

# CONSEQUENTIES VAN INTERNE ROOKVERSPREIDING VOOR PERSOONLIJKE VEILIGHEID IN WOONCOMPLEXEN



M.C. (Marc) Scholman  
Eindhoven University of Technology TU/e

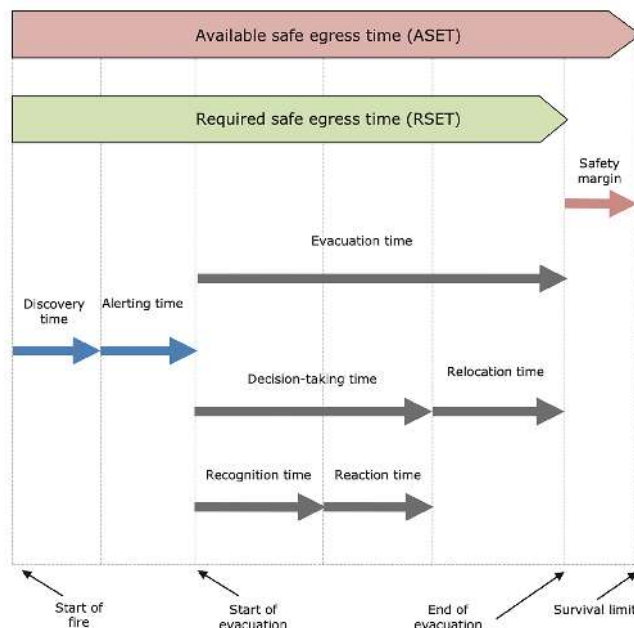


R.A.P. (Ruud) van Herpen  
Eindhoven University of Technology TU/e

## Introductie

Aan de TU Eindhoven is het fellowship Fire Engineering ingesteld om (bouwkundig) ingenieurs inzicht en hulpmiddelen te bieden waarmee de brandveiligheid van gebouwen kan worden geoptimaliseerd. Het simpelweg toepassen van voorschriften van het Bouwbesluit leidt tot sub-optimale oplossingen. Het 'restrisico' verschilt enorm per gebouw. Daarnaast gaat het Bouwbesluit uit van een 'vluchtconcept', in geval van brand wordt het hele gebouw ontruimd. De vraag is hoe houdbaar dat concept is, met het oog op de vergrijzende gebouwbezoekers, die bovendien langer zelfstandig moeten blijven wonen.

In fire engineering wordt de vluchtveiligheid beschouwd met behulp van een ASET-RSET analyse. ASET (available safe egress time) is daarin de beschikbare vluchttijd, RSET (required safe egress time) is de benodigde vluchttijd. ASET wordt bepaald door de ruimtecondities; wanneer die de acceptabele grenswaarden overschrijden is de ASET bereikt. RSET wordt bepaald door de snelheid van ontruimen; RSET volgt uit de tijdsduur die de laatste persoon nodig heeft om de betreffende ruimte te verlaten. Voor een veilige evacuatie geldt dus  $ASET > RSET$ , waarbij de mate van veiligheid (betrouwbaarheid) wordt bepaald door de veiligheidsmarge tussen ASET en RSET, zie figuur 1.



Figuur 1: ASET-RSET vergelijking, rekening houdend met veiligheidsmarge [1].

Wanneer gebouwbewoners om gezondheidsredenen niet in staat zijn om te vluchten zou een 'stay in place' concept (defend in place) uitkomst kunnen bieden. Bij een stay in place concept wordt alleen het brandende compartiment geëvacueerd. Daarbuiten blijven de bewoners in hun eigen compartiment. Dat houdt in dat in die compartimenten de beschikbare veilige tijd tenminste gelijk moet zijn aan de brandduur: ASET > brandduur. De mate van veiligheid (betrouwbaarheid) wordt ook nu bepaald door een veiligheidsmarge.

Hoewel het stay in place concept toekomstbestendiger lijkt dan het vluchtconcept is het in stand houden van acceptabele ruimtecondities in de compartimenten buiten het brandende compartiment niet zo eenvoudig. Interne scheidingsconstructies moeten daarvoor goed rookdicht en luchtdicht zijn. De definitie van 'goed' wordt daarin bepaald door de luchtdichtheid van externe scheidingsconstructies. Nu door de energietransitie de externe scheidingsconstructies steeds beter luchtdicht worden, waardoor de overdruk in de brandruimte toeneemt en de interne rookverspreiding naar aangrenzende ruimten dus ook, is aandacht voor de luchtdichtheid en rookdichtheid van interne scheidingsconstructies van groot belang. De haalbaarheid van een stay in place concept wordt in belangrijke mate hierdoor bepaald.

### Onderzoeksdoelstelling

Het eerste deel van het onderzoek bestaat uit het valideren van de simulaties aan de experimenten. Dat is in dit geval mogelijk door gebruik te maken van meetdata van de experimenten die IFV/Brandweeracademie in de zomer van 2019 heeft uitgevoerd in het seniorencomplex Schuylenburcht te Oudewater [2]. Aan de hand van de dataset van de referentiemeting zijn twee gangbare zonemodellen CFAST [3] en B-RISK [4] gevalideerd.

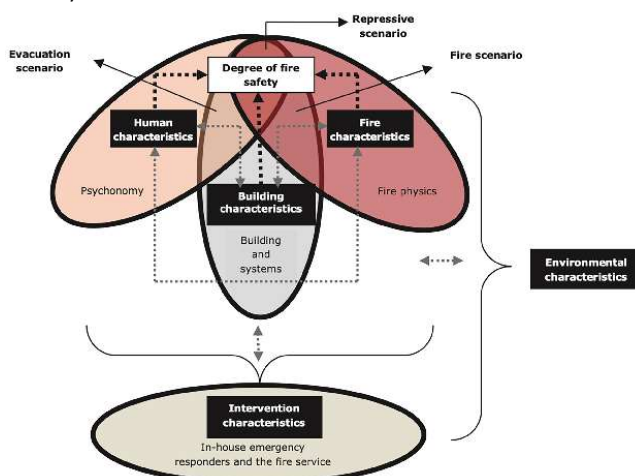
Vervolgens zijn simulaties uitgevoerd voor de situatie dat het complex zou worden gerenoveerd. Renovatie in combinatie met energietransitie, waardoor een beduidend hogere kwaliteit van de uitwendige scheidingsconstructie ontstaat. In deze nieuwe situatie is vervolgens beschouwd welke concepten met welke voorzieningen mogelijk zijn om de persoonlijke veiligheid van de gebouwbewoners te garanderen.

Voor de persoonlijke veiligheid van gebouwbewoners zijn de volgende criteria gehanteerd in de bepaling van de ASET [5], uitgaande van een opgemengde situatie van rook in het ruimtevolumen:

- Maximale gasttemperatuur: 80 °C voor veilig vluchten en 45 °C voor een veilig verblijf
- Minimale zichtlengte: 5 m voor veilig vluchten en 10 m voor een veilig verblijf

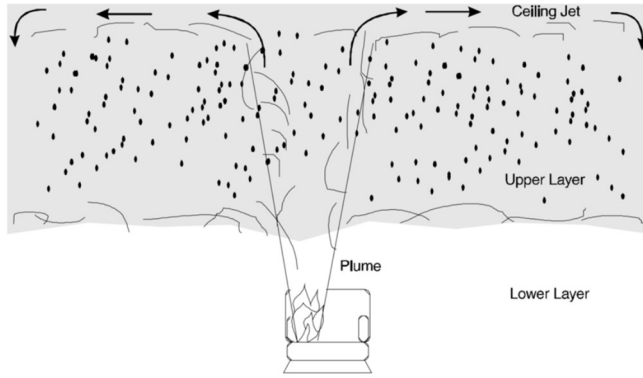
### Natuurlijke brand

Een natuurlijke brand wordt bepaald door brand(stof)kenmerken en bouwkundige compartimentskenmerken, zie figuur 2. Het vrijkomende brandvermogen in een natuurlijke brand is de 'motor' voor de temperatuurontwikkeling in de brandruimte. Natuurlijke branden bezitten daardoor een heel ander temperatuurverloop dan de standard brandkromme. Hierin wordt ook rekening gehouden met de lokale ontwikkelende brand (pre flashover brand) voordat door flashover een compartimentsbrand (post flashover brand) ontstaat.



Figuur 2 - Brand(stof)kenmerken en gebouwkenmerken bepalen de natuurlijke brand [1].

De post flashover brand is in de meeste gevallen ventilatie beheerst (zuurstof beheerst). Dat houdt in dat het brandvermogen gereduceerd is, afhankelijk van de beschikbare ventilatie via bezweken gevelopeningen. De pre flashover brand is meestal brandstof beheerst. Het vrijkomende brandvermogen is dan alleen afhankelijk van de aanwezige brandstof (vuurlast), er is voldoende zuurstof aanwezig voor verbranding. Voor de pre flashover brand wordt in zonemodellen meestal een gestratificeerde situatie aangehouden. Bovenin de ruimte bevindt zich de hete zone met verbrandingsgassen en daaronder een schone koude zone. Zie figuur 3.



Figuur 3 - De lokale brand (pre flashover brand) leidt tot een gestratificeerde situatie in de brandruimte [6].

### Referentiemetingen

De referentiemetingen zijn uitgevoerd in het complex Schuylenburcht te Oudewater. Dit is een seniorencomplex van 4 bouwlagen hoog met kleine wooneenheden aan weerszijden van een corridor. Voor de referentiemetingen is een deel van het gebouw gebruikt en is de brandruimte woning 1.19. Zie figuur 4.



Figuur 4 - Plattegrond complex Schuylenburcht te Oudewater.

Voordat de experimenten werden uitgevoerd is eerst de bouwkundige kwaliteit van het complex bepaald. De externe scheidingsconstructies bestaan uit lichte gevels, matig geïsoleerd, matig luchtdicht. De meeste bouwmasse bevindt zich in de verdiepingvloeren. De interne scheidingsconstructies zijn slecht luchtdicht. De luchtdichting is bepaald met behulp van luchtdoorlatendheidsmetingen [7].

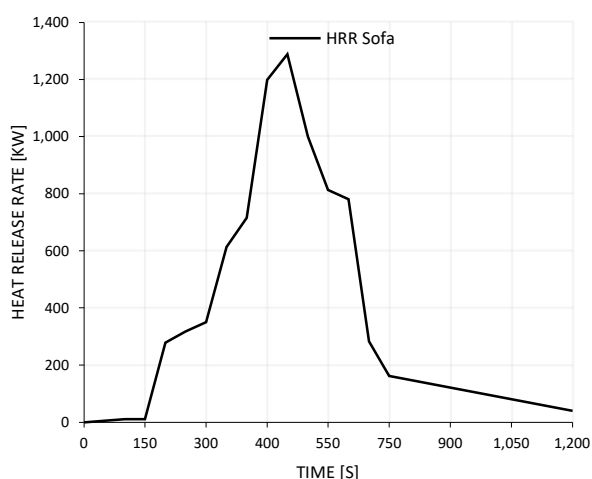
Tabel 1 – Luchtdoorlatendheid van scheidingsconstructies bij een referentie drukverschil van 10 Pa [7].

Meting	Totaal Qv10 [dm <sup>3</sup> /s] Exponent [n]	Intern Qv10 [dm <sup>3</sup> /s]	Extern Qv10 [dm <sup>3</sup> /s]	Verhouding I/E [%]
1.20 gevel folie, NV open	88 [0.65]	41	Folie	100 / 0
1.20 gevel folie, NV dicht	41 [0.71]			
1.19 NV open	80 [0.56]	37	6	85 / 15
1.19 NV dicht	43 [0.68]			

In de experimenten is steeds een tweezitsbank gebruikt als brandstof (figuur 5). De bank bestaat uit een houten frame, HR-schuimkussens en kunststof bekleding. Na bevindingen van het IFV is vastgesteld dat er bijna alleen maar schuim is verbrand. De brandstof is in één (virtuele) formule samen te vatten: C<sub>9</sub>H<sub>16</sub>O<sub>3</sub>N<sub>1.4</sub>. Het bij de zitbank behorende brandvermogensscenario is weergegeven in figuur 6. Dit brandvermogensscenario is gebaseerd op de gewichtsafname van de bank (tijdens de nulmeting) vermenigvuldigd met de netto verbrandingswaarde van polyurethaanschuim.



Figuur 5 - De tweezitsbank als brandstof (IFV) [2].



Figuur 6 - Het bijbehorende brandvermogensscenario van de tweezitsbank.

Er kunnen diverse verbrandingsproducten gevormd worden. Met name de onvolledige verbrandingsproducten zijn moeilijk te simuleren. In veel simulatiesoftware wordt daarom in principe alleen de volledige verbranding gesimuleerd, waarbij in geval van zuurstofgebrek (de ventilatie- of zuurstof beheerste brand) brandstof in de verbrandingsgassen overblijft. Dit vereenvoudigde verbrandingsmodel is energetisch correct, maar schiet tekort

wanneer de toxiciteit van de rook van belang is. Echter, zolang de zichtlengte in de rook meer bedraagt dan 5 meter speelt de toxiciteit geen grote rol. Wanneer zichtlengte als een toets criterium voor persoonlijke veiligheid wordt gehanteerd kan een beschouwing op specifieke verbrandingsproducten achterwege blijven.

Voor de validatie van de simulaties zijn dan ook vooral de temperaturen en de zuurstofconcentraties van belang.

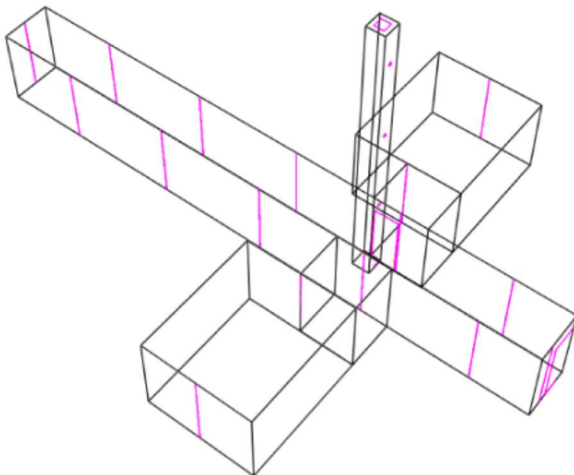
### **Meerzone simulaties**

De meerzone simulaties zijn uitgevoerd met behulp van CFAST en BRISK. In principe gaat het om zonemodellen met dezelfde fysische basis. Voor elke zone worden de behoudswetten van massa, deeltjes (elk naar zijn soort) en energie tijdsafhankelijk opgelost, rekening houdend met het niet-stationaire karakter (bufferwerking voor massa en energie). In meerzone modellen kunnen zones onderling gekoppeld worden door openingen. Naden, spleten en kieren worden in een equivalente lekoppervlakte gemodelleerd.

De belangrijkste verschillen tussen CFAST en B-RISK zijn:

- In B-RISK is het mogelijk om van stochastische randcondities een kansverdeling op te geven, zodat een gevoeligheidsanalyse niet nodig is. CFAST kan alleen met vaste randcondities rekenen, bij stochastische randcondities is dus een gevoeligheidsanalyse nodig.
- De minimum zuurstofconcentratie die voor verbranding noodzakelijk is (LOL: lower oxygen limit) is temperatuur afhankelijk. In B-RISK ligt die relatie vast, in CFAST kan alleen een vaste waarde voor de LOL worden opgegeven.

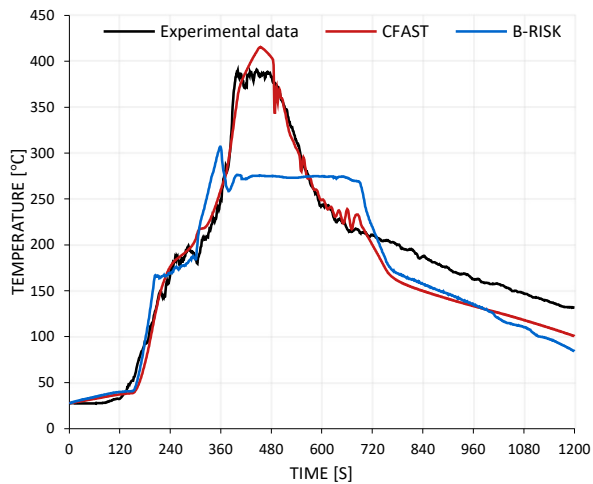
Het model dat zowel in CFAST als in B-RISK is gesimuleerd is in isometrie weergegeven in figuur 7.



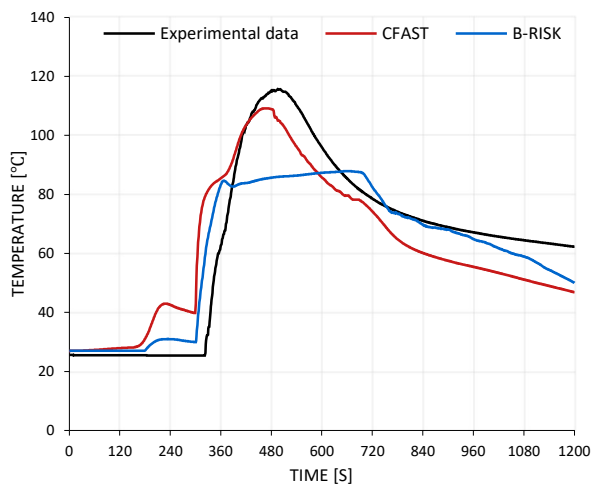
Figuur 7 - Isometrie (draadmodel in 3D) van de gesimuleerde situatie.

### **Simulatie resultaten en vergelijking met de referentiemetingen**

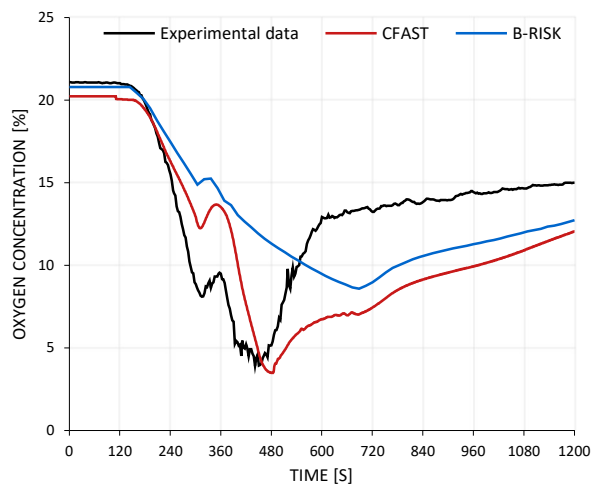
Zoals in het hoofdstuk referentiemetingen is aangegeven worden temperaturen en zuurstofconcentraties van de simulaties vergeleken met de experimentele data. Figures 8, 9, 10 en 11 geven die vergelijking grafisch weer.



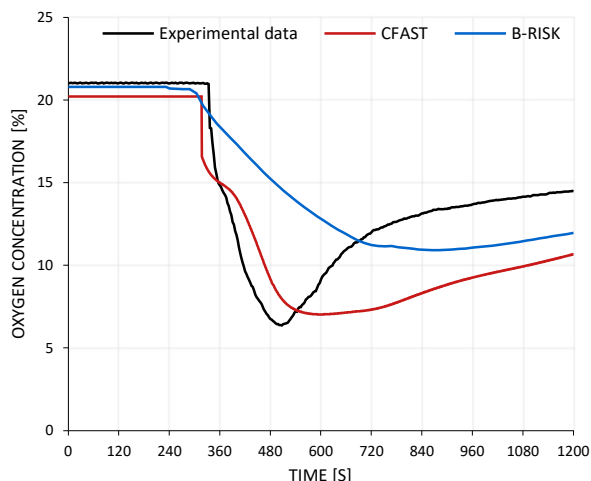
Figuur 8 - Temperatuur van de rooklaag (hete zone) in de woning waar de brand woedt.



Figuur 9 - Temperatuur van de rooklaag (hete zone) in de aansluitende corridor.



Figuur 10 - Zuurstofconcentratie in de rooklaag (hete zone) in de woning waar de brand woedt.



Figuur 11 - Zuurstofconcentratie in de rooklaag (hete zone) in de aansluitende corridor.

### Evaluatie

Uit figuur 8 wordt duidelijk dat CFAST en temperatuur in de brandruimte overschat ten opzichte van de metingen. B-RISK doet met een lager en vlakker temperatuurverloop vermoeden dat de brand al tijdens de brandontwikkeling zuurstofbeheerst raakt, dus gesmoord wordt. In de corridor blijft de gesimuleerde temperatuur van beide modellen onder de gemeten temperatuur. Dit zou verklaard kunnen worden uit het feit dat de corridor een lange ruimte is waarin de modellen de temperatuur van de hete zone homogeen veronderstellen, maar in het experiment die homogeniteit niet bereikt wordt, waardoor de plaats van de meetboom bepalend is voor de temperatuur van de hete zone.

In de figuren 10 en 11 is het verschil in zuurstofconcentraties waarneembaar. CFAST laat een curve zien die vergelijkbaar is met die van de experimentele data, maar wel met een tijdvertraging. B-RISK laat minder lage zuurstofconcentraties zien, het gevolg van de variabele LOL. Ook bij dit model is een duidelijk tijdvertraging aanwezig.

Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat beide modellen op het gebied van temperatuur dicht bij de experimentele data zitten. Op het gebied van zuurstofconcentratie vertoont CFAST de beste overeenkomst met de experimentele data.

Verder blijkt uit zowel de experimentele data als uit de simulatieresultaten dat de condities in de corridor snel nadat de deur van de brandruimte wordt geopend niet meer acceptabel zijn. Dat betekent dat vanaf dat moment evacuatie van de andere woningen via de corridor te risicovol is. Een stay-in-place concept zou minder risicovol kunnen zijn en ook goed passen in een woongebouw met minder mobiele bewoners. Uiteraard moeten de condities in de woningen buiten de brandende woning dan wel gedurende het totale brandscenario acceptabel blijven. In plaats van te toetsen of in de vluchtroute wordt voldaan aan  $ASET > RSET$  moet dan in de woningen worden getoetst aan  $ASET > brandduur$ .

### Simulatieresultaten in de gerenoveerde situatie

Wanneer dit referentiecomplex gerenoveerd wordt om voor minder mobiele bewoners geschikt te maken, gaat die renovatie tegenwoordig gepaard met energietransitie. Het wordt een energiezuinig gebouw met goed geïsoleerde en luchtdichte uitwendige scheidingsconstructies. Het spreekt vanzelf dat dan ook aandacht besteed moet worden aan de inwendige scheidingsconstructies. De luchtdoorlatendheid hiervan moet in tenminste dezelfde mate worden gereduceerd als van de uitwendige scheidingsconstructies. Wordt dat achterwege gelaten, dan neemt de snelheid van rookverspreiding in het gebouw als gevolg van brand toe.

Voor de luchtdoorlatendheid van een woning wordt een  $Q_{v;10}$ -waarde (volumestroom bij 10 Pa drukverschil) aangehouden van  $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ . Daarbij is een verhouding intern : extern =  $2,5 : 1$  aangehouden. Dat betekent dat bijzonder veel aandacht aan de luchtdichtheid van inwendige scheidingsconstructies moet worden besteed. Het simpelweg voldoen aan het Sa- of S200-criterium voor deuren is dus niet voldoende. Daarnaast blijken de volgende additionele maatregelen een belangrijke bijdrage aan persoonlijke veiligheid te leveren:

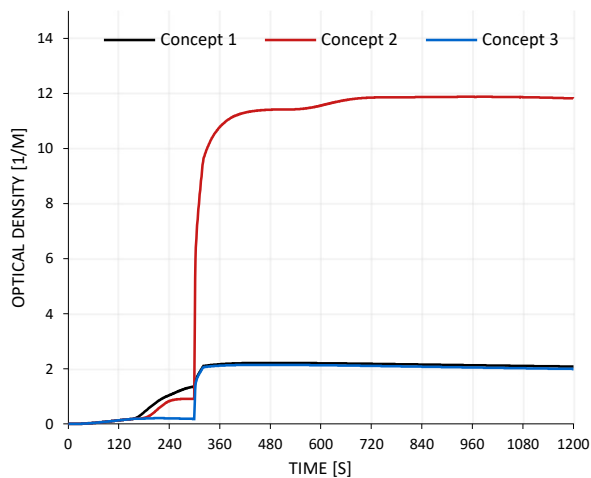
1. Toepassing van woningsprinkler
2. Toepassing van een drukontspanningsvoorziening in elke woning
3. Toepassing van woningsprinkler en drukontspanningsvoorziening (concept 1 + concept 2)

Het maatgevende criterium voor persoonlijke veiligheid blijkt de zichtlengte te zijn. Deze is met behulp van de multizone simulaties bepaald in de corridor en een aangrenzende woning. Uiteraard moet uit de brandende woning worden gevluht. De deur van de brandende woning naar de corridor gaat daarom na 5 minuten open en vervolgens na een halve minuut weer dicht. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 – Simulatieresultaten in de gerenoveerde situatie.

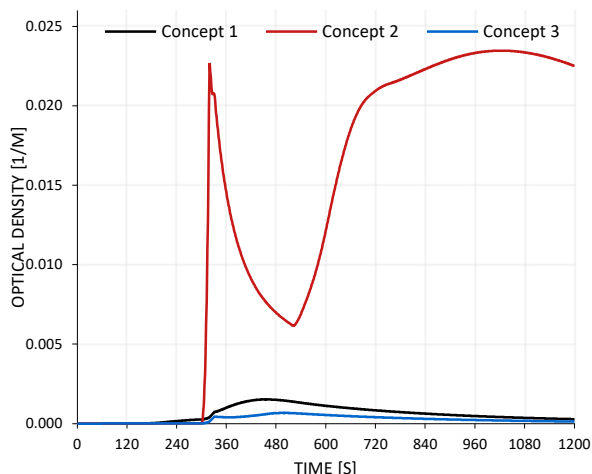
	Ruimte	Max temperatuur [°C]	Optische dichtheid [1/m]	Zichtlengte [m]	ASET [min]
Concept 1 woningenprinkler	Appartement 1.18	-	0.002	> 100	> Brandduur
	Corridor 1.29	36,2	2.21	0.45	2.7
Concept 2 drukontspanning	Appartement 1.18	-	0.023	56	> Brandduur
	Corridor 1.29	79,2	11.87	0.08	3.0
Concept 3 woningenprinkler en drukontspanning	Appartement 1.18	-	0.001	> 100	> Brandduur
	Corridor 1.29	37,1	2.14	0.47	3.3

In de figuren 12 en 13 is de optische dichtheid in corridor en in een aangrenzende woning (appartement 1.18) in de tijd weergegeven. In figuur 12 is goed de invloed te zien van het openen van de deur van de brandende woning.



Figuur 12 – Optische dichtheid ten gevolge van een brand in een woning in de aansluitende corridor.





Figuur 13 – Optische dichtheid ten gevolge van een brand in een woning in een aangrenzende woning.

### Conclusie

Uit tabel 2 blijkt dat in de gerenoveerde situatie de vluchtroute via de corridor al snel niet meer bruikbaar is. Al voordat de deur van de brandende woning wordt geopend zijn de condities voor vluchten in de corridor niet meer veilig, ondanks de aandacht voor lucht- en rookdichting van inwendige scheidingsconstructies.

Het stay-in-place concept lijkt veelbelovender. In een aangrenzende woning blijven de condities acceptabel gedurende het totale brandscenario. Hierbij moet worden opgemerkt dat de toetscriteria weliswaar passen bij een veilig verblijf, maar dat neemt niet weg dat door de bewoners toch rook waargenomen kan worden. De vraag daarbij is hoe zij daarop reageren, met andere woorden of ze in hun woning blijven of toch de drang voelen om te gaan vluchten. Met name de woningsprinkler levert dan voordeel op, omdat daarmee de optische dichtheid in een aangrenzende woning sterk wordt gereduceerd.

Het stay-in-place concept lijkt hiermee een robuust concept voor de toekomst, zeker in geval bewoners minder mobiel zijn. Enige nuance moet hierin wel betracht worden: de luchtdichtheid van inwendige scheidingsconstructies die aangehouden is, moet voor de huidige bouwpraktijk als utopisch goed worden beschouwd. Met name bij boven elkaar gelegen woningen is een dergelijke luchtdichtheid moeilijk realiseerbaar, als gevolg van lucht lekkage via schachten, doorvoeringen en gevelaansluiting. Op dit vlak valt er bouwkundig nog veel te verbeteren!

## Referenties

- [1] Hagen, R.R., Witloks, L. (2016) – *The basis for fire safety* – IFV / Fire Service Academy, Arnhem
- [2] Hazebroek, H., De Witte, L. (2020) – *Rookverspreiding in woongebouwen, Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met inpandige gangen* – IFV / Brandweeracademie, Arnhem
- [3] Peacock, M.N., McGrattan, K.B., Forney, G.P., Reneke, P.A. (2019) – *CFAST Consolidated Fire and Smoke Transport, technical reference guide* – NIST, U.S. Department of Commerce
- [4] Wade, C., Baker, G., Frank, K., & Harri, R. (2016) - *B-RISK 2016 user guide and technical manual*. New Zealand: BRANZ.
- [5] BBRAD (2013) - *General recommendations on the analytical design of a building's fire protection* – Swedish National Board of Housing, Building and Planning, BFS 2013
- [6] Jones, W., Peacock, R., Forney, G., & Reneke, P. (2004) - *Verification and Validation of CFAST, A Model of Fire Growth and Smoke Spread*.
- [7] Van Herpen, R.A.P., Van den Ham, A. (2019) – *Lucht- en rookdoorlatendheidsonderzoek Schuylenburcht Oudewater* – Nieman R.I. Utrecht, 20190565