

RAPPORT

Invulling rookwerendheid volgens NEN 6075 met sprinkler en ventilatie

Onderzoeksrapportage

Klant: VSI Verenigde Sprinkler Industrie

Referentie: BI6166-RHD-XX-ZZ-RP-FC-0001

Status: Definitief/03

Datum: 12 oktober 2023

Dit rapport kan gebruikt worden als achtergronddocument en ter onderbouwing van de invulling van rookwerendheid volgens NEN6075 in gebouwen die beveiligd zijn met een sprinklerinstallatie wanneer de situatie voldoet aan het toepassingsgebied en randvoorwaarden van dit onderzoek.

George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Netherlands
Industry & Buildings

+31 88 348 90 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Invulling rookwerendheid volgens NEN 6075 met sprinkler en ventilatie

Sub titel: Onderzoeksrapportage
Referentie: BI6166-RHD-XX-ZZ-RP-FC-0001
Status: 03/Definitief
Datum: 12 oktober 2023
Projectnaam: Onderzoek sprinkler NEN6075
Projectnummer: BI6166
Auteur(s): Mirre Veerman, Peter Boll

Opgesteld door: Mirre Veerman

Gecontroleerd door: Peter Boll, Daan Jansen

Datum: 12 oktober 2023

Classificatie

Open

Informatie en data uit dit document mag met verwijzing gebruikt worden ter onderbouwing van de rookwerendheid volgens de NEN 6075 indien voldaan wordt aan het toepassingsgebied en randvoorwaarden van dit onderzoek. Projectsamenstellers moeten door bevoegd gezag beoordeeld worden of voldaan wordt aan de eisen van NEN6075 en/ of er sprake is van gelijkwaardigheid. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Probleemanalyse	7
1.2	Doelstelling	7
2	Onderzoeksmethode	9
2.1	Beschrijving van de casus	9
2.2	Softwarepakket modellering	11
3	Uitgangspunten voor het onderzoek	14
3.1	Bouwkundig	14
3.2	Ventilatie	17
3.3	Brandhaard	18
3.4	Sprinkler	21
3.5	Omgeving	22
3.6	Toetsingscriteria	22
4	Analyse resultaten haalbaarheidsstudie	23
4.1	Onderzochte varianten voor de haalbaarheidsstudie	23
4.2	Afwijkende variabelen haalbaarheidsstudie	23
4.3	Vergelijk drukverschil haalbaarheidsstudie en VIPA-studies	24
4.4	Deelconclusie haalbaarheidsstudie	24
5	Variabelen gevoeligheidsanalyse en variantenstudie	26
5.1	Oppervlakte ruimte	26
5.2	Hoogte van de ruimte	27
5.3	Brandgroeisnelheid	27
5.4	Type brandbaar materiaal/ soot yield	28
5.5	Windinvloeden	29
5.6	Minimaal vereiste ventilatiecapaciteit	30
5.7	Lekdichtheid	30
5.8	Brandlocatie	31
5.9	Overzicht resultaten	31
5.10	Deelconclusie gevoeligheidsanalyse en variantenstudie	33
6	Conclusie en discussie	35
6.1	Discussie en aanbevelingen	35

Bijlagen

Zie voor de bijlage het bijlagenboek

- A1 Achtergrondwaarden NEN6075 en VIPA-studie
- A2 Resultaten Modellen haalbaarheidsstudie
- A3 Resultaten Modellen G1: Oppervlakte ruimten
- A4 Resultaten Modellen G2: Hoogte ruimte
- A5 Resultaten Modellen G3: Brandgroeisnelheid
- A6 Resultaten Modellen G4: Type brandhaard
- A7 Resultaten Modellen G5: Windinvloeden
- A8 Resultaten Modellen G6: Minimale ventilatie
- A9 Resultaten Modellen G7: Lekverliezen
- A10 Resultaten Modellen G8: Locatie brandhaard
- A11 Vergelijking resultaten gevoeligheidsstudies

Managementsamenvatting

Sinds juli 2021 zijn de Nederlandse eisen voor rookcompartimenten aangescherpt. Dit rapport bevat de uitkomsten van een onderzoek naar het gebruik van sprinklers als een mogelijk alternatief voor het invullen van de eisen met betrekking tot rookwerendheid.

Om de rookwerendheid te borgen moet voldaan worden aan de NEN 6075¹. Deze norm beschrijft de methode voor de bepaling van de weerstand tegen rookdoorgang tussen ruimten in bouwwerken. De NEN 6075 leidt in de praktijk tot de noodzaak om een reeks passieve en actieve brandveiligheidsvoorzieningen, zoals het aanbrengen van motorgestuurde brandkleppen in de luchtkanalen en kierdichtingen (vooral kritisch bij te openen delen) in rookscheidingen. In deze studie is onderzocht of, bij toepassing van een sprinklerinstallatie, op alternatieve wijze rookverspreiding voorkomen kan worden. Hierbij is gebruik gemaakt van de inzet van het reguliere ventilatiesysteem om luchtstromingen en drukverschillen te beheersen.

Het toepassen van de NEN 6075 heeft met name veel invloed op gebouwen waar veel brandscheidingen zijn vereist. Vooral in gebouwen waar beschermde subbrandcompartimenten aanwezig zijn, omdat er sprake is van slaapverblijven (bijv. ziekenhuizen en hotels) heeft dit een grote gevolgen. Het onderzoek focust zich op dit type gebouwen.

Methode

In deze studie is onderzocht hoe de drukhiërarchie tussen aangrenzende ruimtes zich ontwikkelt en hoe rook zicht verspreidt naar aangrenzende ruimtes. Hierbij is uitgegaan van een brandhaard die door een sprinkler wordt beheerst. De gevolgen van een brand in een ruimte bij het activeren van sprinklers zijn rekenkundig onderzocht. De sprinkler zorgt, door beheersing en koelen van de brandhaard en soms het blussen, voor een beperkte drukopbouw in de ruimte. Middels een sturing van het ventilatiesysteem, wordt rook afgevoerd. Om de betrouwbaarheid en de breedte van toepassing van de maatregelen te toetsen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de gevolgen van aantal varianties zijn onderzocht.

Resultaat

Uit het onderzoek blijkt dat met een sprinklerinstallatie en het afschakelen van de toevoerventilatie bij een automatische brandmelding, de motorgestuurde brandkleppen in ventilatiekanalen achterwege gelaten kunnen worden. Ook is het niet nodig de ruimte bouwkundig rookwerend uit te voeren cf. NEN 6075. Doordat de drukopbouw in de brandruimte wordt voorkomen en rookverspreiding door kieren niet of zeer beperkt plaatsvindt, blijkt dat in een gebouw met een sprinklerinstallatie effectief rookverspreiding naar andere vertrekken kan worden voorkomen. Hierbij blijft in geval van brand de afvoerventilatie behouden en de aanvoer wordt afgeschakeld. Op deze wijze kan voldaan worden aan de eisen zoals gesteld door de NEN 6075.

Toepassingsgebied

Op basis van de gevoeligheidsanalyse en variantenstudie, is vastgesteld onder welke omstandigheden de oplossing leidt tot het voorkomen van verspreiding van rook en wat daarmee het toepassingsgebied op basis van deze studie is.

- Bouwkundig
 - Het gebouw bestaat uit een gang, met aan weerszijde brandwerend gescheiden (slaap-)ruimtes. Deuren in de brandscheidingen zijn zelfsluitend. De scheiding is niet speciaal rookwerend

¹ Ten tijde van het opstellen van dit document was de NEN6075:2020 van toepassing en werd deze aangestuurd door het Bouwbesluit 2012.

afgewerkt conform NEN6075 en in deze scheidingen zijn geen brandkleppen aanwezig in de ventilatiekanalen.

- Er zijn brandkleppen met smeltlood aanwezig op de 60 minuten brandscheiding van het brandcompartiment in de ventilatiekanalen t.b.v. redundantie (2nd layer of defense).
- De aanwezig vuurbelasting is niet meer dan zich voor een hotel/ ziekenhuiskamer kenmerkend is.
- Brandbeveiligingsinstallaties
 - De slaapruidtes hebben een omvang waarbij maximaal 4 sprinklerkoppen vereist zijn onder het (verlaagde) plafond en een inwendige hoogte is maximaal 3,5 m (van vloer tot (verlaagd) plafond).
Hierbij wordt een ruimte met een maximale oppervlakte van ca. 47,6 m² bedoeld. Indien meer dan 4 sprinklers zijn vereist door een ongunstige vorm van de ruimte, is dit toegestaan mits de maximale oppervlakte als hiervoor benoemd, niet wordt overschreden.
 - Het gebouw is voorzien van een brandmeldinstallatie met volledige bewakingsvorm cf. NEN2535.
 - Het gebouw is beveiligd met een sprinklerinstallatie type Quick Response (QR) en de sprinklers hebben een activeringstemperatuur van 57 °C.
- Ventilatiesysteem
 - De (slaap)ruimtes zijn voorzien van balansventilatie en hebben ten miste een ventilatiecapaciteit van 100 m³/h².
 - In geval van brand wordt op basis van een automatische detectie de toevoer afgeschakeld.
- De invulling is ten minste toepasbaar voor gebouwen die qua hoogste verblijfsvoer binnen het Bouwbesluit 2012 vallen.

² Het debiet van 100 m³/h geldt voor een ruimte van 21,7 m². Bij een ruimte met een andere oppervlakte, verandert het minimale debiet mee naar rato van oppervlakte.

1 Inleiding

Door Royal HaskoningDHV is onderzoek verricht naar de mogelijkheid om rookwerendheid cf. NEN 6075 te realiseren door de toepassing van sprinklerinstallaties i.c.m. het actief inzetten van de ventilatie-installatie. De onderzochte methode geeft een invulling van de voorgestelde fire safety engineering methode in zoals benoemd in Bijlage C van de norm.

1.1 Probleemanalyse

Bij een brand loopt de temperatuur in de brandruimte op door het ontstaan van hete gassen en de afgifte van warmte door straling en geleiding. Dit zorgt voor een oplopende druk in de brandruimte. Er ontstaat daardoor een overdruk in de ruimte ten opzichte van de omliggende ruimtes. Deze overdruk zorgt ervoor dat de rook zich kan verspreiden via de lekverliezen in de rookscheidingen naar andere, aangrenzende ruimtes.

De eisen aan rookwerendheid conform NEN 6075:2020 zijn sinds juli 2021 van kracht. De rookwerendheid is gebaseerd op een maximale rookdoorlatendheid (lekverlies) van de scheiding. De rookwerendheid voor scheidingen kent twee classificaties: warme rook (R200) en koude rook (Ra). Een onderdeel wat aan de eisen voor warme rook moet voldoen, moet ook voldoen aan de eisen van koude rook. Toegepaste constructies moeten voldoen aan Sa als ze in een scheiding van koude rook zijn toegepast en S200 als ze in een scheiding voor warme rook zijn toegepast.

De NEN 6075 stelt de volgende eisen:

- Koude rook: Er is maximaal lekverlies over een rookscheiding bij 20 °C bij een drukverschil van 10 en 25 Pa.
- Warme rook: Er is maximaal lekverlies over een rookscheiding bij 200 °C bij een drukverschil van 10, 25 en 50 Pa.

In de praktijk betekent dit dat bepaalde rookwerende scheidingen luchtdicht moeten zijn om te voldoen aan de vereiste rookwerendheid. Er zijn hierdoor aanvullende kitnaden, tochtstrippen, valdorpels en motor gestuurde brandkleppen vereist. De brandkleppen moeten motorgestuurd worden uitgevoerd omdat deze ook moeten sluiten bij de detectie van koude rook. Een sturing vanuit de brandmeldinstallatie of optische melder is daarbij vereist. Met name bij gebouwtypes waarbij veel brandscheidingen aanwezig moeten zijn, is de impact op het gebouw en de systemen groot. Dit geldt bijvoorbeeld bij de slaapverblijven in hotels en ziekenhuizen.

In bijlage A1 in het bijlagenboek, is achtergrondinformatie opgenomen van de NEN 6075 en het ontwikkelen van de druk in ruimtes en het drukverschil tussen ruimtes bij een gesprinklerde en een ongesprinklerde brand.

1.2 Doelstelling

Een sprinklerinstallatie beheerst de brand door de ontwikkeling en uitbreiding van brand te voorkomen. Dit zorgt er enerzijds voor dat de brand kleiner in omvang blijft omdat brandstof en brandhaard nat worden. Anderzijds zorgt het ervoor dat de temperatuur in de brandruimte niet hoog oploopt doordat het brandvermogen beperkt wordt en de omgeving gekoeld wordt. Het gevolg is dat de druk in de brandruimte niet hoog oploopt, in vergelijking met een ongesprinklerde brand. Door de (warme) rook die ontstaat weg te ventileren, zou een gelijke mate van veiligheid bereikt kunnen worden als bedoeld in de NEN 6075.

Het doel van de oplossing is daarmee:

Het voorkomen van rookverspreiding, met behulp van inzet sprinkler in combinatie met (afvoer)ventilatie om zo een invulling te geven aan de doelstelling van NEN 6075:2020.

Onderzoeksvragen

De NEN 6075 heeft als doel het voorkomen van verspreiding van rook. Voor de beoordeling van bouwproducten wordt dit gemeten aan de hand van maximaal lekverlies bij een specifieke temperatuur en drukverschil. Het kleinste drukverschil waarbij het lekverlies wordt bepaald is 10 Pa. Omdat het drukverschil de drijvende kracht achter de rookverspreiding is, is gekeken naar het drukverschil tussen de ruimtes. Ook is de berekende rookverspreiding beschouwd.

De beoordeling is gedaan op basis van de volgende onderzoeksvragen:

- Wordt rookverspreiding met behulp van sprinkler en ventilatie voorkomen?
 - Blijft het drukverschil beperkt tussen brandruimte en aangrenzende ruimte en gang?
 - Is de rookverspreiding naar de aangrenzende ruimte en gang voldoende laag?
- Welke randcondities zijn bepalend voor de betrouwbaarheid van het voorkomen van de rookverspreiding?

Bij het onderzoek is ook gekeken naar de noodzaak voor toepassen van bouwkundige rookscheidingen welke aan Ra en/of R200 moeten voldoen:

- Zijn er andere maatregelen die getroffen moeten worden volgens NEN 6075 die niet getroffen hoeven te worden in een gesprinklerd gebouw om te voldoen aan de eisen voor Ra en R200?

2 Onderzoeksmethode

Rekenkundig is voor deze studie onderzocht hoe een door sprinkler beheerste brand zich ontwikkelt, hoe de druk in de ruimte zich ontwikkelt ten opzichte van de andere ruimten, hoeveel rook er verspreidt door de scheidingen en de invloed van de ventilatie op de rookverspreiding.

Het onderzoek is opgebouwd uit twee delen:

- 1 **Haalbaarheidsstudie** om vast te stellen of door de inzet van sprinkler en ventilatie rookverspreiding effectief kan worden voorkomen.
- 2 **Gevoeligheidsanalyse en variantenstudie** om vast te stellen onder welke randvoorwaarden dit mogelijk is en om vast te stellen of dit in uiteenlopende situaties betrouwbaar is.

Ten behoeve van de haalbaarheidsstudie zijn verschillende modellen doorgerekend en zijn de resultaten geanalyseerd. Aan de hand van de resultaten is vastgesteld welke randvoorwaarden van belang zijn om rookverspreiding te voorkomen.

De gevoeligheidsanalyse en variantenstudie is uitgevoerd om de reikwijdte en de betrouwbaarheid vast te stellen van de oplossingsrichting. Bij deze studie wordt gevarieerd met parameters, die in de praktijk kunnen verschillen in uiteenlopende situaties.

Voor het onderzoek, wordt de rookverspreiding en drukopbouw berekend. Het rekenmodel moet het volgende kunnen berekenen:

- De brand- en rookontwikkeling.
- Activatie sprinkler en invloed waterdruppels op brand en rook.
- Invloed bouwkundige eigenschappen (materiaalopbouw wanden en lekverliezen bij variërende drukverschillen).
- Invloed ventilatie en sturing ventilatie van alle te modelleren ruimtes.

Voor de rekenkundige onderbouwing is gebruikt gemaakt van een zonemodel, welke is ontwikkeld om zowel een uitgebreid ventilatiesysteem te modelleren (1-zone model), als een brand te simuleren (2-zone model).

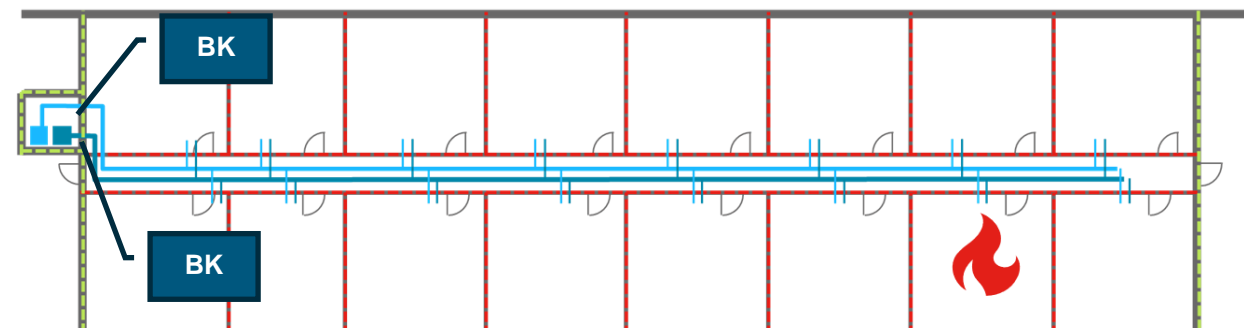
2.1 Beschrijving van de casus

Er wordt een karakteristieke plattegrond van een ziekenhuis of hotel met bijpassende installatietechnische uitgangspunten gebruikt. Het referentiegebouw betreft een representatieve weergave van een ziekenhuis, waarvan de gegevens gebruikt zijn ter bepaling van de uitgangspunten.

De onderzochte situatie is weergegeven in Figuur 2-1. Het betreft een verdieping met centrale gangstructuur met aan weerszijden slaapvertrekken. Het brandcompartiment betreft één vleugel van een verdieping. Binnen het brandcompartiment ligt een gang, en aan weerszijde 8 kamers. De kamers zijn beschermde subbrandcompartimenten. Daarom moeten de wanden een WBDBO van 30 minuten hebben. Op basis van de standaard voorschriften moeten deze scheidingen weerstand bieden tegen rook (R200 en Ra). In het onderzoek wordt onderzocht of deze eisen kunnen komen te vervallen.

De ventilatiekanalen zijn enkel op de scheiding van het brandcompartiment (ter plaatse van de schacht) voorzien van brandklep (BK) met smeltlood. In geval van een ontwikkelde brand of wanneer onverhoopt zich zeer warme rook door het ventilatiekanaal verspreidt naar een schacht of een ander

brandcompartimenten, wordt toch voorkomen dat dit ook leidt tot een onbeheerste situatie. Op deze wijze is een extra beveiligingsschil (2nd layer of defense) aanwezig.



Figuur 2-1 Plattegrond casus

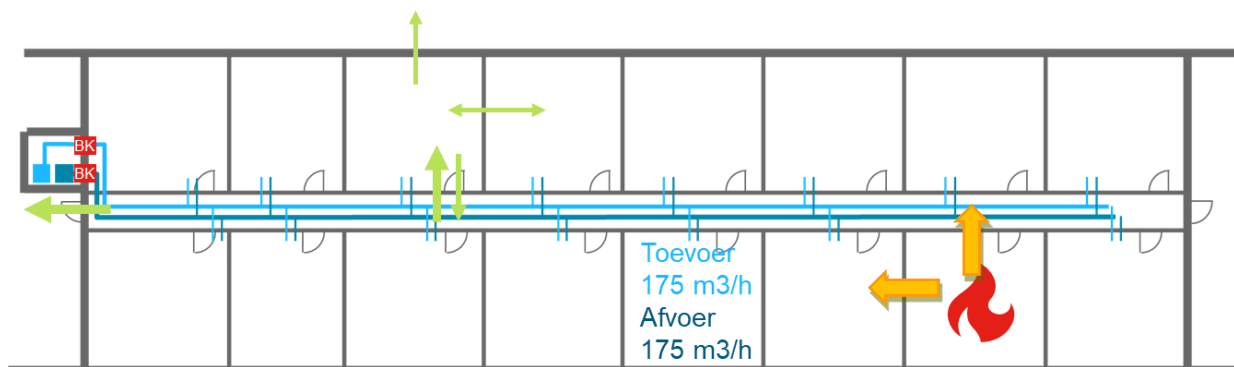
Het ventilatiesysteem is uitgevoerd als gebalanceerde ventilatie. Dat wil zeggen dat er even veel lucht de ruimte in geblazen wordt, als af wordt gezogen. In het onderzoek is in enkele varianten ook het effect van aanpassingen aan het ventilatiesysteem onderzocht.

Ook wordt ervan uitgegaan dat er een brandmeldinstallatie aanwezig is met volledige bewaking. Dit houdt in dat er automatische brandmelders aanwezig zijn in alle ruimtes.

2.1.1 Samenvattende uitgangspunten

In Figuur 2-2 zijn de uitgangspunten visueel samengevat. Hierbij geven de kleuren het volgende weer:

- **Grijs:** bouwkundige wanden
- **Lichtblauw:** ventilatietoevoer
- **Donkerblauw:** ventilatieafvoer
- **Groen:** lekverliezen (dikkere lijn is groter lekverlies)
- **Rood:** brand(klep) en rookverspreiding naburige ruimte
- **Oranje:** Met de pijlen zijn de beschouwde rookverspreidingstrajecten aangegeven.



Figuur 2-2 Schematische weergave uitgangspunten

2.1.2 Beschrijving van het scenario

De volgende gebeurtenissen vinden plaats waarbij de invloed van een aantal variaties is onderzocht:

- Er ontstaat een brand in een van de beddenkamers.
- Na (uiterlijk) één minuut activeert de automatische brandmelder in de brandruimte.
- De sprinkler activeert. Daardoor stopt de brandgroei.
- Na 15 minuten moet het brandcompartiment (of gebouw/ bouwdeel) ontruimd zijn. De simulatie stopt.

2.2 Softwarepakket modellering

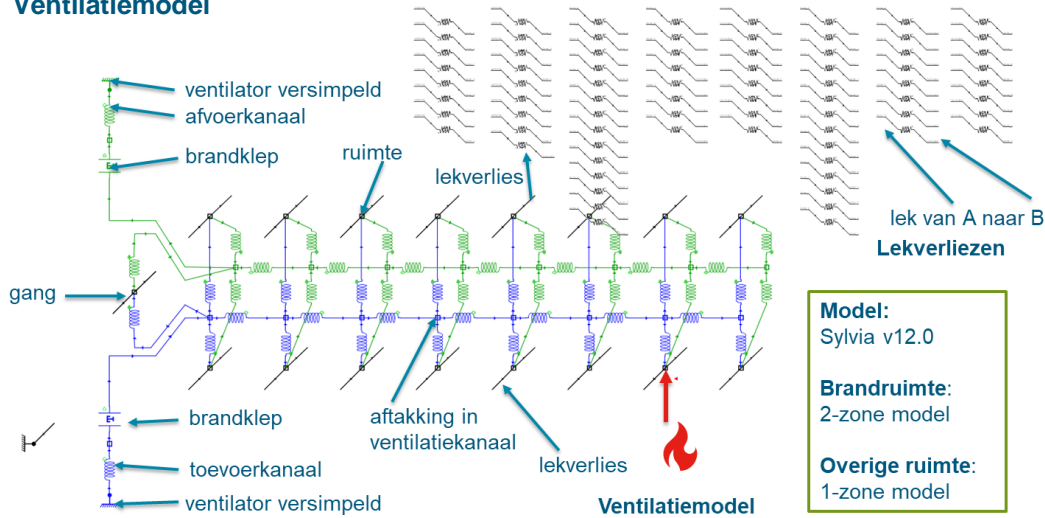
Voor het onderzoek wordt rekensoftware gebruikt waarbij een brandscenario in een gebouw gemodelleerd kan worden, in combinatie met het ventilatiesysteem en de lekverliezen tussen de omliggende ruimtes. De bouwkundige en installatietechnische randvoorwaarden zijn hierbij ingevoerd in het model. Ook is met het model de activatie van de sprinklerinstallatie in hetzelfde model berekend. De berekeningen zijn tijdsafhankelijk uitgevoerd.

Het gebruikte software betreft Sylvia v12, ontwikkeld door IRSN³. Het model is ontwikkeld voor de nucleaire industrie, waarbij drukhiërarchie, ventilatie, lekverliezen tussen ruimten, brand en verspreiding van rook en verspreiding van radioactieve stoffen belangrijke rollen spelen. Doordat deze software voor essentiële, nucleaire bedrijfsprocessen worden gebruikt, is het pakket uitgebreid gevalideerd voor de toepasbaarheid. Alle modules welke voor dit onderzoek van belang zijn, zijn gevalideerd en toepasbaar voor de situatie. De onderdelen en rekenmodules in Sylvia zijn gevalideerd met een live testen in de testopstelling van IRSN (zie paragraaf 2.2.1).

Het ventilatiemodel werkt met gekoppelde zones (1 zone per ruimte), luchtstroming, kanalsystemen en punten waar de druk in het systeem op die punten berekend wordt. In Figuur 2-3 is een schematische voorstelling van het gebruikte ventilatiemodel is weergegeven. Voor de ventilatie is in het gebruikte model een constante flow ingevoerd. In de modellen waar het ventilatie debiet wordt gevarieerd wordt de flow aangepast.

³ IRSN is het 'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire', de Franse tegenhanger van de ANVS (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming)

Ventilatiemodel



8

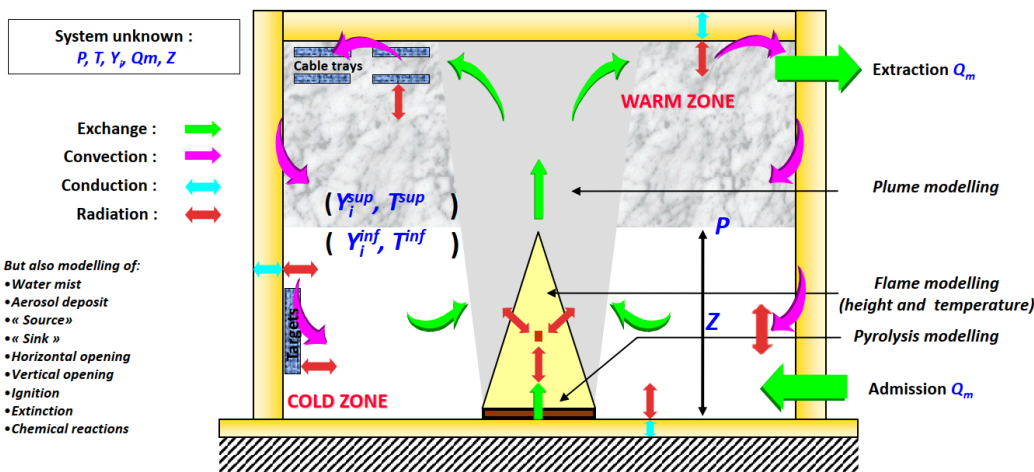
Figuur 2-3 systeemweergave van de casus in Sylvia

Voor de lekverliezen worden specifieke waarden gekozen voor het lekverlies bij specifiek drukverschil. Ook de drukexponent kan naar keuze ingevoerd worden. Met deze drukexponent wordt bij dynamische verandering van drukverschil, het werkelijke lekverlies berekend. Het lekverlies kan indien gewenst ook variabel ingesteld worden voor bijvoorbeeld een geopende deur die gedurende de simulatie wordt gesloten.

De brandruimte wordt gemodelleerd met een 2-zonemodel voor de ontwikkeling van de rooklaag, waarbij parameters temperatuur- en drukafhankelijk kunnen worden ingevoerd. Ook wordt warmtetransport door warmtebuffering in en warmtetransport door wanden en vloeren meegenomen. In Figuur 2-4 is schematisch het brandmodel weergegeven.

De grootte van de tijdstappen hangen af van de veranderingen in het model. Het rekenprogramma bepaalt iteratief op basis van de grenswaarden de tijdstap zodat een goede convergentie wordt bereikt.

Modelling



Figuur 2-4 Schematische weergave van het brandmodel (2-zone model)

2.2.1 Validatie softwarepakket

Vanwege de hoge mate van vereiste betrouwbaarheid van de software in de nucleaire wereld, zijn vele verificatie- en validatiestudies en tests door IRSN uitgevoerd om de software te valideren met de praktijk.

Op de volgende voor deze studie relevante onderdelen is Sylvia v12 gevalideerd:

- Validatie voor het modelleren van een brand met brandtesten aan de hand van NIST/NRC (International Fire Model Benchmarking and Validation Exercise voor softwarevalidatie).
- Validatie voor het modelleren van een brand met brandtesten van UL/NIST “Vent Experiments” voor capaciteit en effect van horizontale openingen in het plafond om rook en de laag hete gassen af te voeren en brandweeraanval.
- Stromingen door openingen vanuit een brandruimte bij verschillende afmetingen van openingen, brandgroottes en locaties van de brand (brandproeven “Steckler Compartment Experiments”).
- Rookverspreiding door deuren tussen brandruimte en aangrenzende ruimtes (Coopertests).
- Luchtstroming als gevolg van de brandhaard, gegenereerd door een verticale straal van licht gas.
- De invloed van wind op luchtstromen binnen vereenvoudigde configuraties die representatief zijn voor werkelijke systemen en bouwkundige randvoorwaarden.
- De invloed van wind op ventilatiesystemen.
- De invloed van sprinkler op een brand, brandverloop en rookontwikkeling (zie het artikel van W. Plumecocq et al.⁴).

⁴ Numerical method for determining water droplets size distributions of spray nozzles using a two-zone model, W. Plumecocq*, L. Audouin, J.P. Joret, H. Pretrel, d.d. 2017, Nuclear Engineering and Design

3 Uitgangspunten voor het onderzoek

Voor de berekening zijn diverse uitgangspunten aangehouden. In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten beschreven van de haalbaarheidsstudie.

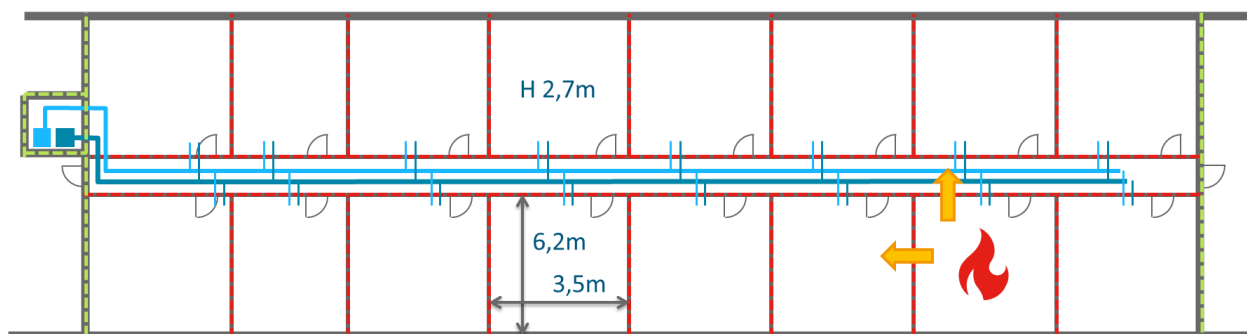
3.1 Bouwkundig

Bij het model wordt ervan uitgegaan dat de deuren gesloten zijn, omdat deuren in een inwendige brandscheiding voorzien moeten zijn van deurdranger. Bij een vrijloopdranger kan het tot 1 minuut na ontstaan van de brand duren voor de deur gesloten wordt (activering is afhankelijk van aanspreken brandmelder). Dit is bij een motorgestuurde brandklep (of andere componenten gestuurd bij brandmelding) vergelijkbaar. Daarom wordt ervan uitgegaan dat de nog kort openstaande deur geen invloed heeft op de resultaten of invulling aan de NEN 6075.

De slaapvertrekken zijn 3,5 meter breed, 6,2 meter diep en 2,7 meter hoog (inwendig). Zie een overzicht van de gestileerde plattegrond in Figuur 3-1.

Qua materiaal is voor de buitenwanden een geïsoleerde, steenachtige gevel aangenomen. De wanden tussen de gang en kamers en de tussenwanden tussen kamers worden met metastud/ gips uitgevoerd, zie Tabel 3-1.

De brandwerende wanden voldoen aan de eisen voor brandwerendheid maar zijn niet speciaal uitgevoerd om luchtdicht te zijn ten behoeve van de rookwerend op basis van rookdoorlatendheid.



Figuur 3-1 Schematische plattegrond

Tabel 3-1 Materiaaleigenschappen bouwkundig

	Lagen	Dikte [m]	Soortelijke dichtheid [kg/m ³]	Soortelijke warmte [J/kgK]	Warmtegeleidings- coëfficiënt [W/mK]	Emissiegraad [-]
Plafond	Gipsplaat	0,009	760	1250	0,2	0,75
	Luchtlaag	0,3	1,18	1,005	0,024	0,9
	Isolatie steenwol	0,1	160	0,04	840	0,95
	Beton	0,25	2100	880	1,37	0,9
Vloer	Beton	0,25	2100	880	1,37	0,9
	Isolatie steenwol	0,1	160	0,04	840	0,95

	Lagen	Dikte [m]	Soortelijke dichtheid [kg/m ³]	Soortelijke warmte [J/kgK]	Warmtegeleidings- coëfficiënt [W/mK]	Emissiegraad [-]
	Luchtlaag	0,3	1,18	1,005	0,024	0,9
	Gipsplaat	0,009	760	1250	0,2	0,75
Binnenwand	Gipsplaat	0,013	760	1250	0,2	0,75
	Isolatie steenwol	0,07	160	0,04	840	0,95
	Gipsplaat	0,013	760	1250	0,2	0,75
Gevel	Beton	0,2	2100	880	1,37	0,9
	Isolatie steenwol	0,15	160	0,04	840	0,95
	Staalplaat	0,003	7850	460	62	0,75

Algemeen: Eigenschappen bij 20 °C. Lagen van binnen de ruimte naar buiten (de ruimte)

Lekverliezen

Met het simulatiemodel worden de lekverliezen en daarmee de rookverspreiding naar omliggende vertrekken bepaald. Deze lekverliezen van de binnenwanden zijn aan de hand van de afmetingen van de wanden of deuren vastgesteld op basis van het SFPE Handbook⁵. De lekverliezen van de buitenwanden zijn vastgesteld aan de hand van de NPR6095-2⁶ zodat dit beter aansluit bij de in Nederland gebruikelijke bouwkwaliiteit.

- De buitenwanden hebben een muurdichtheid 'Dicht'. Dit omdat de basisconstructie steenachtig is en daarmee zeer luchtdicht is. Kieren en naden moeten daarnaast zijn afgewerkt om te voldoen aan de hedendaagse eisen voor luchtdichtheid.
- De binnenwanden hebben een muurdichtheid 'Average' of 'Gemiddeld' beschouwd omdat dit normale systeemwanden betreffen zonder luchtdichting.
- Bij wanden met deuren wordt een extra lekverlies beschouwd, cf. de uitgangspunten van het SFPE Handbook. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de draairichting van de deuren.

De gebruikte coëfficiënt (C-waarde) is 0,6 aangehouden en voor de drukexponent R is 1,5 (of 1/R = 0,67) aangehouden.

$$Q = C \times A_w \times P^{1/R}$$

Waarbij

Q = Lekverlies [m³/s]

C = C-waarde, afhankelijk van type lek [-]

A_w = Oppervlakte lekverlies [m²]

P = Drukverschil [Pa]

R = Drukexponent [-]

De wanden (verticale scheidingen) hebben veel meer lekverlies dan de vloeren en plafonds. Het referentiegebouw, welke in het onderzoek gebruikt is, heeft betonnen vloeren. Horizontale lekverliezen zijn met name aanwezig in de schachten. De schachten liggen in een ander (of gescheiden) brandcompartiment, welke niet meegenomen zijn in het onderzoeksmodel. De lekverliezen over de gemodelleerde vloeren wordt verwaarloosbaar klein geacht en zijn daarom niet meegenomen in het onderzoek.

⁵ SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th edition, SFPE

⁶ NPR6095-2:2012

Aan de hand van het oppervlak van een scheidend deel, kan het lekverlies onder een specifieke druk worden bepaald. De lekverliezen bij een drukverschil van 10 Pa zijn weergegeven in Tabel 3-2. In Figuur 3-2 is schematisch het lekverlies weergegeven voor de verschillende ruimtes die grenzen aan de gang weergegeven. In de gevoeligheidsanalyse en variantenstudie is onder andere het effect van veranderende lekverliezen onderzocht.

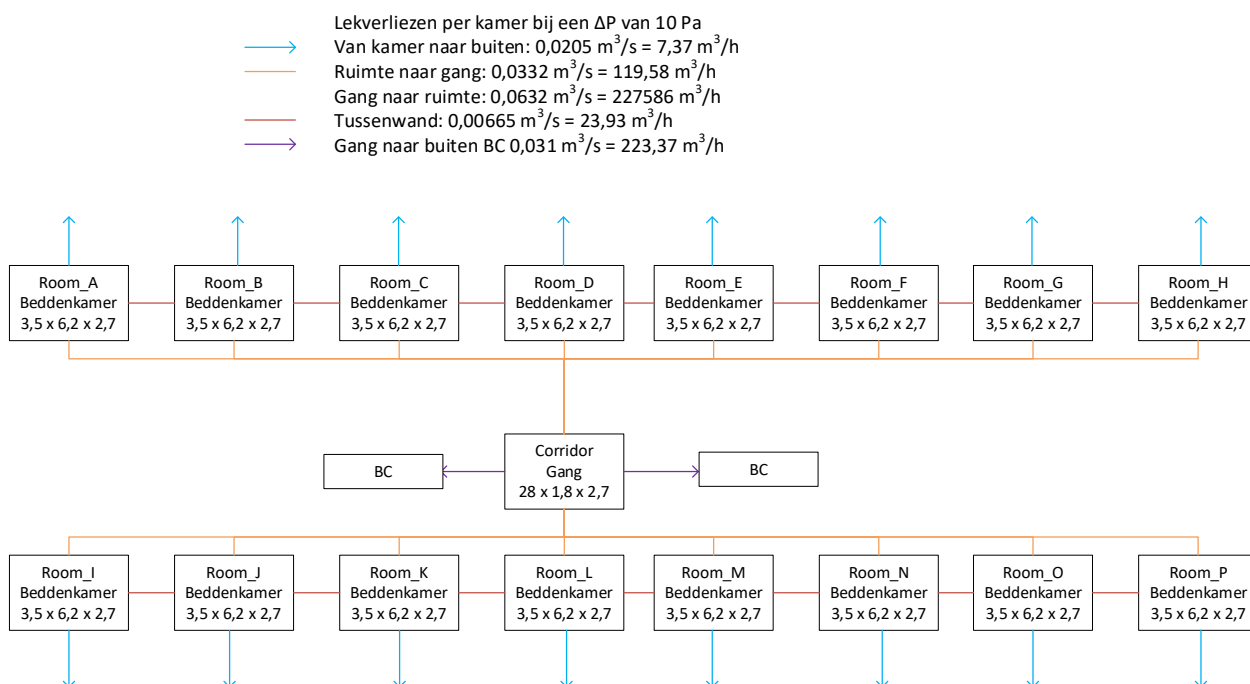
Tabel 3-2 Lekverliezen over wanden en deuren

Wand	Type	Oppervlakte [m ²]	Lekverlies per oppervlakte [m ² /m ²]	Oppervlakte lekverlies [m ²]	Lekverlies [m ³ /s]/ [m ³ /h]	Totaal [m ³ /h] ([m ³ /s])
Buitenwand (gevel kamer)	Wand	10,5	$7,0 \times 10^{-5}$	$7,35 \times 10^4$	$2,05 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	7,37 (2,05 x 10⁻³)
Wand van ruimte naar gang	Wand	10,5	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-3}$	$3,22 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	119,58 (3,32 x 10⁻²)
	Deur	-	-		0,03 m ³ /h	
Wand van gang naar ruimte	Wand	10,5	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-3}$	$3,22 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	227,58 (6,32 x 10⁻³)
	Deur	-	-		0,06 m ³ /h	
Tussenwand	Wand	21,7	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,39 \times 10^{-3}$	$6,65 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	23,93 (6,65 x 10⁻³)
Wand naar buiten BC	Wand	5,25	$7,0 \times 10^{-3}$	$3,69 \times 10^{-4}$	$1,02 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	223,37 (3,10 x 10⁻²)
	Deur				0,06 m ³ /h	

De (totale) lekverliezen zijn in deze tabel bepaald voor een drukverschil van 10 Pa.

Voor berekenen lekverliezen gelden de volgende constanten:

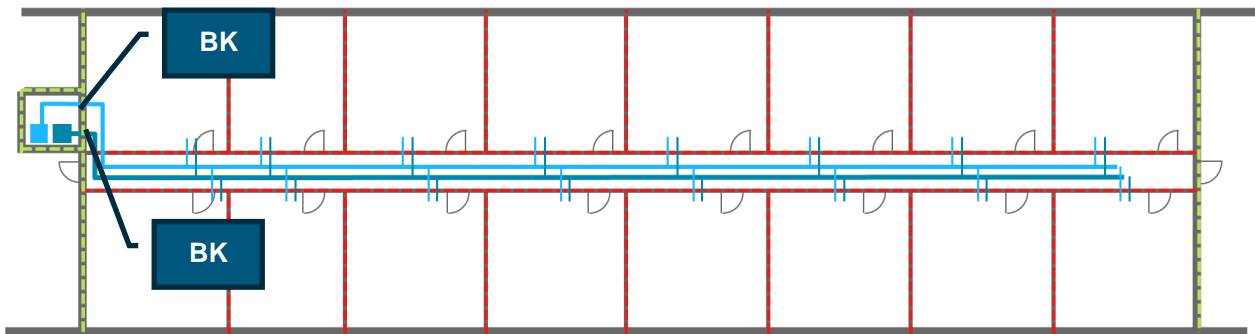
- C-waarde: 0,6
- Drukexponent: 0,67 (1/1,5)



Figuur 3-2 Lekverliezen over wanden bij een drukverschil van 10 Pa

3.2 Ventilatie

Iedere kamer en de gang is voorzien van mechanische toevoer en afvoer. Er zijn op de scheiding van de kamers geen brandkleppen voorzien in de 30 minuten brandwerende wanden. Er zijn wel brandkleppen met smeltlood (BK) voorzien op de 60 min WBDBO-scheiding. Zie ter illustratie Figuur 3-3.

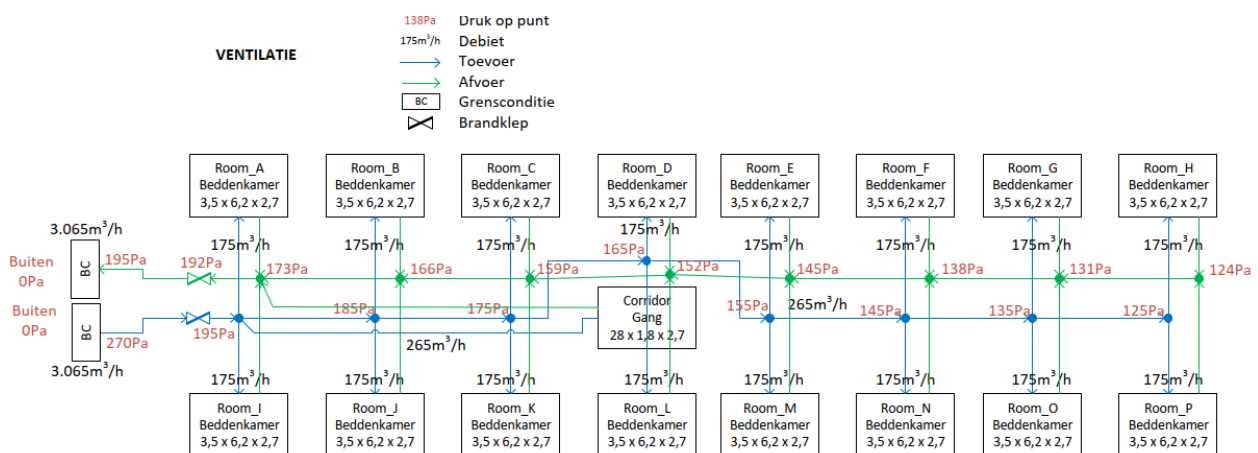


Figuur 3-3 Verloop ventilatiesysteem

Voor de specificatie van het ventilatiesysteem zijn gegevens van een referentieproject gebruikt voor de opbouw van het systeem, de capaciteit van het systeem en het drukverloop in het systeem. Het systeemontwerp is grafisch weergegeven in Figuur 3-4. De waarden zijn verkregen uit een VABI-berekening. VABI is een softwarepakket waarmee een installatieconcept voor een gebouw ontworpen kan worden.

Per kamer is een ventilatiecapaciteit van 175 m³/h aanwezig. De ventilatie is hierin geheel in balans. Binnen de haalbaarheidsstudie wordt geëxperimenteerd met varianten waarbij het effect is onderzocht van:

- Variant 1: Behouden van de capaciteit van aanvoer- en afvoerventilatie.
- Variant 2: Verhogen van de afvoerventilatie en het gelijktijdig verlagen van de toevoerventilatie.
- Variant 3: Volledig afschakelen van de toevoerventilatie en behouden van de capaciteit van de afvoerventilatie.



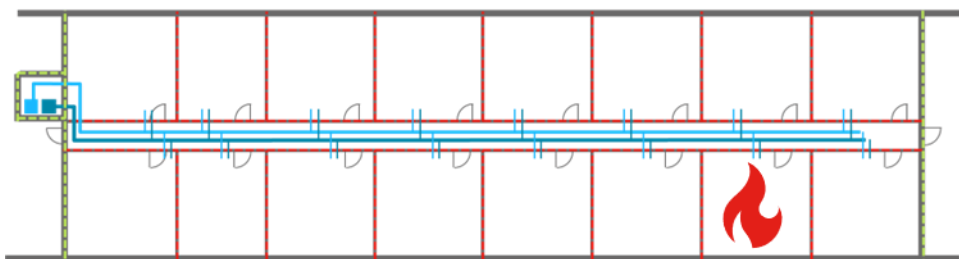
Figuur 3-4 Gegevens uit VABI-berekening bestaand ventilatiesysteem van een beddenhuis van een nieuwbouwproject

In het rekenmodel van Sylvia wordt de aan- en afvoercapaciteit vanuit de schacht ingevoerd met de verdeling naar de kamers. Aan de hand van het weerstandenmodel (zie Figuur 2-3) en de optredende drukken tijdens de ontwikkeling van de brand, worden de ventilatiehoeveelheden door Sylvia bepaald.

3.3 Brandhaard

De brandhaard bevindt zich in één van de ruimtes. De gekozen ruimte is een van de ‘tussenruimtes’ omdat hierbij de rook naar alle direct aangrenzende ruimtes kan verspreiden en omdat voor de ventilatie de ruimte zo ver mogelijk van de schacht ligt. Ook zijn aan weerszijde kamers aanwezig zodat rookverspreiding via de kanalen naar beide aangrenzende kamers kan worden onderzocht, zie Figuur 3-5. In de variantenstudie is het effect van het verplaatsen van de brandlocatie onderzocht.

De brand zal ontwikkelen in afmeting en brandvermogen tot activatie van de sprinkler. Er wordt geen branduitbreiding naar aangrenzende ruimte in het model verondersteld als gevolg van brandwerend uitgevoerde slaapvertrekken en aanwezigheid van sprinkler.



Figuur 3-5 Brandruimte in de plattegrond

Voor de brandgroei is t^2 , snelheid ‘matig’ volgens NEN-EN 1991-1-2 aangenomen. Dit is passend voor een ziekenhuis of hotel. Voor de maximum brandvermogensdichtheid wordt 250 kW/m² aangehouden. Deze waarden gelden voor de meeste gebruiksfuncties (zie Figuur 3-6).

Maximumbrandvermogensdichtheid RHR_t				
Gebruik	Snelheid van de brandontwikkeling	t_a , in s	RHR_t , in kW/m ²	
Woning	Matig	300	250	
Ziekenhuis (kamer)	Matig	300	250	
Hotel (kamer)	Matig	300	250	
Bibliotheek	Snel	150	500	
Kantoor	Matig	300	250	
Klaslokaal in een school	Matig	300	250	
Winkelcentrum	Snel	150	250	
Theater (bioscoop)	Snel	150	500	
Vervoer (openbare ruimte)	Langzaam	600	250	

Figuur 3-6 Brandontwikkelingssnelheid en maximumbrandvermogensdichtheid voor verschillende gebruiksfuncties (bron: NEN-EN 1991-1-2)

3.3.1 Bepaling vermogensontwikkeling gesprinklerde brand

Het gebouw is beveiligd met een sprinklerinstallatie. De sprinklerinstallatie zorgt voor het beheersen van de brand. De brandgroei stopt bij activatie van de sprinkler en blijft daarna stabiel, zie Figuur 3-7. Dit is

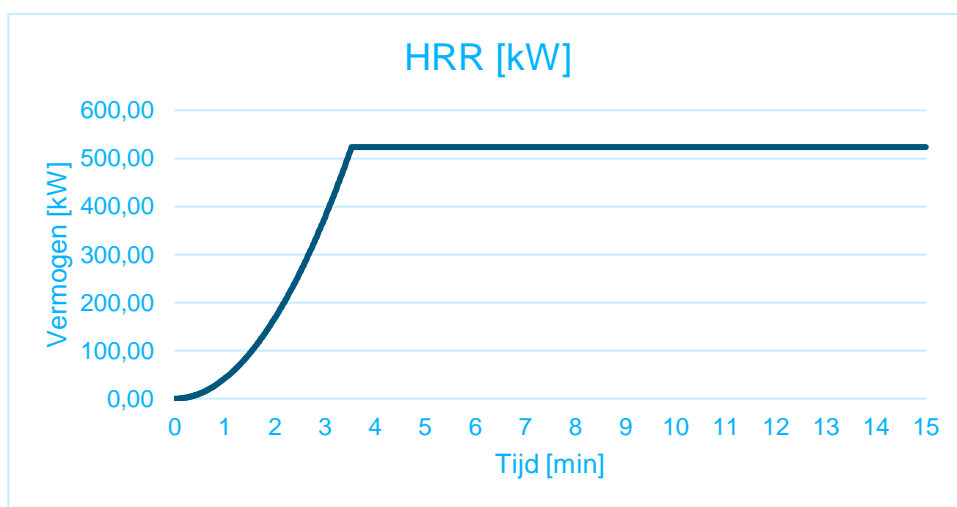
een conservatieve aanname, omdat na activeren van de sprinkler veelal het brandvermogen afneemt doordat de brandstof en atmosfeer vochtig wordt. Voor het bepalen van het moment waarop de ontwikkeling van de brandhaard stopt zijn voor de sprinkler de volgende gegevens gebruikt in het DETACT-T2 model (zie verdere toelichting):

- Activatietemperatuur 68°C;
- Warmtegevoeligheidsklasse (RTI): snel/ quick response (<50);
- K-factor: 80.

Voor het bepalen van de activering van de sprinklerkop, zijn voorgenoemde gegevens gebruikt ter bepaling van de brandkromme. Het moment van activeren sprinkler is berekend met een applicatie 'DETECT-T2', ontwikkeld door NIST.

Hieruit komt een brandgroeisnelheid van 11,72 W/s² en activatie van de sprinkler na 212 seconde (3:32 minuut) en een maximale warmteafgifte (HRR) van 524 kW. Bij deze DETACT-T2 berekening wordt rekening gehouden met de warmtegevoeligheidsklasse van de sprinklerkop (RTI). Daardoor activeert de sprinkler niet direct bij 68°C, maar is er enige vertraging van activatie. Deze vertraging is de tijd dat de sprinklerkop 68 °moet worden verwarmd om te activeren.

De totale warmteafgifte op het moment van activeren van de sprinkler bedraagt 524 kW. Bij een maximum brandvermogensdichtheid van 250 kW/m², betekent dit een brand met een maximale omvang van 2,1 m². Uitgaande van een ronde brandhaard betekent dit een straal van 0,82 m.



Figuur 3-7 Ontwikkeling van het brandvermogen tot het moment van activatie van de sprinkler.

Het hiervoor beschreven brandscenario wordt bij alle modellen in midden van de ruimte verondersteld. Voor alle simulaties wordt deze brandkromme gebruikt. Voor de haalbaarheidsstudie is ook gevarieerd in de aanspreektemperatuur van de sprinklerkoppen. Bij de scenario's met een sprinklerkop die geactiveerd wordt bij 57°C is ook bovenstaande vermogenscurve gebruikt. Dit leidt tot een conservatief resultaat omdat de activatie bij deze sprinklerkop met een lagere temperatuurklasse sneller verloopt waardoor de brandhaard eerder wordt beheerst.

3.3.2 Rookproductie

Volgens de BRANZ studie⁷ is de soot yield van een woningbrand waarmee gerekend dient te worden 0,07 g/g. Hierbij moet opgemerkt worden dat bij een gekozen waarde van 0,05 g/g de rekenresultaten het dichtst bij de metingen van brandproeven kwamen wat betreft rookdichtheid. De soot yield is voor een brand met bouwmaterialen en inboedel.

Voor de berekening is het advies vanuit IRSN om een ongunstig materiaal te selecteren in het model en de waarden (van de rookproductie), zoals soot yield niet aan te passen. Als ongunstig materiaal wordt gekozen voor benzeen. Dit materiaal produceert zeer veel rook; de soot yield is 0,181 g/g. Door de ongunstig gekozen waarde, wordt de soot yield niet aangepast bij activatie sprinkler. Zie ter illustratie ook onderstaande foto. De rookproductie wordt hiermee aanzienlijk overschat in de uitgevoerde berekeningen.



Figuur 3-8 Foto's van branden. Links benzeenbrand (kunststof) en rechts een houtbrand (koolstof)

Ter vergelijking van rookproductie en kleur van de rook, zijn verschillende materialen met elkaar vergeleken. Zie bovenstaande figuur twee type branden en Tabel 3-3 voor diverse andere soorten branden/ brandstoffen.

Tabel 3-3 Data diverse materialen, soot yield en kleur rook

Materiaal	Soot yield [g/g]	Kleur rook
Benzeen	0,181	Zwart
Electricische kabels	0,136	Wit/ grijs
Hout	0,015	Bruinig
Koolwaterstof	0,019	Zwart
Papier	0,001	Wit
PE	0,060	Zwart
Polyester	0,091	Grijs
PVC	0,172	Zwart
Rubber	0,078	Zwart

⁷ Study Report No. 185: Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies, A.P. Robbins and C.A. Wade, BRANZ 2008

De brandkromme i.c.m. de rookproductie kan op den duur zorgen voor een zuurstofbeheerste brand. Er is dan te weinig zuurstof aanwezig om de brand nog volledig cf. de ontwerp-kromme te laten branden. Deze 'zuurstofbehoefte' is materiaalspecifiek. De benzeenbrand zal gaan smoren als er minder dan 12% zuurstof aanwezig is bij normale druk (atmosferisch) en temperatuur (20 °C). Alle karakteristieke waarde van de benzeenbrand zijn verkregen uit het SFPE Handbook, 5^e druk.

3.4 Sprinkler

Deze paragraaf bevat uitgangspunten van de sprinkler, gebruikt voor invoer in Sylvia. Ook is een onderbouwing gegeven over hoe Sylvia de activatietemperatuur van een sprinklerinstallatie berekend en dit goed bruikbaar is voor een praktijksituatie.

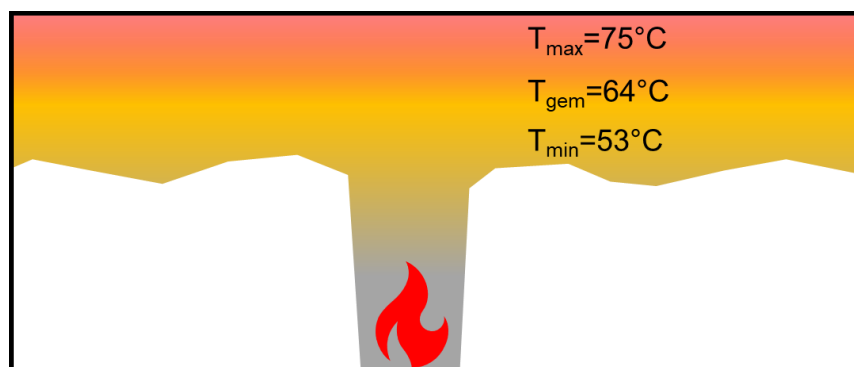
Voor het bepalen van de ontwerpbrandhaard, is de activatietijd van de sprinkler berekend met DETACT-T2, zie paragraaf 3.3. In Sylvia is echter ook de activatie van de sprinkler meegenomen. De activatietijd van de sprinkler in het model, wordt door Sylvia zelf berekend aan de hand van de temperatuur van de warme rooklaag. Voor activatietijd sprinkler is dus **geen** gebruik gemaakt van DETACT-T2.

Er worden een aantal sprinklertypen gebruikt t.b.v. de haalbaarheidsstudie:

- 1 68 °C, 5 mm/min, K80, RTI ≤ 50 (quick response)
- 2 57 °C, 5 mm/min, K80, RTI ≤ 50 (quick response)

Sylvia berekent de activatie van de sprinkler op basis van de rooklaagtemperatuur. Doordat het gaat om een 2-zonemodel, is wordt een uniforme rooklaag verondersteld. In de praktijk moet daarbij een sprinklerkop een bepaalde tijd verwarmd worden boven de activatietemperatuur van de sprinkler voor het glaasje barst. Dit wordt uitgedrukt met de response time index of RTI. Ook bevindt de sprinklerkop zich dicht bij het plafond.

Uit diverse livetesten (zoals de VIPA-studies proef 4bis) en CFD-studies, blijkt dat het temperatuurverschil tussen het midden van de rooklaag en boven in de rooklaag (waar de sprinkler zich bevindt) 10 tot 15 °C kan bedragen. Ook blijkt uit deze data dat de temperatuur ter plaatse van de sprinklerkop al ca. 20 seconde hoger is dan de activatietemperatuur van de sprinkler op het moment dat de gemiddelde rooklaagtemperatuur de activatietemperatuur van de sprinkler heeft bereikt. Deze tijd van 20 seconde *vertraging* komt overeen met de RTI van een quick response sprinkler. Bij de VIPA testen waren de sprinklerkoppen op enige afstand van het plafond geprojecteerd waardoor de activatie langer op zich laat wachten.



Figuur 3-9 Temperatuurgradiënt warme rooklaag

3.5 Omgeving

De berekeningen worden uitgevoerd met een starttemperatuur (binnen en buiten) van 20 °C.

Er wordt geen wind beschouwd in deze haalbaarheidsstudie. In de gevoeligheidsanalyse en variantenstudie is wel de invloed van wind onderzocht.

3.6 Toetsingscriteria

Er zijn een aantal criteria die getoetst worden om te bepalen of rookverspreiding wordt voorkomen met de onderzochte maatregelen.

- Er geldt een **maximaal drukverschil van 10 Pa** tussen brandruimte en aangrenzende ruimte/gang. Het drukverschil is de drijvende kracht achter de rookverspreiding. Voor de bepaling van de lekverliezen van bouwproducten volgens NEN 6075 geldt deze 10 Pa als de minimale druk waarbij de producten getest moeten worden.

De norm is echter in het leven geroepen om rookverspreiding tegen te gaan, waarbij als testmethode 'lekverlies bij een bepaald drukverschil' is. Feitelijk is deze eis gesteld om rookverspreiding tegen te gaan (en niet voorkomen van drukverschil). Daarom zijn de volgende criteria ook van toepassing gesteld:

- Rook verspreid zich niet naar een andere kamer of de gang binnen 15 minuten (doel NEN 6075).
 - Dit houdt een maximale meetwaarde in van $2,0 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$ ^{8,9}.
- De temperatuur van de rooklaag is maximaal dan 200 °C zodat voorkomen wordt dat bouwproducten of systemen bezwijken.

⁸ SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th edition, SFPE

⁹ NEN 6098:2012 Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeergarages.

4 Analyse resultaten haalbaarheidsstudie

4.1 Onderzochte varianten voor de haalbaarheidsstudie

Ten behoeve van het bepalen van de haalbaarheid van het voorkomen van verspreiding van rook is de werking van de sprinkler en ventilatie onderzocht. Hierbij is zowel gekeken naar de variatie in de sturing van de ventilatie als de activeringstemperatuur van de sprinklerinstallatie. De modellen zijn als volgt gekarakteriseerd:

- De sprinkler heeft een activatietemperatuur van 68 °C.
 - (model H2): De toe- en afvoerventilatie blijven doordraaien in de reguliere stand.
 - (model H3): De toe- en afvoerventilatie worden in onbalans gebracht, waarbij er meer lucht wordt afgevoerd dan toegevoerd.
 - (model H4): De toevoerventilatie wordt afgeschakeld. De afvoerventilatie blijft doordraaien in de reguliere stand.
- De sprinkler heeft een activatietemperatuur van 57 °C.
 - (model H5): De toe- en afvoerventilatie blijven doordraaien in de reguliere stand.
 - (model H6): De toe- en afvoerventilatie worden in onbalans gebracht, waarbij er meer lucht wordt afgevoerd dan toegevoerd.
 - (model H7): De toevoerventilatie wordt afgeschakeld. De afvoerventilatie blijft doordraaien in de reguliere stand.

In bijlage A2 zijn de resultaten van de modellen weergegeven. In dit hoofdstuk wordt enkel een samenvatting gegeven van de resultaten.

4.2 Afwijkende variabelen haalbaarheidsstudie

De drukverschillen zijn gemeten tussen brandruimte en aangrenzende ruimten (gang en aangrenzende slaapvertrekken). Het drukverschil tussen de slaapvertrekken zal altijd groter zijn tussen de slaapvertrekken dan tussen slaapvertrek en gang, omdat er een groter lekverlies aanwezig is tussen de gang en de brandruimte. De deur naar de gang heeft een groter lekverlies dan de gesloten scheidingswand tussen slaapvertrekken. Daarom wordt in dit onderzoek enkel gerefereerd naar het drukverschil tussen brandruimte en aangrenzend slaapvertrek.

Voor het verloop van de simulaties gelden de volgende stappen:

- Start brand: capaciteit toe- en afvoerventilatie 175 m³/h per kamer.
- Na 1 minuut: activatie brandmelder en (indien van toepassing) sturing luchtbehandelingssysteem.

Bij de varianten waarbij de ventilatie gestuurd wordt zodat er onbalans ontstaat wordt de ventilatie capaciteit als volgt aangepast:

- De afvoer wordt verhoogd met 10%, tot 192,5 m³/h.
- De toevoer wordt verlaagd naar 100 m³/h.

Bij het afschakelen van de toevoerventilatie, wordt de toevoer volledig afgeschakeld en blijft de afvoerventilatie doordraaien (175 m³/h per kamer).

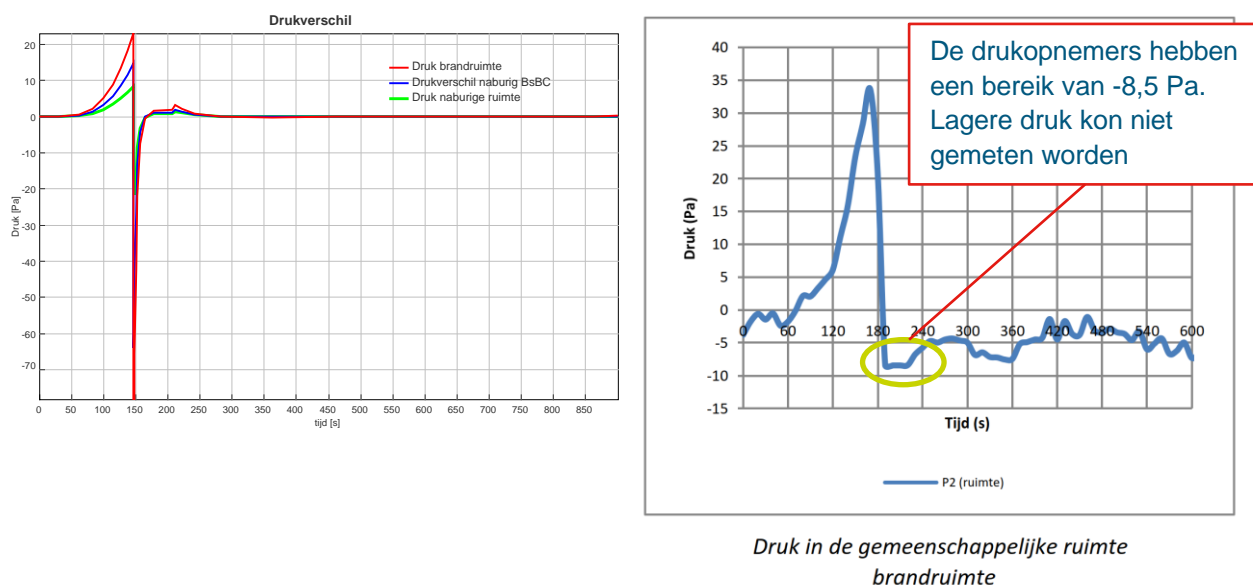
4.3 Vergelijk drukverschil haalbaarheidsstudie en VIPA-studies

Allereerst is naar de karakteristieke drukval gekeken van de haalbaarheidsstudie en of deze is als verwacht. De resultaten van het drukverschil worden op dit gebied naast de resultaten van de VIPA-studies gelegd.

In Figuur 4-1 zijn het verloop van druk uit de berekening en de meetresultaten uit de VIPA-studies van de gesprinklerde brand weergegeven. De druk loopt in beide onderzoeken op als de brand ontwikkelt (tot ruim 20 Pa). Vervolgens daalt direct na activatie sprinkler druk (tot ca. -80 Pa in de berekeningen). In de VIPA-studies is deze daling niet zichtbaar in de metingen. De gebruikte drukopnemers in het onderzoek konden geen druk lager dan -8,5 Pa meten, waardoor de grootte van de drukval niet in de grafiek te zien is. De tijdsduur dat de druk in de VIPA-studies lager dan -8,5 Pa is, is ca. 30 s. Dit is sterk vergelijkbaar met het resultaat uit de berekening. Aannemelijk is dat het model met sprinkler, de drukontwikkeling in de ruimte goed voorspelt.

In de simulatieresultaten is ook te zien dat het drukverschil tussen de aangrenzende ruimten veel groter wordt dan +10 Pa gedurende ca. 30 s. Dit komt ook overeen met de metingen van de VIPA-studies.

Omdat de berekening een zonemodel is, zijn de 'onregelmatigheden' zoals te zien is in de praktijktest niet waarneembaar in de grafiek. Voor het onderzoeksresultaat is dit overigens niet van belang, omdat het om de drukpiek gaat, welke realistisch berekend wordt.



Figuur 4-1 **Links:** Model H2: 68 °C sprinkler. Rood: druk in brandruimte. Groen: druk in aangrenzende ruimte. Blauw: drukverschil (toets NEN 6075). **Rechts:** resultaat VIPA studies proef 4bis.

4.4 Deelconclusie haalbaarheidsstudie

Uit de haalbaarheidsstudie kan een eerste conclusie getrokken worden: het meest haalbaar is de optie om het onderzoek te vervolgen met de 57 °C sprinkler (model H5) en waar nodig het sturen van de ventilatie. Hierbij wordt de eenvoudigere sturing gekozen: afschakelen toevoerventilatie (model H7). Dit model voldoet aan de toetscriteria in alle situaties, zie Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Deelconclusie haalbaarheidsstudie

Model	Toelichting	Toetscriteria			
		$\Delta P < 10 \text{ Pa}$	$RC \leq 2,0 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$ Aangrenzende ruimte	Gang	$T \leq 200 \text{ }^\circ\text{C}$
H2	Sprinkler 68 °C	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet
H3	Sprinkler 68 °C + onbalans ventilatie	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
H4	Sprinkler 68 °C + toevoer uit	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
H5	Sprinkler 57 °C	Voldoet	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet
H6	Sprinkler 57 °C+ onbalans ventilatie	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
H7	Sprinkler 57 °C+ toevoer uit	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet

De 10 Pa drukverschil wordt bij modellen H2 en H3 overschreden; ca. 14 Pa resp. ca 12 Pa. Voor model H4 geldt dat het drukverschil onder de 10 Pa blijft. Er is in alle drie de gevallen minimale rookverspreiding naar de aangrenzende ruimte (slaapruijnte). Echter is er wel een overschrijding van de grenswaarde ($0,02 \text{ g/m}^3$) van rookverspreiding naar de gang bij model H2.

Door in onbalans brengen van de ventilatie (meer afvoeren dan toevoeren), is het effect bij rookverspreiding veel groter in de gang. Dit heeft te maken met dat er zich grote lekverliezen in de wanden van de gang bevinden (deuren) en daardoor meer verse lucht via andere ruimtes aangezogen kan worden.

Om rookverspreiding naar de gang te voorkomen, is het sturen van de ventilatie bij brand dus noodzakelijk, als een 68 °C sprinklerkop wordt toegepast.

Bij de modellen met de 57 °C sprinkler (modellen H5 t/m H7), blijven de drukverschillen onder de 10 Pa en is er minimale rookverspreiding naar de aangrenzende ruimte (slaapruijnte) waargenomen. Echter zorgt ook hier het niet sturen van de ventilatie (model H5), voor te veel rookverspreiding naar de gang (meer dan $0,02 \text{ g/m}^3$). Het model met onbalansventilatie laat minder marge zien in de resultaten.

De meest betrouwbare oplossing blijkt het model te zijn waar de toevoerventilatie wordt uitgeschakeld. Regeltechnisch is dit in de praktijk ook het beste te realiseren.

Noot: In geen van de gevallen binnen de haalbaarheidsstudie wordt de temperatuur van de warme rooklaag 200 °C. De rooklaag wordt maximaal 77°C en nabij de brandklep is de maximaal temperatuur 23,2 °C (model H2).

5 Variabelen gevoeligheidsanalyse en variantenstudie

Om de betrouwbaarheid van het model te toetsen en te onderzoeken wat de grenswaarden zijn voor de toepasbaarheid, zijn een aantal variaties in de eigenschappen onderzocht. Er is gevarieerd in parameters welke in de praktijk kunnen variëren en waarvan verwacht wordt dat deze van invloed zijn op de drukopbouw en rookverspreiding.

De modellen worden vergeleken met model H5 (57 °C sprinkler, toe- en afvoerventilatie ingeschakeld) en model H7 (57 °C sprinkler, toevoerventilatie afgeschakeld).

De volgende variabelen worden onderzocht binnen deze gevoeligheidsanalyse en variantenstudie:

- 1 Oppervlakte ruimte. In een grotere ruimte kan de rooklaag zich over een groter oppervlak verspreiden. Daardoor is het volume van de rooklaag groter en is er een groter koelend oppervlak boven de rooklaag aanwezig. De opwarming van de rooklaag en het aanspreken van de sprinklers kan daardoor vertraagd worden. Ook heeft een grote ruimte en een groter oppervlak van de wanden en vloeren waardoor er meer lekverliezen kunnen optreden en zal in een grotere ruimte minder snel de druk oplopen. Ook is in een grotere ruimte meer zuurstof beschikbaar waardoor de brand in deze ruimte minder snel zal smoren.
- 2 Hoogte van de ruimte. Een hogere ruimte betekent een hogere stijghoogte van de rook. De rooklaagtemperatuur zal daarmee minder snel oplopen wat leidt tot latere activatie van de sprinkler.
- 3 Brandgroeisnelheid. Bij een snellere brandgroei zal de rooklaagtemperatuur sneller oplopen en de sprinkler sneller activeren. Het omgekeerde is waar voor een langzame brandgroei.
- 4 Type brandbaar materiaal/ soot yield. Voor de basisvariant is gekozen voor benzeen met zeer ongunstige rookproductie, wat leidt tot meer rookverspreiding. Er wordt daarom ook naar een lagere (te verwachte) rookproductie gekeken en een ander type materiaal voor de brandhaard.
- 5 Windinvloed. Wind kan van grote invloed zijn op de rookverspreiding, doordat het zorgt voor grote positieve en negatieve druk op de gevel.
- 6 Minimaal vereiste ventilatiecapaciteit. Er wordt onderzocht of bij een lager ventilatievoud de invulling aan de NEN 6075 bijlage C ook nog geldig is.
- 7 Lekdichtheid van de wanden. Hoe lekdichter de wanden zijn, hoe meer drukverschil er over de wand ontstaat. Lekdichtere wanden kunnen echter ook zorgen voor minder rookverspreiding.
- 8 Locatie van de brandhaard. Er is aangenomen dat de gekozen brandlocatie het minst gunstig is. Ter verificatie wordt ook een brand in een kamer in het begin van de gang onderzocht.

Als eerste is de variant binnen deze studie getoetst met ventilatie (toe- en afvoer) aan, op regulier vermogen (dus 175 m³/h per kamer). Indien niet voldaan wordt, is dezelfde studie berekend met de toevoerventilatie afschakelen na 1 minuut.

In alle modellen wordt de maximale temperatuur van de warme rooklaag niet overschreden (200 °C). De maximale temperatuur ter plaatse van de brandklep in het afvoerkanaal is 26 °C.

5.1 Oppervlakte ruimte

De huidige oppervlakte van de ruimtes (met uitzondering van de gang) is 3,5 x 6,2 m².

Er is gevarieerd met een kleine ruimte (werkkast) en een grote ruimte. De oppervlakte van de kleine ruimte is 1 x 2 m². De twee direct aangrenzende ruimtes worden ook verkleind naar deze afmetingen. De grote ruimte krijgt een afmeting van 6,2 x 6,2 m².

De ventilatiecapaciteit is in de voorgaande onderzoeken 175 m³/h. De capaciteit wordt naar rato van oppervlakte aangepast. Dit houdt voor de kleine ruimte een capaciteit van 20 m³/h in en voor de grote ruimte 310 m³/h.

Als derde variatie wordt de ruimte zodanig vergroot, tot dat een van de toetscriteria wordt overschreden.

In bijlage A3 zijn alle resultaten van de haalbaarheidsstudie weergegeven. De resultaten zijn als volgt samen te vatten:

- Door de snelle activatie van de sprinkler in de kleine ruimte, stijgt de druk nauwelijks (<2Pa). Er is ook minimale rookverspreiding naar de aangrenzende ruimte en gang aanwezig. Hierbij wordt de ventilatie niet gestuurd.
- In de ruimte van 6,2 x 6,2 m² is het noodzakelijk om de toevoerventilatie af te schakelen om te grote drukverschillen en rookverspreiding naar de gang te voorkomen.
- De grootste ruimte waarbij er nog voldaan wordt aan de toetscriteria bij afgeschakelde toevoerventilatie, is 10 x 10 m².

5.2 Hoogte van de ruimte

De huidige hoogte van de ruimtes is 2,7 m. Dit is de inwendige hoogte (bovenkant vloer tot onderkant verlaagd plafond). De hoogtes worden enkel van de brandruimte aangepast, omdat dit deel van het onderzoek gaat om het eerder of later activeren van de sprinkler. De variatie in hoogte is als volgt:

- Hoogte 2,3 m
- Hoogte 3,0 m
- Hoogte 3,5 m
- Hoogte 4,0 m

In bijlage A4 zijn alle resultaten (grafieken) weergegeven.

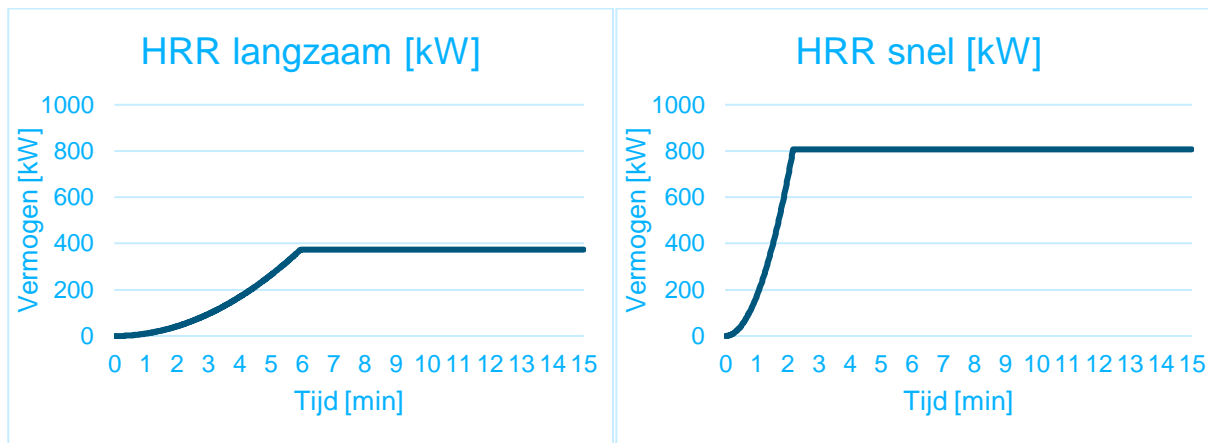
Hoe hoger de ruimte is, hoe groter de stijghoogte, hoe later de sprinkler activeert. Bij de lage ruimte (2,3 m) activeert de sprinkler dus sneller en daarmee lopen alle waarde (toetscriteria) minder hoog op. Bij niet schakelen toevoerventilatie, wordt de maximale rookverspreiding naar de gang wel al overschreden. Voor de ruimtes met een hoogte van 3,0 en 3,5 m, wordt met afschakelen toevoerventilatie aan het druk- en rookverspreidingscriterium voldaan. Bij een inwendige hoogte van 4,0 m, is het niet langer mogelijk aan het drukcriterium te voldoen (ook bij afschakelen toevoerventilatie). De grens van maximale rookverspreiding naar de aangrenzende ruimte en gang wordt echter niet overschreden.

5.3 Brandgroeisnelheid

De brandgroeisnelheid (haalbaarheidsmodellen) is gemiddeld cf. NEN-EN1991-1-2 (tijdsconstante 300 s). De tijd dat de brandgroeit stopt, is berekend met DETACT n.a.v. de gemiddelde brandgroeisnelheid. Er is gevarieerd met een snelgroeibrand (α 150) en een langzaam groeiende (α 600 s). De tijd dat de brandgroeit stopt is voor beide scenario's ook opnieuw berekend met DETACT.

- Bij de langzame brandgroeit activeert de sprinkler na 357 s, is het maximaal vermogen 374 kW en de oppervlakte van de brandhaard 1,1 m².
- Bij de snelle brandgroeit activeert de sprinkler na 131 s, is het maximaal vermogen 807 kW en de oppervlakte van de brandhaard 3,2 m².

De spreidichtheid blijft in dit model 5 mm/min (dus geen wijziging naar hogere gevarenklasse dan Ordinary Hazard).



Figuur 5-1 Brandgroeisnelheid. Links: langzaam. Rechts: snel.

In bijlage A5 zijn alle resultaten (grafieken) weergegeven.

Bij een langzame brandgroeisnelheid activeert de sprinkler later, maar is de totale HRR veel lager dan bij een gemiddelde brandgroeisnelheid. Dit zorgt voor minder drukopbouw en minder rookverspreiding naar aangrenzende ruimten; aan beide criteria wordt voldaan, zonder schakelen van de toevoerventilatie. Bij een snelle groei van de brand activeert de sprinkler eerder, maar is de totale HRR veel hoger dan bij een gemiddelde brandgroeisnelheid. Er wordt zonder afschakelen toevoerventilatie niet voldaan aan de gestelde criteria. Ook met het afschakelen van de toevoerventilatie, kan niet langer aan het drukcriterium worden voldaan. De grens van maximale rookverspreiding naar de aangrenzende ruimte en gang wordt echter niet overschreden.

5.4 Type brandbaar materiaal/ soot yield

Het materiaal van de brandhaard is ook nader onderzocht. In het model van de haalbaarheidsstudies zoals beschreven in hoofdstuk 3, is benzeen gebruikt met soot yield (s_y) 0,181 g/g. Als variatie is het materiaal hout gebruikt met de karakteristieken cf. SFPE Handbook (rookproductie of soot yield van hout is 0,015 g/g).

De derde variatie is de meer voorkomende soot yield van een gesprinklerde brand van 0,05 g/g is.

In bijlage A6 zijn alle resultaten (grafieken) weergegeven.

Hout als brandhaard, heeft veel gunstigere waarden dan benzeen wat te verklaren is door de lagere rookproductie. Zonder schakelen van de toevoerventilatie, wordt aan alle toetscriteria voldaan. Bij de benzeenbrand met aangepaste soot yield (0,05 g/g), wordt het drukcriterium net overschreden. De rookverspreiding valt binnen de marge. Wanneer de toevoerventilatie afgeschakeld wordt, wordt wel aan alle criteria voldaan.

5.5 Windinvloeden

In de modellen van de haalbaarheidsstudie is een windstille situatie beschouwd. Dit betekent een relatieve druk op de gevels van 0 Pa. Echter wind, en daardoor druk op de gevel, is altijd aanwezig. Er is een aantal varianten met onderzocht om het effect van windinvloeden te toetsen:

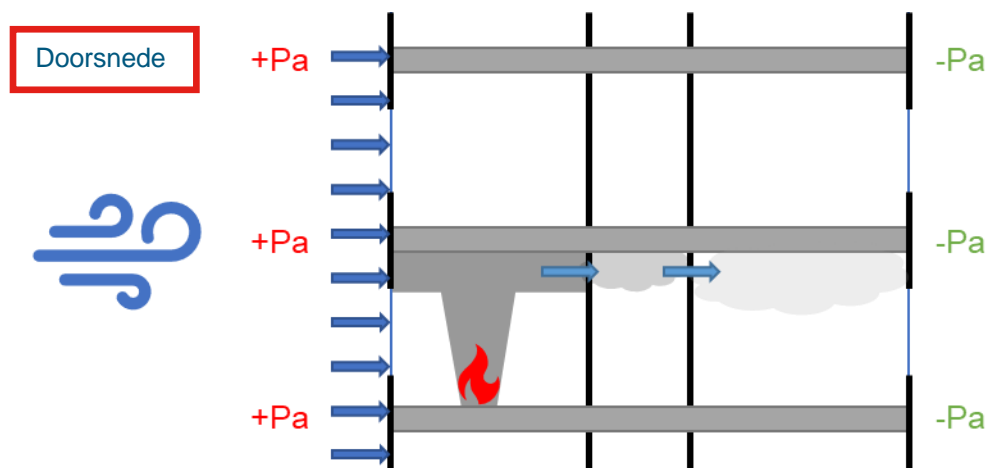
- Een extreme wind meegenomen: windkracht 10 (= 103 km/h¹⁰ op 10 m hoogte) met een gebouwhoogte van 70 meter. Dit betekent 54 m/s op 70 m hoogte. Relatieve druk op gevel loefzijde 1300 Pa, relatieve druk op gevel lijzijde -910 Pa¹¹. Er is gevarieerd met de loef- en lijzijde relatief aan de brandruimte. In de eerste variant is de gevel grenzend aan de brandruimte de loefzijde. In de tweede variant is de wind 180° gedraaid en is de gevel van de brandruimte de lijzijde.
- Bij de minst gunstige windrichting, wordt ook naar meer voorkomende win gekeken, te weten windkracht 8 (75 km/h) en 4 (49 km/h).

In bijlage A7 zijn alle resultaten weergegeven.

Het model met wind met als richting loodrecht op de gevel van de brandruimte zorgt voor een andere dynamiek in de lekverliezen. De druk in de brandruimte én aangrenzende ruimtes is aanzienlijk hoger. Het drukverschil van 10 Pa wordt daardoor overschreden bij niet geschakelde toevoerventilatie.

Doordat de wind op de gevel staat, wordt er als het ware lucht in de brandruimte (en aangrenzende ruimte) geduwd. Daardoor loopt de druk hoger op in de brandruimte. Ook wordt met de wind op de gevel, wordt de rook meer door de wand naar de aangrenzende ruimte geduwd. Dit is illustratief weergegeven in Figuur 5-2.

Aan alle toetscriteria wordt voldaan bij windkracht 10 op de loefzijde, ventilatie afgeschakeld.



Figuur 5-2 Effect wind op gevel brand aan loefzijde

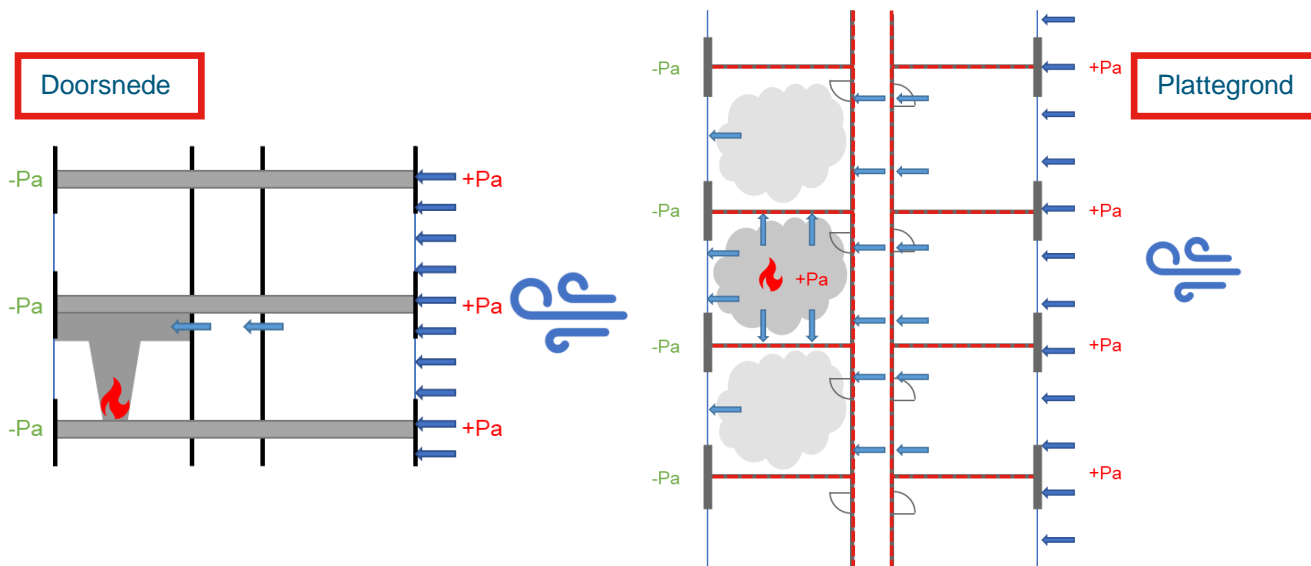
Het model met wind met als richting loodrecht op de gevel aan de overzijde van de brandruimte resulteert in een onderdruk buiten, aan de zijde van de brandruimte. Hierdoor zal nauwelijks rookverspreiding naar gang optreden, maar des te meer naar de aangrenzende ruimtes. Er wordt namelijk via de gang 'tegen de brandruimte' aangeduwd, en daardoor wordt de rook uit die ruimte geperst. Daardoor wordt behalve rook naar buiten, ook naar de aangrenzende ruimtes geduwd. Zie ter illustratie Figuur 5-3.

Bij alle windkrachten aan de lijzijde moet de toevoerventilatie worden afgeschakeld om aan alle toetscriteria te kunnen voldoen. Bij windkracht 8 en 10 wordt zelfs het criterium rookverspreiding naar de

¹⁰ https://www.k-plus.nl/upload/67c9d4_Drukverschilkaart.pdf

¹¹ Kennisbank bouwfysica LU-11 Drukverschillen over scheidingsconstructies, augustus 2005

aangrenzende ruimte (slaapruijnte) niet voldaan. Aan de overige criteria wordt wel voldaan. Er is zelfs nagenoeg geen rookverspreiding naar de gang.



Figuur 5-3 Effect wind op gevel brand aan lijszijde

5.6 Minimaal vereiste ventilatiecapaciteit

Om te onderzoeken of het voorkomen van verspreiding van rook met kleinere ventilatiecapaciteit zou werken, is de capaciteit per kamer iteratief naar beneden bijgesteld, tot het drukverschil nog net voldoet aan het vereiste drukverschil van 10 Pa is. Hierbij is voor de rookverspreiding ook gekeken naar het afschakelen van de toevoer.

Model H5 (57 °C, niet afschakelen toevoerventilatie) is gebruikt als basis voor deze studie om zodoende de ondergrens te bepalen van de ventilatiecapaciteit indien deze behouden blijft bij brand, waarbij gekeken wordt naar het drukverschil voldoende laag te houden. Er treedt bij deze scenario's wel rookverspreiding op naar de aangrenzende ruimte/ gang.

In bijlage A8 zijn alle resultaten (grafieken) weergegeven.

Bij een ventilatiecapaciteit van 100 m³/h per kamer, is het drukverschil net 10 Pa. Bij het afschakelen van de toevoerventilatie, wordt ook aan de gestelde criteria voor rookverspreiding naar aangrenzende ruimte/ gang voldaan.

5.7 Lekdichtheid

Het is niet geheel herleidbaar waar de waarden voor lekverliezen van het SFPE Handbook en de NPR6095-2 vandaan komen. Ook zijn deze waarden niet goed te verifiëren. Daarom is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar variaties in de lekverliezen.

De variaties betreffen:

- Lekverliezen x 0,25 (dus minder lekverlies)
- Lekverliezen x 0,5 (dus minder lekverlies)
- Lekverliezen x 0,75 (dus minder lekverlies)

- Lekverliezen x 2 (dus meer lekverlies)

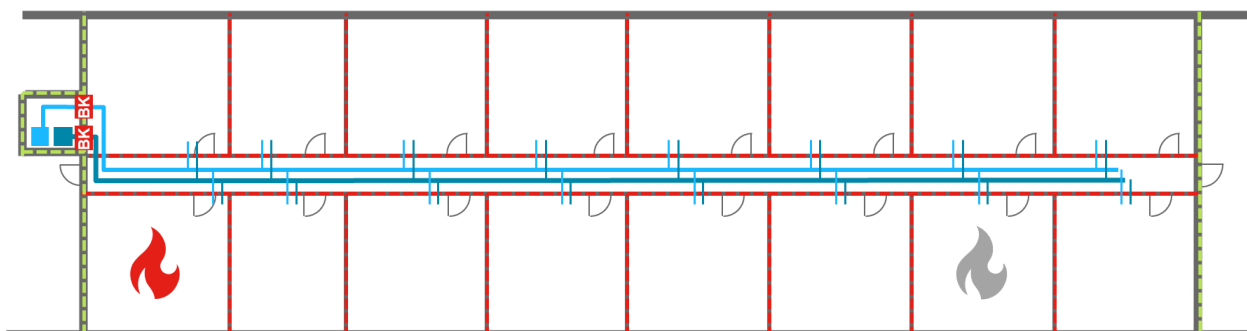
In bijlage A9 zijn alle resultaten (grafieken) weergegeven.

Als de wanden en gevel minder lekverlies hebben, loopt het drukverschil logischerwijs aanzienlijk hoger op. De druk kan immers minder makkelijk de ruimte uit stromen. Bij niet geschakelde toevoerventilatie, wordt het maximale drukverschil en rookverspreiding naar de gang al overschreden. Bij afgeschakelde toevoerventilatie, voldoet de 0,75 variant wel, maar de 0,5 variant niet op het drukcriterium (wel voor rookverspreiding).

Hoe meer lekverlies de wand heeft (2x), hoe minder drukopbouw maar hoe meer rookverspreiding. Enkel met afschakelen toevoerventilatie wordt aan alle criteria voldaan.

5.8 Brandlocatie

De aangenomen, en verwachte minst gunstige brandlocatie is in de haalbaarheidsstudie de op een na laatste kamer, aan het einde van de gang. Ter verificatie wordt ook een brand onderzocht in de eerste kamer van de gang.



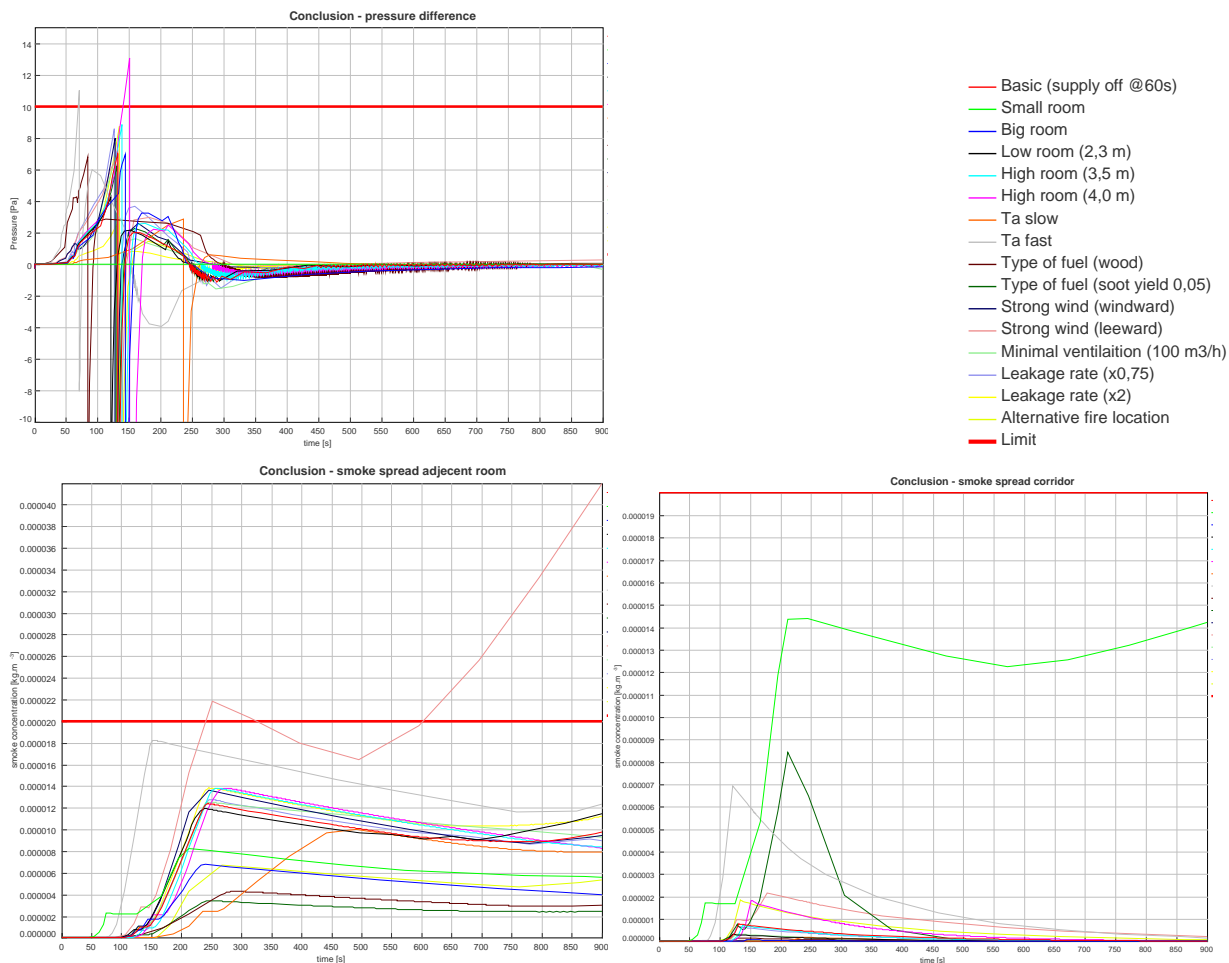
Figuur 5-4 Alternatieve brandlocatie. Grijs: originele brandlocatie, rood: alternatieve brandlocatie.

In bijlage A10 zijn alle resultaten (grafieken) weergegeven.

In vergelijking met de brandhaard aan het einde van de gang, lopen de meeste gemeten toetscriteria iets hoger op voor zowel bij toevoerventilatie in- en afgeschakeld. Er is namelijk maar één binnenwand naar een aangrenzende ruimte aanwezig. De andere zijwand betreft een brandcompartimentswand zonder doorvoeren met een veel lager, verwaarloosbaar lekverlies. Enkel rookverspreiding naar de aangrenzende ruimte (slaapruijnte) is lager. Rede is dat naar verhouding de deur een relatief groter lekverlies heeft t.o.v. het totale lekverlies. De drukontlasting (rook) prevaleert dus te ontsnappen via de deur dan gebruik te maken van de overige lekverliezen. Met toevoerventilatie afgeschakeld wordt voldaan aan de toetscriteria.

5.9 Overzicht resultaten

In Figuur 5-5 zijn alle resultaten van de gevoeligheidsanalyse en variantenstudie bij elkaar grafisch weergegeven. Deze resultaten zijn ook weergegeven in bijlage A11.



Figuur 5-5 Vergelijking alle modellen/ variaties. Linksonder: drukverschil, linksonder rookverspreiding naar aangrenzende ruimte (slaapruijnte), rechtsonder rookverspreiding naar de gang.

In Tabel 5-1 is het totaaloverzicht van de varianten van de gevoeligheidsanalyse en variantenstudie weergegeven. In het overzicht is aangegeven op welke wijze de toevoerventilatie (TV) wordt gestuurd en of daarbij wordt voldaan aan de criteria voor drukverschil (ΔP), rookconcentratie (RC) en temperatuur (T).

Tabel 5-1 Conclusie toepasbaarheid (resultaten haalbaarheidsstudie en gevoeligheidsanalyse en variantenstudie)

Model	Naam	Toelichting	TV	Toetscriteria				Noot
				ΔP	RC NR	G	T	
H5	Sprinkler 57 °C		I	✓	✓	✗	✓	
H7	Sprinkler 57 °C+ toevoer. Uit		O	✓	✓	✓	✓	
G1-1	Kleine ruimte	Geen limiet op kleine ruimte	I	✓	✓	✓	✓	
G1-3v	Grote ruimte	Limit op grote ruimte max 47,6 m ²	O	✓	✓	✓	✓	1
G2-1v	Lage ruimte	Geen limiet op lage ruimte (h<2,3 m)	O	✓	✓	✓	✓	
G2-3v	Hoge ruimte	Maximale inwendige hoogte 3,5 m	O	✓	✓	✓	✓	

Model	Naam	Toelichting	TV	Toetscriteria				Noot
				ΔP	RC NR	G	T	
G2-3v	Hoge ruimte	Hoogte 4 m niet toegestaan	O	X	✓	✓	✓	
G3-1v	Langzame brandgroei	Geen limiet bij langzame brandgroei	O	✓	✓	✓	✓	
G3-2v	Snelle brandgroei	Geen opslag in grote ruimte toegestaan	O	X	✓	✓	✓	
G4-2	Brandstof	Geen limiet op materiaaltype	I	✓	✓	✓	✓	
G5-2v	Wind	Niet direct toepasbaar bij hoogbouw	O	✓	X	✓	✓	2
G6-1v	Ventilatiecapaciteit	Minimaal vereiste ventilatie ruimte 100 m ³ /h	O	✓	✓	✓	✓	3
G7-3v	Lekverliezen	Kleiner, tot 0,75 x NPR6095-2	O	✓	✓	✓	✓	
G7-3v	Lekverliezen	Groter	O	✓	✓	✓	✓	4
G8-1v	Alternatieve brandlocatie	Ruimte in het begin van de gang	O	✓	✓	✓	✓	

TV = toevoerventilatie | I = ingeschakeld | O = afgeschakeld op automatische brandmelding RC = rookconcentratie | R = aangrenzende ruimte | G = aangrenzende gang

Toetscriteria: $\Delta P < 10 \text{ Pa}$ | $RC \leq 2,0 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$ | $T < 200 \text{ }^\circ\text{C}$

Noot 1: Door het type berekening lijkt een maximum van 10 m x 10 m te zijn toegestaan. Echter wordt uitgegaan van een maximum van 6,9 m x 6,9 m en 2,7m hoog, zie 5.10.

Noot 2: Er dient meer onderzoek gedaan te worden naar de luchtdichtheid (lekverlies) van buitengevels bij hoge gebouwen, zie verder paragraaf 6.1.

Noot 3: De toe- en afvoercapaciteit van 100 m³/h per kamer gaat om een 22 m² grote ruimte. Dit betekent een vereiste capaciteit van 4,6 m³/h/m². Bij kleinere of grotere ruimtes geldt het minimum van 4,6 m³/h/m².

Noot 4: Hoeveel de lekverliezen groter mogen, is niet nader onderzocht. Vanuit andere disciplines zoals installaties, bouwfysica en akoestiek zullen ook eisen gesteld worden aan dichtheid van wanden. De lekdichtheid van de wanden is in de zin van dit onderzoek niet maatgevend.

5.10 Deelconclusie gevoeligheidsanalyse en variantenstudie

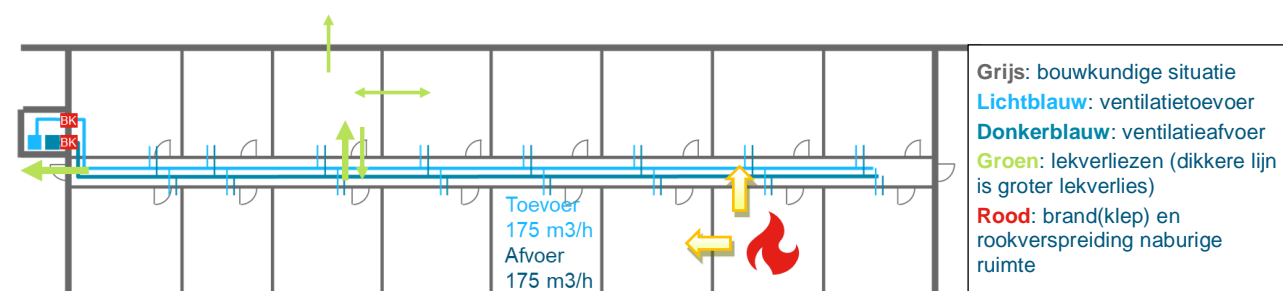
Uit de gevoeligheidsanalyse en variantenstudie is de belangrijkste conclusie dat een invulling gegeven kan worden aan de NEN 6075 bijlage C, ook bij andere variabelen van de parameters. Grotere ruimtes zijn mogelijk, evenals hogere ruimtes, langzame brandgroei, ander brandbaar materiaal, lager ventilatievoud en lekverliezen > 0,75 maal de gekozen lekverliezen. De belangrijkste conclusies zijn hieronder op een rij gezet:

- Ruimte met een maximale omvang welke te beveiligen is met een maximaal oppervlakte van 47,6 m² (4 sprinklers benodigd indien het een vierkante/ rechthoekige lege ruimte betreft).
 - Kanttekening: uit de berekening blijkt dat een ruimte tot 10 m x 10 m mogelijk is (voldoet aan de gestelde toetscriteria). De berekening is echter gemaakt met een twee-zonemodel. Hierbij wordt een hoeveelheid water bij activatie sprinkler berekend aan de hand van de oppervlakte van de gehele ruimte. Sprinkler activeert in de hele ruimte gelijktijdig en daarmee wordt de gehele ruimte gekoeld. Bij een ruimte van maximaal 47,6 m² is de ruimte voldoende klein zodat een berekening met een zonemodel nog betrouwbaar is.
- De maximale hoogte is 3,5 m, gemeten van bovenkant vloer tot onderkant plafond.

- Een grote ruimte (anders dan een werkkast, opslagkast) met zeer veel brandbare materialen valt niet binnen deze invulling. Een dergelijke ruimte dient ook rookwerend gescheiden te zijn cf. NEN 6075.
- Het type materiaalgebruik (i.r.t. type brandstof) heeft geen significante invloed op de resultaten.
- Ook bij stormachtige wind lijkt deze invulling nog betrouwbaar
 - Er is weliswaar een overschrijding van de rookverspreiding, maar daarbij zijn de lekverliezen enkel gebaseerd op de NPR6095-2. Bij hoogbouw is het aannemelijk dat de gevel veel lekdichter is. Met gekozen lekverliezen naar buiten, zal er ook zonder brand hinder ondervonden worden bij een harde wind en hoogbouw. Het is aannemelijk dat er wel zal worden voldaan bij wind en hoogtes tot 70 m. Voor hoogtes groter dan 70 m is meer onderzoek nodig, omdat de gevolgen van lekverliezen niet zomaar te extrapoleren zijn.
- Er is minimaal 100 m³/h aan ventilatiecapaciteit nodig.
 - Dit houdt een ventilatievoud van 2 in voor de standaard ruimte (als in deze berekening gebruikt). Bij een bezetting van 2 personen is dit voldoende (minimale eis 40 m³/h per persoon).
- Indien de wanden lekdichter worden (tot 0,75x de normwaarde als gesteld in NPR6095-2), wordt bij afschakelen toevoerventilatie nog aan alle randvoorwaarde voldaan. Bij nog meer lekdichte wanden, wordt niet meer aan het drukcriterium voldaan. Echter is er in die situaties na afschakelen toevoerventilatie nagenoeg geen rookverspreiding aanwezig. Meer 'lekopen' wanden toepassen heeft een gunstig effect, mits de afvoerventilatie door blijft draaien en toevoer wordt afgeschakeld bij een brandmelding.
- Als de brandlocatie zich in een ruimte aan het begin van de gang bevindt, wordt met afschakelen ventilatie voldaan aan de toetscriteria. De locatie van de brandhaard is dus niet maatgevend.

6 Conclusie en discussie

Uit de haalbaarheidsstudie en de gevoeligheidsanalyse en variantenstudie blijkt dat sprinkler in combinatie met sturen van de luchtbehandelingsinstallatie een betrouwbare invulling kan geven aan de doelstelling van NEN 6075 om rookverspreiding te voorkomen. De toevoerventilatie moet hierbij op basis van een automatische brandmelding worden afgeschakeld. Het toetsen aan warme rook bij een gesprinklerde brand is niet relevant, omdat de rooklaagtemperatuur niet boven de 200 °C uitkomt. Het voorkomen van verspreiding van rook voldoet voor kleine tot middelgrote slaapvertrekken grenzend aan een gang, zoals schematisch weergegeven in Figuur 6-1.



Figuur 6-1 Schematische weergave uitgangspunten (herhaling)

Voor het voorkomen van verspreiding van rook is vroegtijdige activering van de sprinklerinstallatie van belang. De sprinklerkop dient een activatietemperatuur van 57 °C te hebben. Voor de situatie gelden minimaal de volgende systeemspecificaties: 5 mm/min (Ordinary Hazard), quick response (RTI < 50) en K80.

6.1 Discussie en aanbevelingen

Er zijn een aantal onderwerpen, aandachtspunten en discussiepunten die uit dit onderzoek volgen. Deze punten zijn in deze paragraaf beschreven.

Type binnenwanden

Bij de berekening zijn de waardes passend bij metalstud wanden ingevoerd. De waardes hebben vooral te maken met de warmtecapaciteit van de wand (dus hoeveel warmte de wanden op kunnen nemen van de warme rooklaag) en de mate van lekverlies. Metalstud wanden zijn conservatief qua warmtecapaciteit. Echter hebben dit type wanden meer lekverlies dan een steenachtige wand deze wanden. Verwacht wordt dat bij toepassen van steenachtige wanden de drukverschillen hoger oplopen en de grenswaarde van 10 Pa mogelijk kunnen worden overschreden. Echter zal ook minder rookverspreiding optreden bij een dichtere wand, waardoor wel aan de *daadwerkelijke* doelstelling voor rookwerendheid wordt voldaan (voorkomen van rookverspreiding).

Lekdichtheid buitengevel

Zoals in hoofdstuk 5.10 aangegeven, dient nader onderzoek plaats te vinden naar de luchtdichtheid (lekverlies) van buitengevels bij hoge gebouwen. De waardes als ingevoerd in het model zijn de waardes als voorgeschreven voor een 'dichte gevel' (NPR6095-2). Dit houdt in de praktijk in dat bij harde wind op grote hoogte, dit al tot hinder leidt in de 'gewone' situatie (zijnde niet brand).

Bij hoogbouw of hoge gebouwen is het zeer aannemelijk dat de gevels aanzienlijk luchtdichter zijn.

Eisen HVAC-systeem

Doordat toevoer afschakelt bij brand (en afvoer blijft draaien) om rookverspreiding/ drukverschil voldoende te beperken, wordt het HVAC-systeem in principe onderdeel van de integrale brandveiligheid. Het systeem dient voor veilig vluchten, waardoor het systeem voor ten minste 30 minuten moet kunnen functioneren. Projectspecifiek kan op basis van een risicoanalyse bepaald worden of de energievoorziening in geval van nood hierop afgestemd moet worden.

De componenten van de luchtbehandelingsinstallatie dienen bestand te zijn tegen de verhoogde temperaturen van de rook.

Bij het (tijdelijk) afschakelen van met name de afvoerventilatie, in geval van bijvoorbeeld onderhoud, is de rookwerendheid niet geborgd en moeten passende (tijdelijke) maatregelen getroffen worden.

Rookwerendheid tegen warme rook en sprinkler

Uit de studies blijkt dat in alle onderzochte situatie de temperatuur in de ruimte aanzienlijk lager blijft dan 200 °C. Ook eerder uitgevoerde onderzoeken laten dit beeld zien. Op basis van de onderzoeken uit deze studie is gebleken dat de kwaliteit van normale brandwerende scheidingen volstaat om rookverspreiding te voorkomen in een met sprinkler beveiligd gebouw waar de afvoerventilatie wordt uitgeschakeld. Aanvullende voorzieningen voor het beperken van de rookverspreiding zijn dus niet nodig.



Regional Office Locations

Royal HaskoningDHV is an independent, international engineering and project management consultancy with over 140 years of experience. Our professionals deliver services in the fields of aviation, buildings, energy, industry, infrastructure, maritime, mining, transport, urban and rural development and water.

Backed by expertise and experience of 6,000 colleagues across the world, we work for public and private clients in over 140 countries. We understand the local context and deliver appropriate local solutions.

We focus on delivering added value for our clients while at the same time addressing the challenges that societies are facing. These include the growing world population and the consequences for towns and cities; the demand for clean drinking water, water security and water safety; pressures on traffic and transport; resource availability and demand for energy and waste issues facing industry.

We aim to minimise our impact on the environment by leading by example in our projects, our own business operations and by the role we see in “giving back” to society. By showing leadership in sustainable development and innovation, together with our clients, we are working to become part of the solution to a more sustainable society now and into the future.

Our head office is in the Netherlands, other principal offices are in the United Kingdom, South Africa and Indonesia. We also have established offices in Thailand, India and the Americas; and we have a long standing presence in Africa and the Middle East.



royalhaskoningdhv.com

