructieonderdelen. Voor inventaris ontbreekt geheel een voorschrift<sup>12</sup> om de genoemde kans voldoende te reduceren; alleen de "kapstok"-artikelen 7.10 en 7.16 kunnen voor inventaris gebruikt worden ter beperking van het risico. Verder zijn aan de aanwezigheid of de hoeveelheid aankleding en inventaris geen eisen gesteld.

Om in het vervolg van deze rapportage onderbouwd rookwerendheidseisen rond (extra) beschermde vluchtroutes voor te stellen moet het realistisch zijn te veronderstellen dat de kans op substantiële rookproductie zeer beperkt is in de ruimten waardoor die (extra) beschermde vluchtroutes voeren.

De auteurs adviseren<sup>13</sup> daarom om het zeer beperkt zijn van de kans op ontstaan en ontwikkelen van brand en rook in ruimten waardoor (extra) beschermde vluchtroutes voeren bij aanwezigheid van slechts één vluchtroute, beter te borgen dan nu het geval is. Voor de hand liggende voorschriften zijn:

- de eisen aan aankleding<sup>14</sup> én aan inventaris in de aangegeven ruimten stellen op het niveau van de constructieonderdelen<sup>15</sup>;
- voor extra beschermde vluchtroutes een beperking aan de hoeveelheid niet-permanente vuurbelasting.

#### *Expliciete doelen voor de omhulling van vluchtroutes*

Het Bouwbesluit bevat voorschriften voor de bescherming tegen rookindringing van ruimten waardoor (extra) beschermde vluchtroutes voeren, maar vermeldt de achterliggende doelen

<sup>9</sup> 'Extra' in de zin dat het niveau beter is dan de basiseis die voor verblijfsruimten geldt.

<sup>10</sup> Met «aankleding» doelt het BB (conform de toelichting op artikel 7.4) 'op gordijnen, vitrages, slingers en andere ornamenten in een ruimte, die niet worden gerekend tot de constructieonderdelen of tot de inventaris. Meubilair in een ruimte valt niet onder aankleding of constructieonderdelen maar onder inventaris.'

<sup>11</sup> De eis voor aankleding is alleen zwaarder, namelijk gelijkwaardig aan de eis voor constructieonderdelen, bij een besloten ruimte voor het verblijven of vluchten van meer dan 50 personen, indien de aankleding:

- a. zich bevindt boven een gedeelte van de vloer waar zich personen kunnen bevinden;
- b. de verticale vrije ruimte tussen de vloer en de aankleding minder dan 2,5 m is, en
- c. niet direct op de vloer, trap of hellingbaan is aangebracht. (BB art. 7.4, lid 2)

<sup>12</sup> De definitie van verkeersruimte beperkt de aanwezige inventaris enigszins, maar is hiervoor sterk ontoereikend.

<sup>13</sup> Dit advies is in de hoofdtekst opgenomen omdat het aanpassen van de voorschriften op dit punt essentieel is om een consistent pakket rookwerendheidseisen te kunnen opstellen.

<sup>14</sup> De eisen kunnen bijvoorbeeld worden gesteld op basis van BB artikel 7.4-6: "Bij ministeriële regeling kunnen nadere voorschriften worden gegeven over de bijdrage aan brandgevaar van aankleding."

<sup>15</sup> Het gaat hier om 'eisen stellen op het niveau van' en niet gewoon dezelfde eisen stellen, omdat de testmethoden op basis waarvan in EN 13501-1 wordt geklasseerd vaak niet geschikt zijn om aankleding en inventaris op brandvoortplanting te beoordelen.

niet expliciet in de toelichting, terwijl deze voor een goede onderbouwing van de rookwerendheidsvoorschriften wel nodig zijn.

De auteurs adviseren daarom om de volgende doelen in de Nota van Toelichting op te nemen:

- Een beschermde vluchtroute biedt bescherming tegen de rook van een beginnende brand in een subbrandcompartiment.
- Een extra beschermde vluchtroute biedt bescherming tegen de rook van zowel een beginnende brand als een ontwikkelde brand in een brandcompartiment.

Wat betreft de omhulling van onafhankelijke vluchtroutes:

Als er twee onafhankelijke vluchtroutes zijn, dan vervallen de meeste beschermingen op de bouwlaag behalve de bescherming van het vluchttrappenhuis en de wdbdo van 20 minuten tussen de onafhankelijke vluchtroutes<sup>16</sup> (BB2012, artikel 2.107, leden 2 en 3b). Dit betekent een groot risico bij falen van die onafhankelijkheid. De auteurs adviseren om dit risico af te dekken met eisen aan het rookwerend scheiden van onafhankelijke vluchtroutes.

### 2.3.3 Richting van de brand- en rookwerendheidseisen

In de paragrafen 2.1 en 2.2 is te zien dat eisen aan de WBDBO en de weerstand tegen rookdoorgang alleen worden gesteld in de richting van een (beschermde) subBC naar een andere ruimte, d.w.z. naar een ander subBC of een (extra) beschermde vluchtroute en niet in de omgekeerde richting<sup>17</sup>.

Tussen de 'opgeknijpte' gedeelten van een beschermde vluchtroute geldt in de vluchtrichting een eis aan de WBDBO (alleen E20) en de weerstand tegen rookdoorgang.

De richting vanuit een subBC dekt alleen de tweede van de twee doelen volgens afdeling 2.11 van het BB ("Ook biedt een subBC bescherming tegen de brand in het subBC dat juist is ontvlucht."). Die richting klopt met het gegeven dat subbrandcompartimentering rechtstreeks bescherming biedt tegen een brand in het subBC zelf, door de afstand te beperken die een persoon moet afleggen in het direct door rook bedreigde gebied.

De eisen in deze richting zijn effectief in het beschermen van personen tegen rook en brand als zij zich bevinden in de vluchtroutes buiten het bedreigde subBC.<sup>18</sup>

Het als eerste in de Nota van Toelichting genoemde doel van de onderverdeling in subBC's, namelijk bescherming tegen een brand ontstaan buiten het subBC, vinden we niet terug in een voorschrift dat een weerstand tegen rookdoorgang of branddoorslag oplegt in de richting van de ruimte waarin de brand is ontstaan naar het betreffende subBC.

Als brand alleen kan optreden in een subBC, en alle subBC's in een brandcompartiment een beschermende omhulling hebben die functioneert vanuit het subBC, is elk subBC ook beschermd tegen een brand elders; voor het voldoen aan die veronderstelling moeten wel voorschriften worden aangepast<sup>19</sup>.

### 2.3.4 Niveau van de rookwerendheidseisen

De voorschriften voor beperking van rookdoorgang kunnen zowel zijn gebaseerd op brandwerendheid als op rookwerendheid. Hierbij passen enige kanttekeningen:

- De brandwerendheidseisen schiet op diverse punten tekort als het gaat om het beperken van de rookdoorgang:

<sup>16</sup> De wdbdo van 20 minuten als borging van onafhankelijkheid trekt een zware wissel op de betrouwbaarheid van de scheiding tussen de twee vluchtroutes. Als de betrouwbaarheid beperkt is, bijvoorbeeld door de opbouw ervan en/of de aanwezigheid van een groot aantal doorvoeringen met elk een beperkte (deel)betrouwbaarheid, dan kunnen de risico's voor het veilig vluchten, door het ontbreken van andere bescherming van vluchtroutes tegen rook en brand, groot zijn.

<sup>17</sup> Indien de WBDBO en/of WRD in de praktijk gerealiseerd wordt door in een uitbreidingstraject, bijvoorbeeld (beschermde) subBC => beschermde vluchtroute => (beschermde) subBC, op beide scheidingen de helft van de vereiste weerstand te leggen, dan is die prestatie natuurlijk wel in beide richtingen aanwezig.

<sup>18</sup> Dat geldt zowel voor (extra) beschermde vluchtroutes als voor verblijfsruimten zonder nadere bescherming als dat is toegestaan vanwege de beschikbaarheid van onafhankelijke vluchtroutes.

<sup>19</sup> De in paragraaf 2.3.2 geadviseerde voorschriften voor bouwmaterialen, aankleding en inventaris in (extra) beschermde vluchtroutes zijn ook hier nodig om de veronderstelling te kunnen waar maken.

- Brandwerendheid, bepaald volgens EN 13501-2, kan bij actieve (bijvoorbeeld opschuimende) afdichtingsmiddelen pas een goede rookwerendheid leveren nadat deze middelen zijn geactiveerd en volledig werkzaam zijn geworden. Bij de standaard brandkromme, die een volledig ontwikkelde brand representeert, is dit pas het geval meer dan 5 minuten na aanvang van de blootstelling. Overigens valt het begin van de standaard brandkromme meestal niet samen met het moment dat de brand een net detecteerbare omvang bereikt; de genoemde 5 minuten kunnen hierdoor in de praktijk zowel langer als korter zijn.
- Bij blootstelling aan 'koude rook' zoals bij het scenario van een beginnende brand naast de scheiding of een grotere brand op afstand, kan de activeringstijd van de actieve afdichtingsmiddelen sterk oplopen.
- De situatie voorafgaand aan activering kenmerkt zich niet alleen door openstaande kieren rond deurbladen en ramen, maar ook door grote open oppervlakten van ventilatieroosters. Bij lokale thermische branddetectie kenmerkt de situatie zich zelfs door open staande deuren, luiken etcetera, indien deze bij branddetectie automatisch worden gesloten.
- Ook in een later stadium van brand, als eventuele actieve afdichtingsmiddelen volledig werkzaam zijn, kan een brandwerende scheidingsconstructie nog grote hoeveelheden rook doorlaten, omdat dit niet door de brandwerendheidscriteria wordt verhinderd. Hetzelfde geldt voor rook die niet wordt doorgelaten, maar die binnen in de constructie vrijkomt en aan de niet blootgestelde zijde uittreedt.
- BB 2012 verwijst naar mogelijke aanvullende voorschriften voor de weerstand tegen rookdoorgang op basis van rookwerendheid in een Ministeriele Regeling, maar deze zijn nog niet beschikbaar. Het voorliggende document is een van de bouwstenen om hiertoe te komen. De auteurs adviseren van deze aanvulling gebruik te maken om te voldoen aan de doelstellingen, zeker indien maar één vluchtroute beschikbaar is.

### 3. KWANTIFICERING VAN DE ROOKDOORGANG

---

#### 3.1 INLEIDING

Voor een gefundeerde keuze van rookwerendheid op basis van rookdoorlatendheden ( $S_a$  en  $S_{200}$ ), in plaats van rookwerendheid op basis van brandwerendheid (E20) is een vergelijking nodig van de hoeveelheid rook die door deze drie vormen van rookwerendheid worden doorgelaten.

De kwantitatieve vergelijking is voor de deuren gebaseerd op lekberekeningen bij constante condities. Voor andere rookdoorlatende constructieonderdelen is daarna een vergelijking gemaakt met de situatie voor de deurtypen.

Gezien de gangbare weerstand tegen rookdoorgang van 30 minuten, en dus een 20 minuten weerstand tegen branddoorslag, wordt voor de brandwerende deur in deze rapportage een E20 deur als representatief gebruikt. Aangezien op vele plaatsen in gebouwen deuren nodig zijn met zowel een brandwerende als rookwerende eigenschap zijn voor de vergelijking ook twee combinatietypen opgenomen:  $S_a/E20$  en  $S_{200}/E20^{20}$ .

De uitgangspunten, de berekeningen en de resultaten van de lekkages en rookdichtheden zijn uitgebreid beschreven in bijlage A; ze zijn in de volgende paragrafen alleen kort samengevat. Aanvullend zijn de consequenties van de rooklekkage in drie voorbeeld-configuraties gepresenteerd: een kamer-, een gang- en een trappenhuis-configuratie.

#### 3.2 GEHANTEERDE VARIABELEN

De hoeveelheid rook die door een rookwerende scheiding wordt doorgelaten is afhankelijk van de eigenschappen van de scheiding en de omgevingscondities, zoals de rookcondities aan de warme zijde<sup>21</sup>. Die condities zijn afhankelijk van de aard en de groeifase van de brand (en dus van de tijd) van de ruimte waarin deze optreedt, en van het traject van rookverspreiding totdat de rook de betreffende scheiding bereikt. Op dit traject kan het zijn dat alleen een ruimtelijke afstand aanwezig is, maar ook een wand, zodat de rooktemperatuur bij de rookwerende scheiding zelfs gedurende de gehele brand laag kan blijven.

Voor de condities en het traject van rookverspreiding bestaat een bijna oneindig aantal relevante varianten. Om de berekeningen en analyse uitvoerbaar te houden binnen het kader van deze rapportage worden de varianten in brand en verspreidingstraject gerepresenteerd door een beperkt aantal variabelen voor de condities aan de warme zijde van de scheiding. Het betreft:

- De temperatuur van de rooklaag aan de warme zijde: de waarden 40, 220 en 600 °C;
- De hoogte van de rookvrije laag aan de warme zijde: de waarden gebruikt 0, 1, 1½ en 2 m; en
- Het uniform drukverschil tussen warme en koude zijde<sup>22</sup>: 0, 10, 25 en 50 Pa overdruk aan de warme zijde.

Elk van de mogelijke combinaties van deze variabelen noemen we hier een scenario.

---

<sup>20</sup> In principe ligt E30 meer voor de hand dan E20 als het om een zelfstandige brandwerendheid gaat. Aangezien de lekkageopeningen voor E30 niet noemenswaardig afwijken van die voor E20, zijn hier combinaties gebruikt van de zelfstandig gebruikte typen  $S_a$ ,  $S_{200}$  en E20.

<sup>21</sup> We noemen de kant van de rookwerende scheiding waar de rook/warmte vandaan komt hier verder de "warme zijde", en de andere zijde de "koude zijde". De ruimte aan de koude zijde wordt ook de rook-ontvangende ruimte genoemd.

<sup>22</sup> Het gaat om het drukverschil veroorzaakt door externe factoren als wind en schoorsteeneffect in het gebouw en door expansie in de brandruimte, en beïnvloed door factoren als openstaande ramen en ruitbreuk. Het drukverloop over de hoogte volgt uit de rooklaagtemperatuur en de positie van de onderzijde van de rooklaag.

### *Lekkage door deuren*

De grootte van de deurkieren is in deze studie op basis van ervaring ingeschat voor elke deurvariant, bij de temperaturen 20 °C, 220 °C (200 °C temperatuurverhoging) en 600 °C. De spreiding die in de praktijk in de lekkageopeningen aanwezig is, wordt meegenomen in de vergelijking door de lekkage te berekenen voor een variant met gangbaar kleine openingen en een variant met gangbaar grote openingen. Dit levert de volgende deurvarianten op:  $S_a-1$ ,  $S_a-2$ ,  $S_{200}-1$ ,  $S_{200}-2$ ,  $E20-1$ ,  $E20-2$ ,  $S_a/E20-1$ ,  $S_a/E20-2$ ,  $S_{200}/E20-1$  en  $S_{200}/E20-1$ .

### *Lekkage door andere componenten in rookwerende scheidingen*

Gezien het grote aantal mogelijke lekkageopeningen is vooralsnog gekozen om de  $S_a$ - en  $S_{200}$ -prestaties van deuren als representatief te gebruiken in de berekeningen voor de  $S_a$ - en  $S_{200}$ -prestaties van willekeurige constructieonderdelen. Zie ook paragraaf A.2.2.

Het is echter van belang om, voorafgaand aan de aansturing van NEN 6075 vanuit het Bouwbesluit met de voorgestelde rookwerendheden, na te gaan of de in NEN 6075 opgenomen regels voor het omzetten van producteigenschappen van constructie-onderdelen (lekkage-debieten en  $S$ - en  $E20$ -prestaties van bijvoorbeeld RWA-systemen of doorvoeringen) naar  $S_a$  en  $S_{200}$ -prestaties zorgen voor  $S_a$  en  $S_{200}$ -prestaties die ongeveer overeen komen met die van deuren.

## 3.3 CONDITIES IN DE ROOK-ONTVANGENDE RUIMTE

Op basis van de lekkage door de beschouwde rookwerende scheiding is een indicatie van de rookdichtheid in de ruimte aan de koude zijde te geven. Het betreft een indicatie omdat de condities aan de warme zijde van de constructie variëren in de tijd en het aantal variaties zeer groot is. Daarnaast zijn kenmerkende eigenschappen van de rook-ontvangende ruimte van belang, namelijk het volume en de luchtstromen in en uit deze ruimte.

In de rook-ontvangende ruimte wordt volledige opmenging van rook verondersteld. Het maatgevende vlucht criterium is daar de zichtlengte door de rook en niet de temperatuur of de toxiciteit ervan<sup>23</sup>. In de bouwregelgeving is namelijk het uitgangspunt dat beperking van rookverspreiding en goede en voldoende vluchtroutes de benodigde veiligheid bieden; de verblijftijd in de rook wordt daarbij verondersteld zo kort te zijn dat de toxiciteit nog geen belangrijk effect heeft. Verder worden bij de beschouwde rookdichtheden (meer dan enkele meters) geen temperaturen bereikt die bij een kort verblijf in de rook maatgevend zijn. In de praktijk wordt de benodigde zichtlengte vooral bepaald door de mogelijkheid van oriëntatie in een ruimte en, als echte ondergrens<sup>24</sup>, door de mogelijkheid om de vloer voor de voeten te kunnen zien zodat nog enige loopsnelheid is te handhaven.

De resultaten van de berekeningen van de lekkages en van de tijden tot het bereiken van een rookdichtheids criterium aan de koude zijde in een bepaald ruimtevolumen, zijn getabelleerd en grafisch weergegeven in bijlage A en B. Tabel B.4 (bijlage B) is hieronder als voorbeeld opgenomen (als tabel 1).

In het voorbeeld zijn voor het rookdichtheids criterium en het volume van de ontvangende ruimte de volgende waarden gekozen (mede om gemakkelijk vergelijkbare getallen te krijgen):

- een rookdichtheid van 0,033 m<sup>-1</sup> (1/30 m<sup>-1</sup>, ca. 30 m zicht naar lichtreflecterende voorwerpen),
- een volume van de rook-ontvangende ruimte van 100 m<sup>3</sup>.

Aangezien de berekende tijden in het gehanteerde model, bij de hier aangenomen condities, zowel evenredig zijn met de rookdichtheids criterium aan de koude zijde als met het

<sup>23</sup> Deze en andere aannamen voor de berekeningen zijn toelicht in bijlage A.

<sup>24</sup> Indien de eigen voeten niet meer te zien zijn, is zeker geen veilig vluchten meer mogelijk; bij het nog net zichtbaar zijn van de (grond voor) voeten is vluchten alleen met enige snelheid mogelijk als de oriëntatie in de ruimte zeer eenvoudig is (oriëntatie in een smalle gang bijvoorbeeld).

ruimtevolume, zijn de tijden bij andere rookdichtheden en ruimtevolumes hieruit makkelijk om te rekenen. Tijden boven de 10.000 s zijn als 10.000 s weergegeven. De relatieve waarden van de weergegeven tijd zijn in de tabel benadrukt met kleurcodes.

### 3.4 CONSEQUENTIES IN DRIE VOORBEELD-CONFIGURATIES

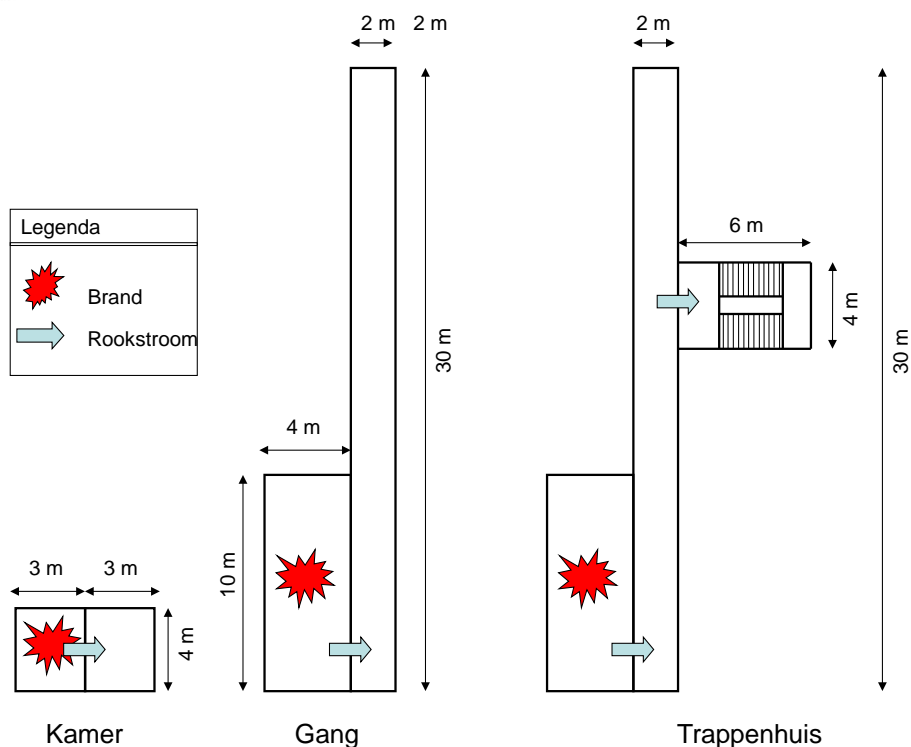
Voor het illustreren van de gevolgen van de rooklekkage voor veilig vluchten gebruiken we hier drie voorbeeld-configuraties (met een verdiepingshoogte van 3 m), zie figuur 1:

1. Kamer-configuratie: Een kleine verblijfsruimte (3 m x 4 m) is gescheiden van een andere verblijfsruimte met dezelfde afmetingen. De brand ontstaat in een van beide kamers.
2. Gang-configuratie: Een gang van 2 m x 30 m is gescheiden van een aangrenzende verblijfsruimte met afmetingen 10 m x 4 m. De brand ontstaat in de verblijfsruimte.
3. Trappenhuis-configuratie: Een gang van 2 m x 30 m is gescheiden van een aangrenzend trappenhuis met horizontale afmetingen 4 m x 6 m en 10 verdiepingen (30 m) hoog. Brand ontstaat in een verblijfsruimte grenzend aan de gang.

Tabel 1 De tijd (in s), voor zover kleiner dan 10.000 s, tot het bereiken van een rookdichtheid (RD) van  $1/30 \text{ m}^{-1}$  bij een rook-ontvangende ruimte van  $100 \text{ m}^3$ , gegeven de condities in de brandruimte: Tsm = rooklaagtemperatuur, p = druk, Hrv = hoogte rookvrije laag

TIJD (S) TOT RD = 0.033 m-1 (benaderingvoor bij lage RD) IN 100 m3, BIJ 293 'C, => 120.478 kg			Tsm (°C)	p (Pa)	Hrv (m)	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/ E20-1	Sa/ E20-2	S200/ E20-1	S200/ E20-2
40	0	0	10000	10000	10000	10000	10000	6763	1481	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	2467	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	1.5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	9444	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	10	0	320	297	7773	7331	444	152	320	297	7773	7331	10000	10000	10000
40	10	1	10000	5728	10000	10000	2643	468	10000	5728	10000	10000	10000	10000	10000
40	10	1.5	10000	8386	10000	10000	5306	715	10000	8386	10000	10000	10000	10000	10000
40	10	2	10000	10000	10000	10000	7931	1077	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	25	0	185	185	3554	3554	250	88	185	185	3554	3554	10000	10000	10000
40	25	1	10000	3083	9459	8809	1154	251	10000	3083	9459	8809	10000	10000	10000
40	25	1.5	10000	4499	10000	10000	1733	356	10000	4499	10000	10000	10000	10000	10000
40	25	2	10000	8254	10000	10000	3655	616	10000	8254	10000	10000	10000	10000	10000
40	50	0	129	129	2024	2024	168	60	129	129	2024	2024	10000	10000	10000
40	50	1	10000	1909	5084	4765	703	166	10000	1909	5084	4765	10000	10000	10000
40	50	1.5	10000	2781	6636	6025	1046	235	10000	2781	6636	6025	10000	10000	10000
40	50	2	10000	5089	9484	8126	2094	403	10000	5089	9484	8126	10000	10000	10000
220	0	0	593	138	3083	3083	212	56	600	144	3083	3083	10000	10000	10000
220	0	1	1370	288	5450	5450	424	93	1374	292	5450	5450	10000	10000	10000
220	0	1.5	2646	509	9083	9083	747	149	2653	512	9083	9083	10000	10000	10000
220	0	2	8472	1362	10000	10000	2049	356	8472	1364	10000	10000	10000	10000	10000
220	10	0	35	16	720	720	45	16	62	26	720	720	10000	10000	10000
220	10	1	572	134	1594	1585	170	39	550	131	1594	1585	10000	10000	10000
220	10	1.5	937	202	2141	2123	248	56	876	197	2141	2123	10000	10000	10000
220	10	2	2199	382	3207	3160	434	92	1864	362	3207	3160	10000	10000	10000
220	25	0	22	10	356	356	28	10	39	17	356	356	10000	10000	10000
220	25	1	338	86	811	807	101	25	325	84	811	807	10000	10000	10000
220	25	1.5	529	126	1053	1044	144	35	498	123	1053	1044	10000	10000	10000
220	25	2	1147	227	1490	1470	238	55	1002	216	1490	1470	10000	10000	10000
220	50	0	15	7	206	206	19	7	27	12	206	206	10000	10000	10000
220	50	1	217	59	461	458	65	17	209	58	461	458	10000	10000	10000
220	50	1.5	332	86	588	583	91	24	315	83	588	583	10000	10000	10000
220	50	2	695	151	817	807	149	37	619	144	817	807	10000	10000	10000
600	0	0	69	6	149	24	120	19	120	19	185	40	10000	10000	10000
600	0	1	131	8	236	32	279	34	279	34	341	57	10000	10000	10000
600	0	1.5	215	13	370	47	545	58	545	58	608	89	10000	10000	10000
600	0	2	495	28	884	108	1783	154	1783	154	1862	220	10000	10000	10000
600	10	0	13	2	59	11	23	7	23	7	63	16	10000	10000	10000
600	10	1	76	5	108	16	122	19	122	19	130	26	10000	10000	10000
600	10	1.5	107	7	149	23	189	29	189	29	193	38	10000	10000	10000
600	10	2	173	11	241	41	356	58	356	58	351	69	10000	10000	10000
600	25	0	8	2	34	7	14	5	14	5	33	10	10000	10000	10000
600	25	1	52	3	67	11	68	13	68	13	70	17	10000	10000	10000
600	25	1.5	71	5	90	16	99	20	99	20	100	24	10000	10000	10000
600	25	2	107	7	136	27	170	39	170	39	168	42	10000	10000	10000
600	50	0	6	1	22	5	9	3	9	3	20	6	10000	10000	10000
600	50	1	37	2	44	8	40	10	40	10	41	12	10000	10000	10000
600	50	1.5	49	3	58	12	57	15	57	15	57	17	10000	10000	10000
600	50	2	72	5	86	20	94	28	94	28	93	28	10000	10000	10000





Figuur 1: Overzicht (plattegrond) van de voorbeeld-configuraties.

### Kamer-configuratie

Een brand ontwikkelt zich in een van beide kamers. We veronderstellen dat in de scheidende wand één deur aanwezig is. Dit leidt tot de volgende scenario's in de kamer met brand en de volgende condities in de andere kamer. Zie ook figuur 2.

### *Druk, rookvrije laag en temperatuur in de brandruimte:*

Tussen de twee ruimten zal bij aanvang waarschijnlijk weinig drukverschil aanwezig zijn; als de brand begint te groeien kan snel een grote overdruk ontstaan in de brandruimte door expansie van de lucht; bij bezwijken van beglazing stopt het effect van expansie, maar kan wind een grote overdruk of onderdruk in de brandruimte veroorzaken.

Indien de beglazing niet bezwijkt en er weinig andere openingen zijn, is de kans op smoren van de brand groot; de daarbij optredende temperatuur zal niet vaak erg hoog zijn, de gebruikte "middentemperatuur" van 220 °C is hiervoor het meest representatief.

Een rookvrije onderlaag zal gedurende de groeifase van de brand vaak aanwezig blijven, tenzij expansie of windinvloeden (geopend raam) de rooklaag verstoren. Wanneer de brand naar volledig ontwikkeld doorgroeit, is de rookvrije laag meestal grotendeels<sup>25</sup> afwezig. De openingen in de constructie kunnen dan het beste worden gerepresenteerd door de gebruikte "hoge" temperatuur van 600 °C. Deze temperatuur kan al na een paar minuten<sup>26</sup> bereikt worden, maar de kieren/openingen die hierbij in de lekkageberekeningen worden aangenomen ontstaan pas vanaf 10 tot 15 minuten na aanvang van de brand<sup>27</sup>. Overigens kan branduitbreiding al veel eerder optreden als de brandwerendheid van de scheiding voldoet op basis van een EW-waarde<sup>28</sup>, zodat zich in de rook-ontvangende kamer ook een brand ontwikkelt en de rooklekkage door de scheiding niet meer relevant is.

<sup>25</sup> In de standaard modellering wordt meestal een volledige menging (geen rookvrije laag) verondersteld voor de gehele ruimte. De verbranding in de ruimte wordt echter met zuurstof gevoed, die in de vorm van verse en relatief koude lucht meestal langs de grond de plaats van verbranding bereikt. Dit leidt ten minste periodiek tot een kleine rookvrije onderlaag.

<sup>26</sup> Tijden die een brandduur uitdrukken zijn hier bedoeld vanaf het moment dat de brand substantieel begint te groeien, dus bijvoorbeeld vanaf het moment dat deze automatisch gedetecteerd kan worden.

<sup>27</sup> Schatting op basis van ervaring met brandproeven.

<sup>28</sup> Zoals voor beschermde subbrandcompartimenten toegestaan volgens de laatste versie van NEN 6069 (versie 2011).

### *Rookopbouw in de rook-ontvangende kamer:*

Bij 40 °C, rookvrije laag aanwezig en weinig drukverschil (0 of 10 Pa) is de rookdichtheid in de 2<sup>e</sup> kamer verwaarloosbaar; zelfs als deze condities 30 minuten zouden aanhouden treedt geen serieuze (zicht < 10 m) rookhinder op; bij hogere drukken (25 of 50 Pa) gebeurt dit alleen bij de E20-deur (na 4 tot 14 minuten).

Hogere drukverschillen zijn in een kleine ruimte meestal het gevolg van expansie (kortstondig) en windinvloeden (langdurig, bijv. door geopend raam), waarbij een rookvrije laag snel verloren kan gaan. In dat laatste geval (hoog drukverschil én rook tot op de vloer) kan rookhinder al in één minuut (E20) tot enkele minuten (Sa) optreden; bij S<sub>200</sub> gebeurt dit in geen enkel scenario; de kans op dit scenario is echter niet groot<sup>29</sup>.

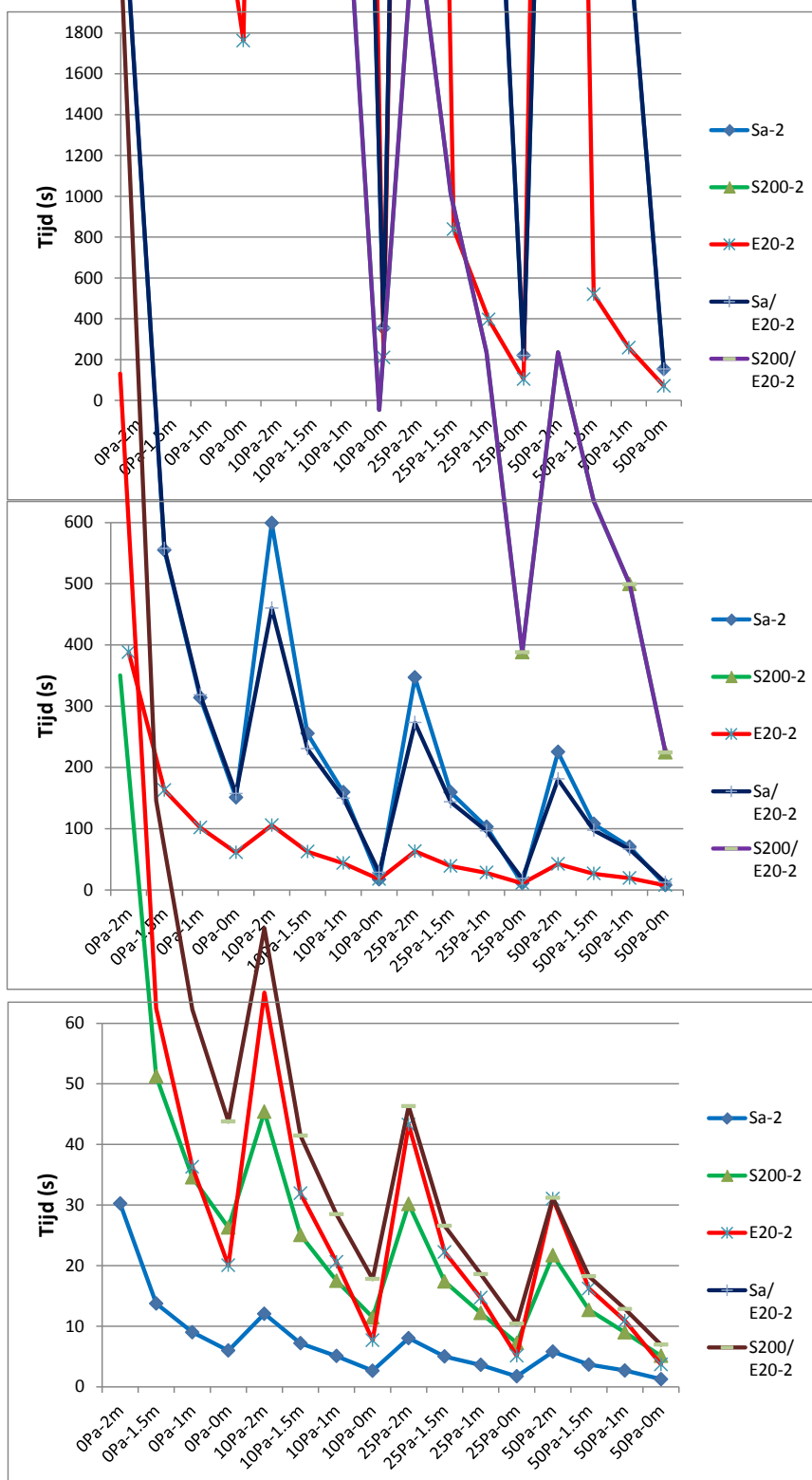
Bij 220 °C, rookvrije laag aanwezig en weinig drukverschil (0 of 10 Pa) bereikt de rookdichtheid in de 2<sup>e</sup> kamer de 0,1 m<sup>-1</sup> in meerdere scenario's voor E20 na ongeveer 1 minuut of later en voor S<sub>a</sub> na ongeveer 3 minuten of later; voor S<sub>200</sub> gebeurt dit in geen enkel scenario. Bij hogere drukken (25 of 50 Pa) gebeurt dit bij de E20-deur in elk scenario binnen 1 minuut; bij de S<sub>a</sub>-deur alleen binnen 1 minuut zonder rookvrije laag; voor S<sub>200</sub> gebeurt dit in het meest negatieve scenario (hoog drukverschil én rook tot op de vloer) pas na ca. 4 minuten. De positieve afwijking van S<sub>a</sub> t.o.v. S<sub>a</sub>/E20 mag hier genegeerd worden<sup>30</sup>.

Bij 600 °C leidt de S<sub>a</sub>-deur voor alle scenario's veruit het snelst tot het rookdichtheids criterium (0.1 m<sup>-1</sup>). De andere deuren leiden binnen een factor twee tot dezelfde tijden. Bij hoog drukverschil of ontbreken van een rookvrije laag zijn deze tijden voor alle scenario's wel kleiner dan 1 minuut. De S<sub>200</sub>/E20-deur presteert in alle scenario's het best.

---

<sup>29</sup> Naast de beperkte kans op een de combinatie hoog drukverschil én rook tot op de vloer, kunnen hoge drukverschillen over de lekopeningen in de rookwerende scheiding alleen in stand blijven als de rookontvangende ruimte grotere lekopeningen heeft naar andere ruimten, omdat bij weinig lekkage naar andere ruimten de druk ook snel oploopt in de rookontvangende ruimte en het drukverschil grotendeels wegvalt.

<sup>30</sup> De Sa deur levert bij aanwezigheid van een drukverschil en een rookvrije laag wat langere tijden in de berekeningen, omdat de aangenomen grotere onderkier onder de Sa-deur hier een voordeel levert door verdunning van de rookstroom. De minst veilige kier onder de Sa-deur zou onder deze omstandigheden dus juist wat kleiner moeten worden aangenomen; voor de analyse negeren we de wat betere tijden van de Sa-deur.



"Kamer"  
 T<sub>sm</sub> = 40 °C

"Kamer"  
 T<sub>sm</sub> = 220 °C

"Kamer"  
 T<sub>sm</sub> = 600 °C

Figuur 2a,b,c: Tijden tot bereiken van een rookdichtheid van 0,1 m<sup>-3</sup> in de 36 m<sup>3</sup> "kamer", bij gegeven drukverschil tussen de brandruimte en de gang en bij gegeven hoogte van de rookvrije laag in de brandruimte.  
 2a: De lijnen voor S<sub>a</sub>-2 en S<sub>a</sub>/E20-2 liggen op elkaar; die voor S<sub>200</sub>-2 en S<sub>200</sub>/E20-2 liggen op elkaar en buiten het getoonde tijdbereik  
 2b: De lijnen voor S<sub>200</sub>-2 en S<sub>200</sub>/E20-2 liggen op elkaar  
 2c: De lijnen voor E20-2 en S<sub>a</sub>/E20-2 liggen op elkaar

### Gang-configuratie

Een brand ontwikkelt zich in een kamer, de rook verspreidt zich naar de gang. We veronderstellen dat in de scheidende wand één deur aanwezig is. Dit leidt tot de volgende scenario's in de kamer en de volgende condities in de gang. Zie ook figuur 3.

#### *Druk, rookvrije laag en temperatuur in de brandruimte:*

De condities in de brandruimte komen overeen met de kamer-configuratie.

#### *Rookopbouw in de rook-ontvangende gang:*

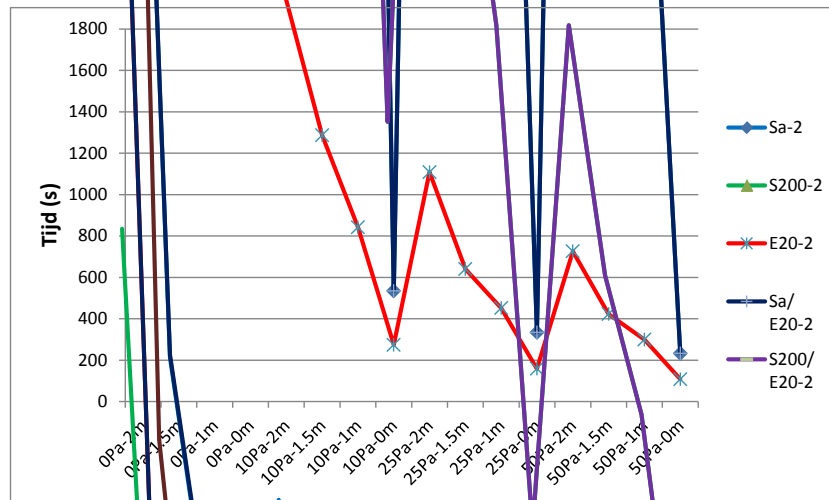
Bij 40 °C, rookvrije laag aanwezig en weinig drukverschil (0 of 10 Pa) is de rookdichtheid in de gang alleen voor E20 niet verwaarloosbaar; zelfs als deze condities 30 minuten zouden aanhouden treedt geen serieuze (zicht < 30 m) rookhinder op. Bij hogere drukken (25 of 50 Pa) treedt rookhinder wel op voor de S<sub>a</sub>-deur bij rook tot vloerhoogte (na ruim 3 minuten of later) en voor de E20-deur bij alle scenario's (na kleine 2 tot 18 minuten); bij S<sub>200</sub> gebeurt dit in geen enkel scenario. De kans op een scenario met tegelijk hoge drukverschillen en rook tot op de vloer is echter niet groot<sup>31</sup>.

Bij 220 °C, rookvrije laag aanwezig en weinig drukverschil (0 of 10 Pa) bereikt de rookdichtheid in de gang de 0,033 m<sup>-1</sup> in bijna alle scenario's voor E20 na ongeveer 1 - 4 minuten en voor S<sub>a</sub> na ongeveer 4 minuten of later; voor S<sub>200</sub> gebeurt dit in geen enkel scenario. Bij hogere drukken (25 of 50 Pa) gebeurt dit bij de E20-deur in elk scenario binnen 2 minuten; bij de S<sub>a</sub>-deur alleen binnen 1 minuut zonder rookvrije laag; voor S<sub>200</sub> gebeurt dit in het meest negatieve scenario (hoog drukverschil én rook tot op de vloer) pas na ca. 6 minuten.

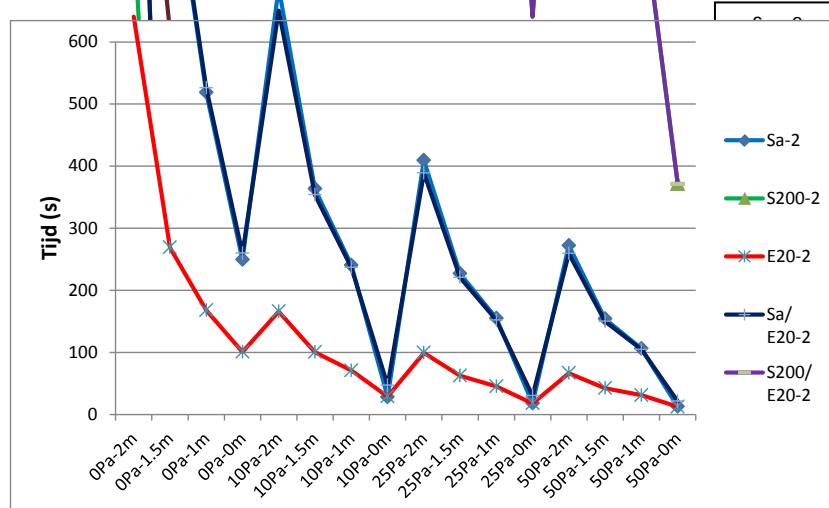
Bij 600 °C leidt de S<sub>a</sub>-deur voor alle scenario's veruit het snelst tot het rookdichtheids criterium (0.033 m<sup>-1</sup>). De andere deuren leiden binnen een factor twee tot dezelfde tijden. Bij hoog drukverschil of ontbreken van een rookvrije laag zijn deze tijden voor bijna alle scenario's wel kleiner dan 1 minuut<sup>32</sup>. De S<sub>200</sub>/E20-deur presteert in alle scenario's het best.

<sup>31</sup> Naast de beperkte kans op een combinatie hoog drukverschil én rook tot op de vloer, kunnen hoge drukverschillen over de lekopeningen in de rookwerende scheiding alleen in stand blijven als de rookontvangende ruimte grotere lekopeningen heeft naar andere ruimten, omdat bij weinig lekkage naar andere ruimten de druk ook snel oploopt in de rookontvangende ruimte en het drukverschil grotendeels wegvalt.

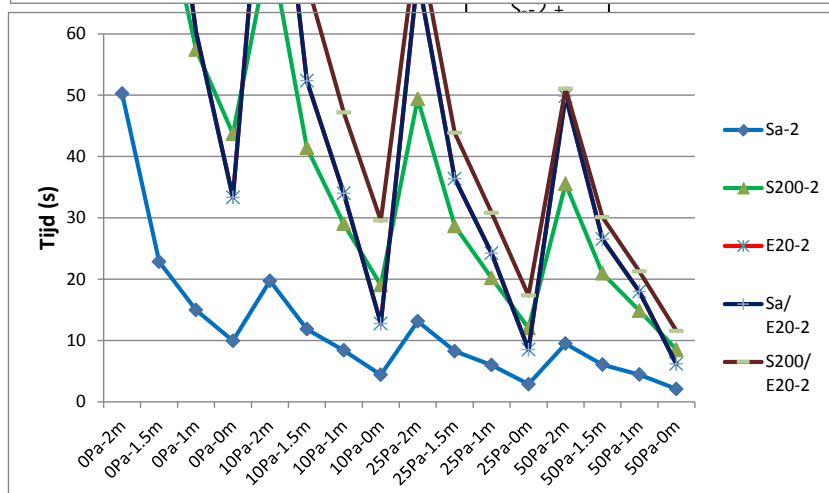
<sup>32</sup> Bedenk dat voor tijden onder de minuut en nog sterker voor tijden in de orde van seconden de aanname over volledige menging niet meer geldig is. Dat is hier een beperkt probleem omdat het in de analyse vooral gaat om de verhouding tussen de resultaten voor verschillende deuren.



"Gang"  
 $T_{sm} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$



"Gang"  
 $T_{sm} = 220 \text{ } ^\circ\text{C}$



"Gang"  
 $T_{sm} = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$

Figuur 3a,b,c: Tijden tot bereiken van een rookdichtheid van  $0,033 \text{ m}^{-1}$  in de  $180 \text{ m}^3$  "gang", bij gegeven drukverschil tussen de brandruimte en de gang en bij gegeven hoogte van de rookvrije laag in de brandruimte.

3a: De lijnen voor  $S_a-2$  en  $S_a/E20-2$  en voor  $S_{200}-2$  en  $S_{200}/E20-2$  liggen op elkaar en buiten het getoonde tijdbereik

3b: De lijnen voor  $S_{200}-2$  en  $S_{200}/E20-2$  liggen op elkaar; die voor  $S_a-2$  en  $S_a/E20-2$  liggen bijna op elkaar

3c: De lijnen voor  $E20-2$  en  $S_a/E20-2$  liggen op elkaar

### Trappenhuis-configuratie

Een brand ontwikkelt zich in een ruimte aangrenzend aan de gang, waardoor de gang langzaam gevuld raakt met rook (zie gang-configuratie). We veronderstellen dat in de scheidende wand tussen gang en trappenhuis één deur aanwezig is. Dit leidt tot de volgende scenario's in de gang en de volgende condities in het trappenhuis. Zie ook figuur 4.

#### *Druk, rookvrije laag en temperatuur in de gang:*

Tussen de twee ruimten zal bij aanvang waarschijnlijk weinig drukverschil aanwezig zijn; bij bezwijken van beglazing kan wind een overdruk of onderdruk in de gang veroorzaken.

De temperatuur in de gang zal (bij gesloten deur tussen brandruimte en gang) zelden erg hoog zijn, de "hoge temperatuur" van 600 °C is daarom niet relevant voor deze configuratie. De "middentemperatuur" van 220 °C zal pas na geruime tijd (>15 minuten na aanvang van de brand) bereikt kunnen worden.

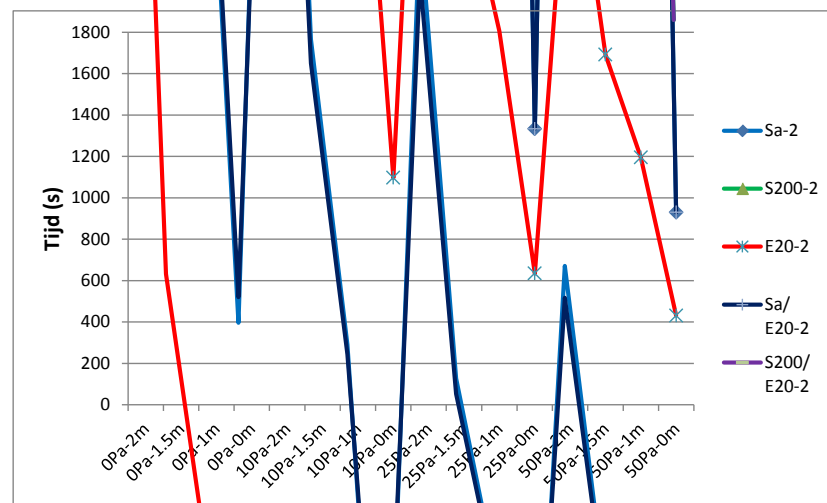
Vaak zal in de gang geen duidelijke rookvrije onderlaag aanwezig zijn; vooral de "xPa-0m"-scenario's zijn daarom relevant.

#### *Rookopbouw in het rook-ontvangende trappenhuis:*

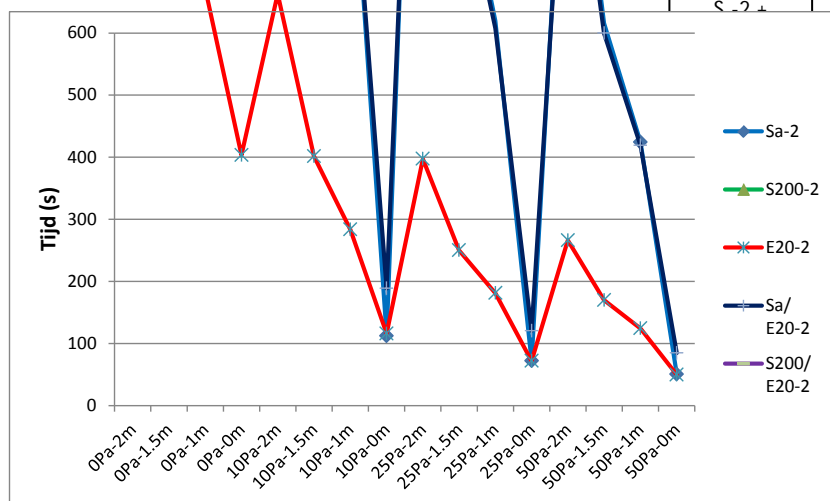
Het uitgangspunt "volledige rook-opmenging in het trappenhuis" is een erg grove benadering, omdat enige stratificatie (concentratie-verschil in de hoogte) in zo'n hoge ruimte altijd wel zal optreden. We behandelen de rekenresultaten hier daarom als gemiddelde rookdichtheid.

Bij 40 °C en weinig drukverschil (0 of 10 Pa) is de rookdichtheid in het trappenhuis verwaarloosbaar, uitgezonderd de E20 deur bij 10 Pa; zelfs als deze condities 30 minuten zouden aanhouden treedt geen serieuze (zicht < 30 m) rookhinder op. Bij hogere drukken (en rook tot op de vloer) ontstaat rookhinder bij de E20-deur (vanaf 7 minuten) en de Sa-deur (vanaf 15 minuten). Bedenk dat de genoemde minuten gelden bij 40 °C en 0,4 m<sup>-1</sup> rookdichtheid in de gang, en dat het geruime tijd duurt voordat deze condities daar kunnen ontstaan, zeker bij een gesloten brand- of rookwerende deur tussen de brandruimte en de gang (zie de vorige casus voor dat laatste geval).

Bij 220 °C en weinig drukverschil (0 of 10 Pa) bereikt de rookdichtheid in het trappenhuis de 0,33 m<sup>-1</sup> voor E20 na ongeveer 2 of 7 minuten en voor Sa na ongeveer 2 of >10 minuten. Bij hogere drukken (25 of 50 Pa) gebeurt dit bij de E20-deur al binnen 1 minuut; bij de Sa<sub>a</sub>-deur na ruim 1 minuut. Voor S<sub>200</sub> wordt het rookdichtheids criterium in geen enkel scenario bereikt.



"Trappenhuis"  
 T<sub>sm</sub> = 40 °C



"Trappenhuis"  
 T<sub>sm</sub> = 220 °C

Figuur 4a,b: Tijden tot bereiken van een rookdichtheid van  $0,033 \text{ m}^{-1}$  in het  $720 \text{ m}^3$  "trappenhuis", bij gegeven drukverschil tussen de brandruimte en de gang en bij gegeven hoogte van de rookvrije laag in de brandruimte.  
 4a: De lijnen voor  $S_a-2$  en  $S_a/E20-2$  liggen op elkaar; die voor  $S_{200}-2$  en  $S_{200}/E20-2$  liggen op elkaar en buiten het getoonde tijdbereik  
 4b: De lijnen  $S_a-2$  en  $S_a/E20-2$  liggen bijna op elkaar; die voor  $S_{200}-2$  en  $S_{200}/E20-2$  liggen op elkaar en buiten het getoonde tijdbereik

### 3.5 ALGEMENE CONCLUSIES VOOR DE VERSCHILLENDE DEURTYPES

De rekenresultaten geven een goed beeld van de relatieve consequenties van de rookwerendheid van verschillende deurtypen in drie standaard configuraties. De resultaten zijn samengevat in de figuren 4, 5 en 6 en de begeleidende tekst van paragraaf 3.4 ('Gevolgen berekende rooklekkages voor veilig vluchten').

Kortere conclusies zijn voor de voorbeeld-configuraties zijn niet goed te geven, maar bij gelijke waarschijnlijkheid van de relevante scenario's is een ruwe middeling te maken van de tijden tot het optreden van rookhinder bij vluchten in een willekeurige configuratie, voor de verschillende deurtypen. Hieruit volgen de verhoudingen<sup>33</sup> volgens tabel 3.

*Tabel 3 De gemiddelde verhouding in beschikbare vluchttijden voor de 4 deurtypen  $S_a$ ,  $S_{200}$ ,  $S_a/E20$  en  $S_{200}/E20$  t.o.v. de E20-deur bij respectievelijk 40, 220 en 600 °C aan de warme zijde.*

	$S_a$ : E20	$S_{200}$ : E20	$S_a/E20$ : E20	$S_{200}/E20$ : E20
40 °C	10	35	10	35
220 °C	3	40	3.0	40
600 °C	0.25	1.0	1.0	1.5

Voorbeeld: Bij een constante rooktemperatuur van 40 °C aan de warme zijde van de scheiding zijn de beschikbare vluchttijden aan de andere zijde, gemiddeld over diverse drukverschillen en rookvrije hoogten in de brandruimte, voor een  $S_a$ -deur ruwweg 10 maal zo lang als voor een E20-deur. Bij een rooktemperatuur van 600 °C is de gemiddeld beschikbare vluchttijd bij een  $S_a$ -deur ruwweg slechts een kwart van de tijd die beschikbaar is bij een E20-deur.

<sup>33</sup> Het gaat hier vooral om verhoudingen (relatieve waarden), omdat diverse factoren zoals het aantal lekopeningen, de feitelijke rookdichtheid in de brandruimte en de variatie in lekopeningen in de tijd een berekening van de absolute rookdichtheid in de rook-ontvangende ruimten slechts op indicatief niveau mogelijk maken.



## 4. ROOKDOORGANGSCRITERIA

---

### 4.1 BEPALENDE FACTOREN

#### 4.1.1 Inleiding

De beoogde keuze van rookwerendheidscriteria wordt in dit hoofdstuk uitgewerkt op basis van een vergelijking van beschikbare versus benodigde vlucht- of verblijfstijd voor de drie voorbeeld-configuraties:

- de onderlinge vergelijking en een indicatie van de absolute waarden van de hoeveelheid rook die door de diverse vormen van rookwerendheid ( $S_a$ ,  $S_{200}$ , E20 en combinaties daarvan) wordt doorgelaten en de condities die hierdoor in de beschermde ruimte ontstaan (leidend tot de (relatieve) beschikbare vlucht- of verblijftijden);
- de (verwachte) benodigde vlucht- of verblijftijden.

Voorafgaand aan deze keuze worden de belangrijke bepalende factoren besproken: naast de factor tijd zijn dit de gebruiksfunctie en de status van vluchtroutes, cumulatieve aspecten van parallelle rooklekkages, het gebruik van redundante eisen en het onderhoud, de handhaving en de acceptatie van maatregelen.

#### 4.1.2 De factor tijd

De factor tijd is bij een brand in een gebouw sterk bepalend voor de ontwikkeling van risico's voor aanwezigen in het gebouw. Voor het optimaliseren van maatregelen om de verspreiding van rook te beperken zijn de volgende tijdsduren van belang:

- de tijd waarin de rook zich verspreidt binnen het (beschermde) subbrandcompartiment waarin de brand is ontstaan,
- de tijd dat de omhullende scheidingen van het (beschermde) subBC en het brandcompartiment rook voldoende kunnen weren zodat verblijven of vluchten aan de andere zijde van de scheiding nog mogelijk is,
- de tijd die aanwezigen nodig hebben om het (beschermde) subBC, het brandcompartiment en het gebouw te verlaten.

Branden groeien met zeer verschillende snelheden. Ook een (nog) kleine brand produceert al grote hoeveelheden rook, die zich snel over een grote afstand binnen een ruimte kan verspreiden. Een subbrandcompartiment kan bestaan uit een of meer ruimten, maar een veilige veronderstelling is dat één minuut tot enkele minuten na het bereiken van een detecteerbare brand de rook zich heeft verspreid tot de omhulling van een subBC.

De hoeveelheid rook die door een scheiding wordt doorgelaten is afhankelijk van de eigenschappen van de scheiding en van de omgevingscondities, zoals het drukverschil over de scheiding en de rookcondities aan de warme zijde. Die condities zijn afhankelijk van de aard en de groeifase van de brand, van de ruimte waarin deze optreedt, en van het traject van rookverspreiding totdat de rook de betreffende scheiding bereikt. De omhulling van een ruimte waarin zich een brand ontwikkelt, staat in de beginfase van de brand alleen bloot aan koude of warme rook, maar nog niet aan de hitte van een volledig ontwikkelde (post-flashover) brand. Deze 'beginfase' duurt vaak een minuut of tien of nog langer, maar flashover kan zich in een kleine ruimte (woonkamer, kantoorcel) ook al na enkele minuten voordoen. Op afstand van de brand, gescheiden door alleen ruimtelijke afstand of door andere scheidingsconstructies, kan de rooktemperatuur gedurende de gehele brand laag kan blijven.

Hoe lang een rookwerende scheiding de rook moet weren is vooral afhankelijk van de rol van de beschermde ruimte<sup>34</sup> in het evacuatieproces. De aanwezigen in een gebouw nemen soms

---

<sup>34</sup> Voor de ruimte die grenst aan een rookwerende scheiding en die door de scheiding wordt beschermd, wordt in dit rapport naast 'rook-ontvangende ruimte' ook de term 'beschermde ruimte' gebruikt.

wel, en soms niet, snel het gevaar van een nabije brand waar. Deze snelheid hangt sterk af van detectie en alarmering en van de indeling van het gebouw. De mogelijke variaties hierin maken het zeer moeilijk om zonder kennis van het gebouw iets te zeggen over het moment dat aanwezigen het bedreigde gebied zullen hebben verlaten. Hierna zijn daarom de status van de ruimte en de gebruiksfunctie(s) van het gebouw gebruikt als primaire uitgangspunten voor het vaststellen van de tijdsduur dat verblijven of vluchten in de ruimten nog mogelijk moet zijn.

#### 4.1.3 Gebruiksfuncties en status van vluchtroutes

De zelfredzaamheid bij vluchten van de aanwezigen is in de voorschriften van het Bouwbesluit opgenomen via de gebruiksfuncties. Op basis van de voor een bepaalde gebruiksfunctie karakteristieke populatie wordt een bepaalde reactietijd en een bepaalde vluchtvaardigheid aangenomen. De voorschriften voor een gebouw moeten hierop zijn afgestemd. Afdeling 2.11 van het Bouwbesluit bevat bijvoorbeeld extra voorschriften voor gebouwen met een gebruiksfunctie waarin geslapen wordt (eerder al een 'slaap-gebruiksfunctie genoemd).

De status van vluchtroutes komt voort uit de gewenste beschikbaarheid tijdens brand. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is hier het uitgangspunt dat:

- Een beschermde vluchtroute bescherming biedt tegen de rook van een beginnende brand in een subbrandcompartiment;
- Een extra beschermde vluchtroute bescherming biedt tegen de rook van zowel een beginnende brand als een ontwikkelde brand in een brandcompartiment.

Indien een vluchtroute lang beschikbaar moet zijn, bijvoorbeeld vanwege de slaap-gebruiksfunctie waar deze toe behoort, is daarom de status van 'extra beschermde vluchtroute' vereist (BB art. 2.104-1).

#### 4.1.4 Cumulatieve aspecten van parallelle rooklekkages

Een goede kwantitatieve analyse van de gevaren van rook voor personen die in een ruimte achter een scheidingsconstructie wachten, onderkent dat de combinatie van de lekkages door alle doorvoeringen in de scheidingsconstructie bepalend is voor de condities in de ruimte. Dat wil zeggen alleen een beschouwing op ruimteniveau geeft een inzicht in de echte risico's.

De systematiek van eisen aan de brandwerendheid van scheidingsconstructies wijkt hiervan af. Daarbij eisen we dat alle onderdelen van de constructie voldoen aan dezelfde eisen als de gehele constructie. Dat is begrijpelijk vanuit de veronderstelling dat branddoorslag plaatsvindt als ergens op de scheiding een kritieke temperatuur wordt overschreden; er is dan geen (of althans weinig) cumulatie van de effecten<sup>35</sup>. We kunnen hierdoor eisen op componentniveau hanteren. Bij rook treedt wel cumulatie van effecten op: de totale stroom aan rook is de som van de bijdragen van alle openingen.

De rookwerende eigenschappen van componenten in scheidingsconstructies zijn te combineren tot een totale rookwerendheid van de scheidingsconstructie, maar deze bepaling zou voor elke scheiding in een gebouw apart moeten worden gedaan, rekening houdend met alle doorvoeringen, kanalen, roosters, etcetera. Daarnaast zijn de uiteindelijke condities in beschermde ruimten niet alleen afhankelijk van de eigenschappen van de scheiding, maar ook van de omgevingscondities en de eigenschappen van de beschermde ruimte (het volume daarvan bijvoorbeeld), zodat ook deze moeten worden meegewogen.

De auteurs gaan er in deze rapportage vanuit dat, in lijn met het NEN-voorstel voor aansturing van NEN 6075, gekozen wordt voor (WRD-)voorschriften die rechtstreeks leiden tot rookwerendheidsprestaties op componentniveau. Dat hierdoor slechts een zeer grove borging van de veiligheid ontstaat moge duidelijk zijn. De auteurs stellen daarom voor om, buiten het

<sup>35</sup> Een belangrijk effect van parallelle brandwerendheidstrajecten is wel de kans op falen; dit staat echter buiten de besproken systematiek.

kader van deze opdracht, te laten onderzoeken of en (zo, ja) hoe voorschriften op ruimteniveau zijn te introduceren zonder de regelgeving al te sterk te compliceren.

#### 4.1.5 Redundantie van eisen

De eisen in het Bouwbesluit dekken (gedeeltelijk) de mogelijkheid van falen van voorzieningen. Er worden bijvoorbeeld (beperkte) eisen gesteld aan de kans op ontstaan van brand. Indien hierdoor geen branden meer zouden ontstaan, dan waren de overige eisen overbodig, maar er is een kans op falen (een kans op niet voldoen aan de eisen). Daarom worden er ook eisen gesteld<sup>36</sup> aan de ontwikkeling van brand en rook. Indien hierdoor geen brand- en rookontwikkeling meer zouden ontstaan, dan waren de overige eisen ook overbodig, maar opnieuw is hier een kans op falen. Hetzelfde geldt in meer of mindere mate voor de eisen aan branduitbreiding, vluchten en de hulpverlening. Kort gezegd: er wordt gewerkt met redundante eisen, zodat het falen van een voorziening/maatregel niet meteen tot een catastrofe kan leiden.

Het gebruik van redundante eisen is universeel voor het borgen van alle soorten van veiligheid. Het zou bij het opstellen van rookwerendheidseisen ook het uitgangspunt moeten zijn, zeker daar waar de risico's groot zijn.

Het opnemen van dit onderwerp in deze rapportage is vooral gemotiveerd vanuit de waarneming dat bij recente aanpassingen van het Bouwbesluit, en vanuit door het Bouwbesluit aangewezen regelgeving, niet op deze redundantie wordt gelet; waarvan twee voorbeelden:

- Bij de reductie van eisen aan vluchtroutes, indien er twee of meer vluchtroutes beschikbaar zijn, zoals doorgevoerd in BB2012, is niet (althans niet zichtbaar) gekeken naar het verlies in redundantie in veiligheid, maar alleen geconcludeerd dat de eisen niet nodig waren omdat de juiste veiligheid al door andere bestaande eisen zou worden geregeld;
- Bij de herziening van NEN 6069 zijn de brandwerendheden tussen veel ruimten gereduceerd door niet meer uit te gaan van het criterium EI, maar slechts van EW; eveneens omdat de juiste veiligheid al door andere bestaande eisen zou worden geregeld.

Het netto resultaat van deze wijzigingen is dat de veiligheid is gereduceerd.<sup>37</sup>

#### 4.1.6 Onderhoud, handhaving en acceptatie van maatregelen

De praktijk is vaak weerbarstiger dan de theorie. In de praktijk leiden maatregelen / voorzieningen vaak niet tot het gewenste effect, omdat ze moeilijk te onderhouden zijn, toezicht en handhaving moeilijk zijn uit te voeren of gebruikers van het gebouw de maatregelen onvoldoende accepteren (het belang ervan inzien). In het kader van rookwerendheid komt het bijvoorbeeld vaak voor dat de zelfsluitendheid van deuren wordt opgeheven of dat de afdichtingen in brand- en rookwerende scheidingen niet worden gehandhaafd. Als regelgeving met deze aspecten rekening houdt, kan relatief eenvoudig aan veiligheid worden gewonnen.

Het goed onderhouden van rookwerendheid vereist relatief veel aandacht. Het kan daarom nuttig zijn om het zwaartepunt van maatregelen daar te leggen waar onderhoud, handhaving en acceptatie het eenvoudigst is. Bijvoorbeeld<sup>38</sup> door extra veiligheid rond trappenhuisen en sluisen te leggen en in mindere mate op de verdiepingen zelf. Een dergelijke concentratie van maatregelen is overigens niet geschikt voor gebruiksfuncties met minder-zelfredzamen zonder een goede BHV, omdat die personen de trappenhuisen dan onvoldoende kunnen bereiken.

<sup>36</sup> De eisen worden gesteld als beperking van brandvoortplanting en rookproductie.

<sup>37</sup> Dit kan overigens een uitstekende besparing zijn als het bewust en onderbouwd gebeurt.

<sup>38</sup> Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in wetgeving van andere EU-lidstaten zoals de UK.

## 4.2 VOORSTELLEN VOOR ROOKDOORGANGSCRITERIA

### 4.2.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt de benodigde tijd voor het ontvluchten steeds vergeleken met de beschikbare tijd. Voor de beschikbare tijd worden de rekenresultaten uit hoofdstuk 3 gebruikt. Bedenk bij het gebruik van deze resultaten dat de berekende tijdswaarden vooral een goed inzicht geven in de verhouding tussen de effecten van verschillende rookwerendheden en omgevingscondities. De absolute waarden bevatten grote onzekerheidsmarges en moeten overeenkomstig worden geïnterpreteerd; zie voor een nadere toelichting bijlage A.

Bij een groeiende brand wijzigen de condities aan de warme zijde van een rookwerende scheidingsconstructie permanent. Bij het interpreteren van de tijden in hoofdstuk 3 is het van belang hiermee rekening te houden. Dit kan bijvoorbeeld door de tijd in intervallen in te delen en voor elk van de intervallen een representatief scenario<sup>39</sup> te kiezen.

Bij het interpreteren van de tijden in hoofdstuk 3 is het van belang dat de gehanteerde aannamen veiligheidsmarges bevatten:

- De gehanteerde lekkageoppervlakken voor de deuren zijn realistische worst case waarden (leiden tot conservatieve/veilige conclusies)
- De lekkagewaarden voor hogere temperaturen (220°C en 600°C) worden pas na enige tijd bereikt;
- In de voorbeeld-configuraties worden conservatieve (=veilige) waarden gebruikt voor het rookdichtheids-criterium

Echter de berekeningen worden uitgevoerd voor één lekkend constructieonderdeel (een deur), terwijl de parallelle lekkage-trajecten tot een veelvoud aan rooklekkage kunnen leiden!

De drie veiligheidsmarges zullen in veel situaties niet (geheel) kunnen compenseren voor de aanwezigheid van parallelle lekkagetrajecten. In onderstaande beschouwingen is daarom vooral een keuze uit de rookdoorgangscriteria gemaakt op basis van de onderlinge verhouding in prestaties en zijn de absolute rookdichtheidswaarden (en bruikbaarheidstijden van ruimten voor vluchten of verblijven) alleen indicatief gebruikt.

### 4.2.2 Risicoprofiel 'Zelfredzaam en niet slapend'

#### *Profiel*

De aanwezigen zijn niet duidelijk minder dan gemiddeld zelfredzaam en niet-slapend. De gebruiksfunctie heeft geen beschermde subbrandcompartimenten.

#### *Voorgestelde rookdoorgangsprestaties*

##### *SubBC => Beschermde vluchtroute*

Een beschermde vluchtroute hoeft de aanwezigen afkomstig uit het subBC waarin de brand ontstaat slechts bescherming te bieden gedurende enkele minuten indien een brand snel door aanwezigen kan worden opgemerkt en het subBC goed beroepbaar is; indien de brand mogelijk niet snel wordt opgemerkt of het subBC niet goed beroepbaar is, is een bescherming van enkele minuten langer nodig (indicatie: 5 minuten). Deze laatste waarde is ook voldoende voor de personen in andere subbrandcompartimenten op dezelfde bouwlaag die gebruik moeten maken van dezelfde beschermde vluchtroute, aangezien deze snel worden gealarmeerd<sup>40</sup> indien zij niet beschikken over een alternatieve route.

Op basis van deze tijden is het acceptabel aan te nemen dat de brand nog geen flashover brand is of dit ten hoogste pas zeer kort is. Voor de condities die op grond van verschillende

<sup>39</sup> Een scenario bestaat dan uit de invoervariabelen rooktemperatuur, drukverschil en hoogte van de rookvrije laag.

<sup>40</sup> Door een brandmeldinstallatie met ruimtebewaking op basis van BB-artikel 6.20-5.

rookwerendheden kunnen worden verwacht is de gang-configuratie uit hoofdstuk 3 toepasbaar in de varianten 40 °C en 220 °C; de resultaten zijn weergegeven in figuur 4.

Bij goed functioneren van de voorzieningen volstaat een  $S_a$  prestatieniveau voor deze gevallen, omdat een rooklaag aan de warme zijde in de eerste minuten van een brand zelden tot op de vloer reikt.

*SubBC => SubBC*

De verblijfsduur in een subBC dat grenst aan een brandend subBC zal kort zijn na het moment waarop de brand een detecteerbare omvang heeft, zelfs korter dan de benodigde beschikbaarheid van de beschermde vluchtroute. Daarom voldoet hier een  $S_a$ -prestatieniveau.

*SubBC of Beschermde vluchtroute => Trappenhuis met extra beschermde vluchtroute*

Trappenhuisen, en 'oversteken' tussen trappenhuisen, moeten normaliter gedurende lange tijd rookvrij blijven, tot ten minste 15 à 30 minuten na aanvang van een brand; in de praktijk langer omdat ook verdiepingen veraf van de brandhaard van de trappenhuisen gebruik maken, waarbij de 'pre-movement' tijd veel verder kan oplopen dan in de directe omgeving van de brandhaard.

De betreffende scheidingen voldoen op basis van brandwerendheidseisen aan een brandwerendheid van 30 of 60 minuten.

Voor bescherming gedurende 15 à 30 minuten is op grond van hoofdstuk 3 zeker een  $S_{200}$  prestatieniveau nodig. Wellicht lijkt een  $S_a$  prestatieniveau voldoende als het trappenhuis alleen toegankelijk is vanuit een (extra) beschermde vluchtroute, maar de scenario's met rook tot op vloerniveau<sup>41</sup> leveren daarvoor een te hoge rooklekkage.

Indien het trappenhuis direct toegankelijk is vanuit een subBC kan de scheidingsconstructie worden blootgesteld aan een post-flashover brand. Er is dan een  $S_{200}$  prestatieniveau nodig. (daarnaast is op basis van BB art. 2.84-1 en NEN 6069:2011 een EI/EW30 of 60 brandwerendheid vereist).

*SubBC => Extra beschermde vluchtroute (anders dan een trappenhuis)*

In niet-slaap gebouwen is een extra beschermde vluchtroute buiten een trappenhuis meestal een enige vluchtweg voor veel mensen naar een trappenhuis of van een trappenhuis naar een gebouwingang.

Evenals voor de subBC => beschermde vluchtroute zou een  $S_a$ -prestatieniveau voor deze gevallen kunnen volstaan, bij een gelijk aantal mensen dat op deze vluchtroute is aangewezen; dat aantal kan bij een extra beschermde vluchtroute naar een trappenhuis echter veel groter zijn. Vanwege het hogere risico (de grotere consequenties van rookverspreiding) lijkt een  $S_{200}$  hier meer gewenst.

Indien het een extra beschermde vluchtroute betreft van een trappenhuis naar een gebouwingang gelden dezelfde argumenten als eerder genoemd voor subBC => trappenhuis, zodat  $S_{200}$  gewenst is.

*Beschermde vluchtroute of subBC => Sluis/opvangruimte voor een trappenhuis*

Een sluis/opvangruimte voor een trappenhuis waarin vluchtenden tot 6 minuten moeten wachten voor ze het trappenhuis in kunnen (vanwege beperkte opvang- en doorstroomcapaciteit) kan dezelfde rooklekkage ondervinden als het trappenhuis zonder sluis (zie hierboven). Enerzijds is de verblijftijd maar 20% tot 40% van de gewenste beschikbaarheid van het trappenhuis, maar anderzijds is het volume enkele malen tot vele malen kleiner. De tijd tot het bereiken van een kritische rookdichtheid zal daardoor niet korter zijn dan voor een trappenhuis zonder sluis, zodat een  $S_{200}$ -scheiding nodig is.

<sup>41</sup> Dit is een waarschijnlijk scenario na lekkage door een eerdere rookwerende scheiding in het verspreidingstraject.

*(Extra) Beschermd vluchtroute => (Extra) beschermde vluchtroute in de vluchtrichting*

Voor (extra) beschermde vluchtroutes waarin vluchtenden niet worden opgevangen (dus exclusief trappenhuizen en opvangruimten voor trappenhuizen) is een rookwerendheid met een  $S_a$ -prestatie tussen delen van die routes voldoende.

Voor vluchten naar ruimten waar vluchtenden worden opgevangen, dus naar trappenhuizen en opvangruimten voor trappenhuizen, is op grond van hoofdstuk 3 zeker een  $S_{200}$  prestatieniveau nodig voor bescherming gedurende 15 à 30 minuten, zoals aangegeven bij de rookdoorgang van een (extra) beschermde vluchtroute naar een trappenhuis.

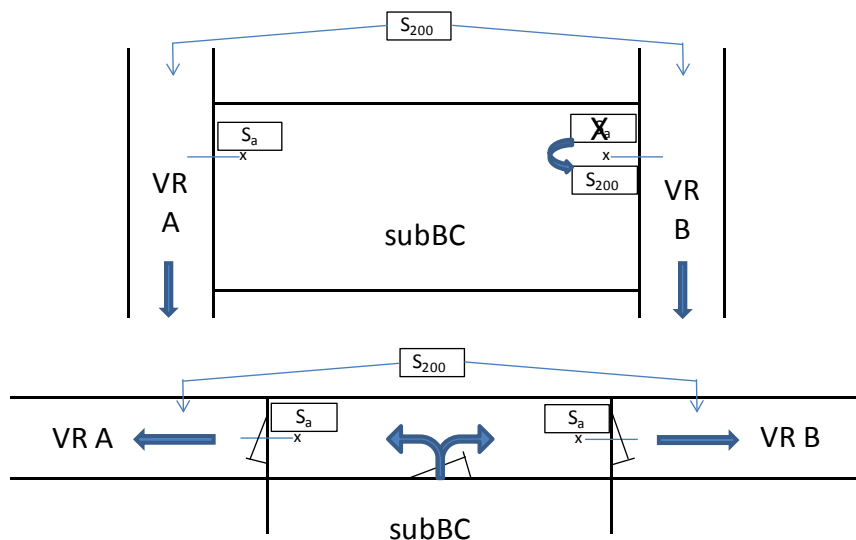
#### Onafhankelijke vluchtroutes

Onafhankelijke vluchtroutes zijn bedoeld om niet tegelijk te worden geblokkeerd door een brand. Gezien het aantal personen dat bij het vluchten kan worden geblokkeerd wordt een bescherming met een  $S_{200}$ -scheiding van ten minste een van beide vluchtroutes t.o.v. elk subBC geadviseerd.

Uitgedrukt in de WRD tussen onafhankelijke vluchtroutes kan een  $S_{200}$ -eis leiden tot twee  $S_a$ -scheidingen (beide vluchtroutes met  $S_a$  gescheiden van hetzelfde subBC); deze optie zou moeten worden uitgesloten.

Twee vluchtroutes die onafhankelijk zijn doordat in twee richtingen vanuit een (extra) beschermde vluchtroute naar een aangrenzende (extra) beschermde vluchtroute kan worden gevlucht mogen wel via 2 maal  $S_a$  met een  $S_{200}$ -prestatie gescheiden zijn.

Overigens bedraagt de WBDBO tussen onafhankelijke vluchtroutes 30 minuten volgens BB-art. 2.107-2.



**Figuur 5a,b:** Voor twee onafhankelijke vluchtroutes (VR A en VR B) wordt een onderlinge WRD met een  $S_{200}$ -prestatie geadviseerd. Volgens NEN 6075 wordt hieraan voldaan met 2 maal  $S_a$  in serie.

*5a: De situatie waarin beide vluchtroutes slechts door  $S_a$  van hetzelfde subBC zijn gescheiden is onwenselijk: een van beide scheidingen heeft een  $S_{200}$ -prestatie nodig.*

*5b: De situatie waarin twee vluchtroutes die in twee richtingen vanuit een (extra) beschermde vluchtroute naar een aangrenzende (extra) beschermde vluchtroute leiden met een  $S_{200}$ -prestatie zijn gescheiden door 2 maal  $S_a$  in serie is wel acceptabel.*

#### 4.2.3 Risicoprofiel 'Verminderd-zelfredzaam of slapend'

##### *Profiel*

In deze gebruiksfuncties kan worden geslapen (woonfunctie en logiesfunctie) en/of zijn de aanwezigen verminderd-zelfredzaam door lichamelijke of geestelijke beperkingen (wonen-met-zorg-functie en gezondheidszorgfunctie) danwel door opsluiting (celfunctie). Deze gebruiksfunctie bevat beschermde subbrandcompartimenten.<sup>42</sup>

In deze groep bevinden zich de gebruiksfuncties waar de ervaring leert dat, bij brand elders in het (sub)brandcompartiment, aanwezigen geblokkeerd raken in hun leef-unit/beschermde subBC, en dat hun overlevingskansen sterk afhankelijk zijn van de mate van bescherming die zij daarin genieten tegen de brand en de rook tot zij door hulpverleners in veiligheid kunnen worden gebracht.

De tijd dat zij daar moeten doorbrengen kan aanzienlijk zijn. Voor zover het gaat om gebruiksfuncties voorzien van een brandmeldinstallatie met volledige bewaking en met effectieve BHV (PI's, ziekenhuizen) kan het gaan om 5 à 10 minuten. Ontbreken die voorzieningen (bepaalde woon-zorg-vormen als bejaardentehuizen, verpleegtehuizen), dan zijn de aanwezigen afhankelijk van de inzet van de publieke hulpdiensten (brandweer). Dan loopt de tijd die de aanwezigen in een leef-unit moeten wachten op tot 20 à 60 minuten.

In onderstaande voorstellen wordt binnen het profiel onderscheid gemaakt in eisen aan de gebruiksfuncties met minder zelfredzamen (wonen met zorgfunctie, bedgebied in gezondheidszorgfunctie en celfunctie) en de rest van de gebruiksfuncties in het profiel (woonfunctie, logiesfunctie en niet-bedgebied van de gezondheidszorgfunctie). De scheiding zou ook kunnen worden gelegd tussen de minder zelfredzamen in gebruiksfuncties die zijn voorzien van een brandmeldinstallatie met volledige bewaking en met effectieve BHV, en de gebruiksfuncties waar die voorzieningen ontbreken (bepaalde woon-zorg-vormen als bejaardentehuizen, verpleegtehuizen). Op basis van risico's wordt hier gekozen voor extra redundantie in de eisen (vooral wegens mogelijk falen van de BHV); d.w.z. dat ook bij aanwezigheid van een brandmeldinstallatie met volledige bewaking en met effectieve BHV bij minder zelfredzamen zwaardere rookdoorgangscriteria worden geadviseerd dan voor slapend aanwezigen.

##### *Voorgestelde rookdoorgangsprestaties*

De voorgestelde rookdoorgangsprestaties wijken slechts voor één type scheiding af van die voor het risicoprofiel 'Zelfredzaam en niet slapend', namelijk waar een beschermde vluchtroute wordt gebruikt voor het ontvluchten vanuit beschermde subbrandcompartimenten. Daarnaast zijn de rookdoorgangsprestaties van en naar beschermde subBC's voorgesteld.

##### *SubBC => Beschermde vluchtroute t.b.v. beschermd subBC*

Het ontvluchten vanuit een beschermd subBC kan zoals aangegeven geruime tijd in beslag nemen, zodat beschermde vluchtroutes die ten dienste staan van beschermde subBC's gedurende lange tijd beschikbaar moeten zijn. Binnen die tijdsduur kunnen de scheidingsconstructies om de beschermde vluchtroute bloot komen te staan aan post-

<sup>42</sup> Het Bouwbesluit 2012 kent drie vormen van ruimtelijke modellering waarin een beschermd subbrandcompartiment voorkomt:

- De woonfunctie is BC, tevens subBC, tevens beschermd subBC;
- Het logiesverblijf is beschermd subBC tevens subBC, terwijl dat verblijf met andere verblijven en ruimten is gelegen in een BC opgedeeld in een of meer subBC;
- Een woonverblijf, patiëntenkamer of KDV-ruimte waar wordt geslapen is een beschermd subBC dat in beginsel met andere beschermde subBC's en andere ruimten zijn gelegen in een BC dat is opgedeeld in een of meer subBC's; in extremis vallen beschermd subBC, subBC en BC in dit model samen.

Het bestaan van de drie vormen heeft invloed op de status van vluchtroutes die aan die vormen van compartimenten grenzen, waardoor het niet mogelijk is om alle eisen voor beschermde subBC's en subBC's op dezelfde manier te benaderen. Vooralsnog is in het rapport daaraan voorbijgegaan hetgeen voor bepaalde situaties de voorstellen te streng kan maken.

flashover temperaturen, zodat een  $S_{200}$  prestatie wenselijk is om rookverspreiding naar de beschermde vluchtroute te beperken.

*Beschermd subBC => Beschermd subBC*

Bij een verblijftijd van 5 à 10 minuten kan de scheiding gedurende meer dan enkele minuten bloot gesteld worden aan een volledig ontwikkelde brand (na flashover). Een  $S_{200}$  prestatie is daarom wenselijk.

Als de BHV-organisatie met onvoldoende zekerheid een snelle ontruiming kan uitvoeren en de publieke hulpverleners dus nodig zijn voor redding, moeten de scheidingsconstructies veilige condities (in de beschermde subBC's) leveren gedurende 20 tot 30 minuten en wellicht zelfs 60 minuten. Binnen die tijdsduur kunnen de scheidingsconstructies om het beschermde subBC bloot komen te staan aan post-flashover temperaturen. In dat geval is zeker een  $S_{200}$  prestatie nodig, maar deze is waarschijnlijk nog onvoldoende<sup>43</sup> om gedurende de aangegeven periode veilig te verblijven.

Overigens kan ruim binnen de betreffende periode al branduitbreiding optreden als de brandwerendheid van de scheiding voldoet op basis van een EW-waarde<sup>44</sup>, zodat zich in het 2<sup>e</sup> beschermde subBC ook een brand ontwikkelt en de rooklekkage door de scheiding niet meer relevant is.<sup>45</sup>

*SubBC => Beschermd subBC*

Hierbij zijn twee situaties te onderscheiden: enerzijds de rookdoorgang naar een beschermd subBC in hetzelfde subBC, anderzijds de rookdoorgang naar een beschermd subBC in een ander subBC.

Voor de eerste groep (naar een beschermd subBC in hetzelfde subBC) geeft het Bouwbesluit niet de mogelijkheid om een eis te stellen op basis van de MR-optie (BB artikelen 2.94-3 en 2.107-3 die refereren naar de mogelijkheid eisen te stellen bij ministeriële regeling). Gezien het risicoprofiel is het echter wel te overwegen om een eis naar het beschermde subBC te stellen, zodat aanwezigen meer kans hebben om de redding door hulpverleners af te wachten; zie ook paragraaf 2.3.3.

Voor de 2<sup>e</sup> groep (naar een beschermd subBC in een ander subBC) geldt al een subBC = > subBC -eis. Daarnaast gelden dezelfde argumenten en daarom dezelfde  $S_{200}$ -voorkeur als voor de rookdoorgang van beschermd subBC naar beschermd subBC.

*Beschermd subBC => ander subBC*

Het ontvluchten vanuit een subBC, anders dan een beschermde subBC zal gemiddeld sneller gaan dan vanuit de beschermde subBC's, maar langzamer dan in het risicoprofiel 'zelfredzaam en niet slapend' als de aanwezigen niet of verminderd zelfredzaam zijn. Een  $S_{200}$ -prestatie is daarom minder duidelijk dan in de omgekeerde richting, maar omdat deze prestatie eenvoudig te realiseren is als de omgekeerde richting (van subBC naar beschermd subBC in ander subBC) deze prestatie haalt, heeft het hier toch de voorkeur als de aanwezigen niet of verminderd zelfredzaam zijn. Voor de andere slaap-gebruiksfuncties is een  $S_a$ -prestatie voldoende.

<sup>43</sup> Ook een B30- $S_{200}$ -prestatie zal in veel scenario's (ongunstig drukverschil, hoge brandtemperaturen) niet leiden tot een veilig verblijf gedurende de genoemde tijdsduur!

<sup>44</sup> Zoals voor beschermde subBC's toegestaan volgens de laatste versie van NEN 6069 (versie 2011).

<sup>45</sup> De auteurs adviseren om het gebruik van het EW-criterium tussen beschermde subBC's voor minder zelfredzamen (de groep aanwezigen waarvoor de publieke hulpverleners nodig kunnen zijn voor redding) te wijzigen in een EI-criterium.



#### *Beschermde subBC => Vluchtroute in hetzelfde subBC*

Het gaat hier om de gebruiksfuncties (zoals gezondheidszorgfunctie en woonfunctie met zorg), waarbij het beschermde subBC en het<sup>46</sup> subBC niet hoeven samen te vallen.

De vluchtroute in het subBC (dus geen (extra) beschermde vluchtroute) van het beschermde subBC naar de uitgang van het subBC heeft dan geen speciale status, zodat er een normale kans op brand is. Een bijzondere bescherming van deze vluchtroute heeft daarom maar beperkt nut, zodat een  $S_a$ -prestatieniveau over het algemeen voldoende is. Echter, alleen voor de groep minder-zelfredzamen wordt hier gezien de consequenties van het niet beschikbaar zijn van de vluchtroute (zie aanhef van de paragraaf) een  $S_{200}$ -prestatie geadviseerd.

#### *Beschermde subBC => (Extra) beschermde vluchtroute*

De gewenste prestatie is gelijk aan de prestatie van een subBC naar een (extra) beschermde vluchtroute:  $S_{200}$ .

#### 4.2.4 Risicoprofiel 'Grote hoge ruimten met lage bezetting met niet-slapende zelfredzamen'

##### *Profiel*

Het betreft de industriefunctie en de sportfunctie in die situaties dat maar weinig personen aanwezig zijn en deze ruim voldoende tijd hebben om te vluchten, omdat de rook gedurende die tijd boven de hoofden van de vluchtenden kan worden opgeslagen in een rooklaag of het zicht zo goed is dat het vluchten niet wordt gehinderd.

In aansluiting op BB-artikelen 2.102-6 en 7 betreft de lage bezetting een bezetting van minder dan 1 persoon per 12 m<sup>2</sup>. De grootte en hoogte van de ruimte moeten zodanig zijn dat gedurende de vluchttijd de rookvrije laag meer bedraagt dan 3 m of de zichtlengte groter is dan 30 m bij lichtreflecterende voorwerpen.<sup>47</sup>

Gezien de goede ontvluchttingsmogelijkheden en het type vluchtenden is geen rookwerendheid nodig in aanvulling op de brandcompartimentering om veilig vluchten mogelijk te maken.

#### 4.2.5 Samenvatting voorstellen voor rookdoorgangscriteria

In tabel 4 zijn de besproken voorstellen voor rookdoorgangscriteria (samen met de brandwerendheidscriteria) samengevat:

<sup>46</sup> Indien hier subBC's elkaar omsluiten (zie noot onder 4.2.3, 'profiel') is hier het binnenste/kleinste subBC bedoeld.

<sup>47</sup> De methode en randvoorwaarden voor aantonen van deze condities zal nader moeten worden uitgewerkt.

Tabel 4 Voorstel rookdoorgangscriteria (met brandwerendheidscriteria)

		Naar:						
		SBC	BSBC <sup>*6*9</sup>	VR in SBC	BVR	EBVR	EBVR in TH tot VP	Opvang >3.5min
Van:	SBC	Sa	E20+S <sub>200</sub>	x	Sa	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>
	BSBC-mZr <sup>*7</sup>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>
	BSBC-rest	B30+S <sub>a</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>a</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>
	BVR	---	--- <sup>*8</sup>	---	Sa <sup>*2</sup>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>	S <sub>200</sub>
	EBVR	---	--- <sup>*8</sup>	---	Sa <sup>*2</sup>	Sa <sup>*2</sup>	S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>	S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>
Tussen BC's								B60 <sup>*1</sup>
Tussen onafhankelijke VR's								B30+S <sub>200</sub>
Naar grote hoge ruimten <sup>*3</sup>								B60/--- <sup>*4</sup> +--- <sup>*5</sup>

\*1: B30 voor lage gebouwen (vloeren <5m) op hetzelfde perceel, voor de woonfunctie in lage gebouwen (vloeren <7m) met lage permanente vuurbelasting (500 MJ/m<sup>2</sup>) en voor de woonfunctie naar extra beschermde vluchtroutes (BB-art. 2.84, leden 2, 3 en 4). Voor uitzonderingen zie art. 2.84, leden 5 t/m 8.

\*2: Eis in de vluchtrichting.

\*3: Ruimten waarin gedurende de vluchttijd de rookvrije laag meer bedraagt dan 3 m of de zichtlengte groter is dan 30 m bij lichtreflecterende voorwerpen.

\*4: B60, B30, E20 of geen eis, afhankelijk van de functie van de scheiding.

\*5: Geen rookwerendheidseis naast die voor brandwerendheid.

\*6: Het betreft hier de rookdoorgang naar een BSBC in een ander SBC.

\*7: De afkorting mZr (minder Zelfredzaam) wordt hier gebruikt voor de gebruiksfuncties met minder-zelfredzamen (wonen met zorg-, bedgebed in de gezondheidszorgfunctie en celfunctie)

\*8: Geen rookwerendheidseis naast die voor brandwerendheid indien aanvullende eisen worden gesteld om de kans op ontstaan en ontwikkelen van brand en rook in (extra) beschermde vluchtroutes te beperken (zie paragraaf 2.3.2)

\*9: Gezien het risicoprofiel 'mZr' zou moeten worden overwogen ook een eis naar een beschermde subBC in hetzelfde subBC te stellen (niet opgenomen in MR-opties)

Ter vergelijking is hieronder het overzicht gegeven van de huidige brandwerendheids- en rookwerendheids-eisen voor nieuwbouw:

Tabel 5: Huidige rookdoorgangscriteria (per 1/4/2014) (met brandwerendheids-criteria)

		Naar:							
		SBC	BSBC <sup>*6</sup>	VR in SBC	BVR	EBVR	EBVR in TH tot VP	Opvang >3.5min	
Van:	SBC	E20+MR	E20+MR	x	E20+ MR	B60 <sup>*1</sup> + MR	B60 <sup>*1</sup> + MR	B30+MR	
	BSBC-mZr <sup>*7</sup>	B30+MR	B30+MR	B30+MR	B30+MR	B60 <sup>*1</sup> +MR	B60 <sup>*1</sup> +MR	B30+MR	
	BSBC-rest	B30+MR	B30+MR	B30+MR	B30+MR	B60 <sup>*1</sup> +MR	B60 <sup>*1</sup> +MR	B30+MR	
	BVR	---	---	---	E20 <sup>*2</sup> +MR	B60 <sup>*1</sup> + E20 <sup>*2</sup> +MR	B60 <sup>*1</sup> + E20 <sup>*2</sup> +MR	MR	
	EBVR	---	---	---	E20 <sup>*2</sup> +MR	E20 <sup>*2</sup> +MR	E20 <sup>*2</sup> +MR	MR	
Tussen BC's								B60 <sup>*1</sup>	
Tussen onafhankelijke VR's								B30+MR	
Naar grote hoge ruimten <sup>*3</sup>								B60/--- <sup>*4</sup>	

**Afkortingen:**

BC : Brandcompartiment

SBC : Subbrandcompartiment

BSBC : Beschermd subbrandcompartiment

VR : Vluchtroute

BVR : Beschermd vluchtroute

EBVR : Extra beschermd vluchtroute

TH : Trappenhuis

VP : Veilige plaats

mZr : Minder zelfredzaam

MR : Mogelijk toekomstige rookdoorgangseis

B60/30 : 60 of 30 minuten brandwerendheid op de criteria EI of EW

E20 : 20 minuten brandwerendheid op het criterium vlamdichtheid

Resumerend komen de voorgestelde rookwerendheidscriteria neer op het volgende:

- Voor niet-slaap gebruiksfuncties geldt voor de rookwerende scheidingen binnen brandcompartimenten een S<sub>a</sub>-prestatie. Naar extra beschermd vluchtroutes en opvangruimten waar vluchtenden langer dan 3,5 minuten verblijven geldt een S<sub>200</sub>-prestatie. Alleen indien een extra beschermd vluchtroute, niet gelegen in een trappenhuis of in de aansluiting van een trappenhuis naar een veilige plaats, kan worden betreden vanuit een andere extra beschermd vluchtweg geldt een S<sub>a</sub>-prestatie.
- Voor gebruiksfuncties waarin wordt geslapen (woonfunctie, bijeenkomstfunctie met kinderdagverblijf, gezondheidszorgfunctie met bedgebied, celfunctie en logiesfunctie) geldt daarnaast:
  - een S<sub>200</sub>-prestatie vanuit beschermd subbrandcompartimenten, met uitzondering van de rookwerendheid vanuit een beschermd subbrandcompartiment naar een vluchtroute in hetzelfde subbrandcompartiment;
  - een S<sub>200</sub>-prestatie naar beschermd subbrandcompartimenten, met uitzondering van de rookdoorgang vanuit (extra) beschermd vluchtroutes (deze uitzondering overigens alleen indien aanvullende eisen worden gesteld om de kans op ontstaan en ontwikkelen van brand en rook in een (extra) beschermd vluchtroute te beperken).
- Tussen onafhankelijke vluchtroutes geldt een S<sub>200</sub>-prestatie, met uitzondering van de situatie waarin eenzelfde subBC slechts door een S<sub>a</sub>-scheiding van beide vluchtroutes gescheiden is (tezamen S<sub>200</sub> tussen de vluchtroutes), want dan geldt een S<sub>200</sub>-prestatie vanuit het subBC naar ten minste een van beide vluchtroutes.
- Aan de rookdoorgang naar grote hoge ruimten worden geen eisen gesteld indien gedurende de vluchttijd de rookvrije laag meer bedraagt dan 3 m of de zichtlengte groter is dan 30 m bij lichtreflecterende voorwerpen.
- De structuur "S<sub>a</sub> in niet-slaap gebruiksfuncties (met een uitzondering)" en "S<sub>200</sub> in slaapgebruiksfuncties (met enkele uitzonderingen)" is eenvoudig over te dragen en te verdedigen, wat acceptatie van de eisen vereenvoudigt.

#### 4.2.6 Randvoorwaarden en toelichting bij de rookdoorgangscriteria

Bij het opleggen van een  $S_{200}$ -prestatie is het belangrijk te bedenken dat deze prestatie, volgens NEN 6075, kan worden gerealiseerd door twee achtereenvolgende scheidingen met een  $S_a$ -prestatie. Deze geponeerde gelijkwaardigheid ( $2 \times S_a = S_{200}$ ) is soms wel een erg ruwe benadering, maar een betere, meer genuanceerde benadering is niet direct voor handen.

Een  $S_{200}$ -prestatie wordt voorgesteld indien de weerstand tegen rookdoorgang in die situatie kritisch gevonden wordt. De auteurs adviseren daarom om een  $S_{200}$ -prestatie van deuren altijd te combineren met een voorschrift voor de zelfsluitendheid ervan. Dit geldt zowel voor één deur, als een rookverspreidings traject met twee deuren die tezamen een  $S_{200}$ -prestatie moeten leveren (door  $2 \times S_a$ ).

De weerstand tegen rookdoorgang kan, naast de aanwezigheid van fysieke scheidingen ook worden bereikt door een ruimtelijke afstand in de buitenlucht. De auteurs adviseren om in NEN 6075 op te (laten) nemen dat een rookverspreidingstraject door de buitenlucht van ten minste enkele<sup>48</sup> meters gelijkwaardig is aan een  $S_{200}$ -prestatie.

Het handhaven van een goede rookwerendheid vereist onderhoud. De auteurs adviseren om het 'adequate' onderhoud van installaties volgens hoofdstuk 6 (brandmelders, rookmelders, droge blusleidingen en dergelijke) van Bouwbesluit 2012, uit te breiden met de brand- en rookwerendheid van scheidingen volgens hoofdstuk 2.

De voorgestelde rookdoorgangscriteria tussen beschermde subBC's zijn waarschijnlijk onvoldoende<sup>49</sup> om gedurende 20 tot 30 minuten, en nog waarschijnlijker bij een langere periode, veilig te verblijven. Als de BHV-organisatie met onvoldoende zekerheid een snelle ontruiming kan uitvoeren en de publieke hulpverleners dus nodig zijn voor redding, zal een dergelijke periode soms toch nodig zijn.

Overigens kan ruim binnen de betreffende periode al branduitbreiding optreden als de brandwerendheid van de scheiding voldoet op basis van een EW-waarde<sup>50</sup>, zodat zich in de rook-ontvangende beschermde subBC ook een brand ontwikkelt en de rooklekkage door de scheiding niet meer relevant is.

#### 4.2.7 Afwijkingen tussen de voorstellen en de eerdere NEN-voorstellen

In tabel 4 zijn de voorstellen voor rookdoorgangscriteria samengevat. Deze wijken op diverse punten af van het voorstel dat door de gezamenlijke werkgroep van de NEN-normcommissies 351.007 'Brandveiligheid van bouwwerken' en 353.084 'Brandproeven' is gedaan. Het betreft met name de voorstellen:

- Om in alle gebouwen de bescherming van extra beschermde vluchtroutes altijd uit te voeren als  $S_{200}$  i.p.v.  $S_a$ , met uitzondering van de rookdoorgang vanuit een extra beschermde vluchtroute naar een extra beschermde vluchtroute anders dan een trappenhuis of de route van een trappenhuis naar een veilige plaats.
- Om in slaapgebouwen de weerstand tegen rookdoorgang altijd uit te voeren als  $S_{200}$  i.p.v.  $S_a$ :
  - o tussen beschermde subBC's;
  - o van beschermde subBC's in gebruiksfuncties met minder zelfredzamen naar subBC's en naar de vluchtroute in hetzelfde subBC als het beschermde subBC.

<sup>48</sup> Deze waarde is nog nader te bepalen. Eerste indicatie: 5 meter.

<sup>49</sup> Ook een B30- $S_{200}$ -prestatie zal in veel scenario's (ongunstig drukverschil, hoge brandtemperaturen) niet leiden tot een veilig verblijf gedurende de genoemde tijdsduur!

<sup>50</sup> Zoals voor beschermde subbrandcompartimenten toegestaan volgens de laatste versie van NEN 6069 (versie 2011).

## 5. KOSTENVERGELIJKING

De invoering van de in dit rapport voorgestelde rookdoorgangscriteria zal gevolgen hebben voor de bouw- en exploitatiekosten. De auteurs hebben pogingen ondernomen om deze gevolgen in beeld te krijgen. Daar is slechts zeer ten dele gelukt.

De belangrijkste kostenconsequenties werden verwacht bij deuren. Navraag bij leveranciers van rook- en brandwerende deuren leidde echter slechts tot één leverancier die voor zijn producten een -gedeeltelijk- beeld had van de kosten van de diverse gradaties van rook- en brandwerende deur-kozijncombinaties. Onderstaande tabel is dan ook gebaseerd op de gegevens geleverd door één bedrijf:

*Tabel 3 Verhouding tussen de kosten van deur-kozijncombinaties met verschillende rook- of brandwerende prestatie, onderscheiden naar materiaal van het kozijn. Referentie: EW30 deur in houten kozijn = 100%.*

Nr	Prestatie	Uitvoering	hout	staal
1	-		83%	83%
2	EW30		100%	127%
3	S <sub>a</sub>	zonder valdorpel	93%	93%
4	S <sub>a</sub>	met valdorpel)	105%	105%
5	S <sub>200</sub>		109%	109%

De aanpassingen aan de eisen komen grotendeels neer op:

- Vervanging van EW30 door S<sub>a</sub>, hoofdzakelijk in scheidingen tussen subbrandcompartimenten en beschermde vluchtroutes; dat levert een besparing op van per deur 7% (houten kozijn) tot 27% (stalen kozijn);
- Toevoeging van een S<sub>200</sub> prestatie aan EW30 of EW60 brandwerende deuren in scheidingen van beschermde subbrandcompartimenten en (extra) beschermde vluchtroutes. Een grove schatting is dat dit gepaard gaat met een 20% kostenverhoging van zowel de EW30 als de EW60 deur;

Het aantal deuren dat in het voorstel een S<sub>a</sub>-prestatie moet leveren is, gemiddeld over alle gebruiksfuncties, naar verwachting groter dan het aantal dat S<sub>200</sub> moet krijgen; grof geredeneerd betekent dat, dat dit deel van de operatie kostenneutraal kan zijn. Gesplitst in slaap- en niet-slaap-gebruiksfuncties is de conclusie anders: waarschijnlijk enige kostendaling voor niet-slaap-functies en enige kostenstijging voor slaap-functies; dat laatste met name voor gebruiksfuncties met minder zelfredzamen.

Naast de deuren moeten ook eventuele doorvoeringen van technische installaties worden uitgevoerd met een rookwerendheid S<sub>a</sub> of S<sub>200</sub> conform NEN 6075:2012. Dat zal zeker kostenconsequenties hebben, maar gelet op de vele situaties en mogelijke oplossingen is in het kader van dit onderzoek niet mogelijk gebleken om daar getallen aan te verbinden.

## 6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 6.1 ANALYSE VAN DE REGELGEVING

De inventarisatie en analyse van de doelen en voorschriften leidt tot enkele adviezen voor aanpassingen in het Bouwbesluit of de toelichting waardoor de benadering van het aspect rookverspreiding wint aan consistentie. Daarnaast zijn enkele adviezen gegeven voor aanpassingen om onduidelijkheden in de achtergronden en uitleg over de regelgeving in relatie tot rookverspreiding te vermijden.

Het betreft de volgende adviezen:

- Om onderbouwd rookwerendheidseisen rond (extra) beschermde vluchtroutes voor te stellen moet het realistisch zijn te veronderstellen dat de kans op substantiële rookproductie zeer beperkt is in de ruimten waardoor die (extra) beschermde vluchtroutes voeren. De auteurs adviseren daarom om het zeer beperkt zijn van de kans op ontstaan en ontwikkelen van brand en rook in ruimten waardoor (extra) beschermde vluchtroutes voeren bij aanwezigheid van slechts één vluchtroute, beter te borgen dan nu het geval is. Voor de hand liggende voorschriften zijn:
  - de eisen aan aankleding én aan inventaris in de aangegeven ruimten stellen op het niveau van de constructieonderdelen; voor de aankleding bijvoorbeeld op basis van artikel 7.4-6;
  - voor extra beschermde vluchtroutes een beperking aan de hoeveelheid niet-permanente vuurbelasting.
- Bij aanwezigheid van twee onafhankelijke vluchtroutes vervallen de meeste beschermingen op de bouwlaag behalve de bescherming van het vluchtrappenhuis en de wbdbo van 20 minuten tussen de onafhankelijke vluchtroutes. Dit betekent een groot risico bij falen van die onafhankelijkheid. De auteurs adviseren om dit risico af te dekken met eisen aan het rookwerend scheiden van onafhankelijke vluchtroutes.
- Het Bouwbesluit bevat voorschriften voor de bescherming tegen rookindringing van ruimten waardoor (extra) beschermde vluchtroutes voeren, maar vermeldt de achterliggende doelen niet expliciet in de toelichting, terwijl deze voor een goede onderbouwing van de rookwerendheidsvoorschriften wel nodig zijn. De auteurs adviseren daarom om de volgende doelen in de Nota van Toelichting op te nemen:
  - Een beschermde vluchtroute biedt bescherming tegen de rook van een beginnende brand in een subbrandcompartiment.
  - Een extra beschermde vluchtroute biedt bescherming tegen de rook van zowel een beginnende brand als een ontwikkelde brand in een brandcompartiment.
- Het Bouwbesluit kwantificeert de rookdoorgangseis (in artikel 2.94) in minuten, de NEN 6075 doet dit in eenheden  $S_a$  en  $S_{200}$ . Voor deze eis, en voor nieuwe eisen op basis van de in dit rapport opgenomen voorstellen, moet nog een goede aansluiting tussen het Bouwbesluit en NEN 6075 gevonden worden.
- De auteurs adviseren om een  $S_{200}$ -prestatie van deuren altijd te combineren met een voorschrift voor de zelfsluitendheid ervan. Dit geldt zowel voor één deur, als een rookverspreidings traject met twee deuren die tezamen een  $S_{200}$ -prestatie moeten leveren (door  $2 \times S_a$ ).
- De auteurs adviseren om in NEN 6075 op te (laten) nemen dat een rookverspreidings traject door de buitenlucht van ten minste enkele<sup>51</sup> meters gelijkwaardig is aan een  $S_{200}$ -prestatie.
- De auteurs adviseren om het gebruik van het EW-criterium voor brandwerendheid tussen

<sup>51</sup> Deze waarde is nog nader te bepalen. Eerste indicatie: 5 meter.

beschermd subbrandcompartimenten voor minder zelfredzamen (de groep aanwezigen waarvoor de publieke hulpverleners nodig kunnen zijn voor redding) te wijzigen in een EI-criterium.

- De auteurs adviseren om voor gebruiksfuncties met minder-zelfredzamen een rookwerendheidseis in de richting van de beschermd subbrandcompartimenten te overwegen. Deze mogelijkheid is niet opgenomen in de laatste versie van het Bouwbesluit 2012 en daarom niet opgenomen in het hierboven gegeven voorstel voor rookdoorgangscriteria. Onderdeel van de basis voor de overweging zou in ieder geval de positieve bijdrage moeten zijn van een dergelijke eis op de kans op redding door hulpverleners.
- De auteurs adviseren om het 'adequate' onderhoud van installaties volgens hoofdstuk 6 (brandmelders, rookmelders, droge blusleidingen en dergelijke) van Bouwbesluit 2012, uit te breiden met de brand- en rookwerendheid van scheidingen volgens hoofdstuk 2. Met name voor minder robuuste uitvoeringen van rookwerendheid is zonder dit onderhoud een snelle afname van de betrouwbaarheid van de voorziening te verwachten.
- De auteurs adviseren om, voorafgaand aan de aansturing van NEN 6075 vanuit het Bouwbesluit met de voorgestelde rookwerendheden, na te gaan of de in NEN 6075 opgenomen regels voor het omzetten van producteigenschappen van constructieonderdelen naar  $S_a$  en  $S_{200}$ -prestaties zorgen voor  $S_a$  en  $S_{200}$ -prestaties die ongeveer overeen komen met die van deuren.

Daarnaast adviseren de auteurs de volgende punten in het Bouwbesluit 2012 aan te passen, omdat deze nu leiden tot onduidelijkheden in de achtergronden en uitleg over de regelgeving in relatie tot rookverspreiding:

- Nota van Toelichting, afd. 2.12, onder kopje 'Algemeen': "Met het uitgangspunt van een enkele vluchtroute is het uiteraard mogelijk een tweede vluchtroute te realiseren.". De auteurs adviseren om hierbij aan te geven dat het realiseren van een 2e vluchtroute in diverse situaties niet alleen een mogelijkheid is, maar ook een verplichting; bijvoorbeeld bij een groot aantal personen dat op de vluchtroute is aangewezen.
- Artikel 2.106, lid 1: "Indien op een vluchtroute een tweede vluchtroute begint zijn de artikelen 2.103, 2.104, eerste tot en met zesde lid, en 2.105 niet van toepassing vanaf het punt dat de twee vluchtroutes door verschillende ruimten voeren.". In de toelichting op dit artikel is aangegeven dat de bedoeling is dat deze twee vluchtroutes gescheiden blijven (tenzij het samenlopende deel een veiligheidsvluchtroute is; lid 4). Aangezien lid 4 is geformuleerd als een aanvullende mogelijkheid adviseren de auteurs om in lid 1 de in de bijlage geformuleerde bedoeling te verwerken, bijvoorbeeld door de formulering "(...) vanaf het punt dat de twee vluchtroutes door verschillende ruimten voeren" te vervangen door "(...)voor de punten op de twee vluchtroutes waar de routes door verschillende ruimten voeren".
- Nota van Toelichting, art. 2.102: De auteurs adviseren om niet langer te verwijzen naar vluchten met ingehouden adem door rook, maar in plaats daarvan naar het algemenere uitgangspunt dat de kans om als individu en als groep in het subBC door rook te worden gehinderd bij het vluchten beperkt moet zijn. Het toestaan van grotere loopafstanden bij een lage bezetting kan dan worden gekoppeld aan een beperkt aantal personen blootgesteld aan het risico.

## 6.2 VOORSTEL VOOR DE AANSTURING VAN NEN 6075

Onderstaande voorgestelde rookdoorgangscriteria zijn bedoeld als invulling van de Bouwbesluit-artikelen 2.94-3 en 2.107-3, die de mogelijkheid van toekomstige rookdoorgangseisen aangeven "bij ministeriele regeling": zie onderstaande tabel 6.

In deze tabel zijn ook de brandwerendheids-criteria opgenomen waaraan wordt voldaan door de beschouwde scheidingen vanwege de invloed van de brandwerendheids-prestatie van een scheiding op de rookwerendheids-prestatie in de brandfasen nadat de brand zich ontwikkeld heeft.

Tabel 6 : Voorstel rookdoorgangscriteria (met brandwerendheidscriteria)

		Naar:						
		SBC	BSBC <sup>*6*9</sup>	VR in SBC	BVR	EBVR	EBVR in TH tot VP	Opvang >3.5min
Van:	SBC	Sa	E20+S <sub>200</sub>	x	Sa	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>
	BSBC-mZr <sup>*7</sup>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>
	BSBC-rest	B30+S <sub>a</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B30+S <sub>a</sub>	B30+S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub>	B30+S <sub>200</sub>
	BVR	---	--- <sup>*8</sup>	---	Sa <sup>*2</sup>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>	B60 <sup>*1</sup> +S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>	S <sub>200</sub>
	EBVR	---	--- <sup>*8</sup>	---	Sa <sup>*2</sup>	Sa <sup>*2</sup>	S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>	S <sub>200</sub> <sup>*2</sup>
Tussen BC's								B60 <sup>*1</sup>
Tussen onafhankelijke VR's								B30+S <sub>200</sub>
Naar grote hoge ruimten <sup>*3</sup>								B60/E20 <sup>*4</sup> +--- <sup>*5</sup>

\*1: B30 voor lage gebouwen (vloeren <5m) op hetzelfde perceel, voor de woonfunctie in lage gebouwen (vloeren <7m) met lage permanente vuurbelasting (500 MJ/m<sup>2</sup>) en voor de woonfunctie naar extra beschermde vluchtroutes (BB-art. 2.84, leden 2, 3 en 4). Voor uitzonderingen zie art. 2.84, leden 5 t/m 8.

\*2: Eis in de vluchtrichting.

\*3: Ruimten waarin gedurende de vluchttijd de rookvrije laag meer bedraagt dan 3 m of de zichtlengte groter is dan 30 m bij lichtreflecterende voorwerpen.

\*4: B60, E20 of geen eis, afhankelijk van de functie van de scheiding.

\*5: Geen rookwerendheidseis naast die voor brandwerendheid.

\*6: Het betreft hier de rookdoorgang naar een BSBC in een ander SBC.

\*7: De afkorting mZr (minder Zelfredzaam) wordt hier gebruikt voor de gebruiksfuncties met niet of minder zelfredzamen (wonen met zorg-, bedgebied in de gezondheidszorgfunctie en celfunctie)

\*8: Geen rookwerendheidseis naast die voor brandwerendheid indien aanvullende eisen worden gesteld om de kans op ontstaan en ontwikkelen van brand en rook in (extra) beschermde vluchtroutes te beperken (zie paragraaf 2.3.2)

\*9: Gezien het risicoprofiel 'mZr' zou moeten worden overwogen ook een eis naar een beschermde subBC in hetzelfde subBC te stellen (niet opgenomen in MR-opties)

Met als afkortingen:

BC : Brandcompartiment

SBC : Subbrandcompartiment

BSBC : Beschermd subbrandcompartiment

VR : Vluchtroute

BVR : Beschermd vluchtroute

EBVR : Extra beschermde vluchtroute

TH : Trappenhuis

VP : Veilige plaats

mZr : Minder zelfredzaam

MR : Mogelijk toekomstige rookdoorgangseis

B60/30 : 60 of 30 minuten brandwerendheid op de criteria EI of EW

E20 : 20 minuten brandwerendheid op het criterium vlamdichtheid

Resumerend komen de voorgestelde rookwerendheidscriteria neer op het volgende:

- Voor niet-slaap gebruiksfuncties geldt voor de rookwerende scheidingen binnen brandcompartimenten een S<sub>a</sub>-prestatie. Naar extra beschermde vluchtroutes en opvangruimten waar vluchtenden langer dan 3,5 minuten verblijven geldt een S<sub>200</sub>-prestatie. Alleen indien een extra beschermde vluchtweg, niet gelegen in een trappenhuis, kan worden betreden vanuit een andere extra beschermde vluchtweg geldt een S<sub>a</sub>-prestatie.
- Voor gebruiksfuncties waarin wordt geslapen (woonfunctie, bijeenkomstfunctie met kinderdagverblijf, gezondheidszorgfunctie met bedgebied, celfunctie en logiesfunctie) geldt daarnaast:
  - een S<sub>200</sub>-prestatie vanuit beschermde subbrandcompartimenten, met uitzondering



- van de rookwerendheid vanuit een beschermd subbrandcompartiment naar een vluchtroute in hetzelfde subbrandcompartiment;
- een  $S_{200}$ -prestatie naar beschermde subbrandcompartimenten, met uitzondering van de rookdoorgang vanuit (extra) beschermde vluchtroutes (deze uitzondering overigens alleen indien aanvullende eisen worden gesteld om de kans op ontstaan en ontwikkelen van brand en rook in een (extra) beschermde vluchtroute te beperken).
  - Tussen onafhankelijke vluchtroutes geldt een  $S_{200}$ -prestatie, met uitzondering van de situatie waarin eenzelfde subBC slechts door een  $S_a$ -scheiding van beide vluchtroutes gescheiden is (tezamen  $S_{200}$  tussen de vluchtroutes), want dan geldt een  $S_{200}$ -prestatie vanuit het subBC naar ten minste een van beide vluchtroutes.
  - Aan de rookdoorgang naar grote hoge ruimten worden geen eisen gesteld indien gedurende de vluchttijd de rookvrije laag meer bedraagt dan 3 m of de zichtlengte groter is dan 30 m bij lichtreflecterende voorwerpen.
  - De structuur “ $S_a$  in niet-slaap gebruiksfuncties (met een uitzondering)” en “ $S_{200}$  in slaapgebruiksfuncties (met enkele uitzonderingen)” is eenvoudig over te dragen en te verdedigen, wat acceptatie van de eisen vereenvoudigt.
  - De voorgestelde rookdoorgangscriteria tussen beschermde subBC's zijn waarschijnlijk onvoldoende om gedurende 20 minuten of meer veilig te verblijven (als publieke hulpverleners nodig zijn voor redding). Overigens kan binnen die periode al branduitbreiding optreden als de brandwerendheid van de scheiding slechts voldoet op basis van een EW-waarde, zodat zich in de 2<sup>e</sup> beschermde subBC ook een brand ontwikkelt en de rooklekkage door de scheiding niet meer relevant is.

Bij het opleggen van een  $S_{200}$ -prestatie is het belangrijk te bedenken dat deze prestatie, conform NEN 6075, kan worden gerealiseerd door twee achtereenvolgende scheidingen met een  $S_a$ -prestatie.

De voorgestelde rookdoorgangscriteria wijken op enkele punten af van het voorstel dat door de gezamenlijke werkgroep van de NEN-normcommissies 351.007 'Brandveiligheid van bouwwerken' en 353.084 'Brandproeven' is gedaan. Het betreft met name de voorstellen:

- Om in alle gebouwen de bescherming van extra beschermde vluchtroutes altijd uit te voeren als  $S_{200}$  i.p.v.  $S_a$ , met uitzondering van de rookdoorgang vanuit een extra beschermde vluchtroute naar een extra beschermde vluchtroute anders dan een trappenhuis of de route van een trappenhuis naar een veilige plaats.
- Om in slaapgebouwen de weerstand tegen rookdoorgang altijd uit te voeren als  $S_{200}$  i.p.v.  $S_a$ :
  - tussen beschermde subBC's;
  - van beschermde subBC's in gebruiksfuncties met minder zelfredzamen naar subBC's en naar de vluchtroute in hetzelfde subBC als het beschermde subBC.



ir. R.J.M. van Mierlo  
Efectis Nederland BV



Prof. ir. P.H.E. van de Leur  
DGMR



Dr.ir. N.P.R. Scholten  
Stichting ERB

## BIJLAGE A: ROOKDOORGANGSBEREKENINGEN

### A.1 Opzet van de vergelijking

#### A.1.1 Lekkage door deurkieren

De kwantitatieve vergelijking wordt voor de deuren gebaseerd op lekkageberekeningen bij constante condities gevolgd door een analyse van de consequenties bij variabele condities. Het betreft het lekdebiet van rook en/of (rookloze) lucht in kg/s of m<sup>3</sup>/s door deuren met drie typen rookwerendheid: S<sub>a</sub>, S<sub>200</sub> en 'brandwerend'.

Gezien de gangbare weerstand tegen rookdoorgang van 30 minuten, en dus een 20 minuten weerstand tegen branddoorslag, wordt voor de brandwerende deur in deze rapportage een E20 deur als representatief gebruikt. Aangezien op vele plaatsen in gebouwen deuren nodig zijn met zowel een brandwerende als rookwerende eigenschap zijn voor de vergelijking ook twee combinatietypen opgenomen: S<sub>a</sub>/E20 en S<sub>200</sub>/E20<sup>52</sup>.

We noemen de kant van de rookwerende scheiding waar de rook/warmte vandaan komt hier verder de "warme zijde", en de andere zijde de "koude zijde". De ruimte aan de koude zijde wordt ook de rook-ontvangende ruimte genoemd.

Het debiet door de kieren wordt berekend met de formule  $V = 0,8 \cdot A \cdot (2 \cdot \Delta p / \rho)^n$ , waarbij:

- V = volumedebiet in m<sup>3</sup>/s;
- A = oppervlak opening in m<sup>2</sup>;
- Δp = drukverschil in Pa;
- ρ = rook en luchtdichtheid in kg /m<sup>3</sup> (temperatuurafhankelijk volgens  $\rho = T/353$ );
- T = temperatuur in K;
- n = drukexponent (voor kierbreedte 0,2 mm: n = 0,9; voor kierbreedte 0,5 mm: n = 0,7; voor kierbreedte 1 mm: n = 0,6; voor kierbreedte ≥ 2 mm: n = 0,5).

#### Conditie aan de warme zijde

Rookwerende scheidingen kunnen worden blootgesteld aan zeer verschillende rookcondities. Die condities zijn afhankelijk van de aard en de groeifase van de brand (en dus van de tijd) en de ruimte waarin deze optreedt, en van het traject van rookverspreiding totdat de rook de betreffende scheiding bereikt. Op dit traject kan niet alleen een ruimtelijke afstand aanwezig zijn, maar ook een wand, zodat de rooktemperatuur bij de rookwerende scheiding zelfs gedurende de gehele brand laag kan blijven. Voor de condities en het traject van rookverspreiding bestaat een bijna oneindig aantal relevante varianten. Om de berekeningen en analyse uitvoerbaar te houden binnen het kader van deze rapportage worden de varianten in brand- en verspreidingstraject gerepresenteerd door een beperkt aantal variabelen voor de condities aan de warme zijde van de scheiding. Het betreft:

- Temperatuur van de rooklaag;
- Hoogte van de rookvrije laag;
- Uniform drukverschil t.o.v. de koude zijde (veroorzaakt door externe factoren als wind en schoorsteeneffect in het gebouw, en door expansie in de brandruimte, en beïnvloed door factoren als openstaande ramen en ruitbreuk);
- Drukverloop over de hoogte (als gevolg van rooklaagtemperatuur en rooklaaghoogte).

Elk van de mogelijke combinaties van deze variabelen noemen we hier een scenario.

Voor de temperatuur van de rooklaag worden 3 temperaturen gebruikt (40, 220 en 600 °C): een lage, midden en hoge rooktemperatuur, gelegen tussen de omgevingstemperatuur en de mogelijke rooktemperatuur van een volledig ontwikkelde brand. Aangezien rook van ongeveer de omgevingstemperatuur een zeer beperkte rookdichtheid en thermiek (dichtheidsverschil met de omgeving) heeft, is een t.o.v. de omgevingstemperatuur iets verhoogde temperatuur

<sup>52</sup> In principe ligt E30 meer voor de hand dan E20 als het om een zelfstandige brandwerendheid gaat. Aangezien de lekkageopeningen voor E30 niet noemenswaardig afwijken van die voor E20, zijn hier combinaties gebruikt van de zelfstandig gebruikte typen S<sub>a</sub>, S<sub>200</sub> en E20.

van 40 °C (arbitrair) gekozen als lage rooktemperatuur. Bij die temperatuur kan voor de S<sub>a</sub>-deur nog de bij 20 °C normatief gedefinieerde maximum lekkage worden gebruikt. Voor de midden-temperatuur is de temperatuur gekozen waarbij voor de S<sub>200</sub>-deur de normatief maximum lekkage is gedefinieerd: 220 °C. Voor de hoge rooktemperatuur is de hoogste rooktemperatuur gekozen zonder dat sprake hoeft te zijn van een volledig ontwikkelde brand: 600 °C.<sup>53</sup>

De rookwerende prestaties van de deuren bij deze drie temperaturen leveren gezamenlijk een beeld van de prestaties binnen het gehele temperatuurgebied.

Voor de rookvrije laag onder de rook worden 4 hoogten gebruikt (0, 1, 1½ en 2 m). Enerzijds de situatie met volledig opgemengde rook (0 m rookvrij): deze situatie is belangrijk om ook de invloed van de kier boven de onderdorpel inzichtelijk te maken. Anderzijds de situatie van een rooklaag die alleen op afstand boven de vloer hangt (een situatie die in de brandruimte in de groeifase van een brand en algemeen op een afstand van een brand meestal optreedt tenzij de rooktemperatuur erg laag is).

Voor het uniforme drukverschil tussen de twee zijden van de scheiding, het drukverschil dus dat optreedt onafhankelijk van het drukverloop in de hoogte en dus onafhankelijk van het temperatuurverschil aan beide zijden, worden hier 4 waarden gebruikt (0, 10, 25 en 50 Pa overdruk aan de warme zijde). Negatieve waarden van de druk (een lagere druk aan de warme/rook-zijde) zijn niet opgenomen, omdat er dan (bijna) geen lekkage is van rook. Hogere drukken dan 50 Pa zijn mogelijk maar niet gangbaar, en de deureigenschappen zijn voor die drukverschillen niet goed bepaald.

Het drukverschil over de hoogte volgt uit de positie en temperatuur van de rooklaag en is daardoor geen invoervariabele voor de berekeningen.

### Grootte van deurkieren

De grootte van de deurkieren is in deze studie op basis van ervaring ingeschat voor elke deurvariant, bij drie temperaturen. Voor de deuren met een normatief begrensd lekdebiet (zie tabel A.1) is de grootte van de openingen "teruggerekend" vanuit het lekdebiet en het drukverschil, waarbij alleen de verdeling van de kieren rond de deurcontour op ervaring is ingeschat. Het betreft de lekkage voor S<sub>a</sub> bij 20 °C en die voor S<sub>200</sub> bij 20 en 220 °C (200 °C temperatuurverhoging).

Tabel A.1 Maximaal toegestaan lekdebiet volgens EN 1634-3.

Deur/kozijn-lekkage			
Type	Temperatuur	Drukverschil	Toegestane lekkage (getest volgens EN 1634-3)
S <sub>a</sub>	20 °C	≤ 25 Pa (10 en 25 Pa)	≤ 3 m <sup>3</sup> /h per m spleet tussen deurblad en kozijn; uitgezonderd onderspleet.
S <sub>200</sub>	220 °C (20 + 200 °C)	≤ 50 Pa (10, 25 en 50 Pa)	≤ 20 m <sup>3</sup> /h voor enkele deur; ≤ 30 m <sup>3</sup> /h voor dubbele deur.

<sup>53</sup> Deze temperatuur markeert in een brandontwikkeling het moment van vlamoverslag waarbij in zeer korte tijd alle niet-afgeschermd oppervlakken in de brandende ruimte aan de brand gaan bijdragen en de groeifase van de brand over gaat in de fase van volledig ontwikkelde brand; hierbij neemt de temperatuur toe tot 800 tot 1200 °C (indicatief).

De spreiding die in de praktijk in de lekkageopeningen van de verschillende deurtypen aanwezig is, wordt meegenomen in de vergelijking door voor de deurtypen de lekkage te berekenen voor een variant met gangbaar kleine openingen (1) en een variant met gangbaar grote openingen (2). Dit levert de volgende deurvarianten op:  $S_a-1$ ,  $S_a-2$ ,  $S_{200}-1$ ,  $S_{200}-2$ ,  $E20-1$ ,  $E20-2$ ,  $S_a/E20-1$ ,  $S_a/E20-2$ ,  $S_{200}/E20-1$  en  $S_{200}/E20-1$ . Voor de  $S_a$ - en  $S_{200}$ -deuren waarvoor bij bepaalde temperatuur de lekkage normatief begrensd is, zijn tot die temperatuur alleen de 'gangbaar grote' openingen opgenomen.

Tabel A.2 vermeldt de aangenomen deurkieren voor de 10 deurvarianten ( $S_a-1$  t/m  $S_{200}/E20-1$ ; vijf deurtypen en twee kiergrootten per deurtype) bij de drie rooktemperaturen (40, 220 en 600 °C). De deurkieren zijn opgegeven als kierbreedte en kierlengte aan de bovenzijde van de deur, de onderzijde van de deur en het totaal aan beide verticale zijden van de deur.

Merk op dat:

- De spreiding van in de praktijk aanwezige kieren erg groot wordt verondersteld.
- De kiergrootten van de  $S_a$  en  $S_{200}$  deuren bij 600 °C veel groter zijn dan bij 20 °C of 220 °C, omdat inbranden of gedeeltelijk wegvallen van de kierdichting wordt verondersteld.
- De kiergrootten van de E20 deur bij 600 °C kleiner is dan bij 20 °C of 220 °C, omdat gedeeltelijk dichtschuimen van de kieren wordt verondersteld.
- Zowel de lengte en de breedte van de kieren zijn opgegeven (en niet alleen het oppervlak), omdat de kierbreedte een invloed heeft op de aard van de luchtstroming (laminair versus turbulent)

De aangenomen kiergrootten vormen belangrijke invoer voor de berekeningen; het is belangrijk dat de lezer zich realiseert dat de mate van representatief zijn van de lekkageberekeningen in hoge mate wordt bepaald door deze, op basis van ervaring, ingeschatte waarden voor de kiergrootten.

deurvarianten:		Sa-1		Sa-2		S200-1		S200-2	
temp.	kier:	b (mm)	l (m)	b (mm)	l (m)	b (mm)	l (m)	b (mm)	l (m)
40 (°C)	boven	0.5	0.1			0.2	0.1		
	zijden	0.5	0.75			0.2	0.2		
	onder	10	0.85			0.5	0.2		
220 (°C)	boven	0.5	0.1	1	0.4	0.2	0.1		
	zijden	0.5	0.75	1	2	0.2	0.2		
	onder	10	0.85	20	0.85	0.5	0.2		
600 (°C)	boven	1	0.4	10	0.85	0.5	0.2	5	0.4
	zijden	1	1	10	3	0.5	1	5	2
	onder	10	0.85	20	0.85	1	0.5	2	0.5
deurvarianten:		E20-1		E20-2					
temp.	kier:	b (mm)	l (m)	b (mm)	l (m)				
40 (°C)	boven	0.5	0.5	2	0.85				
	zijden	0.5	2	2	3				
	onder	5	0.85	10	0.85				
220 (°C)	boven	0.5	0.5	2	0.85				
	zijden	0.5	2	2	3				
	onder	5	0.85	10	0.85				
600 (°C)	boven	0.2	0.25	3	0.4				
	zijden	0.2	1	3	3				
	onder	5	0.85	10	0.85				
deurvarianten:		Sa/E20-1		Sa/E20-2		S200/E20-1		S200/E20-2	
temp.	kier:	b (mm)	l (m)	b (mm)	l (m)	b (mm)	l (m)	b (mm)	l (m)
40 (°C)	boven	0.5	0.1			0.2	0.1		
	zijden	0.5	0.75			0.2	0.2		
	onder	10	0.85			0.5	0.2		
220 (°C)	boven	0.5	0.1	1	0.4	0.2	0.1		
	zijden	0.5	0.75	1	2	0.2	0.2		
	onder	5	0.85	10	0.85	0.5	0.2		
600 (°C)	boven	0.2	0.25	3	0.4	0.2	0.25	2	0.4
	zijden	0.2	1	3	3	0.2	1	2	2
	onder	5	0.85	10	0.85	1	0.5	2	0.5

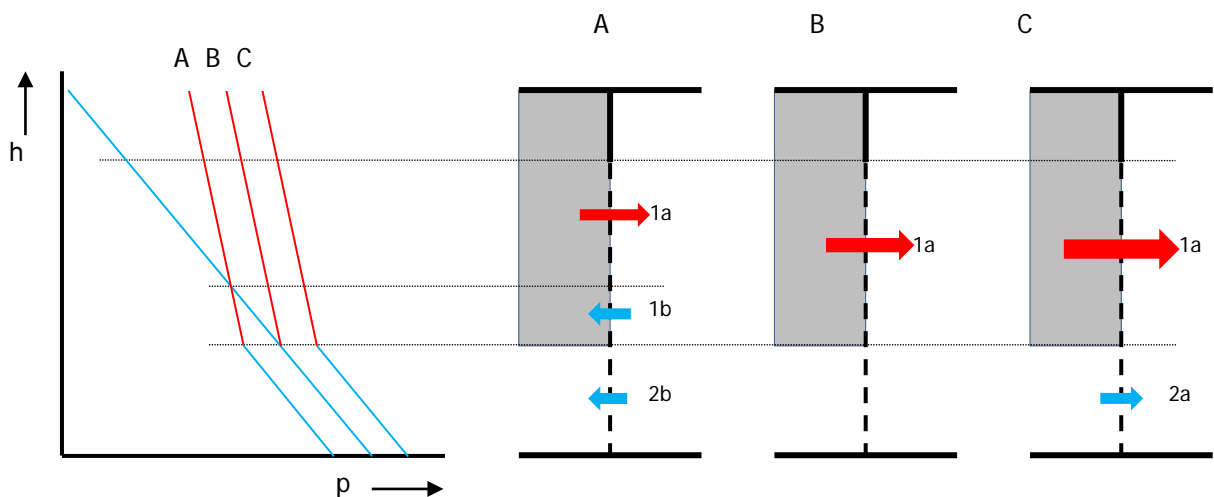
Tabel A.2 Kiergrootten (breedte b en lengte l) als functie van deurvariant en temperatuur.

### Stroming door kieren

In de lekkageberekeningen worden de volgende stromingsdebieten bepaald (zie figuur A.1):

- Het debiet vanuit de rooklaag aan de warme zijde naar de koude zijde (stroming 1a) of andersom (stroming 1b);
- Het debiet vanuit de rookvrije onderlaag (indien aanwezig) aan de warme zijde naar de koude zijde (stroming 2a) of andersom (stroming 2b).

Voor stroming 1a hoeft geen onderscheid gemaakt te worden in een deel dat rechtstreeks in de rooklaag aan de koude zijde terecht komt en een deel dat daar in de rookvrije laag komt en als een rookpluim opstijgt, omdat we uitgaan van volledige opmenging aan de koude zijde. Voor de stromingen 1b en 2b nemen we aan dat ze de rookdichtheid en rookvrije laag aan de warme zijde niet beïnvloeden (in de praktijk kunnen deze stromingen (in situatie A) enige invloed hebben door verdunning van de rooklaag en/of enige rook in de rookvrije onderlaag aan de warme zijde).



*Figuur A.1 Grafiek links: het drukverloop ( $p$ ) in de hoogte ( $h$ ) voor koude lucht (blauwe lijn) en de warme rooklaag (rode lijn) voor drie situaties: druk in de rookvrije laag aan de warme zijde (A) lager, (B) gelijk en (C) hoger dan aan de koude zijde. Deurdoorsneden rechts: richting van de stroming van warme rook (rood) en koude lucht (blauw) voor de situaties A, B en C.*

Op basis van de voorafgaande variaties in waarden betreft het hier lekkageberekeningen voor 48 (3x4x4) scenario's. Het resultaat van de lekkageberekeningen is een stromingsdebiet bij een bepaalde temperatuur, uniform drukverschil en hoogte van de rookvrije laag voor elk van de 10 deurvarianten. In totaal levert dit 384 lekkageberekeningen (48 scenario's voor 10 deurtypen minus enkele niet meegenomen deur-temperatuurcombinaties, zie tabel A.2). De resultaten zijn gepresenteerd en geanalyseerd in paragraaf A.2.

De condities aan de warme zijde van de rookwerende scheiding worden voor een overzichtelijke vergelijking in eerste instantie constant verondersteld. Bij de analyse van de resultaten wordt gekeken naar de prestaties als de condities in de loop van de tijd wijzigen.

#### A.1.2 Andere lekkage in rookwerende scheidingen

Het aantal varianten in ventilatiesystemen en ventilatiecondities is veel groter dan dat voor de deuren. Vandaar dat voor de ventilatiesystemen geen systematische berekeningen zijn uitgevoerd, maar de invloed van de mogelijke lekkage is ingeschat op basis van een expert judgement.

Het aantal varianten in ventilatieroosters is niet zo groot, maar de variatie in grootte van de lekkage/ventilatie-openingen is dat wel. Vandaar dat voor de ventilatieroosters geen systematische berekeningen zijn uitgevoerd, maar de mogelijke lekkage en de invloed daar is ingeschat op basis van een kwantitatieve vergelijking van het lekkageoppervlak met die van de deurkieren.

### A.1.3 (Vlucht)condities in de rook-ontvangende ruimte

#### *Opmenging van rook*

Bij uitstroming van rook uit kleine openingen in de scheiding mengt deze stroming zoveel verse lucht in dat met grote waarschijnlijkheid volledig opgemengde rook ontstaat. In de praktijk zullen in de rookontvangende ruimte verschillen in dichtheid van de rook optreden. Dit zijn zowel verschillen in de hoogte als, in ruimten van enige omvang, verschillen in posities in het horizontale vlak. In een kleine ruimte ontstaat snel relatief homogene opmenging; in grote ruimten kunnen grote rookdichtheidsverschillen lang bestaan.

De berekeningen gepresenteerd in dit hoofdstuk gaan uit van volledige opmenging. In de praktijk kunnen de rookconcentraties dus lokaal groter zijn en elders in de ruimte kleiner dan het hier berekende gemiddelde; dit geldt met name voor een rooklaag aan het plafond. De meest ongunstige situatie treedt op als de rookvrije onderlaag net niet hoog genoeg is om er veilig door te vluchten. De concentraties in de rooklaag kunnen dan tot een factor drie groter zijn dan in de hier veronderstelde volledig gemengde situatie; de zichtlengte is dan een factor drie kleiner. Overigens maakt dit weinig uit voor de vergelijking tussen de effecten van verschillende lekkage-openingen.

#### *Voor rookdichtheid relevante factoren*

Op basis van de lekkage door de beschouwde rookwerende scheiding is een indicatie van de rookdichtheid in de ruimte aan de koude zijde te geven. Het betreft een indicatie omdat de condities aan de warme zijde van de constructie variëren in de tijd en het aantal variaties zeer groot is. Daarnaast zijn de eigenschappen van de rook-ontvangende ruimte van belang, namelijk het volume en de luchtstromen in en uit deze ruimte. Deze luchtstromen zullen tevens variëren onder invloed van de lekkage van rook en (rookvrije) lucht door de rookwerende scheiding.

We nemen hier, zoals eerder gezegd, aan dat de door de kieren gestroomde rook volledig opmengt in de rook-ontvangende ruimte; d.w.z. dat er geen rookvrije laag zal ontstaan, en de rookdichtheid op elke hoogte in de ruimte even groot is. Verder nemen we aan dat er geen substantiële ventilatiestromen de rook-ontvangende ruimte binnen stromen; de rook wordt daar dus niet verdund met verse lucht afkomstig uit andere ruimten dan de twee beschouwde ruimten. We houden wel rekening met de lekkage van (rookvrije) verse lucht die (onder de rooklaag aan de warme zijde) door de rookwerende scheiding gaat, want deze werkt als verdunner van de rook aan de koude zijde.

Naast het debiet (in kg/s of m<sup>3</sup>/s) van de rook- en luchtstromingen hangt de toename (of afname) van de rookdichtheid aan de koude zijde af van de rookdichtheid in de rookstroom die vanaf de warme zijde binnen stroomt en van het volume van de rook-ontvangende ruimte. Aangezien de verandering van de rookdichtheid in de tijd aan de koude zijde evenredig is met de rookdichtheid in die stroming, zijn de condities aan de koude zijde eenvoudig te herleiden voor afwijkende rookdichtheden in die stroming (simpele vermenigvuldigingsfactor).

De rookdichtheid aan de warme zijde is afhankelijk van de verbrande brandstof, de wijze van verbranding en de verdunning van de rook vanaf het moment dat de verbrandingsproducten gevormd worden. Als vaak gebruikte ruwe benadering voor de rookdichtheid wordt hier een evenredigheid met de temperatuur verondersteld.

Als we uitgaan van<sup>54</sup> een gemiddelde rookdichtheid van 20 m<sup>-1</sup> voor een volledig ontwikkelde

<sup>54</sup> Bij verbranding met beperkte zuurstoftoevoer kan de rookproductie per kg verbrande brandstof (het

brand met 1000 °C temperatuurstijging (ref. [1] dan geldt het volgende; de 20 m<sup>-1</sup> is geen kritische aanname, maar de aanname wordt hier vooral illustratief gebruikt; het gevolg van afwijkende rookdichtheden is eenvoudig te herleiden, zoals hiervoor aangegeven), zijn de rookdichtheden voor 20, 200 en 580 °C temperatuurstijging respectievelijk 0,4 m<sup>-1</sup>, 4 m<sup>-1</sup> en 12 m<sup>-1</sup>.

Bij een zeer langdurige constante stroming door de rookwerende scheiding neemt de rookdichtheid in de rook-ontvangende ruimte met een e-macht toe tot dezelfde rookdichtheid en temperatuur als aan de warme zijde<sup>55</sup>. Voor de hier beschouwde vluchtcondities en vluchttijden is het bijna stabiliseren van de rookdichtheid aan de koude zijde zelden relevant; daarnaast veranderen gedurende de brand de stromings- en lekkage-condities. Voor de vergelijking tussen de prestaties van de deuren wordt hier daarom de tijd gebruikt om een bepaalde rookdichtheid te bereiken in de rook-ontvangende ruimte.

### Vluchtcriteria

In de rook-ontvangende ruimte wordt volledige opmenging van rook verondersteld. Het maatgevende vlucht criterium is daar de zichtlengte door de rook en niet de temperatuur of de toxiciteit ervan. In de bouwregelgeving is namelijk het uitgangspunt dat beperking van rookverspreiding en goede en voldoende vluchtroutes de benodigde veiligheid bieden; de verblijftijd in de rook wordt daarbij verondersteld zo kort te zijn dat de toxiciteit nog geen belangrijk effect heeft. Verder worden bij de beschouwde rookdichtheden (meer dan enkele meters) geen temperaturen bereikt die bij een kort verblijf in de rook maatgevend zijn.

In de praktijk wordt de benodigde zichtlengte vooral bepaald door de mogelijkheid van oriëntatie in een ruimte en, als echte ondergrens, door de mogelijkheid om de vloer voor de voeten te kunnen zien zodat nog enige loopsnelheid is te handhaven. Oriëntatie is mogelijk als een en liefst meerdere begrenzings van de ruimte zichtbaar zijn. Dit leidt voor gangen, opgedeeld in 30 meter lengte-secties, tot het criterium van 30 meter zicht of, vanwege de beperkte breedte, tot een criterium van enkele meters. In grote verblijfsruimten is het criterium dan vaak ten minste de helft van de grootste dimensie. Het criterium "de vloer voor de voeten kunnen zien" leidt tot een criterium van 2 meter zicht, waarbij de loopsnelheid substantieel afneemt<sup>56</sup>, maar de consequenties kunnen dan vaak nog beperkt zijn.

In de vergelijking in hoofdstuk 3 is als voorbeeld een veilig zichtlengte-criterium gebruikt van 30 m zicht tot lichtreflecterende (verlichte) voorwerpen, zodat oriëntatie in vrijwel elke ruimte nog goed mogelijk is. De keuze van dit criterium is niet erg kritisch, aangezien het in de vergelijking vooral gaat om de verhouding tussen de vluchtcondities bij verschillende constructieonderdelen en scenario's. De waarde is mede zo gekozen om de linearisatie in de rookdichtheids-berekening mogelijk te maken.

## A.2. Resultaten en analyse van de lekkage

### A.2.1 Lekkage door deurkieren

De resultaten van de lekkageberekeningen zijn getabelleerd en grafisch weergegeven in bijlage A, in de tabellen A.1 t/m A.3 en grafieken A.1a t/m A.1c. De relatieve waarden van de weergegeven grootte zijn benadrukt met kleurcodes. De lekdebieten van rook en verse lucht die door de rookwerende scheiding gaan, zijn gegeven in g/s; de gemiddelde rookdichtheid van het volledige lekdebiet is gegeven in m<sup>-1</sup>.

---

rookpotentieel) een factor 2 tot 2,5 hoger zijn (zie ref [1]). Zoals vermeld is de kwantificering niet kritisch, maar moet deze wel worden meegewogen bij interpretatie van de cijfers.

<sup>55</sup> Voor een continue stroming naar de rook-ontvangende ruimte is natuurlijk vereist dat ook uitstroom vanuit de rook-ontvangende ruimte naar verder gelegen ruimten of de buitenlucht plaats vindt (anders zou de druk in de rook-ontvangende ruimte toenemen en de stroming door de rookwerende scheiding verminderen. Dit is een voor de praktijk realistische conservatieve (veilige) aanname.

<sup>56</sup> 'Menselijk gedrag bij brand', SBR, 1984.



### Lekdebieten

De debieten zijn bepaald voor 48 scenario's, namelijk de mogelijke combinaties van de volgende variabelen en waarden:

- de temperatuur van de rooklaag  $T$  (in °C), voor de waarden 40, 220 en 600 °C;
- de hoogte van de rookvrije laag  $H$  (in m), voor de waarden 0, 1, 1½ en 2 m; en
- het uniforme drukverschil  $p$  (in Pa), voor de waarden 0, 10, 25 en 50 Pa overdruk aan de warme zijde.

Het is niet alleen nodig om verschillende temperaturen als verschillende scenario's te onderscheiden als stochastische variabele, het is ook nuttig de temperaturen bij de analyse te onderscheiden omdat ze voor de deuren verschillend van belang zijn, afhankelijk van hun plaats in het gebouw. Een deur die een potentiële brandruimte begrenst, wordt bijvoorbeeld met veel meer kans bloot gesteld aan hoge temperaturen dan een deur binnen een extra beschermde vluchtroute.

Hetzelfde geldt, zij het in mindere mate, voor het onderscheid tussen een rooklaag tot op de vloer ( $H=0$ ) en met een rookvrije laag ( $H>0$ ), aangezien bij de meeste deuren de grootste opening zich net boven de vloer bevindt, en er vaak een rookvrije laag aanwezig is.

Het drukverschil wordt hier alleen in de scenario's onderscheiden en gezien als stochastische variabele die in de analyse niet onderscheiden hoeft te worden (de gevolgen van verschillen in drukken geven weinig praktisch bruikbare informatie ter onderscheid in de toepassing van bepaalde deuren).

### Constateringen lekdebieten

De berekende lekdebieten zijn vooral van belang voor het inzicht in het belang van de verschillende aanwezige variabelen. Hier is geen uitgebreide lijst van constateringen opgenomen over de lekdebieten, aangezien niet deze debieten, maar de tijden tot het bereiken van een rookdichtheids-criterium (zie hierna) de direct interpreteerbare informatie leveren over de vluchtcondities in de praktijk. Hier zijn daarom alleen de belangrijkste constateringen voor de lekdebieten gegeven:

- Het effect van de deur-onderkier en het wegbranden van de  $S_a$ - en  $S_{200}$ -deur bij 600 °C, zoals ingeschat en weergegeven in tabel 1, is zeer duidelijk zichtbaar in de lekdebieten. Zie voor het effect van de deur-onderkier het verschil in rookdebiet (in tabel A.1) tussen de scenario's met  $H_{rv} = 0$  en de overige scenario's; zie voor het effect van inbranden van de  $S_a$ - en  $S_{200}$ -deur in dezelfde tabel de hogere rookdebietwaarden voor die deuren bij de scenario's voor 600 °C (in tegenstelling tot de E20-deur).
- Indien aanwezig, is het rookvrije luchtdebiet door de rookwerende scheiding (zie tabel A.2) van groot belang. Dit luchtdebiet verdunt de (opgemengde) rook aan de koude zijde. Zonder rookvrije laag aan de warme zijde treedt deze verdunning niet op. Zie bijvoorbeeld in tabel A.3 de rookdichtheid van het totale debiet, d.w.z. het rookdebiet en het (rookvrije) luchtdebiet tezamen: in veel scenario's met een hoge  $H_{rv}$  (hoge rookvrije laag) is de rook al sterk verdund nog voordat de rook wordt opgemengd in de ontvangende ruimte.

### Tijden tot behalen rookdichtheids criterium

De gevolgen van de lekdebieten voor de vluchtcondities aan de koude zijde van de rookwerende scheiding zijn inzichtelijk gemaakt door de tijden te geven tot het bereiken van een rookdichtheids criterium aan de koude zijde (hier verder geschreven als "RD-criterium") in een bepaald ruimtevolumen. De berekende tijden zijn getabelleerd en grafisch weergegeven in bijlage A, in de tabellen A.4 en A.5 en de grafieken A.2 t/m A.4. De relatieve waarden van de weergegeven grootte zijn in de tabellen benadrukt met kleurcodes.

Als voorbeeldwaarden voor het rookdichtheids criterium en het volume van de ontvangende ruimte zijn hier de volgende waarden gekozen (mede om gemakkelijk vergelijkbare getallen

te krijgen):

- een rookdichtheid van  $0,033 \text{ m}^{-1}$  ( $1/30 \text{ m}^{-1}$ , ca. 30 m zicht naar lichtreflecterende voorwerpen),
- twee volumes van de rook-ontvangende ruimte,  $100 \text{ m}^3$  en  $10 \text{ m}^3$ .

Aangezien de berekende tijden in het gehanteerde model, bij de hier aangenomen condities, zowel evenredig zijn met de rookdichtheidscriterium aan de koude zijde als met het ruimtevolumen, zijn de tijden bij andere rookdichtheden en ruimtevolumes hieruit makkelijk om te rekenen.

Alleen de tijden korter dan 600 s zijn weergegeven.

### Constateringen tijden tot bereiken rookdichtheidscriterium

De berekende tijden tot bereiken van het rookdichtheidscriterium leiden tot onderstaande constateringen, waarbij ook de constateringen zijn opgenomen die (vrijwel) rechtstreeks volgen uit de ingeschatte waarden voor de kiergrootten.

De constateringen zijn gebaseerd op de rookdichtheden in de  $100 \text{ m}^3$ -ruimte en de grootste lekkage-openingen per deurtype. De verhouding in de rookdichtheden blijft voor de gegeven scenario's gelijk in rook-ontvangende ruimten met een ander volume.

- Het RD-criterium wordt duidelijk het snelst bereikt bij  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  aan de warme zijde. Dit ligt voor de hand aangezien de rookdichtheid aan de warme zijde bij die temperatuur het hoogst is. Voor de grootste openingen in de  $S_a$ - en  $S_{200}$ -deur is het verschil in tijd bij  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  zelfs meestal meer dan een factor 10, omdat deze deuren inbranden of deformeren en grote openingen gaan vertonen bij  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ; voor de E20-deur is dit verschil ruwweg een factor 2.
- Het RD-criterium wordt in veel gevallen bereikt bij  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  aan de warme zijde, voor de  $S_{200}$ -deur echter niet binnen 3 minuten, voor de  $S_a$ -deur alleen binnen een minuut bij een rooklaag tot op de vloer; voor de E20-deur ook ruim binnen de  $\frac{1}{2}$  minuut in meerdere gevallen met een rookvrije laag.
- Het RD-criterium wordt maar in enkele gevallen bereikt bij  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  aan de warme zijde, namelijk alleen in scenario's voor de E20-deur en in scenario's zonder rookvrije laag voor de  $S_a$ -deur. Dit ligt voor de hand aangezien de rookdichtheid aan de warme zijde bij die temperatuur het laagst is. Voor de grootste openingen in de  $S_{200}$ -deur is het verschil in tijd bij  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  ongeveer een factor 8, voor de  $S_a$ -deur het dubbele.
- Het (rookvrije) luchtdebiet door de rookwerende scheiding is van groot belang. Dit luchtdebiet verdunt de (opgemengde) rook aan de koude zijde. Zonder rookvrije laag aan de warme zijde treedt deze verdunning niet op. Een hogere rookvrije laag aan de warme zijde geeft een veel langere tijd tot bereiken van het RD-criterium onder verder gelijkblijvende omstandigheden.
- Bij  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  leidt de  $S_a$ -deur onder alle onderzochte condities (variaties in drukverschil en rookvrije hoogte) het snelst tot bereiken van het RD-criterium (met een factor 2 tot 4 sneller dan de andere deuren); bij  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  geldt dat bijna altijd voor de E20 deur (tussen een factor 1 en 4); bij  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  wordt het RD-criterium gemiddeld het snelste bereikt door de E20-deur; alleen bij een rooklaag tot op de vloer ( $H_{rv} = 0$ ) levert de  $S_a$ -deur ongeveer dezelfde tijden.
- De deuren met gecombineerde eigenschappen  $S_a/E20$  en  $S_{200}/E20$  presteren als volgt:
  - o de E20-2 en  $S_a/E20$ -2 deuren presteren gelijk bij  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  (omdat de  $S_a$ -eigenschappen worden verondersteld bij die temperatuur te zijn weggevallen; zie tabel 1);
  - o de  $S_a$ -2 en  $S_a/E20$ -2 deuren presteren gelijk bij  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  (omdat de E20-eigenschappen worden verondersteld bij die temperaturen nog geen bijdrage te leveren; zie tabel 1);
  - o de  $S_a$ -2 en  $S_a/E20$ -2 deuren presteren gelijk bij  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  (omdat de E20-

eigenschappen worden verondersteld bij die temperatuur nog geen bijdrage te leveren; zie tabel 1).

#### A.2.2 Andere lekkage in rookwerende scheidingen

De analyse van de kierlekkage van deuren, zoals gegeven in de vorige paragraaf, is in principe ook uit te voeren voor andere lekkages, zoals ventilatieroosters (als zelfstandige component of toegepast in deuren) en ventilatiesystemen.

##### Ventilatieroosters

De lekkage van ventilatieroosters is eenvoudig te bepalen gegeven het type rooster; het aantal typen roosters is echter zeer groot. De lekkage door de kleine roosters is van dezelfde grootte als die van de grotere deurkieren (de deurkieren bij 600 °C). Voor de  $S_{a-2}$ ,  $S_{200-2}$  en E20-2-deuren bedragen de openingsoppervlakken daarbij respectievelijk ca. 550 cm<sup>2</sup>, 130 cm<sup>2</sup> en 200 cm<sup>2</sup> (op basis van de dagmaat), wat met een effectieve doorlaat van 70 tot 80% tot een effectief lekoppervlak leidt van ca. 410 cm<sup>2</sup>, 100 cm<sup>2</sup> en 150 cm<sup>2</sup>. Ter vergelijking: een rooster van 10 cm x 40 cm met een effectieve doorlaat van 50% heeft een lekoppervlak van 200 cm<sup>2</sup>.

Verwacht mag worden dat, tot de temperaturen waarbij het sluiten<sup>57</sup> van het rooster wordt geactiveerd, de ventilatieroosters een belangrijke bijdrage leveren aan de rookverspreiding indien ze op een hoogte zijn geplaatst waar de rooklaag hangt aan de warme zijde.

Bij rooklekkage door roosters, zeker bij roosters nabij het plafond, is de kans groot dat geen volledige opmenging optreedt in de rookontvangende ruimte. Er ontstaat dan een rooklaag aan het plafond met een rookdichtheid die ongeveer omgekeerd evenredig is met de verhouding tussen de rooklaaghoogte en de ruimtehoogte<sup>58</sup>.

##### Ventilatiesystemen

Het aantal varianten in ventilatiesystemen en ventilatiecondities is veel groter dan dat voor de deuren of roosters.

Ventilatiesystemen waarvan toe- of afvoerleidingen door de scheiding voeren kunnen in een groot aantal varianten voorkomen:

- De leidingen maken deel uit van de luchtbehandelingsinstallatie.
  - Ze hebben al dan niet openingen naar de ruimte aan de warme en/of de koude zijde van de scheiding;
  - De toe- en/of de afvoer van de installatie blijft na een brandmelding al dan niet ingeschakeld;
  - Ter plaatse van de scheidingsconstructie is de leiding voorzien van een brandklep, een rookklep, soms een dichtschuimend rooster, of een combinatie van deze voorzieningen.
- De leidingen maken deel uit van een rookbeheersingssysteem. Afhankelijk van de beoogde werking wordt het brand/rookluik passief (via smeltpatroom) of actief (aangestuurd door de brandmeldcentrale) opengestuurd c.q. dichtgestuurd.

Rooklekkage kan in beginsel plaatsvinden:

- Via de sparingen in de wand;
- Via de roosters in de leiding in de beide ruimten, en de leiding zelf.
- Via aansluitingen tussen delen van de leiding, en de leiding zelf.

Lekkage via sparingen is goed vergelijkbaar met lekkage via roosters of andere openingen in de wand of vloer.

<sup>57</sup> Overigens wordt hier aangenomen dat er roosters worden toegepast die goed functioneren bij de aangegeven drukverschillen (dat is zeker niet het geval voor alle bestaande roosters).

<sup>58</sup> De rookdeeltjes zijn verzameld in een kleiner volume, de rookdichtheid is ongeveer omgekeerd evenredig met dat volume.

Lekkage via de binnenzijde van de leiding is van meer factoren afhankelijk.

- a) Als de leiding op overdruk staat (actieve toevoerleiding) zal in beginsel verse lucht vanuit de leiding de warme ruimte instromen, rook komt niet de leiding in zolang de druk in de warme ruimte laag is (als de brand een grote overdruk veroorzaakt komt er wel rook in de leiding en kan deze zich verder verspreiden over de ruimten aan deze leiding).
- b) Als de leiding op onderdruk staat (actieve afvoerleiding) zal in beginsel rook vanuit de warme ruimte de leiding in worden gezogen, en schone lucht vanuit de koude ruimte. Zolang de onderdruk in de leiding gehandhaafd wordt, stroomt geen rook via de leiding de koude ruimte in. Als de onderdruk wegvalt, bijvoorbeeld door te hoge temperatuur bij de afvoerventilator, of door bezwijken van een deel van de leiding tussen de ventilator en de warme of koude ruimte, wijzigt de situatie naar geval c).

Ad a)+b): De actieve toe- en/of afvoer in gevallen a) en b) zullen het drukverschil tussen beide ruimten beïnvloeden. Zeker als een van beide ruimten weinig of geen lekken heeft naar andere ruimten, zal een onbalans tussen toe- en afvoer een grote invloed hebben op het drukverschil, en daarmee op de rooklekkage van warme naar koude ruimte.

- c) Als de installatie is afgeschakeld, is de drukverdeling in de leidingen niet bepaald. Het is zeker niet gegarandeerd dat de leiding ter plaatse van de warme en koude ruimte zich gedraagt als een simpele verbinding tussen de beide ruimten, maar die situatie kan zich wel voordoen. De verbinding bevat stromingsweerstand in de vorm van de roosters in de leiding, eventueel de naden in de leidingwand, de lengte van de leiding tussen de roosters, en eventueel een ingeschakelde brand- of rookklep. De weerstanden kunnen met standaardtechnieken worden omgerekend naar een effectieve opening tussen de ruimten, en dan worden opgeteld bij de overige lekkages tussen de ruimten.

Het aantal varianten van lekkage door ventilatiesystemen is veel te groot om te kwantificeren in het kader van dit onderzoek, zeker als de variatie in activering van de brand- en rookwerende voorzieningen in het kanaal worden meegewogen. De kwalificaties  $S_a$  en  $S_{200}$  volgens NEN 6075 voor ventilatiesystemen worden qua rookdoorgang als gelijkwaardig beschouwd aan de  $S_a$  en  $S_{200}$ -prestaties van deuren.

#### Overige constructieonderdelen

De lekkage van andere constructieonderdelen is in NEN 6075 uitgedrukt in debieten (in  $m^3/uur$ ,  $m^3/uur$  per m naadlengte of  $m^3/uur$  per  $m^2$  naad- of gatoppervlak) bij bekende druk, of is te bepalen op overeenkomstige wijze als voor deuren. De kwalificaties  $S_a$  en  $S_{200}$  volgens NEN 6075 voor deze constructieonderdelen worden hier als gelijkwaardig beschouwd aan de  $S_a$  en  $S_{200}$ -prestaties van deuren, alhoewel de effectieve rookdoorgang afhankelijk is van de positie (hoogte boven de vloer) van (de opening in) het constructieonderdeel.

#### A.2.3 Invloed van variabele condities

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met constante condities aan de warme zijde van de rookwerende scheiding. Hierdoor is het mogelijk een groot aantal verschillende condities op te nemen.

In de praktijk zullen de condities variëren in de tijd:

- de temperatuur loopt meestal eerst geleidelijk op in de tijd, blijft dan enige tijd ongeveer gelijk en neemt vervolgens weer af;
- de druk kan gedurende de gehele brand sterk fluctueren, afhankelijk van het openen van deuren, wegvallen van interne wanden en gevels, die de rookwerende scheiding in meer of mindere mate blootstellen aan drukken die worden veroorzaakt door het schooreffect in het gebouw en windinvloeden; daarnaast kan de expansie van snel door de brand verwarmde lucht een korte drukverhoging veroorzaken;
- de rookvrije hoogte zal vaak geleidelijk afnemen, tenzij door gewijzigde openingen plotseling een toevoer van veel heterere rook ontstaat waardoor een hete rooklaag in een dikkere en verder koudere rooklaag ontstaat.

De vele mogelijke variaties in de tijd hebben tot gevolg dat geen eenvoudige algemeen geldende vergelijking is te maken tussen de prestaties van verschillende constructieonderdelen bij variabele condities. Wel kan het tijdsverloop (sterk versimpeld) in enkele intervallen met constante condities worden opgeknipt. Met de uitgevoerde berekeningen zijn dan de relatieve consequenties in de verschillende intervallen te vergelijken. Deze benaderingswijze is alleen niet mogelijk na een periode met hoge temperatuur, omdat de kierafmetingen dan meestal definitief gewijzigd zijn (de aantasting van afdichtingsrubbers is bijvoorbeeld niet reversibel).

#### A.2.4 Gevolgen berekende rooklekkages voor veilig vluchten

Veilig vluchten is, om het kort en vereenvoudigd samen te vatten<sup>59</sup>, zeker mogelijk bij zichtlengten >30 m, wellicht zelfs bij zichtlengten rond 2 m. Vooral de afmetingen van de ruimte en, bij wachttijd in de ruimte, de verblijfsduur zijn hiervoor bepalend. In de voorafgaande berekeningen is een zichtlengte van 30 m naar lichtreflecterende voorwerpen aangehouden (een rookdichtheid van  $0,033 \text{ m}^{-1}$ ). De keuze van dit criterium is niet erg kritisch, aangezien het in de vergelijking vooral gaat om de verhouding tussen de vluchtcondities bij verschillende constructieonderdelen en scenario's. De waarde is mede zo gekozen om makkelijk leesbare (vergelijkbare) getallen te krijgen.

De berekende tijden tot bereiken van een rookdichtheidscriterium gelden bij aanwezigheid van één constructieonderdeel met openingen (gerepresenteerd door een van de deurtypen Sa, etc.) en voor een rookontvangende ruimte van  $100 \text{ m}^3$ . De rookdichtheden in andere ruimtevolumes en bij andere openingen zijn hieruit eenvoudig<sup>60</sup> bij benadering te herleiden.

<sup>59</sup> In paragraaf 2.3 is een meer genuanceerde beschrijving gegeven.

<sup>60</sup> Voor een eenvoudige omrekening mag bij lage rookdichtheden (rookdichtheden in de rookontvangende ruimte die beduidend lager zijn dan de gemiddelde rookdichtheid van de rookstroom) gelineariseerd worden. Dit houdt in dat de tijd tot bereiken van het rookdichtheidscriterium bij benadering evenredig is met het ruimtevolumen en omgekeerd evenredig met het aantal openingen.

## BIJLAGE B: PRESENTATIE REKENRESULTATEN

Op de volgende pagina's zijn achtereenvolgens weergegeven:

- In tabelvorm: Het rookdebiet door 10 deurvarianten in g/s (eenheid gram gekozen voor makkelijk leesbare getallen), als functie van de rooktemperatuur ( $T_{sm}$ ), het drukverschil ( $p$ ) en de rookvrije hoogte ( $H_{rv}$ )
- In tabelvorm: Het (rookvrije) luchtdebiet door 10 deurvarianten in g/s (eenheid gram gekozen voor makkelijk leesbare getallen), als functie van de rooktemperatuur ( $T_{sm}$ ), het drukverschil ( $p$ ) en de rookvrije hoogte ( $H_{rv}$ )
- In tabelvorm: De gemiddelde rookdichtheid van de stroming door de 10 deurvarianten in  $m^{-1}$ , uitgaande van de aangegeven rookdichtheden (RD) aan de warme zijde, als functie van de rooktemperatuur ( $T_{sm}$ ), het drukverschil ( $p$ ) en de rookvrije hoogte ( $H_{rv}$ )
- In grafieken: De in tabel A.1 gegeven waarden, in 10-log (logaritmische schaal, 10-log)
- In tabelvorm: De tijd (in s), voor zover kleiner dan 600 s, tot een rookdichtheid van  $1/30 m^{-1}$  (overeenkomend met een zichtlengte voor licht-reflecterende voorwerpen van ca. 30 m) bij een rook-ontvangende ruimte van  $100 m^3$
- In tabelvorm: Zelfde tijden als het voorgaande punt, echter voor een rook-ontvangende ruimte van  $10 m^3$  (feitelijk dezelfde relatieve verdeling van waarden, namelijk een factor 10 (=10/100) lager; hier echter met andere kleurmarkeringen en alleen voor zover kleiner dan 600 s)
- In grafieken: De tijd (in s), voor zover kleiner dan 600 s, tot een rookdichtheid van  $1/30 m^{-1}$  (overeenkomend met een zichtlengte voor licht-reflecterende voorwerpen van ca. 30 m) bij een rook-ontvangende ruimte van  $100 m^3$  en een temperatuur aan de warme zijde van  $600 ^\circ C$  of  $220 ^\circ C$

Tabel B.1 *Het rookdebiet door 10 deurvarianten in g/s (eenheid gram gekozen voor makkelijk leesbare getallen), als functie van de rooktemperatuur ( $T_{sm}$ ), het drukverschil ( $p$ ) en de rookvrije hoogte ( $H_{rv}$ ) in de brandruimte*

ROOKDEBIET (g/s)													
Tsm	p	Hrv	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/ E20-1	Sa/ E20-2	S200/ E20-1	S200/ E20-2	
40	0	0	0.53	0.53	0.07	0.07	1.55	7.08	0.53	0.53	0.07	0.07	
40	0	1	0.23	0.23	0.04	0.04	0.76	4.25	0.23	0.23	0.04	0.04	
40	0	1.5	0.12	0.12	0.02	0.02	0.42	2.65	0.12	0.12	0.02	0.02	
40	0	2	0.04	0.04	0.01	0.01	0.16	1.11	0.04	0.04	0.01	0.01	
40	10	0	35.30	35.30	1.43	1.43	25.10	72.30	35.30	35.30	1.43	1.43	
40	10	1	1.83	1.83	0.54	0.54	5.74	26.60	1.83	1.83	0.54	0.54	
40	10	1.5	1.25	1.25	0.42	0.42	4.15	19.60	1.25	1.25	0.42	0.42	
40	10	2	0.67	0.67	0.31	0.31	2.60	12.70	0.67	0.67	0.31	0.31	
40	25	0	56.60	56.60	2.95	2.95	41.90	119.00	56.60	56.60	2.95	2.95	
40	25	1	3.40	3.40	1.19	1.19	10.60	45.30	3.40	3.40	1.19	1.19	
40	25	1.5	2.33	2.33	0.94	0.94	7.75	33.60	2.33	2.33	0.94	0.94	
40	25	2	1.27	1.27	0.69	0.69	4.90	21.90	1.27	1.27	0.69	0.69	
40	50	0	81.20	81.20	5.18	5.18	62.50	175.00	81.20	81.20	5.18	5.18	
40	50	1	5.49	5.49	2.20	2.20	17.10	68.20	5.49	5.49	2.20	2.20	
40	50	1.5	3.77	3.77	1.74	1.74	12.50	50.60	3.77	3.77	1.74	1.74	
40	50	2	2.06	2.06	1.29	1.29	7.93	33.10	2.06	2.06	1.29	1.29	
220	0	0	1.70	7.28	0.33	0.33	4.76	18.00	1.68	6.99	0.33	0.33	
220	0	1	0.74	3.50	0.19	0.19	2.38	10.80	0.73	3.45	0.19	0.19	
220	0	1.5	0.38	1.98	0.11	0.11	1.35	6.75	0.38	1.97	0.11	0.11	
220	0	2	0.12	0.74	0.04	0.04	0.49	2.83	0.12	0.74	0.04	0.04	
220	10	0	29.20	64.70	1.40	1.40	22.40	62.60	16.30	38.50	1.40	1.40	
220	10	1	1.91	7.85	0.64	0.64	6.03	25.80	1.91	7.83	0.64	0.64	
220	10	1.5	1.23	5.31	0.48	0.48	4.15	18.30	1.23	5.30	0.48	0.48	
220	10	2	0.62	2.97	0.32	0.32	2.42	11.20	0.62	2.97	0.32	0.32	
220	25	0	46.20	101.00	2.83	2.83	36.20	101.00	25.80	60.30	2.83	2.83	
220	25	1	3.22	12.20	1.25	1.25	10.10	40.40	3.22	12.20	1.25	1.25	
220	25	1.5	2.15	8.50	0.97	0.97	7.17	29.40	2.15	8.50	0.97	0.97	
220	25	2	1.14	4.96	0.69	0.69	4.39	18.70	1.14	4.96	0.69	0.69	
220	50	0	65.90	144.00	4.89	4.89	53.10	146.00	37.10	85.80	4.89	4.89	
220	50	1	4.99	17.80	2.20	2.20	15.60	58.90	4.99	17.70	2.20	2.20	
220	50	1.5	3.38	12.50	1.73	1.73	11.30	43.30	3.38	12.50	1.73	1.73	
220	50	2	1.82	7.42	1.25	1.25	7.02	27.90	1.82	7.42	1.25	1.25	
600	0	0	4.84	60.60	2.25	13.80	2.79	18.10	2.79	18.10	1.81	8.29	
600	0	1	2.55	40.30	1.42	10.50	1.20	10.00	1.20	10.00	0.98	5.83	
600	0	1.5	1.56	26.40	0.91	7.08	0.62	5.81	0.62	5.81	0.55	3.75	
600	0	2	0.68	12.00	0.38	3.09	0.19	2.17	0.19	2.17	0.18	1.52	
600	10	0	26.50	137.00	5.65	31.70	14.70	47.20	14.70	47.20	5.31	20.40	
600	10	1	4.46	72.00	3.12	20.80	2.78	17.80	2.78	17.80	2.58	12.80	
600	10	1.5	3.17	51.10	2.25	14.60	1.80	11.60	1.80	11.60	1.74	8.83	
600	10	2	1.99	30.80	1.40	8.16	0.97	5.85	0.97	5.85	0.96	4.89	
600	25	0	40.60	209.00	9.96	50.10	23.70	70.80	23.70	70.80	10.10	34.80	
600	25	1	6.53	101.00	5.04	29.90	4.97	25.00	4.97	25.00	4.79	19.60	
600	25	1.5	4.83	73.40	3.75	21.10	3.42	16.70	3.42	16.70	3.37	13.80	
600	25	2	3.23	46.30	2.48	12.30	2.01	8.82	2.01	8.82	2.01	8.01	
600	50	0	57.10	289.00	15.40	70.80	35.30	97.80	35.30	97.80	17.00	52.10	
600	50	1	9.22	136.00	7.69	40.60	8.41	33.70	8.41	33.70	8.23	28.40	
600	50	1.5	6.97	100.00	5.80	28.90	5.95	22.90	5.95	22.90	5.90	20.10	
600	50	2	4.79	64.20	3.93	17.10	3.63	12.30	3.63	12.30	3.62	11.90	

Tabel B.2 *Het (rookvrije) luchtdebiet door 10 deurvarianten in g/s (eenheid gram gekozen voor makkelijk leesbare getallen), als functie van de rooktemperatuur (Tsm), het drukverschil (p) en de rookvrije hoogte (Hrv) in de brandruimte*

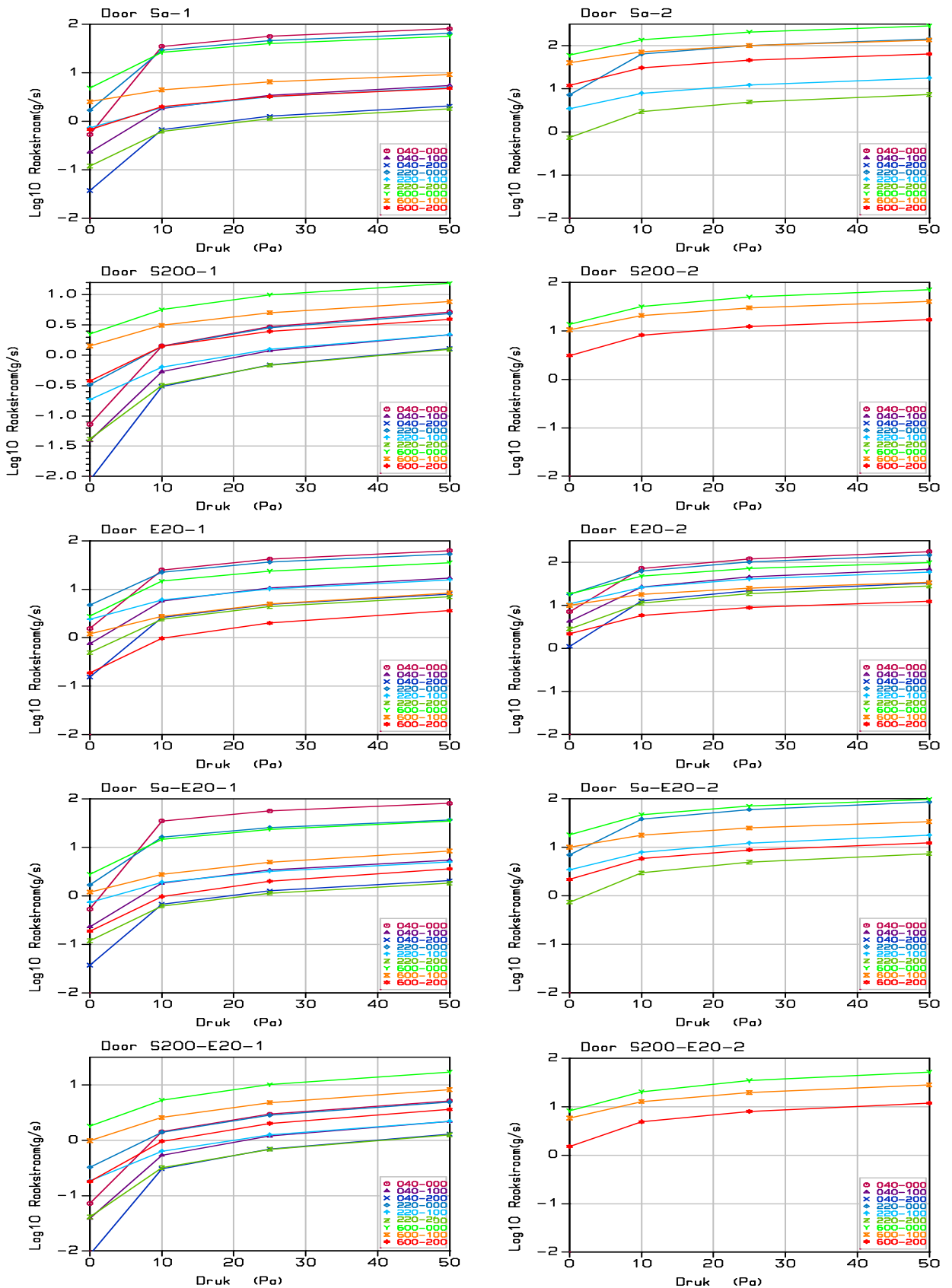
LUCHTDEBIET (ROOKVRIJ) (g/s)												
Tsm	p	Hrv	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/ E20-1	Sa/ E20-2	S200/ E20-1	S200/ E20-2
40	0	0										
40	0	1										
40	0	1.5										
40	0	2										
40	10	0										
40	10	1	34.50		0.89		19.70	46.70	34.50		0.89	
40	10	1.5	35.10		1.00		21.20	53.60	35.10		1.00	
40	10	2	35.60		1.11		22.70	60.50	35.60		1.11	
40	25	0										
40	25	1	54.90		1.78		32.10	76.10	54.90		1.78	
40	25	1.5	56.00		2.02		34.90	88.00	56.00		2.02	
40	25	2	57.00		2.26		37.80	99.80	57.00		2.26	
40	50	0										
40	50	1	78.10		3.01		46.50	110.00	78.10		3.01	
40	50	1.5	79.80		3.46		51.20	128.00	79.80		3.46	
40	50	2	81.50		3.91		55.80	146.00	81.50		3.91	
220	0	0										
220	0	1										
220	0	1.5										
220	0	2										
220	10	0										
220	10	1	34.50	71.20	0.82		19.50	45.50	17.80	37.70	0.82	
220	10	1.5	35.10	73.50	0.96		21.10	53.20	18.40	40.10	0.96	
220	10	2	35.60	75.80	1.10		22.70	60.40	18.90	42.40	1.10	
220	25	0										
220	25	1	54.90	113.00	1.72		32.00	75.30	28.50	60.50	1.72	
220	25	1.5	56.00	117.00	1.99		34.90	87.70	29.60	64.50	1.99	
220	25	2	57.00	121.00	2.26		37.80	99.80	30.60	68.40	2.26	
220	50	0										
220	50	1	78.10	161.00	2.96		46.50	110.00	40.80	86.40	2.96	
220	50	1.5	79.80	167.00	3.44		51.20	128.00	42.50	92.40	3.44	
220	50	2	81.50	173.00	3.90		55.80	146.00	44.20	98.40	3.90	
600	0	0										
600	0	1										
600	0	1.5										
600	0	2										
600	10	0										
600	10	1	35.50	111.00	3.62	20.00	17.70	47.70	17.70	47.70	3.30	12.50
600	10	1.5	36.70	141.00	4.62	29.90	18.30	56.10	18.30	56.10	4.02	18.00
600	10	2	37.90	168.00	5.54	39.20	18.80	64.10	18.80	64.10	4.67	23.10
600	25	0										
600	25	1	56.60	182.00	7.02	34.50	28.80	76.40	28.80	76.40	6.64	23.50
600	25	1.5	58.60	225.00	8.61	48.90	30.00	89.00	30.00	89.00	7.98	32.00
600	25	2	60.60	267.00	10.20	62.90	31.20	101.00	31.20	101.00	9.28	40.20
600	50	0										
600	50	1	80.50	260.00	11.20	50.80	41.80	109.00	41.80	109.00	11.10	36.50
600	50	1.5	83.50	319.00	13.60	70.50	44.00	126.00	44.00	126.00	13.40	48.90
600	50	2	86.50	377.00	16.00	90.00	46.30	143.00	46.30	143.00	15.80	61.00



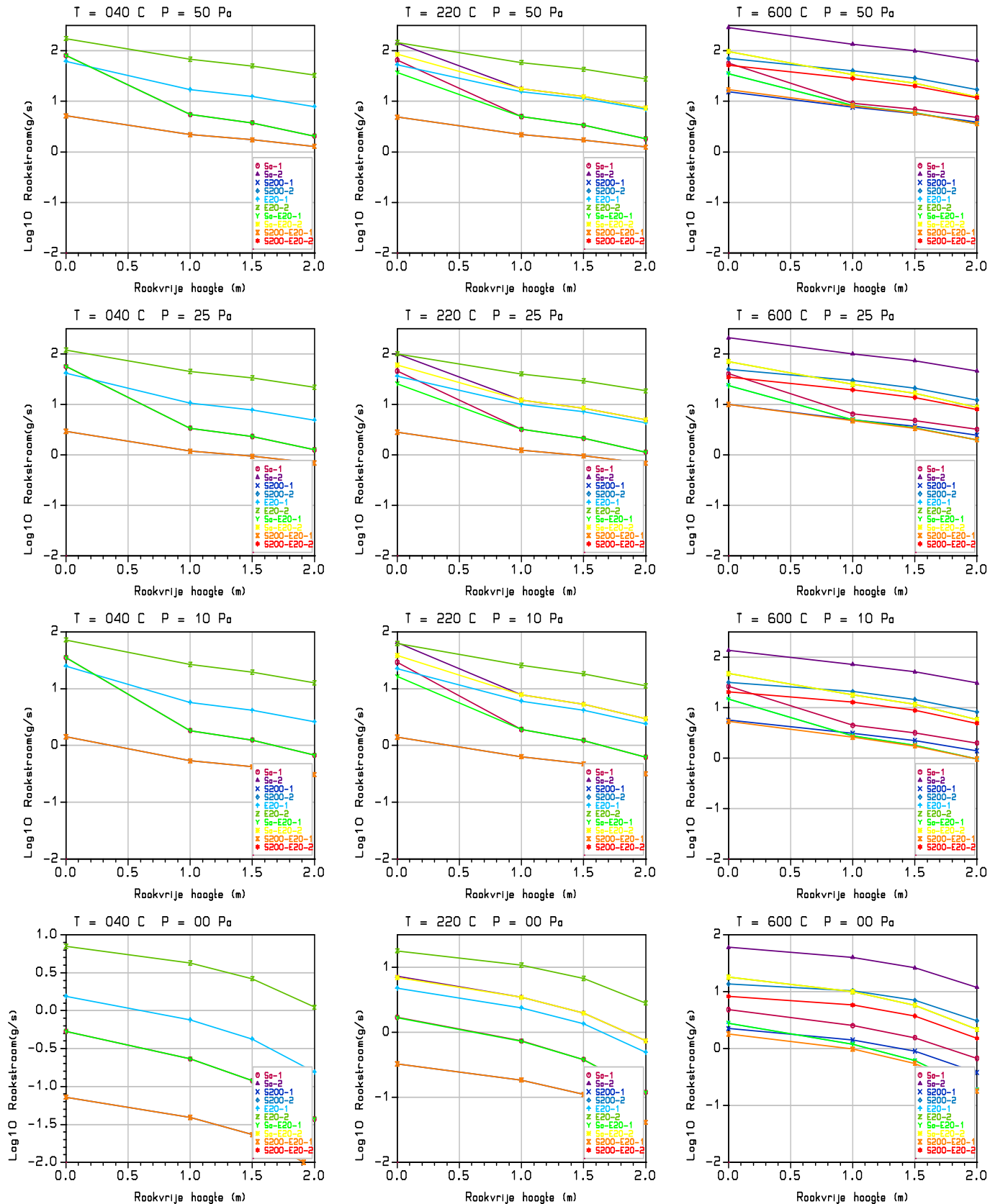
Tabel B.3 De gemiddelde rookdichtheid van de stroming door de 10 deurvarianten in m-1, als functie van de rookdichtheden (RD), de rooktemperatuur ( $T_{sm}$ ), het drukverschil (p) en de rookvrije hoogte ( $H_{rv}$ ) in de brandruimte

ROOKDICHTHEID (M-1) * VERDUNNINGSFACITOR (RD TOTALE DEBIET)													
RD (m-1)	Tsm (°C)	p (Pa)	Hrv (m)	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/E20-1	Sa/E20-2	S200/E20-1	S200/E20-2
0.4	40	0	0	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.4	40	0	1	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.4	40	0	1.5	0.00	0.40	0.01	0.40	0.01	0.02	0.00	0.40	0.01	0.40
0.4	40	0	2	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.4	40	10	0	0.16	0.40	0.18	0.40	0.18	0.19	0.16	0.40	0.18	0.40
0.4	40	10	1	0.01	0.40	0.08	0.40	0.06	0.09	0.01	0.40	0.08	0.40
0.4	40	10	1.5	0.01	0.40	0.06	0.40	0.04	0.07	0.01	0.40	0.06	0.40
0.4	40	10	2	0.01	0.40	0.09	0.40	0.04	0.07	0.01	0.40	0.09	0.40
0.4	40	25	0	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.4	40	25	1	0.02	0.40	0.16	0.40	0.10	0.15	0.02	0.40	0.16	0.40
0.4	40	25	1.5	0.02	0.40	0.13	0.40	0.07	0.11	0.02	0.40	0.13	0.40
0.4	40	25	2	0.01	0.40	0.09	0.40	0.05	0.07	0.01	0.40	0.09	0.40
0.4	40	50	0	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.4	40	50	1	0.03	0.40	0.17	0.40	0.11	0.15	0.03	0.40	0.17	0.40
0.4	40	50	1.5	0.02	0.40	0.13	0.40	0.08	0.11	0.02	0.40	0.13	0.40
0.4	40	50	2	0.01	0.40	0.10	0.40	0.05	0.07	0.01	0.40	0.10	0.40
4	220	0	0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
4	220	0	1	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
4	220	0	1.5	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
4	220	0	2	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
4	220	10	0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
4	220	10	1	0.21	0.40	1.75	4.00	0.94	1.45	0.39	0.69	1.75	4.00
4	220	10	1.5	0.14	0.27	1.32	4.00	0.66	1.02	0.25	0.47	1.32	4.00
4	220	10	2	0.07	0.15	0.90	4.00	0.39	0.63	0.13	0.26	0.90	4.00
4	220	25	0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
4	220	25	1	0.22	0.39	1.68	4.00	0.96	1.40	0.41	0.67	1.68	4.00
4	220	25	1.5	0.15	0.27	1.31	4.00	0.68	1.00	0.27	0.47	1.31	4.00
4	220	25	2	0.08	0.16	0.93	4.00	0.42	0.63	0.14	0.27	0.93	4.00
4	220	50	0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
4	220	50	1	0.24	0.40	1.71	4.00	1.00	1.39	0.44	0.68	1.71	4.00
4	220	50	1.5	0.16	0.28	1.34	4.00	0.72	1.01	0.29	0.48	1.34	4.00
4	220	50	2	0.09	0.16	0.97	4.00	0.45	0.64	0.16	0.28	0.97	4.00
12	600	0	0	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12	600	0	1	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12	600	0	1.5	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12	600	0	2	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12	600	10	0	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12	600	10	1	1.34	4.72	5.55	6.12	1.63	3.26	1.63	3.26	5.27	6.07
12	600	10	1.5	0.95	3.19	3.93	3.94	1.07	2.06	1.07	2.06	3.63	3.95
12	600	10	2	0.60	1.86	2.42	2.07	0.59	1.00	0.59	1.00	2.05	2.10
12	600	25	0	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12	600	25	1	1.24	4.28	5.01	5.57	1.77	2.96	1.77	2.96	5.03	5.46
12	600	25	1.5	0.91	2.95	3.64	3.62	1.23	1.90	1.23	1.90	3.56	3.62
12	600	25	2	0.61	1.77	2.35	1.96	0.73	0.96	0.73	0.96	2.14	1.99
12	600	50	0	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12	600	50	1	1.23	4.12	4.89	5.33	2.01	2.83	2.01	2.83	5.11	5.25
12	600	50	1.5	0.92	2.86	3.59	3.49	1.43	1.85	1.43	1.85	3.67	3.50
12	600	50	2	0.63	1.75	2.37	1.92	0.87	0.95	0.87	0.95	2.24	1.96

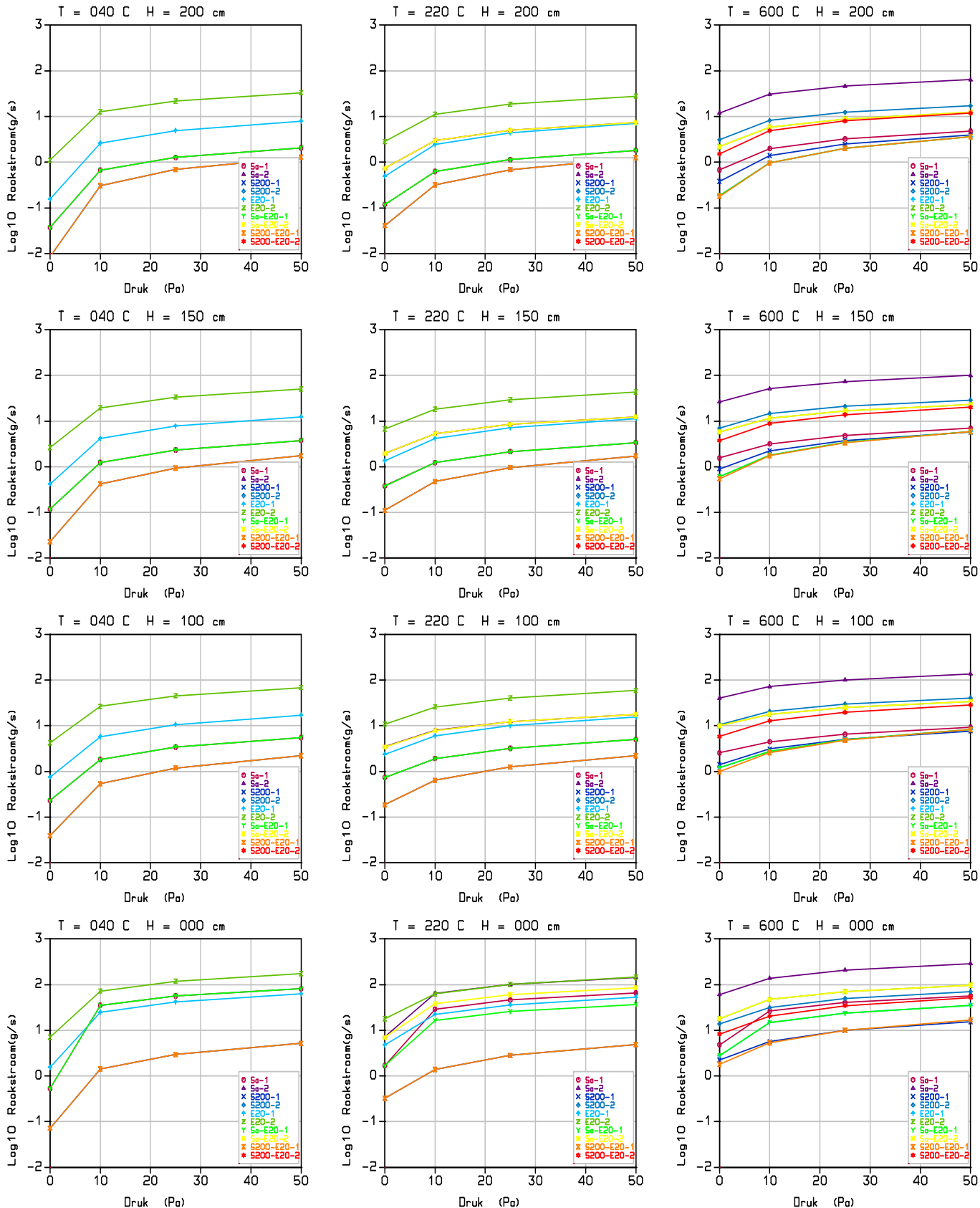
Grafiek B.1a Grafische weergave van waarden in tabel 1, in 10-log, pagina 1 van 3



Grafiek B.1a Grafische weergave van waarden in tabel 1, in 10-log, pagina 2 van 3



Grafiek B.1a Grafische weergave van waarden in tabel 1, in 10-log, pagina 3 van 3



Tabel B.4 De tijd (in s), voor zover kleiner dan 10.000 s, tot het bereiken van een rookdichtheid (RD) van  $1/30 \text{ m}^{-1}$  (overeenkomend met een zichtlengte voor licht-reflecterende voorwerpen van ca. 30 m) bij een rook-ontvangende ruimte van  $100 \text{ m}^3$ , gegeven de condities in de brandruimte: Tsm = rooklaagtemperatuur, p = druk, Hrv = hoogte rookvrije laag

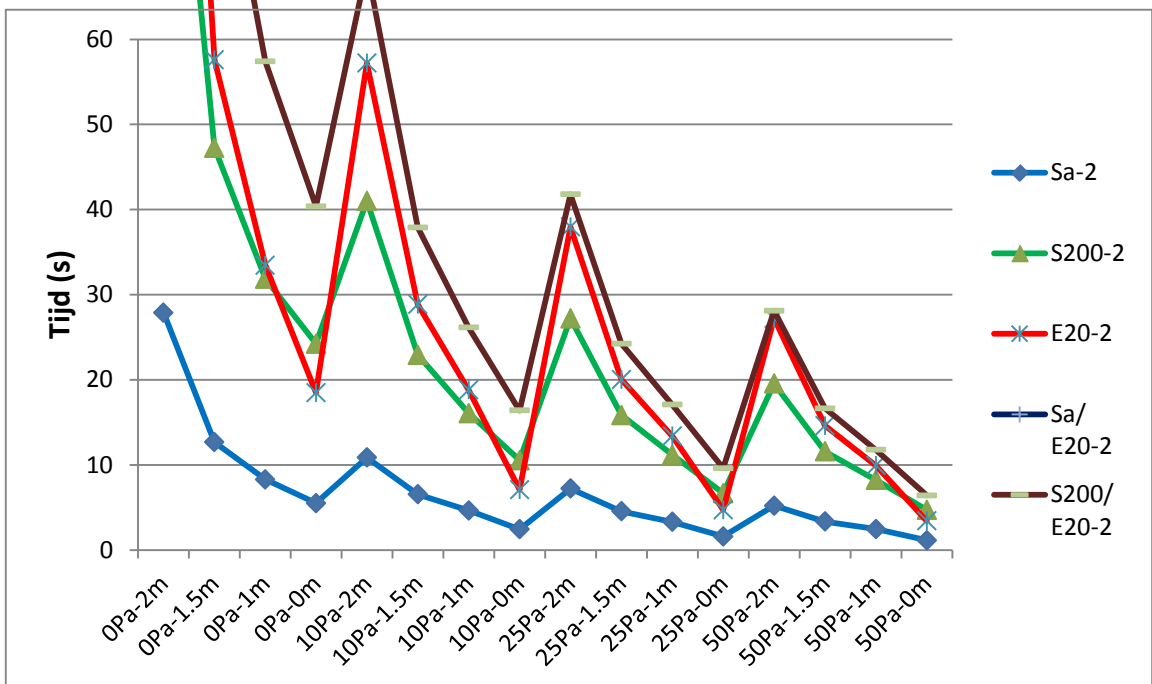
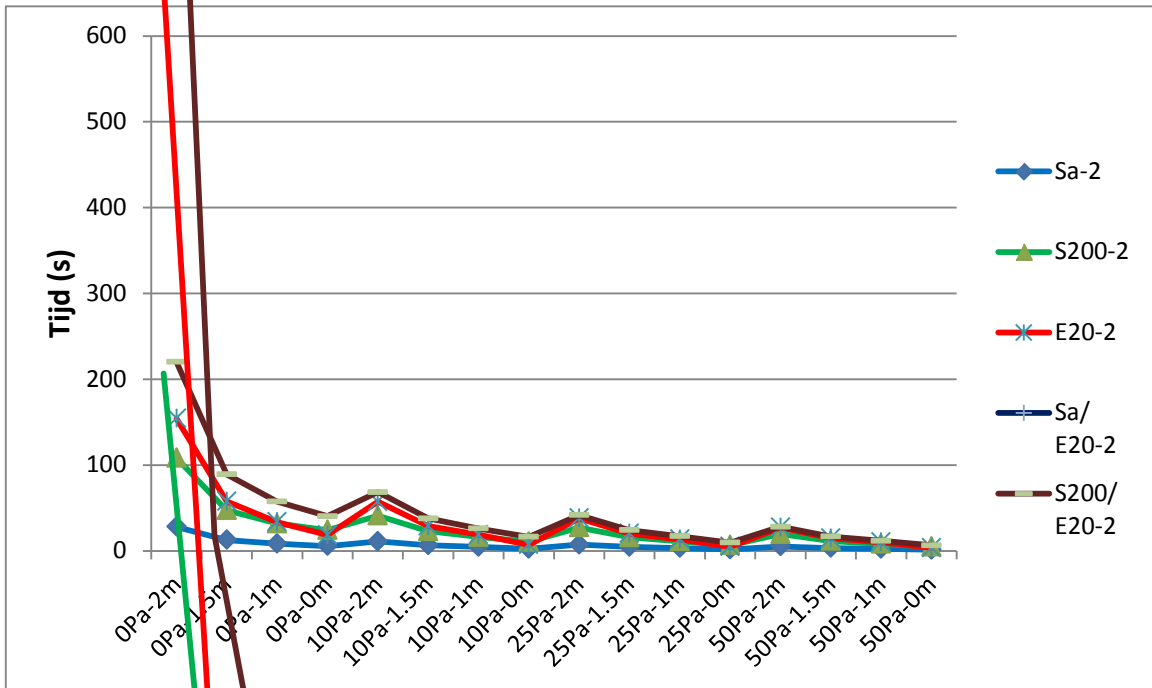
TIJD (S) TOT RD = 0.033 m-1 (benaderingvoor bij lage RD) IN 100 m3, BIJ 293 °C, => 120.478 kg			Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/ E20-1	Sa/ E20-2	S200/ E20-1	S200/ E20-2
Tsm (°C)	p (Pa)	Hrv (m)										
40	0	0	10000	10000	10000	10000	6763	1481	10000	10000	10000	10000
40	0	1	10000	10000	10000	10000	10000	2467	10000	10000	10000	10000
40	0	1.5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	2	10000	10000	10000	10000	10000	9444	10000	10000	10000	10000
40	10	0	320	297	7773	7331	444	152	320	297	7773	7331
40	10	1	10000	5728	10000	10000	2643	468	10000	5728	10000	10000
40	10	1.5	10000	8386	10000	10000	5306	715	10000	8386	10000	10000
40	10	2	10000	10000	10000	10000	7931	1077	10000	10000	10000	10000
40	25	0	185	185	3554	3554	250	88	185	185	3554	3554
40	25	1	10000	3083	9459	8809	1154	251	10000	3083	9459	8809
40	25	1.5	10000	4499	10000	10000	1733	356	10000	4499	10000	10000
40	25	2	10000	8254	10000	10000	3655	616	10000	8254	10000	10000
40	50	0	129	129	2024	2024	168	60	129	129	2024	2024
40	50	1	10000	1909	5084	4765	703	166	10000	1909	5084	4765
40	50	1.5	10000	2781	6636	6025	1046	235	10000	2781	6636	6025
40	50	2	10000	5089	9484	8126	2094	403	10000	5089	9484	8126
220	0	0	593	138	3083	3083	212	56	600	144	3083	3083
220	0	1	1370	288	5450	5450	424	93	1374	292	5450	5450
220	0	1.5	2646	509	9083	9083	747	149	2653	512	9083	9083
220	0	2	8472	1362	10000	10000	2049	356	8472	1364	10000	10000
220	10	0	35	16	720	720	45	16	62	26	720	720
220	10	1	572	134	1594	1585	170	39	550	131	1594	1585
220	10	1.5	937	202	2141	2123	248	56	876	197	2141	2123
220	10	2	2199	382	3207	3160	434	92	1864	362	3207	3160
220	25	0	22	10	356	356	28	10	39	17	356	356
220	25	1	338	86	811	807	101	25	325	84	811	807
220	25	1.5	529	126	1053	1044	144	35	498	123	1053	1044
220	25	2	1147	227	1490	1470	238	55	1002	216	1490	1470
220	50	0	15	7	206	206	19	7	27	12	206	206
220	50	1	217	59	461	458	65	17	209	58	461	458
220	50	1.5	332	86	588	583	91	24	315	83	588	583
220	50	2	695	151	817	807	149	37	619	144	817	807
600	0	0	69	6	149	24	120	19	120	19	185	40
600	0	1	131	8	236	32	279	34	279	34	341	57
600	0	1.5	215	13	370	47	545	58	545	58	608	89
600	0	2	495	28	884	108	1783	154	1783	154	1862	220
600	10	0	13	2	59	11	23	7	23	7	63	16
600	10	1	76	5	108	16	122	19	122	19	130	26
600	10	1.5	107	7	149	23	189	29	189	29	193	38
600	10	2	173	11	241	41	356	58	356	58	351	69
600	25	0	8	2	34	7	14	5	14	5	33	10
600	25	1	52	3	67	11	68	13	68	13	70	17
600	25	1.5	71	5	90	16	99	20	99	20	100	24
600	25	2	107	7	136	27	170	39	170	39	168	42
600	50	0	6	1	22	5	9	3	9	3	20	6
600	50	1	37	2	44	8	40	10	40	10	41	12
600	50	1.5	49	3	58	12	57	15	57	15	57	17
600	50	2	72	5	86	20	94	28	94	28	93	28

Tabel B.5

De tijd (in s), voor zover kleiner dan 10.000 s, tot het bereiken van een rookdichtheid (RD) van  $1/30 \text{ m}^{-1}$  (overeenkomend met een zichtlengte voor licht-reflecterende voorwerpen van ca. 30 m) bij een rook-ontvangende ruimte van  $10 \text{ m}^3$ , gegeven de condities in de brandruimte: Tsm = rooklaagtemperatuur, p = druk, Hrv = hoogte rookvrije laag. Merk op dat 30 m zichtlengte in een  $10 \text{ m}^3$  ruimte een meer dan veilig criterium is.

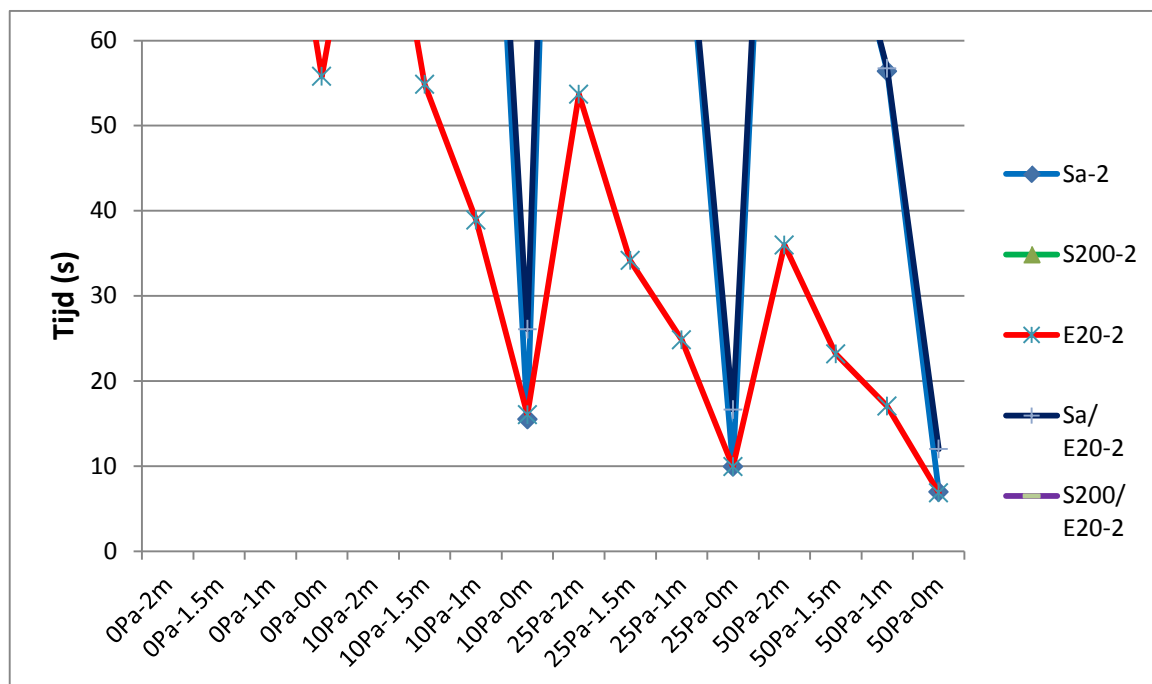
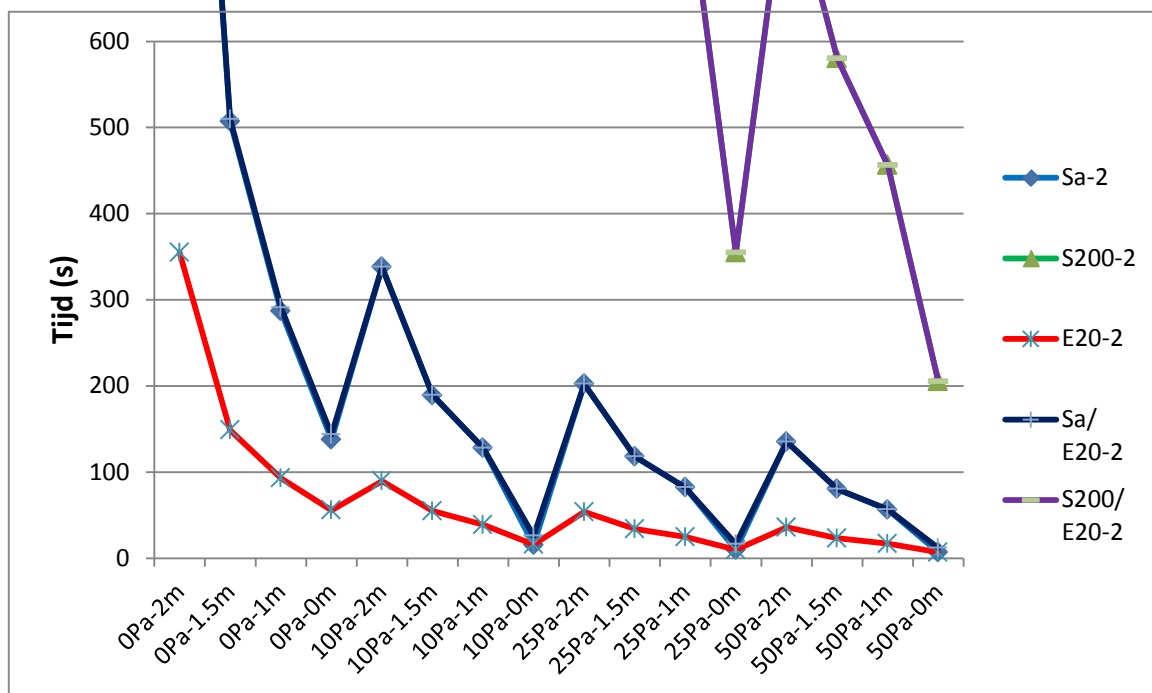
TIJD (S) TOT RD = 0.033 m-1 (benaderingvoor bij lage RD) IN 10 m3, BIJ 293 °C, => 12.0478 kg												
Tsm (°c)	p (Pa)	Hrv (m)	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/E20-1	Sa/E20-2	S200/E20-1	S200/E20-2
40	0	0	1967	1967	10000	10000	676	148	1967	1967	10000	10000
40	0	1	4538	4538	10000	10000	1387	247	4538	4538	10000	10000
40	0	1.5	10000	8809	10000	10000	10000	10000	10000	8809	10000	10000
40	0	2	10000	10000	10000	10000	6763	944	10000	10000	10000	10000
40	10	0	32	30	777	733	44	15	32	30	777	733
40	10	1	10000	573	2382	1952	264	47	10000	573	2382	1952
40	10	1.5	10000	839	3388	2484	531	71	10000	839	3388	2484
40	10	2	10000	1555	4128	3415	793	108	10000	1555	4128	3415
40	25	0	19	19	355	355	25	9	19	19	355	355
40	25	1	10000	308	946	881	115	25	10000	308	946	881
40	25	1.5	10000	450	1237	1114	173	36	10000	450	1237	1114
40	25	2	10000	825	1787	1511	365	62	10000	825	1787	1511
40	50	0	13	13	202	202	17	6	13	13	202	202
40	50	1	10000	191	508	476	70	17	10000	191	508	476
40	50	1.5	10000	278	664	602	105	23	10000	278	664	602
40	50	2	10000	509	948	813	209	40	10000	509	948	813
220	0	0	59	14	308	308	21	6	60	14	308	308
220	0	1	137	29	545	545	42	9	137	29	545	545
220	0	1.5	265	51	908	908	75	15	265	51	908	908
220	0	2	847	136	2441	2441	205	36	847	136	2441	2441
220	10	0	3	2	72	72	5	2	6	3	72	72
220	10	1	57	13	159	159	17	4	55	13	159	159
220	10	1.5	94	20	214	212	25	6	88	20	214	212
220	10	2	220	38	321	316	43	9	186	36	321	316
220	25	0	2	1	36	36	3	1	4	2	36	36
220	25	1	34	9	81	81	10	3	33	8	81	81
220	25	1.5	53	13	105	104	14	3	50	12	105	104
220	25	2	115	23	149	147	24	6	100	22	149	147
220	50	0	2	1	21	21	2	1	3	1	21	21
220	50	1	22	6	46	46	7	2	21	6	46	46
220	50	1.5	33	9	59	58	9	2	32	8	59	58
220	50	2	69	15	82	81	15	4	62	14	82	81
600	0	0	7	1	15	2	12	2	12	2	19	4
600	0	1	13	1	24	3	28	3	28	3	34	6
600	0	1.5	21	1	37	5	54	6	54	6	61	9
600	0	2	50	3	88	11	178	15	178	15	186	22
600	10	0	1	0	6	1	2	1	2	1	6	2
600	10	1	8	0	11	2	12	2	12	2	13	3
600	10	1.5	11	1	15	2	19	3	19	3	19	4
600	10	2	17	1	24	4	36	6	36	6	35	7
600	25	0	1	0	3	1	1	0	1	0	3	1
600	25	1	5	0	7	1	7	1	7	1	7	2
600	25	1.5	7	0	9	2	10	2	10	2	10	2
600	25	2	11	1	14	3	17	4	17	4	17	4
600	50	0	1	0	2	0	1	0	1	0	2	1
600	50	1	4	0	4	1	4	1	4	1	4	1
600	50	1.5	5	0	6	1	6	1	6	1	6	2
600	50	2	7	1	9	2	9	3	9	3	9	3

Grafiek B.2 Grafische weergave van tijden bij  $T_{sm} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$  volgens tabel B.4 (30 m zicht in  $100 \text{ m}^3$  ruimte).  
 De onderste figuur is een uitvergroting van de bovenste figuur voor lage tijdwaarden. De lijnen voor E20-2 en  $S_a/E20-2$  liggen voor deze temperatuur op elkaar (de  $S_a/E20-2$ -lijn is niet zichtbaar).



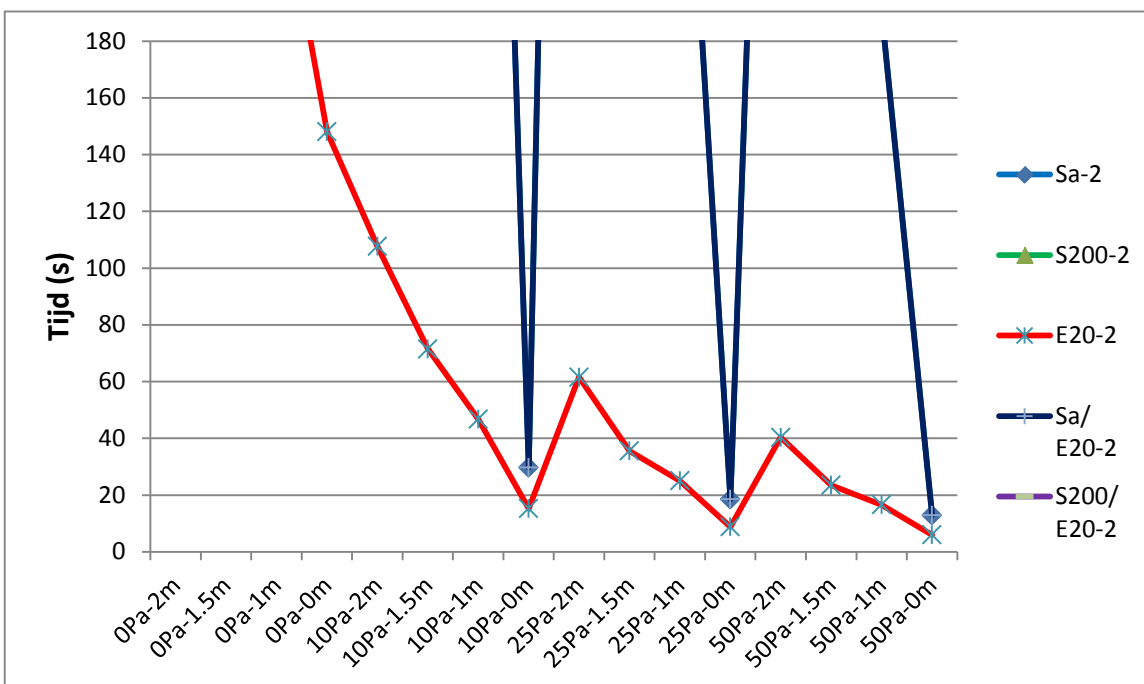
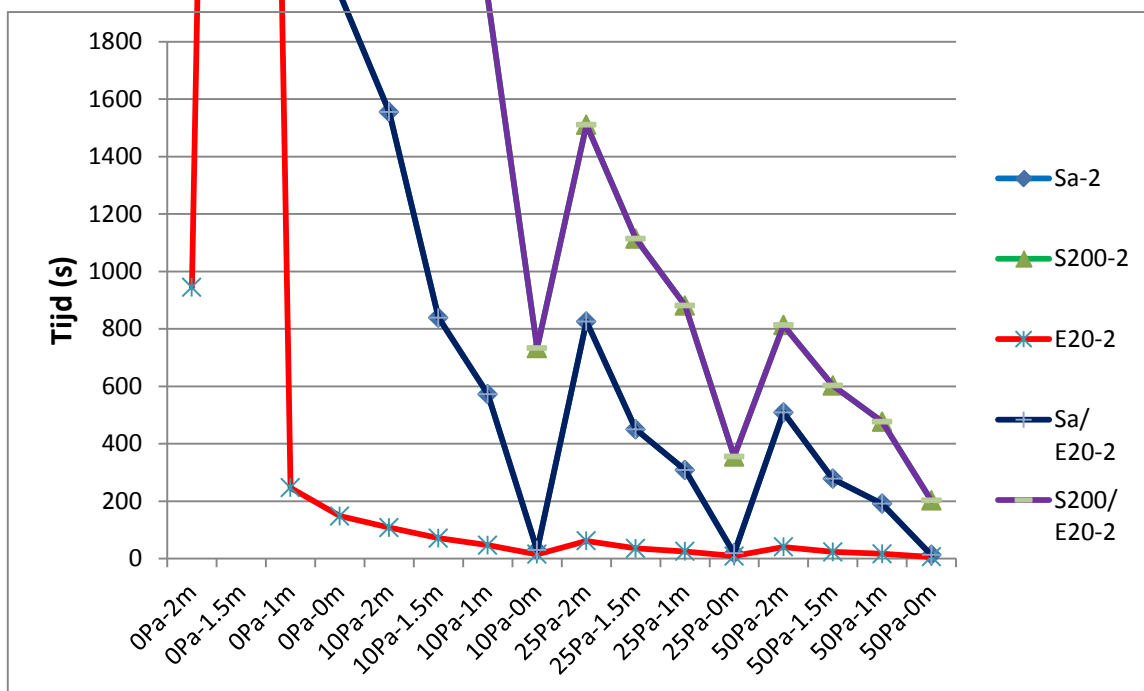
Grafiek B.3 Grafische weergave van tijden bij  $T_{sm} = 220 \text{ }^\circ\text{C}$  volgens tabel B.4 (30 m zicht in  $100 \text{ m}^3$  ruimte).

De onderste figuur is een uitvergroting van de bovenste figuur voor lage tijdwaarden. De lijnen voor  $S_a-2$  en  $S_a/E20-2$  liggen voor deze temperatuur bijna op elkaar (de  $S_a-2$ -lijn is nauwelijks zichtbaar).





Grafiek B.4 Grafische weergave van tijden bij  $T_{sm} = 40\text{ °C}$  volgens tabel B.5 (30 m zicht in  $10\text{ m}^3$  ruimte). Merk op dat 30 m zicht in een  $10\text{ m}^3$  ruimte een overmatig veilig criterium is (het kleine volume is alleen gekozen om de tijden binnen voor vluchten realistische tijdschalen te brengen). Merk ook op dat de tijdschaal afwijkt van de figuren B.2 en B.3. De onderste figuur is een uitvergroting van de bovenste figuur voor lage tijdwaarden. De lijnen voor  $S_a-2$  en  $S_a/E20-2$  liggen voor deze temperatuur op elkaar, hetzelfde geldt voor de lijnen voor  $S_{200}-2$  en  $S_{200}/E20-2$  (de  $S_a-2$ -lijn en de  $S_{200}-2$ -lijn zijn niet zichtbaar).



Tabel B.6 De tijd (in s), voor zover kleiner dan 10.000 s, tot het bereiken van een rookdichtheid van  $0.1 \text{ m}^{-1}$  (overeenkomend met een zichtlengte voor licht-reflecterende voorwerpen van ca. 10 m) bij een rook-ontvangende ruimte van  $36 \text{ m}^3$  (de "kamer"-configuratie), gegeven de condities in de brandruimte:  $T_{sm}$  = rooklaagtemperatuur,  $p$  = druk,  $H_{rv}$  = hoogte rookvrije laag

TIJD (S) TOT RD = 0.1			m-1 (benaderingvoor bij lage RD) IN 36						m3, BIJ 293 °C, =>		43.372 kg	
Tsm (°C)	p (Pa)	Hrv (m)	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/E20-1	Sa/E20-2	S200/E20-1	S200/E20-2
40	0	0	10000	10000	10000	10000	8050	1762	10000	10000	10000	10000
40	0	1	10000	10000	10000	10000	10000	2936	10000	10000	10000	10000
40	0	1.5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	10	0	490	353	10000	8725	639	210	490	353	10000	8725
40	10	1	10000	6818	10000	10000	10000	10000	10000	6818	10000	10000
40	10	1.5	10000	9982	10000	10000	10000	10000	10000	9982	10000	10000
40	10	2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	25	0	220	220	4230	4230	298	105	220	220	4230	4230
40	25	1	10000	3670	10000	10000	10000	396	10000	3670	10000	10000
40	25	1.5	10000	5355	10000	10000	10000	839	10000	5355	10000	10000
40	25	2	10000	9825	10000	10000	10000	10000	10000	9825	10000	10000
40	50	0	154	154	2409	2409	200	71	154	154	2409	2409
40	50	1	10000	2273	7464	5672	1812	258	10000	2273	7464	5672
40	50	1.5	10000	3310	10000	7171	10000	520	10000	3310	10000	7171
40	50	2	10000	6057	10000	9672	10000	10000	10000	6057	10000	9672
220	0	0	646	151	3358	3358	231	61	654	157	3358	3358
220	0	1	1492	314	5936	5936	461	102	1496	318	5936	5936
220	0	1.5	2882	555	9893	9893	813	163	2890	557	9893	9893
220	0	2	9228	1484	10000	10000	2232	388	9228	1486	10000	10000
220	10	0	38	17	784	784	49	18	67	29	784	784
220	10	1	771	159	1756	1727	190	44	657	150	1756	1727
220	10	1.5	1601	255	2374	2312	283	62	1125	230	2374	2312
220	10	2	10000	599	3603	3442	519	105	3386	460	3603	3442
220	25	0	24	11	388	388	30	11	43	18	388	388
220	25	1	448	103	894	878	113	28	387	96	894	878
220	25	1.5	841	159	1168	1137	164	39	629	144	1168	1137
220	25	2	10000	347	1672	1601	282	63	1627	273	1672	1601
220	50	0	17	8	225	225	21	8	30	13	225	225
220	50	1	281	70	508	499	73	19	247	66	508	499
220	50	1.5	498	107	651	635	103	26	392	97	651	635
220	50	2	10000	225	915	878	175	42	943	181	915	878
600	0	0	75	6	161	26	130	20	130	20	201	44
600	0	1	142	9	256	35	302	36	302	36	369	62
600	0	1.5	233	14	401	51	590	62	590	62	659	97
600	0	2	536	30	958	117	1931	167	1931	167	2016	239
600	10	0	14	3	64	11	25	8	25	8	68	18
600	10	1	84	5	117	18	134	21	134	21	141	28
600	10	1.5	120	7	163	25	211	32	211	32	211	41
600	10	2	199	12	264	45	410	65	410	65	386	76
600	25	0	9	2	36	7	15	5	15	5	36	10
600	25	1	58	4	72	12	75	15	75	15	76	19
600	25	1.5	79	5	98	17	110	22	110	22	109	27
600	25	2	122	8	149	30	193	43	193	43	184	46
600	50	0	6	1	24	5	10	4	10	4	21	7
600	50	1	41	3	47	9	44	11	44	11	44	13
600	50	1.5	55	4	63	13	63	16	63	16	62	18
600	50	2	82	6	94	22	106	31	106	31	102	31

Tabel B.7 De tijd (in s), voor zover kleiner dan 10.000 s, tot het bereiken van een rookdichtheid van  $1/30 \text{ m}^{-1}$  (overeenkomend met een zichtlengte voor licht-reflecterende voorwerpen van ca. 30 m) bij een rook-ontvangende ruimte van  $180 \text{ m}^3$  (de "gang"configuratie), gegeven de condities in de brandruimte: Tsm = rooklaagtemperatuur, p = druk, Hrv = hoogte rookvrije laag

TIJD (S) TOT RD = 0.033		m-1 (benaderingvoor bij lage RD) IN		180	m3, BIJ		293 'C, =>		216.86 kg			
Tsm (°C)	p (Pa)	Hrv (m)	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/E20-1	Sa/E20-2	S200/E20-1	S200/E20-2
40	0	0	10000	10000	10000	10000	10000	2665	10000	10000	10000	10000
40	0	1	10000	10000	10000	10000	10000	4440	10000	10000	10000	10000
40	0	1.5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	10	0	576	535	10000	10000	798	274	576	535	10000	10000
40	10	1	10000	10000	10000	10000	4758	842	10000	10000	10000	10000
40	10	1.5	10000	10000	10000	10000	9551	1287	10000	10000	10000	10000
40	10	2	10000	10000	10000	10000	10000	1939	10000	10000	10000	10000
40	25	0	333	333	6396	6396	450	159	333	333	6396	6396
40	25	1	10000	5550	10000	10000	2077	451	10000	5550	10000	10000
40	25	1.5	10000	8098	10000	10000	3120	640	10000	8098	10000	10000
40	25	2	10000	10000	10000	10000	6579	1108	10000	10000	10000	10000
40	50	0	232	232	3643	3643	302	108	232	232	3643	3643
40	50	1	10000	3437	9150	8577	1265	299	10000	3437	9150	8577
40	50	1.5	10000	5005	10000	10000	1882	423	10000	5005	10000	10000
40	50	2	10000	9160	10000	10000	3770	726	10000	9160	10000	10000
220	0	0	1067	249	5550	5550	381	101	1080	260	5550	5550
220	0	1	2466	518	9809	9809	762	168	2472	526	9809	9809
220	0	1.5	4763	917	10000	10000	1344	269	4776	921	10000	10000
220	0	2	10000	2452	10000	10000	3688	641	10000	2456	10000	10000
220	10	0	62	28	1296	1296	81	29	111	47	1296	1296
220	10	1	1030	240	2869	2853	305	71	989	237	2869	2853
220	10	1.5	1687	363	3853	3821	447	100	1577	354	3853	3821
220	10	2	3958	688	5773	5689	781	166	3356	651	5773	5689
220	25	0	39	18	641	641	50	18	70	30	641	641
220	25	1	608	155	1460	1452	182	45	586	152	1460	1452
220	25	1.5	952	227	1895	1879	258	63	897	221	1895	1879
220	25	2	2064	409	2683	2645	429	99	1804	389	2683	2645
220	50	0	28	13	371	371	34	12	49	21	371	371
220	50	1	390	106	830	825	118	31	377	105	830	825
220	50	1.5	598	154	1058	1049	164	42	567	150	1058	1049
220	50	2	1251	272	1471	1452	268	67	1115	259	1471	1452
600	0	0	125	10	268	44	216	33	216	33	333	73
600	0	1	237	15	425	57	503	60	503	60	614	103
600	0	1.5	387	23	666	85	981	104	981	104	1095	161
600	0	2	891	50	1592	195	3209	278	3209	278	3351	397
600	10	0	23	4	107	19	41	13	41	13	114	30
600	10	1	137	8	194	29	219	34	219	34	234	47
600	10	1.5	193	12	269	41	340	52	340	52	348	69
600	10	2	311	20	433	74	641	105	641	105	632	124
600	25	0	15	3	61	12	25	9	25	9	60	17
600	25	1	94	6	120	20	122	24	122	24	126	31
600	25	1.5	127	8	161	29	179	36	179	36	180	44
600	25	2	192	13	245	49	307	70	307	70	302	76
600	50	0	11	2	39	9	17	6	17	6	35	12
600	50	1	66	4	79	15	72	18	72	18	73	21
600	50	1.5	88	6	104	21	102	27	102	27	103	30
600	50	2	129	9	154	36	169	50	169	50	168	51

Tabel B.8 De tijd (in s), voor zover kleiner dan 10.000 s, tot het bereiken van een rookdichtheid van  $1/30 \text{ m}^{-1}$  (overeenkomend met een zichtlengte voor licht-reflecterende voorwerpen van ca. 30 m) bij een rook-ontvangende ruimte van  $720 \text{ m}^3$  (de "trappenhuis"configuratie), gegeven de condities in de brandruimte: Tsm = rooklaagtemperatuur, p = druk, Hrv = hoogte rookvrije laag

TIJD (S) TOT RD = 0.033		m-1 (benaderingvoor bij lage RD) IN		720		m3, BIJ		293 'C, =>		867.44 kg		
Tsm (°C)	p (Pa)	Hrv (m)	Sa-1	Sa-2	S200-1	S200-2	E20-1	E20-2	Sa/ E20-1	Sa/ E20-2	S200/ E20-1	S200/ E20-2
40	0	0	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	1.5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	0	2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	10	0	2303	2138	10000	10000	3194	1097	2303	2138	10000	10000
40	10	1	10000	10000	10000	10000	10000	3367	10000	10000	10000	10000
40	10	1.5	10000	10000	10000	10000	10000	5148	10000	10000	10000	10000
40	10	2	10000	10000	10000	10000	10000	7756	10000	10000	10000	10000
40	25	0	1334	1334	10000	10000	1801	634	1334	1334	10000	10000
40	25	1	10000	10000	10000	10000	8309	1806	10000	10000	10000	10000
40	25	1.5	10000	10000	10000	10000	10000	2561	10000	10000	10000	10000
40	25	2	10000	10000	10000	10000	10000	4433	10000	10000	10000	10000
40	50	0	930	930	10000	10000	1208	431	930	930	10000	10000
40	50	1	10000	10000	10000	10000	5060	1195	10000	10000	10000	10000
40	50	1.5	10000	10000	10000	10000	7528	1692	10000	10000	10000	10000
40	50	2	10000	10000	10000	10000	10000	2904	10000	10000	10000	10000
220	0	0	4270	997	10000	10000	1525	403	4321	1038	10000	10000
220	0	1	9863	2074	10000	10000	3050	672	9890	2104	10000	10000
220	0	1.5	10000	3666	10000	10000	5377	1075	10000	3685	10000	10000
220	0	2	10000	9809	10000	10000	10000	2565	10000	9823	10000	10000
220	10	0	249	112	5185	5185	324	116	445	189	5185	5185
220	10	1	4121	962	10000	10000	1220	283	3957	946	10000	10000
220	10	1.5	6746	1453	10000	10000	1788	402	6306	1415	10000	10000
220	10	2	10000	2750	10000	10000	3124	663	10000	2603	10000	10000
220	25	0	157	72	2565	2565	201	72	281	120	2565	2565
220	25	1	2433	619	5841	5807	728	181	2342	608	5841	5807
220	25	1.5	3810	907	7580	7514	1034	250	3588	882	7580	7514
220	25	2	8256	1638	10000	10000	1716	397	7215	1555	10000	10000
220	50	0	110	50	1484	1484	137	50	196	85	1484	1484
220	50	1	1560	424	3318	3300	471	124	1507	419	3318	3300
220	50	1.5	2393	616	4231	4196	655	170	2270	600	4231	4196
220	50	2	5002	1089	5885	5807	1070	266	4460	1037	5885	5807
600	0	0	499	40	1072	175	865	133	865	133	1333	291
600	0	1	946	60	1699	230	2011	241	2011	241	2455	414
600	0	1.5	1547	91	2663	341	3923	415	3923	415	4379	643
600	0	2	3564	201	6367	781	10000	1112	10000	1112	10000	1587
600	10	0	91	18	427	76	164	51	164	51	454	118
600	10	1	547	34	775	116	876	136	876	136	937	189
600	10	1.5	774	47	1075	166	1360	209	1360	209	1391	274
600	10	2	1246	79	1733	298	2565	419	2565	419	2528	497
600	25	0	59	12	242	48	102	34	102	34	239	69
600	25	1	374	24	480	81	489	97	489	97	505	123
600	25	1.5	508	33	646	115	714	146	714	146	718	175
600	25	2	767	53	979	198	1227	278	1227	278	1208	303
600	50	0	42	8	157	34	68	25	68	25	142	46
600	50	1	265	18	314	60	289	72	289	72	294	85
600	50	1.5	352	24	417	84	410	106	410	106	410	120
600	50	2	517	38	617	142	677	199	677	199	671	204

## LITERATUUR

- [1] 'Vluchtcondities bij toepassing van brandwerende binnenwanden met brandbare isolatiematerialen', 2011-Efectis-R0396, mei 2011.