

Fysisch brandmodel

Afstemming risiconiveau aan publiekrechtelijke regelgeving constructieve veiligheid

i.o.v.

NEN Bouw
Postbus 5059
2600 GB DELFT

Adviesburo Nieman B.V.
Postbus 40147
8004 DC ZWOLLE
T (038) 467 00 30
F (038) 467 00 40

zwolle@nieman.nl
www.nieman.nl

Datum	13 juli 2009
Projectnummer	u040430aa
Rapportnummer	Wu040430aaA5.rhe

Opdrachtgever

NEN Bouw
Postbus 5059
2600 GB DELFT
T (015) 269 03 90
F (015) 269 01 90
vertegenwoordigd door:
de heer ing. M.C.O. Mergeay

Omschrijving project

Fysisch brandmodel – afstemming risiconiveau aan publiekrechtelijke regelgeving constructieve veiligheid

Projectnummer

u040430aa

Datum

13 juli 2009

Versie

FASE 1 - DEFINITIEF

Uitgevoerd door

Adviesburo Nieman B.V.
Vestiging Zwolle

R.A.P. van Herpen

Met medewerking van
P.H.E. van de Leur (DGMR)
A.C.W.M. Vrouwenvelder (TNO)
R. Hamerlinck (Adviesbureau Hamerlinck)

Het rapport omvat:

44 pagina's tekst en 5 bijlagen

Samenvatting

In opdracht van NEN Bouw zijn berekeningen met het fysisch brandmodel uitgevoerd, voor diverse casussen en met een aantal verschillende risicomodellen. Het doel van de berekeningen is om inzicht te verkrijgen in hoe het veiligheids- en voorzieningenniveau bij de verschillende risicomodellen zich verhoudt tot dat van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit en Gebruiksbesluit). Als toetsgrootte hiervoor is de equivalente brandduur gehanteerd. Daarbij is ook de maximale temperatuur vermeld.

Dat houdt in dat in de toetsing alleen de thermische belasting op draagconstructies is beschouwd. De thermische en mechanische respons van draagconstructies is materiaalafhankelijk en vooralsnog buiten beschouwing gelaten. Uiteraard speelt deze respons een rol in het bezwijkrisico. Dit kan invloed hebben op de toetsgrootheden voor de thermische belasting. Daarvoor is vervolgonderzoek noodzakelijk (zie hoofdstuk 7: plan van aanpak fase 2).

In hoofdstuk 6 wordt geconcludeerd dat het risicomodel zoals die momenteel in NEN-EN 1991-1-2/NB:2007 is opgenomen voldoende robuust is. In dit risicomodel wordt een *correctiefactor nationaal veiligheidsniveau* toegepast op de vuurbelasting, bedoeld om daarmee hogere brandwerendheidseisen te kunnen waarden. Omdat deze correctiefactor niet past in een risicomodel wordt voorgesteld om aan te sluiten op de gevolklassen (consequences classes: CC) van NEN-EN 1990:2002+NB:2007 en in plaats van een correctiefactor op de vuurbelasting een andere betrouwbaarheidsindex (β), corresponderend met de bijbehorende gevolgklasse te hanteren. Ook dit kan in het vervolgonderzoek (fase 2) worden meegenomen.

Zwolle, 13 juli 2009
Adviesburo Nieman B.V.

Inhoudsopgave

		Pagina
Hoofdstuk 1	Inleiding	9
Hoofdstuk 2	Constructieve brandveiligheid	11
2.1	Eurocode	11
2.2	Bouwbesluit 2003	12
2.3	Afstemming constructieve brandveiligheid	12
Hoofdstuk 3	Toelichting fysisch brandmodel en risicomodellen	13
3.1	Fysisch brandmodel	13
3.2	Risicomodellen	14
3.2.1	<i>Risicobenadering bijlage E van NEN-EN 1991-1-2:2002+NB:2007</i>	14
3.2.2	<i>Aansluiting risicobenadering op veiligheidsniveau publiekrechtelijke regelgeving</i>	15
Hoofdstuk 4	Casussen, uitgangspunten en randvoorwaarden	17
4.1	Casussen	17
4.2	Gebruiksfuncties en bouwkundige situaties	17
4.3	Brandbeveiligingsvoorzieningen	18
4.4	Brandscenario	19
Hoofdstuk 5	Berekeningen	21
5.1	Berekende casussen en varianten	21
5.2	Fysische berekeningen	21
5.3	Risicofactoren	25
5.4	Berekeningen met risicomodel	27
Hoofdstuk 6	Conclusies	37
6.1	Algemeen	37
6.2	Risicomodel 1	37
6.3	Risicomodel 2	38
6.4	Risicomodel 3	39
Hoofdstuk 7	Onderzoek fase 2	41
7.1	Afstemming risiconiveau aan publiekrechtelijke regelgeving constructieve veiligheid - fase 2	41
7.2	Plan van Aanpak - fase 2	42
Bijlage 1	Begripsvorming veiligheidsniveau	
Bijlage 2	Constructieve veiligheid in eurocodes	
Bijlage 3	Probabilistische benadering van veiligheid	
Bijlage 4	Casussen	
Bijlage 5	Rekenresultaten fysische berekeningen	

Hoofdstuk 1 Inleiding

In opdracht van NEN Bouw zijn berekeningen met het fysisch brandmodel uitgevoerd, voor diverse casussen en met een aantal verschillende risicomodellen.

Het doel van de berekeningen is om inzicht te verkrijgen in hoe het veiligheids- en voorzieningenniveau bij de verschillende risicomodellen zich verhoudt tot dat van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit en Gebruiksbesluit). Als toetsgrootte hiervoor is de equivalente brandduur gehanteerd. Daarbij is ook de maximale temperatuur vermeld.

Dat houdt in dat in de toetsing alleen de thermische belasting op draagconstructies is beschouwd. De thermische en mechanische respons van draagconstructies is materiaalafhankelijk en vooralsnog in deze onderzoeksfase buiten beschouwing gelaten. Uiteraard speelt deze respons een rol in het bezwijkrisico. Daarvoor is vervolgonderzoek noodzakelijk (fase 2).

In de nationale bijlage NEN-EN 1991-1-2/NB:2007 wordt voor een brandweerstandseis m.b.t. bezwijken anders dan 60 minuten een correctiefactor '*veiligheidsniveau nationale regelgeving*' (δ_r) toegepast. Deze correctiefactor staat nog ter discussie. Daarom is onderzocht of een meer correcte probabilistische benadering mogelijk is, gerelateerd aan een toelaatbare bezwijkkans van de hoofddraagconstructie of de totale gebruiksoppervlakte die op de hoofddraagconstructie is aangewezen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een toelichting gegeven op de definitie van constructieve veiligheid volgens NEN-EN 1990:2002+NB:2007, waarop ook NEN-EN 1991-1-2:2002+NB:2007 is gebaseerd. Deze wordt vergeleken met de definitie van constructieve veiligheid in de publiekrechtelijke regelgeving (i.c. Bouwbesluit 2003).

Hoofdstuk 3 bevat een toelichting op het fysisch brandmodel en het risicomodel. De casussen met uitgangspunten en randvoorwaarden zijn weergegeven in hoofdstuk 4. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen van deze onderzoeksfase. Voor het vervolgonderzoek (fase 2) is in hoofdstuk 7 een plan van aanpak opgesteld.

Hoofdstuk 2 Constructieve brandveiligheid

2.1 Eurocode

In de Eurocode wordt in NEN-EN 1990:2002+NB:2007 (Grondslagen van het constructief ontwerp) uitgegaan van een veiligheidsniveau op basis van een risicogrenswaarde. In het kort komt het erop neer dat de mechanische respons van een draagconstructie wordt bepaald door de mogelijk optredende mechanische en thermische belastingen. Als risicogrenswaarde wordt een toelaatbare kans op het maximale effect (bezwijken van de draagconstructie) gehanteerd.

De thermische belasting wordt hierin bepaald door brand in het bouwwerk of het gebouw. In dat laatste geval wordt uitgegaan van een brand in één brandcompartiment. De heftigheid van de brand (het brandvermogen en de thermische consequenties hiervan voor de brandruimte) wordt bepaald door een groot aantal variabelen, waarvan de onderlinge samenhang in het fysisch brandmodel (natuurlijk brandconcept) is beschreven. Met welk brandvermogen er uiteindelijk gerekend moet worden om de thermische belasting van de draagconstructie te kunnen bepalen hangt af van de kans op het ontstaan van brand, de kans op het optreden van flash-over en stochastische verdeling van de verschillende variabelen.

De mechanische respons (het bezwijken van de draagconstructie) hangt af van eveneens stochastisch verdeelde materiaaleigenschappen. De thermische/mechanische respons is dus materiaal-afhankelijk en blijft in dit onderzoek buiten beschouwing. Thermische belasting en thermische/mechanische respons worden dus gescheiden van elkaar, net als dat het geval is voor mechanische belasting en mechanische respons.

Het bovenstaande houdt in dat constructieve veiligheid in de Eurocode gebaseerd is op een risicomodel. In het algemeen wordt risico gekwantificeerd als het product van kans van optreden van een incident en het effect bij optreden van dat incident:

$$\text{Risico} = \text{kans} \cdot \text{effect}$$

(NB: niet persé een lineair verband)

Het effect kan worden uitgedrukt in kosten (schade-risico's), lethaliteit (persoonlijke plaatsgebonden risico's), of aantal lethale slachtoffers (groepsrisico's). In bijlage 1 wordt aangegeven welke risico's publiekrechtelijk van belang zijn. Als het gaat om de instandhouding van de hoofddraagconstructie dienen de volgende doelen te worden beschouwd:

- Primair het beschermen van gebruikers en hulpverleners bij evacuatie/redding;
- Secundair het beschermen van hulpverleners bij het bestrijden van de brand;
- Tertiair het voorkomen dat het gebouw tijdens het incident bezwijkt;
- Als laatste het beperken van het branduitbreidingsgebied in het gebouw (ondersteunen van brandwerende scheidingen).

Met deze doelen is de constructieve veiligheidsbenadering volgens de Eurocode nader beschouwd in bijlage 2.

2.2 Bouwbesluit 2003

In de Woningwet is het Bouwbesluit als AMvB aangewezen voor alle bouwtechnische eisen waaraan nieuwe en bestaande bouwwerken (en gebouwen) moeten voldoen.

Het Bouwbesluit legt veiligheid niet vast in een risicogrenswaarde maar in diverse effectgrenswaarden. Het risico bij die verschillende effectgrenswaarden is zeer verschillend. Daardoor is aansluiten op een risicogrenswaarde, zoals in de voorgaande paragraaf is toegelicht voor de Eurocode, per definitie onmogelijk. In bijlage 3 is dit aansluitprobleem toegelicht.

Ten aanzien van brandveiligheid kent het Bouwbesluit een 'standaard' brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de hoofddraagconstructie van 60 minuten. Deze kan soms worden gereduceerd tot 30 minuten, terwijl voor hogere gebouwen hogere eisen gelden (90 en 120 minuten). De tijdsduur in minuten is gerelateerd aan de standaard brandkromme en bezit daardoor geen relatie met de werkelijke tijdsduur van instandhouding.

Voor wat betreft de 'standaard' eis met betrekking tot instandhouding van hoofddraagconstructies kan zonder meer worden aangesloten bij de Eurocode. Voor hogere eisen aan de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken (90 en 120 minuten) moet een vertaling worden gemaakt van de extra veiligheid die met die eisen wordt beoogd. In bijlage 2 wordt dit overwogen in termen van risico's.

2.3 Afstemming constructieve brandveiligheid

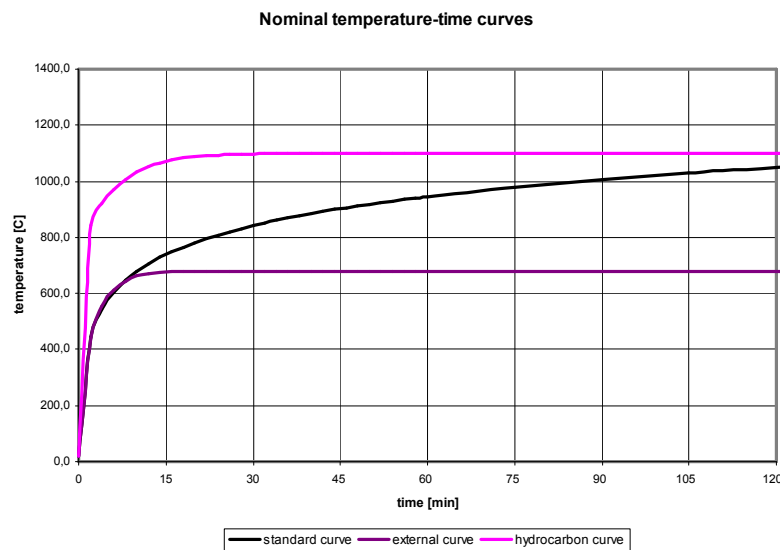
Constructieve brandveiligheid is in het Bouwbesluit gerelateerd aan de standaard brandkromme. Daardoor is constructieve brandveiligheid in het Bouwbesluit een effectgrenswaarde en ligt het veiligheidsrisico niet vast.

Constructieve brandveiligheid is in de Eurocode daarentegen wel gedefinieerd in risicogrenswaarden. Om aan risico's in geval van brand te kunnen rekenen is een fysisch brandmodel noodzakelijk, zie paragraaf 3.1. NEN-EN 1991-1-2:2002+NB:2007 geeft in bijlage E aan hoe een risicomodel in het fysisch brandmodel kan worden opgenomen, zie paragraaf 3.2.

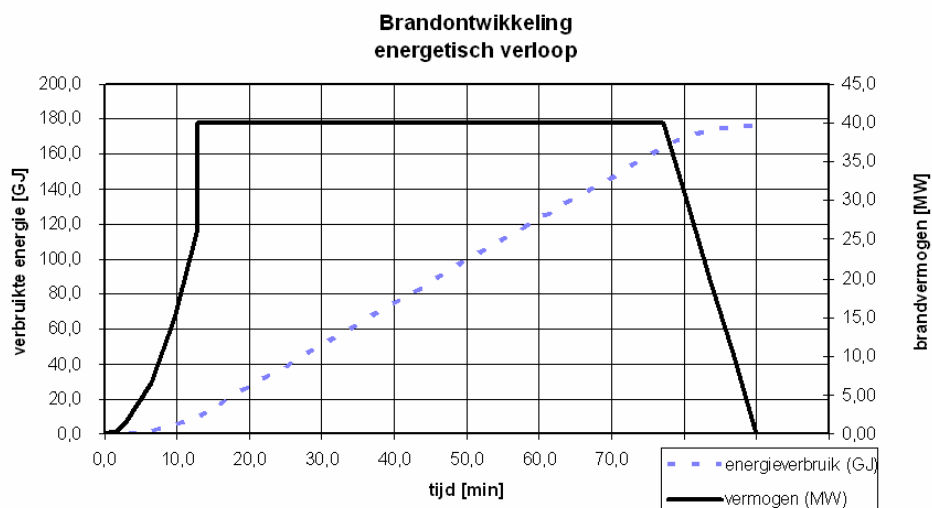
Hoofdstuk 3 Toelichting fysisch brandmodel en risicomodellen

3.1 Fysisch brandmodel

Door de werkgroep *Fire Safety Engineering* is een fysisch brandmodel ontwikkeld dat het mogelijk maakt om de thermische consequenties ten gevolge van brand te bepalen op basis van een brandvermogensscenario. De temperaturen in de brandruimte die op basis hiervan worden berekend, zijn realistischer dan de temperaturen op basis van de voorgedefinieerde standaard brandkromme.



Figuur 1: Temperatuurkrommen (NEN-EN 1991-1-2:2002; koolwaterstofkromme, standaard brandkromme en externe brandkromme).



Figuur 2: Voorbeeld van een brandvermogensscenario, berekend met het fysisch brandmodel. Hierin zijn de drie fasen van het brandverloop te onderscheiden: de ontwikkelfase, de volledig ontwikkelde brand (stationair brandvermogen) en de dooffase (lineaire afname van het brandvermogen).

De ontwikkelfase is brandstofbeheerst en wordt gekenmerkt door de referentie vermogensdichtheid en de tijdconstante. De volledig ontwikkelde brand (na flash-over) wordt gekenmerkt door het verbrandingsmodel in de ventilatiebeheerste fase (extended duration of external flaming). Bij een bekende vuurbelasting volgt hieruit de totale brandduur. De referentie vermogensdichtheid, tijdconstante en vuurbelasting zijn op basis van statistisch onderzoek per gebruiksfunctie vastgelegd (rapport Wu040430aaA3.rhe, Adviesburo Nieman, september 2007).

Het fysisch brandmodel zelf is beschreven in de rapporten:

- Wu040430aaA1.rhe, Adviesburo Nieman, juni 2007 (zonemodel)
- Wu040430aaA2.rhe, Adviesburo Nieman, juni 2007 (submodellen)

Inmiddels is het fysisch brandmodel in een normvoorstel vervat (concept NEN 6055, werkgroep Fire Safety Engineering, opgeleverd in juni 2009).

3.2 Risicomodellen

3.2.1 Risicobenadering bijlage E van NEN-EN 1991-1-2:2002+NB:2007

In deze uitwerking is voor het maximale effect (het bezwijken van de hoofd-draagconstructie) uitgegaan van een toelaatbare waarschijnlijkheid van $1,3 \cdot 10^{-6}$ [jr^{-1}] gedurende de levensduur van het gebouw, gevolgklasse CC2 volgens NEN-EN 1990:2002+NB:2007 (zie bijlage 2). De kans op het bezwijken van de hoofddraagconstructie wordt afhankelijk gesteld van de kans op het ontstaan van een brand die uitgroeit tot een compartimentsbrand. Daaraan wordt een risicofactor gekoppeld. Deze risicofactor volgt uit een vermenigvuldigingsfactor die afhangt van:

- de grootte van de brandruimte,
- de gebruiksfunctie van de brandruimte, en
- de aanwezige brandbeveiligingsvoorzieningen.

In NEN-EN 1991-1-2:2002 wordt de risicofactor in bijlage E toegepast op de vuurbelasting, met als doel om in systematiek aan te sluiten op de methodiek van NEN-EN 1990:2002.

In rapport Wu040403aaA3.rhe (Adviesburo Nieman, januari/september 2007) is aangegeven dat niet de vuurbelasting (potentiële energie) maar de brandvermogensdichtheid (vrijkomende energie per tijdseenheid) als thermische belasting moet worden beschouwd. Om die reden heeft de werkgroep *Fire Safety Engineering* voorgesteld om de risicofactor op de brandvermogensdichtheid toe te passen. Daarnaast zijn ten opzichte van NEN-EN 1991-1-2:2002 nog enkele andere wijzigingen doorgevoerd. Dit is vastgelegd in de nationale bijlage NEN-EN 1991-1-2/NB:2007.

Het voordeel van een risicobenadering is dat hiermee een veiligheidsniveau kan worden vastgelegd zonder specifieke maatregelen voor te schrijven. Dit is met name van belang bij toepassing van het gelijkwaardigheidsbeginsel van het Bouwbesluit (artikel 1.5), maar ook bij gebouwen die buiten het concrete toepassingsgebied van het Bouwbesluit vallen (afdeling 2.22: grote brandcompartimenten en afdeling 2.23: hoge en ondergrondse gebouwen).

Op gebouwen die in afdeling 2.23 van het Bouwbesluit vallen is mogelijk een andere gevolgklasse van toepassing (CC3 volgens NEN-EN 1990:2002+NB:2007). In dat geval is feitelijk ook een andere set tabellen nodig in bijlage E van NEN-EN 1991-1-2:2002+NB:2007. Dit is onwenselijk, wellicht kunnen dezelfde tabellen worden gebruikt met aanpassing van randvoorwaarden (zie paragraaf 3.2.2).

Daarnaast komen ook hogere eisen aan de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken voor in het Bouwbesluit binnen dezelfde gevolgklasse (CC2). Hier zouden eveneens met aanpassing van randvoorwaarden de tabellen in bijlage E van NEN-EN 1991-1-2:2002+NB:2007 kunnen worden toegepast (zie paragraaf 3.2.2).

3.2.2 Aansluiting risicobenadering op veiligheidsniveau publiekrechtelijke regelgeving

Naast de risicofactor volgens paragraaf 3.2.1 wordt in NEN-EN 1991-1-2/NB:2007 een correctiefactor voor het veiligheidsniveau nationale regelgeving voorgeschreven. Deze correctiefactor is afhankelijk van de vereiste brandwerendheid met betrekking tot bezwijken conform het Bouwbesluit en wordt als vermenigvuldigingsfactor op de vuurbelasting toegepast. De correctiefactor wordt dus niet, zoals de risicofactor, toegepast op de brandvermogensdichtheid. Dit sluit aan op het Bouwbesluit, waarin een hogere eis aan de brandwerendheid gelijk staat aan een langere brandduur volgens de standaard brandkromme.

Het doel van deze correctiefactor is om voor gebouwen binnen dezelfde gevolgklasse (CC2) toch onderscheid te kunnen maken in veiligheidsniveau, vanwege het onderscheid dat het Bouwbesluit hierin maakt. Hoewel op deze wijze aansluiting op het Bouwbesluit kan worden verkregen, past dit niet goed in de gevolgde risicobenadering. Wellicht is het beter om hogere brandwerendheidseisen niet in een vermenigvuldigingsfactor op de vuurbelasting te vertalen, maar deze in de totale vloeroppervlakte die op de hoofddraagconstructie is aangewezen of in de toelaatbare bezwijkkans van de hoofddraagconstructie op te nemen. Zo ontstaan er dus drie mogelijke risicomodellen voor aansluiting aan het veiligheidsniveau van de publiekrechtelijke regelgeving:

Risicomodel 1: vermenigvuldigingsfactor op de vuurbelasting

Eisen aan de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van meer dan 60 minuten zijn in NEN-EN 1991-1-2/NB:2007 vertaald in een vermenigvuldigingsfactor voor de vuurbelasting. Dit sluit aan op het Bouwbesluit, waarin een hogere eis tot een langere brandduur volgens de standaard brandkromme leidt.

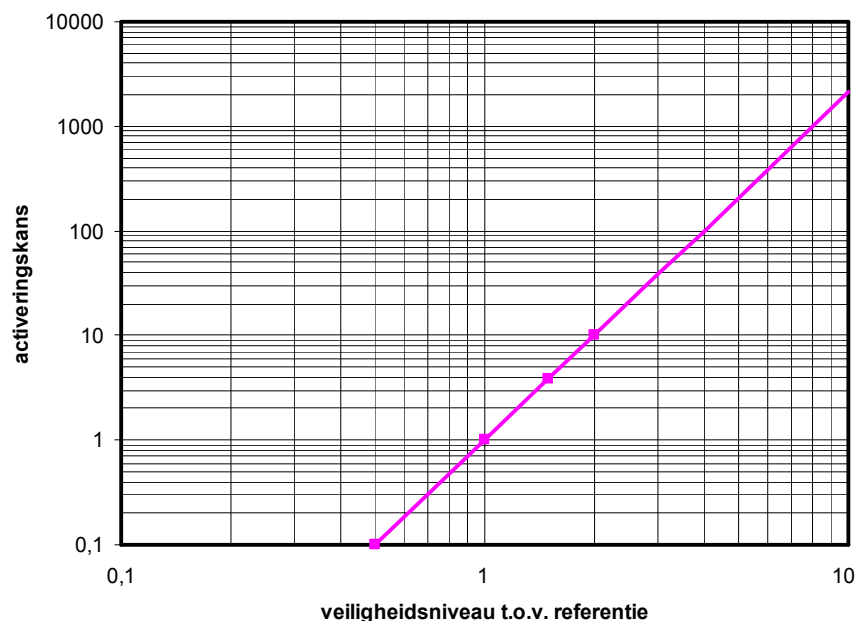
Risicomodel 2: lagere toelaatbare kans op bezwijken

Wellicht is het beter om hogere brandwerendheidseisen niet in een vermenigvuldigingsfactor voor de vuurbelasting te vertalen, maar in een correctiefactor op de toelaatbare bezwijkkans van de hoofddraagconstructie (d.w.z. een andere betrouwbaarheidsindex). Daarmee wordt weliswaar een minder directe link met het Bouwbesluit bereikt, maar wordt wel meer eenduidig een hoger veiligheidsniveau vastgelegd. Dit houdt in dat voor een hogere brandwerendheidseis een hogere veiligheidsklasse wordt toegepast. De toelaatbare bezwijkkans van de hoofddraagconstructie ligt bij een brandwerendheidseis van

120 minuten dan een factor 10 lager dan in de referentiesituatie met een brandwerendheidseis van 60 minuten. (dus een bezwijkkans van $1,3 \cdot 10^{-7}$ per jaar in plaats van $1,3 \cdot 10^{-6}$ per jaar). Om te vermijden dat de set tabellen in NEN-EN 1991-1-2/NB:2007 daarvoor moet worden gewijzigd wordt een factor 10 lagere toelaatbare bezwijkkans vertaald in een factor 10 grotere activeringskans bij een brandwerendheidseis van 120 minuten.

Voor een brandwerendheidseis van 30 minuten mag dan van een activeringskans die een factor 10 lager ligt dan in de referentiesituatie (60 minuten) worden toegepast.

Voor een brandwerendheidseis van 90 minuten geldt dan een activeringskans die een factor 3,85 hoger ligt dan in de referentiesituatie (60 minuten).



Figuur 3: Activeringskans gerelateerd aan het relatieve veiligheidsniveau. Voor de referentiesituatie geldt een brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van 60 minuten.

Risicomodel 3: risicofactor relateren aan de totale gebruiksoppervlakte

Tenslotte is het ook mogelijk om de risicofactor te relateren aan de totale gebruiksoppervlakte die op de hoofddraagconstructie aangewezen is, in plaats van aan de (maximaal toelaatbare) oppervlakte van de brandruimte. Een grotere gebruiksoppervlakte (dus een groter gebouw) leidt dan tot een grotere risicofactor. Als nadeel hierin geldt dat het hierbij niet uitmaakt of het gebouw hoog is of laag en uitgestrekt is. Om die reden kan een combinatie met model 2 wenselijk zijn.

Er moet nog worden nagegaan welk risicomodel het meest recht doet aan de constructieve veiligheid bij hogere brandwerendheidseisen met betrekking tot bezwijken. Dit is mogelijk aan de hand van verschillende casussen, waarbij de risicofactor bij verschillende voorzieningenniveaus zal worden bepaald. Om onderling te kunnen vergelijken wordt een relatie gelegd met de standaard brandkromme door middel van de equivalente brandduur (equivalente energetische belasting van de draagconstructie bij een natuurlijk brandconcept).

Hoofdstuk 4 Casussen, uitgangspunten en randvoorwaarden

4.1 Casussen

Met een aantal representatieve casussen wordt een vergelijkingsstudie uitgevoerd naar het veiligheidsniveau ten aanzien van de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de hoofddraagconstructie. Daarin wordt het fysisch brandmodel met de verschillende risicomodellen vergeleken met het voorzieningenniveau volgens de publiekrechtelijke regelgeving.

Het gaat om:

- verschillende gebruiksfuncties
- verschillende bouwkundige eigenschappen (lay-out, openingen, materialisering)
- verschillende brandbeveiligingsinstallaties (waarin mogelijk onderscheid wordt gemaakt of de installaties worden geëist uit oogpunt van veilig vluchten en rookbeheersing of brandbeheersing)
- verschillende eiseniveaus aan de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de hoofddraagconstructie, volgens de drie risicomodellen van 3.2.2.

De reeds uitgevoerde hoogbouwstudies (rapport: Wu040430aaA4.nvo) zijn in de casussen opgenomen. Uit deze studies is gebleken dat de thermische massa van de brandruimte in het totale brandscenario van geringe invloed is.

4.2 Gebruiksfuncties en bouwkundige situaties

Het fysisch brandmodel is toegepast op verschillende casussen met diverse gebruiksfuncties. Tabel 1 geeft een overzicht van de beschouwde bouwkundige situaties.

In bijlage 4 zijn plattegronden en gevelaanzichten van deze functies bijgevoegd.

Tabel 1: overzicht casussen en varianten

Casus	Bouwkundige situatie	Varianten
A. kantoorfunctie	thermisch zware constructie met openingen in 2 langsgevels, BC (1 verdieping) ca. 544 m ²	a) hoogste vloer VG 5 m b) hoogste vloer VG 20 m c) hoogste vloer VG 50 m
B. kantoorfunctie	thermisch zware constructie met openingen in 4 gevels, oppervlakte BC (1 verdieping) ca. 697 m ²	a) hoogste vloer VG 50 m b) hoogste vloer VG 70 m c) hoogste vloer VG 100 m d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler e) hoogste vloer VG 200 m
C. kantoorfunctie	thermisch lichte constructie met openingen en semi-openingen in 4 gevels (vliesgevel), oppervlakte BC (1 verdieping) ca. 697 m ²	a) hoogste vloer VG 50 m b) hoogste vloer VG 70 m c) hoogste vloer VG 100 m d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler e) hoogste vloer VG 200 m
D. woonfunctie	thermisch zware constructie met openingen in 4 gevels, 4 appartementen per bouwlaag, oppervlakte BC ca. 633 m ² , oppervlakte subBC ca. 148 m ²	a) hoogste vloer VG 7 m b) hoogste vloer VG 13 m c) verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht d) verminderd zelfredzaam met permanent toezicht e) hoogste vloer VG 70 m f) hoogste vloer VG 100 m
E. logiesfunctie	thermisch zware constructie met openingen in 2 langsgevels, oppervlakte BC (1 verdieping) ca. 544 m ² , oppervlakte subBC ca. 34 m ²	a) hoogste vloer VG 5 m b) hoogste vloer VG 13 m c) hoogste vloer VG 70 m
F. winkelfunctie (supermarkt)	thermisch zware constructie met opening in 1 gevel (winkelpui), oppervlakte BC (1 verdieping) ca. 2.000 m ²	a) hoogste vloer ≤ 5 m b) hoogste vloer ≤ 50 m
G. winkelfunctie (meubelzaak)	thermisch zware constructie met opening in 1 gevel (winkelpui), oppervlakte BC (1 verdieping) ca. 10.000 m ²	a) hoogste vloer ≤ 5 m b) hoogste vloer ≤ 50 m

Afkortingen in tabel 1:

BC = brandcompartiment
subBC = subbrandcompartiment
VG = verblijfsgebied

4.3 Brandbeveiligingsvoorzieningen

In de berekeningen is rekening gehouden met de brandbeveiligingsvoorzieningen zoals vereist conform het Bouwbesluit en het Gebruiksbesluit (zie tabel 2).

Tabel 2: brandbeveiligingsvoorzieningen

Casus	Variant	Brandbeveiligingsvoorzieningen
A. kantoorfunctie	a) hoogste vloer VG 5 m	- (geen)
	b) hoogste vloer VG 20 m	- BMI (niet-automatische bewaking)
	c) hoogste vloer VG 50 m	- BMI (niet-automatische bewaking) met doormelding
B. kantoorfunctie	a) hoogste vloer VG 50 m	- BMI (niet-automatische bewaking) met doormelding
	b) hoogste vloer VG 70 m	- BMI (gedeeltelijke bewaking) met doormelding
	c) hoogste vloer VG 100 m	- BMI (volledige bewaking) met doormelding
	d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	- BMI (volledige bewaking) met doormelding en sprinklerinstallatie
	e) hoogste vloer VG 200 m	- BMI (volledige bewaking) met doormelding en sprinklerinstallatie
C. kantoorfunctie	a) hoogste vloer VG 50 m	- BMI (niet-automatische bewaking) met doormelding
	b) hoogste vloer VG 70 m	- BMI (gedeeltelijke bewaking) met doormelding
	c) hoogste vloer VG 100 m	- BMI (volledige bewaking) met doormelding
	d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	- BMI (volledige bewaking) met doormelding en sprinklerinstallatie
	e) hoogste vloer VG 200 m	- BMI (volledige bewaking) met doormelding en sprinklerinstallatie
D. woonfunctie	a) hoogste vloer VG 7 m	- (geen)
	b) hoogste vloer VG 13 m	- (geen)
	c) hoogste vloer VG 13 m en verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht	- BMI (gedeeltelijke bewaking) met doormelding
	d) hoogste vloer VG 13 m en verminderd zelfredzaam met permanent toezicht	- BMI (volledige bewaking) met doormelding
	e) hoogste vloer VG 70 m	- (geen)
	f) hoogste vloer VG 100 m	- (geen)
E. logiesfunctie	a) hoogste vloer VG 5 m	- BMI (volledige bewaking) met doormelding
	b) hoogste vloer VG 13 m	- BMI (volledige bewaking) met doormelding
	c) hoogste vloer VG 70 m	- BMI (volledige bewaking) met doormelding
F. winkelfunctie (supermarkt)	a) hoogste vloer ≤ 5 m	- BMI (niet-automatische bewaking)
	b) hoogste vloer ≤ 50 m	- BMI (niet-automatische bewaking)
G. winkelfunctie (meubelzaak)	a) hoogste vloer ≤ 5 m	- BMI (niet-automatische bewaking)
	b) hoogste vloer ≤ 50 m	- BMI (niet-automatische bewaking)

4.4 Brandscenario

Voor de kantoorfunctie zijn berekeningen uitgevoerd voor een brand die zich uitbreidt tot het volledige brandcompartiment. Voor de thermisch lichte constructie is ervan uitgegaan dat semi-openingen dicht zijn. Uit eerdere studies is gebleken dat dit tot de grootste thermische belasting leidt voor constructies in de brandruimte. De overige openingen worden open (bezwaken) verondersteld vanaf de aanvang van het brandscenario.

Bij de woonfunctie en logiesfunctie is gerekend met een brand die zich uitbreidt tot een geheel subbrandcompartiment (appartement), en vervolgens al dan niet verder uitbreidt tot het volledige brandcompartiment. Alle openingen worden voor de woonfunctie open (bezwaken) verondersteld vanaf de aanvang van het brandscenario.

Bij de winkelfunctie is gerekend met een brand die zich uitbreidt tot het volledige brandcompartiment. Alle openingen worden bezwaken verondersteld vanaf de aanvang van het brandscenario.

De brandeigenschappen zijn zoveel mogelijk conform de Nationale Bijlage bij NEN-EN 1991-1-2 aangenomen (zie tabel 3).

Tabel 3: brandeigenschappen

Gebruiksfunctie	Variabele vuurbelasting (80% fractiel) MJ/m²	Referentie vermo- gensdichtheid [kW/m²]	Tijdconstante branduitbreiding [s]
kantoorfunctie	570	250	300
woonfunctie	870	250	300
logiesfunctie	511	250	300
winkelfunctie (supermarkt)	1200	500	150
winkelfunctie (meubelzaak)	570	250	300

In eerdere berekeningen is de permanente vuurbelasting meestal buiten beschouwing gelaten. Dit is in veel gevallen ook realistisch maar leidt tot de laagste brandenergie in de brandruimte, waardoor de discrepantie met de publiekrechtelijke regelgeving het grootst wordt. Om die reden is in deze studie voor alle gebruiksfuncties gerekend met een permanente vuurbelasting van 250 MJ/m². Deze is voor zowel zware als lichte bouwwijzen hanteerbaar, met uitzondering van houtskeletbouw.

De verbrandingsefficiëntie is gesteld op 0,8 (conform concept NEN 6055)

Hoofdstuk 5 Berekeningen

5.1 Berekende casussen en varianten

De berekeningen conform het fysisch brandmodel zijn uitgevoerd met behulp van het computerprogramma OZone V 2.2.2 (University of Liege, november 2002).

Allereerst zijn berekeningen conform de in hoofdstuk 4 genoemde uitgangspunten uitgevoerd zonder toepassing van een risicomodel. Deze berekeningen bezitten derhalve fysische betekenis. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in paragraaf 5.2.

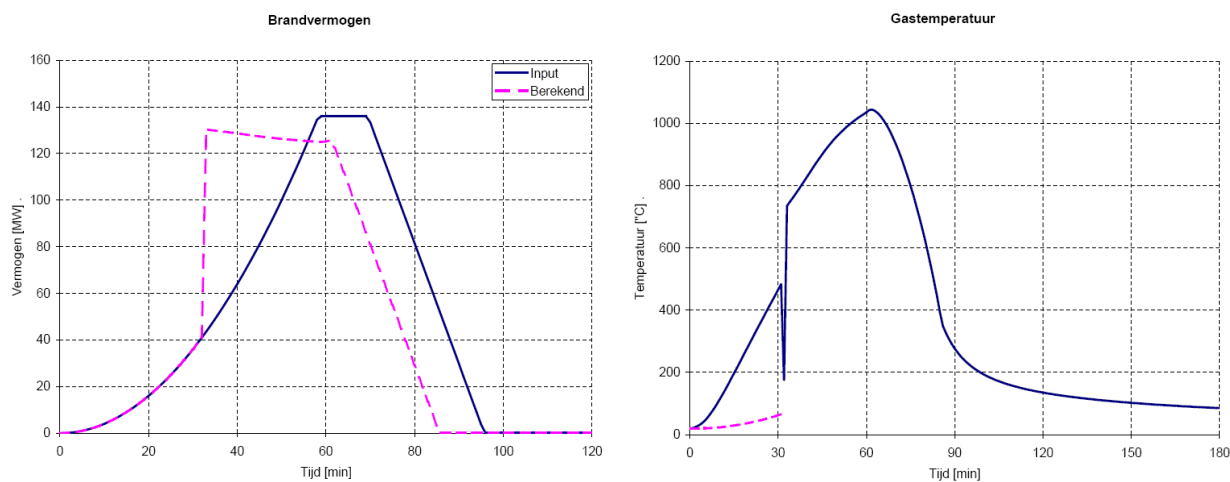
Vervolgens zijn de toe te passen risicofactoren bepaald (paragraaf 5.3) en zijn deze risicofactoren toegepast op de verschillende casussen (paragraaf 5.4).

Voor de casussen A, B, C, F en G zijn berekeningen uitgevoerd voor een brand die zich uitbreidt tot het gehele brandcompartiment. Voor de casussen D en E zijn zowel berekeningen uitgevoerd voor een brand die zich tot het gehele brandcompartiment uitbreidt (D1 respectievelijk E1) als voor een brand die beperkt blijft tot het subbrandcompartiment (D2 respectievelijk E2).

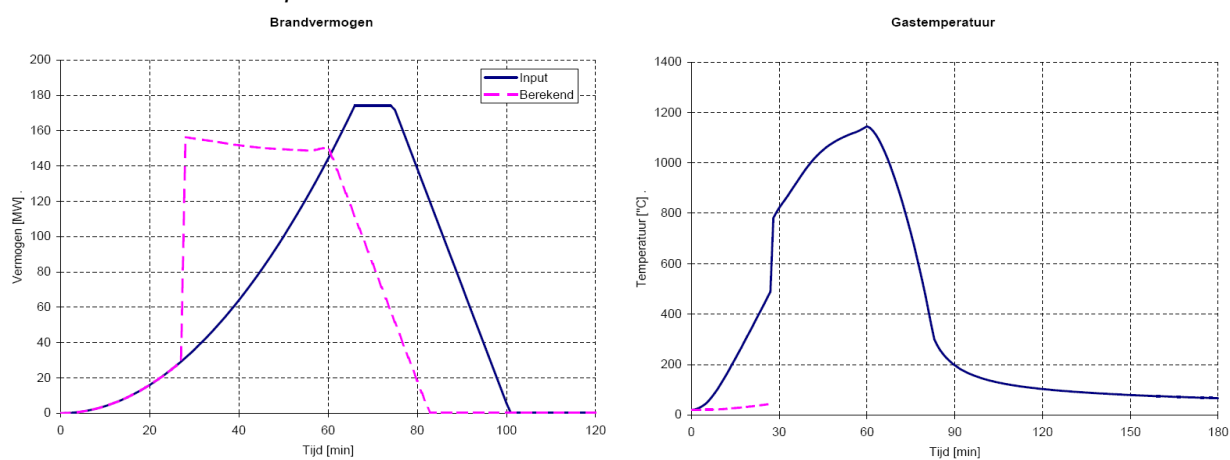
5.2 Fysische berekeningen

De figuren 4 tot en met 12 geven het brandvermogen en de ruimtetemperatuur voor de berekeningen zonder risicomodel. Uitgebreide invoer- en uitvoergegevens zijn opgenomen in bijlage 5. Het toegepaste verbrandingsmodel voor de fysische berekeningen is external flaming. Dit betekent dat niet-verbrande verbrandingsgassen in een ventilatiebeheerste situatie (dus bij een tekort aan zuurstof in de brandruimte) door gevelopeningen uitstromen naar de omgeving, waardoor uitslaande vlammen ontstaan.

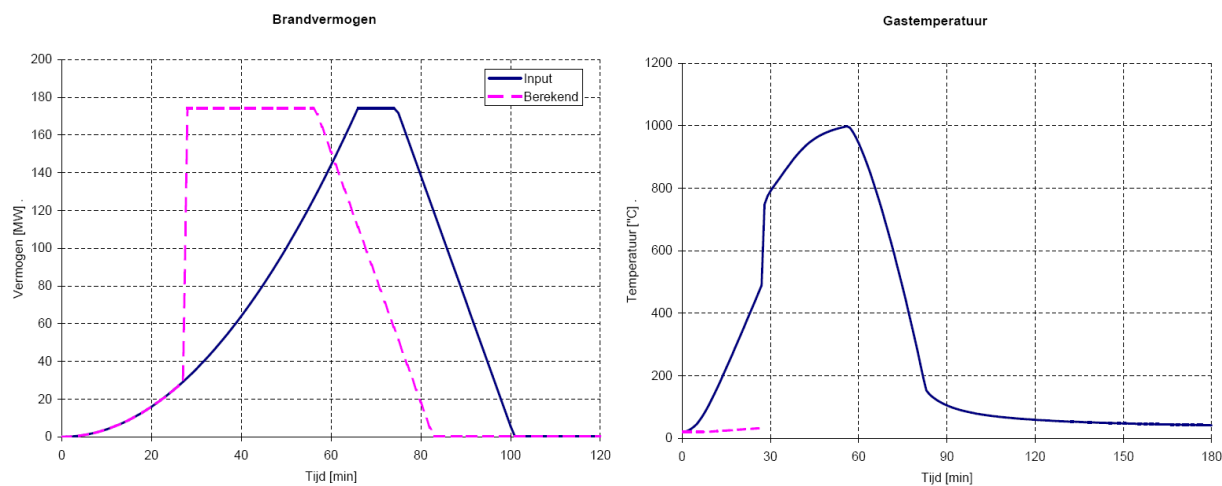
Uit de berekeningen blijkt dat met de gegeven uitgangspunten en randvoorwaarden de brandduur varieert tussen 60 minuten (casus E2) en 106 minuten (casus D1). De grote winkelfunctie van casus F is een uitschieter met een brandduur van 230 minuten.



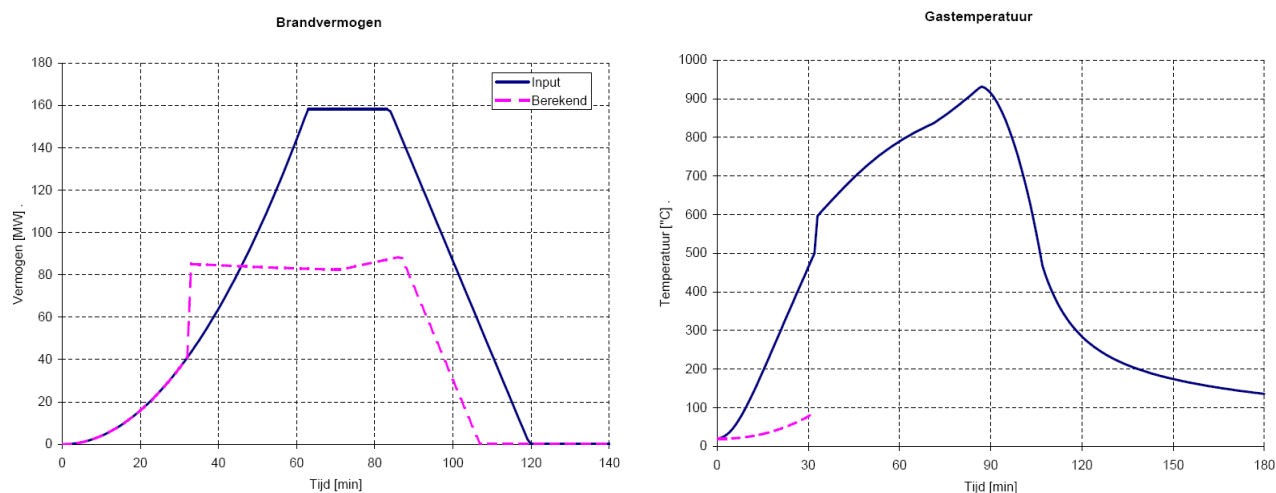
Figuur 4: Casus A (kantoorfunctie, zware constructie), brandvermogen en zonetemperaturen



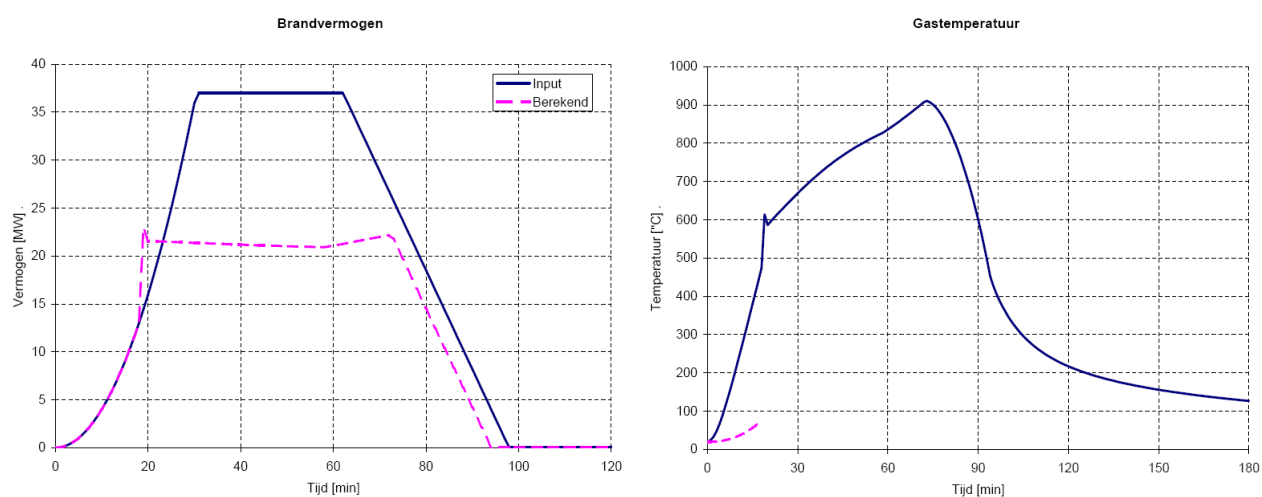
Figuur 5: Casus B (kantoorfunctie, zware constructie), brandvermogen en zonetemperaturen



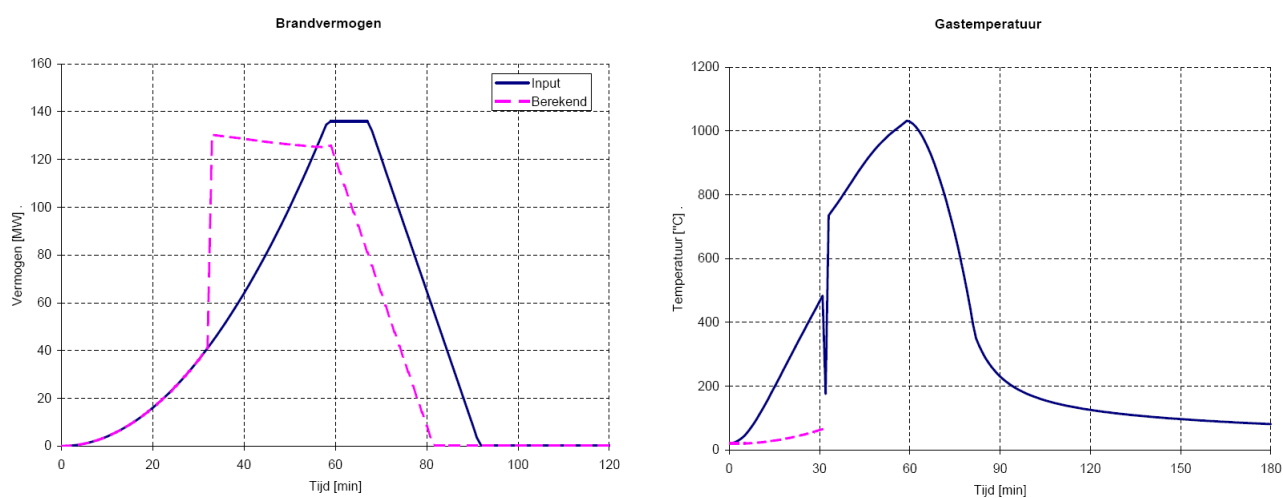
Figuur 6: Casus C (kantoorfunctie, lichte constructie), brandvermogen en zonetemperaturen



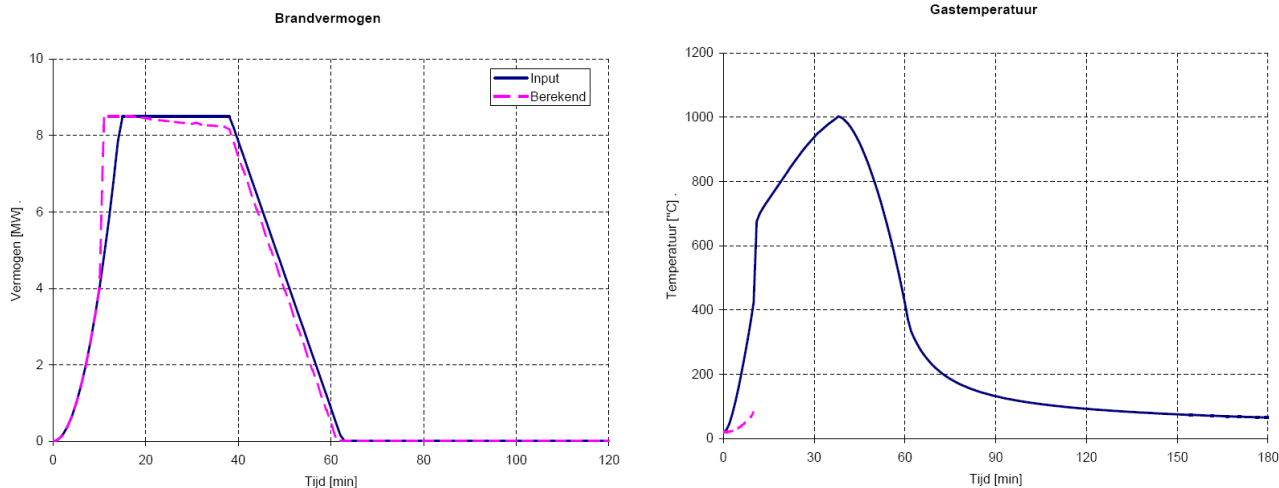
Figuur 7: Casus D1 (woonfunctie, zware constructie, brand in BC), brandvermogen en zonetemperaturen



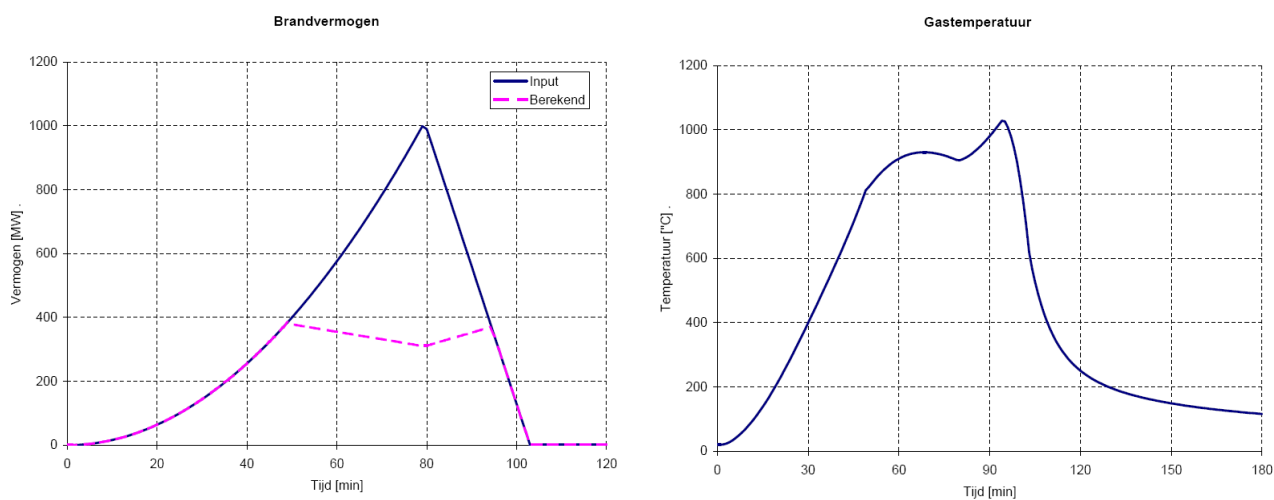
Figuur 8: Casus D2 (woonfunctie, zware constructie, brand in subBC), brandvermogen en zonetemperaturen



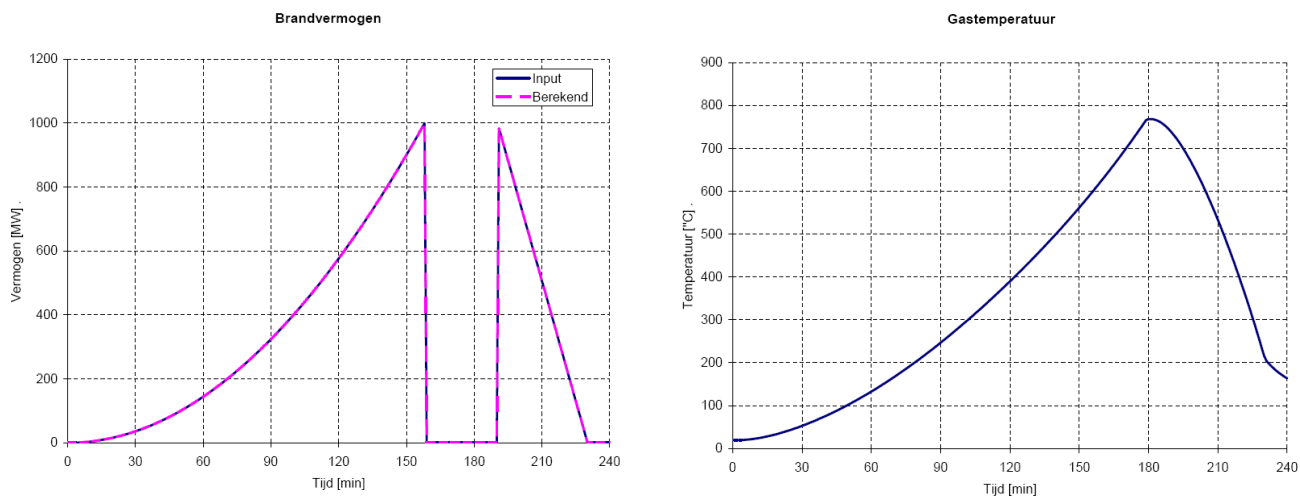
Figuur 9: Casus E1 (logiesfunctie, zware constructie, brand in BC), brandvermogen en zonetemperaturen



Figuur 10: Casus E2 (logiesfunctie, zware constructie, brand in subBC), brandvermogen en zonetemperaturen



Figuur 11: Casus F (winkelmarkt, zware constructie), brandvermogen en zonetemperaturen



Figuur 12: Casus F (meubelzaak, zware constructie), brandvermogen en zonetemperaturen

5.3 Risicofactoren

Voor elke casus en variant zijn berekeningen uitgevoerd met de drie verschillende risicomodellen (zie hoofdstuk 3).

Voor eisen met betrekking tot de brandwerendheid van de hoofddraagconstructie anders dan 60 minuten worden de volgende correcties worden toegepast:

- Risicomodel 1: conform Nationale Bijlage een vermenigvuldigingsfactor op de vuurbelasting
- Risicomodel 2: in plaats van een vermenigvuldigingsfactor op de vuurbelasting een andere (doorgaans kleinere) kans op bezwijken van de hoofddraagconstructie; om in dezelfde gevolgklasse te blijven (CC2) wordt dit vertaald in een andere (doorgaans grotere) activeringskans
- Risicomodel 3: in plaats van een vermenigvuldigingsfactor op de vuurbelasting een vermenigvuldigingsfactor, gerelateerd aan de totale gebruiksoppervlakte van het gebouw

In tabel 4 zijn voor elk risicomodel de toe te passen vermenigvuldigingsfactoren en de daaruit resulterende risicofactoren weergegeven (conform NEN-EN 1991-1-2/NB:2007).

Tabel 4: Vermenigvuldigingsfactoren en risicofactoren

Casus / variant (eis HDC)	Vermenigvuldigingsfactoren							Risico-factor
	Oppervlakte-grenswaarde	Activeringskans	Overheidsbrandweer ¹	Optische detectie	Doormelding	Sprinklerinstallatie	Totaal	Risicofactor $\geq 0,54$

A. kantoorfunctie

Risicomodel 1: conform Nationale Bijlage

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	1	0,1	-	-	-	4	1,35
b. hoogste vloer VG 20 m (90 min)	40	1	0,1	0,625	-	-	2,5	1,27
c. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,625	1,01

Risicomodel 2: conform Nationale Bijlage met aangepaste activeringskans

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	0,1	0,1	-	-	-	0,4	0,92
b. hoogste vloer VG 20 m (90 min)	40	3,85	0,1	0,625	-	-	9,625	1,50
c. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	3,85	0,1	0,625	0,25	-	2,406	1,26

Risicomodel 3: conform Nationale Bijlage met oppervlaktefactor o.b.v. GO

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	45,4	1	0,1	-	-	-	4,54	1,37
b. hoogste vloer VG 20 m (90 min)	136	1	0,1	0,625	-	-	8,52	1,48
c. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	341	1	0,1	0,625	0,25	-	5,33	1,40

¹ De inzet van overheidsbrandweer wordt beschouwd als standaard randvoorwaarde in Nederland.

B. kantoorfunctie en C. kantoorfunctie*Risicomodel 1: conform Nationale Bijlage*

a. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	1	0,1	-	0,25	-	1	1,10
b. hoogste vloer VG 70 m (90 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54
c. hoogste vloer VG 100 m (120 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54
d. hoogste vloer VG 100 m + sprinkler (120 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	0,02	0,0013	0,54
e. hoogste vloer VG 200 m (120 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	0,02	0,0013	0,54

Risicomodel 2: conform Nationale Bijlage met aangepaste activeringskans

a. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	3,85	0,1	-	0,25	-	3,85	1,34
b. hoogste vloer VG 70 m (90 min)	40	3,85	0,1	0,625	0,25	-	0,241	0,78
c. hoogste vloer VG 100 m (120 min)	40	10	0,1	0,625	0,25	-	0,625	1,01
d. hoogste vloer VG 100 m + sprinkler (120 min)	40	10	0,1	0,625	0,25	0,02	0,0125	0,54
e. hoogste vloer VG 200 m (120 min)	40	10	0,1	0,625	0,25	0,02	0,0125	0,54

Risicomodel 3: conform Nationale Bijlage met oppervlaktefactor o.b.v. GO

a. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	440	1	0,1	-	0,25	-	11,01	1,52
b. hoogste vloer VG 70 m (90 min)	587	1	0,1	0,625	0,25	-	0,918	1,08
c. hoogste vloer VG 100 m (120 min)	851	1	0,1	0,625	0,25	-	1,33	1,14
d. hoogste vloer VG 100 m + sprinkler (120 min)	851	1	0,1	0,625	0,25	0,02	0,0266	0,54
e. hoogste vloer VG 200 m (120 min)	1674	1	0,1	0,625	0,25	0,02	0,0523	0,54

D. woonfunctie*Risicomodel 1: conform Nationale Bijlage*

a. hoogste vloer VG 7 m (30 min)	40	1	0,1	-	-	-	4	1,35
b. hoogste vloer VG 13 m (90 min)	40	1	0,1	-	-	-	4	1,35
c. hoogste vloer VG 13 en verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht (90 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54
d. hoogste vloer VG 13 en verminderd zelfredzaam met permanent toezicht (90 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54
e. hoogste vloer VG 70 m (120 min)	40	1	0,1	-	-	-	4	1,35
f. hoogste vloer VG 100 m (120 min)	40	1	0,1	-	-	-	4	1,35
g. hoogste vloer VG 100 m + sprinkler (120 min)	40	1	0,1	-	-	0,02	0,08	0,54

Risicomodel 2: conform Nationale Bijlage met aangepaste activeringskans

a. hoogste vloer VG 7 m (30 min)	40	0,1	0,1	-	-	-	0,4	0,92
b. hoogste vloer VG 13 m (90 min)	40	3,85	0,1	-	-	-	15,4	1,57
c. hoogste vloer VG 13 en verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht (90 min)	40	3,85	0,1	0,625	0,25	-	0,241	0,78
d. hoogste vloer VG 13 en verminderd zelfredzaam met permanent toezicht (90 min)	40	3,85	0,1	0,625	0,25	-	0,241	0,78
e. hoogste vloer VG 70 m (120 min)	40	10	0,1	-	-	-	40	1,74
f. hoogste vloer VG 100 m (120 min)	40	10	0,1	-	-	-	40	1,74
g. hoogste vloer VG 100 m + sprinkler (120 min)	40	10	0,1	-	-	0,02	0,8	1,06

Risicomodel 3: conform Nationale Bijlage met oppervlaktefactor o.b.v. GO

a. hoogste vloer VG 7 m (30 min)	78,1	1	0,1	-	-	-	7,8	1,47
b. hoogste vloer VG 13 m (90 min)	130	1	0,1	-	-	-	13,0	1,55
c. hoogste vloer VG 13 en verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht (90 min)	130	1	0,1	0,625	0,25	-	0,20	0,74
d. hoogste vloer VG 13 en verminderd zelfredzaam met permanent toezicht (90 min)	130	1	0,1	0,625	0,25	-	0,20	0,74
e. hoogste vloer VG 70 m (120 min)	651	1	0,1	-	-	-	65,1	1,83
f. hoogste vloer VG 100 m (120 min)	911	1	0,1	-	-	-	91,1	1,88
g. hoogste vloer VG 100 m + sprinkler (120 min)	911	1	0,1	-	-	0,02	1,82	1,21

E. logiesfunctie*Risicomodel 1: conform Nationale Bijlage*

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54
b. hoogste vloer VG 13 m (60 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54
c. hoogste vloer VG 70 m (90 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54

Risicomodel 2: conform Nationale Bijlage met aangepaste activeringskans

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	0,1	0,1	0,625	0,25	-	0,0063	0,54
b. hoogste vloer VG 13 m (60 min)	40	1	0,1	0,625	0,25	-	0,0625	0,54
c. hoogste vloer VG 70 m (90 min)	40	3,85	0,1	0,625	0,25	-	0,241	0,78

Risicomodel 3: conform Nationale Bijlage met oppervlaktefactor o.b.v. GO

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	45,4	1	0,1	0,625	0,25	-	0,071	0,54
b. hoogste vloer VG 13 m (60 min)	90,9	1	0,1	0,625	0,25	-	0,142	0,57
c. hoogste vloer VG 70 m (90 min)	454	1	0,1	0,625	0,25	-	0,71	1,04

F. winkelfunctie (supermarkt)*Risicomodel 1: conform Nationale Bijlage*

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	1	0,1	-	-	-	4	1,35
b. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	1	0,1	-	-	-	4	1,35

Risicomodel 2: conform Nationale Bijlage met aangepaste activeringskans

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	0,1	0,1	-	-	-	0,4	0,92
b. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	3,85	0,1	-	-	-	15,4	1,57

Risicomodel 3: conform Nationale Bijlage met oppervlaktefactor o.b.v. GO

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	160	1	0,1	-	-	-	16	1,58
b. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	960	1	0,1	-	-	-	96	1,89

G. winkelfunctie (meubelzaak)*Risicomodel 1: conform Nationale Bijlage*

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	1	0,1	-	-	0,02	0,08	0,54
b. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	1	0,1	-	-	0,02	0,08	0,54

Risicomodel 2: conform Nationale Bijlage met aangepaste activeringskans

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	40	0,1	0,1	-	-	0,02	0,008	0,54
b. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	40	3,85	0,1	-	-	0,02	0,308	0,86

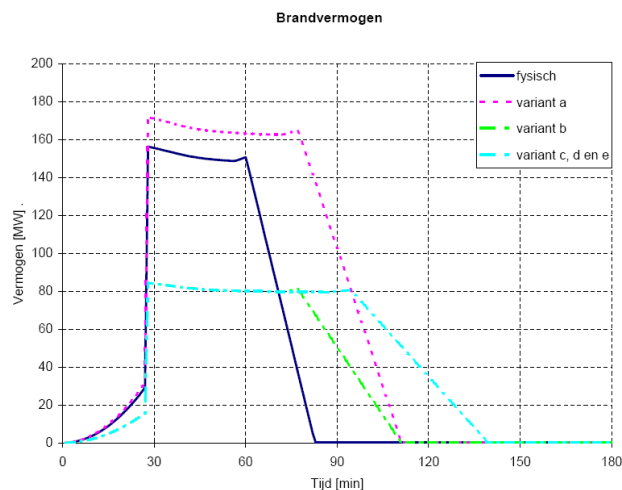
Risicomodel 3: conform Nationale Bijlage met oppervlaktefactor o.b.v. GO

a. hoogste vloer VG 5 m (30 min)	800	1	0,1	-	-	0,02	1,6	1,18
b. hoogste vloer VG 50 m (90 min)	4800	1	0,1	-	-	0,02	9,6	1,50

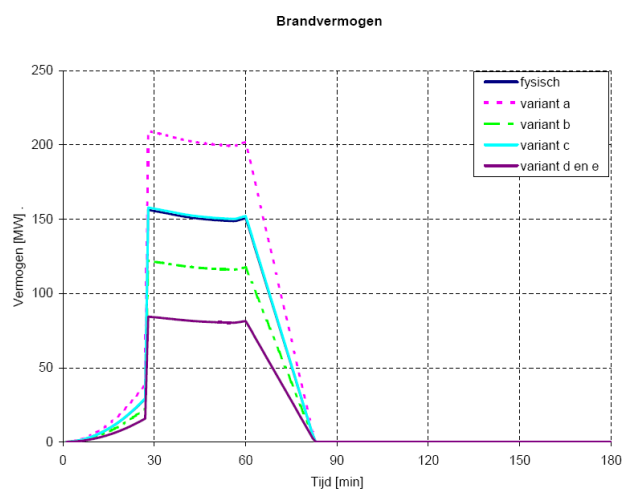
Naast de risicofactor dient in risicomodel 1 een correctiefactor op de vuurbelasting toegepast te worden (correctiefactor veiligheidsniveau nationale regelgeving). Deze correctiefactor is gelijk aan de eis in minuten voor de weerstand met betrekking tot bezwijken, inclusief eventuele reductie i.v.m. lage permanente vuurbelasting, gedeeld door 60 minuten (referentieniveau).

5.4 Berekeningen met risicomodel

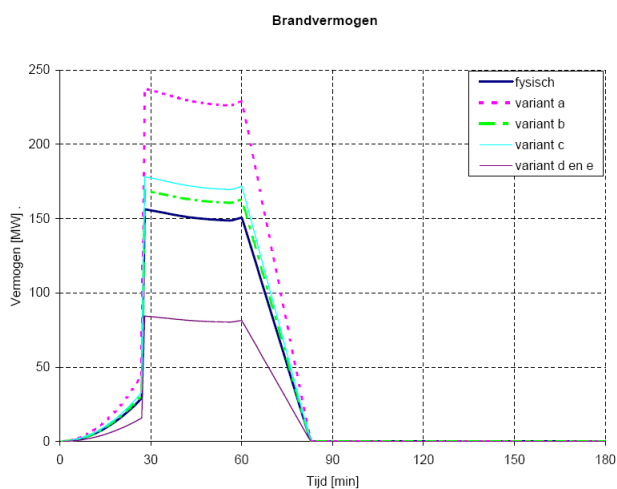
Voor de drie risicomodellen zijn op basis van de risicofactoren van tabel 4 de berekende brandvermogensscenario's (zie 5.2) aangepast. De figuren 13 tot en met 15 geven, ter illustratie, per risicomodel de aangepaste brandvermogensscenario's weer voor casus B (kantoorfunctie).



Figuur 13: Casus B (kantoorfunctie, zware constructie), brandvermogen fysisch en met risicomodel 1 (conform Nationale Bijlage)



Figuur 14: Casus B (kantoorfunctie, zware constructie), brandvermogen fysisch en met risicomodel 2 (aangepaste activeringskans)



Figuur 15: Casus B (kantoorfunctie, zware constructie), brandvermogen fysisch en met risicomodel 3 (oppervlaktefactor o.b.v GO)

In tabel 5 is een samenvatting van de berekeningen voor alle casussen weergegeven. De kolommen 2 en 3 bevatten de maximale temperatuur in de brandruimte en het tijdstip waarop deze maximale temperatuur optreedt bij toepassing van het risicomodel. Vanwege het risicomodel zijn dit rekenwaarden zonder fysische betekenis.

In de laatste kolom is als toetsgrootte de *equivalente brandduur* opgenomen. Deze is afgeleid uit de energie die tijdens de brandduur in de brandruimte is vrijgekomen, gerelateerd aan de standaard brandkromme. Het product van de gastemperatuur en de soortelijke gasmassa vertegenwoordigt het momentane energieniveau in de brandruimte. Door dit product te integreren over de brandduur wordt de totale energie verkregen die aan constructies in de brandruimte wordt opgelegd. Deze totale energie is vergeleken met de energie in de brandruimte volgens de standaard brandkromme. De equivalente brandduur is gedefinieerd als de brandduur volgens de standaard brandkromme waarvoor de beide energiehoeveelheden gelijk zijn aan elkaar (zie Nu040430aaA8.rhe, Adviesburo Nieman, september 2007).

Tabel 5: Samenvatting rekenresultaten

Variant	Brand-duur [min]	Max. temperatuur [° C] (tijdstip [min])	Equivalente brandduur [min]
A. kantoorfunctie			
<i>Risicomodel 1</i>			
a) hoogste vloer VG 5 m	57	1155 (45)	38
b) hoogste vloer VG 20 m	114	1357 (78)	98
c) hoogste vloer VG 50 m	114	1120 (78)	90
<i>Risicomodel 2</i>			
a) hoogste vloer VG 5 m	85	971 (61)	59
b) hoogste vloer VG 20 m	85	1472 (62)	72
c) hoogste vloer VG 50 m	85	1272 (62)	67
<i>Risicomodel 3</i>			
a) hoogste vloer VG 5 m	85	1365 (62)	70
b) hoogste vloer VG 20 m	85	1456 (62)	72
c) hoogste vloer VG 50 m	85	1390 (62)	70
B. kantoorfunctie			
<i>Risicomodel 1</i>			
a) hoogste vloer VG 50 m	111	1287 (77)	96
b) hoogste vloer VG 70 m	111	701 (77)	73
c) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	139	716 (94)	95
d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	139	716 (94)	95
e) hoogste vloer VG 200 m + sprinkler	139	716 (94)	95
<i>Risicomodel 2</i>			
a) hoogste vloer VG 50 m	82	1466 (60)	71
b) hoogste vloer VG 70 m	82	929 (60)	58
c) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	82	1160 (60)	63
d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	82	678 (60)	50
e) hoogste vloer VG 200 m + sprinkler	82	678 (60)	50
<i>Risicomodel 3</i>			
a) hoogste vloer VG 50 m	82	1620 (60)	75
b) hoogste vloer VG 70 m	82	1227 (60)	65
c) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	82	1284 (60)	67
d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	82	678 (60)	50
e) hoogste vloer VG 200 m + sprinkler	82	678 (60)	50

C. kantoorfunctie*Risicomodel 1*

a) hoogste vloer VG 50 m	111	1100	(71)	87
b) hoogste vloer VG 70 m	111	603	(71)	67
c) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	139	611	(87)	86
d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	139	611	(87)	86
e) hoogste vloer VG 200 m + sprinkler	139	611	(87)	86

Risicomodel 2

a) hoogste vloer VG 50 m	82	1270	(56)	66
b) hoogste vloer VG 70 m	82	807	(56)	53
c) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	82	1006	(56)	59
d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	82	591	(56)	46
e) hoogste vloer VG 200 m + sprinkler	82	591	(56)	46

Risicomodel 3

a) hoogste vloer VG 50 m	82	1403	(56)	69
b) hoogste vloer VG 70 m	82	1064	(56)	60
c) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	82	1113	(56)	62
d) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	82	591	(56)	46
e) hoogste vloer VG 200 m + sprinkler	82	591	(56)	46

D1. woonfunctie (brand in BC)*Risicomodel 1*

a) hoogste vloer VG 7 m	68	1052	(58)	46
b) hoogste vloer VG 13 m	145	1316	(116)	129
c) idem, verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht	145	600	(116)	91
d) idem, verminderd zelfredzaam met permanent toezicht	145	600	(116)	91
e) hoogste vloer VG 70 m	184	1373	(146)	171
f) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	184	1373	(146)	171
g) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	184	624	(145)	121

Risicomodel 2

a) hoogste vloer VG 7 m	106	882	(87)	75
b) hoogste vloer VG 13 m	106	1396	(87)	93
c) idem, verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht	106	766	(87)	71
d) idem, verminderd zelfredzaam met permanent toezicht	106	766	(87)	71
e) hoogste vloer VG 70 m	106	1523	(87)	97
f) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	106	1523	(87)	97
g) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	106	996	(87)	79

Risicomodel 3

a) hoogste vloer VG 7 m	106	1320	(87)	90
b) hoogste vloer VG 13 m	106	1381	(87)	92
c) idem, verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht	106	733	(87)	69
d) idem, verminderd zelfredzaam met permanent toezicht	106	733	(87)	69
e) hoogste vloer VG 70 m	106	1588	(88)	99
f) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	106	1624	(88)	100
g) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	106	1117	(87)	83

D2. woonfunctie (brand in subBC)*Risicomodel 1*

a) hoogste vloer VG 7 m	55	1023	(45)	45
b) hoogste vloer VG 13 m	132	1291	(101)	127
c) idem, verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht	132	589	(101)	91
d) idem, verminderd zelfredzaam met permanent toezicht	132	589	(101)	91
e) hoogste vloer VG 70 m	171	1355	(130)	169
f) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	171	1355	(130)	169
g) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	171	672	(88)	120

Risicomodel 2

a) hoogste vloer VG 7 m	94	861	(73)	75
b) hoogste vloer VG 13 m	94	1366	(73)	91
c) idem, verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht	94	748	(73)	71
d) idem, verminderd zelfredzaam met permanent toezicht	94	748	(73)	71
e) hoogste vloer VG 70 m	94	1491	(73)	95
f) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	94	1491	(73)	95
g) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	94	973	(73)	79

Risicomodel 3

a) hoogste vloer VG 7 m	94	1291	(73)	89
b) hoogste vloer VG 13 m	94	1351	(73)	91
c) idem, verminderd zelfredzaam zonder permanent toezicht	94	716	(72)	70
d) idem, verminderd zelfredzaam met permanent toezicht	94	716	(72)	70
e) hoogste vloer VG 70 m	94	1555	(73)	96
f) hoogste vloer VG 100 m - sprinkler	94	1591	(73)	98
g) hoogste vloer VG 100 m + sprinkler	94	1091	(73)	83

E1. logiesfunctie (brand in BC)*Risicomodel 1*

a) hoogste vloer VG 5 m	55	561	(43)	24
b) hoogste vloer VG 13 m	81	618	(59)	45
c) hoogste vloer VG 70 m	107	649	(74)	66

Risicomodel 2

a) hoogste vloer VG 5 m	81	618	(59)	45
b) hoogste vloer VG 13 m	81	618	(59)	45
c) hoogste vloer VG 70 m	81	835	(59)	52

Risicomodel 3

a) hoogste vloer VG 5 m	81	618	(59)	45
b) hoogste vloer VG 13 m	81	645	(59)	46
c) hoogste vloer VG 70 m	81	1066	(59)	58

E2. logiesfunctie (brand in subBC)*Risicomodel 1*

a) hoogste vloer VG 5 m	35	546	(23)	23
b) hoogste vloer VG 13 m	61	597	(38)	43
c) hoogste vloer VG 70 m	87	629	(52)	64

Risicomodel 2

a) hoogste vloer VG 5 m	61	597	(38)	43
b) hoogste vloer VG 13 m	61	597	(38)	43
c) hoogste vloer VG 70 m	61	808	(38)	50

Risicomodel 3

a) hoogste vloer VG 5 m	61	597	(38)	43
b) hoogste vloer VG 13 m	61	624	(38)	44
c) hoogste vloer VG 70 m	61	1034	(38)	55

F.winkelfunctie (supermarkt)*Risicomodel 1*

a) hoogste vloer ≤ 5 m	81	1316	(71)	68
b) hoogste vloer ≤ 50 m	128	1444	(115)	121

Risicomodel 2

a) hoogste vloer ≤ 5 m	102	991	(94)	82
b) hoogste vloer ≤ 50 m	102	1577	(95)	98

Risicomodel 3

a) hoogste vloer ≤ 5 m	102	1585	(95)	98
b) hoogste vloer ≤ 50 m	102	1841	(95)	104

G. winkelfunctie (meubelzaak)*Risicomodel 1*

a) hoogste vloer ≤ 5 m	182	320	(142)	60
b) hoogste vloer ≤ 50 m	NB	NB		NB

Risicomodel 2

a) hoogste vloer ≤ 5 m	NB	NB		NB
b) hoogste vloer ≤ 50 m	NB	NB		NB

Risicomodel 3

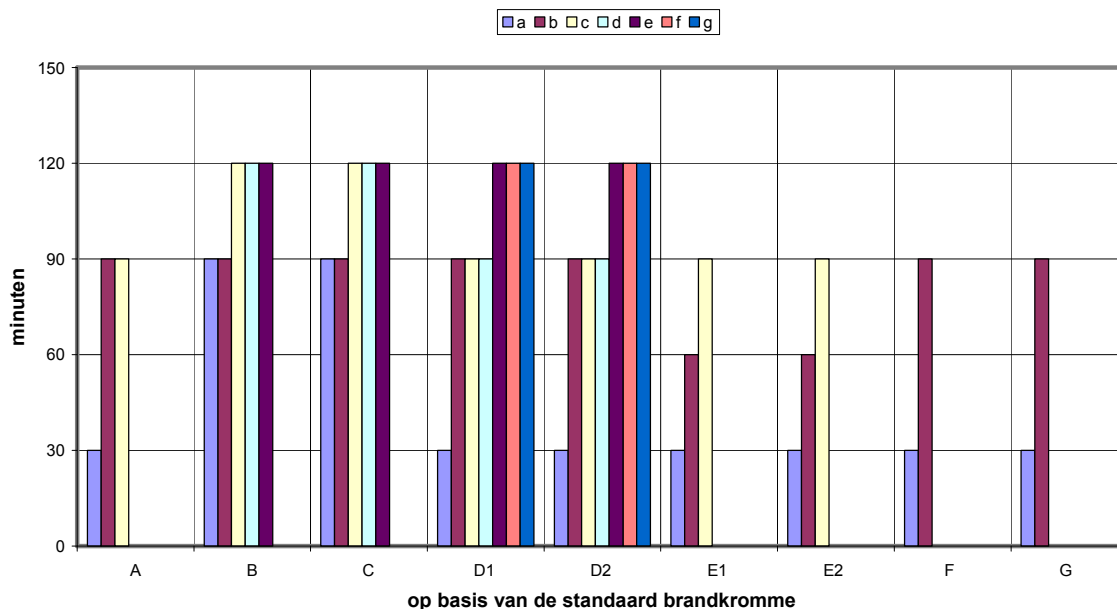
a) hoogste vloer ≤ 5 m	NB	NB		NB
b) hoogste vloer ≤ 50 m	NB	NB		NB

Opmerking bij tabel 5:

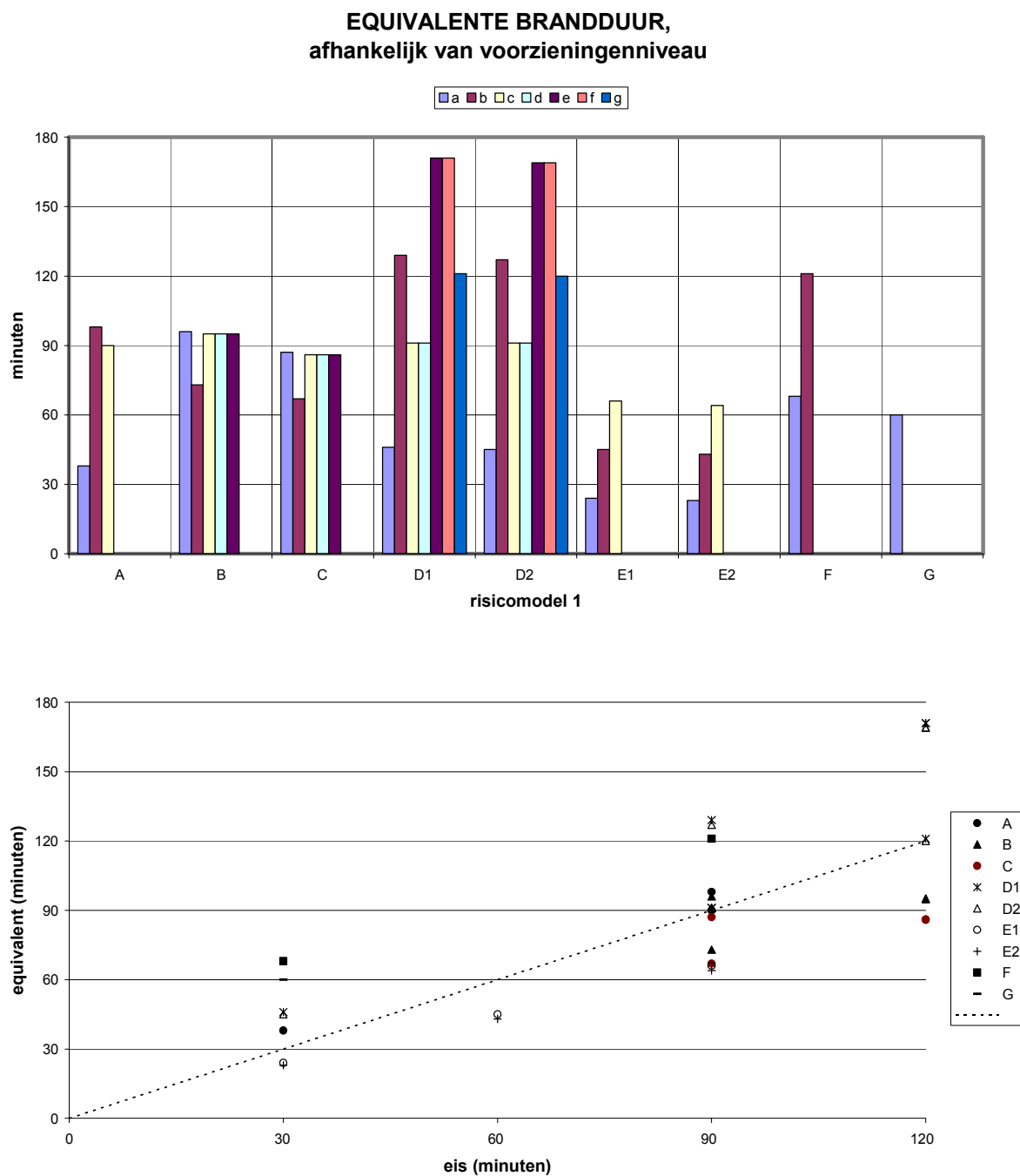
NB: Niet bepaald, brandvermogen > 1000 MW, het rekenprogramma is hiervoor niet geschikt.

In de figuren 17 t/m 19 zijn de resultaten uit de bovenstaande tabel grafisch weergegeven. Deze kunnen worden vergeleken met figuur 16, waarin de brandwerendheidseisen aan de hoofd draagconstructie volgens de standaard brandkromme zijn weergegeven.

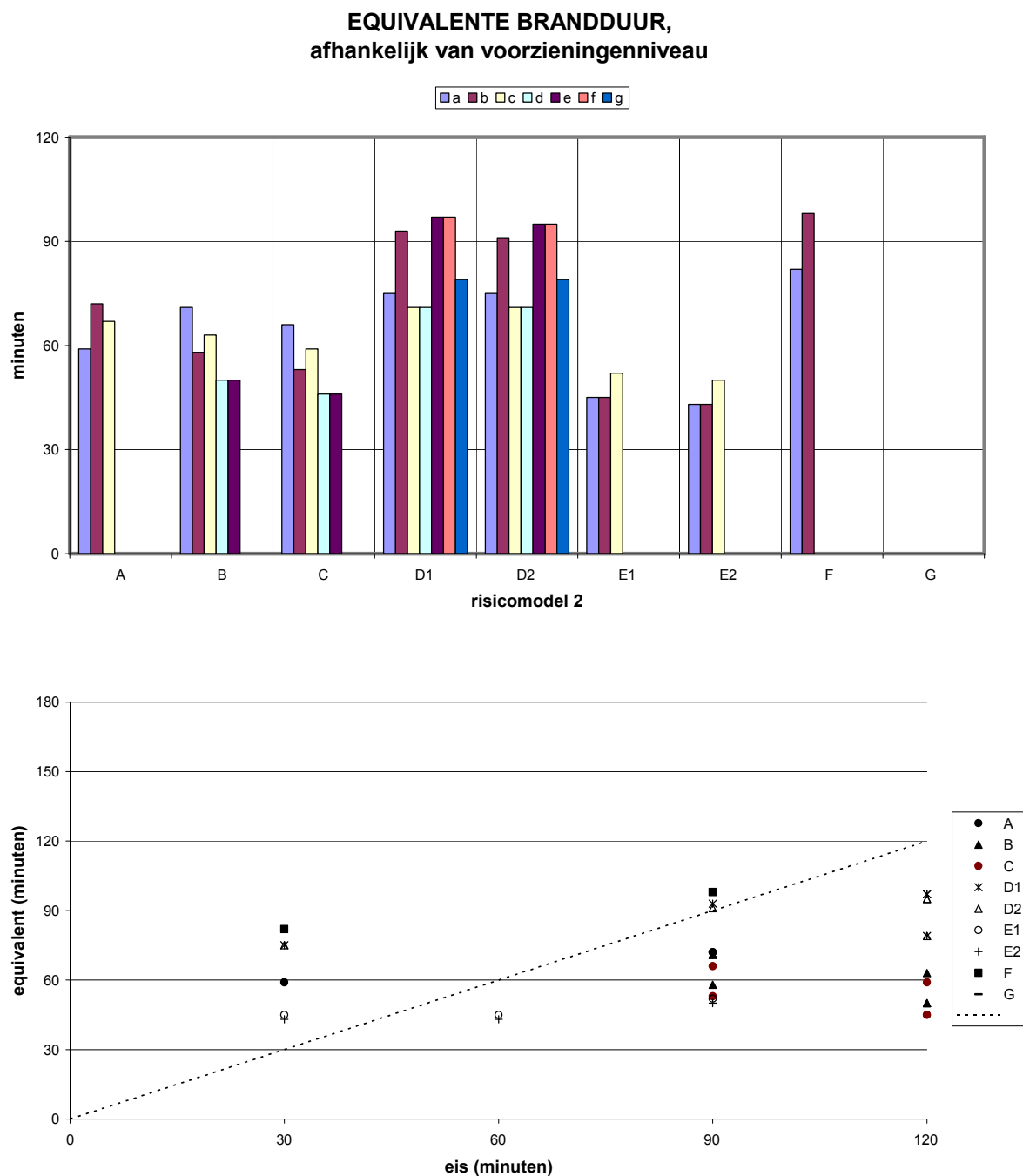
**BENODIGDE BRANDWERENDHEID HDC
afhankelijk van voorzieningenniveau**



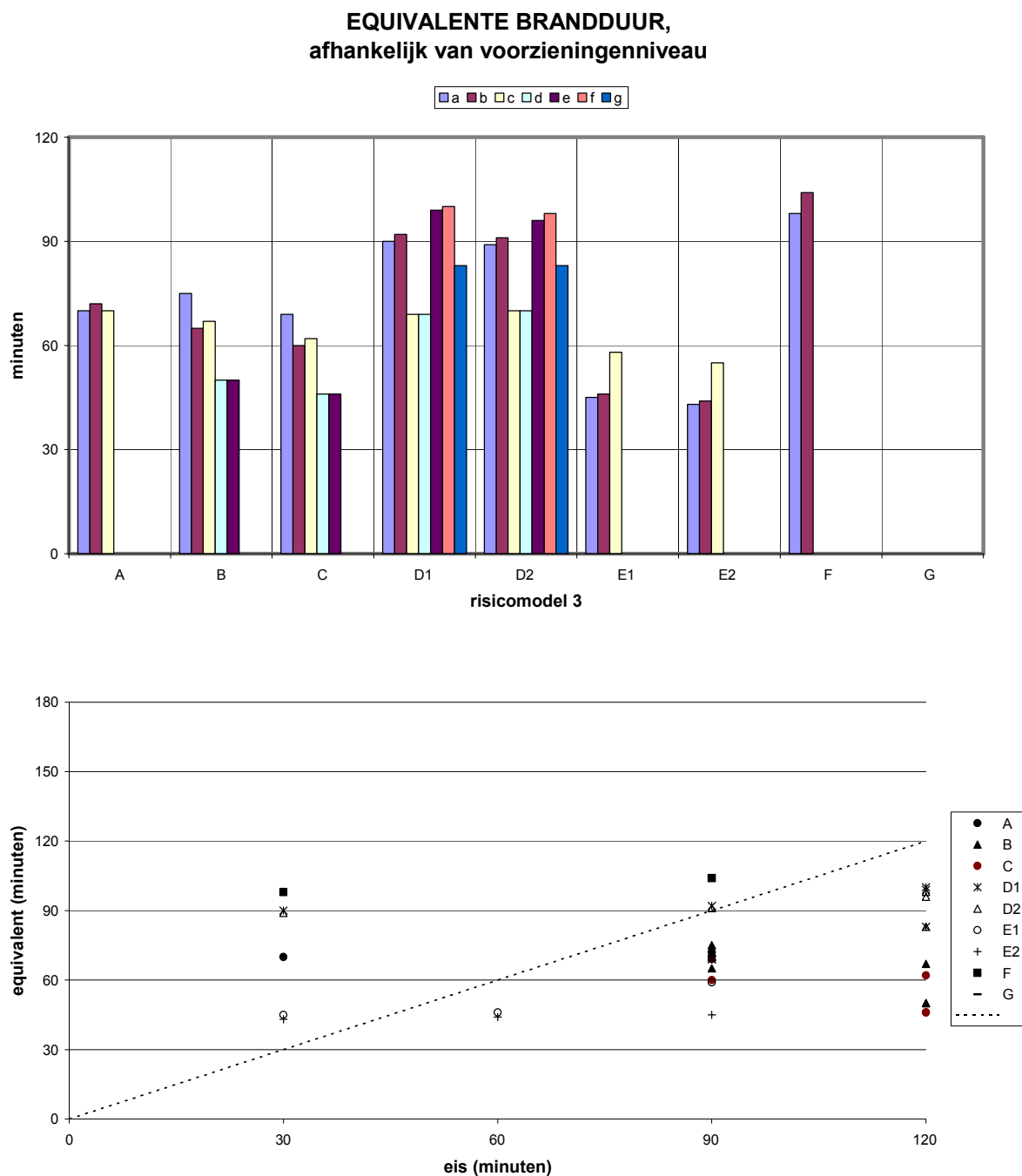
Figuur 16: Brandwerendheidseisen aan de HDC volgens de standaard brandkromme (bouwbesluit) bij de verschillende casussen.



Figuur 17: Equivalente brandduren volgens de standaard brandkromme bij de verschillende casussen volgens risicomodel 1.



Figuur 18: Equivalente brandduren volgens de standaard brandkromme bij de verschillende casussen volgens risicomodel 2.



Figuur 19: Equivalente brandduren volgens de standaard brandkromme bij de verschillende casussen volgens risicomodel 3.

Hoofdstuk 6 Conclusies

6.1 Algemeen

In opdracht van NEN Bouw zijn berekeningen met het fysisch brandmodel uitgevoerd, voor diverse casussen en met verschillende risicomodellen.

Het doel van de berekeningen is om inzicht te verkrijgen in hoe het veiligheids- en voorzieningenniveau bij de verschillende risicomodellen zich verhoudt tot dat van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit en Gebruiksbesluit). Als toetsgrootte hiervoor is de equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme gehanteerd. Daarbij is ook de maximale temperatuur vermeld. Die toetsgrootte is ingegeven omdat de regelgeving tot dusverre de brandwerendheden in minuten uitdrukt, oplopend van 0 tot 120 minuten. Echter, onbekend is in welke mate grotere getalswaarden van de brandwerendheid, in combinatie met andere voorgeschreven voorzieningen, ook leiden tot navenante afname in risico's die voldoende recht doen aan een maatschappelijk en bestuurlijk gewenste mate van veiligheid.

In de onderhavige onderzoeksfase is bij de toetsing alleen de thermische belasting op draagconstructies beschouwd. De thermische en mechanische respons van draagconstructies is materiaalafhankelijk en daarom buiten beschouwing gelaten.

Echter, het rekenkundig benaderen van het werkelijke risico vereist niet alleen kennis van de ontwikkeling van een brand in de tijd maar ook kennis van de thermische en mechanische respons van draagconstructies, waarna parameters kunnen worden vastgesteld (mogelijk zowel aan de thermische en/of mechanische belastingzijde als aan de responszijde) om aansluiting te verkrijgen op het maatschappelijk en bestuurlijk gewenste veiligheidsniveau. Daarvoor is een tweede onderzoeksfase noodzakelijk (zie hoofdstuk 7). Op deze wijze kan voor een deel invulling worden gegeven aan de brandveiligheidsvisie zoals die recent door de minister van BZK aan de Tweede Kamer is aangeboden (TK 2008-2009, 26956, 66).

6.2 Risicomodel 1

Risicomodel 1, zoals nu beschreven in NEN-EN 1991-1-2/NB:2007, is een robuuste benadering van de thermische belasting. Dat houdt in dat, rekening houdend met het voorgeschreven voorzieningenniveau aan brandbeveiligingsinstallaties, de berekende equivalente brandduur gemiddeld genomen overeenkomt met (of zelfs iets hoger is dan) de vereiste brandwerendheid als equivalent van de brandduur bij toepassing van de standaard brandkromme (Bouwbesluit 2003).

Deze conclusie moet met de volgende overwegingen worden genuanceerd:

- In risicomodel 1 is aansluiting gezocht op het veiligheidsniveau van de publiekrechtelijke regelgeving, zonder zich de vraag te stellen welke bezwijkkansen daarbij horen. Bij deze benadering wordt met de *correctiefactor nationaal veiligheidsniveau* dan ook afbreuk gedaan aan een veiligheidsdefinitie in termen van risicogrenswaarden, zoals bedoeld in de veiligheidsfilosofie, die ten grondslag ligt aan de regelgeving.

- Ondanks dat het fysisch brandmodel maatwerk biedt ten opzichte van het generieke brandveiligheidsniveau volgens het Bouwbesluit 2003 komt een groot aantal casussen uit op een equivalente brandduur die langer is dan de vereiste brandwerendheid als equivalent van de brandduur bij toepassing van de standaard brandkromme (Bouwbesluit 2003). Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de *correctiefactor nationaal veiligheidsniveau* op de vuurbelasting en anderzijds door als vaste waarde de maximaal toelaatbare gebruiksoppervlakte van een brandcompartiment te hanteren in plaats van de werkelijke gebruiksoppervlakte ervan. Beide aspecten (klaarblijkelijk leidend tot een robuuste, maar té ongenueanceerde benadering), zijn in de vervolgfase te nuanceren (zie hoofdstuk 7).

6.3 Risicomodel 2

Risicomodel 2 past het beste in de veiligheidsfilosofie van Eurocode 0 (NEN-EN 1990:2002+NB:2007) en de hierbij gedefinieerde gevolklassen (CC). De verwachting is dat het thans in de Nederlandse bouwregelgeving vereiste niveau aan voorzieningen (brandwerendheid, bmi-installatie en sprinklerinstallatie) geen goede aansluiting geeft aan deze veiligheidsfilosofie zodat in voorkomende gevallen een surplus of een tekort aan veiligheid aanwezig is, afgezet tegen de werkelijk te verwachten risico's.

Bij de conclusie dat risicomodel 2 de hoogste potentie heeft voor aansluiting op enerzijds het in de Nederlandse bouwregelgeving beoogde veiligheidsniveau en anderzijds de filosofie van de Eurocodes worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- In de in deze studiefase uitgevoerde casusstudie is niet de betrouwbaarheidsindex (β) in lijn met de gevolgklasse (CC) aangepast, maar is vooralsnog de activeringskans (kans op het ontstaan van brand) aangepast. Echter, in de tweede onderzoeksfase zal op basis van de toelaatbare bezwijkkans worden gezien welke factoren moeten worden aangepast, zodanig dat de kans op bezwijken overeenkomt met de betrouwbaarheidsindex (β) bij de van toepassing zijnde gevolgklasse (CC). Door aan te sluiten op de gevolklassen (CC) van NEN-EN 1990:2002+NB:2007 wordt het verband met de 60/90/120 minuten brandwerendheidseisen met betrekking tot instandhouding van de hoofddraagconstructie volgens het Bouwbesluit 2003 ogenschijnlijk losgelaten. Het systeem wordt vervangen door een op de algemene veiligheidsfilosofie gebaseerd risicomodel waarmee een betere aansluiting wordt verkregen op het beoogde veiligheidsniveau.
- De betrouwbaarheidsindex correleert met de toelaatbare bezwijkkans van de hoofddraagconstructie bij de belasting brand. Daarbij is onderscheid te maken in de doelen die met het voorschrift moeten worden bereikt, leidend tot verschillen in te hanteren betrouwbaarheidsindices. Afhankelijk van het gebouwspecifieke doel wordt met de methode aangetoond dat de constructie met een zekere kans de gehele brand kan doorstaan óf dat constructie de brand gedurende een bij het specifieke doel horende tijdsduur kan doorstaan.
- De brandontwikkeling in de tijd moet worden bepaald op basis van stochastische grootheden met een karakteristieke waarde die wordt meegewogen in het risicomodel. Dit geldt ook voor de materiaaleigenschappen in bouwconstructies van de brandruimte (warmtegeleidingscoëfficiënt, soortelijke warmte en soortelijke massa) Wanneer blijkt dat

de invloed van deze grootheden groot is en karakteristieke waarden niet vastgesteld kunnen worden, zal vooralsnog adiabatisch gerekend moeten worden (worst-case).

6.4 Risicomodel 3

Risicomodel 3 is een gekunstelde oplossing, waarmee het onderscheid tussen een groot laag gebouw en een groot hoog gebouw niet wordt gemaakt. Risicomodel 3 kan een aanvulling op risicomodel 2 zijn, maar kan ook helemaal weggelaten worden.

Hoofdstuk 7 Onderzoek fase 2

7.1 Afstemming risiconiveau aan publiekrechtelijke regelgeving constructieve veiligheid - fase 2

Op basis van de in hoofdstuk 6 getrokken conclusies ten aanzien van fase 1 en het tijdens de uitvoering verkregen inzicht, is een helder plan van aanpak voor fase 2 ontstaan.

Het doel is om na afronding van fase 2 antwoord te hebben op de vraag of en zo ja hoe de Eurocodes² met een fysisch brandmodel gebruikt kunnen worden, zodat een acceptabel veiligheidsniveau bereikt wordt als de wetgever in het Bouwbesluit 2003 beoogd heeft.

De voorgestane aanpak sluit nauw aan bij het overheidsbeleid zoals verwoord in de 'Visie Brandveiligheid', waar het gaat om een nieuwe systematiek van bouwregelgeving, die meer gebaseerd is op een risicomodel.

Behalve een rapport waarin de analyses en achtergronden worden beschreven (en dat bruikbaar is ter overtuiging van betrokken partijen en ter draagvlakverbreding), wordt het project afgerond met tekstvoorstellen voor een normatieve aanpassing van de Nationale Bijlage (NEN-EN 1991-1-2/NB) en een voorstel voor een eventuele aanpassing van het Bouwbesluit 2003 op dit punt.

Het vertrekpunt voor fase 2 is een indeling van gebouwen en risico's volgens een systematiek die aansluit bij die van de Eurocodes ('consequences classes'), maar specifiek rekening houdt met de voor constructieve veiligheid bij brand relevante aspecten, alsmede met het in het Bouwbesluit 2003 en Gebruiksbesluit beoogde veiligheids- en voorzieningenniveau. Bouwconstructies mogen als gevolg van een buitengewone belastingcombinatie, met brand als buitengewone belasting, met een betrouwbaarheidsindex als gegeven in tabel 6 niet leiden tot een disproportionele beschadiging van het bouwwerk. Daarnaast moeten rookvrije vluchtroutes voldoende lang in stand blijven.

Aspecten als het ontruimen, de wijze van ontruimen, de ontruimingstijd, de inzetmogelijkheden van de brandweer (enerzijds om het gebouw te kunnen doorzoeken en anderzijds om van buiten het direct bedreigde compartiment de brand te kunnen bestrijden) en de maatschappelijke impact zijn hierbij meegenomen in de klasse-indeling.

Een eerste concept voor een dergelijke indeling is tot stand gekomen tijdens de evaluatie van risicomodel 2 (fase 1).

² Specifiek gaat het om NEN-EN 1991-1-2 in combinatie met NEN-EN 1990 en de materiaalgebonden branddelen NEN-EN 1992-1-2, NEN-EN 1993-1-2, enz., inclusief de bij deze delen horende nationale bijlagen.

Tabel 6: indeling van gebouwen en brandrisico's volgens een systematiek die nauw aansluit bij de Eurocodes (CC = 'consequences class')

Klasse	betrouw- baarheids- index ³	referentie- periode	gebouwtype ⁴
CC3	$\beta = 4,3$	50 jr	hoogbouw > 70 m woonfunctie (met zorg 24 u bewaking) gezondheidszorgfunctie (bedgebonden) > 13 m PGS-15 gebouwen
CC2 – hoog	$\beta = 3,8^5$	50 jr	woongebouw > 13 m woonfunctie (met zorg op afroep) gezondheidszorgfunctie (bedgebonden) ≤ 13 m
CC2 – laag	$\beta = 3,8$	50 jr	standaard woonfunctie (met zorg op afspraak) <i>wbdbo-hoog (60)</i>
CC1 – hoog	$\beta = 3,3$	15 jr	eengezinswoning industriefunctie met inzetdiepte > 60 m kantoor-, bijeenkomst-, onderwijs-, sport- en winkelfunctie van 1 of 2 bouw- lagen <i>rvr of wbdbo-laag (30)</i>
CC1 – laag	$\beta = 3,3^6$	1 jr	overige industriefunctie

7.2 Plan van Aanpak - fase 2

Het Plan van Aanpak voor fase 2 bestaat uit de volgende stappen:

VOORBEREIDING

- 1) Nadere uitwerking van tabel 6;
- 2) Vertaling van de tabel naar risicofactoren voor de bij de berekeningen relevante stochasten, waarbij een keuze gemaakt moet worden op basis van de probabilistische overwegingen en het in de 1^e fase verkregen inzicht voor:
 - risicofactoren op de mechanische belastingen bij brand (voor zover afwijkend van de aanbevolen waarden van NEN-EN 1990);
 - risicofactoren op de thermische belastingen bij brand (voor zover afwijkend van NEN-EN 1991-1-2 + Nationale Bijlage);
 - een combinatie van beide;
- 3) Vaststellen van ca. 20 relevante cases, waarmee de verschillende klassen worden afgedekt. Waar mogelijk worden dezelfde cases als in fase 1 beschouwd met de nieuwe aanpak. Waar nodig worden de cases uitgebreid met

³ Hoe hoger de betrouwbaarheidsindex, hoe lager de kans op bezwijken.

⁴ Voor zover niet gespecificeerd hebben de eisen betrekking op constructies die bij bezwijken tot disproportionele schade leiden en moet de constructie de gehele brand kunnen weerstaan (inclusief de afkoelingsfase) c.q. in het geheel niet instorten bij brand. *In de cursief weergegeven gevallen gelden eisen in het kader van brandcompartmentering (wbdbo: weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag) of ontvluchting (rvr: rookvrije vluchtroutes in stand houden) en/of kan volstaan worden met lichtere eisen (de brand moet gedurende een bepaalde periode van bijv. 30 of 60 minuten weerstaan worden).*

⁵ In CC2 – hoog zijn ten opzichte van CC2 – laag extra veiligheidsvoorzieningen nodig om voortschrijdend bezwijken te voorkomen (bij overigens gelijke betrouwbaarheidsindex voor primair bezwijken).

⁶ In CC1 – laag zijn de veiligheidsfactoren lager dan in CC1 – hoog als gevolg van de kortere referentieperiode (bij overigens gelijke betrouwbaarheidsindex).

specifiek relevante gebouwtypen binnen een klasse. Tot deze stap behoort tevens een analyse van de vereiste voorzieningen op grond van het Bouwbesluit 2003 en het Gebruiksbesluit, onderscheiden naar de cases.

BEREKENINGEN

- 4) Analyseren van de cases voor wat betreft thermische en mechanische belasting⁷;
- 5) Analyseren van de cases voor wat betreft thermische en mechanische respons van de constructie, specifiek voor een beperkt aantal representatieve (onderdelen van) onbeklede en beklede staalconstructies relevant voor de hiervoor geselecteerde cases⁸;
- 6) Analyseren van de cases voor wat betreft thermische en mechanische respons van de constructie, specifiek voor een gewapend betonnen vloer⁹;
- 7) Terugkoppeling van de resultaten van stap 4-6 en desgewenst aanpassen van de risico- en veiligheidsfactoren in stap 2 en de cases in stap 3;
- 8) Doorrekenen van de stappen 4-6 met de gewijzigde factoren van stap 7.

CONCLUSIES

- 9) Eindconclusies.

⁷ Op basis van de opgebouwde ervaring uit fase 1, wordt in fase 2 de mogelijkheid onderzocht om de in de nationale bijlage van NEN-EN 1991-1-2 aangebrachte wijziging van de vermenigvuldigingsfactor p_1 terug te draaien, waardoor deze analoog aan de NEN-EN wordt gebaseerd op de werkelijke grootte van de brandruimte en niet op de maximum toelaatbare grootte van de brandruimte binnen de nieuwbouw prestatie-eisen (1000 m²).

⁸ De beschikbare software die voor stap 4 gebruikt wordt, is tevens toegerust met een module voor staalconstructie (op basis van de Eurocode NEN-EN 1993-1-2), die met betrekkelijk geringe inspanning kan worden gebruikt. Voor beklede staalconstructies wordt hierbij in dit kader gebruik gemaakt van een geïdealiseerd isolatiemateriaal, dat gelijkenis vertoont met een bestaand materiaal dat over een groot bereik van het toepassinggebied relatief constante eigenschappen vertoont. Bij toepassing in de praktijk zullen per materiaal de eigenschappen moeten worden afgeleid (van proeven) om te kunnen gebruiken bij natuurlijke brandberekeningen. Dit geldt ook voor het gedrag van de isolatiematerialen tijdens de afkoelfase. In het project zullen de randvoorwaarden worden aangegeven waarbinnen de conclusies geldig zijn en welke gegevens van isolatiematerialen in de toekomst op basis van proeven nodig zijn als input voor natuurlijke brand berekeningen. Analooch met het voorgaande, zal er eveneens geen uitgebreide beschouwing van het gedrag van verbindingen of plooien van dunwandige profielen tijdens de afkoelfase worden opgezet, maar zullen de randvoorwaarden op praktische wijze worden aangegeven. Dit geldt voor zowel beklede als onbeklede staalconstructies.

⁹ De beschikbare software die voor stap 4 en 5 gebruikt wordt, is in beginsel niet geschikt voor betonconstructies. Om deze te kunnen analyseren moet een gelijkwaardige bepalingsmethode aan die in NEN-EN-1992-1-2 gebruikt worden. Deze is voor eenvoudige situaties (bijvoorbeeld een in twee richtingen gewapend betonvloer belast op buiging in één richting) beschikbaar. Hierbij wordt het effect van de opwarming van het beton en de wapening beschouwd, het effect op het buigdraagvermogen en het gedrag tijdens de afkoelfase. In dit stadium zijn geen uitspraken te doen over het afsplatgedrag, het gedrag van voorgespannen beton en over bezwijkmechanismen waarbij dwarskracht, verankering, excessieve scheurvorming, afschuiving of buiging in twee richtingen een rol speelt. Voor enkele praktische situaties (een in het werk gestorte vloer en kolom, een gewapende breedplaatvloer) zullen met numerieke modellen illustratieve configuraties worden doorgerekend, ten einde de effecten te illustreren en handvatten te geven voor de ontwerp praktijk.

AFRONDING

10) Rapportage van stappen 1-9;

11) Opstellen van de gewijzigde tekst van de nationale bijlagen bij NEN-EN 1991-1-2, welke na aanvaarding de status 'normatief' krijgt (is nu 'informatief'), NEN-EN 1992-2 en NEN-EN 1993-2;

12) Opstellen van de concept tekst voor toevoeging aan het Bouwbesluit 2003 om de aansluiting mogelijk te maken. Het gaat hierbij om het inrichten van een duaal systeem, waarbij de huidige prestatie-eisen gekoppeld aan de bepalingsmethode in de NEN-EN delen -1-2 met de standaardbrandkromme worden geplaatst naast het nieuwe systeem, waarvan de nieuwe eisen (uitgedrukt in prestaties voor de verschillende risicoklassen) gekoppeld worden aan de bepalingsmethode in de NEN-EN 1991-1-2 + NB.

De werkzaamheden in fase 2 kunnen worden uitgevoerd voor **€ 66.000,-** exclusief BTW.

Bijlage 1 Begripsvorming veiligheidsniveau

(P.H.E. van de Leur – DGMR)

B.1.1. Begrippenkader

Dit stuk gaat over zaken als gevaren, risico's en veiligheid. Een goede omschrijving van de betekenis van de begrippen zal hopelijk de verdere discussie vergemakkelijken.

Met een *gevaar* wordt bedoeld de mogelijkheid dat zich een ongewenst fenomeen voordoet waaraan rechtstreeks persoonlijke of materiële schade is te koppelen. Voorbeelden:

- Bezwijken van een (deel van) de hoofdconstructie: als een gedeelte bezwijkt kunnen vluchtende gebruikers of hulpverleners rechtstreeks worden bedreigd door vallende delen, of indirect door het verliezen van een veilige vluchtroute;
- Doorslaan van brand: als een scheidingsconstructie zijn brandwerende functie verliest, kan een brand zich uitbreiden buiten het brandcompartiment. Dat kan een rechtstreekse bedreiging vormen voor mensen die achter die constructie vluchten of wachten;
- Doorgang van rook;

Schade is het mogelijke negatieve gevolg van de diverse gevaren. Persoonlijke schade is letsel of in het uiterste geval dood; Om het eenvoudig te houden kun je je beperken tot dodelijke slachtoffers. Materiële schade is in veel gevallen uit te drukken in geld. Andere dimensies waarin bij brand schade kan optreden worden zelden in risicobeschouwingen meegenomen en laten zich ook moeilijker kwantificeren: maatschappelijke ontwrichting door verlies van een ziekenhuis of gemeentehuis; hinder door tijdelijke afsluiting verkeersaders of tijdelijke ontruiming van woonwijk.

Het *risico* is een kwantificering van de schade, gewogen naar de kans van optreden: "kans maal effect". Er zijn dan nog diverse relevante gezichtspunten, zoals dat van:

- De Individuele gebruiker van een gebouw: kans per jaar dat die overlijdt (vgl. PR, plaatsgebonden risico);
- De groep van gebruikers van het gebouw: kans per jaar dat meer dan n personen overlijden;
- De individuele hulpverlener: kans per jaar dat die overlijdt;
- De materiële schade: verwachtingswaarde van de schade in € / jaar.

Hierbij is de keus gemaakt om het risico te betrekken op een referentieperiode van een jaar. Dat is bepaald niet vanzelfsprekend, want op diverse plaatsen worden andere referentieperioden gehanteerd: zo wordt in de constructieve veiligheid 50 jaar of 10 jaar genomen; omrekenen naar een periode van een jaar is eenvoudig te doen.

Veiligheid is het omgekeerde van risico. Elke monotone functie van het risico kan als maat voor de veiligheid worden genomen; in de praktijk doen we dat niet, en praten we over veiligheid in termen van het risico. Het veiligheidsniveau (beperkt tot het gezichtspunt van de persoonlijke veiligheid van een individuele gebruiker) is dan uit te drukken in termen van het PR.

B.1.2 Verband tussen veiligheidsniveau en brandwerendheid van constructiedelen

Dit verband is niet zo voor de hand liggend als de eenvoudige behandeling in verschillende publicaties suggereert. Eenvoudig is nog wel te stellen dat naarmate een constructie een hogere brandwerendheid heeft, het veiligheidsniveau stijgt; en dat voor alle gezichtspunten.

Het veiligheidsniveau kunnen we uitdrukken in termen van risico. Welk risico? Behalve het onderscheid dat bij de begripsbepalingen is gemaakt hangt het ook af van de gevaren die door de brandwerendheid van de constructie worden beperkt. Brandwerendheid dient immers verschillende doelstellingen:

- veiligheid van gebruikers bij het zelfredzaam vluchten.
- veiligheid van hulpverleners en gebruikers bij het redden
- veiligheid van hulpverleners bij het bestrijden van een incident
- beschermen van de eigendommen van
 - eigenaars / beheerders van naburige gebouwen
 - eigenaars / beheerders van overige delen van het gebouw
 - de gebruikers van het direct bij de brand betrokken deel van het gebouw
- beperking van maatschappelijke schade / ontwrichting die kan optreden bij het geheel bezwijken van een gebouw

Bij elk van deze doelstellingen geldt een andere combinatie van gevaren die bijdragen aan het risico en dus aan het veiligheidsniveau. Hieronder wordt dat (voorlopig) voor drie van de zeven bovengenoemde doelstellingen uitgewerkt:

- veiligheid van gebruikers bij het zelfredzaam vluchten:
 - brandwerendheid van de hoofddraagconstructie is in dit verband van belang als en voor zover de aanwezigen veel tijd nodig hebben voor het ontruimen van het gebouw. Het gevaar is dan het instorten van het gebouw nog tijdens het ontruimen;
 - brandwerendheid op bezwijken van de constructies waarvan het bezwijken een rookvrije vluchtroute onbruikbaar maakt is eveneens alleen relevant tijdens het vluchten. Als een dergelijke constructie bezwijkt brengt dat rechtstreeks mensen in gevaar die zich op dat moment in dat deel van de vluchtroute bevinden; minder rechtstreeks brengt het mensen in gevaar die nog van dat deel van de vluchtroute gebruik hadden willen maken; in veel gevallen zullen die nog een alternatieve route ter beschikking hebben;
 - brandwerendheid op scheidende functie: omdat aanwezigen in heel korte tijd van de verdiepingen af vluchten zijn brandscheidingen tussen compartimenten op verdiepingen zeer beperkt relevant, tenzij deze tevens een functie van rookscheiding vervullen. Uitzonderingen hierop zijn bijvoorbeeld de omhulling om stookruimten, technische ruimten of ruimten met gevaarlijke stoffen, omdat in die ruimten een verhoogd gevaar bestaat voor het ontstaan van brand en verhoogde kans op late ontdekking. Brandscheidingen tussen verdieping en trappenhuis inclusief de verdere route naar aansluitend terrein zijn wel van groot belang omdat mensen achter die scheiding langdurig vluchten; net als voor de hoofddraagconstructie geldt wel dat bij een laag gebouw met een korte ontruimingstijd het belang beperkt is.

- veiligheid van hulpverleners bij het bestrijden:
 - brandwerendheid van de hoofddraagconstructie is voor deze doelstelling van groot belang. Het bestrijden kan immers lange tijd vergen, en het gevaar bestaat dat het gebouw tijdens die activiteit instort. Men hoeft maar aan WTC New York 2001 te denken, en aan TUD/Bouwkunde 2008;
 - brandwerendheid op bezwijken van de constructies waarvan het bezwijken een rookvrije vluchtroute onbruikbaar maakt is in beginsel niet van belang, omdat brandweermensen zich niet in de betreffende ruimten zullen ophouden. in de praktijk eveneens alleen relevant tijdens het vluchten.
 - brandwerendheid op scheidende functie: brandscheidingen tussen compartimenten op verdiepingen zijn wel relevant voor de effectiviteit van bestrijding, maar niet direct voor de veiligheid van de hulpverleners. Uitzonderingen hierop zijn de brandscheidingen tussen verdieping en trappenhuis c.q brandweerliftschacht, die immers de route beschermen waarlangs de brandweer de brand benadert en zich terugtrekt.
- beschermen van de eigendommen van eigenaars / beheerders van naburige gebouwen
 - de brandwerendheid van de hoofddraagconstructie is alleen indirect van belang, namelijk voor zover als die nodig is om de brandscheidingen met de burens overeind te houden. Gaat het om een vrijstaand gebouw dat voldoende ver van de burens verwijderd is om het zonder brandwerende gevels te redden, dan hoeft de hoofddraagconstructie geen brandwerendheid op bezwijken te bezitten. In uitzonderingsgevallen dient de mogelijkheid worden beschouwd dat het gebouw omvalt tegen de burens aan
 - brandwerendheid op bezwijken van de constructies waarvan het bezwijken een rookvrije vluchtroute onbruikbaar maakt is van geen belang, want heeft geen invloed op branddoor- of overslag naar burens;
 - brandwerendheid op scheidende functie: brandscheidingen tussen compartimenten op verdiepingen zijn alleen relevant voor zover de interne brandcompartimentering nodig is om brandscheidingen met de burens overeind te houden. Brandwerende geveldelen zijn alleen nodig als zonder die brandwerendheid brandoverslag kan optreden naar de burens. Brandwerende scheidingswanden naar direct aangrenzende burens zijn uiteraard essentieel.

Als we uit de verschillende doelstellingen de te beheersen gevaren op een rijtje zetten aan de hand van hun relatie met de brandwerendheid van constructie(delen), dan komen we tot het volgende overzicht:

- **brandwerendheid op bezwijken van de constructies waarvan het bezwijken een rookvrije vluchtroute onbruikbaar maakt:** bij normale situaties maximaal 15 minuten nodig voor zelfredzaam vluchten; 30 minuten moet daarvoor altijd voldoende zijn en vertegenwoordigt dus een hoog niveau van veiligheid;

- **brandwerendheid op scheidende functie: brandscheidingen tussen brandcompartimenten.** Is in hoofdzaak relevant voor beperking van materiële schade aan de eigenaar. De brandwerendheid moet ten minste 30 minuten bedragen om een bijdrage te leveren, en zou daarmee het niveau voor bestaande bouw kunnen zijn; 60 minuten is in een redelijk aantal gevallen voldoende om de brand tot een compartiment beperkt te houden en dus het gebouw niet in zijn geheel verloren te laten gaan; voor een lage kans op doorslag moet de brandwerendheid duidelijk boven de te verwachten vuurbelasting liggen. Op de hogere niveaus in hoogbouw is een extra marge nodig om de te verwachten vertraging in brandweeringrijpen te compenseren.
- **brandwerendheid op scheidende functie: brandscheidingen tussen aangrenzende gebouwen:** Is relevant voor beperking van materiële schade aan burens. De brandwerendheid moet ten minste 30 minuten bedragen om een bijdrage te leveren, en zou daarmee het niveau voor bestaande bouw kunnen vertegenwoordigen; succesvol brandweeringrijpen is vereist om het gevaar van branddoorslag af te wenden. 60 minuten is in een redelijk aantal gevallen voldoende om de brand binnen het gebouw te houden en zou het niveau voor nieuwbouw kunnen leveren. Voor een lage kans op doorslag moet de brandwerendheid duidelijk boven de te verwachten vuurbelasting liggen. De afhankelijkheid van de brandweer is dan een stuk kleiner dan met vaste waarden van 30 of 60 minuten. Op de hogere niveaus in hoogbouw is een marge nodig om de te verwachten vertraging in brandweeringrijpen en dus verdere verlaging van de kans op succesvol ingrijpen te compenseren.
- **brandwerendheid op scheidende functie: brandscheidingen om trappenhuizen:** Is voor hogere gebouwen hoogst relevant voor zelfredzaam vluchten, voor veilig bestrijden en voor beperking van materiele schade voor de eigenaar. De brandwerendheid moet vanwege deze hoge relevantie zelfs voor bestaande bouw ten minste 30 minuten bedragen om een bijdrage te leveren, en zou daarmee het niveau voor bestaande bouw kunnen vertegenwoordigen (Bouwbesluit 2003: 20 minuten). 60 minuten is voor niet te hoge gebouwen voldoende voor nieuwbouw, maar voor hoogbouw zou een nog lagere faalkans van de brandscheiding voor de hand liggen omdat de benodigde ontruimingstijd, en zeker de tijd nodig voor redding en blussing, oplopen. Het ligt dan in de rede om de lagere faalkans niet alleen te zoeken in hogere brandwerendheden maar ook in het realiseren van brandwerend afgescheiden sluisen en overdrukinstallaties.
- **brandwerendheid op bezwijken van de hoofddraagconstructie:** die dient het in stand houden van brandscheidingen (60 minuten, 90 in hoogbouw?) waar dat aan de orde is. Het dient primair de veiligheid van hulpverleners en het voorkómen van maatschappelijke ontwrichting. Voor de hulpverleners biedt 30 minuten een zeer laag niveau, net voldoende voor lage gebouwen en bestaande bouw. Bij 60 minuten is de kans op instorting en dus gevaar voor hulpverleners nog aanzienlijk, nog net acceptabel voor nieuwbouw van niet te hoge gebouwen. Voor hoogbouw is 90 of 120 minuten nodig om een lagere kans op bezwijken te realiseren dan voor laagbouw acceptabel is, wellicht aangevuld met sprinklerbescherming. Voor zover de constructie voert door ruimten met hoge vuurbelasting moet daar de brandwerendheid van de

hoofddraagconstructie navenant hoger zijn. Als bezwijken vanuit het argument maatschappelijke ontwrichting sowieso moet worden voorkomen is dat niet alleen maar tijdens het incident, maar moet het gebouw ook na de afkoelfase blijven staan. Hoe belangrijker het gebouw is qua functie of plaats in de omgeving, des te lager de kans op bezwijken zou moeten zijn.

NB: de hier genoemde brandwerendheidstijden kunnen niet direct worden gehanteerd als de tijd na aanvang brand waarbinnen hulpverleners veilig kunnen werken, en waarna zij zich moeten hebben verwijderd. Dat zou het geval zijn als elke brand zich vanaf ontsteking ontwikkelt conform de standaard brandcurve, maar dat is niet zo. Werkelijke branden hebben een korte of langere smeulfase, ontwikkelen zich daarna soms langzamer maar vaak ook sneller dan de standaardbrand, en gaan een dooffase in als de brandstof op begint te raken. Op uitzonderingen na kan wel gesteld worden dat een 90 minuten brandwerende constructie, in vergelijking met een 60 minuten brandwerende constructie, een grotere kans heeft om in een werkelijke brand 60 minuten lang overeind te blijven. In een gebouw met 90 minuten brandwerende hoofddraagconstructie kunnen hulpverleners daarom met meer vertrouwen 60 minuten lang opereren dan als de hoofddraagconstructie 60 minuten brandwerend is. Bedenk hierbij wel dat het bij het risico van bezwijken gaat om de tijdsduur dat het constructiedeel aan hoge temperaturen is blootgesteld. In een brand die zich door een uitgestrekt gebouw uitbreidt zal op een gegeven locatie de temperatuur al weer dalen als de brand elders nog moet beginnen.

B.1.3. Het veiligheidsniveau van het Bouwbesluit

In de vorige paragraaf is besproken op welke manieren brandwerendheid relevant is of kan zijn voor de verschillende doelstellingen. Hoeveel brandwerendheid voor elk van de relevante onderdelen nodig is, hangt af van het gewenste veiligheidsniveau, maar dus ook van de relevantie van de onderdelen in het specifieke gebouw.

Dit brengt nuances aan die het Bouwbesluit mist. Daarin zijn vaste keuzen gemaakt voor de hoogte van de WBDBO en daarmee de brandwerendheid (bijvoorbeeld: boven de 5 m altijd 60 minuten WBDBO tussen compartimenten en naar trappenhuisen, ongeacht de hoogte, de gebruiksfunctie, de vuurbelasting).

Hierboven is beargumenteerd dat alleen al in relatie tot brandwerendheid de veiligheid diverse componenten heeft, die feitelijk elk apart moeten worden gemeten. Een gebouw kan heel veilig zijn voor wat betreft het gevaar van materiële schade bij burens, maar hoogst gevaarlijk voor wat betreft veilig optreden van brandweer, en tegelijk redelijk veilig qua zelfredzaam vluchten van aanwezigen. De wetgever heeft met de voorschriften in de bouwregelgeving getracht op elk van de dimensies een redelijk niveau voor te schrijven, vanzelfsprekend uitgaande van een flink aantal vereenvoudigende aannamen. Helaas zijn die aannamen –als ze indertijd al concreet zijn benoemd– niet gedocumenteerd zodat het moeizaam is daarover te communiceren.

De uitdrukking “het veiligheidsniveau van het Bouwbesluit” spreekt uit dat gebouwen die net voldoen aan de Bouwbesluitvoorschriften allemaal ruwweg hetzelfde niveau van veiligheid hebben. Dus, iets scherper geformuleerd, het PR van een gebruiker of een hulpverlener is ruwweg gelijk in al die gebouwen. Deze suggestie is onjuist, en een bron van veel ellende. Onjuist omdat de brandveiligheidsvoorschriften zeer veilige oplossingen opleveren, maar soms ook behoorlijk onveilige situaties sanctioneren.

Een paar voorbeelden ter illustratie: Een woongebouw met een binnencorridor voldoet aan alle voorschriften maar is langs elke mogelijke meetlat onveiliger dan een verder

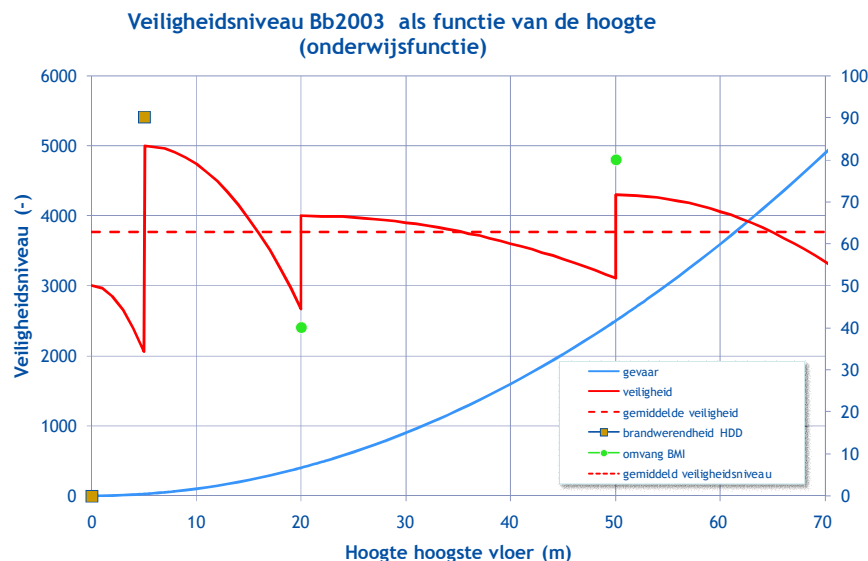
identiek gebouw met buitengalerijen. Een portiekflat is nog beduidend minder veilig. Een deugdelijk veiligheidstrappenhuis levert aanmerkelijk meer veiligheid dan een centraal gelegen besloten trap. Een rookcompartiment met twee uitgangen naar éénzelfde ander rookcompartiment, waarin twee verschillende trappenhuizen bereikbaar zijn, voldoet ook bij hoge bezetting keurig aan de voorschriften; als één van de twee uitgangen van het rookcompartiment toegang geeft tot een onafhankelijke vluchtroute is de veiligheid aanmerkelijk hoger. Welke situatie legt het veiligheidsniveau van het Bouwbesluit vast? Welke neem je als referentie voor een gelijkwaardigheidsanalyse?

Voor de hoogte van het veiligheidsniveau kent de bouwregelgeving twee referentieniveaus: één minimumniveau voor nieuwbouw, en één lager niveau voor bestaande bouw.

Voor discussies over veiligheidsniveau en gelijkwaardigheid is nog van belang dat elk Bouwbesluitvoorschrift één of meer niveaus van maatregelen vastlegt via grenswaarden gekoppeld aan klassegrenzen. Telkens wanneer een klassegrens wordt overschreden, stijgt het veiligheidsniveau met een discrete stap. Op tussengelegen waarden neemt het veiligheidsniveau geleidelijk af met toenemende hoogte. Op die manier ontstaat –althans, dat zal de bedoeling zijn– een min of meer gelijk niveau van veiligheid.

Dit idee is onderstaand geïllustreerd in een grafiek. Op de horizontale as is de hoogte van de hoogste vloer van een gebouw uitgezet. Op de verticale as is uitgezet:

- het gevaar van overlijden in geval van brand in een willekeurige eenheid (blauwe doorgetrokken lijn)
- het niveau van brandwerendheid van de draagconstructie in minuten (bruine vierkantjes)
- het uitvoeringsniveau van de brandmeldinstallatie: vanaf 20 m handmelders met doormelding (niveau gesteld op 40), boven 50 m gedeeltelijke bewakking met automatische melders en doormelding (80)
- het resulterende veiligheidsniveau (rode doorgetrokken lijn)
- het gemiddelde veiligheidsniveau (rode streeplijn)



Let op: de uitgezette verbanden zijn schetsmatig, en uitsluitend ter illustratie opgesteld. Aan de waarden op de verticale assen moet dan ook geen precieze betekenis worden toegekend.

Er kan worden verondersteld dat behalve de brandwerendheid en de omvang van de brandmeldinstallatie ook andere vereiste voorzieningen de ligging van de rode lijn meebepalen, zoals de aanwezigheid van brandweerliften en blusleidingen.

In deze weergave zou de rode streeplijn het 'veiligheidsniveau beoogd door het Bouwbesluit'voorstellen.

B.1.4. Wat brandt er, wat bezwijkt

In het voorgaande wordt in het midden gelaten wat er precies brandt, en wat precies de consequenties van bezwijken zijn.

Een standaard veronderstelling is, dat de ongesprinklerde brand een heel brandcompartiment inneemt. Als die ontwikkelde brand de brandwerendheidstijd van een deel van de hoofdconstructie overschrijdt, dan bezwijkt het hele gebouw.

In werkelijkheid kunnen hier in veel gevallen nuances worden aangebracht.

Als een brandcompartiment in een kantoorgebouw is ingedeeld in kamers, dan kan die indeling ook zonder formele brandwerendheid zorgen voor een aanzienlijke vertraging in het uitbreiden vanuit een kamer naar de rest van het brandcompartiment, althans als de deur van de kamer waar de brand is ontstaan dicht is.

In brandcompartimenten onderverdeeld in effectieve subcompartimenten zal de brand gedurende langere tijd beperkt blijven tot één subcompartiment. Pas na een minuut of 30 verwacht je dat de brand zich tot daarbuiten uitbreidt; bij woningen in een woongebouw nog langer omdat die onderling door 60 minuten wdbbo zijn gescheiden. De uitbreiding over het hele brandcompartiment kan zo lang duren.

In het geval van logiesfuncties (hotelkamers) is door deze tijdvertraging het uitbreiden van de brand naar een heel brandcompartiment pas aan de orde als de risico's voor gebruikers van het gebouw al zijn verdwenen omdat het gebouw zelfredzaam is ontruimd. Bij woningen in een woongebouw is dat minder voor de hand liggend omdat een algemene ontruiming in verband met brandgevaar in de praktijk zelden of nooit aan de orde is; als toch een ontruiming wordt ingezet door de brandweer, is de extra beschikbare tijd ook nodig vanwege de onmogelijkheid om iedereen snel te alarmeren en in beweging te krijgen.

In ziekenhuizen is het ontruimingsconcept zelfs zo dat een naastgelegen brandcompartiment in beginsel als veilige plaats het eindstation is van de ontruiming. De subcompartimentering zorgt ervoor dat gedurende die ontruiming het risico van bezwijken vrijwel afwezig is; na die tijd breidt de brand zich uit over het hoofdbrandcompartiment, en is de noodzaak zeer groot dat bezwijken niet voorkomt, of dat bezwijken beperkt blijft tot gebouwdelen die zijn ontruimd.

De consequenties van het bezwijken van een deel van de hoofdconstructie zijn in de praktijk vaak beperkt / lokaal. Totale instorting van een gebouw door brand komt uiterst zelden voor.

Dit betekent iets voor de 'waardering' van de gevolgen van bezwijken voor de veiligheid van gebruikers en hulpverleners. Bezwijken betekent immers niet direct overlijden, laat staan van een groot aantal personen.

Een analyse die stopt met het vaststellen of de duur en intensiteit van de brand in een compartiment voldoende groot zijn om delen van de hoofddraagconstructie te laten bezwijken, maakt daarmee belangrijke fouten in de inschattingen.

B.1.5. Brandwerendheid hoofddraagconstructie en brandcurve

In de voorgaande paragraaf is betoogd dat brandwerendheid van de hoofddraagconstructie meerdere doelen dient:

- primair het beschermen van hulpverleners en gebruikers bij het redden; tijdsduur 30 à 60 minuten, zeer hoge betrouwbaarheid;
- Secundair het beschermen van hulpverleners bij het bestrijden; brandduur, zeer hoge betrouwbaarheid;
- tertiair het voorkomen dat het gebouw tijdens een incident bezwijkt; brandduur inclusief afkoelperiode, zeer hoge betrouwbaarheid;
- als laatste (quartaire), het ondersteunen van brandwerende scheidingen, 60 minuten, normale betrouwbaarheid.

waarbij de gewenste betrouwbaarheid in de bouwregelgeving is vertaald in benodigde brandwerendheidstijd die veel of weinig hoger is dan de vermelde tijd.

Het Bouwbesluit legt deze verbanden niet. In de plaats daarvan schrijft het Bouwbesluit onder alle omstandigheden een brandwerendheid voor die toeneemt met de hoogte van het gebouw (0 – 5 – 13 m), en die voor gebouwen met slaapfunctie een klasse hoger is dan voor andere functies.

Deze vereenvoudiging van de complexe werkelijkheid kan worden gezien als noodzakelijk om het Bouwbesluit kort en eenvoudig te houden. Je kunt de complexere verbanden gebruiken om te beoordelen of een alternatief voor de Bouwbesluit-aanpak een gelijkwaardig veiligheidsniveau oplevert. Met vereenvoudiging is zo'n beoordeling maar beperkt zinvol.

De prestatie van de hoofddraagconstructie qua bescherming wordt in de regelgeving uitgedrukt in minuten brandwerendheid betrokken op de standaard brandcurve (STB).

Via het fysisch brandmodel kan de werkelijke brandontwikkeling in het gebouw specifiek worden uitgerekend, nauwkeuriger en dus betrouwbaarder dan via STB. Daarmee kan ook de gewenste beschermingstijd (standtijd) beter worden gegarandeerd dan via de STB. Zowel mogelijke onvoldoende prestatie (werkelijke ontwikkeling sneller dan STB) als overmaat aan prestatie (werkelijke ontwikkeling trager dan STB) kunnen zo worden voorkomen.

De wijze waarop in de huidige implementatie van het fysisch brandmodel de aanwezige voorzieningen uitpakken op de kans op bezwijken is voor discussie vatbaar. Zo lijkt bijvoorbeeld de invloed van een niet-automatische BMI op het risico onlogisch groot.

In de huidige exercities met het fysisch brandmodel zijn de hier gesignaleerde problemen zichtbaar. Berekeningen over sterk uiteenlopende gebruiksfunc-

ties, afmetingen en voorzieningenniveaus laten weinig variatie in veiligheidsniveau zien omdat de effecten op de werkelijke risico's niet in beeld worden gebracht.

Dit kan bijvoorbeeld zo uitpakken dat op basis van het model de aanvalsroute van een hoog gebouw niet hoeft te worden beschermd met een (hoge) brandwerendheid van de hdd, omdat de ventilatie hoog is en een handbrandmelder aanwezig is. En dat is niet erg overtuigend.

B.1.6. Conclusies

1. “Het veiligheidsniveau” is een veelkoppig monster. Koppelen van het veiligheidsniveau uitsluitend aan het risico van het bezwijken van de hoofddraagconstructie doet geen recht aan de complexe werkelijkheid. Desondanks kan die aanpak voor het constructief brandveiligheidsontwerp redelijk zijn. Diverse verbanden zijn aangegeven waarmee een meer op de concrete situatie toegespitste analyse kan worden uitgevoerd;
2. Het weglaten uit de analyse van het aantal personen die bij een brand betrokken kunnen raken betrokken is logisch als je de “veiligheidsprestatie” alleen meet in termen van de persoonlijke veiligheid van een individuele gebruiker. Grote verschillen in groepsrisico zijn dan niet zichtbaar;
3. Diverse factoren zijn genoemd die in werkelijkheid een rol spelen in het veiligheidsniveau, maar die in de opzet van het fysisch brandmodel niet voorkomen. Wellicht dat dat aanknopingspunten levert om te beoordelen of de gemaakte vereenvoudigingen acceptabel zijn.

Bijlage 2 Constructieve veiligheid in Eurocodes

(A.C.W.M. Vrouwenvelder – TNO)

B.2.1. Inleiding

Volgens Bijlage 1 moeten bij brandwerendheid van de hoofddraagconstructie van gebouwen de volgende doelen in de beschouwing worden betrokken:

1. beschermen gebruikers en hulpverleners
2. beschermen hulpverlening bij van de bestrijden brand
3. voorkomen instorten van het gebouw
4. ondersteunen brandwerende scheidingen

Eventueel kan men hier nog het beperken van de maatschappelijke schade aan toevoegen.

Bij de eerste twee doelen is er een duidelijke tijdbasis aanwezig: de hoofddraagconstructie moet het gedurende een zekere periode kunnen uithouden om vluchten en veilig bestrijden mogelijk te maken. De benodigde tijd hangt af van de afmetingen en gebruiksfuncties van het gebouw. In de gevallen 3 en 4 gaat het in principe om een gewenst gedrag gedurende de gehele brand. Van oudsher wordt dit ook omgerekend vanuit de vuurbelasting via de standaard brandcurve naar een equivalente brandduur. In het Bouwbesluit 2003 zijn ook alle veiligheidsmarges impliciet in tijdseenheden uitgedrukt. Dat maakt de methode niet transparant.

B.2.2. Constructieve veiligheidsbenadering volgens Eurocode EN 1990

Het ligt voor de hand bij de eisen aan de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de hoofddraagconstructie aansluiting te zoeken bij de algemene veiligheidseisen volgens de Eurocode EN 1990, Annex B:

gevolgklasse CC	verlies mensenlevens, economische schade	voorbeelden	betrouwbaarheidsindex (50 jaar)
CC3	groot	hoogbouw > 70 m concertzalen grote openbare gebouwen	$\beta > 4,3$
CC2	Middelmatig	woongebouwen kantoorgebouwen industriegebouwen	$\beta > 3,8$
CC1	Gering	eengezinshuizen lichte industrie agrarische bouw	$\beta > 3.3$

De relatie tussen de betrouwbaarheidsindex β en de kans op falen of bezwijken $P(F)$ wordt bij benadering gegeven door:

$$P(F) = 10^{-\beta} \quad (1)$$

De faalkans voor CC2 is daarmee $0,7 \cdot 10^{-4}$ voor 50 jaar, ofwel $0,7 \cdot 10^{-4} / 50 = 1,3 \cdot 10^{-6}$ per jaar. Voor echte hoogbouw (>70 m) geldt dus een zwaardere eis en voor eengezinswoningen en dergelijke een lagere. In dit systeem is zowel aandacht voor de economische schade als voor verlies van mensenlevens onder de bewoners.

Opgemerkt wordt dat de klasse CC1 in de NEN 8700 nog wordt opgesplitst in een klasse CC1A waarbij in het geheel geen mensenlevens in het geding zijn en CC1B waarbij dat (in gering mate) wel het geval is. Bij klasse CC2 wordt in EN 1991-1-7 (Buitengewone ontwerpsituaties) nog onderscheid gemaakt tussen CC2 LAAG en CC2 HOOG. Er zijn dus indien gewenst aanknopingspunten voor verdere differentiatie.

Voor de beoordeling van het belastinggeval brand dient de kans op bezwijken in een jaar te worden omgerekend naar de kans op bezwijken bij een gegeven brand. We gaan daartoe uit van:

$$P(\text{falen}) = P(\text{falen} \mid \text{brand}) P(\text{brand}) \quad (2)$$

De kans op een brand kan nog worden opgesplitst in een kans op het begin van een brand en de kans dat daarna flashover optreedt. Deze kansen worden bepaald door factoren als de bestemming van het gebouw, de grootte van het vloeroppervlak, de werking van meldinstallaties, lokale blusmogelijkheden, brandweerinzet, etc.

Stel dat de kans op het ontstaan van brand in een bepaald geval uitkomt op 10^{-4} per jaar. In dat geval mag de kans dat de hoofddraagconstructie bezwijkt in geval van brand niet groter zijn dan $1,1 \cdot 10^{-6} / 10^{-4} = 0,013$. Hiermee correspondeert een betrouwbaarheidsindex van $\beta=2,2$. We moeten ons uiteraard realiseren dat de genoemde kans van 10^{-4} per jaar sterk afhangt van de aard van het gebruik, het menselijk gedrag, etc.. Dit is een interessant normaliseringsprobleem op zich zelf, maar dat is van later zorg.

De volgende stap is het opzoeken van de rekenwaarden die gehanteerd moeten worden bij de bepaling van de natuurlijke brandkromme en de constructieve brandberekening. De belangrijkste aspecten daarbij zijn:

- de mechanische belastingen
- de sterkteparameters van de constructie
- de thermische parameters van de constructie
- de vuurbelasting in $[\text{MJ}/\text{m}^2]$
- de brandvermogensdichtheid in $[\text{MW}/\text{m}^2]$

De standaardformule voor een rekenwaarde van een variabele X wordt gegeven door (zie EN 1990, Annex C):

$$X_d = \mu (1 - \alpha \beta V) \quad (3)$$

Dit is de formule uitgaande van de normale verdeling; voor andere verdelingen bestaan vergelijkbare uitdrukkingen. De symbolen in de formule hebben de volgende betekenis:

- μ = gemiddelde
- α = invloedscoëfficiënt
- β = betrouwbaarheidsindex
- V = variatiecoëfficiënt ($= \sigma/\mu$)

De invloedscoëfficiënt α is positief voor sterkteparameters en negatief voor ongunstige belastingparameters. In absolute zin ligt de waarde tussen 0,0 en 1,0. Indien men alle waarden gelijk kiest aan 1,0 is men aan de (te) veilige

kant. Volgens de aanbevelingen in de Eurocode kiest men $\alpha \sim 0,7$ voor de belangrijkste sterktegrootte en belangrijkste belasting grootte; voor de overige variabelen is $\alpha \sim 0,3$. We vergelijken dit met de situatie bij brand:

- Voor **mechanische belastingen** (meestal eigen gewicht en nuttige belasting) in buitengewone ontwerp situaties zoals brand (maar ook explosie of aardbeving) is het gebruikelijk uit te gaan van een partiële factor gelijk aan 1,0. In bovenstaande formule correspondeert dat dus met $\alpha=0,0$. Er geldt dat de rekenwaarde = karakteristieke waarde = gemiddelde waarde. Strikt genomen is dat iets te weinig, maar de fout lijkt klein.
- Ook voor **sterkte** neemt men een partiële factor gelijk aan 1,0. Omdat de karakteristieke sterkte meestal gelijk is aan een 5% fractiel, geeft dat hier $\alpha\beta = 1,64$. De α ligt dus (bij $\beta = 2,2^{10}$) in de buurt van de 0,8 conform de aanbeveling.
- **Thermische eigenschappen van de constructie:** ook hier worden karakteristieke waarden (5% fractielen) als rekenwaarde voorgesteld..
- Voor de **vuurbelasting** geldt het 80 % fractiel. Dit correspondeert met $\alpha\beta = 0,8$, ofwel een $\alpha = 0,4$.
- Voor de **brandvermogensdichtheid** lijkt het dan aangewezen om α in de buurt van de 0,7 te kiezen, wat leidt tot $\alpha\beta = 1,5$, ofwel een 93 % fractiel. In tegenstelling tot de vuurbelasting bestaan van de brandvermogensdichtheid in de volledig ontwikkelde fase (een ventilatiebeheerste brandvermogensdichtheid) geen statistische gegevens. Omdat een statistische verdeling niet bekend is kan de brandvermogensdichtheid niet goed als stochastische parameter worden vastgesteld. De waarden voor de referentie vermogensdichtheid en de tijdconstante in tabel E5 van de nationale bijlage NEN-EN 1991-1-2/NB:2007 zijn, in combinatie met de (deterministische) geometrische eigenschappen van openingen in de brandruimte en de definitie ervan, in elk geval aan de veilige kant.

Gegeven de waarden voor al deze parameters kan men een natuurlijke brand doorrekenen. De constructie voldoet als deze rekenkundig blijft staan.

Bij afwijkende omstandigheden (andere gevolgklasse of andere kans op flash-over) komt men op een andere waarde voor de toelaatbare faalkans gegeven de brand en dus op een andere betrouwbaarheidsindex β . Volgens de theorie (zie formule (2)) moeten dan de rekenwaarden voor alle variabelen omhoog of omlaag, al naar gelang. Voor een praktische toepassing is dat niet erg handig en daarom streeft men meestal naar de toepassing van een enkele correctiefactor op een van de grootheden. Een correctiefactor op de vuurbelasting (bij constante vermogensdichtheid) komt in feite neer op een verlenging of verkorting van de brand en lijkt het meest op het huidige systeem. De grootte van deze factoren moet gekalibreerd worden, zoals bij het opstellen van de Eurocode Brand EN 1991-1-2 ook is gedaan, hetgeen geresulteerd heeft in de factoren δ_{q1} , δ_{q2} en δ_n . In Nederland heeft men deze factoren in de Nationale Bijlage overigens aangepast en toegepast als een vermenigvuldigingsfactor δ_{qf} op de vermogensdichtheid. Toegevoegd is een factor δ_r op de vuurbelasting die te maken heeft met de differentiatie in het Bouwbesluit 2003. Deze differentiatie is echter verstrengd met aspecten van vluchttijd en hulpverlening. Voor een zuivere analyse zou hier dus alleen de verhoogde vereiste

¹⁰ Uitgaande van gevolgklasse CC2 en kans op het ontstaan van brand van $1 \cdot 10^{-4}$

betrouwbaarheid afhankelijk van de gevolgklasse (tabel in B.2.2) meegenomen mogen worden.

Indien overigens bovenstaande eisen te zwaar uitvallen kan men altijd nog onderscheid maken tussen falen voor en na het verstrijken van de benodigde vluchttijd. na het verstrijken van de vluchttijd is er alleen nog materiële schade en kan de betrouwbaarheidsindex omlaag.

B.2.3. Vluchten en veiligheid hulpverlening

De brandweer heeft de taak mensen in veiligheid te brengen. Het gaat daarbij niet alleen om het in veiligheid brengen in verband met instortingsgevaar maar ook om de gevaren van directe blootstelling aan rook, straling en temperatuur. Om dit werk naar behoren te kunnen doen moet de brandweer er op kunnen rekenen dat de constructie voldoende veiligheid bezit gedurende een bepaalde periode.

Het niveau van veiligheid voor de brandweer wordt maar in beperkte mate beïnvloed door zaken als de kans op brand of flashover. Voor de brandweer telt primair de faalkans gegeven de brand en het aantal ernstige branden dat de brandweerman in een jaar tegenkomt. De veiligheid is eigenlijk een ARBO-kwestie. Stel dat een brandweerman gemiddeld eenmaal per jaar een ernstige brand meemaakt waarbij instortingsgevaar een rol speelt. Indien zijn overlijdensrisico door beroepsuitoefening 10^{-5} per jaar mag bedragen en de kans op een dodelijk ongeval gegeven instorten op 0,1 wordt geschat, moet dus gelden:

$$P(\text{falen in } t_{bw} \mid \text{vlamoverslag}) < 10^{-4} \quad (4)$$

De tijdsduur t_{bw} is de periode die de brandweer nodig heeft om personen te helpen ontluchten en (voor zover verantwoord) de brand te bestrijden. Deze tijd hangt af van de hoogte van het gebouw en het gebruik. In wezen is dit ook een stochastische variabele. Voor laagbouw denken we in de orde van 30 minuten, voor hoogbouw 60 of 90 minuten. Of dit juist is, is niet duidelijk omdat hier ook een stukje verkapte betrouwbaarheids-differentiatie in kan zitten. Verder hangt de tijd af van de mobiliteit en zelfredzaamheid van de bewoners en eventuele maatregelen als een brandmelder. Uiteraard is t_{bw} nooit groter dan de duur van de brand.

Bij $P=10^{-4}$ hoort een betrouwbaarheidsindex β in de orde van 3,6; dit is dus een aanzienlijk hogere waarde dan bij het voorgaande criterium. Het hangt van de tijd t_{bw} af welk criterium maatgevend zal zijn. Bij laagbouw en een hoge vuurbelasting is (1) maatgevend en bij hoogbouw met een lage brandbelasting zal dat (3) zijn (zie B.2.1).

De vraag is verder hoe om te gaan met de hogere waarde van β . Net als in het voorgaande zouden we de rekenwaarden voor mechanische belasting en constructie-eigenschappen constant kunnen houden en alles kunnen herleiden tot een factor op de vuurbelasting (dus brandduur) of de vermogensdichtheid. Dit levert dan vermoedelijk geen realistische waarden meer op en is als zodanig enigszins in strijd met het concept van de natuurlijke brand.

Bijlage 3 Probabilistische benadering van veiligheid

(R.A.P. van Herpen in 'Bouwregels in de praktijk', 2009-1)

B.3.1. PRESCRIPTIEVE EISEN EN PRESTATIE-EISEN

De invoering van het Bouwbesluit in 1992 was een flinke stap voorwaarts in de landelijke bouwregelgeving. In plaats van de tot dan toe gebruikelijke prescriptieve voorschriften werden prestatie-eisen geformuleerd. De bedoeling hiervan was om meer ontwerpvrijheid te bieden en innovaties in de bouw niet te belemmeren.

Met prescriptieve eisen wordt bedoeld dat het voorzieningenniveau concreet voorgeschreven is. Hiervan kan niet worden afgeweken. Bij prestatie-eisen is dat niet het geval. Niet de voorziening ligt nu vast, maar de prestatie die de voorziening moet leveren. Deze wordt bij voorkeur vastgelegd in een eenduidige grootte met een grenswaarde en een bepalingsmethode (normaal gesproken een NEN-norm). Prestatie-eisen geven dus meer vrijheid dan prescriptieve eisen.

Ter illustratie de volgende twee voorbeelden.

1. Luchtverversing:

In prescriptieve eisen wordt voor de luchtverversing via natuurlijk ventilatieroosters een netto doorlaat voorgeschreven van het rooster. De openheid (in cm^2) van het rooster ligt dus vast, hiervan mag niet worden afgeweken. In prestatie-eisen wordt een capaciteit (in dm^3/s) van het rooster voorgeschreven. De prestatie-eis is daarmee geformuleerd in de grootte die voor de ventilatie van een ruimte van belang is, namelijk een lucht volumestroom. Er wordt niet bepaald hoe deze capaciteit moet worden gerealiseerd. Dat geeft dus meer ontwerpvrijheid.

2. Beperking van branduitbreiding:

In prescriptieve eisen wordt voor de beperking van branduitbreiding een brandwerendheid aan een compartimentsgrens voorgeschreven. De brandwerendheid van de wandconstructie ligt dus vast, hiervan mag niet worden afgeweken. In prestatie-eisen wordt een weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) tussen brandcompartiment en aangrenzende ruimte geëist. Er wordt niet bepaald hoe deze WBDBO moet worden gerealiseerd. Dat geeft meer vrijheid. Immers, de WBDBO wordt niet alleen door de brandwerendheid van de scheidingsconstructie bepaald.

De onderstaande tabel geeft een beknopt overzicht van de belangrijkste voor- en nadelen van prescriptieve eisen en prestatie-eisen.

Tabel: Prescriptieve eisen versus prestatie-eisen

Type regelgeving	Voordelen	Nadelen
Prescriptief	• Rechtlijnige toetsing van de voorziening • Geen engineeringsvaardigheden nodig	• Eisen liggen vast zonder dat het beoogde doel is beschreven • Aanname dat het veiligheidsniveau alleen op de beschreven wijze kan worden bereikt • Hoog detailniveau van eisen • Innovatiebelemmerend
Prestatie gericht	• Eisen beschrijven het beoogde doel • Innovatiebevorderend: nieuwe kennis en technieken kunnen worden ingezet zodra deze beschikbaar zijn • Internationale harmonisatie is mogelijk • Eenvoudige eisen, minder gedetailleerd	• Engineeringsvaardigheden zijn noodzakelijk, ook voor toetsing • Kwantificering van het veiligheidsniveau en validering van de instrumenten hiervoor

B.3.2. DE BEPERKINGEN VAN DE PRESTATIE-EISEN IN HET BOUWBESLUIT

Hoewel het Bouwbesluit uitgaat van prestatie-eisen, blijken ook deze regelmatig ontwerpbelemmerend en innovatiebelemmerend te zijn. Dit komt onder andere doordat voor elke relevante grootheid afzonderlijk een prestatie-eis is gedefinieerd. Daardoor ontstaat een groot aantal eisen. Hoofdstuk 2 van het Bouwbesluit, waarin de bouwtechnische voorschriften uit oogpunt van veiligheid zijn opgenomen, illustreert dit. Deze uitsplitsing in afzonderlijke prestatie-eisen is enerzijds een nadeel, want onderlinge relaties tussen de prestatie-eisen blijven buiten beschouwing. Een genuanceerde toetsing van veiligheid ('maatwerk') is daardoor niet mogelijk. Anderzijds zijn er ook belangrijke voordelen. De toetsing is relatief eenvoudig; voor elke grootheid hoeft alleen gecontroleerd te worden of aan de gestelde grenswaarde wordt voldaan. Dit is een deterministische toetsing (goed/fout, ja/nee), eenduidig, reproduceerbaar en betrouwbaar.

Vervolgens zijn de prestatie-eisen voor brandveiligheid in het Bouwbesluit alleen gericht op effectbeheersing. Met andere woorden, er wordt uitgegaan van een brandsituatie in een brandcompartiment. Uitgaande van die brandsituatie zijn de prestatie-eisen erop gericht om een beheersbare situatie te realiseren waarin veilig gevlucht kan worden en ook de inzet van hulpdiensten mogelijk is. De kans op het ontstaan van brand wordt hierin niet beschouwd.

Het gevolg hiervan is dat er geen eenduidig veiligheidsrisico vastligt. Het voorbeeld in figuur 1 geeft dit goed weer.



Figuur 1: Twee opslaghallen van ongeveer gelijke grootte en met eenzelfde vuurlast. In het ene geval vindt de opslag plaats bij omgevingstemperatuur (links: +20 °C), in het andere geval gaat het om een vriesveem (rechts: -20 °C).

Figuur 1 laat twee industrie functies zien voor het opslaan van goederen, die vanuit de regelgeving beschouwd identiek zijn en dus aan dezelfde prestatie-eisen moeten voldoen. Echter, de kans op het ontstaan van een brand en de ontwikkeling daarvan tot een compartimentsbrand is in de twee industrie functies geheel verschillend. Deze kans is in het vriesveem aanzienlijk kleiner dan in de opslag bij omgevingstemperatuur. Kortom, vanuit probabilistisch oogpunt is er een groot verschil tussen het vriesveem en de opslag bij kamertemperatuur.

Dit voorbeeld geeft aan dat de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) leidt tot verschillende veiligheidsniveaus bij verschillende gebouwen, zelfs wanneer deze dezelfde gebruiksfunctie en bezettingsgraadklasse bezitten. Er kan niet gesproken worden van één veiligheidsniveau dat in de eisen van de regelgeving vastligt. Daarvoor is een probabilistische beschouwing noodzakelijk, waarin het veiligheidsniveau in een risicogrenswaarde kan worden vastgelegd.

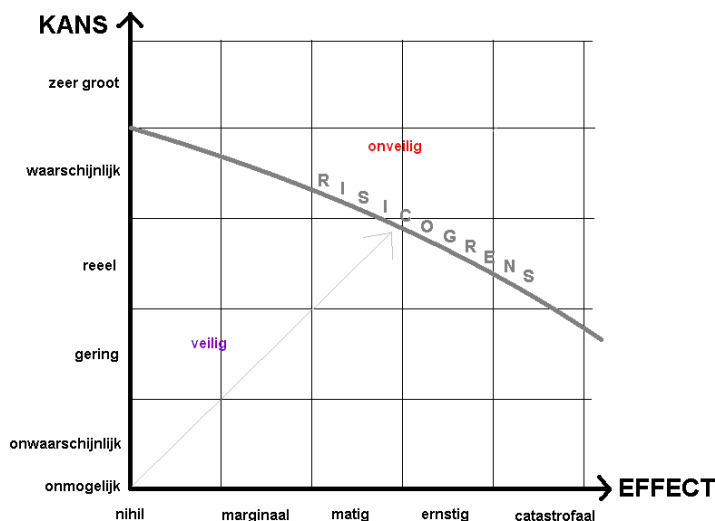
B.3.3. PROBABILISTISCHE BENADERING VAN VEILIGHEID

Risico kan worden gedefinieerd als het product van de kans op het optreden van een incident en het effect dat hiervan het gevolg is. Dit product mag een gegeven grenswaarde (toelaatbaar risico) niet overschrijden:

$$\text{Kans} \times \text{effect} \leq \text{toelaatbaar risico}$$

Wanneer de kans op het optreden van het incident relatief groot is moet het effect daarvan juist klein zijn om het toelaatbare risico niet te overschrijden. Omgekeerd kan bij een kleine kans juist een groot effect worden toegestaan. Veiligheidseffecten worden doorgaans uitgedrukt in lethale slachtoffers, schade-effecten in kosten.

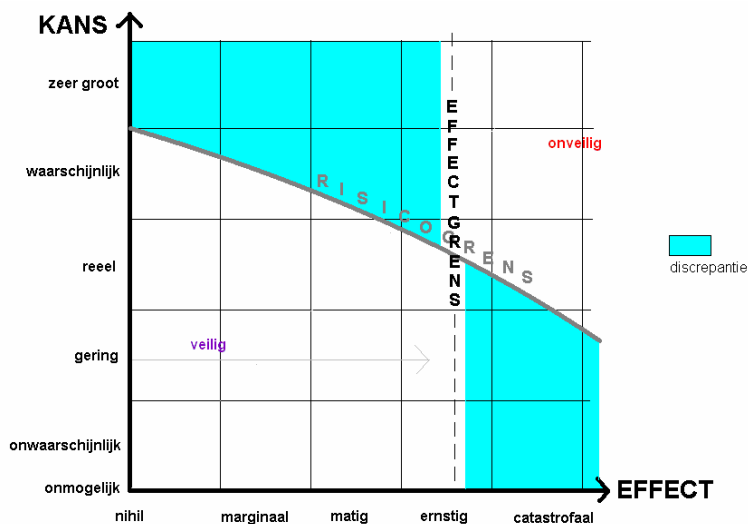
De bovenstaande relatie is in de matrix van figuur 2 grafisch weergegeven. In een dergelijke matrix kan ook het toelaatbare risico (risicogrens) worden weergegeven. Dit hoeft niet persé een lineaire relatie te zijn.



Figuur 2: Risicomatrix, kans en effect op verschillende assen uitgezet. De risicogrens hoeft niet persé als een lineaire relatie tussen kans en effect te worden gedefinieerd.

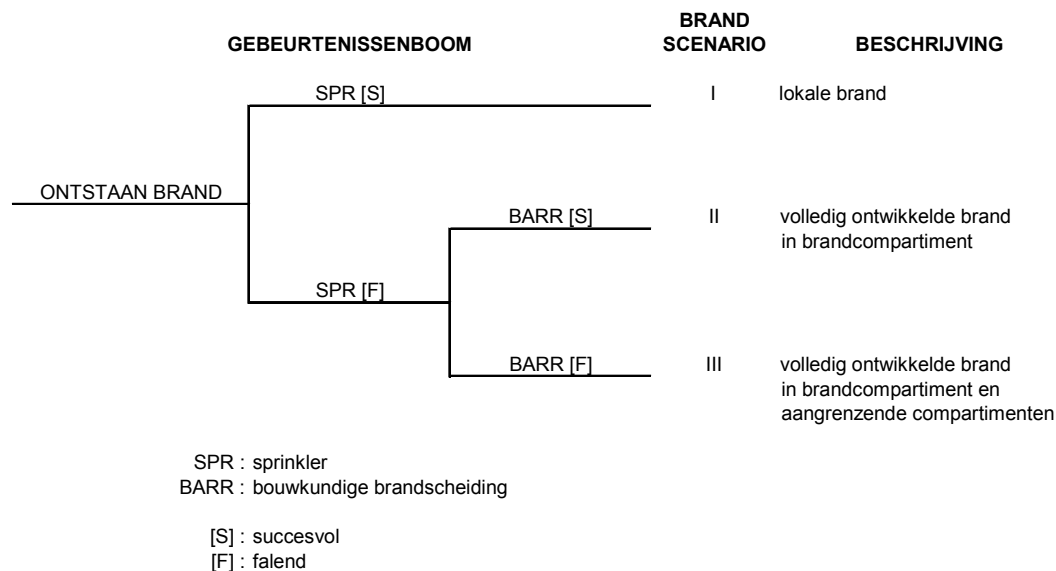
Het veiligheidsniveau van de publiekrechtelijke regelgeving (Bouwbesluit) is niet in een risicogrens te vertalen. De regelgeving beperkt zich tot effectbeheersing in een deterministische benadering. Het Bouwbesluit illustreert dit duidelijk. Hierin worden eisen voorgeschreven uit oogpunt van brandbeheersing, rookbeheersing, constructieve veiligheid en vluchtveiligheid, ervan uitgaande dat er een brand kan ontstaan. De kans op het ontstaan van brand en het ontwikkelen hiervan tot een compartimentsbrand speelt geen rol.

In de matrix van figuur 2 betekent dit dat de veiligheidsgrenswaarde volgens het Bouwbesluit als een effectgrenswaarde kan worden weergegeven, zie figuur 3. Overigens moet daarbij nog worden opgemerkt dat deze effectgrenswaarde vrij diffuus is. Het toelaatbare effect is niet in alle situaties gelijk.



Figuur 3: De risicomatrix van figuur 2, nu met een effectgrenswaarde daarin weergegeven (veiligheidsniveau Bouwbesluit). Hierdoor kunnen grote verschillen ontstaan met een veiligheidsniveau dat is gedefinieerd in een risicogrenswaarde.

Het kenmerk van een probabilistische benadering is een risico-analyse van min of meer waarschijnlijke scenario's. Deze scenario's bestaan uit een aaneenschakeling van gebeurtenissen. Figuur 4 geeft een eenvoudig voorbeeld van een gebeurtenissenboom. Dit betreft het optreden van brand in een gesprinklerd compartiment en de eventuele ontwikkeling hiervan tot een compartimentsbrand of erger. Elke gebeurtenis heeft een eigen kans, zodat ook aan de drie scenario's die hierbij kunnen optreden kansen toegekend kunnen worden. Wanneer ook het effect van elk scenario bekend is ligt het risico per scenario vast. Het maatgevende scenario is het scenario met het grootste risico. Deze zal getoetst moeten worden aan de risicogrenswaarde.



Figuur 4: Eenvoudige gebeurtenissenboom van mogelijke incidenten bij een brandbeheersingssysteem bestaande uit sprinklers (SPR) en bouwkundige brandscheidingen (BARR) (International Fire Engineering Guidelines, 2005)

In tegenstelling tot een deterministische benadering, die zich beperkt tot effectbeheersing, maakt een probabilistische benadering een eenduidige toetsing van het veiligheidsniveau mogelijk. Het probleem daarbij is nu wel dat het per definitie onmogelijk is om met een probabilistische benadering een aan het Bouwbesluit gelijkwaardig veiligheidsniveau te definiëren.

Daarvoor is een nieuwe definitie van veiligheid noodzakelijk, waarin de grenswaarde van het risico vastligt, uitgedrukt in lethale slachtoffers (veiligheidsgrenswaarde) of kosten (schadegrenswaarde). Door de werkgroep Fire Safety Engineering van NEN is hiervoor een voorzet gegeven voor constructieve brandveiligheid (brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de hoofddraagconstructie).

B.3.4. CONSTRUCTIEVE BRANDVEILIGHEID DOOR EEN FYSISCH BRANDMODEL MET TOEPASSING VAN RISICOFACTOREN

Het uitvoeren van een risico-analyse is tijdrovend, zeker wanneer het meer complexe scenario's betreft. Voor elk scenario kan met een fysisch brandmodel de brandontwikkeling en het effect worden bepaald, meestal in combinatie met andere modellen (Fire Safety Engineering). Wanneer het effect van een scenario kan variëren en dus niet constant (discreet) is, zal de effectverdeling uit statistisch onderzoek moeten worden bepaald of moet de effectverdeling worden gegenereerd uit een groot aantal simulaties van het beschouwde scenario.

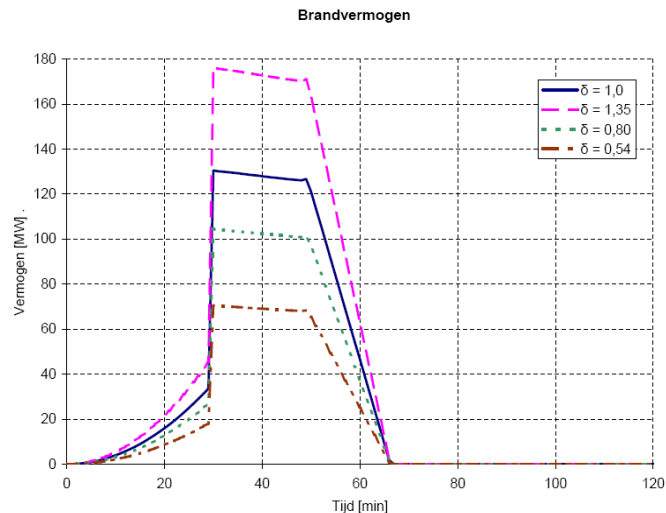
Om een dergelijk uitgebreide aanpak te vermijden kan met risicofactoren worden gerekend, die generiek bepaald zijn door middel van statistisch onderzoek. De methodiek hiervan is voor constructieve veiligheid vastgelegd in NEN-EN 1990. Daarin wordt een risicofactor toegepast op de (mechanische) belasting, rekening houdend met het draagvermogen van de constructie die aan de belasting onderhevig is. De mechanische belasting bestaat daarbij uit diverse componenten (permanente belasting, variabele belasting, windbelasting, sneeuwbelasting, etc.) die afhankelijk van de situatie worden meegewogen. Het toelaatbare risico wordt daarbij uitgedrukt als de toelaatbare kans op het bezwijken van de hoofddraagconstructie.

In een brandsituatie is naast een mechanische belasting ook een thermische belasting aanwezig op de draagconstructie. In NEN-EN 1991-1-2 (Eurocode 1) wordt voor de thermische belasting in bijlage E van deze norm aangesloten op de methodiek van NEN-EN 1990. Dit leidt tot een benadering met risicofactoren, waarin de kans op het bezwijken van een constructie (het maatgevende effect) afhankelijk wordt gesteld van de kans op het ontstaan van een brand die uitgroeit tot een compartimentsbrand. Deze risicofactoren hangen af van:

- de gebruiksfunctie van de brandruimte,
- de grootte van de brandruimte en
- het niveau van de brandbeveiligingsvoorzieningen

In Eurocode 1 wordt de vuurbelasting gezien als thermische belasting en wordt de risicofactor dan ook op de vuurbelasting toegepast. Echter, dit is principieel onjuist. De vuurbelasting is de aanwezige potentiële brandenergie in een brandruimte. Deze vormt niet de thermische belasting op de constructie. Immers, ook in de situatie zonder brand is deze potentiële brandenergie aanwezig. Het kenmerk van brand is juist dat deze potentiële energie wordt omgezet in warmte. De snelheid waarmee dit gebeurt bepaalt de temperatuur in de brandruimte. Niet de vuurbelasting, maar de brandvermogensdichtheid moet dus als thermische belasting op de constructie worden aangemerkt.

Dit is gerepareerd in de nationale bijlage bij Eurocode 1 (NEN-EN 1991-1-2/NB). De risicofactoren kunnen variëren van $\delta = 0,54$ tot $\delta > 2$ en worden toegepast op de brandvermogensdichtheid. In figuur 5 is een voorbeeld gegeven.

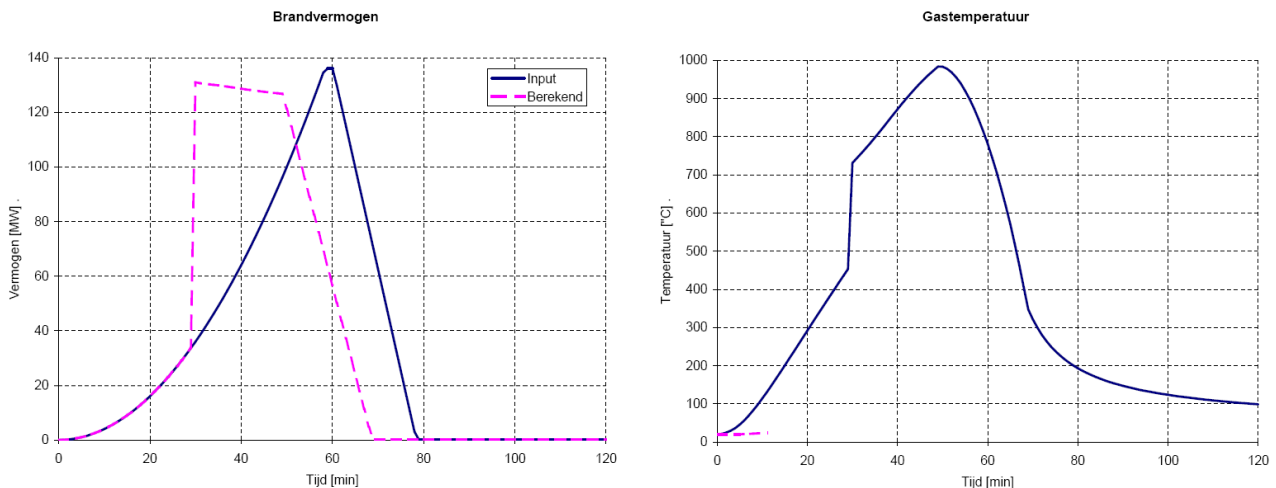


Figuur 5: Het brandvermogensscenario in een brandcompartiment met een kantoorfunctie bij verschillende brandbeveiligingsvoorzieningen (verschillende risicofactoren $\delta=1,35$, $0,80$ en $0,54$) t.o.v. het referentiescenario ($\delta=1,0$).

Het referentiescenario in figuur 5 is het brandvermogensscenario dat uit een fysisch brandmodel op basis van een natuurlijk brandconcept volgt (figuur 6). Dit fysisch scenario en het daaruit voortvloeiende temperatuurverloop wordt bepaald door:

- De aard en hoeveelheid brandstof (vuurlast, referentie vermogensdichtheid en tijdconstante)
- De afmetingen en geometrie van de brandruimte
- De materialisering van de brandruimte
- De openingen in de scheidingsconstructie van de brandruimte

In dit brandscenario worden ontwikkelfase (pre flash-over), compartimentsbrand (post flash-over) en dooffase beschouwd. Het temperatuurverloop wijkt dan ook aanzienlijk af van de standaard brandkromme.



Figuur 6: Voorbeeld van een brandvermogensscenario in een brandcompartiment van een kantoorfunctie met het bijbehorende temperatuurverloop..

Voor hogere brandwerendheidseisen met betrekking tot bezwijken van de hoofd-draagconstructie (90 en 120 min.) wordt in de nationale bijlage een correctiefactor op de vuurbelasting toegepast. Momenteel is de werkgroep Fire Safety Engineering bezig om aan deze correctiefactor een probabilistische onderbouwing te geven. Daarvoor wordt de toelaatbare kans op het bezwijken van de hoofd-draagconstructie herbeschouwd. Deze kan enerzijds gekoppeld worden aan een groepsrisico (zoals de Con-

sequences Classes in NEN-EN 1990, zie onderstaande tabel). Anderzijds is een koppeling aan een plaatsgebonden risico voor de hand liggend. Dat laatste sluit meer aan op het Bouwbesluit.

Tabel: Consequences Classes conform NEN-EN 1990

Consequences Class	Description
CC3	High consequence for loss of human life, <i>or</i> economic, social or environmental consequences very great
CC2	Medium consequence for loss of human life, economic, social or environmental consequences considerable
CC1	Low consequence for loss of human life, <i>and</i> economic, social or environmental consequences small or negligible

Het is mogelijk dat op basis van dit onderzoek de correctiefactor op de vuurbelasting voor andere veiligheidsniveaus (brandwerendheid met betrekking tot bezwijken, hoger dan 60 minuten) in de nationale bijlage wordt herzien. Dit doet verder niet af aan het feit dat met de nationale bijlage bij eurocode 1 een probabilistisch toetsinstrument is verkregen dat min of meer aansluit bij het nationale (publiekrechtelijke) veiligheidsniveau.

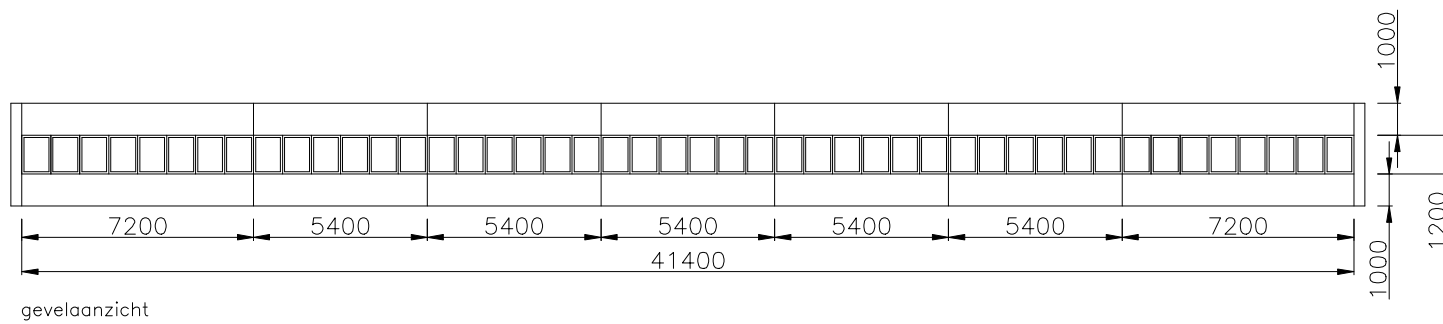
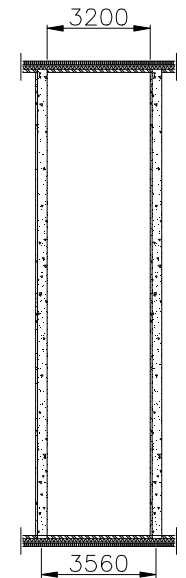
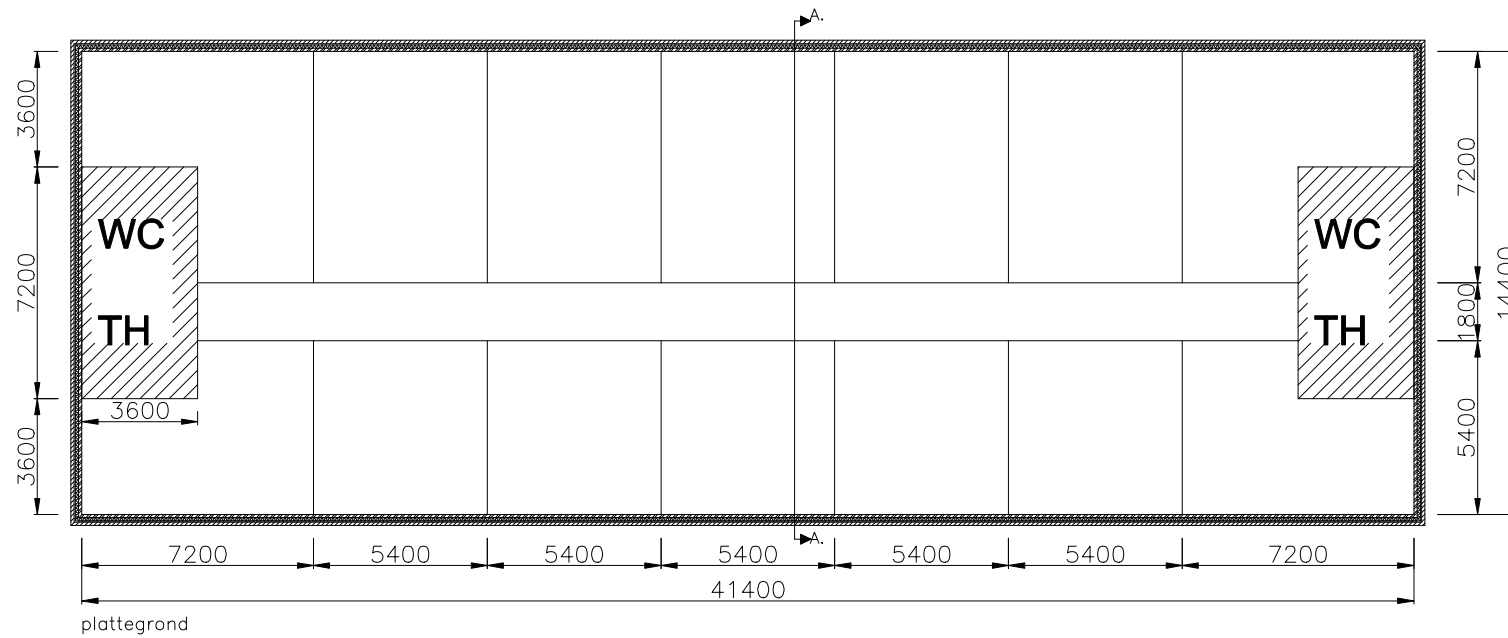
B.3.5. TENSLOTTE

De gepresenteerde risicobenadering volgens de nationale bijlage bij eurocode 1 is alleen geschikt voor constructieve veiligheid. Voor mensveiligheid (vluchtveiligheid, repressieve inzet, e.d.) is een dergelijke risicobenadering (nog) niet mogelijk. Dat houdt in dat voor de beschouwing van de mensveiligheid het fysisch brandmodel zonder risicobenadering moet worden toegepast (feitelijk dus $\delta = 1$). In dat geval zal gelijkwaardige veiligheid op een andere manier moeten worden aangetoond. De gebruikelijke weg hiervoor is om realistische worst-case scenario's fysisch te beschouwen en het effect daarvan te vergelijken met het effect dat volgens het Bouwbesluit toelaatbaar is.

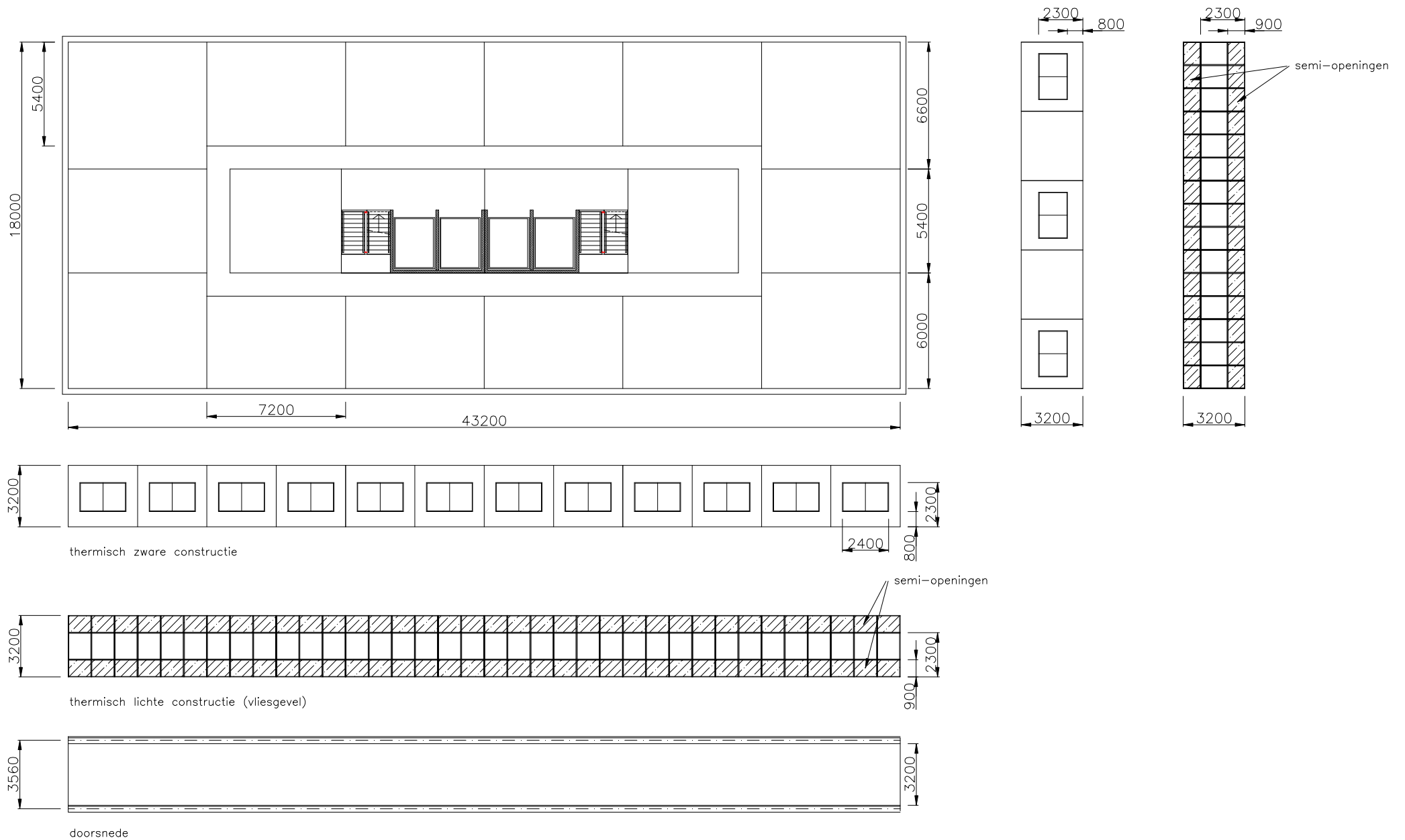
Hoewel we sinds de invoering van het Bouwbesluit in 1992 op deze wijze met gelijkwaardige oplossingen omgaan is dit geen echte veiligheidsbeschouwing. Het is wenselijk om in de publiekrechtelijke regelgeving naast prestatie-eisen die gericht zijn op effectbeheersing een probabilistische prestatie-eis te formuleren, in termen van zowel groepsrisico (gebruikers, hulpverleners, omgeving) als plaatsgebonden risico.

Bijlage 4 Casussen

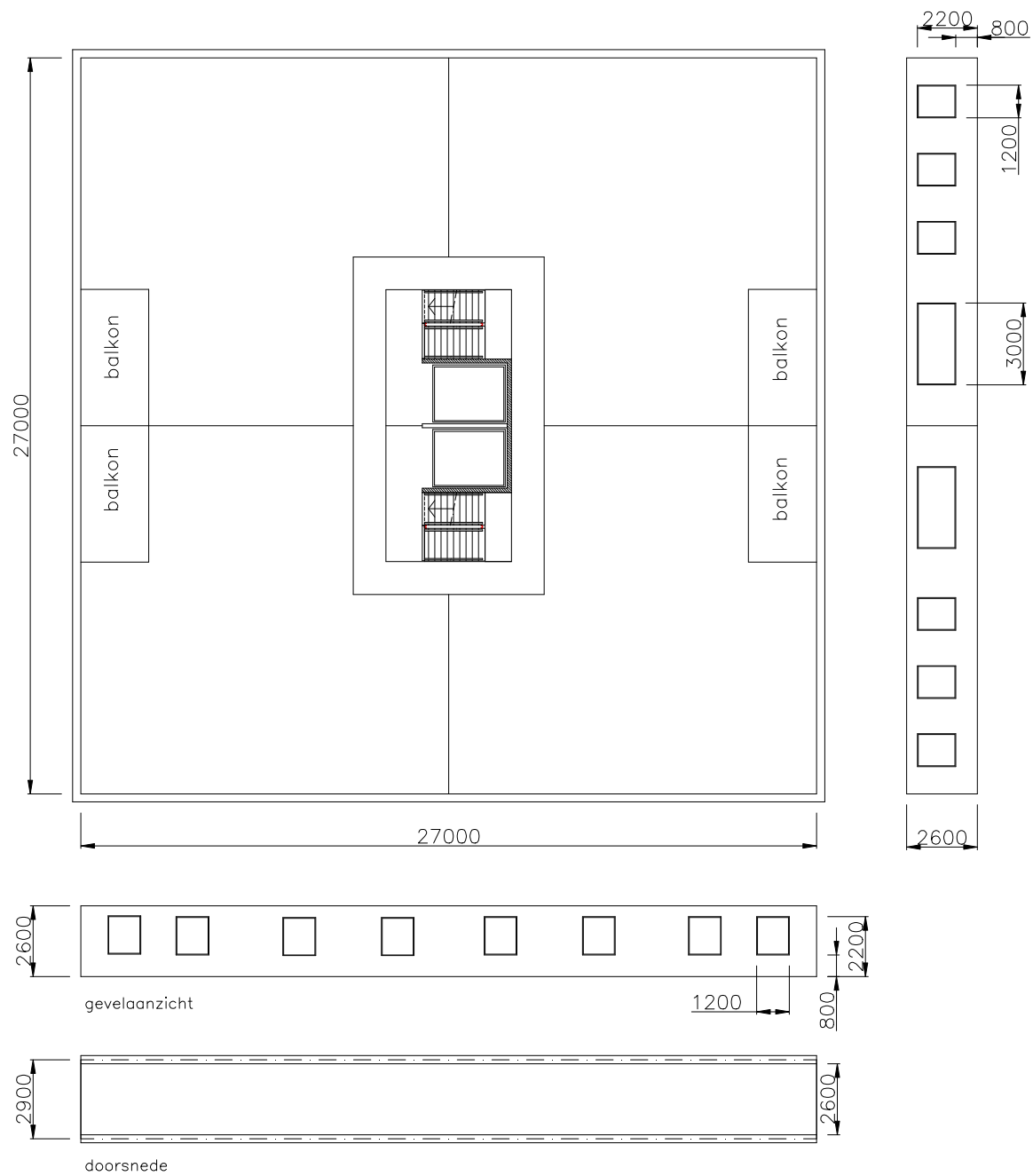
A. kantoorfunctie



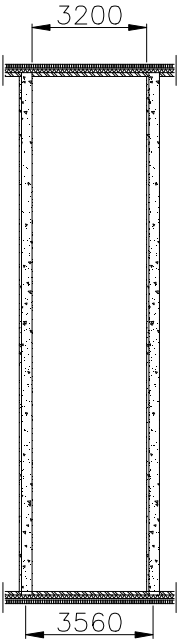
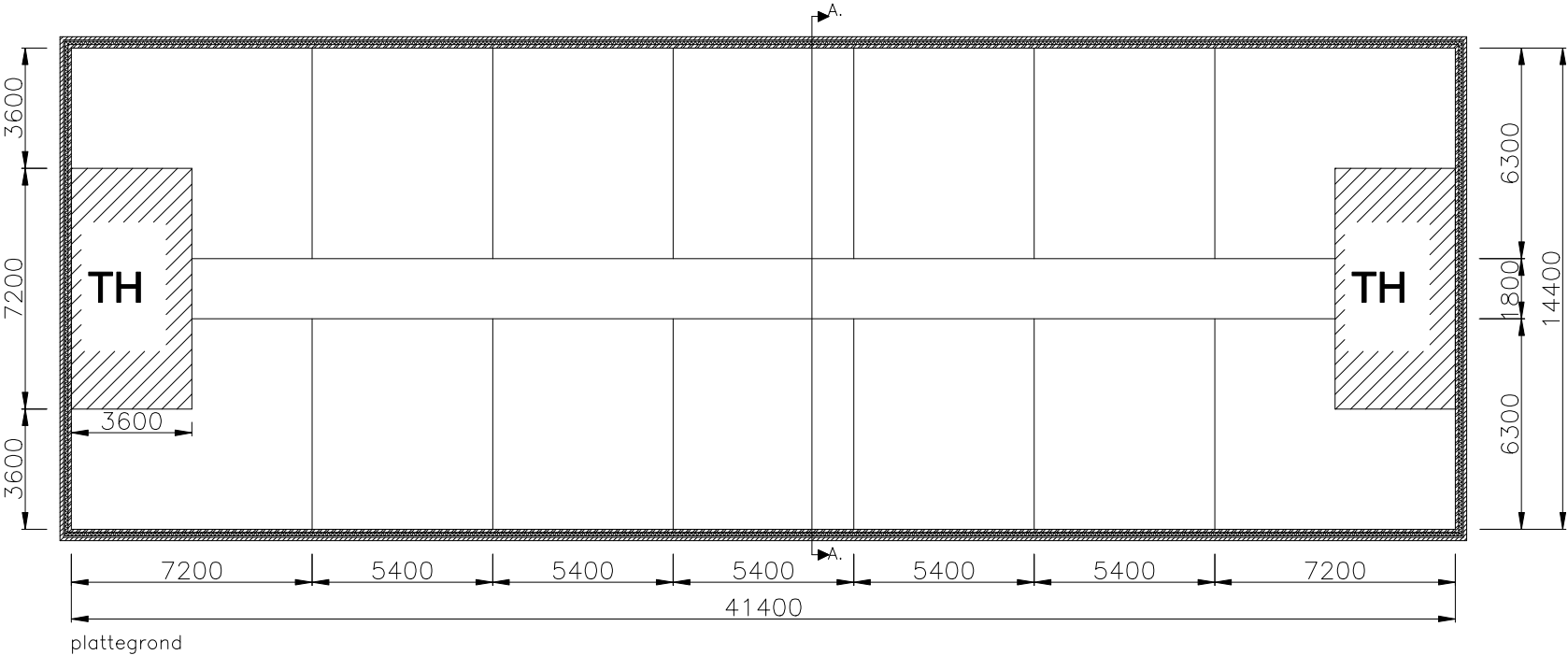
B./C. kantoorfunctie



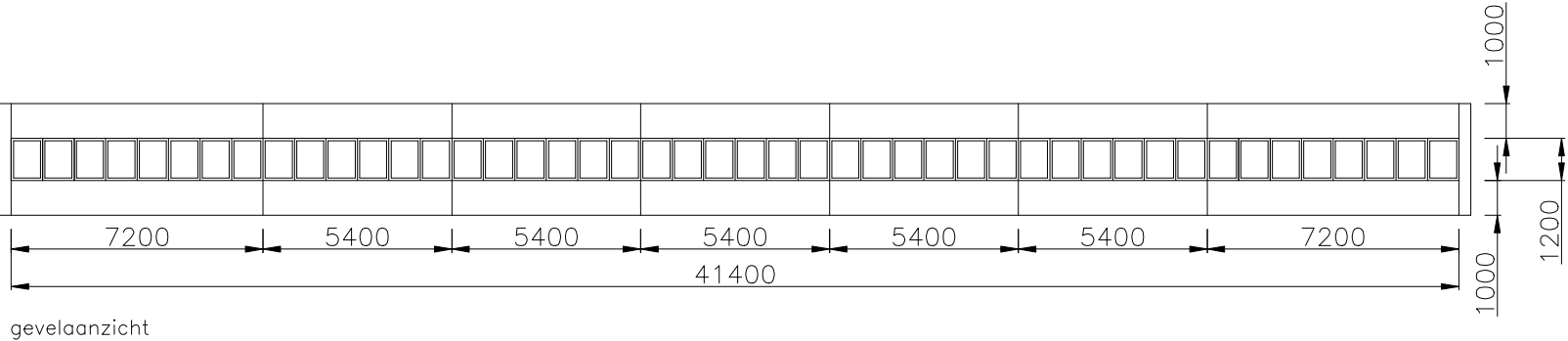
D. woonfunctie



E. logiesfunctie

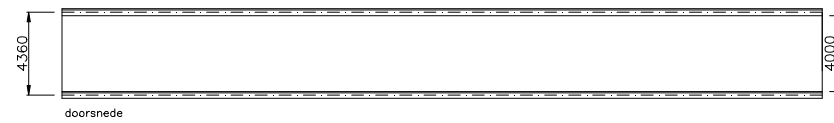
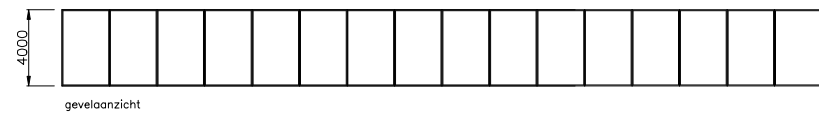
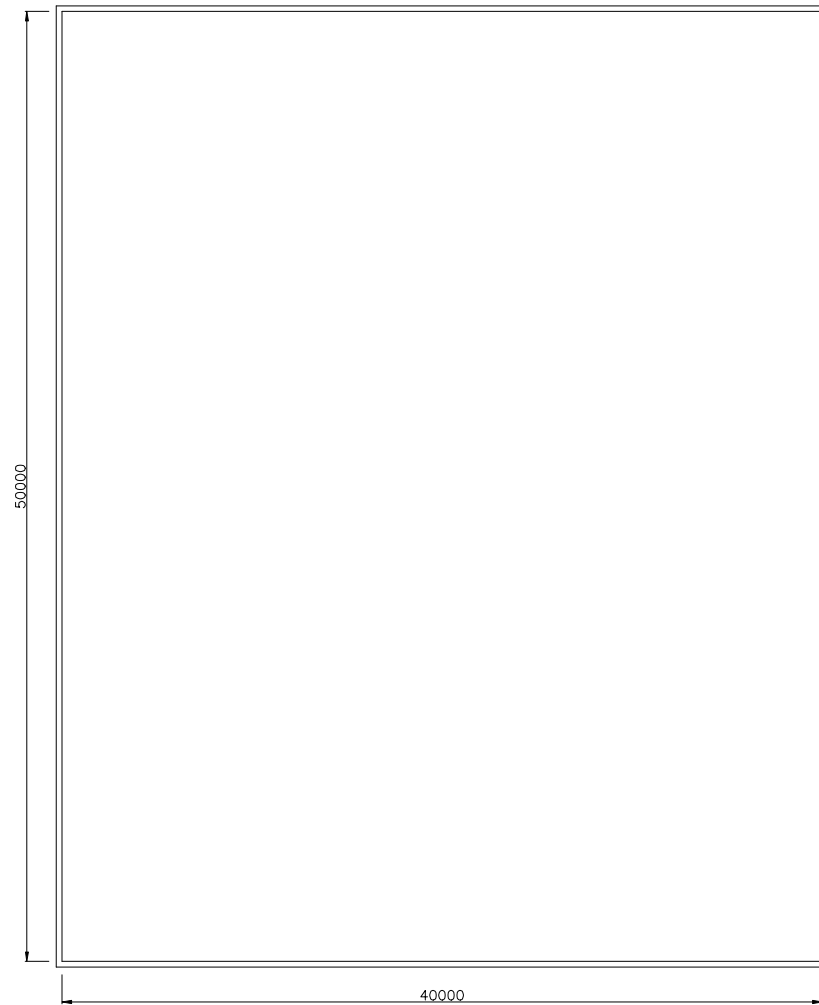


doorsnede A-A

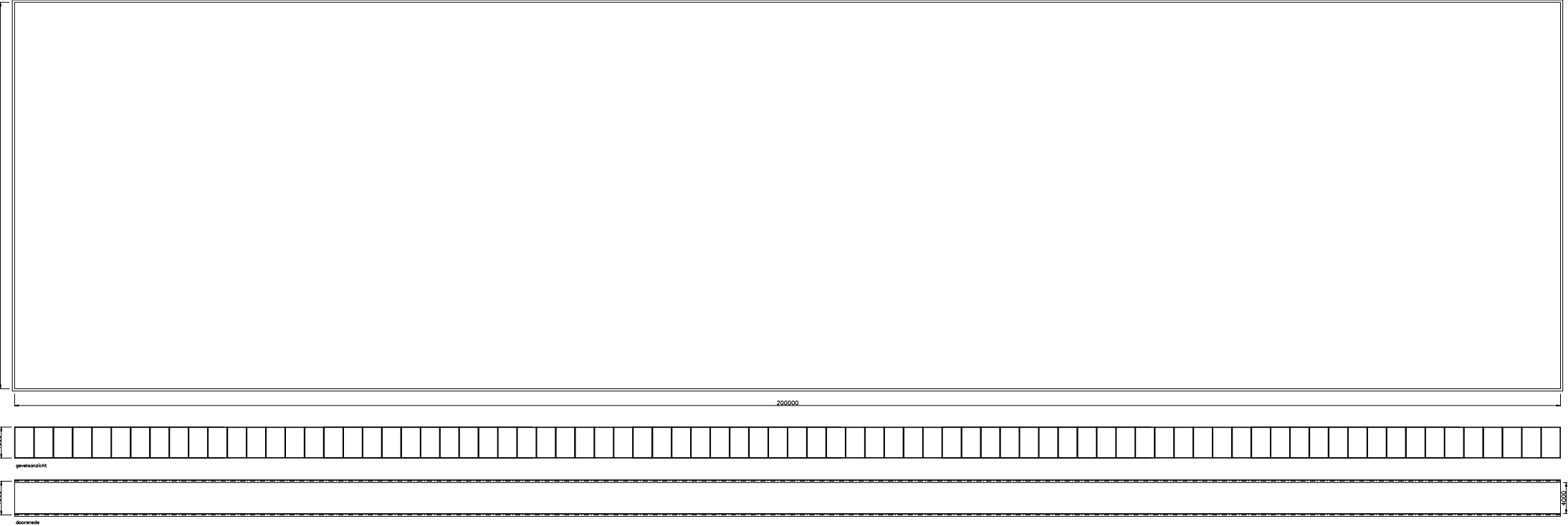


gevelaanzicht

F. winkelfunctie



G. winkelfunctie



Bijlage 5 Rekenresultaten fysische berekeningen

Casus A: kantoorfunctie

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2 Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	$\geq$ Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	10800 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Thomas
----------------------	--------

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment
Number of Walls:	4
Floor Area:	544 m ²
Height:	3.2 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Wall 1

Wall length:	41.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
1	2.2	41.4	Constant	no

Wall 2

Wall length:	14.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Wall 3

Wall length:	41.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height	Soffit Height	Width	Variation	Adiabatic
[m]	[m]	[m]		
1	2.2	41.4	Constant	no

Wall 4

Wall length:	14.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	544 m²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	1 m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf	Fire Load qf,k	Danger of Fire Activation
		[kw/m²]	[MJ/m²]	
User Defined	300	250	820	1

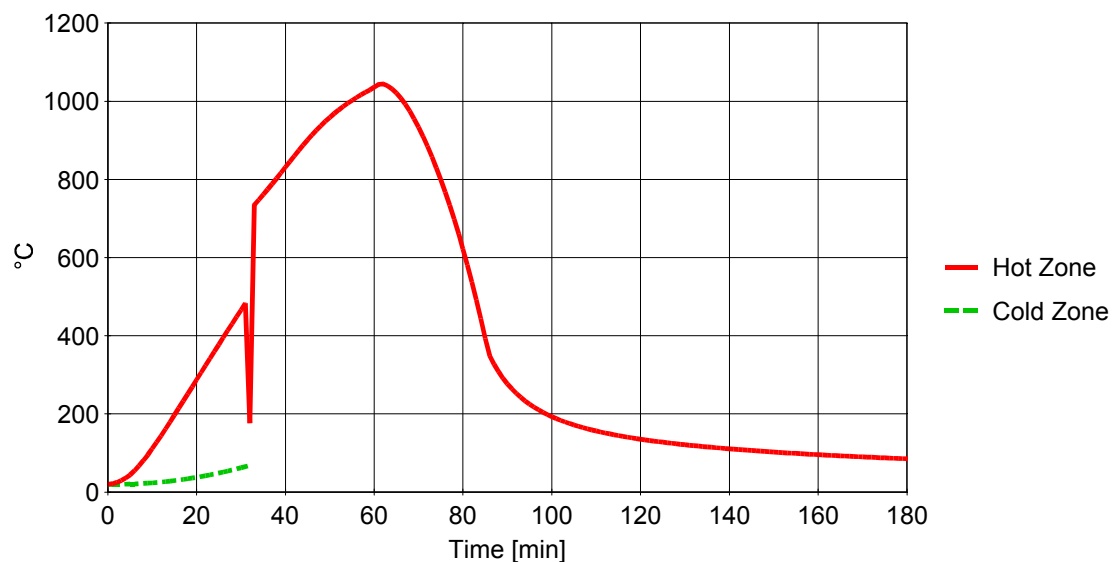
Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	External flaming	

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (544.00m²) is greater than 25% of the floor area (544.00m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone >500.0°C at time [s] 1920.00

Gas Temperature



Peak: 1044 °C At: 62 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

Rate of Heat Release

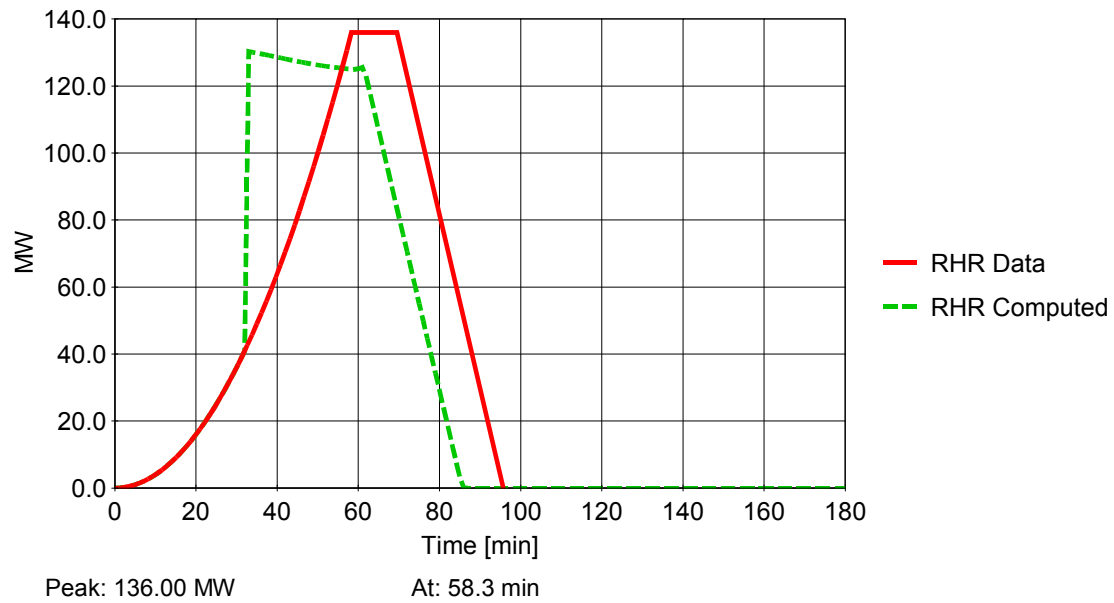


Figure 2. RHR Data and Computed

Zones Interface Elevation

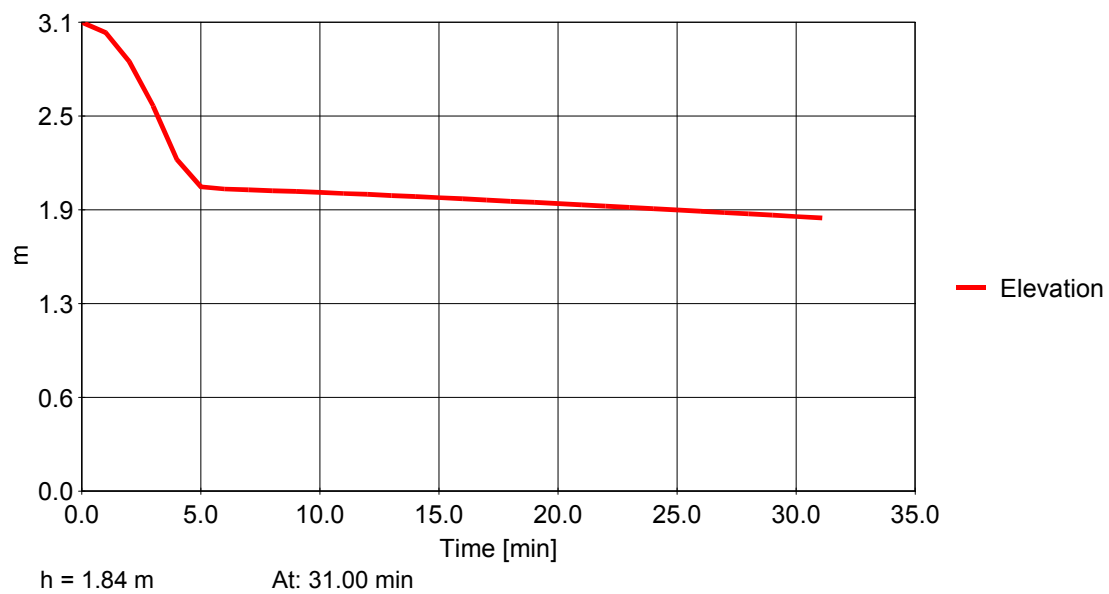


Figure 3. Zones Interface Elevation

Casus B: kantoorfunctie

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2 Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	$\geq$ Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	10800 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Thomas
----------------------	--------

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment
Number of Walls:	4
Floor Area:	697 m ²
Height:	3.2 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Gypsum board [EN12524]	2	900	0.25	1000

Wall 1

Wall length:	43.2 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.3	7.2	Constant	no

Wall 2

Wall length:	18 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.3	28.8	Constant	no

Wall 3

Wall length:	43.2 m				
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]	
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000	

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.3	7.2	Constant	no

Wall 4

Wall length:	18 m				
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]	
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000	

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.3	28.8	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	697 m²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	1 m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	820	1

Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	External flaming	

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (697.00m²) is greater than 25% of the floor area (697.00m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone >500.0°C at time [s] 1650.00

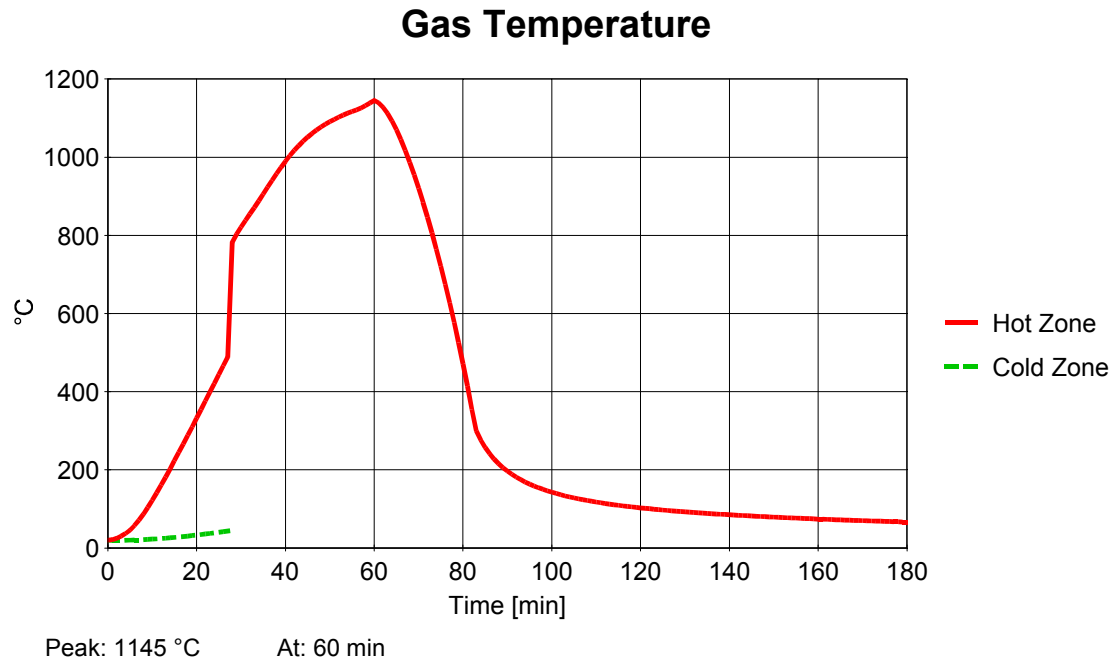


Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

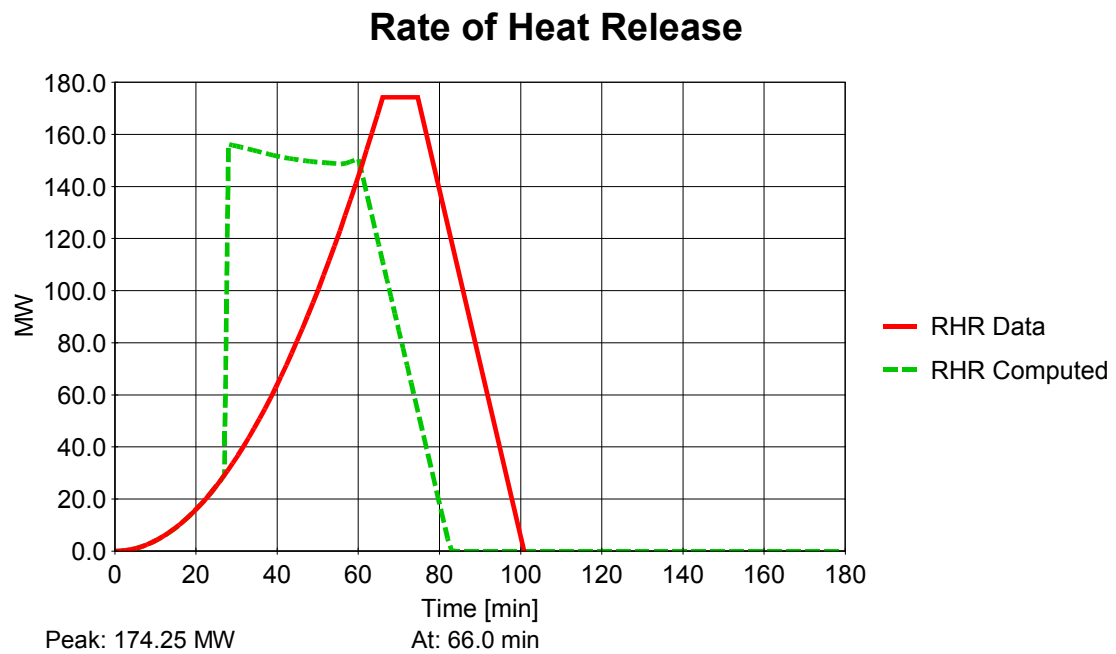


Figure 2. RHR Data and Computed

Zones Interface Elevation

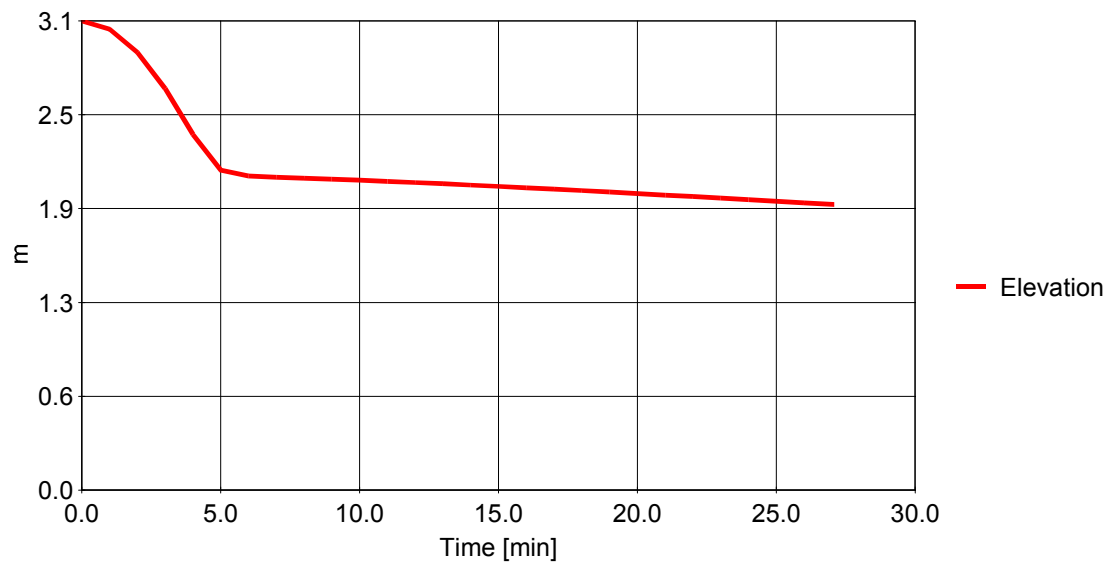


Figure 3. Zones Interface Elevation

Casus C: kantoorfunctie

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2 Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	$\geq$ Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	10800 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Thomas
----------------------	--------

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment
Number of Walls:	4
Floor Area:	697 m ²
Height:	3.2 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Gypsum board [EN12524]	2	900	0.25	1000

Wall 1

Wall length:	43.2 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Glass	1	2500	0.8	840

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.9	2.3	18	Constant	no

Wall 2

Wall length:	18 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Glass	1	2500	0.8	840

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.9	2.3	43.2	Constant	no

Wall 3

Wall length:	43.2 m				
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]	
Glass	1	2500	0.8	840	

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.9	2.3	18	Constant	no

Wall 4

Wall length:	18 m				
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]	
Glass	1	2500	0.8	840	

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.9	2.3	43.2	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	697 m²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	1 m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	820	1

Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	External flaming	

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (697.00m²) is greater than 25% of the floor area (697.00m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone >500.0°C at time [s] 1650.00

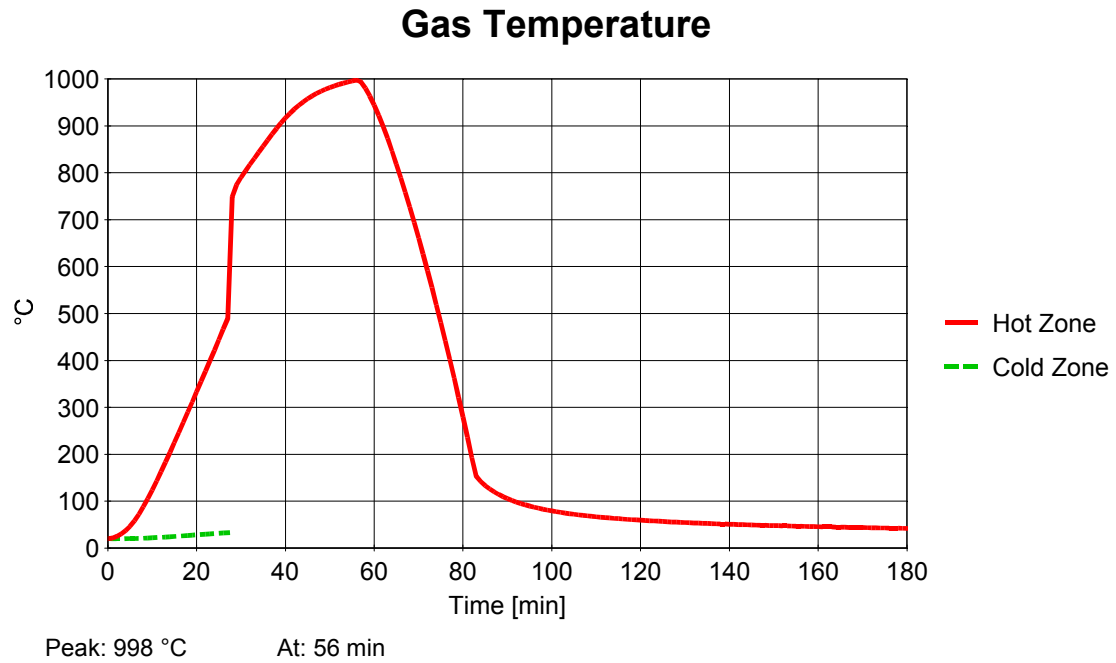


Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

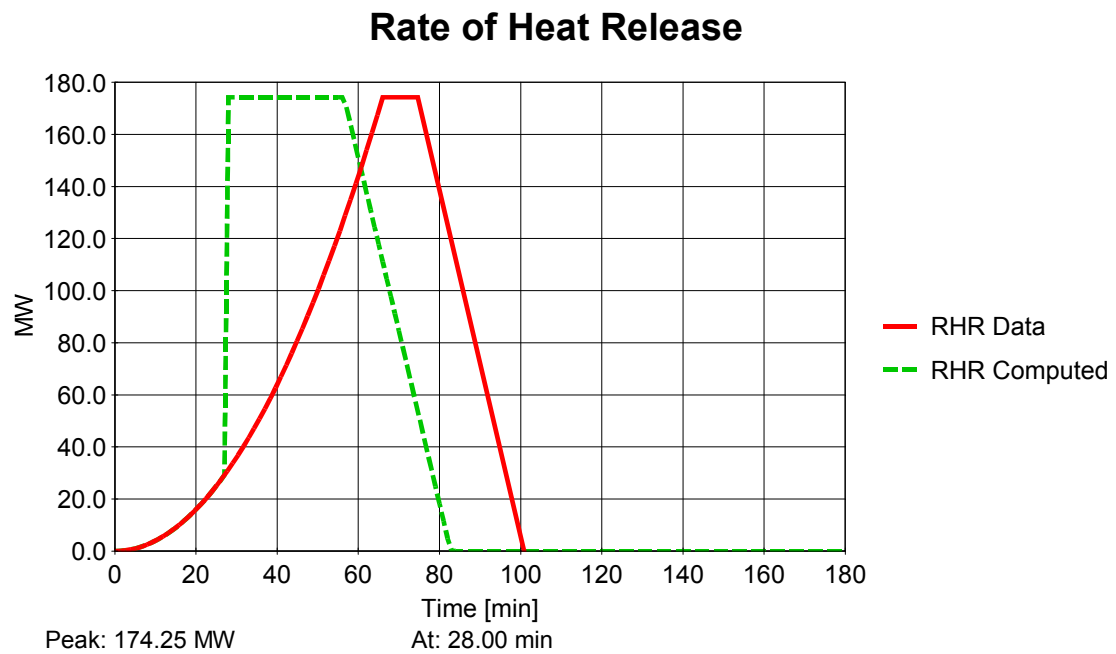


Figure 2. RHR Data and Computed

Zones Interface Elevation

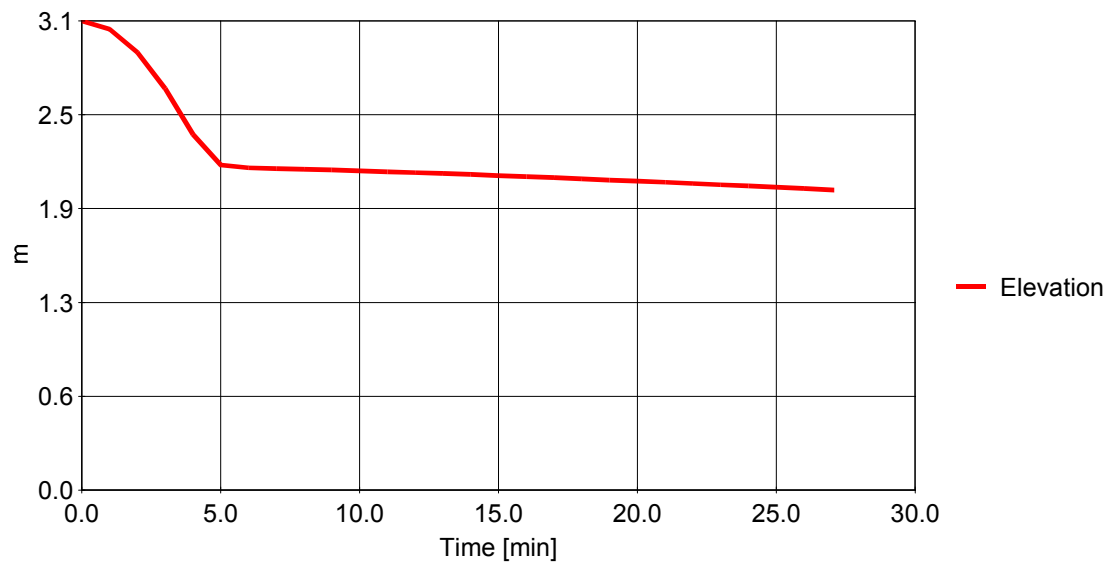


Figure 3. Zones Interface Elevation

Casus D1: woonfunctie (brand in BC)

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2 Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	$\geq$ Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	10800 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Thomas
----------------------	--------

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment
Number of Walls:	3
Floor Area:	633 m ²
Height:	2.6 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Wall 1

Wall length:	59 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.2	9.6	Constant	no
0.8	2.2	13.2	Constant	no

Wall 2

Wall length:	59 m			
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]

Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000
-------------------------------------	----	------	-----	------

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.2	9.6	Constant	no
0.8	2.2	13.2	Constant	no

Wall 3

Wall length:	29 m			
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	633 m²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	1 m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	1120	1

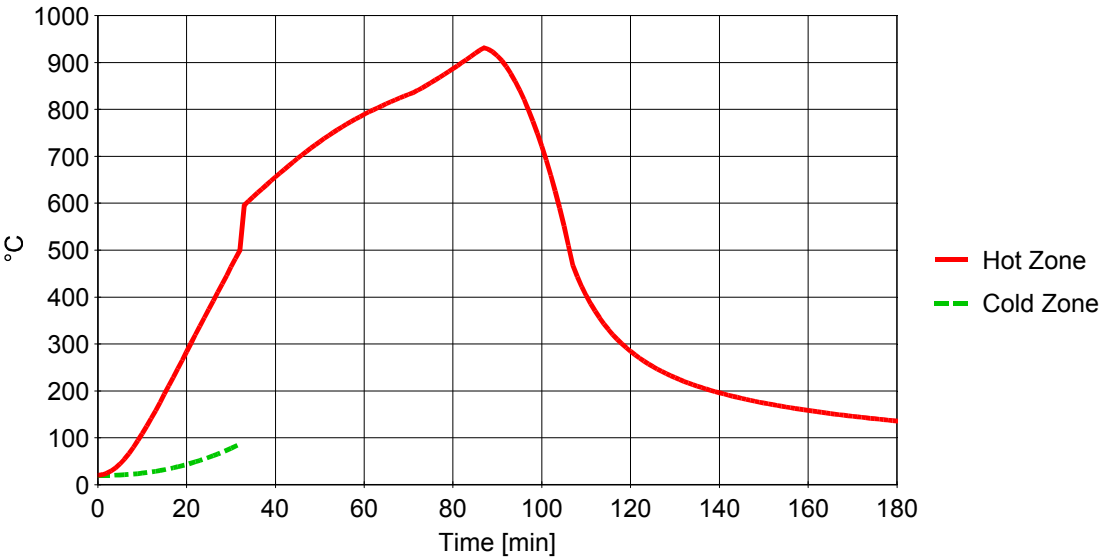
Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	External flaming	

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (633.00m²) is greater than 25% of the floor area (633.00m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone >500.0°C at time [s] 1922.00

Gas Temperature



Peak: 931 °C At: 87 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

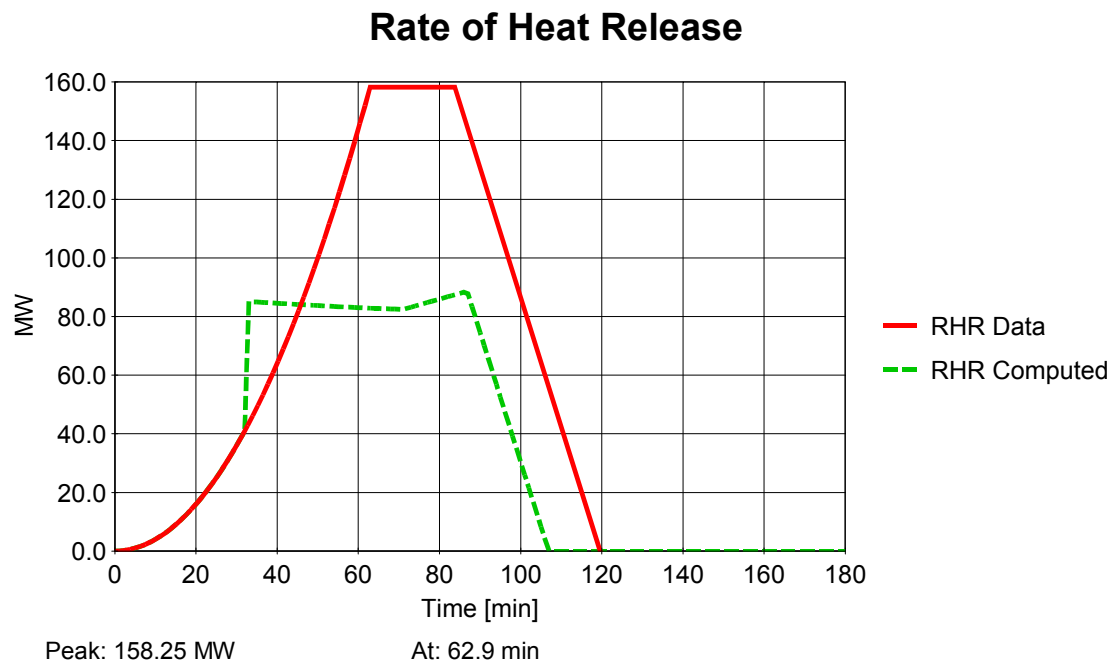


Figure 2. RHR Data and Computed

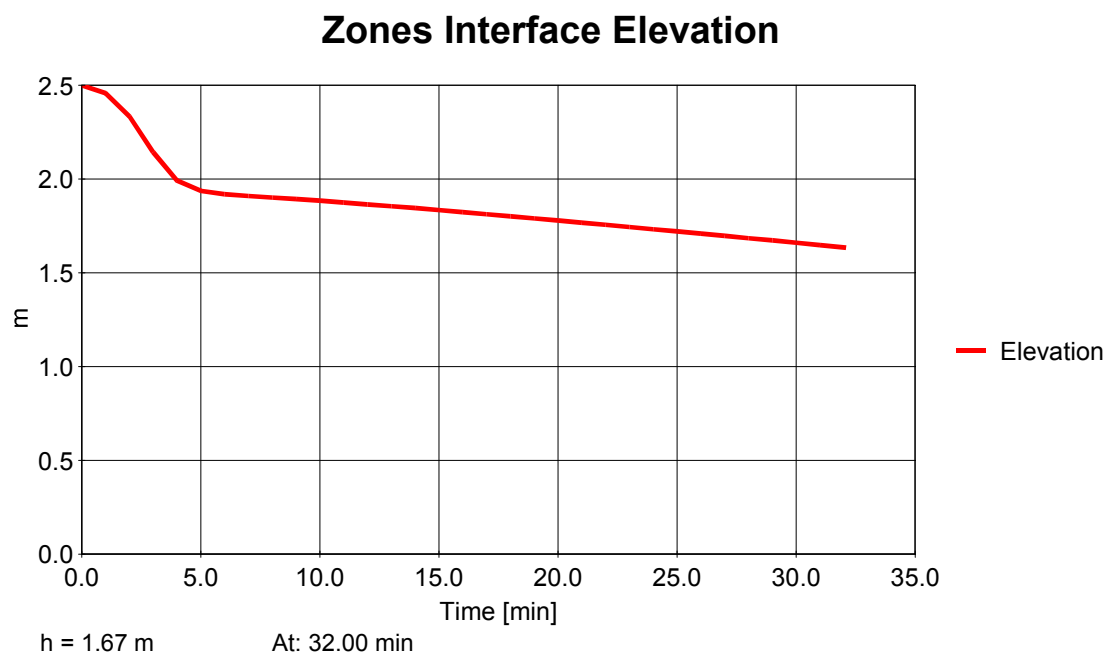


Figure 3. Zones Interface Elevation

Casus D2: woonfunctie (brand in subBC)

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2 Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	$\geq$ Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	10800 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Thomas
----------------------	--------

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment
Number of Walls:	3
Floor Area:	148 m ²
Height:	2.6 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Wall 1

Wall length:	16 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.2	3	Constant	no
0.8	2.2	3.6	Constant	no

Wall 2

Wall length:	13.5 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]

Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000
-------------------------------------	----	------	-----	------

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0.8	2.2	4.8	Constant	no

Wall 3

Wall length:	24.5 m			
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	148 m²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	1 m

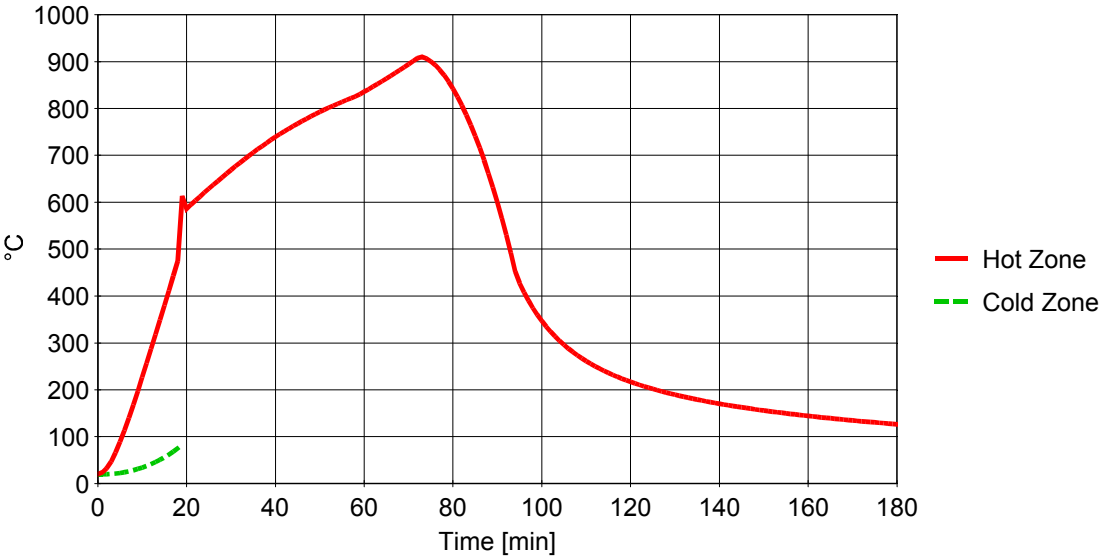
Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	1120	1

Combustion Heat of Fuel:	17.5 MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8
Combustion Model:	External flaming

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (148.00m²) is greater than 25% of the floor area (148.00m²). The fire load is uniformly distributed.
Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone >500.0°C at time [s] 1130.00

Gas Temperature



Peak: 910 °C At: 73 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

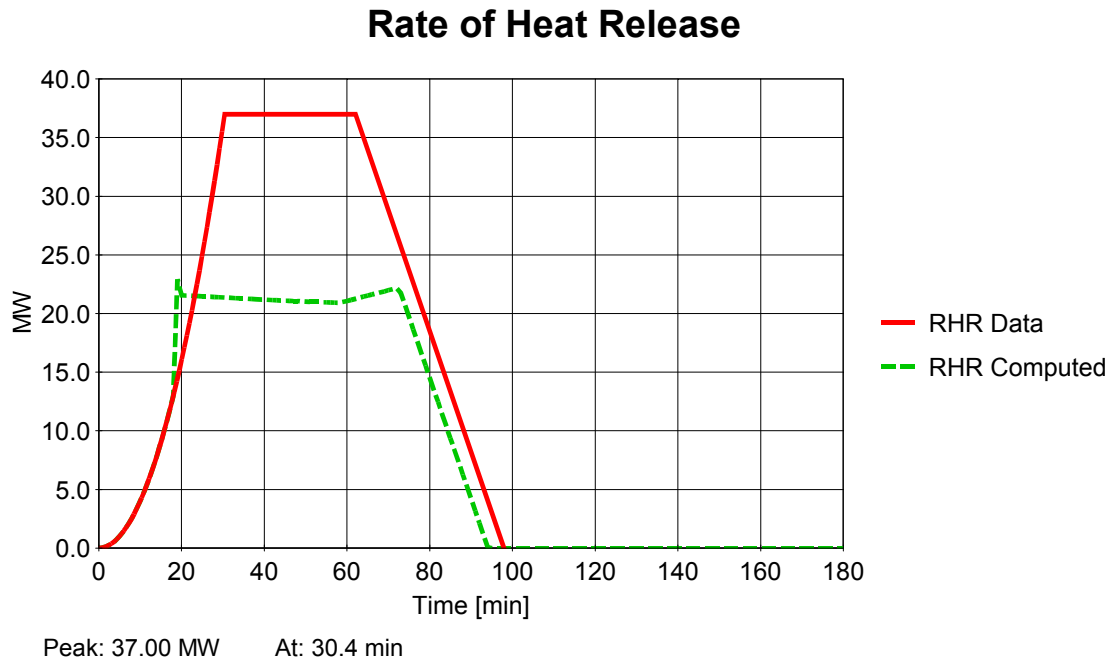


Figure 2. RHR Data and Computed

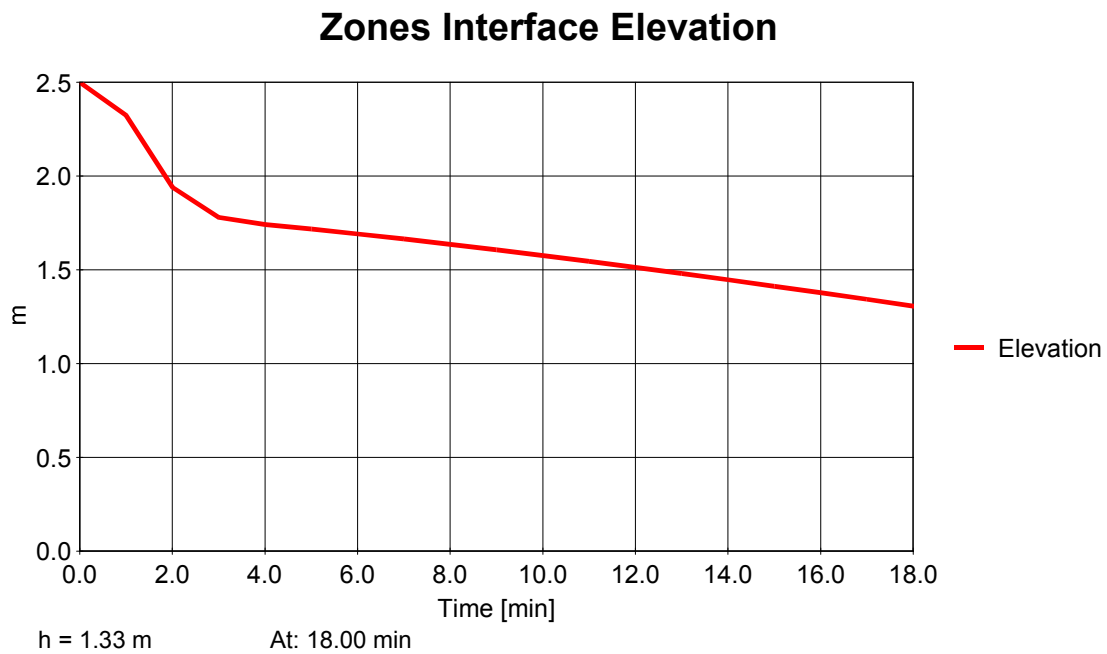


Figure 3. Zones Interface Elevation

Casus E1: logiesfunctie (brand in BC)

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	$\geq$ Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	10800 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Thomas
----------------------	--------

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment
Number of Walls:	4
Floor Area:	544 m ²
Height:	3.2 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Wall 1

Wall length:	41.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
1	2.2	41.4	Constant	no

Wall 2

Wall length:	14.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Wall 3

Wall length:	41.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height	Soffit Height	Width	Variation	Adiabatic
[m]	[m]	[m]		
1	2.2	41.4	Constant	no

Wall 4

Wall length:	14.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	544 m²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	1 m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf	Fire Load qf,k	Danger of Fire Activation
		[kw/m²]	[MJ/m²]	
User Defined	300	250	761	1

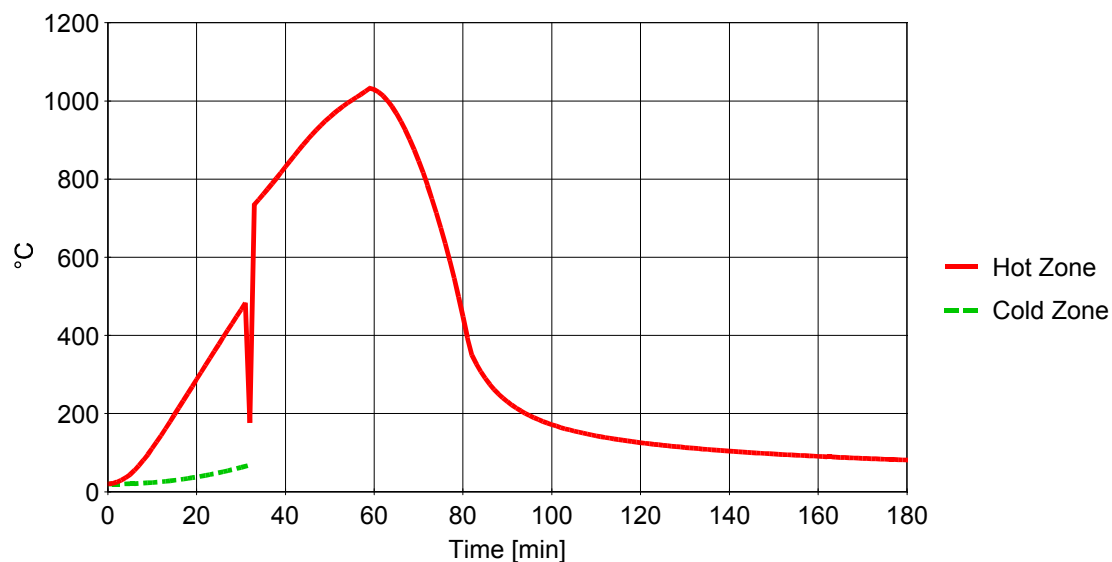
Combustion Heat of Fuel:	17.5 MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8
Combustion Model:	External flaming

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (544.00m²) is greater than 25% of the floor area (544.00m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone >500.0°C at time [s] 1920.00

Gas Temperature



Peak: 1032 °C At: 59 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

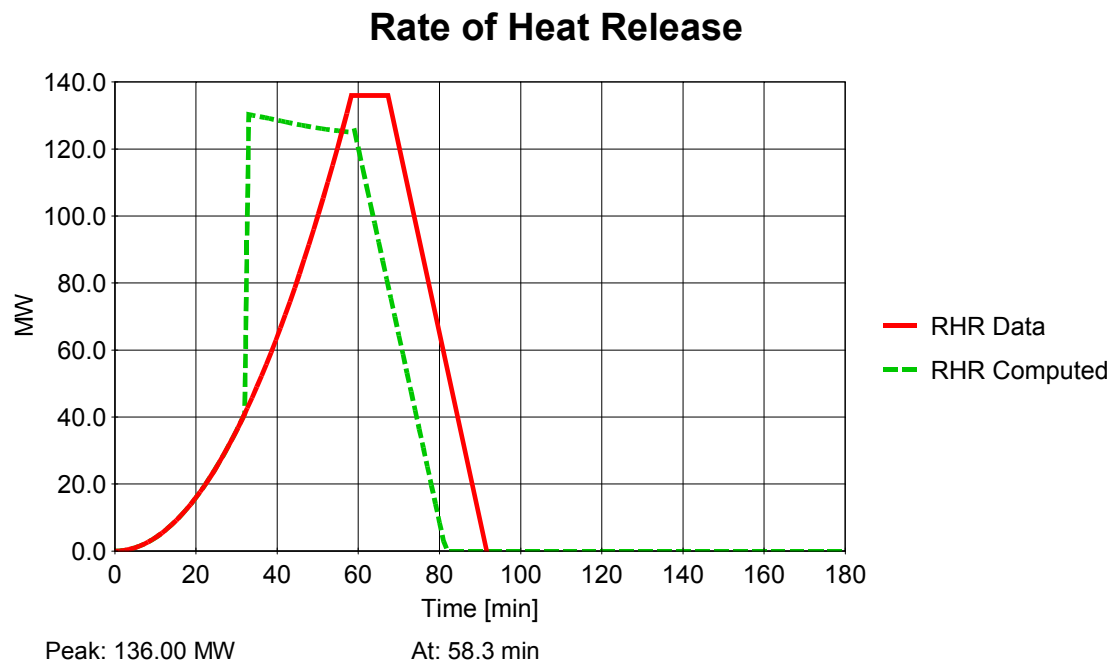


Figure 2. RHR Data and Computed

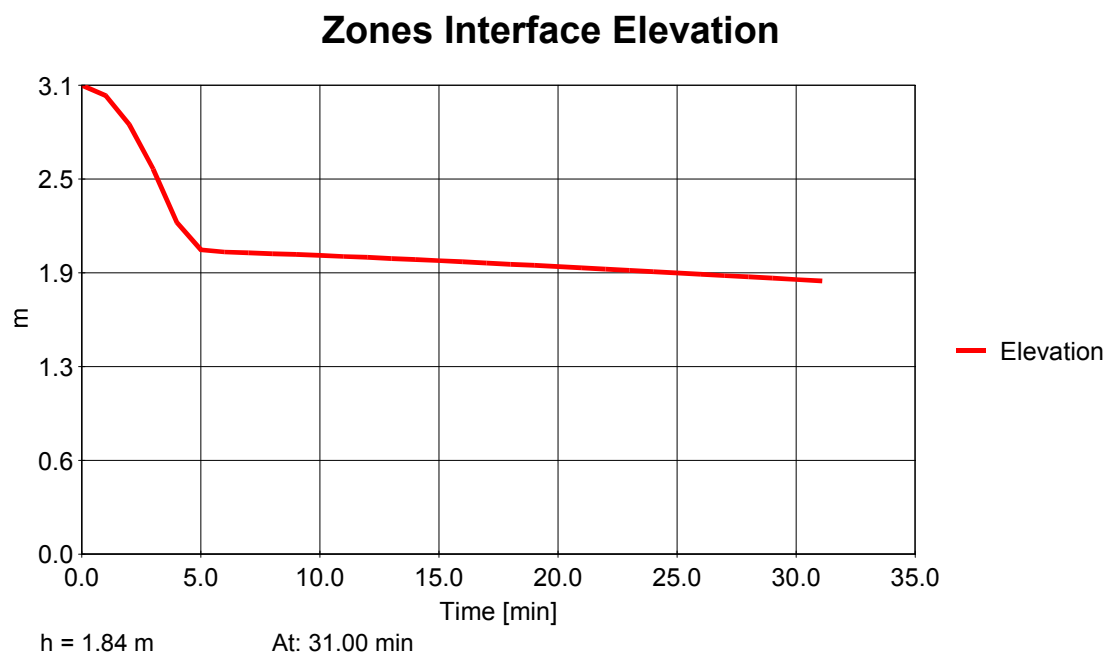


Figure 3. Zones Interface Elevation

Casus E2: logiesfunctie (brand in subBC)

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	$\geq$ Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	10800 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Thomas
----------------------	--------

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment
Number of Walls:	2
Floor Area:	34 m ²
Height:	3.2 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Wall 1

Wall length:	5.4 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
1	2.2	5.4	Constant	no

Wall 2

Wall length:	19.8 m			
Material (from inside to outside)	Thickness	Unit Mass	Conductivity	Specific Heat
	[cm]	[kg/m³]	[W/mK]	[J/kgK]
Gypsum board [EN12524]	2.5	900	0.25	1000

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	34 m ²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	1 m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m ²]	Fire Load qf,k [MJ/m ²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	761	1

Combustion Heat of Fuel:	17.5 MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8
Combustion Model:	External flaming

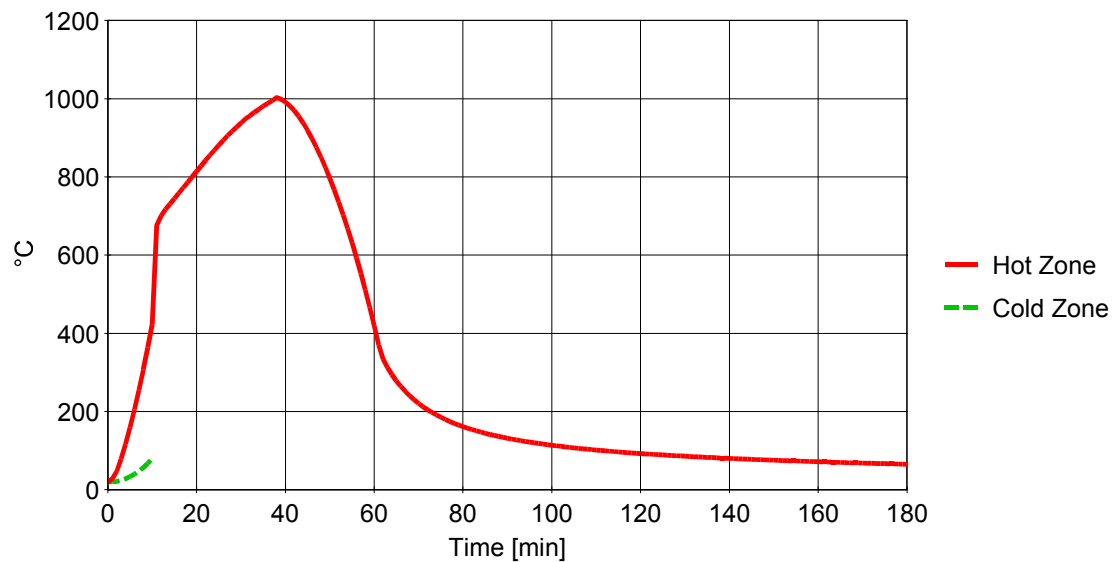
RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (34.00m²) is greater than 25% of the floor area (34.00m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone: Area of fire > 50.0% of floor area at time [s] 620.00

Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 621.33

Gas Temperature



Peak: 1003 °C At: 38 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

Rate of Heat Release

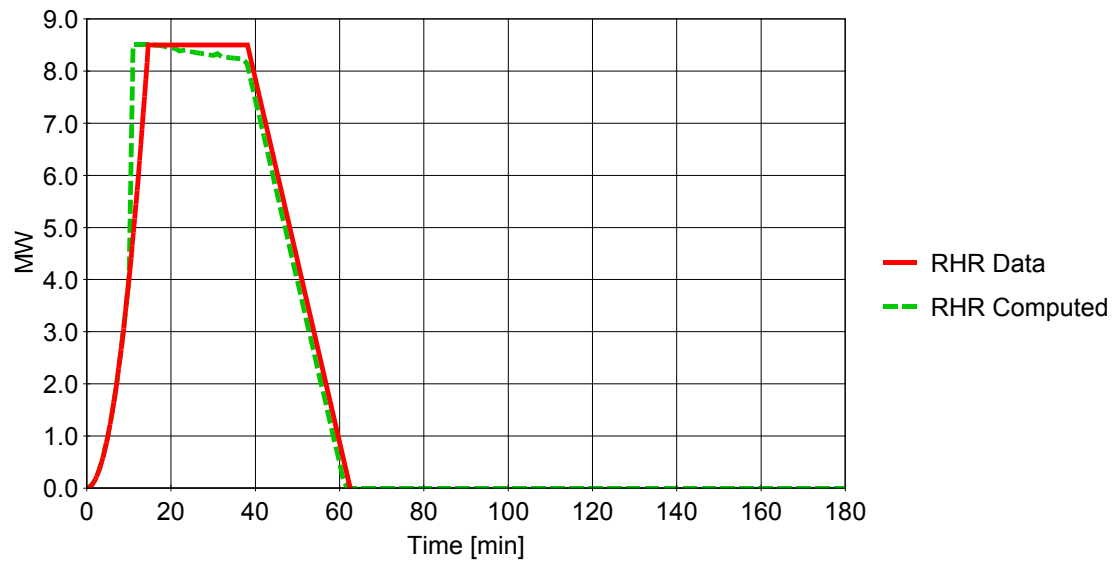


Figure 2. RHR Data and Computed

Zones Interface Elevation

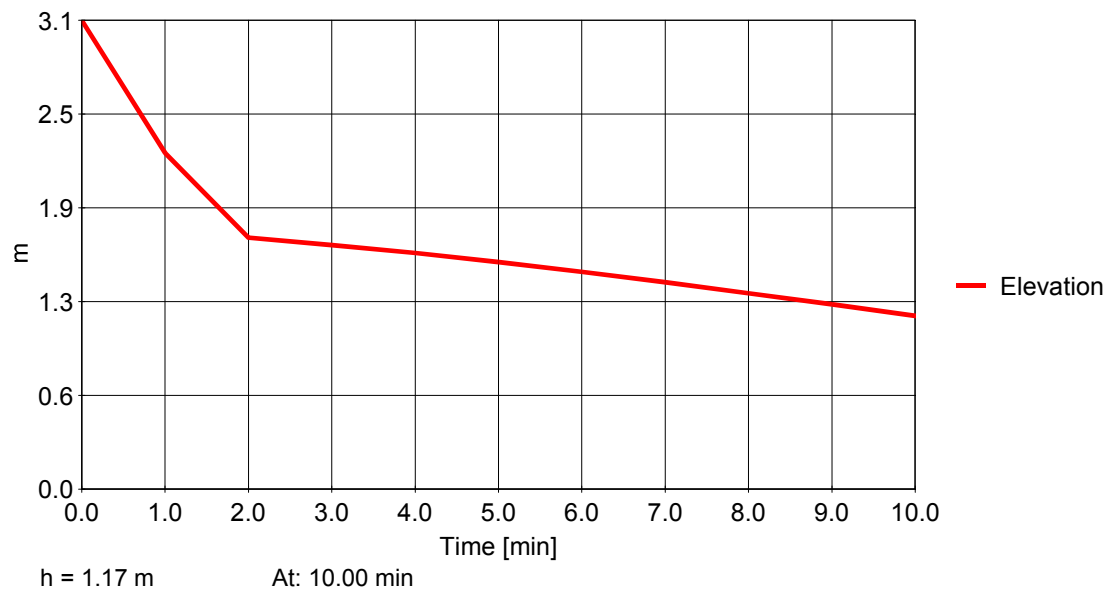


Figure 3. Zones Interface Elevation

Casus F: winkelfunctie (supermarkt)

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: 1 Zone Model

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings: 0.8
Bernoulli Coefficient: 0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature: 293 K
Initial Pressure: 100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface: 25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface: 9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation: 10800 sec
Time Step for Printing Results: 60 sec
Maximum Time Step for Calculation: 10 sec

Air Entrained Model: Thomas

COMPARTMENT

Form of Compartment: Any Compartment
Number of Walls: 2
Floor Area: 2000 m²
Height: 4 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass kg/m ³	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Wall 1

Wall length:	40 m			
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	1	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	4	40	Constant	no

Wall 2

Wall length:	140 m			
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

FIRE

Fire Curve: NFSC Design Fire
Maximum Fire Area: 2000 m²
Fire Elevation: 0 m

Fuel Height:			1	m
Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m ²]	Fire Load qf,k [MJ/m ²]	Danger of Fire Activation
User Defined	150	500	1450	1
Combustion Heat of Fuel:			17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:			0.8	
Combustion Model:			External flaming	

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (2000.00m²) is greater than 25% of the floor area (2000.00m²). The fire load is uniformly distributed.

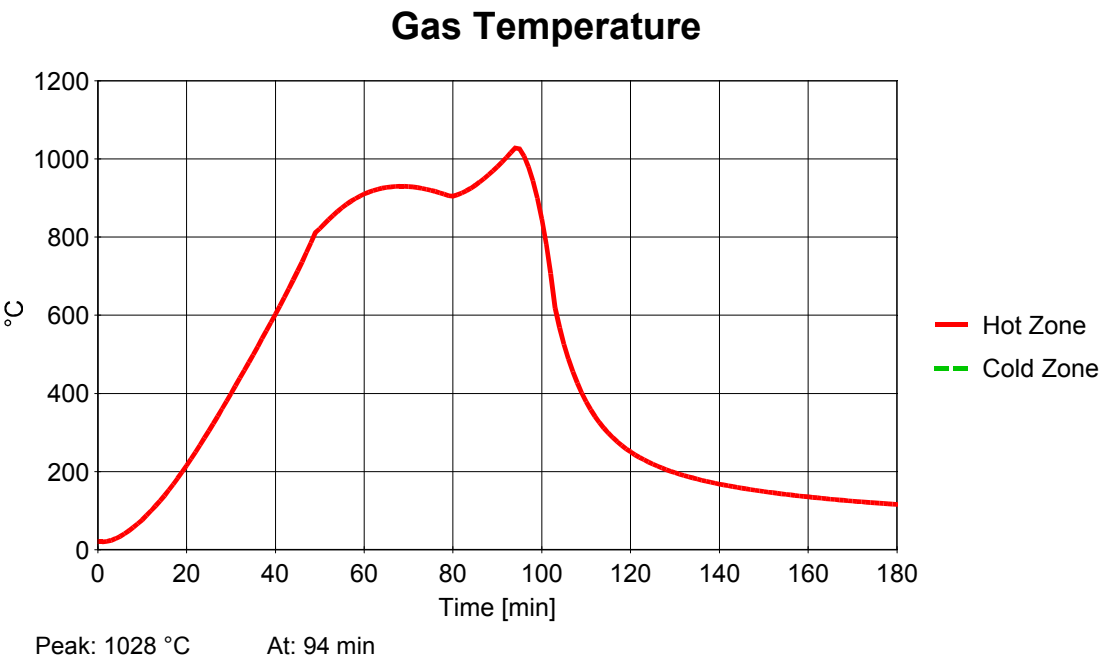


Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

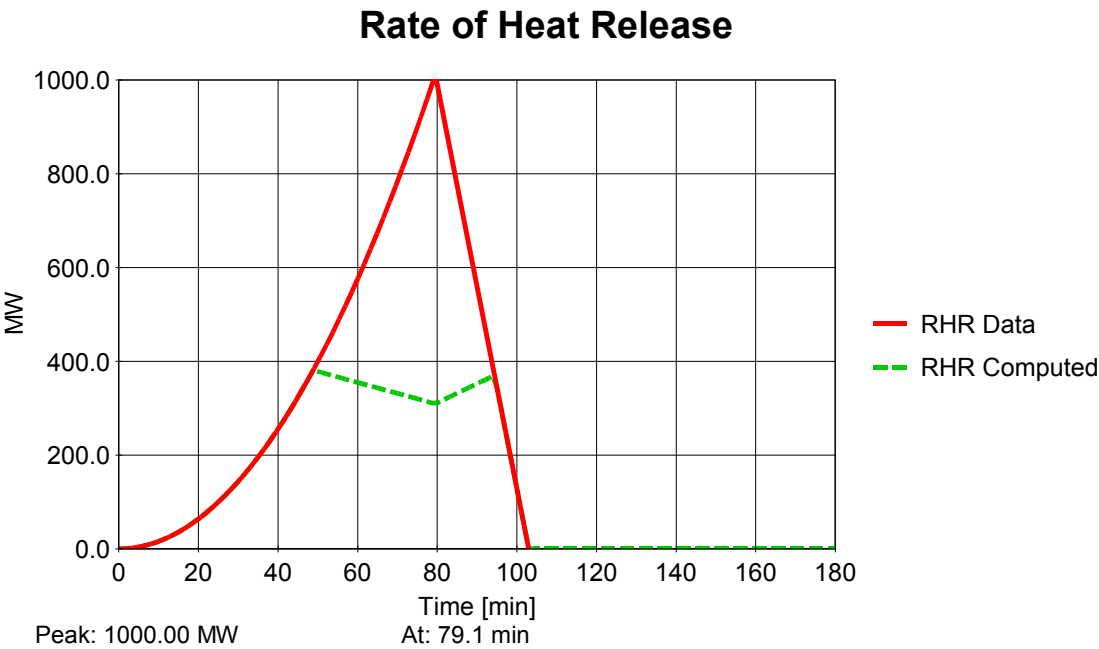


Figure 2. RHR Data and Computed

Casus G: winkelfunctie (meubelzaak)

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: 1 Zone Model

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings: 0.8
Bernoulli Coefficient: 0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature: 293 K
Initial Pressure: 100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface: 25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface: 9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation: 14400 sec
Time Step for Printing Results: 60 sec
Maximum Time Step for Calculation: 10 sec

Air Entrained Model: Thomas

COMPARTMENT

Form of Compartment: Any Compartment
Number of Walls: 2
Floor Area: 10000 m²
Height: 4 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2300	1.6	1000

Wall 1

Wall length:	200 m			
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	1	2300	1.6	1000

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	4	200	Constant	no

Wall 2

Wall length:	300 m			
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	10	2300	1.6	1000

FIRE

Fire Curve: NFSC Design Fire
Maximum Fire Area: 10000 m²
Fire Elevation: 0 m
Fuel Height: 1 m

Occupancy	Fire Growth	RHRf	Fire Load qf,k	Danger of Fire
User Defined	Rate	[kw/m²]	[MJ/m²]	Activation
	300	250	820	1
Combustion Heat of Fuel:			17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:			0.8	
Combustion Model:			External flaming	

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (*****m²) is greater than 25% of the floor area (*****m²). The fire load is uniformly distributed.

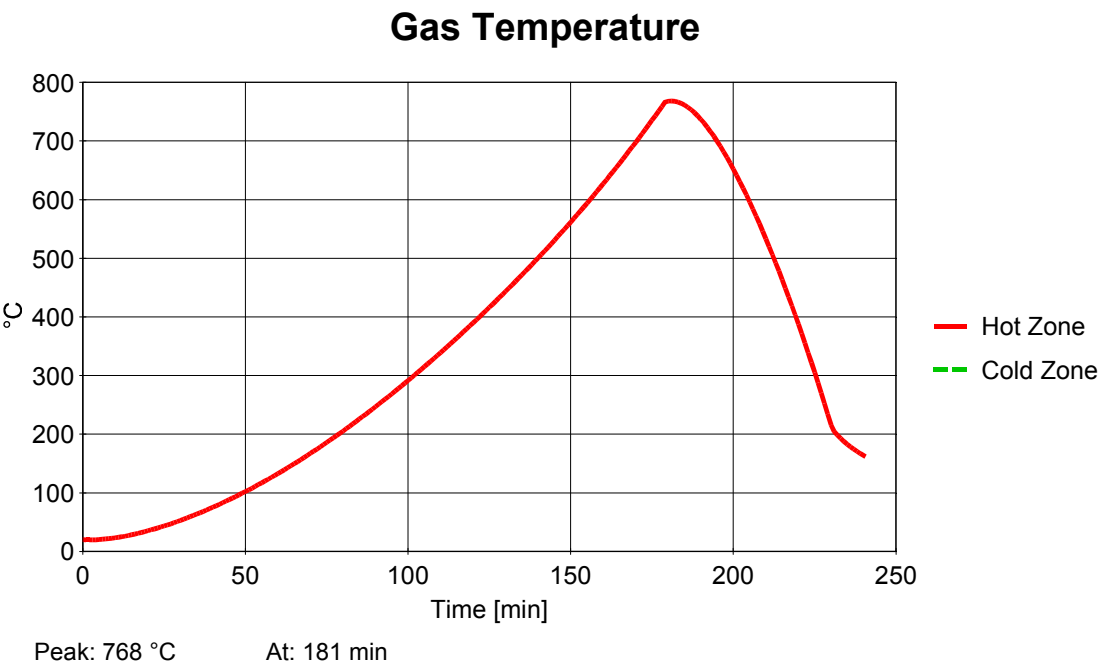


Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

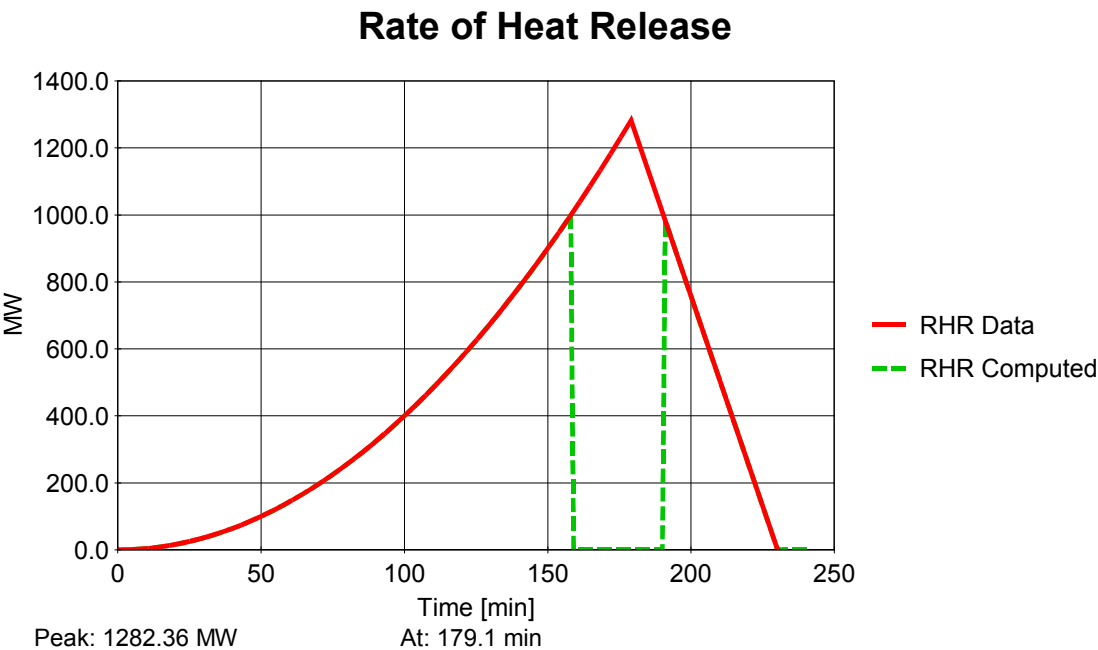


Figure 2. RHR Data and Computed