

## FSE-casus onderwijsfunctie

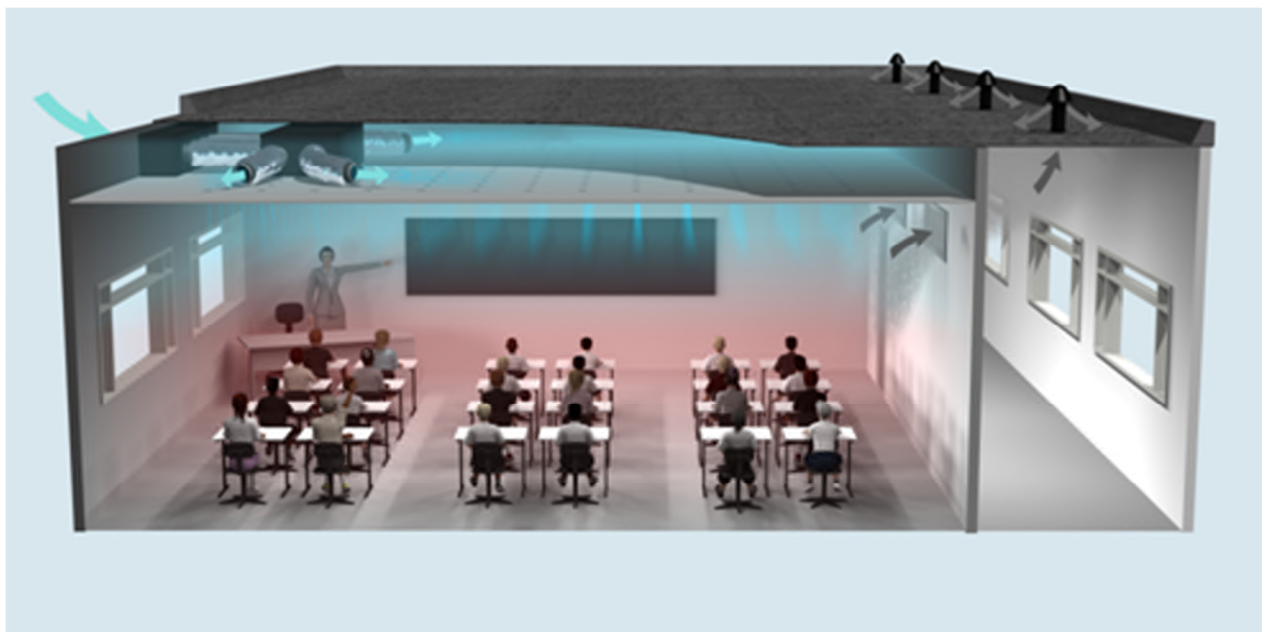
### 1. Randvoorwaarden gebouw en gebruik

In een gebouwvleugel met een onderwijsfunctie, bestaande uit twee bouwlagen, is een centrale verkeersruimte aanwezig voor de ontsluiting van de leslokalen. Op de begane grond zijn 9 leslokalen aanwezig, op de verdieping 4 leslokalen. Daarnaast is op de verdieping een kantoorfunctie aanwezig (enkele vertrekken voor administratieve doeleinden).

De verkeersruimte bevat een vide met een centrale trap. Er is een tweede trappenhuis aanwezig in de gebouwvleugel, maar desondanks is er sprake van samenvallende vluchtroutes, aangezien de vluchtroutes niet onafhankelijk zijn van elkaar. De tweede vluchtroute kan namelijk uitsluitend via de eerste vluchtroute worden bereikt. De onderstaande plattegronden geven de situatie weer in de gebouwvleugel.



Het gebouw is voorzien van een innovatief ventilatiesysteem. In de leslokalen wordt verse lucht ingeblazen via het plafondplenum. Vervolgens zijn overstroomb voorzieningen aangebracht in de scheidingsconstructie tussen lokaal en verkeersruimte. Vanuit de verkeersruimte vindt luchtafvoer op natuurlijk wijze plaats via afvoerpijpen in het dak. De onderstaande figuur geeft een indruk van de werking van het systeem.



Het innovatieve ventilatiesysteem maakt een nadere beschouwing van brandveiligheid noodzakelijk. Enerzijds kan het systeem voor ongewenste rookverspreiding zorgen, anderzijds kan het systeem zorgen voor de koeling van de kanaalplaatvloeren die grenzen aan de brandruimte. Deze kanaalplaatvloeren vormen brandscheidingen waarvoor een kwaliteit met een WBDBO van 60 minuten geëist wordt. Daarnaast maken de kanaalplaatvloeren onderdeel uit van de draagstructuur, waarvoor een brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van 60 minuten wordt geëist. Door de kanaalplaatvloeren convectief te koelen met lucht kunnen ze mogelijk zonder specifieke detaillering voorzien in de benodigde brandwerendheid voor zowel de dragende als de scheidende functie. Uiteraard volgen daaruit wel eisen aan de instandhouding onder brandcondities van de plafondconstructie.

**In deze beschouwing is niet de laatste brief met aanbevelingen van BFBN (8 juni 2011) verwerkt. Er is dus ook niet onderzocht of deze aanbevelingen een ander licht werpen op de conclusie en hoe daarmee omgegaan zou kunnen worden.**

Wanneer een traditioneel ventilatiesysteem wordt toegepast, dat bij brand wordt uitgeschakeld, zijn aanvullende voorzieningen nodig om de vloer te beschermen. Daarvoor zijn diverse producten in de markt. In dit geval zou een door Rockfon ontwikkelde facetplaat kunnen worden toegepast, zodanig dat een totale brandwerendheid (facetplaat met kanaalplaatvloer) van EI=60 minuten wordt bereikt.

Tenslotte speelt de gevel een rol. Gevels behoeven in de meeste gevallen niet brandwerend te zijn. Veel scholen worden daarom van lichte puivullingen voorzien, die mogelijk gevoelig zijn voor branduitbreiding langs verticale of horizontale brandscheidingen. Vooral een buitenbrandscenario nabij of tegen de gevel kan voor onverwachte effecten zorgen. Hoewel de publiekrechtelijke regelgeving geen aandacht schenkt aan een buitenbrand op eigen perceel nabij de gevel, valt het binnen de 'zorgplicht' van de gebouweigenaar om de risico's daarvan in redelijke mate te beperken.

## 2. Doel FSE aanpak

Uitgaande van 60 minuten brandwerendheid voor zowel de scheidende als de dragende functie van de kanaalplaatvloer, zou deze aan een specifieke constructieve detaillering moeten voldoen. Echter, het inblaasplenum voor verse lucht dat onder de kanaalplaatvloer aanwezig is, kan gebruikt worden om de vloer aan de onderzijde te koelen. Bij voldoende koeling is die specifieke constructieve detaillering niet noodzakelijk. Uiteraard moet het plenum dan intact gehouden worden en dient ongewenste rookverspreiding naar de verkeersruimte te worden voorkomen.

Een tweede doel van de FSE aanpak is om naast het risico van een binnenbrand ook het risico van een buitenbrand te beperken. Dit laatste aspect is voor niet-brandwerende gevels niet concreet publiekrechtelijk geregeld, er is alleen een eis aan de euroklasse aan de buitenzijde van de gevel. Het valt echter binnen de 'zorgplicht' van de gebouweigenaar om verder te kijken dan alleen dit aspect.

## 3. Criteria

Wanneer voor de kanaalplaatvloer een brandwerendheid van minder dan 30 minuten volgens de standaard brandkromme noodzakelijk is, kan de kanaalplaatvloer zonder specifieke detaillering worden uitgevoerd.

Voor het klaslokaal zal de thermische belasting op basis van het natuurlijk brandconcept worden bepaald. Deze thermische belasting mag vervolgens worden verminderd met het convectieve vermogen dat via het inblaasplenum kan worden afgevoerd. Wanneer de resulterende thermische belasting minder bedraagt dan een thermische belasting van 30 minuten volgens de standaard brandkromme, kunnen detailleringseisen aan de kanaalplaatvloeren worden vermeden.

Voor de gevels van het gebouw zal naast de brandvoortplanting aan de geveloppervlakte ook de branduitbreiding in de gevel moeten worden beperkt bij een thermische belasting door een buitenbrand. Dit is alleen relevant wanneer in de gevelconstructie brandbare materialen aanwezig zijn. In dat geval mag het risico van branduitbreiding in de gevel worden verwaarloosd indien de buitenafwerking van de gevel gedurende 30 minuten buitenbrand voldoende thermisch zwaar is.

## 4. Risicoinventarisatie

In het gebouw kan brand ontstaan in een brandcompartiment door diverse oorzaken. Daarbij wordt één brandhaard verondersteld, die zich uiteindelijk zal ontwikkelen tot een compartimentsbrand. Het gelijktijdig ontstaan van meerdere brandhaarden in verschillende brandcompartimenten blijft buiten beschouwing. Het ontstaan van meerdere brandhaarden tegelijk in een gebouw is mogelijk door opzet (brandstichting), in andere gevallen is dat onwaarschijnlijk.

In het gebouw wordt uitgegaan van een normale schoolinrichting, dus van cellulose-achtige brandstof. Dat betekent dat slechts zeer beperkt afwijkende stoffen (brandgevaarlijke stoffen) aanwezig mogen zijn. Het zou kunnen dat dit in practicumlokalen, zoals scheikundelokalen tot beperkingen leidt.

Buiten het gebouw kan brand ontstaan in containers, afval of andere vuurlast nabij of tegen de gevel. Vaak is dat het gevolg van brandstichting. Dit risico is bij scholen aanmerkelijk groter dan bij andere gebruiksfuncties. Om die reden is ook het buitenbrandscenario tegen de gebouwgevel beschouwd. Een buitenbrand levert geen risico op voor de aanwezigen in het gebouw, zolang de buitenbrand niet via de gevel kan uitbreiden naar binnen.

## 5. Ontwerp brandbeveiligingsconcept

In het gebouw worden de kanaalplaatvloeren aan de onderzijde beschermd door het plafondplenum, bedoeld voor de ventilatieluchtoevoer. Het vermogen dat de toevoerlucht kan onttrekken aan het vermogen dat door de vloer wordt opgenomen, moet ervoor zorgen dat de kanaalplaatvloer zonder specifieke constructieve detaillering kan worden uitgevoerd.

De gevel van het gebouw moet gedurende 30 minuten bestand zijn tegen een buitenbrandscenario. Dit tijdsbestek geeft de brandweer de mogelijkheid om repressief op te treden en de buitenbrand te blussen. De branduitbreiding langs de geveloppervlakte is publiekrechtelijk geborgd in de euroklasse. De branduitbreiding in de gevel kan worden tegengegaan door onbrandbare materialen toe te passen of door een voldoende thermisch zware buitenafwerking toe te passen.

## 6. Ontwerp brandscenario's

Voor de binnenbrand is een natuurlijk brandconcept toegepast met de volgende kenmerken (karakteristieke waarden, bron: NEN-EN 1991-1-2/NB):

Referentie vermogensdichtheid	$RHR_f = 250 \text{ kW/m}^2$
Tijdconstante voor branduitbreiding	$t_c = 300 \text{ s}$ (medium)
Stoichiometrische constante	$r = 1,27 \text{ kg/kg}$
Variabele vuurbelasting	$q_{var,f} = 360 \text{ MJ/m}^2$

De binnenbrand breidt zich van een lokale brand uit tot een compartimentsbrand, afhankelijk van de kenmerken van de brandruimte (brandcompartiment).

De buitenbrand is een lokale brand. De brandomvang bepaald door de hoeveelheid brandstof tegen de buitenzijde van de gevel. Aangezien dit niet is in te schatten wordt voor de buitenbrand de externe brandkromme gehanteerd als thermische belasting op de gebouwgevel.

## 7. Toegepaste modellen en methodieken

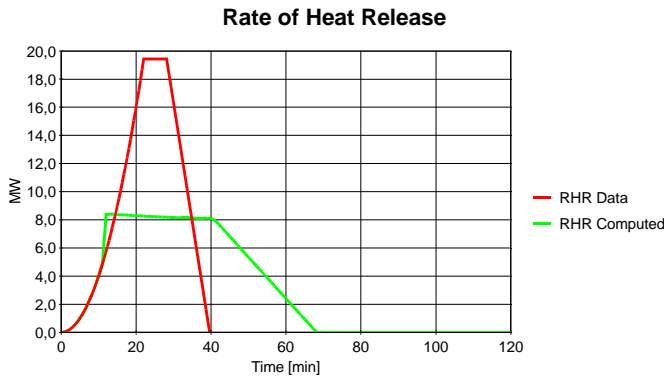
### Binnenbrandscenario

De binnenbrand is gemodelleerd volgens het natuurlijk brandconcept, met de randvoorwaarden zoals genoemd in hoofdstuk 6. De berekening is uitgevoerd voor lokaal 1 (begane grond). Dit lokaal is circa 77 m<sup>2</sup> groot en 3 m hoog. De kopse wanden van het lokaal zijn thermisch zwaar aangehouden (betonwanden). De scheidingswand met de verkeersruimte is een metal-stud wand. De gevel is een geïsoleerde HSB constructie, met daarin circa 6 m<sup>2</sup> daglichtopeningen.

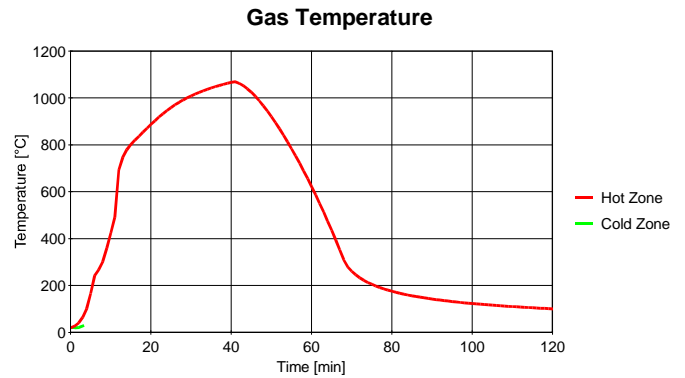
Via het plafondplenum wordt 220 dm<sup>3</sup>/s verse lucht toegevoerd tot het lokaal. Deze volumestroom voldoet aan de noodzakelijke ventilatiecapaciteit volgens het Bouwbesluit. De luchtafvoer komt in de gebruikssituatie tot stand via overstroomvoorzieningen in de scheidingswand met de verkeersruimte. In de brandsituatie is dit niet geoorloofd, omdat daarmee rookverspreiding naar de rest van het gebouw optreedt. In de brandsituatie wordt de overstroomvoorziening daarom dichtgestuurd en wordt een afvoer-voorziening in de gevel opengestuurd.

Het natuurlijk brandconcept is genormeerd in NEN 6055: 2011. In het natuurlijk brandconcept is geen risicomodel opgenomen. De risicofactoren die in NEN-EN 1991-1-2/NB worden gegeven zijn alleen geschikt voor constructieve veiligheid en dus niet geschikt voor de thermische belasting op compartimentsgrenzen en vluchtroutes.

Het belangrijkste criterium voor de thermische belasting is het glasbreekcriterium. Wanneer het glas in de aanwezige daglichtopeningen na flashover geheel bezwijkt ontstaat het brandvermogensscenario met het daarbij behorende temperatuurverloop in de brandruimte volgens de onderstaande figuur.

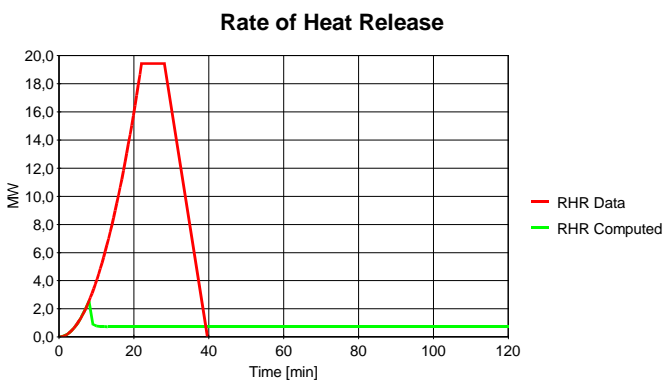


Analysis Name: klaslokaal B2, glas bezwijkt na flashover

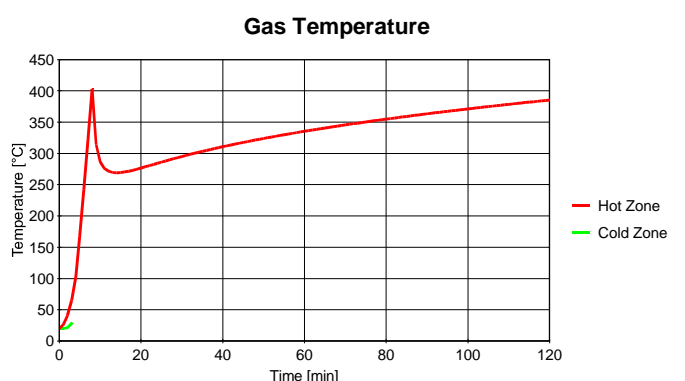


Analysis Name: klaslokaal B2, glas bezwijkt na flashover

Als het glas in de aanwezige daglichtopeningen niet bezwijkt ontstaat het onderstaande brandvermogensscenario en temperatuurverloop.



Analysis Name: klaslokaal B2, glas bezwijkt niet



Analysis Name: klaslokaal B2, glas bezwijkt niet

Uit de voorgaande figuren blijkt dat het scenario met bezweken glas in de daglichtopeningen tot de grootste thermische belasting leidt. Aangezien het in alle gevallen ventilatiebeheerste brandscenario's betreft zijn varianten met deels bezweken glas in daglichtopeningen niet relevant. Deze zullen niet tot een hoger vermogen en een hogere temperatuur leiden in de brandruimte dan het scenario met bezweken glas in de daglichtopeningen. Het scenario met bezweken glas in de daglichtopeningen is dan ook aangehouden voor de bepaling van de thermische belasting in de brandruimte.

Buitenbrandscenario

De buitenbrand levert een thermische belasting op de gebouwgevel. Zolang in de gebouwgevel geen brandbare materialen zijn toegepast is de thermische belasting niet erg relevant. Indien wel brandbare materialen worden toegepast in de gevel dient de buitenafwerking gedurende 30 minuten voldoende thermisch zwaar te zijn. Dit is het geval indien aan de volgende voorwaarde wordt voldaan:

- 
-

Hierin is:

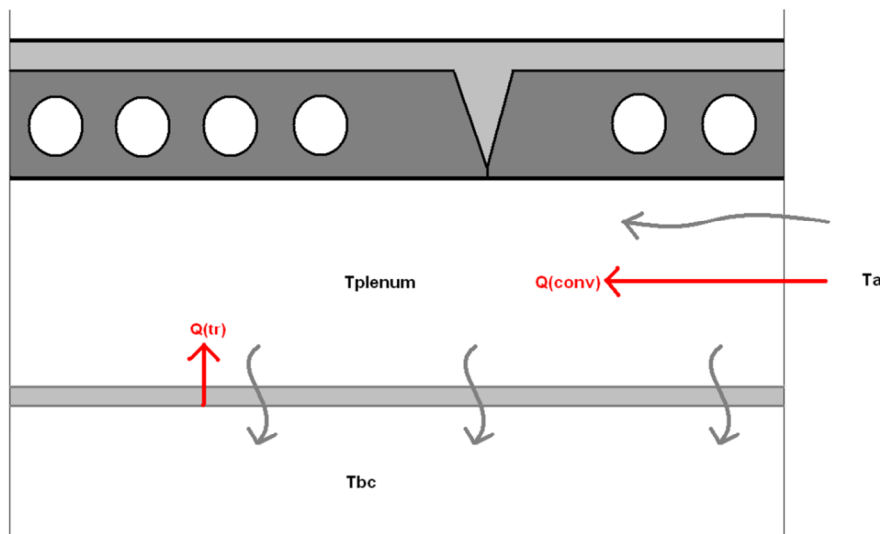
$d$	dikte van de buitenafwerking tot aan het brandbare materiaal in de gevel [m]
$\lambda$	warmtgeleidingscoëfficiënt van de buitenafwerking [W/(m.K)]
$\rho$	soortelijke massa van de buitenafwerking [ $\text{kg/m}^3$ ]
$c$	soortelijke warmte van de buitenafwerking [J/(kg.K)]

## 8. Evaluatie brandveiligheidsmaatregelen

### Binnenbrandscenario

Het scenario zoals aangegeven in hoofdstuk 7 leidt tot een temperatuurbelasting aan de onderzijde van het plafond. Deze temperatuurbelasting wordt via transmissie door de plafondconstructie afgegeven aan het plenum boven het plafond. Het warmtetransport door transmissie is, onder verwaarlozing van de thermische traagheid van de plafondconstructie en het plenum, gelijk aan de convectieve afvoer van warmte vanuit het plenum. Zie onderstaande figuur (vertikale doorsnede).

Het warmtetransport door straling is hierin buiten beschouwing gebleven; dit is opgenomen in het convectieve warmtetransport.



De opwarming van het plenum door transmissie bedraagt:

\_\_\_\_\_

De convectieve afvoer bedraagt:

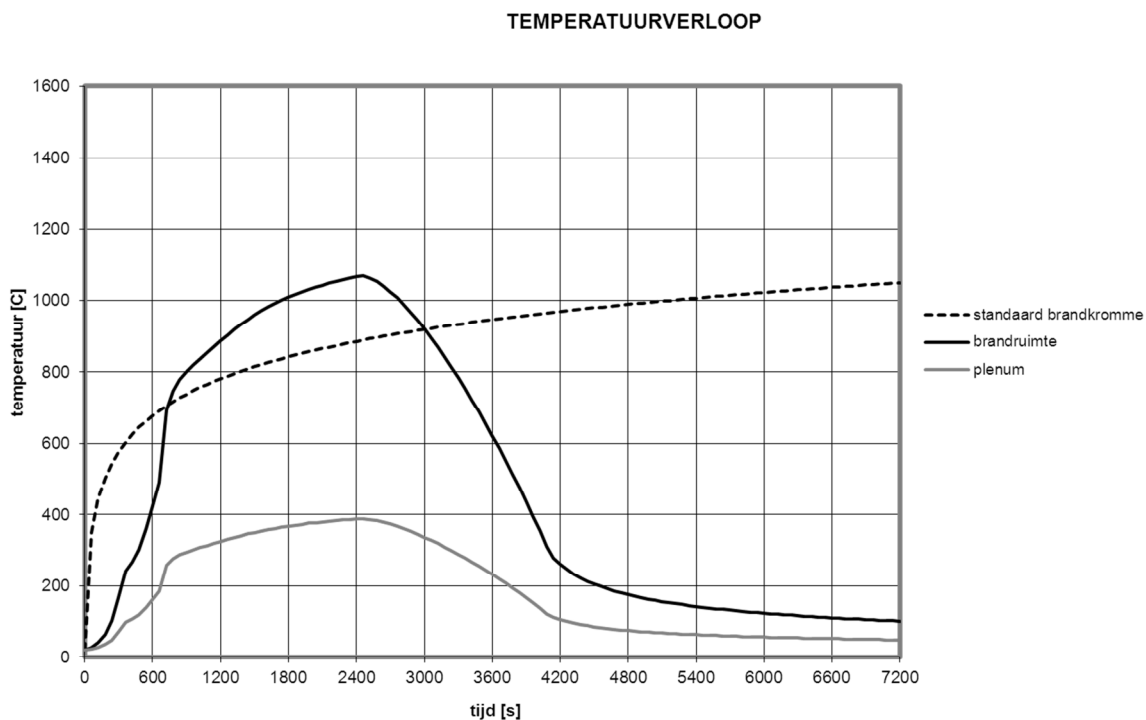
Hierin is:

$Q_{tr}$	vermogen door transmissie [W]
$Q_{conv}$	vermogen door convectie [W]
$M$	massastroom luchttoevoer via plenum [kg/s]
$R_{plaf}$	warmteweerstand voor transmissie van de plafondconstructie [ $m^2K/W$ ]
$A_{plaf}$	oppervlakte van het plafond [ $m^2$ ]
$T_a$	omgevingstemperatuur [K]
$T_{plenum}$	gastemperatuur in het plenum [K]
$T_{bc}$	gastemperatuur in het brandcompartiment [K]

Bij een luchttoevoerstream van  $220 \text{ dm}^3/\text{s}$  bedraagt de massastroom circa  $0,265 \text{ kg/s}$ . Voor het plafond is uitgegaan van een systeemplafond, bestaande uit steenwolplaten van circa  $20 \text{ mm}$  dik met een warmteweerstand van  $0,5 \text{ m}^2K/W$ . De warmteweerstand van het plafond is vermeerderd met de overgangswaarde tussen plafond en plenum (aangenomen op  $0,04 \text{ m}^2K/W$ ). De plafondoppervlakte bedraagt circa  $77 \text{ m}^2$ .

De omgevingstemperatuur is constant op  $293 \text{ K}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) aangehouden. De gastemperatuur in de brandruimte volgt uit het natuurlijk brandconcept, zie hoofdstuk 7. De luchttemperatuur in het plenum wordt verkregen door de bovenstaande vergelijkingen voor warmtetransmissie en warmteconvectie gelijk te stellen aan elkaar.

In de volgende grafiek zijn de temperaturen in de brandruimte en het plenum gedurende de totale brandduur weergegeven en vergeleken met de standaard brandkromme. De brandwerendheidseis van 60 minuten voor de kanaalplaatvloer is gerelateerd aan de standaard brandkromme.





## 9. Prestatie

### Binnenbrandscenario

Uit het temperatuurverloop blijkt dat de thermische belasting vanwege de temperatuur in het plafondplenum beduidend lager is dan de thermische belasting vanwege de gastemperatuur in de brandruimte of de standaard brandkromme. De temperaturen in de brandruimte en het plafondplenum vertonen echter een ander verloop dan de standaard brandkromme, waardoor een directe vergelijking niet mogelijk is.

Die vergelijking wordt gemaakt met de equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme. Dit is de brandduur volgens de standaard brandkromme die energetisch overeenkomt met de gastemperatuur (in brandruimte, resp. plafondplenum) gedurende het totale brandscenario in het natuurlijk brandconcept.

De onderstaande tabel geeft de equivalente brandduren volgens de standaard brandkromme weer voor de brandruimte en het plafondplenum.

Temperatuurverloop	Max. temperatuur [°C]	Equivalente brandduur [min.]
Standaard brandkromme	945	60
Brandruimte	1068	63
Plafondplenum	389	28

De thermische belasting aan de onderzijde van de kanaalplaatvloer bedraagt minder dan 30 minuten equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme. Daarnaast is de maximale temperatuur in het plenum laag vergeleken met de temperaturen volgens de standaard brandkromme. De kanaalplaatvloer kan zonder specifieke constructieve detaillering worden toegepast.

Hierbij moet worden opgemerkt dat het vertalen van de thermische belasting in een equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme niet geheel vrij is van discussie. Een vergelijkbare methode wordt echter ook in Eurocode 1 (EN 1991-1-2) toegepast als verbinding tussen thermische belasting en mechanische respons. Zolang een materiaal- en constructiespecifieke koppeling tussen belasting en respons ontbreekt is dit de beste optie. Het onderzoek naar de afstemming van het natuurlijk brandconcept op het publiekrechtelijk veiligheidsniveau (NEN-werkgroep FSE ter onderbouwing van NEN-EN 1991-1-2/NB, zie rapport Wu040430aaA5.rhe, juli 2009) ondersteunt dit.

### Buitenbrandscenario

De voorwaarde voor de buitenafwerking, zoals gegeven in hoofdstuk 7, houdt in dat een buitenafwerking bestaande uit een (geprofileerde) staalplaat altijd als thermisch licht moet worden beschouwd. In dat geval moeten brandbare materialen in de gevel achter de staalplaat worden vermeden.

Een cementvezelplaat met een warmtegeleidingscoëfficiënt van  $\lambda = 0,7 \text{ W/(m.K)}$  is als buitenafwerking voldoende thermisch zwaar bij een dikte van circa 0,025 m (25 mm). Bij een dergelijke buitenafwerking kunnen brandbare materialen in de gevel worden toegepast zonder het risico op branduitbreiding in de gevel te vergroten.

Een buitenafwerking die voldoet aan een fire protection ability volgens NEN-EN 13501-2 van K<sub>2</sub> 30 mag ook als voldoende thermisch zwaar beschouwd worden.

## 10. Implementatie voorzieningen

### Binnenbrandscenario

Om koeling van de kanaalplaatvloeren via het plafondplenum te bereiken moet het plafondplenum bouwkundig intact blijven gedurende de totale brandduur. Dit betekent niet dat de plafondplaten 60 minuten bestand moeten zijn tegen brand (niet gaan branden of delamineren e.d.), brandwerendheid is niet noodzakelijk (geen E-, I-, of W-criterium). Het ophangstelsel bevindt zich in het plenum. De maximale temperatuur in het plenum is zo laag dat aan het ophangstelsel geen specifieke eisen gesteld hoeven worden. Openingen in het plafond zijn noodzakelijk om luchttoevoer vanuit het plenum naar het lokaal mogelijk te maken. Wanneer de openingsgrootte enigszins wijzigt, b.v. door een andere verdeling van verlichtingsarmaturen, leidt dat niet tot het falen van het systeem. Het systeem is niet gevoelig voor deze parameter.

Naast het in stand houden van het bouwkundige plafondplenum moet ook een aantal installatietechnische randcondities ingevuld worden. De luchttoevoer die in de gebruikssituatie nodig is moet ook in de brandsituatie aanwezig zijn. De luchtafvoer is in de brandsituatie echter wel anders dan in de gebruikssituatie. In de gebruikssituatie wordt gebruik gemaakt van een overstroomvoorziening vanuit het lokaal naar de verkeersruimte. Deze moet in de brandsituatie juist worden gesloten. In plaats daarvan moet de afvoer in de brandsituatie rechtstreeks naar buiten toe plaatsvinden.

Dit houdt in dat de brandmeldinstallatie (BMI) naast de ontruimingsalarminstallatie (OAI) de volgende voorzieningen moet aansturen:

- De overstroomvoorziening vanuit het lokaal (brandruimte) naar de verkeersruimte;
- De afvoervoorziening in de gevel van het lokaal (brandruimte).

Om voldoende betrouwbaarheid in de werking van de installatietechnische voorzieningen te garanderen is een automatische detectie (volledige bewaking) noodzakelijk.

### Buitenbrandscenario

Indien in de gevelconstructie geen brandbare materialen worden toegepast, of indien de buitenafwerking van de gevel voldoende thermisch zwaar is, is het risico van een buitenbrandscenario voor het gebouw beperkt.

Indien aan deze voorwaarden niet voldaan wordt, kan het risico van het buitenbrandscenario met organisatorische maatregelen worden beperkt. Dit kan inhouden dat vuurlast tegen de buitenzijde van de gevel structureel wordt verwijderd, of dat het terrein dat grenst aan de gevel ontoegankelijk is.

## **11. Brandveiligheid management en audit**

De bouwkundige voorzieningen vergen geen onderhoud, behalve dat eventuele gebreken onmiddellijk moeten worden hersteld.

De installaties dienen aan een inspectie- en onderhoudsregime te worden onderworpen. Met certificering wordt dit in elk geval bereikt (BMI en OAI). Echter, ook de installaties die niet kunnen worden gecertificeerd moeten aan een inspectie- en onderhoudsregime worden onderworpen. Storingen, inspecties en onderhoudswerkzaamheden moeten in een logboek worden bijgehouden.

## **12. Omgaan met wijzigingen**

Het is denkbaar dat het ventilatieconcept in de toekomst gewijzigd zou kunnen worden, bij voorbeeld wanneer het gebouw een andere functie krijgt. In dat geval zullen ook de brandstofkenmerken wijzigen en zal de thermische belasting op de kanaalplaatvloeren opnieuw beschouwd moeten worden. Wanneer het plafondplenum in dat geval niet meer als inblaasplenum wordt gebruikt zal dat vrijwel zeker tot een beschermende voorziening tegen de onderzijde van de kanaalplaatvloer leiden.

Deze variant met een beschermende voorziening is ook al beschreven in hoofdstuk 1. De variant is in principe even gevoelig voor wijzigingen in toekomstig gebruik. Echter, de variant geeft rechtlijnig invulling aan de publiekrechtelijke regelgeving en is daardoor niet projectspecifiek. Wijzigingen in het toekomstig gebruik zullen niet tot aanpassing van de beschermende voorziening leiden.