

Efectis Nederland-rapport

2007-Efectis-R0894

Onderzoek brand parkeergarage Lloydstraat, Rotterdam

Efectis Nederland BV
Centrum voor Brandveiligheid
Lange Kleiweg 5
Postbus 1090
2280 CB Rijswijk

www.efectis.nl

T 015 276 34 80

F 015 276 30 25

E nederland@efectis.com



Datum	december 2007
Auteur(s)	Ing. M.P. de Feijter Ir. A.J. Breunese
Aantal pagina's	51
Opdrachtgever	Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond Afdeling Openbare Veiligheid Postbus 9154 3007 AD ROTTERDAM
Projectnaam	Brandonderzoek Lloydstraat Rotterdam
Projectnummer	2007488/101



Veiligheidsregio Rotterdam-
Rijnmond
Afdeling Openbare Veiligheid
Postbus 9154
3007 AD Rotterdam

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van Efectis.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgevoerd, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het Efectis-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2007 Efectis Nederland BV: een TNO bedrijf

Dit rapport wordt uitgebracht door het TNO bedrijf Efectis Nederland BV (voorheen **TNO** Centrum voor Brandveiligheid). TNO heeft besloten, ingegeven door de internationale marktontwikkelingen en klantvragen, samenwerking te zoeken met twee Europese Egolf partners, eveneens met tientallen jaren ervaring in de brandveiligheid: het Noorse **Sintef/NBL** en het Franse **CTICM**, om zodoende via schaalvergroting een breder pakket aan diensten en faciliteiten van een hoge kwaliteit aan te kunnen bieden. Daartoe zijn de brandveiligheidsactiviteiten van de betrokken instanties geprivatiseerd en in deze samenwerking gebracht. Bij TNO heeft dat beslag gekregen doordat m.i.v. 1 juli 2006, de activiteiten van het voormalige TNO Centrum voor Brandveiligheid zijn ondergebracht in Efectis Nederland BV.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Ontwerp van de parkeergarage	5
2.1	Algemeen	5
2.2	Regelgeving en richtlijnen voor parkeergarages	5
2.3	Verwachte vuurbelasting en brandvermogen.	7
2.4	Eigenschappen van een niet-besloten parkeergarage.	10
2.5	Toepassingen van voorgespannen beton en brandwerendheid van kanaalplaatvloeren.	11
2.6	Conclusies.	12
2.7	Aanbevelingen.....	12
3	Ontwerp van de constructie.....	13
3.1	Ontwerp van het gebouw.....	13
3.2	Regelgeving, documentatie en toetsing	13
3.3	Hoofddraagconstructie onder brandomstandigheden	14
3.4	Conclusie.....	14
4	Brandverloop	15
4.1	Algemeen	15
4.2	Ontwikkeling van de brand en het brandverloop.....	15
4.3	Temperaturen	21
4.4	Vuurbelasting	23
4.5	Het brandverloop in relatie tot regelgeving en richtlijnen.....	24
4.6	Brandbeveiligingsinstallaties.....	24
4.7	Conclusies.	25
4.8	Aanbevelingen.....	26
5	Opgetreden schade aan de constructie	28
5.1	Gevelementen	28
5.2	Stalen liggers	28
5.3	Kanaalplaten.....	30
5.4	Samenvatting.....	35
6	Gedrag van het gebouw tijdens de brand.....	36
6.1	Gedrag van het gebouw tijdens brand ten opzichte van de regelgeving.....	36
6.2	Mogelijke bezwijkvormen tijdens brand	38
6.3	Functioneren van de brandweerlift.....	39
6.4	Preventieve en preparatieve voorzieningen	39
6.5	Conclusies	40
6.6	Aanbevelingen.....	40
7	Gedrag van het gebouw na de brand.....	42
7.1	Invloed blusactie op constructieve schade.....	42
7.2	Afkoelfase in de regelgeving.....	42
7.3	Stabiliteit na brand.....	44
7.4	Conclusies	44
7.5	Aanbeveling	45
8	Conclusies en aanbevelingen.	46

8.1	Conclusies m.b.t. het ontwerp van de parkeergarage	46
8.2	Conclusies m.b.t. het ontwerp van de constructie	46
8.3	Conclusies m.b.t. het brandverloop	47
8.4	Conclusies m.b.t. de opgetreden schade aan de constructie	47
8.5	Conclusies m.b.t. het gedrag van het gebouw tijdens de brand.....	48
8.6	Conclusie m.b.t. het gedrag van het gebouw na de brand	49
8.7	Aanbevelingen.....	50

1 Inleiding

Door Efectis Nederland BV en het Team Brandonderzoek (in oprichting) van de Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond is gezamenlijk onderzoek uitgevoerd naar de brand op 1 oktober 2007 in de parkeergarage onder woongebouw Harbour Edge aan de Lloydstraat te Rotterdam.

In woongebouw Harbour Edge aan de Lloydstraat werd door bewoners om 04.16 uur 's morgens brand gemeld in de parkeergarage onder het woongebouw. Bij aankomst van de brandweer was er sprake van een uitlaande brand. De inzet van de brandweer is in eerste instantie gericht op de veiligheid van de nog in het gebouw aanwezige bewoners. Bij de brand zijn 5 personenauto's volledig uitgebrand, 1 auto was voor 75% verbrand en 1 auto had schroei en smeltschade.

De constructie van het gebouw raakte zwaar beschadigd door de hitte van de brand. Tijdens en enige tijd na de brand zijn delen van de vloer bezweken. De omvang en het gevolg van de brand is voor de Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond reden geweest om een onderzoek in te stellen naar de brand. Het onderzoek is uitgevoerd door een onderzoeksteam bestaande uit Efectis Nederland BV, het Team Brandonderzoek i.o. van de Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond, de afdeling Forensische opsporing van de politie Rotterdam-Rijnmond en Gorissen & van der Zande Schadeonderzoek namens de verzekeraar.

Het onderzoek richtte zich op de volgende onderwerpen:

- Ontwerp van de parkeergarage
- Ontwerp van de constructie
- Brandverloop
- Gedrag van het gebouw tijdens de brand
- Gedrag van het gebouw na de brand
- Preventieve en preparatieve voorzieningen in het gebouw in relatie tot de repressieve inzet van de brandweer

Alle hoofdstukken in dit rapport met uitzondering van paragraaf 6.4 zijn opgesteld door Efectis Nederland BV onder supervisie van het onderzoeksteam. Paragraaf 6.4 (preventieve en preparatieve voorzieningen) en de bijbehorende conclusies en aanbevelingen zijn opgesteld door het Team Brandonderzoek i.o. van de Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond, eveneens onder supervisie van het onderzoeksteam.

Naar aanleiding van de brandschade is door TNO Bouw en Ondergrond rekenkundig onderzoek uitgevoerd om de waargenomen schade aan de betonnen kanaalplaatvloeren te verklaren. Dit resultaten van dit onderzoek zijn door TNO separaat gerapporteerd in TNO-rapport 2007-D-R1236/C – *“Onderzoek naar het constructieve gedrag tijdens brand van een kanaalplaatvloer zoals toegepast aan de Lloydstraat te Rotterdam”*.

2 Ontwerp van de parkeergarage

2.1 Algemeen

De parkeergarage bestaat uit zeven lagen die met een hoogteverschil van $\pm 1,5$ m links en rechts van de kern van het gebouw gepositioneerd zijn. Het oppervlak van de parkeergarage is $\pm 2100\text{m}^2$. In de parkeergarage kunnen ruim 60 voertuigen gestald worden. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Welke regelgeving is van toepassing?
- Welke eisen worden gesteld aan materialen en constructies?
- Wat is de te verwachten vuurbelasting/brandvermogen volgens regelgeving en documentatie?
- Is de regelgeving voor parkeergarages in overeenstemming met de praktijk?
- Kan een parkeergarage die voldoet aan de criteria voor “niet-besloten ruimte”, brandtechnisch en inzettechnisch als buitenruimte beoordeeld worden?
- Wanneer en in welke constructies wordt in het algemeen voorgespannen beton gebruikt?
- Wat is de weerstand tegen branddoorslag van kanaalplaatvloeren?

2.2 Regelgeving en richtlijnen voor parkeergarages

Een parkeergarage moet voldoen aan de eisen die in het Bouwbesluit gesteld worden aan overige gebruiksfuncties voor het stallen van motorvoertuigen. De parkeergarage aan de Lloydstraat is gelegen onder een woongebouw, hierdoor is het noodzakelijk om ook de eisen die gesteld worden aan een woonfunctie mee te wegen bij de beoordeling van de parkeergarage.

In onderstaande tabel zijn de meest relevante eisen die gesteld worden in het Bouwbesluit aan een parkeergarage en een woonfunctie opgesomd.

Tabel 1

	Parkeergarage	Woongebouw
Brandwerendheid constructie	60 minuten	120 minuten
Omvang brandcompartiment	1000m ²	1000m ² + sub BC
Loopafstand in ruimte	40m (B5)	Nvt
Loopafstand in rookcompartiment	60m (B5)	Nvt
Aanwezigheid brandweerlift	Nvt	Vloer >20m
Aanwezigheid droge blusleiding	Vloer >20m	Vloer >20m
Aanwezigheid slanghaspels	nvt	Woonfunctie >500m ²
Materiaaleis brand- en rookvrije vluchtroute	Klasse 2	Klasse 2
Materiaaleis rookvrije vluchtroute	Klasse 4	Klasse 2
Materiaaleis overig	Klasse 4	Klasse 4

Relevante eisen voor parkeergarage en woonfunctie.

Het ontwerp van de parkeergarage aan de Lloydstraat voldoet aan de eisen met betrekking tot het veilig vluchten. Het brandcompartiment van de parkeergarage heeft een gebruiksoppervlak van $\pm 2100\text{m}^2$ en voldoet daarmee niet aan de in het Bouwbesluit gestelde prestatie-eis. Op grond van artikel 2.201 van het Bouwbesluit mag op basis van gelijkwaardigheid afgeweken worden van de prestatie-eisen die gesteld worden aan de omvang van een brandcompartiment. De eis om de omvang van een brandcompartiment te beperken heeft als doel om een eenmaal ontstane brand beheersbaar te houden en te voorkomen dat personen buiten het brandcompartiment bedreigd worden door de brand. Van de brandweer wordt verwacht dat er binnen 30 minuten na het ontstaan van een brand de blussing ingezet is, waarna de brandweer 30 minuten heeft om de brand onder controle te krijgen binnen de grenzen van het brandcompartiment.

Bij het ontwerpen van een gelijkwaardige oplossing moet dan ook uitgegaan worden van het beperken van de brandomvang.

Bij veel parkeergarages wordt voor het bepalen van de gelijkwaardigheid gekeken naar de mogelijkheid van het toepassen van het begrip “niet besloten ruimte”. Door een compartiment in te richten als niet besloten ruimte wordt er (op grond van artikel 2.169 en 2.189 van het Bouwbesluit) vanuit gegaan dat er gedurende langere tijd reddings- en blussingswerkzaamheden verricht kunnen worden. Samen met het algemeen aanvaarde beeld dat er in een parkeergarage niet meer dan 4 auto’s tegelijkertijd zullen branden vormt dit een manier om de omvang van het brandcompartiment uit te kunnen breiden.

De voorwaarden die op grond van NEN2443 aan een open parkeergarage gesteld worden zijn:

- 1 Natuurlijke ventilatie moet gewaarborgd zijn (Volgens NEN1087)
- 2 Minstens twee tegenover elkaar staande wanden moeten buitenwanden zijn en voorzien zijn van niet afsluitbare openingen.
- 3 De opening in de buitenwanden moet minimaal 1/3 van het totale wandoppervlak zijn die het compartiment begrenzen. (Binnen- en buitenwanden samengerekend). of de openingen in de buitenwanden moeten minimaal 2,5 % zijn van het bruto vloeroppervlak van het compartiment. Deze twee buitenwanden mogen niet meer dan 54 meter uit elkaar staan.
- 4 De wanden met de openingen moeten minimaal 5 meter vrije ruimte hebben t.o.v. naastgelegen bebouwing.
- 5 De laagste vloer van de parkeergarage mag nergens meer dan 1,3 meter onder het maaiveld liggen.
- 6 Wand in de parkeergarage mogen geen belemmering zijn voor de natuurlijke ventilatie.

De parkeergarage aan de Lloydstraat voldoet aan de uitgangspunten voor een natuurlijk geventileerde parkeergarage. Ook voldoet de garage aan de voorschriften uit het Bouwbesluit met uitzondering van de compartimentsgrootte.

In de “Methode Beheersbaarheid van Brand 2007” wordt een ontwerpmethode voor grote brandcompartimenten beschreven die toepasbaar is voor parkeergarages. Hierbij moet opgemerkt worden dat alleen maatregelenpakket 4 (sprinkler) van toepassing is. Ten tijde van het ontwerp van het gebouw aan de Lloydstraat was dit document nog niet beschikbaar. Voor het toepassen van de methode beheersbaarheid van brand wordt voor de verbrandingswaarde van een personenauto uitgegaan van 5020MJ.

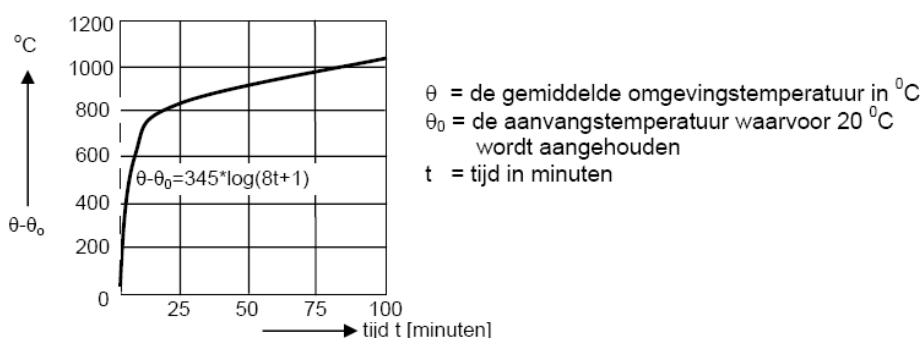
Voor het ontwerpen van mechanisch geventileerde parkeergarages wordt gebruik gemaakt van NEN2443 en de concept praktijkrichtlijn “Gelijkwaardigheid brandveiligheidseisen van het bouwbesluit voor mechanisch geventileerde parkeergarages met een gebruiksoppervlakte groter dan 1000m²” van de NVBR.

Eveneens voor het ontwerpen van besloten parkeergarages bestaan de praktijkrichtlijnen “Mechanisch geventileerde parkeergarages met een gebruiksoppervlakte groter dan 1000m²” uitgegeven op 15 maart 2005 door de Regionale Hulpdienst Rotterdam-Rijnmond, “Brandveiligheid parkeergarages” van de Regionale Commissie Bouwen en Infrastructuur van de Regio Haaglanden van juli 2007 en de uitgave “Parkeergarages: Brandveiligheid en ventilatie” van SBR.

Deze richtlijnen zijn niet van toepassing op de parkeergarage aan de Lloydstraat.

2.3 Verwachte vuurbelasting en brandvermogen.

In de regelgeving (Bouwbesluit) wordt geen specifiek brandvermogen gehanteerd. In de normen (waarnaar het Bouwbesluit verwijst) waaraan materialen en constructies moeten voldoen wordt uitgegaan van de standaard brandkromme volgens ISO834.



Figuur 1: Standaard brandkromme

De richtlijnen die gebruikt worden bij het ontwerpen van mechanisch geventileerde parkeergarages gaan uit van het gelijktijdig branden van maximaal 4 auto's, waarbij brandoverslag van de eerste naar de tweede auto binnen 15 minuten optreedt. Dit uitgangspunt is genomen naar aanleiding van proeven die gedaan zijn in 1998 in een parkeergarage in Amsterdam¹. In de in Nederland gehanteerde richtlijnen wordt niets genoemd met betrekking tot vuurbelasting en/of brandvermogen in parkeergarages.

Op Europees niveau is tussen 1998 en 2001 onderzoek gedaan naar autobranden in parkeergarages door TNO Centrum voor Brandveiligheid (Efectis Nederland), CTICM (Efectis Frankrijk) en ARBED RECHERCHES (Luxemburg)². In dit onderzoek zijn diverse metingen uitgevoerd naar de vermogens van verschillende automerken en types. Voor dit onderzoek zijn verschillende types auto's verdeeld in categorieën, zoals weergegeven in tabel 2.

¹ TNO CVB, Leander Noordijk, Tony Lemaire, 2005, *Modelling of fire spread in car parks*.

² CTICM, ARBED Recherches, TNO, Juli 1998, *Demonstration of real fire tests in car parks and high buildings*. Daniel Joyeux, Augustus 1997, *Natural Fires in closed car parks*.

Tabel 2

Categorie 1 6000MJ	Categorie 2 7500MJ	Categorie 3 9500MJ	Categorie 4 12000MJ	Categorie 5 12000MJ
Opel Corsa	Ford Escort	Renault Laguna	Fiat Croma	Peugeot 806
Renault Twingo	Opel Astra	Ford Mondeo	Ford Scorpio	Renault Espace

Voertuig categorieën met voorbeelden.

Opvallend aan deze tabel is dat de verbrandingswaarde van de laagste categorie hoger is dan de in Nederland gebruikte waarde (5020MJ) zelfs als er rekening gehouden wordt met de in het onderzoek genoemde efficiëntiefactor van 0,7.

In figuur 2 ziet u de vermogenscurve voor een categorie 3 auto die afgeleid is van de testen.

Door CTICM is in 2001 in opdracht van de brandweer van Parijs een inventarisatie gemaakt met betrekking tot branden in ondergrondse parkeergarages in enkele grote steden in Europa³. Volgens de statistieken zoals vastgelegd in maart 2001 blijft $\pm 97\%$ van de branden in ondergrondse parkeergarages beperkt tot maximaal 4 auto's. In bovengrondse parkeergarages zijn geen gevallen geregistreerd waarbij meer dan 3 auto's betrokken zijn. Er zijn twee branden geregistreerd in ondergrondse parkeergarages waarbij 7 auto's bij de brand betrokken zijn geraakt.

Ook in Nieuw Zeeland is statistisch onderzoek⁴ gedaan naar branden in parkeergarages. Hieruit blijkt dat 93 van de 96 branden (97%) in een periode van 1995 tot en met 2003 beperkt bleef tot één auto. Een belangrijke kanttekening bij dit onderzoek is dat brandende auto's in Nieuw Zeeland gemiddeld ouder zijn (14,5 jaar) dan in Europa (8 jaar) gebruikelijk is. De leeftijd van de betrokken auto's kan een grote rol spelen in het verloop van de brand, omdat nieuwere auto's meer kunststof onderdelen bevatten en daardoor een groter brandvermogen geven.

In Nederland is geen statistisch onderzoek gedaan naar de omvang van parkeergarage branden. Het laatste jaar hebben zich echter diverse omvangrijke branden in parkeergarages voorgedaan. Hieronder een kleine opsomming:

- Heerlen, 10 auto's beschadigd, instortingsgevaar
- Eindhoven, 1 scootmobiel verbrand, rookverspreiding in woongebouw, 80 bewoners geëvacueerd
- Hilversum, 2 auto's, constructieve schade, bewoners geëvacueerd
- Hilversum, 2 auto's en een motor, rookverspreiding in woongebouw, 60 bewoners geëvacueerd (gedurende 2 weken)
- Leidschendam Voorburg, personenbusje, 21 bewoners geëvacueerd
- Enschede, 2 auto's beschadigd, lichte schade aan constructie
- Den Haag, 1 auto, woongebouw ontruimd
- Geleen, Nolenshof – 11 auto's uitgebrand, 25 bewoners geëvacueerd, zware schade aan de constructie
- Rotterdam, Lloydstraat 7 auto's beschadigd, 60 bewoners geëvacueerd

³ Daniel Joyeux, CTICM, Maart 2001, *Statistics in Car Parks*.

⁴ Yuguang Li, Michael Spearpoint, 2007, *Analysis of vehicle statistics in New Zealand parking buildings*.

Uit bovenstaande lijst blijkt dat relatief kleine branden grote gevolgen kunnen hebben. Ook blijkt uit deze opsomming dat bij branden in parkeergarages meer dan 4 auto's betrokken kunnen raken.

Brandvermogen meerdere auto's.

Aan de hand van de curve uit figuur 2 is afgeleid op welke wijze het vermogen zich ontwikkeld wanneer twee of meer auto's naast elkaar staan. In de curve zoals deze te zien is in figuur 3 wordt de ontwikkeling van de brand over drie auto's weergegeven. Aan de hand van deze curve is een ontwikkelingstijd voor meerdere auto's af te leiden.

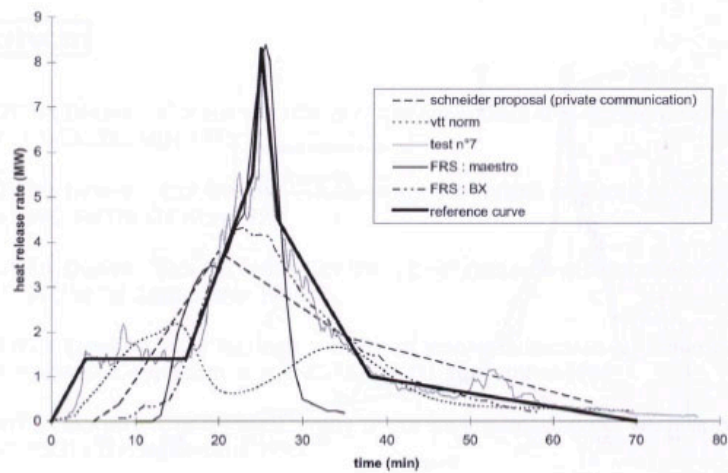
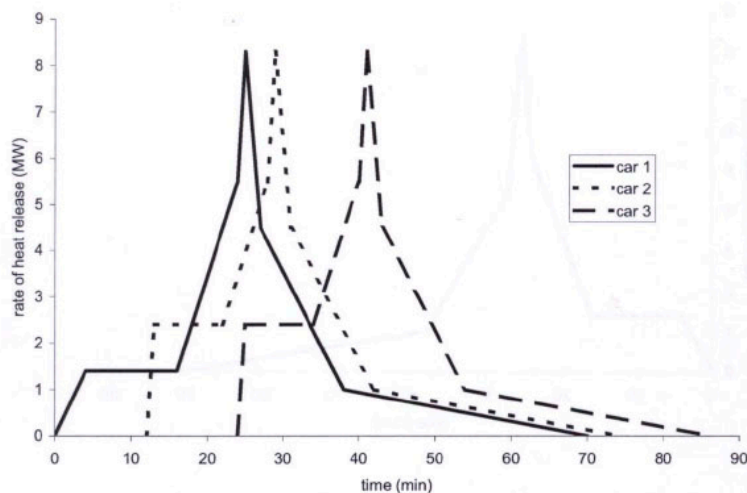


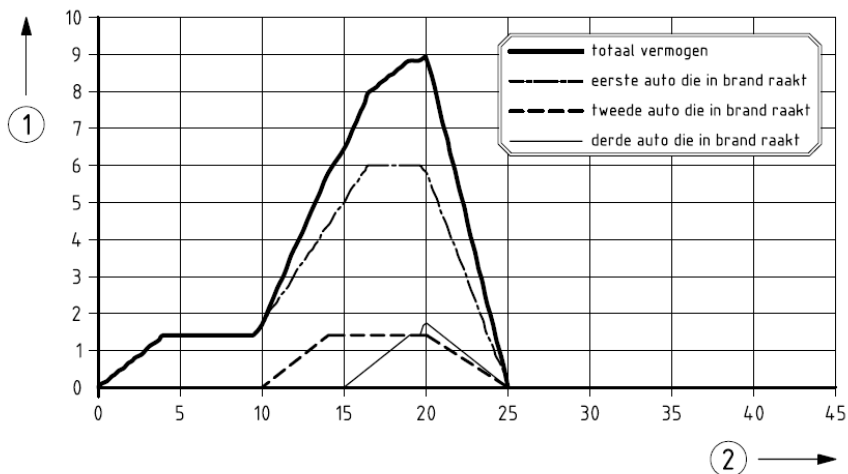
Figure 20 : Comparisons of the reference curve with all heat release rate of one car fire of the literature

Figuur 2: Vermogenscurve testbrand van één auto.



Figuur 3: Vermogenscurve met drie auto's

In de verschillende Nederlandse richtlijnen en in de NEN6098(ontwerp) wordt een curve gehanteerd op basis van 3 brandende auto's. Ook wordt ervan uitgegaan dat na 20 minuten de brandweer begint met het bestrijden van de brand. Hierbij is de aanwezigheid van een brandmeldinstallatie uitgangspunt.



Legenda

- 1 vermogen in MW
- 2 tijd in min

Figuur 4: Brandvermogen voor het ontwerp van parkeergarages

Bij het ontwerpen van mechanisch geventileerde parkeergarages groter dan 1000m² wordt voor het berekenen van de rookverspreiding met CFD simulaties de vermogenscurve uit figuur 4 toegepast. Voor de parkeergarage aan de Lloydstraat zou op basis van de gegevens uit het onderzoek afgeleid kunnen worden dat gerelateerd aan de opkomsttijd volgens het normatief brandverloop bij aankomst van de brandweer ten minste drie auto's volledig in brand staan en bij twee auto's een begin van brand waargenomen kan worden. Meer over de mogelijk brandscenario's vindt u in hoofdstuk 4 (Brandverloop).

2.4 Eigenschappen van een niet-besloten parkeergarage.

In deze paragraaf wordt ingegaan op de vraag of een parkeergarage die ontworpen is volgens de voorschriften voor een niet-besloten of natuurlijk geventileerde garage brandtechnisch en inzettechnisch vergelijkbaar is met een buitensituatie.

Zoals in paragraaf 2.2 is weergegeven wordt een niet-besloten (natuurlijk geventileerde) parkeergarage beoordeeld op grond van NEN2443 en NEN1087. De eisen die hierin genoemd zijn hebben als doel het voorkomen van een te hoog Koolmonoxide (CO) gehalte. Daarbij wordt er van uitgegaan dat een gemiddelde auto 0,35m³/h CO produceert. Een brandende auto kan ±30000m³/h rook produceren bij een stijghoogte van ±2,5m.

Een als niet-besloten ontworpen parkeergarage is geen buitensituatie en voldoet ook niet aan de voorwaarden voor "niet-besloten ruimten" zoals deze genoemd wordt in artikel 2.169 en 2.186 van het Bouwbesluit. In de toelichting van deze artikelen staan als voorwaarden voor een niet besloten ruimte de volgende condities genoemd:

- 1 Stralingsflux: $<1 \text{ kW/m}^2$
- 2 Temperatuur: $<45 \text{ }^\circ\text{C}$
- 3 Zichtlengte: $>100 \text{ m}$.

Bij deze condities is veilig verblijven nog mogelijk. Deze condities zijn benoemd voor rookvrije vluchtroutes. Voor blussing kunnen slechtere condities aangehouden worden in verband met de persoonlijke beschermingsmiddelen die door de brandweer gebruikt worden. De richtlijnen voor gesloten parkeergarages gaan uit van een zichtlengte van 30m. Bij onderzoeken naar brandomstandigheden in tunnels op Europees niveau⁵ wordt voor de brandweer uitgegaan van de volgende criteria:

- 1 Stralingsflux: $<5 \text{ kW/m}^2$
- 2 Temperatuur: $<100^\circ\text{C}$
- 3 Zichtlengte: 7-15m

Dat de omstandigheden tijdens brand in een “open” parkeergarage niet gelijk zijn aan de buitensituatie is onder andere te wijten aan de volgende omstandigheden:

- Boven de brandhaard bevindt zich een plafond (bij parkeergarage $\pm 2,4 \text{ m}$ hoog) waardoor rook zich over een groot oppervlak verspreidt (ook tegen de ventilatie-/windrichting in). In de buitenlucht stijgt rook op in de vorm van een kegel, maar zal geen laag vormen.
- Door de beperkte stijghoogte van de rook zal deze weinig verdunnen waardoor de zichtlengte in de rook beperkt wordt.
- Door de beperkte stijghoogte verliest rook weinig warmte door opmenging, waardoor de temperatuur aan het plafond snel zal stijgen.
- De hete rooklaag onder het plafond zal stralen. Deze straling kan zo hoog oplopen dat secundaire branden ontstaan. In de buitenlucht zullen secundaire branden slechts ontstaan door direct vlamcontact of door de directe straling van de brandhaard.
- In de buitenlucht is de zuurstoftoevoer van alle zijden ongehinderd. In een “open” parkeergarage is de zuurstoftoevoer afhankelijk van de grootte en de positie van de gevelopeningen. In een parkeergarage zal daardoor op een bepaald moment sprake zijn van een ventilatiebeheerste brand, waarbij dichtere rook geproduceerd kan worden dan bij een brandstofbeheerste brand.

Op grond van het voorgaande is te concluderen dat een niet-besloten of natuurlijk geventileerde parkeergarage niet vergelijkbaar is met een buitenluchtsituatie. De vraag is of dit ook nodig is. Ook een industriehal die voldoet aan de compartimentgrootte van het Bouwbesluit voldoet niet aan een buitenluchtsituatie. Het is van belang dat de brandweer in dit soort gebouwen vanaf een veilige positie de brand kan beheersen. Bij open parkeergarages groter dan 1000 m^2 is de brandweer niet in staat om veilig op te treden zonder extra voorzieningen in de parkeergarage.

2.5 Toepassingen van voorgespannen beton en brandwerendheid van kanaalplaatvloeren.

Betonnen constructies met voorspanwapening worden veelvuldig toegepast. Voorgespannen beton zoals kanaalplaatvloeren, massieve plaatvloeren en breedplaatvloeren met voorspanwapening worden gebruikt in zowel woning als utiliteitsbouw. Vaak wordt over dit type vloeren een druklaag gestort waarmee de vloer een vaste schijf vormt die de stabiliteit van het gebouw bepaald. Rondom de vloer wordt in de druklaag soms een “trekband” wapening gelegd die de stijfheid van de vloer verbetert. Ook bij het onderhavige gebouw is een dergelijke trekband toegepast..

⁵ UPTUN (UPTUN is the acronym for Cost-effective, Sustainable and Innovative Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels; a European RTD-project funded by the European Commission in FP5.)

In de bouwvergunning voor het gebouw aan de Lloydstraat is vastgelegd dat de kanaalplaatvloer een brandwerendheid van 120 minuten dient te bezitten. De brandwerendheid van kanaalplaatvloeren wordt rekenkundig bepaald. Door de leverancier van de vloerplaten zijn berekeningen aangeleverd. De berekeningen zijn uitgevoerd met software (Rekenplan) waarbij een verklaring overlegd is dat de bijzondere belasting “brand” in de software gecontroleerd wordt. In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op het ontwerp van de constructie en het gedrag van kanaalplaatvloeren bij brand.

2.6 Conclusies.

Naast het bouwbesluit zijn slechts richtlijnen beschikbaar voor het ontwerpen van parkeergarages. Deze richtlijnen zijn geen wettelijke eisen tenzij zij worden aangewezen in landelijke, provinciale of lokale wetten, besluiten of verordeningen. Aan een natuurlijk geventileerde parkeergarage worden geen bijzondere eisen gesteld.

De regelgeving geeft geen vooraf gedefinieerde vuurbelasting en/of brandvermogen voor parkeergarages. De richtlijnen voor mechanische geventileerde parkeergarages gaan uit van het brandvermogen van drie auto's en een inzet van de brandweer 20 minuten na ontstaan van de brand.

De parkeergarage aan de Lloydstraat voldoet aan de uitgangspunten voor een natuurlijk geventileerde parkeergarage. Ook voldoet de garage aan de voorschriften uit het Bouwbesluit met uitzondering van de compartimentsgrootte.

De richtlijnen voor mechanisch geventileerde parkeergarages zijn niet van toepassing op het gebouw aan de Lloydstraat

Een natuurlijk geventileerde parkeergarage kan niet aangemerkt worden als een “niet-besloten ruimte” volgens de definitie van het Bouwbesluit. De brandweer moet bij een inzet in een natuurlijk geventileerde parkeergarage rekening houden met slechtere omstandigheden dan in een mechanisch geventileerde parkeergarage.

Voorgespannen beton is een veel toegepaste constructiemethode. De brandwerendheid van beton wordt aangetoond met behulp van berekeningen.

2.7 Aanbevelingen.

- 1 Het onderzoeksteam raadt de NVBR aan om brandweerkorpsen te informeren met betrekking tot de risico's van een inzet in een natuurlijk geventileerde parkeergarage.
- 2 Het onderzoeksteam raadt de NVBR en de ministeries van BZK en VROM aan om te onderzoeken op welke wijze de veiligheid voor de inzet van brandweerpersoneel in natuurlijk geventileerde parkeergarage verbeterd kan worden.

3 Ontwerp van de constructie

Bij de beoordeling van het ontwerp van de constructie is getracht antwoord te geven op specifieke vragen van de opdrachtgever:

- a. is het gebouw constructief juist ontworpen?
- b. voldeed de constructie aan de regelgeving?
- c. zijn de juiste documenten ingediend?
- d. is de constructie op de juiste manier getoetst?
- e. wat is in dit gebouw precies de hoofddraagconstructie (zijn dat bijvoorbeeld ook de staalprofielen waar de kanaalplaten op liggen)?

3.1 Ontwerp van het gebouw

Het constructieve ontwerp laat op het eerste gezicht geen tekortkomingen zien. Het ontwerp is slechts oppervlakkig beoordeeld en niet nagerekend door Efectis. De krachtsafdracht in het gebouw lijkt in elk geval logisch, de vloeren liggen opgelegd (middels hoekstalen) op de dragende gevel en op de dragende kern (danwel op een THQ ligger vanaf de kern naar de gevel). Verder wordt de stabiliteit van de gevel waarschijnlijk verkregen door deze, middels schijfwerking in de vloeren, aan de stijve betonnen gebouwkern te verbinden.

3.2 Regelgeving, documentatie en toetsing

Deze drie onderwerpen vereisen een nauwkeurige bestudering en narekening van de in het dossier aanwezige berekeningen. Dit is door Efectis, in overleg met de opdrachtgever, niet gedaan. Hiervoor zou meer tijd nodig zijn en ook meer inzicht in de uitgevoerde berekeningen. Efectis heeft zich geconcentreerd op de directe studie naar de constructieve integriteit en schade; aangezien de schade met name op de kanaalplaatvloeren is opgetreden, is een korte analyse gemaakt, zie ook hoofdstuk 5.

Volgens de vigerende regelgeving voor de berekening van de brandwerendheid van betonconstructies (NEN 6071) wordt de vloer berekend op buigend moment. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat de doorsnede opwarmt (inclusief de stalen wapening en/of voorspanstaal) en de sterkte dus afneemt. Niet beschouwd worden:

- scheuren zoals in het vlak van de strengen of direct van koker naar koker,
- spatgedrag.

Wel wordt er bij de berekening van de buigend-momentcapaciteit gekeken naar de betondekking op de voorspanstrengen, omdat deze dekking de isolatielaag vormt tussen de streng en de brand. Hoe meer dekking, hoe minder opwarming van de voorspanning en hoe groter dus de berekende brandwerendheid. Een dergelijke benadering is in principe valide wanneer:

- de dekking intact blijft (dus geen afspatten), en
- het maatgevend bezwijkmechanisme wordt gevormd door bewijken op buigend moment.

In de berekeningsdocumenten van de fabrikant, zoals aanwezig in het dossier van Bouw- en Woningtoezicht Rotterdam en aan Efectis ter beschikking gesteld, wordt een “brandwerendheidsduur 120 min.” vermeld. De onderliggende berekening is uit deze documenten niet inzichtelijk en kan dus ook niet worden gecontroleerd.

Wel kan op basis van informatieve bijlage A van NEN 6071 uit een tabel worden afgeschat dat een “wapeningsafstand a” van 50 mm nodig is voor een brandwerendheid van 120 minuten. Deze wapeningsafstand bestaat uit de dekking + halve strengdiameter en is volgens tekening voor de onderhavige vloer dus $40 + 1/2 * 12,5 =$ ongeveer 46 mm. Dit is dus iets te laag t.o.v. de in NEN 6071 gegeven informatieve waarde van 50 mm. Deze afwijking kan echter naar de mening van Efectis de waargenomen scheurvorming in de kanaalplaten niet verklaren. Conform de tabellen zou een wapeningsafstand van 46 mm overeenkomen met een brandwerendheid m.b.t. bezwijken van (geïnterpoleerd) 108 minuten, waarbij het veronderstelde bezwijkmechanisme bezwijken op buigend moment door sterktereductie van de voorspanstrengen is. Zowel tijdsduur als bezwijkmechanisme komen niet overeen met de waarnemingen aan de Lloydstraat.

3.3 Hoofddraagconstructie onder brandomstandigheden

De “hoofddraagconstructie onder brandomstandigheden” (hierna gemakshalve aangeduid als HDC) is gedefinieerd in NEN 6702:2005. Kortweg kan de definitie worden samengevat met de stelling dat een deel van de bouwconstructie onderdeel van de HDC is wanneer bezwijken van het deel leidt tot het ook bezwijken van een bouwconstructie die niet in hetzelfde brandcompartiment is gelegen.

Uitgaand van deze definitie omvat de HDC in elk geval de dragende gevel en de gebouwkern. De vloer zou niet als “hoofddraagconstructie bij brand” hoeven te worden ontworpen indien zou zijn aangetoond dat het bezwijken van de vloeren in de parkeergarage niet leidt tot het bezwijken van constructiedelen van de bovenliggende woningen. Een dergelijke berekening is echter niet aanwezig in het aan Efectis ter hand gestelde dossier, dus is het gerechtvaardigd te veronderstellen dat de vloeren, als verzorgers van samenhang tussen dragende kern en dragende gevel, onderdeel uitmaken van de HDC. Deze veronderstelling wordt mede gevoed door de stelling in het dossier dat de vloer een “brandwerendheidsduur 120 min.” bezit. Wanneer de vloer als onderdeel van de HDC wordt gezien zijn ook de opleggingen van de vloer (dus de stalen hoeklijnen en THQ-liggers) onderdeel van de HDC.

De THQ-liggers dragen wellicht ook bij aan de stabiliteit van de gevel (doordat de THQ-ligger de gevel met de gebouwkern verbindt) en zij zijn dus in beginsel ook onderdeel van de HDC, tenzij is aangetoond dat bezwijken van een THQ-ligger met de daarop opgelegde vloeren geen verdere gevolgen heeft. Aangezien een dergelijk bewijs niet in het dossier aanwezig is wordt ook van de THQ-liggers verondersteld dat deze onderdeel uitmaken van de HDC.

3.4 Conclusie

Het ontwerp van het gebouw vertoont op het eerste gezicht geen bijzonderheden.

De hoofddraagconstructie onder brandomstandigheden bestaat ten minste uit de gebouwkern en de dragende gevel. Daarnaast maken ook de vloeren onderdeel uit van de hoofddraagconstructie omdat deze de samenwerking tussen gevel en gebouwkern verzorgen. Ook de stalen delen waarop de vloer is opgelegd maken onderdeel uit van de hoofddraagconstructie.

De toetsing van het gebouw is niet door Efectis gecontroleerd, omdat het hiervoor nodig zou zijn om de constructieve brandwerendheidsberekeningen na te lopen. Deze berekeningen waren, op de conclusie na, niet aanwezig in het aan Efectis ter hand gestelde dossier.

4 Brandverloop

4.1 Algemeen

Bij de brand zijn 7 voertuigen in meerdere en mindere mate beschadigd geraakt. De brandweer vraagt zich af of een brand van deze omvang een uitzondering is of is dit een fenomeen waar zij in de toekomst terdege rekening mee moet houden?

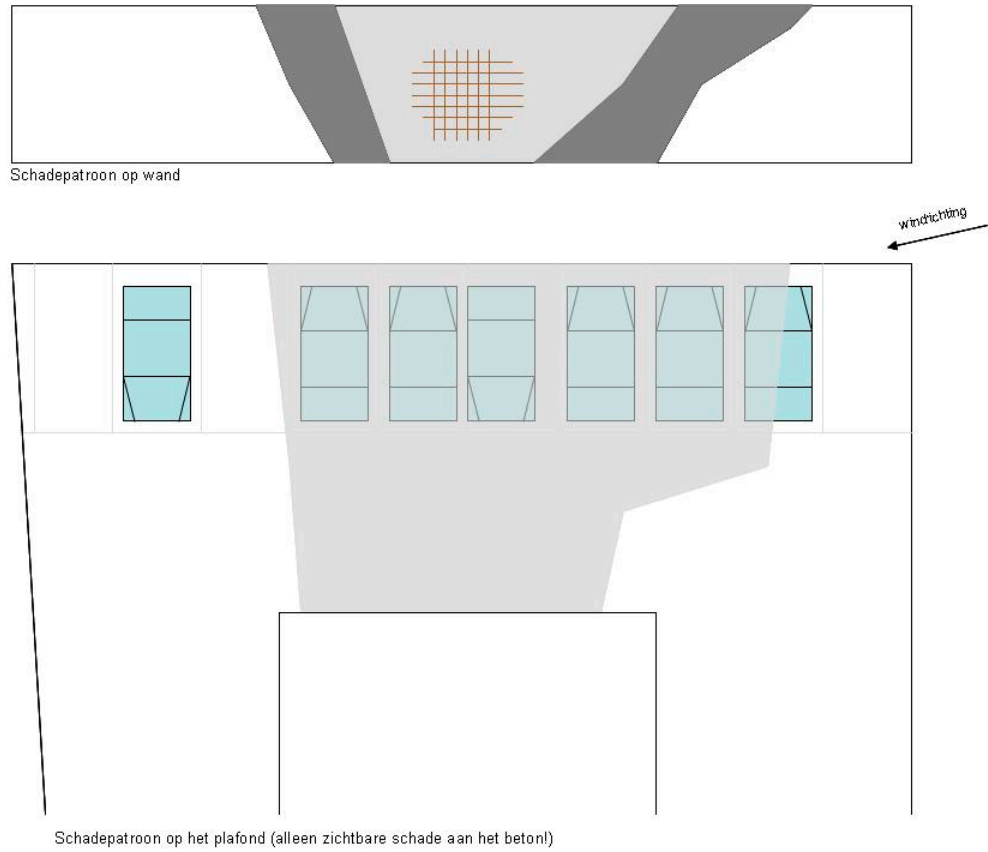
In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Binnen welke tijd heeft de brand zich ontwikkeld?
- Hoe was het brandverloop?
- Wat was de invloed van aanwezige materialen op het brandverloop?
- Wat was de aanwezige vuurbelasting?
- Wat was het maximale brandvermogen?
- Wat was de maximale temperatuur in de ruimte en in de constructie?
- Komt het brandverloop overeen met de uitgangspunten voor de regelgeving en richtlijnen?
- Wat is de oorzaak dat de brand zo groot is geworden?
- Had een brandbeveiligingsinstallatie zoals brandmelding, sprinkler of RWA kunnen voorkomen dat de brand zo groot had kunnen worden?

4.2 Ontwikkeling van de brand en het brandverloop

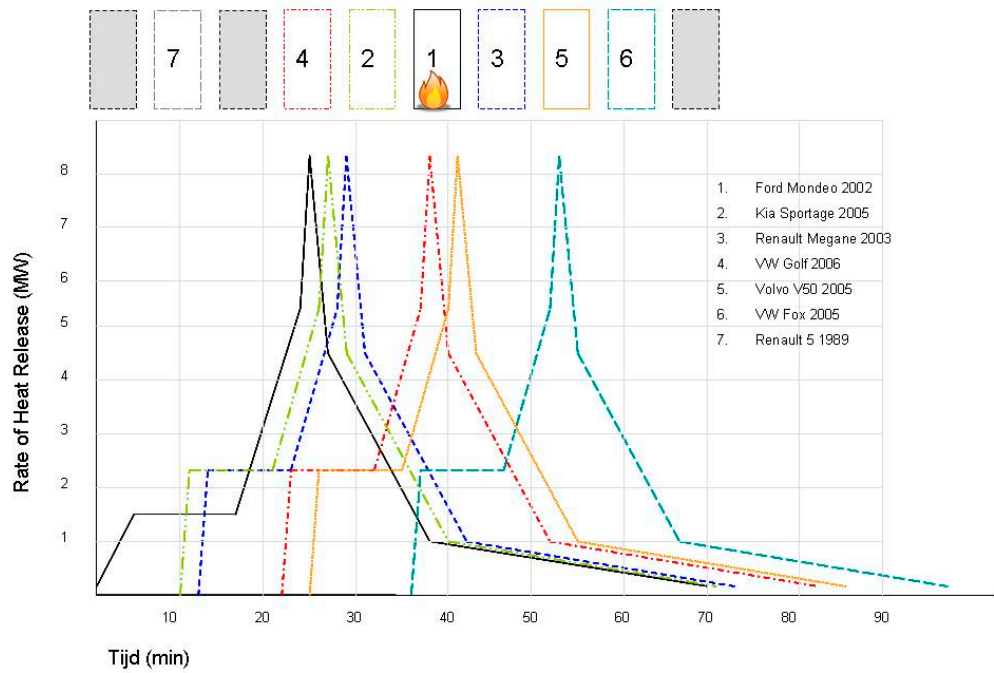
Het brandverloop kan bepaald worden aan de hand van theoretische modellen zoals de curve uit paragraaf 2.3 en op basis van de verklaringen van omstanders en brandweerpersoneel.

Uit de schade patronen op de wand en het plafond van de parkeergarage (zie figuur 5) en uit de schade aan de bij de brand betrokken voertuigen is op te maken dat de brand begonnen kan zijn in twee auto's, te weten de Kia Sportage en de Ford Mondeo. Aan de hand van de brandcurve uit paragraaf 2.3 zijn twee scenario's opgesteld waarlangs de brand zich ontwikkeld kan hebben. Deze scenario's zijn te vinden in figuur 6 en 7. In verband met de geringe afstand tussen de Ford en de Kia (<50cm) is er van uit gegaan dat brandoverslag tussen deze auto's eerder heeft plaats gevonden dan te verwachten is op basis van de brandcurves waarbij uitgegaan wordt van een tussenafstand van 70cm. Deze vermogenscurves zijn theoretische modellen gebaseerd op eerder genoemde brandproeven en wijken per definitie af van het daadwerkelijke brandverloop. Met het toepassen van de modellen is het echter wel mogelijk om een globaal beeld te schetsen van de wijze waarop de brand in de garage zich heeft ontwikkeld. Zoals al eerder in hoofdstuk 2 is aangegeven is de gebruikte curve gebaseerd op een gemiddelde auto (categorie 3).

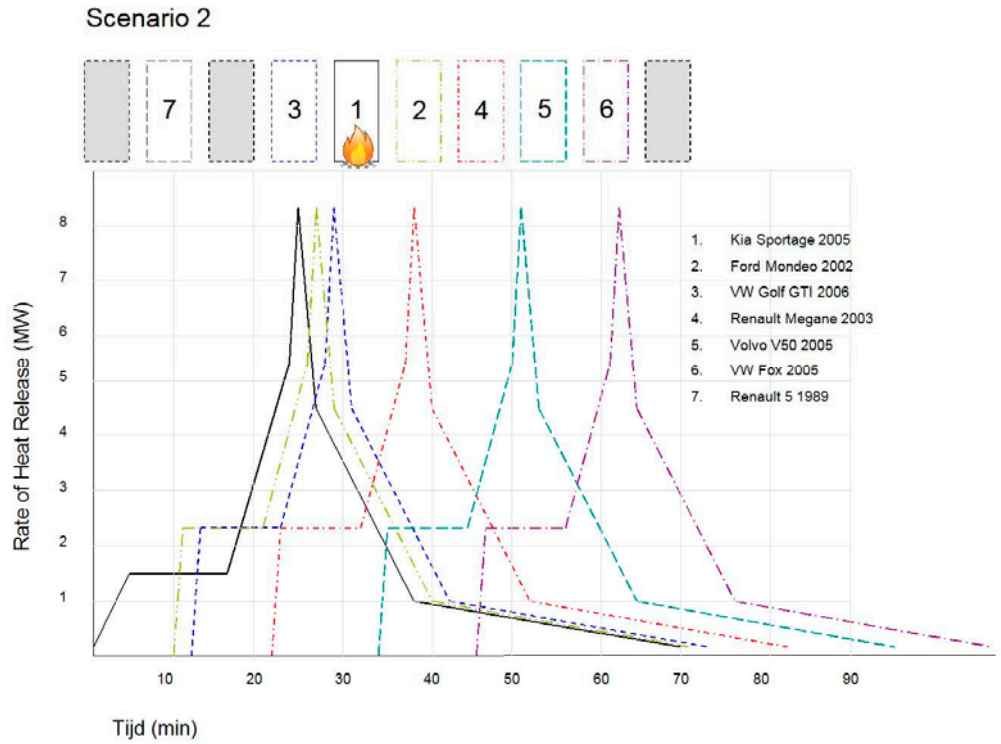


Figuur 5: Schadepatronen

Scenario 1

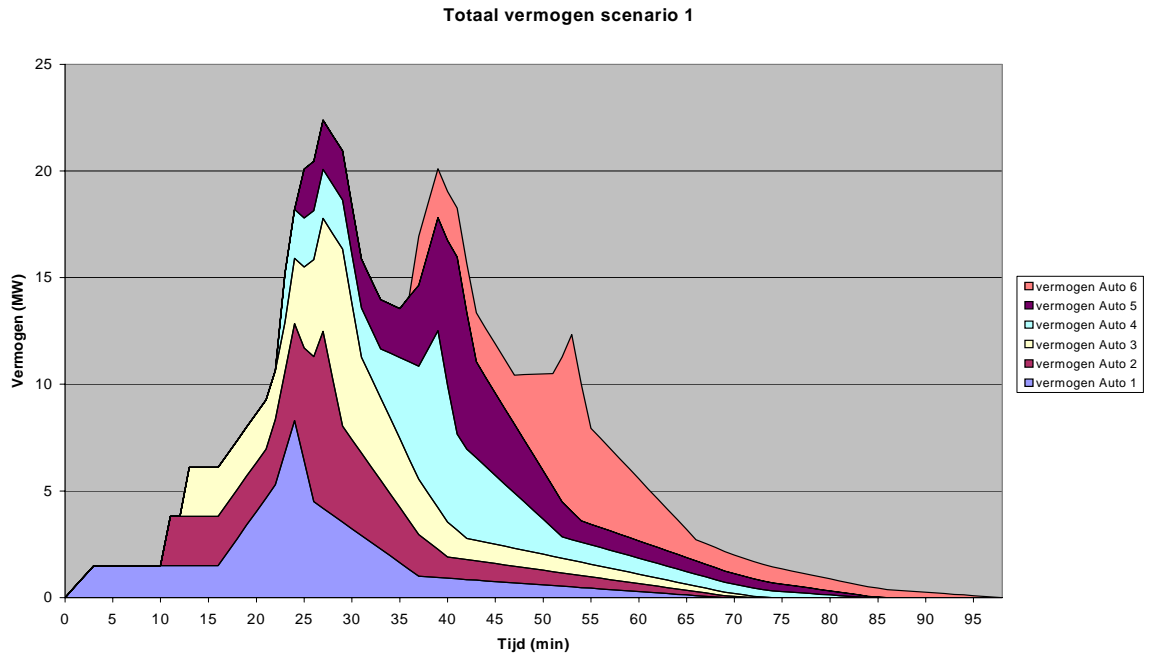


Figuur 6: Brandscenario 1

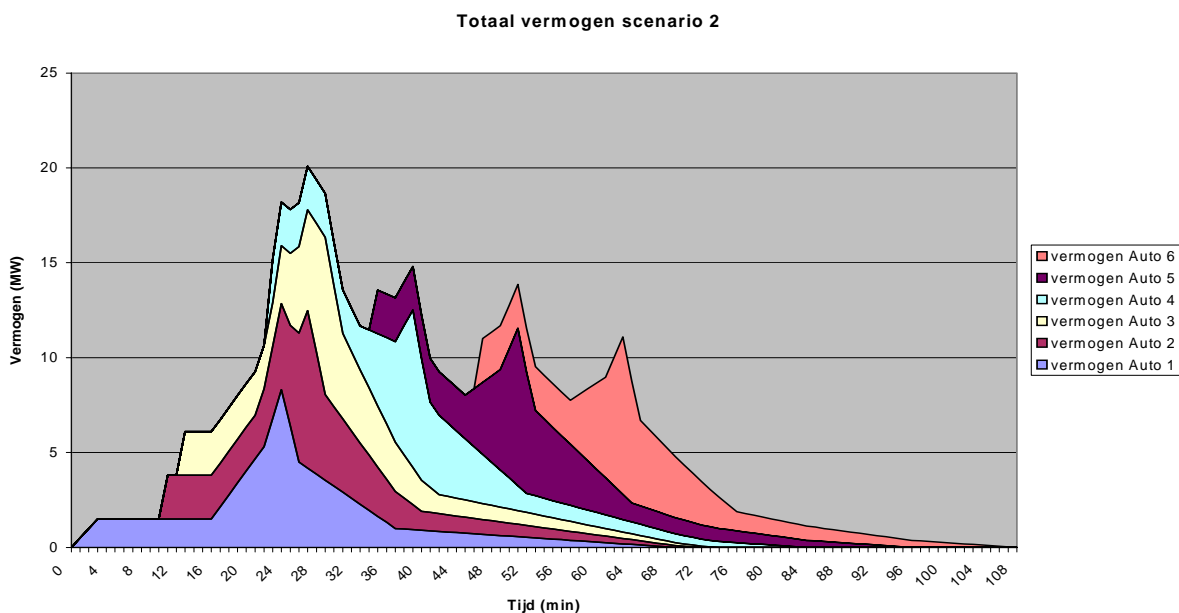


Figuur 7: Brandscenario 2

In figuur 8 en 9 staat het totale vermogen dat tijdens de brand vrijgekomen kan zijn volgens respectievelijk scenario 1 en 2 weergegeven. Het vermogen komt hierbij niet op één plaats vrij, maar verdeeld over de ruimte.



Figuur 8: Totaal brandvermogen scenario 1



Figuur 9: Totaal brandvermogen scenario 2

Het brandverloop in relatie tot het optreden van de brandweer en het normatief brandverloop wordt in beeld gebracht met behulp van tabel 3 en 4. In deze tabellen is het tijdstip van de melding gekoppeld aan de meldtijd volgens het normatief brandverloop. Het theoretisch brandverloop is gerelateerd aan het normatief brandverloop gestart op 13 minuten voor de melding.

Tabel 3

Tijd (minuten)	Incident tijd	Theoretisch brandverloop (scenario 1)	Inzet Brandweer	Ontruiming	Normatief brandverloop	
					Inzet Brandweer	Ontruiming
0	04.16-x	Ontstaan brand auto 1			Ontdekkingstijd	Ontdekkingstijd
10		Ontstaan brand auto 2				
12		Ontstaan brand auto 3				
13	04.16		1 ^e melding	1 ^e interne alarmering	Meldtijd	Alarmeringstijd
14	04.17		Alarmering TS 23-1			
15					Opkomsttijd	Ontruimingstijd
20	04.22		TS 23-1 Ter Plaats			
22	04.24	Ontstaan brand auto 4	NB: Middel brand			
23	04.25		NB: Grote brand		Inzettijd	
24		Ontstaan brand auto 5				
30	04.32		Inzet via droge stijgleiding		Red/blustijd	
36		Ontstaan brand auto 6				
40						Ontruiming voltooid
46	04.48		Inzet waterkanon blusboot	Ontruiming voltooid		
59	05.01		Begin nablustijd			
60+X					Nablustijd	Nazorgtijd

Gebeurtenissen overzicht gerelateerd aan scenario 1.

Tabel 4

Tijd (minuten)	Incident tijd	Theoretisch brandverloop (scenario 2)	Inzet Brandweer	Ontruiming	Normatief brandverloop	
					Inzet Brandweer	Ontruiming
0	04.16-x	Ontstaan brand auto 1			Ontdekkingstijd	Ontdekkingstijd
10		Ontstaan brand auto 2				
12		Ontstaan brand auto 3				
13	04.16		1 ^e melding	1 ^e interne alarmering	Meldtijd	Alarmeringstijd
14	04.17		Alarmering TS 23-1			
15					Opkomsttijd	Ontruimingstijd
20	04.22		TS 23-1 Ter Plaats			
22	04.24	Ontstaan brand auto 4	NB: Middel brand			
23	04.25		NB: Grote brand		Inzettijd	
30	04.32		Inzet via droge stijgleiding		Red/blustijd	
34		Ontstaan brand auto 5				
40						Ontruiming voltooid
46	04.48	Ontstaan brand auto 6	Inzet waterkanon blusboot	Ontruiming voltooid		
59	05.01		Begin nablusfase			
60+X					Nablustijd	Nazorgtijd

Gebeurtenissen overzicht gerelateerd aan scenario 2.

Waarnemingen brandweer.

Door de bevelvoerder van de brandweer is aangegeven dat er bij aankomst bij het pand uit 2 gevelopeningen uitslaande vlammen zichtbaar waren. Op de brandverdieping was door de rookontwikkeling weinig zicht. Vermoedelijk brandden er bij aankomst van de brandweer 2 a 3 auto's.

De 6^e auto is slechts gedeeltelijk verbrand ($\pm 75\%$). Dit komt overeen met het brandverloop volgens scenario 1, waarbij de blussing door de blusboot wordt ingezet op het moment dat de brand in auto 6 ongeveer 10 minuten aan de gang is.

Opvallend aan beide scenario's is dat de ontwikkeling van de werkelijke brand sterke overeenkomsten vertoont met de op basis van proeven opgestelde modellen. Ook het normatief brandverloop vertoont sterke gelijkenissen met het werkelijke verloop van de inzet van de brandweer en de ontruiming van het gebouw.

Worstcase scenario

Op de bewuste brandverdieping waren 10 parkeerplaatsen beschikbaar. Van deze parkeerplaatsen waren er 3 niet in gebruik. Het is niet ondenkbaar dat de brand groter geweest zou zijn wanneer alle plaatsen bezet zouden zijn. In dat geval was vrijwel zeker de auto naast de Golf GTI deel gaan nemen aan de verbranding. Ook de Renault 5 had in dat geval voor een groot deel aan de verbranding deel kunnen nemen. Dit betekent dat het worstcase scenario een brand met 8 auto's had kunnen zijn.

4.3 Temperaturen

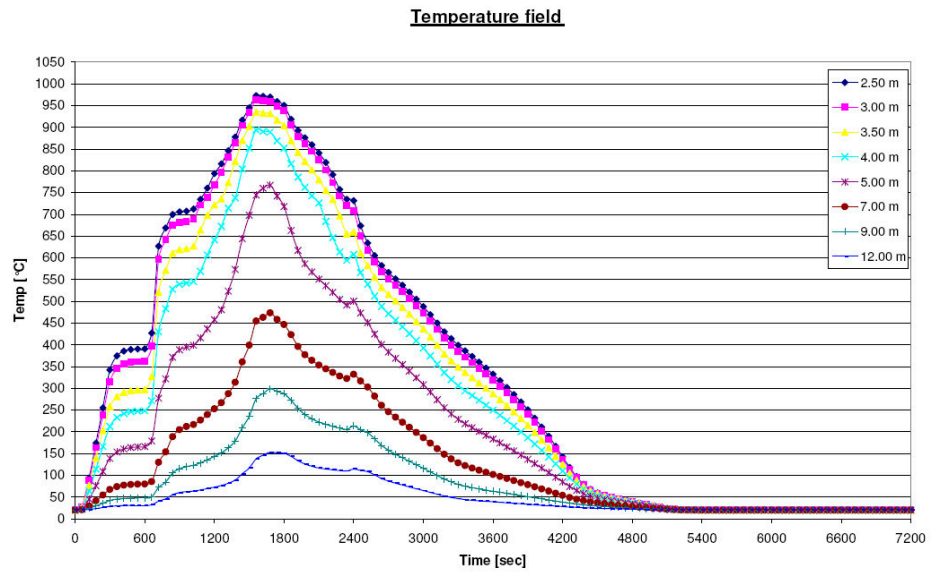
De bij de brand opgetreden temperaturen zijn niet nauwkeurig te bepalen. Op basis van de aangetroffen verkleuring van de gevel, zoals te zien is in figuur 10 kan aangenomen worden dat de temperatuur op de gevel waarschijnlijk niet meer dan 1000°C is geweest.



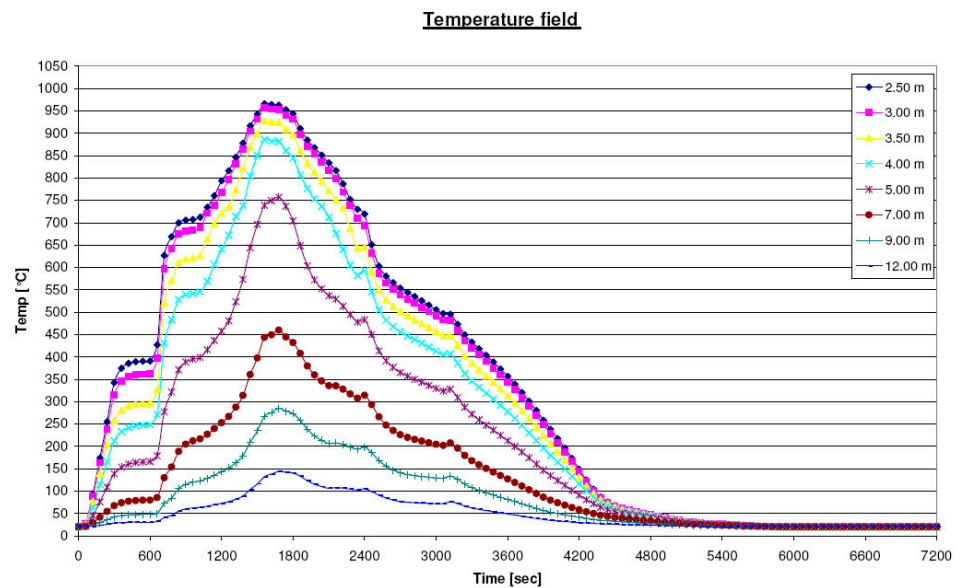
Figuur 10: Verkleuring van het beton

Aan de hand van het rekenmodel CaPaFi versie 2.0 (Car Park Fire) van DIFISEK is voor de twee hiervoor beschreven scenario's een temperatuurverloop bepaald.

Figuur 11 geeft het temperatuurverloop van scenario 1 weer en figuur 12 geeft het temperatuurverloop van scenario 2 weer. Opvallend is dat het verschil in temperatuur slechts enkele graden is. In de grafieken wordt de temperatuur aan het plafond (2,4m hoog) in relatie tot de tijd en de afstand tot de brand weergegeven.



Figuur 11: Temperatuurverloop scenario 1



Figuur 12: temperatuurverloop scenario 2

De grafiek van beide scenario's loopt van 0 tot 1000 seconden vrijwel gelijk met de standaard brandkromme. Van 1000 tot 2000 seconden is er sprake van een hogere temperatuur en na 2000 seconden wordt de temperatuur in de gemodelleerde brand lager dan de standaard brandkromme.

4.4 Vuurbelasting

Variabele vuurbelasting.

Zoals eerder al genoemd wordt, op basis van de door het NIFV uitgegeven lijst met verbrandingswaarden, bij het bepalen van de vuurbelasting uitgegaan van 5020MJ per auto.

In tabel 5 zijn de in de garage aanwezige voertuigen ingedeeld in de categorieën zoals deze bepaald zijn in het onderzoek genoemd in hoofdstuk 2. Voor de werkelijke verbrandingswaarde moeten de waarden uit de tabel vermenigvuldigd worden met een efficiëntiefactor van 0,7. (Niet alle materialen verbranden volledig. De efficiëntiefactor geeft aan in welke mate het brandbare materiaal in een auto deelneemt aan de verbranding)

Tabel 5

Categorie 1	Categorie 2	Categorie 3	Categorie 4	Categorie 5
6000MJ (4200MJ)	7500MJ (5250MJ)	9500MJ (6650MJ)	12000MJ (8400MJ)	12000MJ (8400MJ)
VW Fox Renault 5		VW Golf Ford Mondeo	Renault Megane Volvo V50	Kia Sportage

De in de garage aanwezige auto's ingedeeld in de categorieën van het onderzoek.

Tabel 6

	2100m ² (hele garage)	310m ² (verdieping)	115m ² (10 parkeervakken)
5020MJ / auto	7,5 kg vh/m ²	6 kg vh/m ²	23 kg vh/m ²
6650MJ / auto	10 kg vh/m ²	7,9 kg vh/m ²	30,4 kg vh/m ²

In tabel 6 staat de variabele vuurbelasting voor de parkeergarage aan de Lloydstraat weergegeven uitgaande van de waarden uit de lijst van het NIFV en uitgaande van de waarden uit het eerder genoemde onderzoek.

Permanente vuurbelasting.

De permanente vuurbelasting in de parkeergarage is zeer laag. Buiten enkele TL armaturen, PE of PP rioolbuizen en de pui tussen de garage en het liftportaal zijn er geen constructieonderdelen aanwezig die een bijdrage aan de brand hebben kunnen leveren. Aan de dunne asfaltlaag op de vloer is tot vlak naast de uitgebrande voertuigen geen schade te zien (NB de strepen tussen de parkeervakken zijn nog intact). Er wordt dan ook aangenomen dat de asfaltlaag niet of nauwelijks bijgedragen heeft aan het brandvermogen.

Conclusie.

Op grond van de gegevens uit de eerder genoemde onderzoeken ontstaat de indruk dat de in de uitgave van het NIFV genoemde verbrandingswaarde van 5020MJ per auto niet meer realistisch is. Aan de hand van de autoverkoopcijfers 2007 van Bovag is globaal bepaald dat de gemiddelde verbrandingswaarde van de in Nederland verkochte auto's op ongeveer 6200MJ ligt. Het verdient aanbeveling om voor een gemiddelde

verbrandingswaarde voor auto's uit te gaan van een auto in categorie 3 volgens het eerder genoemde onderzoek met een verbrandingswaarde van 6650MJ.

4.5 Het brandverloop in relatie tot regelgeving en richtlijnen

Uit de voorgaande hoofdstukken is af te leiden dat het daadwerkelijk verloop van de brand niet overeenkomt met het uitgangspunt voor het ontwerp van een natuurlijk geventileerde parkeergarage. Voor de brandwerendheid en constructieve integriteit van constructieonderdelen wordt uitgegaan van de standaard brandkromme. Op basis van de eerder genoemde onderzoeken en de geconstateerde schade aan het gebouw kan geconcludeerd worden dat de temperatuur waarschijnlijk sneller tot net onder de 1000°C is gestegen dan volgens de standaard brandkromme het geval zou zijn.

Voor het ontvluchten en de bestrijding van de brand worden aan natuurlijk geventileerde parkeergarages geen bijzondere eisen gesteld. Alle richtlijnen geven een brandverloop voor een mechanisch geventileerde parkeergarage. Uitgangspunt hierbij is dat er automatische branddetectie in de garage aanwezig is, waardoor de brandweer tijdig in kan grijpen.

Gerelateerd aan het normatief brandverloop is het verloop van de brand en de inzet van de brandweer vrijwel "volgens het boekje" gegaan. Uitgaande van de eerder uitgevoerde onderzoeken was te verwachten dat een brand in een parkeergarage uit zou kunnen breiden tot meer dan 4 auto's. Uitgaande van het in de richtlijnen aangegeven brandverloop was een uitbreiding tot meer dan 4 auto's niet te verwachten.

4.6 Brandbeveiligingsinstallaties.

De parkeergarage in Rotterdam was niet voorzien van bijzondere brandbeveiligingsinstallaties zoals een automatische brandmeld- of sprinklerinstallatie of een voorziening voor de afvoer van rook en warmte (RWA).

In deze paragraaf wordt bekeken of bovenstaande installaties een wezenlijke invloed op het verloop van de brand had kunnen hebben.

Brandmeldinstallatie

Het toepassen van automatische detectie in een gebouw zorgt ervoor dat een brand zonder tussenkomst van mensen gedetecteerd wordt. Brandmeldinstallaties worden bij voorkeur verplicht gesteld in gebouwen waar personen slapend aanwezig zijn. Uitzondering hierop zijn de eengezinswoning en een woning in een woongebouw, waarin slechts huisrookmelders verplicht gesteld worden.

In een parkeergarage onder een woongebouw is geen toezicht. Een brand kan zich dan ook met name 's nachts ongehinderd ontwikkelen. Meestal wordt een brand in deze situatie pas gemeld op het moment dat bewoners wakker worden van de geluiden van klappende banden en vallende constructieonderdelen. Volgens het normatief brandverloop is de ontdekkingstijd in dat geval 13 minuten. Het normatief brandverloop gaat er vanuit dat een automatische brandmeldinstallatie de brand ten minste 8 minuten eerder kan ontdekken. In het geval van de brand in de Lloydstraat (scenario 1) zou de brandweer ter plaatse zijn op het moment dat auto 3 begint te branden. Dit zou de brandweer aanmerkelijk meer kans gegeven hebben om de brand nog met beperkte

inzet (ITS voor de ontruiming van het gebouw, ITS + AL voor brandbestrijding) onder controle te krijgen. Automatische detectie is een uitgangspunt voor de ontwerpcurve voor mechanisch geventileerde parkeergarages zoals opgenomen in de NEN6098(ontwerp). Volgens de in dit rapport opgestelde scenario's lijkt de curve in NEN6098(ontwerp) een realistisch brandverloop weer te geven.

Een brand kan gedetecteerd worden op basis van rook, temperatuur of vlammen. In een parkeergarage kan rookdetectie leiden tot ongewenste alarmeringen. Het toepassen van rookdetectie is dan ook ongewenst! Uit het temperatuurverloop zoals weergegeven in paragraaf 4.3 kan afgeleid worden dat de brand ruim binnen 5 minuten gedetecteerd kan worden op basis van de temperatuur.

Sprinklerinstallatie

Een sprinklerinstallatie kan een eenmaal ontstane brand beheersen en/of blussen. Het is te verwachten dat een sprinklerinstallaties binnen 5 minuten geactiveerd wordt. Wanneer de sprinkler binnen 5 tot 10 minuten geactiveerd wordt blijft het brandvermogen beperkt. Het is niet aannemelijk dat de brand in een auto volledig geblust wordt. Het is te verwachten dat de brand echter wel onder controle blijft tot de brandweer gearriveerd is. Ook zal de constructie weinig tot geen schade ondervinden van de brand.

Rookbeheersing

Door het aanbrengen van een rook- en warmte afvoer installatie in een gebouw kan voorkomen worden dat de rook het vluchten belemmerd. Ook wordt de temperatuur van de rooklaag relatief koel gehouden waardoor het ontstaan van secundaire branden en bezwijken van constructieonderdelen uitgesteld dan wel voorkomen wordt. Ten slotte heeft een RWA installatie als voordeel dat het de brandweer de mogelijkheid biedt om de brand te kunnen benaderen. Omdat de rook via het dak afgevoerd wordt is een RWA installatie niet toepasbaar in de parkeergarage aan de Lloydstraat.

De in mechanisch geventileerde parkeergarages veel toegepaste stuwdruk ventilatie is een vorm van rookbeheersing. Hierbij wordt de rook in een vooraf bepaalde richting geduwd en op dat punt afgevoerd. Dit geeft de brandweer de kans om "met de wind in de rug" de brand te benaderen.

Voor het bepalen van het vermogen van de ventilatie wordt uitgegaan van een zichtlengte van 30 meter door de rook.

Bij de brand in de Lloydstraat was de afstand tussen het personeel van de brandweer en de brand slechts ± 5 m. Zelfs op deze afstand was er vrijwel geen zicht op de brand.

Wellicht had stuwdrukventilatie kunnen voorkomen dat de rook zich verspreidt in de richting van het trappenhuis. Het gedrag van de rook bij het gebruik van stuwdruk is niet eenvoudig te voorspellen door invloed van gevelopeningen en winddruk. Stuwdruk ventilatie zou in dit geval negatieve effecten kunnen hebben. Door middel van CFD simulaties zou onderzocht kunnen worden wat de mogelijkheden van ventilatie in deze parkeergarage zouden zijn. In het kader van de opdracht voor dit brandonderzoek is er geen mogelijkheid om deze simulaties uit te voeren.

4.7 Conclusies.

De exacte tijd waarop de brand ontstaan is, kan niet vastgesteld worden. Op basis van de in dit hoofdstuk gepresenteerde scenario's kan de brand een ontwikkeltijd van 13 minuten of meer gehad hebben. De ontwikkeltijd is afhankelijk van de oorzaak van de

brand. Bij een storing kan een onderdeel van de auto gedurende langere tijd smeulen voordat de brand zich verder ontwikkeld. In geval van brandstichting kan de brand zich sneller ontwikkelen dan in de scenario's is aangenomen.

De in het gebouw aanwezige materialen hebben geen wezenlijke invloed gehad op het verloop van de brand. De vuurbelasting werd gevormd door de aanwezige auto's.

De in dit rapport gebruikte modellen gaan uit van een maximaal vermogen van 8,3MW per auto. Bij elkaar opgeteld kan er een maximaal vermogen van ± 20 -23MW bij de brand zijn vrijgekomen. Dit vermogen is verdeeld over de ruimte vrijgekomen.

Aan de hand van de modellen voor autobranden in parkeergarages is een brandkromme gedefinieerd. Bij een brand als in de parkeergarage in Rotterdam lijkt de temperatuur in het begin van de brand hoger op te lopen dan de standaard brandkromme aangeeft. De duur van de brandbelasting op de constructie is korter dan de duur van de belasting volgens de standaard brandkromme.

Het brandverloop komt niet overeen met het uitgangspunt van de regelgeving en richtlijnen. Met name de uitgangspunten met betrekking tot de vuurbelasting van een auto en de toepasbaarheid van de standaard brandkromme zijn discutabel. Op grond van de regelgeving en de richtlijnen was een brand met deze omvang niet te verwachten.

De omvang en het verloop van de daadwerkelijke brand heeft sterke overeenkomsten met het theoretische scenario 1 waarbij de brand ontstaan zou zijn in de Ford Mondeo. Meer onderzoek naar praktijkbranden in parkeergarages is noodzakelijk om het hier gebruikte model te valideren.

De regelgeving voor ventilatie in natuurlijk geventileerde parkeergarages is niet gebaseerd op de omstandigheden tijdens een brand zoals in de Lloydstraat is opgetreden.

De aanwezigheid van een brandmeldinstallatie had er aan bijgedragen dat de brandweer sneller ter plaatse was geweest. Hierdoor zou de brand beperkter in omvang geweest zijn en ook minder schade aan de constructie zijn ontstaan, waardoor ook de gevolgschade voor de bewoners beperkt gebleven was.

4.8 Aanbevelingen.

- 3 Het onderzoeksteam raadt het NIFV aan om de verbrandingswaarde van auto's aan te passen aan de gemiddelde verbrandingswaarde (6650MJ) uit het onderzoek van CTICM en TNO.
- 4 Het onderzoeksteam raadt de NVBR aan om de brandweer te informeren over het mogelijk brandverloop en de omvang van een brand in een parkeergarage.
- 5 Het onderzoeksteam raadt het ministerie van VROM en BZK aan om onderzoek te laten uitvoeren naar praktijkbranden in parkeergarages en op basis van dit onderzoek zo nodig de regelgeving en richtlijnen aan te (laten) passen.

- 6 Het onderzoeksteam raadt het ministerie van VROM en BZK aan om te onderzoeken of het toepassen van branddetectie in parkeergarages onder (woon)gebouwen verplicht gesteld moet worden.
- 7 Het onderzoeksteam raadt de vergunningverlener aan om gelijkwaardige oplossingen voor parkeergarages groter dan 1000m² slechts te accepteren op basis van de aanwezigheid van een brandmeldinstallatie of automatische blusinstallatie.
- 8 Het onderzoeksteam raadt partijen aan om te onderzoeken of er andere mogelijkheden zijn voor het voorkomen van branduitbreiding, zoals brand/rookwerende schermen tussen parkeervakken aan het plafond, verhoogde randen tussen parkeervakken (voorkomen van verspreiding van motorbrandstof) e.d.

5 Opgetreden schade aan de constructie

De schade wordt apart beschreven voor liggers, gevelelementen en vloerplaten.

5.1 Gevelelementen

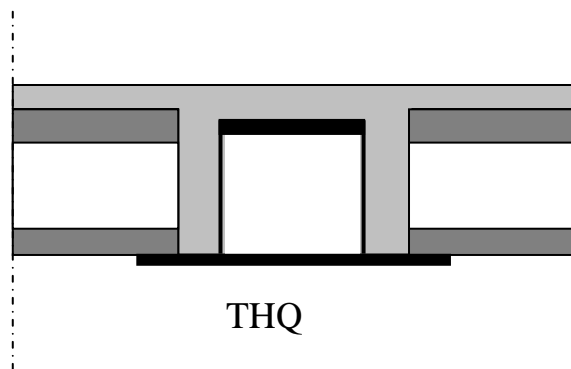
De binnenzijde van de dragende prefab gevelelementen is afgespat tot achter de wapening. Daardoor ontstaat een excentrische belasting waardoor de gevel mogelijk geneigd zal zijn om naar buiten te knikken. Dit naar buiten knikken wordt tegengegaan doordat de vloer (voor zover nog aanwezig) aan de gevel trekt. Uitknikken van de gevel geeft een grote kans op globaal bezwijken van de bovenliggende verdiepingen.



Figuur 13: aanzicht gespat betonoppervlak gevelement

5.2 Stalen liggers

De kanaalplaten zijn deels opgelegd op stalen THQ-265x6-190x15-500x15 (volgens tekening, dit is ter plaatse niet nagemeten) liggers en deels opgelegd op stalen hoekprofielen die aan de buitengevel en de wand van de stijve betonkern van het gebouw zijn bevestigd.



Figuur 14: principeschets doorsnede THQ ligger. Dit is een rechthoekige koker met aan beide zijden uitstekende onderplaat. De kanaalplaat wordt op de uitstekende onderplaat opgelegd, de voeg tussen einde kanaalplaat en zijkant THQ wordt gevuld met beton.

De onderflens van de THQ liggers c.q. het hoekprofiel was beschermd tegen brand d.m.v. brandwerende beplating. Bij de inspectie van de schade na de brand was deze bescherming nog grotendeels intact. Waarschijnlijk is door de brandwerende isolatie de temperatuur van het staal beperkt gebleven. Als de temperatuur van het staal te hoog op was gelopen, had de onderflens naar beneden kunnen uitbuigen waardoor de kanaalplaten van hun oplegging zouden kunnen glijden.

Er zijn rekenregels ontwikkeld voor het onbeschermd laten van de onderflens.⁶ Deze rekenregels zouden naar verwachting ook hebben uitgewezen dat bescherming van de onderflens noodzakelijk was. Dit is in het kader van de opdracht niet verder onderzocht.



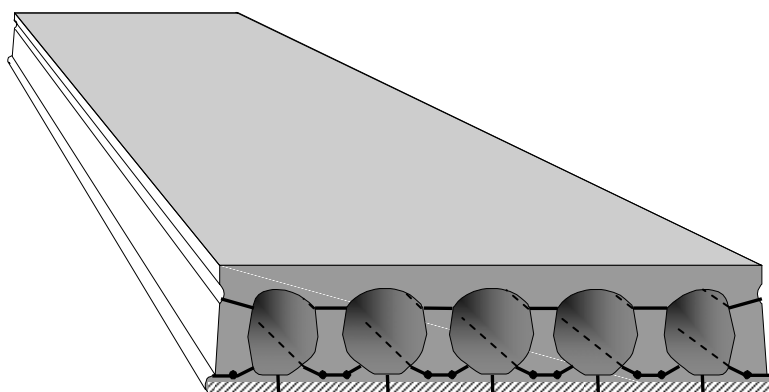
Figuur 15: stalen hoekprofiel is intact, de brandwerende beplating is nog deels aanwezig na afkoelen.

⁶ TNO-rapport 2002-CVB-R06136: Brandwerendheid van Geïntegreerde liggers (A.J. Breunese en J.H.H. Fellingner, 2002)

5.3 Kanaalplaten

De vloer is opgebouwd uit betonnen kanaalplaten met een plaathoogte van 260 mm en vijf kanalen. Onderin de plaat bevinden zich 10 strengen met diameter 12,5 mm en een betondekking van 40 mm, met een totale staaldoorsnede 930 mm^2 per plaat. Bovenin bevinden zich geen voorspanstrengen. Deze informatie is afkomstig van het “legplan berekening” aanwezig in het dossier van Bouw- en Woningtoezicht Rotterdam.

In de platen zijn grote scheuren opgetreden, die er in veel gevallen toe geleid hebben dat grote delen van de plaat naar beneden zijn gevallen. In onderstaande figuur wordt schematisch het verloop van de scheuren weergegeven.



Figuur 16: schematische doorsnede het schadebeeld in een van de kanaalplaten. Met zwarte lijnen zijn scheuren aangegeven. Het gearceerde deel is afgespat beton.



Figuur 17: afgespatte onderzijde van de kanaalplaat (iets verder van de brand vandaan). Te zien is dat de spatdiepte veelal tot aan de holle kanalen reikt.



Figuur 18: enkele strengen waren volledig uit elkaar gedraaid doordat deze uit hun bedding zijn getrokken tijdens bezwijken onderkant vloer. De meeste strengen zijn niet uit elkaar gedraaid, doordat de bedding van de streng door scheurvorming reeds verruimde.



Figuur 19: de in het diagram met groen aangegeven scheur bevindt zich op ca. 14 cm vanaf de voormalige onderzijde van de plaat.



Figuur 20: de bovenkant van de streng lag op zo'n 5 cm van de voormalige onderzijde van de vloer, dus een betondekking van ca. 4 cm.



Figuur 21: afgespat tot aan de holle kanalen, maar de voorspanstrengen zijn dan nog bedekt. (foto Bouw en Woningtoezicht Rotterdam)



Figuur 22: scheur via het vlak van de voorspanstrengen, foto nabij de opleggingen



Figuur 23: scheur leidt tot vrijkomen strengen, die soms volledig uit het beton getrokken zijn waarna de onderhelft van de plaat op een auto is gevallen



Figuur 24: gevallen onderhelft van de vloer aan het andere uiteinde. Rechtsboven steken de strengen nog in het beton boven de oplegging.



Figuur 25: in sommige gevallen is de onderhelft van de plaat nog blijven hangen doordat de strengen aan beide uiteinden wel in de opleggingen vast zijn blijven zitten

5.4 Samenvatting

De meest in het oog springende schade is de excessieve scheurvorming in de kanaalplaten. Dit gaat zowel om horizontale scheuren van kanaal naar kanaal als om verticale scheuren van het kanaal naar de onderzijde van de plaat. Daarbij is over een groot deel van de aangetaste platen het onderste deel van de vloer naar beneden gevallen. Ook de voorspanstrengen zijn losgekomen van de constructie en naar beneden gevallen.

Daarnaast is op de kanaalplaten op iets grotere afstand van de brand, evenals op de gevelelementen nabij de brand, spatschade opgetreden tot een afspatdiepte van maximaal enkele centimeters. Bij de kanaalplaten loopt de spatdiepte in veel gevallen tot aan de kanalen en bij de gevelelementen is de voorste staalwapening over grote oppervlakken bloot komen te liggen.

De stalen THQ-liggers en hoekstalen waarop de vloeren waren opgelegd, waren aan de onderzijde beschermd met een brandwerende beplating. Aan deze stalen delen is geen zichtbare schade opgetreden.

6 Gedrag van het gebouw tijdens de brand

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke constructieve schade aan het gebouw is opgetreden tijdens de brand en wordt getracht de waargenomen schade te verklaren.

Concrete vragen van de opdrachtgever zijn:

- heeft de constructie van het gebouw zich gedragen als verwacht wordt na een brand, en is dit conform de regelgeving?
- welke faalmechanismen van de constructie hadden kunnen optreden tijdens de brand?
- waardoor is de brandweerlift uitgevallen?
- Was het toevoerpunt van de droge blusleiding goed bereikbaar en toegankelijk?

6.1 Gedrag van het gebouw tijdens brand ten opzichte van de regelgeving

De constructie heeft zich tijdens de brand niet volledig gedragen zoals verwacht wordt in de regelgeving. Hieronder wordt dit in enkele paragrafen toegelicht. Daarbij is uitsluitend gekeken naar het constructieve gedrag. De ontwikkeling van de brand en de bijbehorende temperaturen in de ruimte zijn buiten beschouwing gelaten. Wel kan worden gesteld dat de in de brand opgetreden temperaturen waarschijnlijk afwijken van de standaard brandkromme, zie voor meer informatie hoofdstuk 4. Het in dat hoofdstuk berekende temperatuursverloop wijkt enigszins af van de standaard brandkromme in termen van opwarmsnelheid en maximale duur. Belangrijk feit is daarnaast dat de brandweer circa een half uur na de brand d.m.v. een op een blusboot geplaatst waterkanon de brand is gaan blussen, waardoor de duur van de brand beperkt bleef en een snelle afkoeling optrad.

6.1.1 Spatschade

Het beton van zowel de gevel als de kanaalplaatvloeren is afgespat. De spatdiepte varieert. Op de gevel is op grote delen de staalwapening volledig bloot komen te liggen. Ook op de kanaalplaatvloeren is de spatschade aanzienlijk, in sommige gevallen tot aan de diepte van de holle kanalen.

Doorgaans worden betonconstructies niet ontworpen op een verlies aan betondekking als gevolg van spatten. Ook in de beschikbare documentatie is geen informatie gevonden die erop duidt dat hiermee bij het ontwerp van het gebouw rekening zou zijn gehouden. Er mag dus van worden uitgegaan dat het ontwerp gebaseerd is op de (wellicht impliciete) aanname dat spatten niet zou optreden. In de relevante norm NEN 6071 wordt de kans op het optreden van spatten van beton omschreven met de volgende opmerking:

OPMERKING (bij artikel 6.1.2)

Een vochtgehalte groter dan 7 % (V/V) is eveneens ongunstig met betrekking tot de kans op spatten. Geacht wordt dat in gebouwen het evenwichtsvochtgehalte normaliter aanwezig is en gelijk is aan 7 % (V/V).

De achtergrond van deze opmerking is dat in gebouwen normaliter een binnenklimaat heerst, waardoor de betonconstructie altijd rond ca. 20°C is en dus zal uitdrogen tot een laag evenwichtsvochtgehalte. Beton met een hoog evenwichtsvochtgehalte is doorgaans spatgevoeliger dan droger beton.

De NEN 6071 veronderstelt dus dat spatten niet zal optreden bij beton dat zich in een gebouw(binnen)klimaat bevindt. Deze veronderstelling is gebaseerd op wellicht achterhaalde informatie. Efectis heeft uit brandproeven en praktijkshades de ervaring

dat spatten van beton in veel gevallen optreedt in situaties waar dit volgens NEN 6071 niet zou gebeuren. Naar de mening van Efectis moet de kans op spatten dan ook groter worden verondersteld dan op basis van NEN 6071 verwacht wordt.

Voor een niet verwarmde constructie (en in het bijzonder een aan de buitenlucht blootgestelde constructie) zoals in het onderhavige gebouw is het bovendien twijfelachtig of aan de in de opmerking genoemde voorwaarde wordt voldaan. Het beton wordt immers tijdens de levensduur aan een gemiddeld vochtiger klimaat blootgesteld, waardoor de poriën van het beton meer water zullen bevatten. In het onderhavige gebouw zijn geen monsters uit onaangetaste delen van de constructie genomen om het vochtgehalte van het beton te bepalen.

6.1.2 *Scheurvorming en afbreken van plaatdelen*

De grote mate van scheurvorming in de kanaalplaten wordt in de norm niet voorzien. Een berekening volgens NEN 6071 is hoofdzakelijk een berekening van de (niet spattende) doorsnede m.b.t. buigend moment. De scheuren in de kanaalplaten zijn echter hoogstwaarschijnlijk te wijten aan interne spanningen doordat er grote temperatuursverschillen zijn tussen het direct verhitte betonoppervlak en het achterliggende koude beton, en doordat het verhitte beton zijdelings niet vrij kan vervormen. Dergelijke effecten worden in de berekening volgens NEN 6071 niet beschouwd.

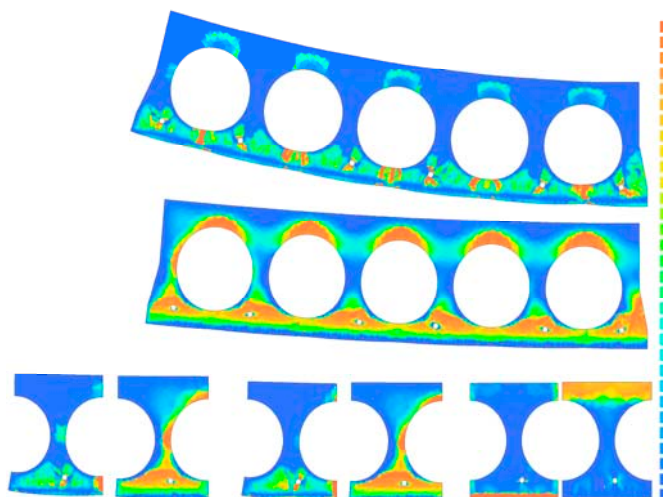
6.1.3 *Literatuur m.b.t. brandwerendheid van kanaalplaten*

Voor een mogelijke nadere verklaring van de opgetreden scheurvorming, is naast de vigerende regelgeving, ook andere relevante documentatie geraadpleegd.

In bestaande onderzoeksrapporten zijn de waargenomen bezwijkvormen vaak niet beschreven. In veel gevallen is slechts beproefd tot aan de gewenste brandwerendheid en niet tot en met het moment van bezwijken. Verder worden in gangbare brandproeven uitsluitend afzonderlijke constructiedelen onderzocht. Eventuele verhindering van thermische uitzetting door omliggende delen (naastgelegen platen, druklaag) wordt dus niet meegenomen.

Het meest relevant is het recente internationaal gepubliceerde werk van dr.ir. J.H.H. Fellingner. Hij heeft in zijn promotieonderzoek⁷ gekeken naar bezwijken van kanaalplaatvloeren op dwarskracht en op verankering van de strengen. Scheurvorming vergelijkbaar met de in het gebouw aan de Lloydstraat waargenomen schade is door hem voor een vergelijkbaar vloertype ook theoretisch bepaald, maar was geen hoofddoel van het onderzoek. Hij wijt deze scheurvorming aan verhinderde vervorming in dwarsrichting. Aan het slot van zijn proefschrift schrijft hij hierover: “further research is recommended into (..) the effects of transverse restraint on the horizontal cracks at mid depth in the (..) slab.”

⁷ Fellingner, J.H.H., 2004, Shear and Anchorage behaviour of Fire Exposed Hollow Core Slabs



Figuur 26: berekening scheurvorming in dwarsrichting in een vergelijkbare kanaalplaatvloer (bron: Fellingner 2004)

Naar aanleiding van de waargenomen brandschade en de bovengenoemde aanbeveling van dr.ir. J.H.H. Fellingner is door TNO Bouw en Ondergrond rekenkundig onderzoek uitgevoerd om de waargenomen schade aan de betonnen kanaalplaatvloeren te verklaren. Dit resultaten van dit onderzoek zijn door TNO separaat gerapporteerd in TNO-rapport 2007-D-R1236/C – “Onderzoek naar het constructieve gedrag tijdens brand van een kanaalplaatvloer zoals toegepast aan de Lloydstraat te Rotterdam”.

6.1.4 Stalen delen

De stalen delen (hoekstalen en THQ liggers) waarop de kanaalplaatvloeren waren opgelegd, waren beschermd met een brandwerende beplating van 12 en 15 mm dikte. Door Efectis is niet gecontroleerd of deze dikte voldoende is voor de vereiste brandwerendheid.

De brandwerende beplating heeft er in elk geval voor gezorgd dat de stalen delen niet sterk vervormd zijn. Hierdoor zijn de kanaalplaten niet van hun opleggingen gevallen. Zonder brandwerende beplating is het goed denkbaar dat dit wel gebeurd zou zijn.



Figuur 27: bezwijken vloer door uitbuigen onderflens hoekstaal (hier niet opgetreden).

6.2 Mogelijke bezwijkvormen tijdens brand

Tijdens de brand had de constructie kunnen bezwijken doordat kanaalplaten doorbreken of van de opleggingen glijden. Dit zou een grote schokbelasting op de onderliggende

vloer geven, waardoor mogelijk voortgaand bezwijken had kunnen optreden. Er ontstaat in ieder geval een niet controleerbare situatie, waar de huidige kennis van bezwijken van constructies tekort schiet om eenduidige antwoorden op te geven. Bezwijken van één of meerdere vloerniveaus zou kunnen betekenen dat de buitengevel onvoldoende zijdelingse steun ondervindt, waardoor deze uitknikt. Daarbij zouden de bovengelegen (parkeer-, woon-)verdiepingen eveneens bezwijken zijn.

6.3 Functioneren van de brandweerlift

De brandweerlift is niet door Efectis Nederland BV gecontroleerd. Op het moment dat de vraag met betrekking tot het functioneren van de brandweerlift bij Efectis binnen kwam was de lift reeds gerepareerd en gereinigd.

Door de brandweer werd aangegeven dat de lift tijdens het incident niet meer functioneerde. Volgens de gegevens van de bouwvergunning was de lift uitgevoerd als brandweerlift.

Door Efectis Nederland BV is contact opgenomen met de installateur van de lift (Schindler). Volgens opgave van de leverancier bevindt zich in de put onderaan de liftschacht op ongeveer 0,3m van de bodem elektronische apparatuur. Zodra deze apparatuur onder water komt te staan en kortsluit stopt de lift met functioneren. Na de brand is door de leverancier geconstateerd dat de liftput tot aan de begane grond vloer vol met water stond. Het is dan ook aannemelijk dat dit de oorzaak is van het falen van de lift. NEN-EN81-72 (eisen voor brandweerliften) schrijft overigens voor dat apparatuur die zich minder dan 1 meter boven de bodem van de liftput bevindt waterdicht moet zijn.

6.4 Preventieve en preparatieve voorzieningen

Bij de repressieve inzet in de parkeergarage van Harbour Edge is geconstateerd, dat bij de noodzakelijke ontruiming van het pand één van de trappenhuisen, welke deel uitmaakt van een zogenaamd “geweven trappenhuis”, niet meer bruikbaar was voor ontvluchting. De oorzaak was gelegen in het feit dat er door de brandweer lagedruk stralen waren afgelegd vanaf de droge blusleiding in het trappenhuis naar de brandverdieping. Door de aanwezigheid van de slangen werd de rook- en brandwerende functie van het trappenhuis doorbroken, waarna deze vluchtroute werd geblokkeerd door rook.

In deze situatie is vast komen te staan dat het voor vluchtende personen welke eenmaal hebben gekozen voor een trappenhuis het onlogisch en verwarrend overkomt om tijdens het vluchten te wisselen van trappenhuis. De brandweer was dan ook genoodzaakt om de slangen tijdelijk terug te trekken tot in het trappenhuis en de inzet op de brandverdieping uit te stellen tot de bewoners van het pand de brandverdieping gepasseerd waren.

Het voorgaande geeft aanleiding om de discussie te heropenen om in geval van toepassing van een “geweven trappenhuisen” in bouwwerken met een vloer gelegen boven de 20 meter boven het aansluitende terrein deze trappenhuisen te voorzien van een voorportaal, daar waar dit momenteel in het Bouwbesluit slechts boven de 50 meter verplicht wordt gesteld.

Bij toepassing van voorportalen (rooksluizen) boven de 20 meter kunnen de vereiste droge blusleiding(en) op grond van artikel 2.191 (BB) in de rooksluis worden geplaatst

(hiermee aansluiting gevonden met de NEN 1594) en zal het vluchten niet gehinderd worden door de inzet van de brandweer en het gebruik van de droge blusleiding daarbij.

6.5 Conclusies

Optreden van betonspatten wordt bij veel praktijkbranden waargenomen, ook in situaties waarin spatten volgens NEN 6071 niet als probleem zou worden aangemerkt. Bovendien blijkt de opmerking uit NEN 6071, dat het evenwichtsvochtgehalte in gebouwen geacht wordt zodanig laag te zijn dat de kans op spatten beperkt is, in de praktijk zeer ruim te worden geïnterpreteerd. Ook bij onverwarmde of aan het buitenklimaat blootgestelde ruimtes (zoals parkeergarages) wordt aangenomen dat het “een gebouw is” en dat spatten dus niet optreedt.

Het verdient aanbeveling om ten minste te beoordelen of het beton zich inderdaad bevindt in een verwarmde binnenruimte. Voor een onverwarmde of buitenruimte zou onderbouwd moeten worden dat de constructie niet spat. Voor een verwarmde binnenruimte zal de kans op spatten kleiner zijn, maar ook daar is spatschade bij brand zeker niet uitgesloten.

Thermische scheurvorming treedt op in alle aan brand blootgestelde betonconstructies. In de meeste gevallen is het beton gewapend (bovenwapening, onderwapening en beugels) waardoor deze scheurvorming niet direct tot grote schade of bezwijken leidt. Bovendien bevindt deze scheurvorming zich in het inwendige van het beton en is aan de oppervlakte vaak nauwelijks waar te nemen. Bij grotendeels ongewapende betonconstructies (zoals elementen met alleen voorspanning in lengterichting) zou moeten worden aangetoond dat thermische scheurvorming niet tot bezwijken leidt. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de samenhang van constructiedelen; de thermische spanningen worden sterk beïnvloed door de eventuele verhinderde vervorming als gevolg van de aanwezigheid van naastgelegen elementen of bijvoorbeeld een druklaag.

Het is aannemelijk dat het falen van de lift te wijten is aan de hoeveelheid bluswater die in het gebouw gestroomd is. In het geval van de brand aan de Lloydstraat is door de inzet van een blusboot een extreme hoeveelheid bluswater het gebouw ingelopen. Een waterstand van 0,3m in een liftput is echter bij een “normale” brandweerinzet ook te verwachten.

Door het ontbreken van een voorportaal voor het trappenhuis ontstond een situatie waarbij de rook in het trappenhuis terecht kwam en daardoor het vluchten van de bewoners verhinderde.

6.6 Aanbevelingen

- 9 Het onderzoeksteam raadt de normcommissie m.b.t. NEN 6071 aan om bij artikel 6.1.2 te specificeren dat bij onverwarmde en aan buitenklimaat blootgestelde constructiedelen niet zonder meer mag worden aangenomen dat spatten niet optreedt, te vermelden welke maatregelen genomen kunnen worden en welke bewijsvoering daar bij hoort.
- 10 Het onderzoeksteam raadt de normcommissie m.b.t. NEN 6071 aan om onderzoek uit te voeren naar de gevolgen van scheurvorming bij brand door thermische

gradiënten in ongewapende en licht gewapende betonconstructies, mede onder invloed van belastingen en verhinderde vervorming.

- 11 Het onderzoeksteam raadt de normcommissie m.b.t. NEN-EN81-72 aan om te onderzoeken of het noodzakelijk is om de grens van 1 m, zoals genoemd in de norm, te verhogen.
- 12 Het onderzoeksteam raadt de NVBR aan om brandweerkorpsen te informeren over de risico's van het gebruik van een brandweerlift.
- 13 Het onderzoeksteam raadt het ministerie van VROM aan om in overleg met de NVBR te onderzoeken of aanpassing van het Bouwbesluit met betrekking tot de aanwezigheid van voorportalen voor trappenhuizen die een hoogte van meer dan 20m overbruggen noodzakelijk is.

7 Gedrag van het gebouw na de brand.

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op het constructiegedrag tijdens de afkoelfase en na afloop van de brand. Door opdrachtgever werden de volgende vragen gesteld:

- heeft de gevolgde blusactie bijgedragen aan het bezwijken van de kanaalplaten?
- houdt de regelgeving rekening met effecten na een brand?
- heeft de constructie van het gebouw zich gedragen zoals verwacht wordt na een brand?
- welke faalmechanismen van de constructie hadden kunnen optreden na de brand?
- is het te achterhalen hoe instabiel het gebouw was na de brand?

7.1 Invloed blusactie op constructieve schade

Het is onbekend in welke mate blussen met water schade aan beton kan veroorzaken. Hoewel sommige experts menen dat tijdens blussen spatschade optreedt, is dit nooit experimenteel onderzocht onder gecontroleerde omstandigheden.

Uit het verslag van de brandweer Rotterdam bleek dat men de (tweede) inzet gestaakt heeft omdat men geknal en gekraak van de constructie hoorde. Pas daarna is de blusboot ingezet. Het spatten en scheuren (geknal en gekraak) was dus al bezig toen de blusboot nog niet was ingezet. Dit duidt erop dat de constructieve schade in elk geval ook al optrad voordat de blussing was ingezet.

7.2 Afkoelfase in de regelgeving

De regelgeving houdt geen rekening met effecten tijdens de afkoelfase. In de afkoelfase beginnen constructiedelen doorgaans te krimpen (ze zijn immers veelal geëxpandeerd tijdens verhitten) en deze krimp kan tot trekspanningen leiden, die met name in verbindingen tot schade kunnen leiden. Dit laatste speelt meer bij staal- dan bij betonconstructies en lijkt in het gebouw aan de Lloydstraat ook geen problemen te hebben opgeleverd. Aan het roetpatroon op de kanaalplaten was te zien dat deze niet door krimp een stukje van hun opleggingen zijn afgegleden.

Wel lijkt het erop dat tijdens afkoelen het proces van scheurvorming in de kanaalplaten nog is voortgegaan, sommige delen van de vloerplaten zijn immers pas enkele uren na het blussen naar beneden gevallen, zie ook figuren 28 en 29. Dit kan te maken hebben met het feit dat de warmte verder doordringt in de constructie. Terwijl het oppervlak van de constructie al weer aan het afkoelen is zal de reeds in de constructie opgenomen warmte zich deels ook verder de constructie in verplaatsen.



Figuur 28: foto genomen om 06.46uur (bron: Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond)



Figuur 29 foto genomen om 09.01 uur (bron: Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond)

Met effecten tijdens de afkoelfase wordt in de regelgeving op geen enkele wijze rekening gehouden. Ten eerste wordt de vorming van thermische scheuren niet beschouwd (noch tijdens opwarming, noch tijdens afkoelen). Ten tweede wordt de brandwerendheid bepaald aan de hand van het theoretisch temperatuurverloop volgens de standaard brandkromme. Deze brandkromme beschrijft een continu stijgende temperatuur, waarbij op enig moment de daaraan blootgestelde constructie zal bezwijken. Indien bezwijken (nog) niet is opgetreden na een periode van 30, 60, 90 of 120 minuten wordt gesproken van “brandwerendheid”. De fase na het bereiken van deze theoretische brandwerendheidstijd wordt niet beschouwd waardoor effecten als het verder doorwarmen van de constructie of juist het afkoelen van de constructie buiten beeld blijven.

7.3 Stabiliteit na brand

Het is bijzonder moeilijk om algemene regels te geven voor het beoordelen van de stabiliteit van een gebouw na brand. Deze hangt namelijk volledig af van de constructie, de aard van de brand en de opgetreden schade.

In het onderhavige gebouw was vooral van belang of de dragende gevel nog voldoende sterk was en voldoende zijdelings gesteund was. De gevel was afgespat tot op de wapening maar omdat de gevelementen tamelijk dik zijn hoeft dit nog niet direct tot bezwijken te leiden. Van de kanaalplaatvloer kan worden gesteld dat deze bijzonder instabiel was na de brand, en dat het een verstandige keuze is geweest om deze te ondersteunen (hoewel dat een gevaarlijke klus is).

7.4 Conclusies

Tijdens de afkoelfase kunnen belangrijke effecten optreden in de constructie. Afkoelingskrimping van (tijdens de verhitting geëxpandeerde) constructiedelen kan leiden tot grote spanningen in de constructie die in principe tot bezwijken kunnen leiden. Daarnaast kan bij constructies met een grote warmtecapaciteit en lage warmtegeleiding (zoals betonconstructies) ook tijdens de afkoelfase de reeds in de constructie opgenomen warmte dieper in de constructie doordringen, waardoor de thermische spanningsverdeling wijzigt. Dit kan waarschijnlijk leiden tot extra scheurvorming en bezwijken van constructiedelen.

De invloed van versneld afkoelen (blussen) op dergelijke processen is grotendeels onbekend.

Door middel van toepassing van het “natuurlijk brandconcept” (natural fire safety concept, NFSC) wordt een brand meer realistisch beschouwd, met een ontwikkelfase, een volledig ontwikkelde brand en ten slotte een afkoelfase. Ontwerp van een constructie met behulp van NFSC kan, mits goed uitgevoerd, inzicht verschaffen in de constructieve effecten tijdens afkoelen. Daarbij is het van belang dat de brand in de ruimte op correcte wijze wordt gemodelleerd (vuurbelasting, ontwikkelsnelheid etc.) en dat de constructie niet in afzonderlijke delen maar als een samenhangend geheel wordt beschouwd. De samenhang tussen constructiedelen kan immers ook tijdens de afkoelfase voor grote inwendige spanningen zorgen.

De stabiliteit na brand kan alleen worden beoordeeld indien inzicht bestaat in de draagwerking van het gebouw. Dit inzicht valt lastig te verkrijgen uit de normaliter beschikbare documentatie. Daarnaast is het doorgaans van belang dat deze informatie snel beschikbaar komt, indien nodig zouden immers zo snel mogelijk na de brand maatregelen genomen moeten worden om de constructie te ondersteunen. De

constructeur van een gebouw zou bij het constructieve ontwerp aanvullende scenario's kunnen doorrekenen met bepaalde bezwaken of verzwakte constructiedelen, om beter op de "beschadigde situatie" voorbereid te zijn.

7.5 Aanbeveling

14 Het onderzoeksteam raadt de brandweer aan om bij het nablussen en bij het uitvoeren van overige activiteiten in een betonnen gebouw binnen enkele uren na de brand, rekening te houden met de mogelijkheid dat in de constructie ook tijdens de afkoelfase spanningen kunnen opbouwen en vervormingen of verplaatsingen kunnen optreden.

8 Conclusies en aanbevelingen.

In dit hoofdstuk zijn de conclusies en aanbevelingen uit de verschillende hoofdstukken samengevat.

8.1 Conclusies m.b.t. het ontwerp van de parkeergarage

Naast het bouwbesluit zijn slechts richtlijnen beschikbaar voor het ontwerpen van parkeergarages. Deze richtlijnen zijn geen wettelijke eisen tenzij zij worden aangewezen in landelijke, provinciale of lokale wetten, besluiten of verordeningen. Aan een natuurlijk geventileerde parkeergarage worden geen bijzondere eisen gesteld.

De regelgeving geeft geen vooraf gedefinieerde vuurbelasting en/of brandvermogen voor parkeergarages. De richtlijnen voor mechanische geventileerde parkeergarages gaan uit van het brandvermogen van drie auto's en een inzet van de brandweer 20 minuten na ontstaan van de brand.

De parkeergarage aan de Lloydstraat voldoet aan de uitgangspunten voor een natuurlijk geventileerde parkeergarage. Ook voldoet de garage aan de voorschriften uit het Bouwbesluit met uitzondering van de compartimentsgrootte.

De richtlijnen voor mechanisch geventileerde parkeergarages zijn niet van toepassing op het gebouw aan de Lloydstraat

Een natuurlijk geventileerde parkeergarage kan niet aangemerkt worden als een "niet-besloten ruimte" volgens de definitie van het Bouwbesluit. De brandweer moet bij een inzet in een natuurlijk geventileerde parkeergarage rekening houden met slechtere omstandigheden dan in een mechanisch geventileerde parkeergarage.

Voorgespannen beton is een veel toegepaste constructiemethode. De brandwerendheid van beton wordt aangetoond met behulp van berekeningen.

8.2 Conclusies m.b.t. het ontwerp van de constructie

Het ontwerp van het gebouw vertoont op het eerste gezicht geen bijzonderheden.

De hoofddraagconstructie onder brandomstandigheden bestaat ten minste uit de gebouwkern en de dragende gevel. Daarnaast maken ook de vloeren onderdeel uit van de hoofddraagconstructie omdat deze de samenwerking tussen gevel en gebouwkern verzorgen. Ook de stalen delen waarop de vloer is opgelegd maken onderdeel uit van de hoofddraagconstructie.

De toetsing van het gebouw is niet door Efectis gecontroleerd, omdat het hiervoor nodig zou zijn om de constructieve brandwerendheidsberekeningen na te lopen. Deze berekeningen waren, op de conclusie na, niet aanwezig in het aan Efectis ter hand gestelde dossier.

8.3 Conclusies m.b.t. het brandverloop

De exacte tijd waarop de brand ontstaan is, kan niet vastgesteld worden. Op basis van de in dit hoofdstuk gepresenteerde scenario's kan de brand een ontwikkeltijd van 13 minuten of meer gehad hebben. De ontwikkeltijd is afhankelijk van de oorzaak van de brand. Bij een storing kan een onderdeel van de auto gedurende langere tijd smeulen voordat de brand zich verder ontwikkeld. In geval van brandstichting kan de brand zich sneller ontwikkelen dan in de scenario's is aangenomen.

De in het gebouw aanwezige materialen hebben geen wezenlijke invloed gehad op het verloop van de brand. De vuurbelasting werd gevormd door de aanwezige auto's.

De in dit rapport gebruikte modellen gaan uit van een maximaal vermogen van 8,3MW per auto. Bij elkaar opgeteld kan er een maximaal vermogen van ± 20 -23MW bij de brand zijn vrijgekomen. Dit vermogen is verdeeld over de ruimte vrijgekomen.

Aan de hand van de modellen voor autobranden in parkeergarages is een brandkromme gedefinieerd. Bij een brand als in de parkeergarage in Rotterdam lijkt de temperatuur in het begin van de brand hoger op te lopen dan de standaard brandkromme aangeeft. De duur van de brandbelasting op de constructie is korter dan de duur van de belasting volgens de standaard brandkromme.

Het brandverloop komt niet overeen met het uitgangspunt van de regelgeving en richtlijnen. Met name de uitgangspunten met betrekking tot de vuurbelasting van een auto en de toepasbaarheid van de standaard brandkromme zijn discutabel. Op grond van de regelgeving en de richtlijnen was een brand met deze omvang niet te verwachten.

De omvang en het verloop van de daadwerkelijke brand heeft sterke overeenkomsten met het theoretische scenario 1 waarbij de brand ontstaan zou zijn in de Ford Mondeo. Meer onderzoek naar praktijkbranden in parkeergarages is noodzakelijk om het hier gebruikte model te valideren.

De regelgeving voor ventilatie in natuurlijk geventileerde parkeergarages is niet gebaseerd op de omstandigheden tijdens een brand zoals in de Lloydstraat is opgetreden.

De aanwezigheid van een brandmeldinstallatie had er aan bijgedragen dat de brandweer sneller ter plaatse was geweest. Hierdoor zou de brand beperkter in omvang geweest zijn en ook minder schade aan de constructie zijn ontstaan, waardoor ook de gevolgschade voor de bewoners beperkt gebleven was.

8.4 Conclusies m.b.t. de opgetreden schade aan de constructie

De meest in het oog springende schade is de excessieve scheurvorming in de kanaalplaten. Dit gaat zowel om horizontale scheuren van kanaal naar kanaal als om verticale scheuren van het kanaal naar de onderzijde van de plaat. Daarbij is over een groot deel van de aangetaste platen het onderste deel van de vloer naar beneden gevallen. Ook de voorspanstrengen zijn losgekomen van de constructie en naar beneden gevallen.

Daarnaast is op de kanaalplaten op iets grotere afstand van de brand, evenals op de gevelelementen nabij de brand, spatschade opgetreden tot een afspatdiepte van maximaal enkele centimeters. Bij de kanaalplaten loopt de spatdiepte in veel gevallen tot aan de kanalen en bij de gevelelementen is de voorste staalwapening over grote oppervlakken bloot komen te liggen.

De stalen THQ-liggers en hoekstalen waarop de vloeren waren opgelegd, waren aan de onderzijde beschermd met een brandwerende beplating. Aan deze stalen delen is geen zichtbare schade opgetreden.

8.5 Conclusies m.b.t. het gedrag van het gebouw tijdens de brand

Optreden van betonspatten wordt bij veel praktijkbranden waargenomen, ook in situaties waarin spatten volgens NEN 6071 niet als probleem zou worden aangemerkt. Bovendien blijkt de opmerking uit NEN 6071, dat het evenwichtsvochtgehalte in gebouwen geacht wordt zodanig laag te zijn dat de kans op spatten beperkt is, in de praktijk zeer ruim te worden geïnterpreteerd. Ook bij onverwarmde of aan het buitenklimaat blootgestelde ruimtes (zoals parkeergarages) wordt aangenomen dat het “een gebouw is” en dat spatten dus niet optreedt.

Het verdient aanbeveling om ten minste te beoordelen of het beton zich inderdaad bevindt in een verwarmde binnenruimte. Voor een onverwarmde of buitenruimte zou onderbouwd moeten worden dat de constructie niet spat. Voor een verwarmde binnenruimte zal de kans op spatten kleiner zijn, maar ook daar is spatschade bij brand zeker niet uitgesloten.

Efectis raadt de normcommissie m.b.t. NEN 6071 aan om bij artikel 6.1.2 te specificeren dat bij onverwarmde en aan buitenklimaat blootgestelde constructiedelen niet zonder meer mag worden aangenomen dat spatten niet optreedt, te vermelden welke maatregelen genomen kunnen worden en welke bewijzvoering daar bij hoort.

Thermische scheurvorming treedt op in alle aan brand blootgestelde betonconstructies. In de meeste gevallen is het beton gewapend (bovenwapening, onderwapening en beugels) waardoor deze scheurvorming niet direct tot grote schade of bezwijken leidt. Bovendien bevindt deze scheurvorming zich in het inwendige van het beton en is aan de oppervlakte vaak nauwelijks waar te nemen. Bij grotendeels ongewapende betonconstructies (zoals elementen met alleen voorspanning in lengterichting) zou moeten worden aangetoond dat thermische scheurvorming niet tot bezwijken leidt. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de samenhang van constructiedelen; de thermische spanningen worden sterk beïnvloed door de eventuele verhinderde vervorming als gevolg van de aanwezigheid van naastgelegen elementen of bijvoorbeeld een druklaag.

Het is aannemelijk dat het falen van de lift te wijten is aan de hoeveelheid bluswater die in het gebouw gestroomd is. In het geval van de brand aan de Lloydstraat is door de inzet van een blusboot een extreme hoeveelheid bluswater het gebouw ingelopen. Een waterstand van 0,3m in een liftput is echter bij een “normale” brandweerinzet ook te verwachten.

Door het ontbreken van een voorportaal voor het trappenhuis ontstond een situatie waarbij de rook in het trappenhuis terecht kwam en daardoor het vluchten van de bewoners verhinderde.

8.6 Conclusie m.b.t. het gedrag van het gebouw na de brand

Tijdens de afkoelfase kunnen belangrijke effecten optreden in de constructie. Afkoelingskrimping van (tijdens de verhitting geëxpandeerde) constructiedelen kan leiden tot grote spanningen in de constructie die in principe tot bezwijken kunnen leiden. Daarnaast kan bij constructies met een grote warmtecapaciteit en lage warmtegeleiding (zoals betonconstructies) ook tijdens de afkoelfase de reeds in de constructie opgenomen warmte dieper in de constructie doordringen, waardoor de thermische spanningsverdeling wijzigt. Dit kan waarschijnlijk leiden tot extra scheurvorming en bezwijken van constructiedelen.

De invloed van versneld afkoelen (blussen) op dergelijke processen is grotendeels onbekend.

Door middel van toepassing van het “natuurlijk brandconcept” (natural fire safety concept, NFSC) wordt een brand meer realistisch beschouwd, met een ontwikkelfase, een volledig ontwikkelde brand en ten slotte een afkoelfase. Ontwerp van een constructie met behulp van NFSC kan, mits goed uitgevoerd, inzicht verschaffen in de constructieve effecten tijdens afkoelen. Daarbij is het van belang dat de brand in de ruimte op correcte wijze wordt gemodelleerd (vuurbelasting, ontwikkelsnelheid etc.) en dat de constructie niet in afzonderlijke delen maar als een samenhangend geheel wordt beschouwd. De samenhang tussen constructiedelen kan immers ook tijdens de afkoelfase voor grote inwendige spanningen zorgen.

De stabiliteit na brand kan alleen worden beoordeeld indien inzicht bestaat in de draagwerking van het gebouw. Dit inzicht valt lastig te verkrijgen uit de normaliter beschikbare documentatie. Daarnaast is het doorgaans van belang dat deze informatie snel beschikbaar komt, indien nodig zouden immers zo snel mogelijk na de brand maatregelen genomen moeten worden om de constructie te ondersteunen. De constructeur van een gebouw zou bij het constructieve ontwerp aanvullende scenario's kunnen doorrekenen met bepaalde bezwijken of verzwakte constructiedelen, om beter op de “beschadigde situatie” voorbereid te zijn.

8.7 Aanbevelingen

- 1 Het onderzoeksteam raadt de NVBR aan om brandweerkorpsen te informeren met betrekking tot de risico's van een inzet in een natuurlijk geventileerde parkeergarage.
- 2 Het onderzoeksteam raadt de NVBR en de ministeries van BZK en VROM aan om te onderzoeken op welke wijze de veiligheid voor de inzet van brandweerpersoneel in natuurlijk geventileerde parkeergarage verbeterd kan worden.
- 3 Het onderzoeksteam raadt het NIFV aan om de verbrandingswaarde van auto's aan te passen aan de gemiddelde verbrandingswaarde (6650MJ) uit het onderzoek van CTICM en TNO.
- 4 Het onderzoeksteam raadt de NVBR aan om de brandweer te informeren over het mogelijk brandverloop en de omvang van een brand in een parkeergarage.
- 5 Het onderzoeksteam raadt het ministerie van VROM en BZK aan om onderzoek te laten uitvoeren naar praktijkbranden in parkeergarages en op basis van dit onderzoek zo nodig de regelgeving en richtlijnen aan te (laten) passen.
- 6 Het onderzoeksteam raadt het ministerie van VROM en BZK aan om te onderzoeken of het toepassen van branddetectie in parkeergarages onder (woon)gebouwen verplicht gesteld moet worden.
- 7 Het onderzoeksteam raadt de vergunningverlener aan om gelijkwaardige oplossingen voor parkeergarages groter dan 1000m² slechts te accepteren op basis van de aanwezigheid van een brandmeldinstallatie of automatische blusinstallatie.
- 8 Het onderzoeksteam raadt partijen aan om te onderzoeken of er andere mogelijkheden zijn voor het voorkomen van branduitbreiding, zoals brand/rookwerende schermen tussen parkeervakken aan het plafond, verhoogde randen tussen parkeervakken (voorkomen van verspreiding van motorbrandstof) e.d.
- 9 Het onderzoeksteam raadt de normcommissie m.b.t. NEN 6071 aan om bij artikel 6.1.2 te specificeren dat bij onverwarmde en aan buitenklimaat blootgestelde constructiedelen niet zonder meer mag worden aangenomen dat spatten niet optreedt, te vermelden welke maatregelen genomen kunnen worden en welke bewijsvoering daar bij hoort.
- 10 Het onderzoeksteam raadt de normcommissie m.b.t. NEN 6071 aan om onderzoek uit te voeren naar de gevolgen van scheurvorming bij brand door thermische gradiënten in ongewapende en licht gewapende betonconstructies, mede onder invloed van belastingen en verhinderde vervorming.
- 11 Het onderzoeksteam raadt de normcommissie m.b.t. NEN-EN81-72 aan om te onderzoeken of het noodzakelijk is om de grens van 1m, zoals genoemd in de norm, te verhogen.

- 12 Het onderzoeksteam raadt de NVBR aan om brandweerkorpsen te informeren over de risico's van het gebruik van een brandweerlift.
- 13 Het onderzoeksteam raadt het ministerie van VROM aan om in overleg met de NVBR te onderzoeken of aanpassing van het Bouwbesluit met betrekking tot de aanwezigheid van voorportalen voor trappenhuisen die een hoogte van meer dan 20m overbruggen noodzakelijk is.
- 14 Het onderzoeksteam raadt de brandweer aan om bij het nablussen en bij het uitvoeren van overige activiteiten in een betonnen gebouw binnen enkele uren na de brand, rekening te houden met de mogelijkheid dat in de constructie ook tijdens de afkoelfase spanningen kunnen opbouwen en vervormingen of verplaatsingen kunnen optreden.



Ing. M.P. de Feijter



Ir. A.J. Breunese

Dit rapport wordt uitgebracht door het TNO bedrijf Efectis Nederland BV (voorheen **TNO** Centrum voor Brandveiligheid). TNO heeft besloten, ingegeven door de internationale marktontwikkelingen en klantvragen, samenwerking te zoeken met twee Europese Egolf partners, eveneens met tientallen jaren ervaring in de brandveiligheid: het Noorse **Sintef/NBL** en het Franse **CTICM**, om zodoende via schaalvergroting een breder pakket aan diensten en faciliteiten van een hoge kwaliteit aan te kunnen bieden. Daartoe zijn de brandveiligheidsactiviteiten van de betrokken instanties geprivatiseerd en in deze samenwerking gebracht. Bij TNO heeft dat beslag gekregen doordat m.i.v. 1 juli 2006, de activiteiten van het voormalige TNO Centrum voor Brandveiligheid zijn ondergebracht in Efectis Nederland BV.