



Uitbreiding parkeergarage Frontenpark

Resultaten CFD-analyse Frontenpark

Qpark

19 mei 2022

Project
Opdrachtgever

Uitbreiding parkeergarage Frontenpark
Qpark

Document
Status
Datum
Referentie

Resultaten CFD-analyse Frontenpark
Concept 01
19 mei 2022
127970/22-007.402

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

127970
ir. A.H.F. van Dijk
ir. S. Delfgaauw

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

ir. T. Bouwhuis
T.J.A. Dolle MSc
ir. A.H.F. van Dijk

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
2	ONTWERP PARKEERGARAGE FRONTENPARK	2
2.1	Parkeergebouw	2
2.2	Gevelbekleding	3
3	TOETSKADER: FLASHOVER EN TRAVELLING LOCAL FIRE	4
3.1	Flash-over	4
3.2	Travelling local fire	4
3.3	Beoordelingscriteria	4
4	UITGANGSPUNTEN CFD ANALYSE	6
4.1	Project specifieke uitgangspunten	6
4.1.1	Geometrie CFD-model	6
4.1.2	Start- en randcondities	7
4.1.3	Winddruk	7
4.1.4	Thermische randvoorwaarden	7
4.1.5	Verbrandingsmateriaal	7
4.1.6	Brandcurve	7
4.2	Overige uitgangspunten	9
4.2.1	CFD-software	9
4.2.2	Turbulentie	9
4.2.3	Discretisatie van tijd	9
4.2.4	Discretisatie van ruimte	9
5	RESULTATEN CFD ANALYSE	10
5.1	Brandverloop	10
5.2	Temperatuur ontwikkeling: ontsteking door convectie	10
5.3	Temperatuur ontwikkeling: ontsteking door straling	11
6	BEVINDINGEN	14

Laatste pagina

14

Bijlage(n)

Aantal pagina's

-

1

INLEIDING

In het kader van de VO-werkzaamheden voor het brandveiligheidsconcept van de nieuw te bouwen parkeergarage Q-Park Frontenpark in Maastricht is de natuurlijke ventilatie van het gebouw nader beschouwd.

Aanleiding

Het parkeerterrein Q-Park Frontenpark in Maastricht wordt uitgebreid met een bovengrondse parkeergarage met 3 parkeerlagen boven het maaiveldniveau (etages: BG, 1, 2 en 3). Het ontwerptraject bevindt zich nu aan het einde VO.

In de QuickScan brandveiligheid (d.d. 12 november 2021, Witteveen+Bos) is aangegeven dat het brandveiligheidsconcept nog niet op VO-niveau was uitgewerkt. Zo dient er onder andere nog te worden aangetoond dat in het vigerende ontwerp natuurlijke ventilatie een gelijkwaardige oplossing is voor brandcompartimentering (afdeling 2.10 van Bouwbesluit 2012).

Doelstelling

Om aan te tonen dat de parkeergarage Frontenpark als 'open' kan worden beschouwd, is een CFD-simulatie uitgevoerd met als doel om aan te tonen dat de parkeergarage in voldoende mate natuurlijk wordt geventileerd om flash-over condities en dus een compartimentsbrand te voorkomen.

Proces

De werkzaamheden met betrekking tot de CFD-simulatie zijn in een aantal stappen uitgevoerd:

- er is een uitgangspuntennotitie opgesteld, met hierin de uitgangspunten ten aanzien van de geometrie, modelaannames, brandscenario et cetera, in functie van de CFD-analyse;
- de uitgangspunten zijn overeengekomen met OG/Bevoegd gezag;
- het daadwerkelijke CFD-model is opgezet en doorgerekend;
- de resultaten worden gepresenteerd in onderhavige rapportage.

Beschikbare documentatie

Er was geen 3D-model van de parkeergarage beschikbaar. Het CFD-model is zodoende opgezet vanuit de beschikbare tekeningenset van MH1 Architecten (update VO d.d. 29-03-2022).

Afstemming met bevoegd gezag

Na het opstellen van de uitgangspunten zijn deze op 13 april 2022 overeengekomen met Brandweer Zuid-Limburg en Gemeente Maastricht (Bevoegd gezag).

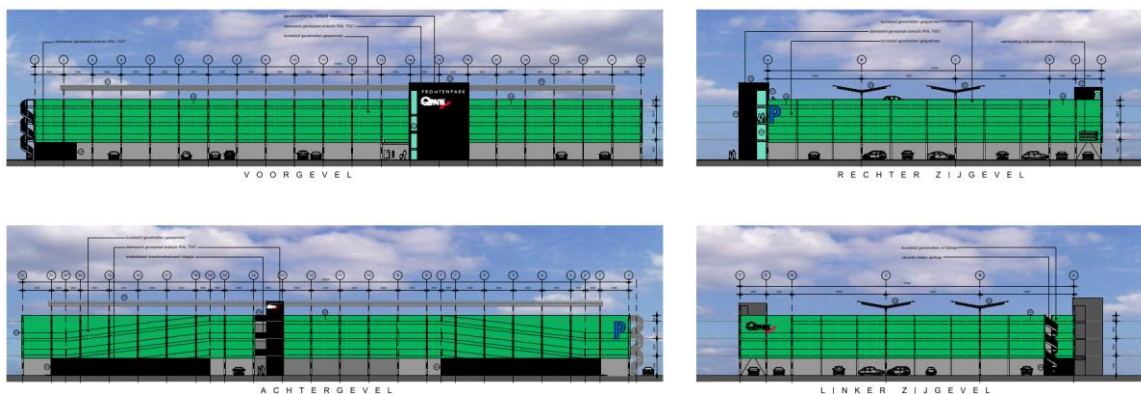
2

ONTWERP PARKEERGARAGE FRONTENPARK

2.1 Parkeergebouw

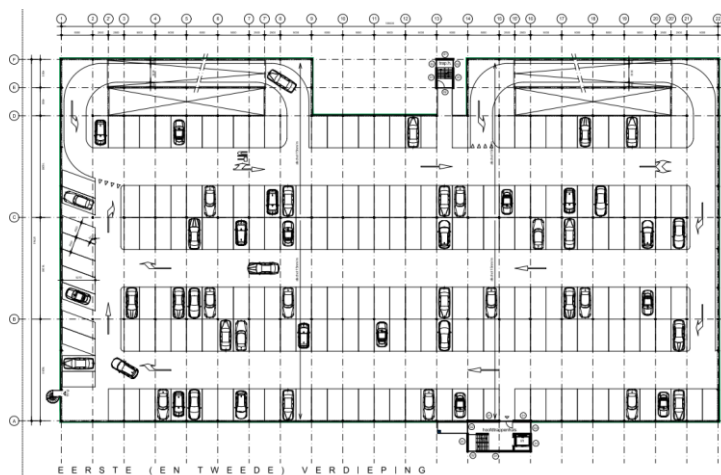
Q-Park Frontenpark wordt uitgebreid met een bovengrondse parkeergarage. Hiervan is het maaiveldniveau nagenoeg geheel open; dit niveau wordt niet afgeschermd door gevelbekleding. Parkeerlaag 1 en 2 worden beide omsloten door een deels luchtdoorlatende gevelbekleding. De derde parkeerlaag bevindt zich weer in de buitenlucht.

Afbeelding 2.1 Gevelaanzichten Parkeergarage Frontenpark (VO 29 maart 2022)



Ten aanzien van de natuurlijke ventilatie zijn de eerste en tweede verdieping maatgevend, daar deze deels worden omsloten door gevelbekleding. Deze verdiepingen zijn gelijk aan elkaar, derhalve zal slechts een verdieping in zijn geheel worden gemodelleerd in de CFD-analyse. Dit is als uitgangspunt overeengekomen met de brandweer (afstemming 13 april 2022).

Afbeelding 2.2 Plattegrond van de omsloten etage 1 en 2 (VO 29 maart 2022)



2.2 Gevelbekleding

De gevelbekleding is ontworpen conform de eisen 6.06 en 6.07 uit het PvE Maastricht Frontenpark. Voor de CFD-analyse is de volgende informatie komende uit deze eisen van toepassing:

6.06 Gevels

De gevels van de garage worden gerealiseerd conform ontwerp MH1 (VO-04 en VO-05):

- gevels van de parkeergarage worden voorzien van een gevelbekleding: nadere gegevens materiaal/print/verwerking gaasweefsel / montage zie 6.07;
- hoofdtrappenhuis (as A/14-16), trappenhuis (as E-F/13), de hellingbanen (begane grond as E-F) en de ruimtes veegmachine, T1 en T2 (op as A en 1) worden bekleed met een gewalst profiel Eclectic (ArcelorMittal).

6.07 Gevelbekleding: materiaal/print/verwerking gaasweefsel/montage

Deze gevelbekleding heeft een oppervlakte van circa 2.500 m², verdeeld over 4 gevels, details volgens MH1 VO-05. De gevels zijn uitgewerkt met een repeterende afmeting van vlakken bekleed met gaasweefsels met een afmeting van circa 5 m breed en circa 7.5 m hoog.

1. Type materiaal - kunststofgaasweefsel, fabrieksmatig hoogfrequent gelast

- PVC gecoat polyesterweefsel (PES/PVC), gewicht 550 gr/m²
- openheid gaasweefsel 28 % (inclusief randopening, openheid per vlak > 32 %)

Technische kenmerken van het gaasweefsel.

Tabel 2.1 Technische kenmerken van het gaasweefsel ifv brand- en rookbeheersing en CFD-analyse

Kenmerk	Eis	Standaard
gewicht	550 g/m ²	EN ISO 2286-2
dikte	0,95mm	EN ISO 5084
openingspercentage	28 %	
extreme toepassingstemperatuur	-30°C / +70°C	DIN 53.363
brandklasse	B-s2,d0	EN 13501-1

TOETSKADER: FLASHOVER EN TRAVELLING LOCAL FIRE

Voor de parkeergarage Frontenpark is als uitgangspunt voor de uitwerking van de brandveiligheid gesteld dat de parkeergarage beschouwd kan worden als niet-besloten zoals bedoeld in NEN2443. De onderbouwing van het niet-besloten zijn van de betreffende parkeerdekken zal middels de CFD-analyse worden aangetoond.

3.1 Flash-over

Om het uitgangspunt van een niet-besloten parkeergarage te onderbouwen dient beoordeeld te worden of er bij brand geen flash-over optreedt. Flash-over is de gelijktijdige ontsteking van de totale vuurlast in een brandruimte (NEN6055). Bij verwarmen van organisch materiaal, ondergaat dit thermische ontleding en komen ontvlambare gassen vrij (pyrolyse). Flash-over vindt plaats wanneer het merendeel van de blootgestelde oppervlakken in een ruimte worden verwarmd (door convectie en straling) tot hun zelfontbrandingstemperatuur en ontvlambare gassen afgeven.

Wanneer geen flash-over optreedt blijft een brand lokaal en groeit deze niet uit tot een volledige compartimentsbrand. Daarmee wordt branduitbreiding voldoende beperkt en wordt een gelijkwaardige invulling gegeven aan de compartimenteringseisen uit het Bouwbesluit.

3.2 Travelling local fire

Wanneer flash-over niet optreedt, kan een brand zich nog steeds, zij het langzaam, uitbreiden. Het maximale uitbreidingsgebied wordt bepaald door het oppervlak van direct aan elkaar grenzende parkeervakken, waarbij wordt aangetekend dat het een over het oppervlak voortbewegende brand betreft en derhalve op ieder moment slechts enkele voertuigen in brand staan. De brand 'kruipt' door de parkeergarage, hierbij een spoor van uitgebrande voertuigen achterlatend. Afhankelijk van het moment van brandweerinzet kan schade verder beperkt worden. Dit type brandontwikkeling is acceptabel conform wet- en regelgeving en mag zodoende ook in een natuurlijk geventileerde parkeergarage optreden. Eventuele brandweerinzet zal in dit kader niet nader beschouwd worden.

3.3 Beoordelingscriteria

Een brand blijft lokaal wanneer er in het compartiment geen flash-over optreedt. Hiertoe dient ontsteking door convectie en door straling te worden voorkomen:

- ontsteking door convectie: verbrandingsgassen $T_c < 300$ C;
- ontsteking door straling: verbrandingsgassen $T_s < 500$ C.

Wanneer met de CFD-analyse aangetoond wordt dat aan deze criteria wordt voldaan en er dus geen flash-over optreedt, kan de parkeergarage Frontenpark beschouwd worden als 'open' en natuurlijk geventileerde parkeergarage.

Noot: de CFD-analyse wordt uitgevoerd in het kader van de gelijkwaardigheid ten aanzien van de compartimentering. Verdere analyse inzake rookbeheersing en zicht op de brand valt buiten de scope van de analyse.

4

UITGANGSPUNTEN CFD ANALYSE

In dit hoofdstuk worden zowel de project specifieke als de algemene rekentechnische uitgangspunten van de CFD-simulatie uiteengezet.

4.1 Project specifieke uitgangspunten

4.1.1 Geometrie CFD-model

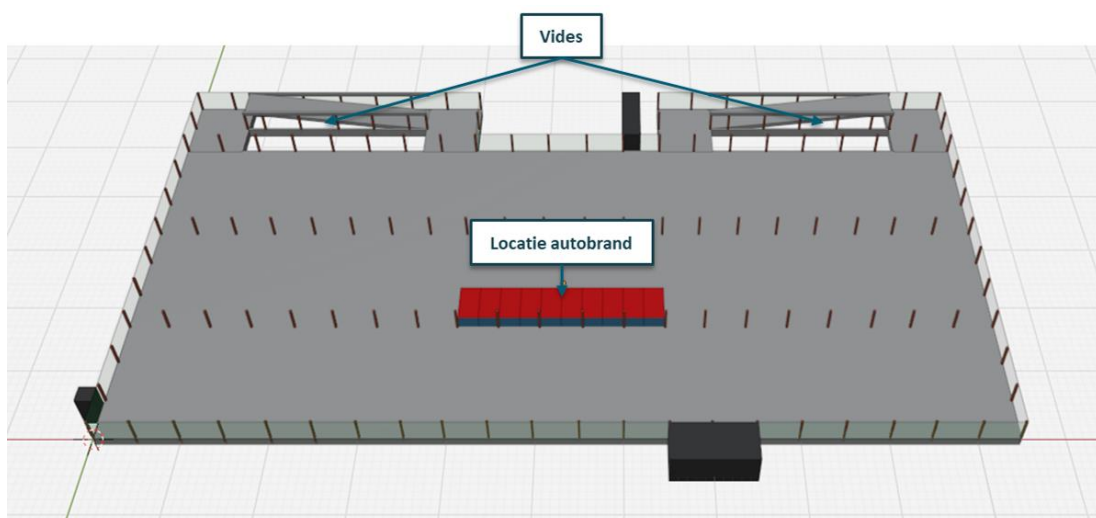
Er wordt 1 etage van de parkeergarage gemodelleerd welke is omsloten met de gevelbekleding (etage 1 of 2, deze zijn identiek). De berekening wordt uitgevoerd met een vrijwel lege garage, conform NEN-6098.

In onderstaande afbeelding is het model weergegeven waarbij de geometrie enigszins vereenvoudigd is, daar deze niet in detail in de discretisatie/modellering kan worden meegenomen.

De vides en op- en neergaande rijbanen worden aan boven- en onderzijde als 'open' gemodelleerd. Voor de gevelbekleding rondom de etage wordt uniform een openheidspercentage van 32 % aangehouden, waarbij ook de randopeningen en bevestigingen zijn verdisconteerd.

Er wordt 5 m lucht aan de buitenzijde van de gevels mee gemodelleerd, zodat rook voldoende ruimte heeft vrijelijk uit te stromen.

Een enkel brandend voertuig wordt gemodelleerd als een blok van 5 m x 2,5 m x 1,5 m (lxbxh) waarbij het bovenoppervlak het brandende vlak is. Het maximaal aantal voertuigen dat aaneengesloten zou kunnen staan is $2 \times 36 = 72$ auto's (zie afbeelding 2.2). In de simulatie worden 10 auto's naast elkaar gezet, deze staan in een aaneengesloten rij in het midden van de parkeerlaag en de brand verplaatst zich van links naar rechts door de voertuigen volgens de brandcurve beschreven in sectie 4.1.6.



4.1.2 Start- en randcondities

Randvoorwaarden

Het rekendomein wordt deels ingesloten door de geometrie van de parkeergarage, te weten de vloer en het plafond. Aan de zijkanten van het rekendomein sluit de gevel het rekendomein niet af, daar deze ten dele luchtdoorlatend is. Derhalve wordt nog een deel van de buitenlucht gemodelleerd, waar de randvoorwaarden ten aanzien van eventuele winddrukken worden gedefinieerd.

Startcondities

Voor de parkeergarage zal worden uitgegaan van een wand- en luchttemperatuur van 20°C op tijdstip $t = 0$ s. Op tijdstip $t = 0$ s is de luchtsnelheid in het gehele domein 0 m/s. Noot: vanaf $t > 0$ s, zal als gevolg van de brand een luchtstroming op gang komen over de parkeerlaag. Op tijdstip $t = 0$ s is er nog geen brand, deze start wel in het eerste voertuig vanaf $t > 0$ s.

4.1.3 Winddruk

Er wordt uitgegaan van een windstille situatie. Dit is een conservatief uitgangspunt, daar een windsnelheid van buitenaf op voorhand al zorgt voor een bepaalde mate van natuurlijke luchtstroming door de parkeergarage.

4.1.4 Thermische randvoorwaarden

Voor de Kolommen, vloer, plafond en gevels is gebruik gemaakt van de volgende materiaaleigenschappen. Let op: daar de thermische geleidbaarheid van beton sterk afneemt bij hogere temperaturen, wordt 1,2 W/m.K gehanteerd om in de range 100°C tot 400°C een correcte waarde te hanteren.

Tabel 4.1 Materiaaleigenschappen (conform SFPE Handbook of Fire Protection Engineering)

Materiaal	Gebruik	Dichtheid [kg/m ³]	Specifieke warmte [J/kg.K]	Thermische geleidbaarheid [W/m.K]
beton	vloer, plafond	2100	880	1,2
staal	kolommen	7850	460	45,8
PES/PVC	gevelbekleding	1400	1120	0,18

4.1.5 Verbrandingsmateriaal

Ten aanzien van het verbrandingsmateriaal wordt uitgegaan van de eigenschappen zoals voorgeschreven in NEN 6098. Het veronderstelde verbrandingsmateriaal heeft in de simulaties geen invloed op het brandvermogen aangezien dit vermogen middels een brandcurve wordt opgelegd.

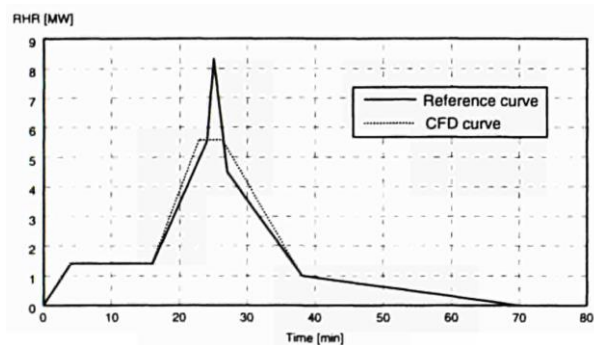
De effectieve verbrandingswarmte is conform NEN 6098 gelijk gesteld aan 25 MJ/kg en het rookpotentieel aan 400 m⁻¹.m³/kg.

4.1.6 Brandcurve

De brandcurve voor een travelling fire scenario, bij een rij geparkeerde auto's wordt gedefinieerd conform de NEN6098, de TNO ontwerpbrand (TNO rapport 1999-CVB-R1442) en eerder Europees onderzoek waar het CaPaFi-brandmodel uit is ontstaan. Deze brandcurve is weergegeven in onderstaande afbeelding.

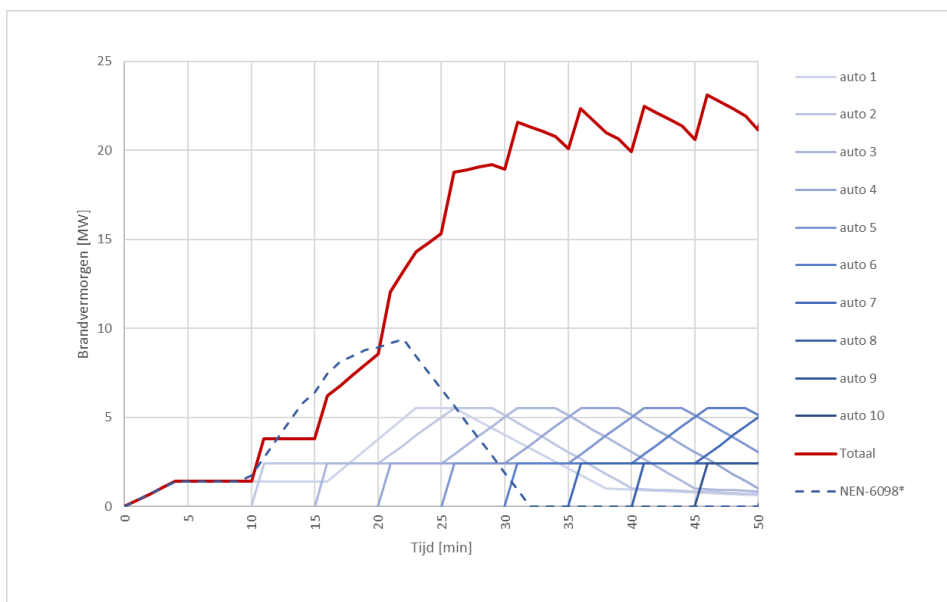
In lijn met het originele Europese onderzoek wordt ten behoeve van de numerieke stabiliteit, het piekbrandvermogen uitgesmeerd in de tijd, zodanig dat de totale brandbelasting ongewijzigd blijft. Hiermee wordt een scherp piekvermogen, en daarmee mogelijk gepaard gaande convergentie problemen, voorkomen.

Afbeelding 4.1 Brandkromme voor 1 auto zoals gehanteerd in de CFD-analyse¹



In de CFD-simulatie worden een tiental auto's op een rij geparkeerd, welke achtereenvolgens ontbranden volgens onderstaande brandkromme. Hierbij geldt dat vanaf het tweede voertuig de brand sneller ontwikkelt. De cumulatieve curve laat zien dat het maximale brandvermogen van de voertuigen gezamenlijk ruim 20 MW bedraagt. Ter vergelijking is de curve aangegeven welke wordt gehanteerd, bij blussen door brandweerinzet vanaf 22 minuten.

Afbeelding 4.2 Brandvermogensscenario Frontenpark met 10 voertuigen en het totale brandvermogen. NEN-6098* laat ter vergelijking de cumulatieve normbrandkromme zien welke gehanteerd wordt wanneer brandweer na 22 minuten start met blussen



¹ Conform Europees onderzoek: Schleich J.B. et. al., *Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks*, draft final report, Luxembourg, 1997a.

4.2 Overige uitgangspunten

In deze paragraaf worden voor de volledigheid kort de rekentechnische uitgangspunten besproken die zijn gebruikt voor de uit te voeren CFD-simulatie.

4.2.1 CFD-software

Er wordt gerekend met het CFD-softwarepakket Fire Dynamics Simulator (FDS) versie 6, welke in november 2013 officieel is uitgebracht. Deze software is ontwikkeld door National Institute of Standards and Technology (NIST) en is gericht op rook en warmte transport van branden. De software is uitvoerig geverifieerd en ook gevalideerd voor een variëteit aan branden.

4.2.2 Turbulentie

Er is gebruik gemaakt van Large Eddy Simulations (LES), dit houdt in dat 'grote wervels' worden opgelost/uitgerekend en de wervels in het subgrid worden gemodelleerd (met Deardorff model vanaf FDS versie zes). Bij de simulaties wordt niet afgeweken van de door NIST aanbevolen parameters voor het turbulente Prandtl en turbulente Schmidt nummer.

4.2.3 Discretisatie van tijd

Bij FDS wordt de tijdstap intern bepaald op basis van de Courant–Friedrichs–Lewy (CFL) conditie. Bij de simulaties voor parkeergarage Frontenpark zijn de basis waarden voor de minimum en maximum CFL van 0,8 en 1,0 gehanteerd. Aanvullend op de CFL-conditie wordt eveneens de Von Neuman-conditie gecontroleerd. Dit is in lijn met de aanbeveling van NIST sinds FDS release versie 6.1.2.

4.2.4 Discretisatie van ruimte

Om een CFD-simulatie te maken wordt het gehele domein opgedeeld in een eindig aantal kleine volumes. Deze volumes moeten enerzijds klein genoeg zijn om de stroming van lucht, warmte en rook door de parkeergarage in voldoende detail vast te leggen, maar anderzijds moeten de volumes voldoende groot zijn om het aantal volume elementen, en daarmee de rekentijd, te beperken. In deze simulatie is binnen in de parkeergarage een volume element van 0,25 m x 0,25 m x 0,25 m (lxbxh) aangehouden en buiten de parkeergarage een volume element van 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m (lxbxh).

Deze afmetingen voldoen aan de maximale celafmeting voor een fijn grid (fine high density mesh, $D^*/dx=16$), welke op basis van de karakteristieke branddiameter (characteristic fire diameter, D^*) kan worden bepaald.

5

RESULTATEN CFD ANALYSE

In dit hoofdstuk worden de rekenresultaten gepresenteerd welke volgen uit de simulatie met het CFD model, zoals dat in het voorgaande hoofdstuk is toegelicht. Met de simulatie wordt voor een brandscenario met geparkeerde voertuigen de temperatuurontwikkeling van de rooklaag in kaart gebracht, om hiermee aan te tonen dat de flash-over condities niet worden bereikt in de parkeerlaag.

Zoals in hoofdstuk 3 toegelicht blijft een brand lokaal wanneer er in het compartiment geen flash-over optreedt. Hiertoe dient ontsteking door convectie en door straling te worden voorkomen:

- ontsteking door convectie:
verbrandingsgassen $T_c < 300^\circ \text{C}$ op voertuighoogte buiten de directe omgeving van de brandhaard;
- ontsteking door straling:
verbrandingsgassen $T_s < 500^\circ \text{C}$ in de rooklaag direct onder het plafond (op ten minste 90 % hoogte tussen vloer en plafond).

5.1 Brandverloop

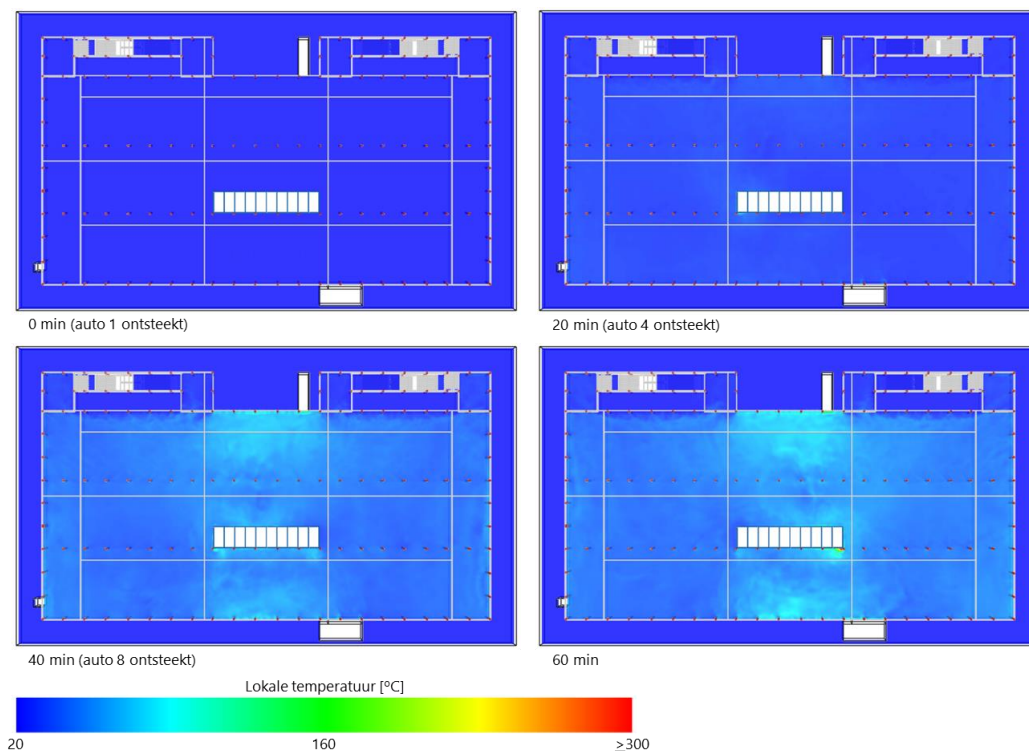
De gesimuleerde tijd is 3600s, waarin volgens het brandscenario (Afbeelding 4.2) achtereenvolgens 10 voertuigen ontbranden. Na ongeveer een half uur wordt het quasi steady state brandscenario bereikt: het brandvermogen neemt dan niet meer toe, omdat de uitdoving van uitgebrande voertuigen en de ontbranding van nieuwe voertuigen bij benadering aan elkaar gelijk zijn. Het totale brandvermogen bedraagt in deze situatie circa 21MW.

Hierna worden de temperatuur resultaten voor zowel de convectie- als stralings- ontstekingscondities gepresenteerd.

5.2 Temperatuur ontwikkeling: ontsteking door convectie

In Afbeelding 5.1 is te zien dat de temperatuur van de verbrandingsgassen in het horizontale vlak op de hoogte van de voertuigdaken (1,5m) na een uur is gestegen tot maximaal circa 90°C . Hiermee liggen de temperaturen ruim onder de grenswaarde van 300°C en wordt de flash-over conditie op basis van de convectietemperatuur niet bereikt.

Afbeelding 5.1 De temperatuur ontwikkeling in het vlak op 1,5 meter hoogte. De rij met tien te ontbranden voertuigen staat in het midden van de garage. Na de volledige simulatietijd van 1 uur bedraagt de maximale temperatuur in het horizontale vlak circa 90°C

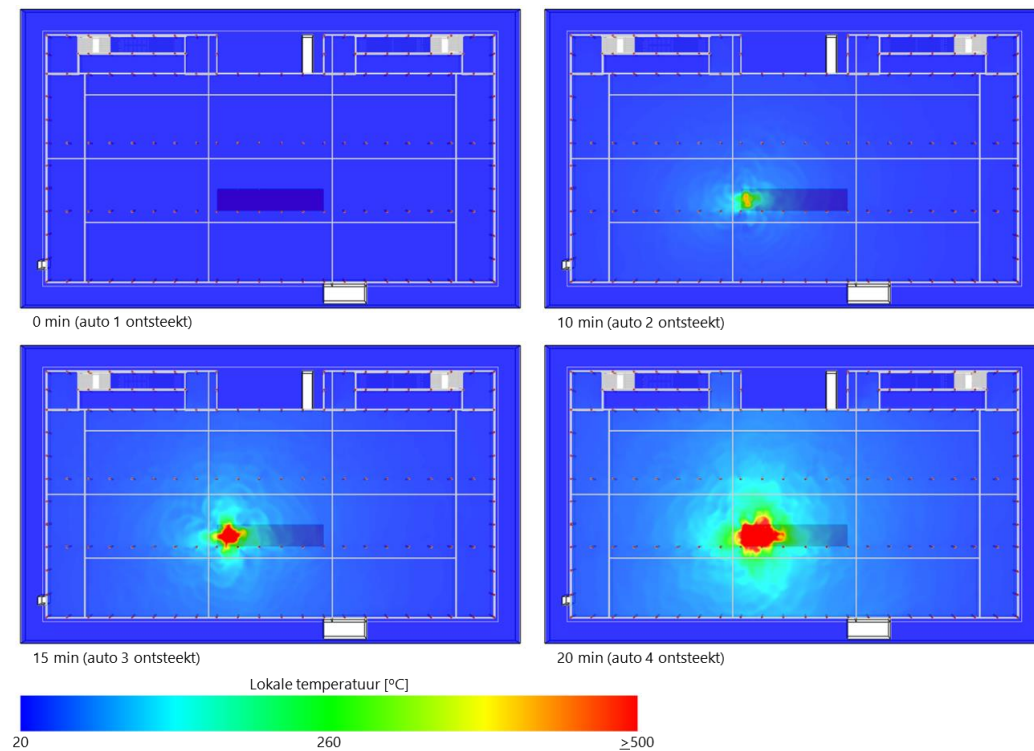


5.3 Temperatuur ontwikkeling: ontsteking door straling

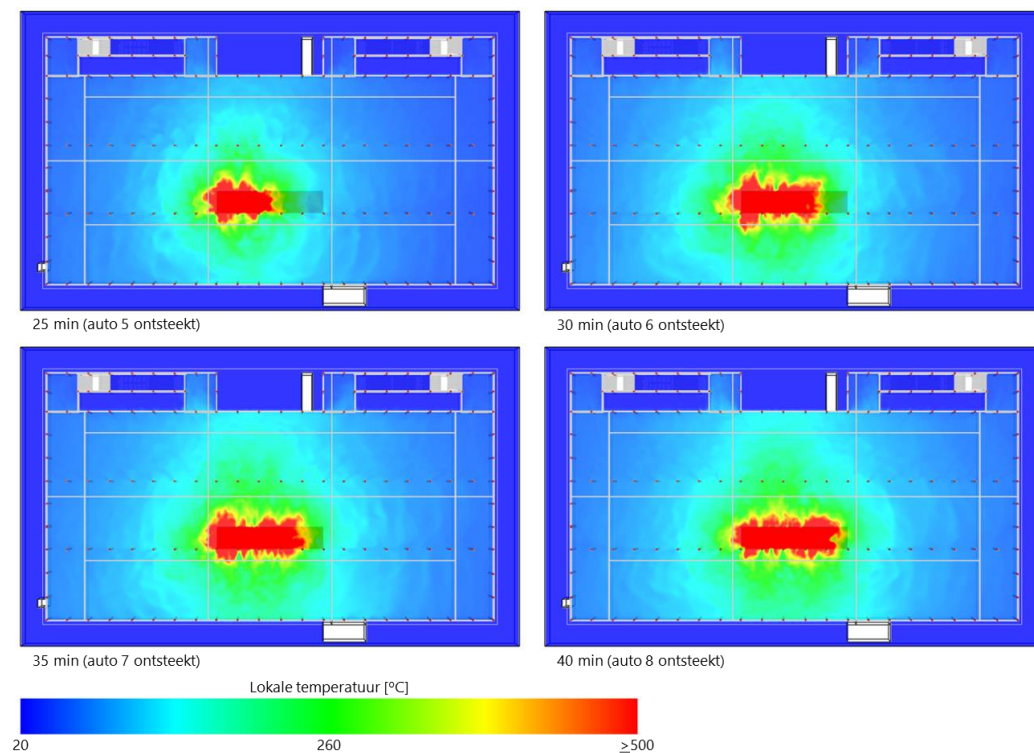
In Afbeelding 5.2, Afbeelding 5.3 en Afbeelding 5.4 wordt de temperatuur van de rooklaag direct onder het plafond (op 2,25m ofwel 90% hoogte) gepresenteerd tussen de 0 en 60 minuten. Hierbij wordt het volgende waargenomen:

- in het eerste kwartier is beperkte temperatuurstijging te zien; dit is in lijn is met het brandscenario, waarin de brand na 15 minuten een totaalvermogen van circa 4 MW heeft bereikt;
- na 15 minuten treden direct boven en direct naast de brandende voertuigen temperaturen van $\geq 500^\circ\text{C}$ op in de rooklaag direct onder het plafond; dit gebeurt uitsluitend zeer lokaal (travelling local fire);
- in de rest van de parkeerlaag blijven de temperaturen in de rooklaag ruim beneden de grenswaarde van 500°C en treden er geen flash over condities op;
- in het laatste half uur van de simulatie zijn er, globaal in de parkeerlaag, geen temperatuurstijgingen waar te nemen. Dit laat zien dat er geen sprake is van accumulatie van warmte en dat alle warmte die door de brandhaard wordt geproduceerd dus wordt afgevoerd via de gevels en openingen in het plafond ter hoogte van de hellingbanen.

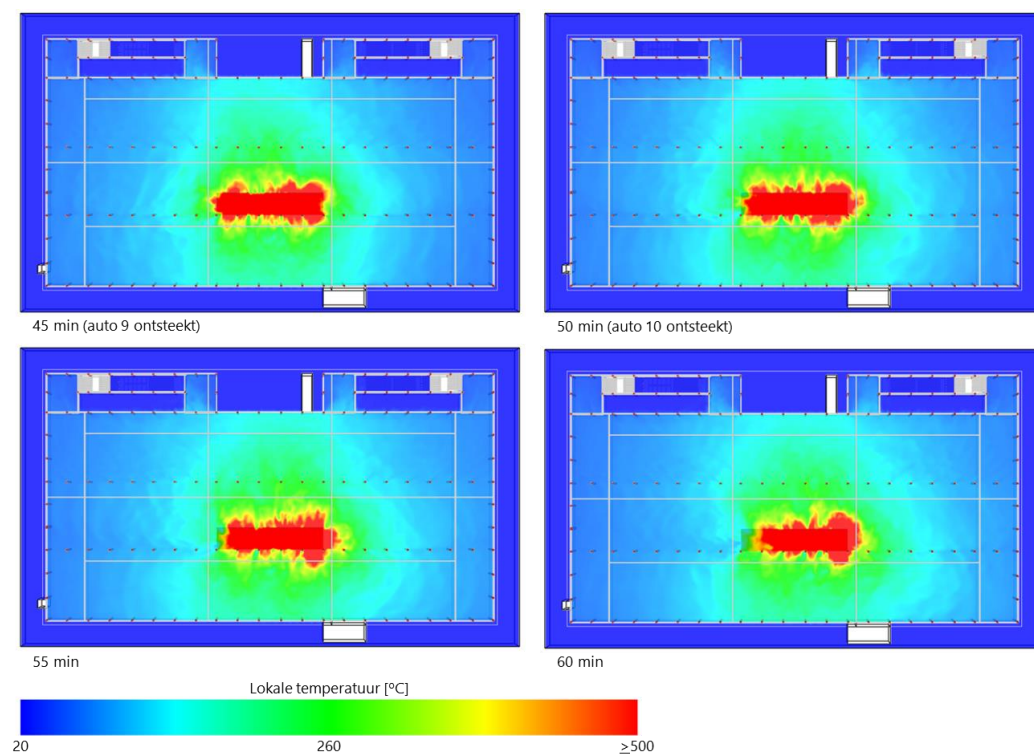
Afbeelding 5.2 De temperatuurontwikkeling in de rooklaag onder het plafond op 2,25 m hoogte tussen 0 en 20 minuten simulatietijd. De rij met tien ontbrandende voertuigen, staat in het midden van de garage als blok weergegeven. Alleen direct boven de brandende voertuigen stijgt de maximale temperatuur b tot boven de 500°C



Afbeelding 5.3 De temperatuur ontwikkeling in de rooklaag onder het plafond op 2,25 m hoogte tussen 25 en 40 minuten simulatietijd. De maximale temperatuur stijgt uitsluitend direct boven de brandende voertuigen tot boven de 500°C



Afbeelding 5.4 De temperatuur ontwikkeling in de rooklaag onder het plafond op 2,25 m hoogte tussen 45 en 60 minuten simulatietijd. De maximale temperatuur stijgt uitsluitend direct boven de brandende voertuigen tot boven de 500°C



BEVINDINGEN

Om te onderzoeken of de parkeergarage Frontenpark als 'open' kan worden beschouwd, is een CFD-simulatie uitgevoerd op basis van vooraf afgestemde uitgangspunten. De resultaten van deze CFD-simulatie tonen aan dat de parkeergarage in voldoende mate natuurlijk wordt geventileerd om flash-over condities, en dus een compartimentsbrand, te voorkomen. De parkeergarage kan zodoende als 'open' parkeergarage worden aangemerkt. In dit type berekening wordt de standaard NEN-6055 en de daarin gestelde grenswaarden ten aanzien van flash-over condities gevolgd en is de reguliere berekeningsmethodiek (conform NEN 6098) gehanteerd.

Op basis van de CFD-simulatie is aangetoond dat de brand lokaal blijft. Een brand blijft lokaal wanneer er in het compartiment geen flash-over optreedt. Hiertoe dient ontsteking door convectie en door straling te worden voorkomen:

- convectie: in het horizontale vlak ter hoogte van het dak van de voertuigen blijft de temperatuur beneden de grenswaarde van 300°C in de betreffende parkeerlaag;
- straling: uitsluitend in een klein gebied direct boven en direct naast de brandende voertuigen treden temperaturen $\geq 500^\circ\text{C}$ op in de rooklaag direct onder het plafond, dit is dus zeer lokaal (travelling local fire). In de rest van de parkeergarage blijven de temperaturen in de rooklaag ruim beneden de grenswaarde van 500°C en treden er geen flash-over condities op.

Uit de CFD-analyse volgt dat er sprake is van een lokale brand (travelling local fire), daar er in het compartiment geen flash-over condities optreden. Hiermee is aangetoond dat de parkeergarage Frontenpark als 'open' kan worden beschouwd en is gelijkwaardigheid ten aanzien van de compartimenteringseisen uit het Bouwbesluit (Afdeling 2.10 van Bouwbesluit 2012) aangetoond.