



RAADGEVENDE INGENIEURS

Nieman

Bouwfysica, -techniek en -regelgeving

BRANDBEVEILIGINGS- CONCEPT

Parkeergarage 's-Hertogenbosch

Brandbeveiligingsconcept

Parkeergarage 's-Hertogenbosch

Bouwbedrijf Aan de Stegge Twello B.V.

Postbus 69

7390 AB TWELLO

(0571) 27 73 31

Vertegenwoordigd door: de heer N. Lewis

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Vestiging Zwolle

Postbus 40147

8004 DC Zwolle

T 038 - 467 00 30

zwolle@nieman.nl

www.nieman.nl

Uitgevoerd door: mw. ing. S. Brandenburg
 mw. ir. M.S. Drost – Hofman

Referentie: Wz110576aaA0.sbr

Status: definitief

Datum: 25 juni 2013

Samenvatting

Nieman Raadgevende Ingenieurs heeft een brandbeveiligingsconcept opgesteld voor een nieuw te bouwen parkeerdek P&R te 's-Hertogenbosch', in opdracht van Bouwbedrijf Aan de Stegge Twello B.V.

Uitgangspunten

Het project betreft een parkeerdek van twee bouwlagen hoog. Het parkeerdekdek omvat twee bouwlagen. Het onderste dek ligt verdiept op 1.235 mm onder maaiveld en wordt op de assen A en 1 begrensd door een dichte borstwering. Het bovenste dek ligt een halve verdieping boven maaiveld. De gebruiksoppervlakte van het parkeerdek bedraagt circa 7.600 m² per laag en het parkeerdek biedt plaats aan ruim 800 auto's. De gevels rondom het parkeerdek worden voorzien van wapeningsnetten (onderste parkeerlaag) en dichte gevelpanelen (borstwering bovenste parkeerlaag). Op diverse plaatsen worden de wapeningsnetten voorzien van begroeiing. Bij de bouw van het parkeerdek wordt langs een gedeelte van de achtergevel een geluidscherm geplaatst.

Toetskader

Het parkeerdek dient te voldoen aan Bouwbesluit 2012. Voor een aantal aspecten voldoet de garage niet rechtstreeks aan de prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012. Voor deze aspecten is beoordeeld of sprake is van gelijkwaardigheid.

Gebruiksventilatie conform NEN 2443

NEN 2443:2000 "Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages", is toegepast om te beoordelen of de garage voldoende open is ten aanzien van gebruiksventilatie. Uit het luchtstroommodel volgt dat de wapeningsnetten met begroeiing een openheid van ten minste 56% moeten bezitten. Conform NEN 2443 is in de gebruikssituatie dan geen mechanische ventilatie vereist.

Om de openheid van de begroeide gevels te kunnen garanderen, adviseren wij een onderhoudscontract voor de beplanting af te sluiten. Dat wil zeggen dat de planten periodiek (afhankelijk van type beplanting) gesnoeid worden om de openheid te garanderen. Daarnaast moeten de dode takken en bladeren worden verwijderd (deze kunnen in tegenstelling tot levende planten wel een bijdragen leveren aan een eventuele brand).

Om lokale verontreinigingen in het parkeerdek ter plaatse van de gesloten achtergevel door met name LPG te voorkomen, moeten de auto's met LPG zoveel mogelijk op het parkeerdek geparkeerd worden. Bij de ingang van het parkeerdek en bij de hellingbaan naar het dek worden borden opgehangen die LPG auto's naar boven sturen. In de kelder worden ter plaatse van de parkeervakken achter de dichte gevel verbodsborden opgehangen voor auto's met LPG. De strook met verbodsborden wordt tot minimaal 3 parkeervakken voorbij de dichte gevel doorgetrokken.

Brandbeheersing

Volgens het Bouwbesluit mag de omvang van brandcompartimenten maximaal 1.000 m² bedragen. Het parkeerdek is groter dan 1.000 m² en wordt niet nader onderverdeeld in brandcompartimenten. Dit is mogelijk, omdat voor een parkeergarage kan worden uitgegaan van een autobrandscenario, een scenario waarbij ervan wordt uitgegaan dat de brand zich langzaam voortplant door de garage waarbij een beperkt aantal auto's gelijktijdig in brand zullen staan.

Brandventilatie

De garage voldoet niet rechtstreeks aan de voorwaarden die NEN 2443 stelt aan natuurlijk geventileerde parkeergarages. Er dient dan ook beoordeeld te worden of er voldoende brandventilatie plaats kan vinden. Als toetskader is aangesloten bij het rook- en warmteafvoer criterium, dat is opgenomen in NEN 6098:2012. Er wordt getoetst op een gemiddelde zichtlengte van minimaal 30 meter op 65 minuten na ontstaan van de brand. Uit de CFD-berekening blijkt dat op 54 minuten na ontstaan van de brand overal in het parkeerdek een gemiddelde zichtlengte van ten minste 30 m aanwezig is. Hiermee wordt aan de eis t.a.v. de gemiddelde zichtlengte voldaan.

Thermische belasting op draagconstructies

De draagconstructie van de garage is van staal. Een stalen draagconstructie is niet 60 minuten brandwerend conform de standaard brandkromme. De thermische belasting van een autoabrandscenario wijkt echter af van de standaard brandkromme. Er is onderzocht of de constructie hiertegen bestand is. Er zijn berekeningen uitgevoerd van zowel de gemiddelde temperatuurstijging in de garage als gevolg van brand, als van de lokale thermische belasting op de constructies ter plaatse van de brandhaard. Voor de bouwlaag onder het parkeerdek is met een zonemodel (Ozone) een berekening gemaakt van de gemiddelde temperatuurstijging in de garage. Vanwege de beperkte hoogte in de garage is uitgegaan van een zodanige opmenging dat één zone ontstaat. Uit deze berekening blijkt de gemiddelde temperatuur in het parkeerdek niet hoger te worden dan 65 graden Celsius.

Met een rekenmodel Computational Fluid Dynamics (CFD) is vervolgens de lokale thermische belasting ten gevolge van convectie en straling op een maatgevende ligger en kolom in het midden van het parkeerdek en een maatgevende ligger en kolom in de gevel van het parkeerdek beoordeeld. Omdat het om de lokale belasting gaat (de brand blijft lokaal), zijn deze berekeningen uitgevoerd voor een gemodelleerd deel van het parkeerdek. Met thermodynamische berekeningen (Voltra) is vervolgens het temperatuurverloop in de stalen liggers en in de kolommen berekend, rekening houdend met de warmte-accumulatie in de staalprofielen. Uit deze gecombineerde berekeningen, volgen de maximale temperaturen die zullen optreden in de staalconstructie-onderdelen. Uit tabel 3 volgt dat de door JVZ berekende kritieke staaltemperaturen hoger zijn dan de temperaturen die op zullen treden in deze constructieonderdelen. Dit betekent dat de staalprofielen niet brandwerend bekleed hoeven te worden.

Overige aandachtspunten

- In het parkeerdek wordt geen brandmeldinstallatie toegepast. De onderbouwing hiervoor is opgenomen in paragraaf 9.3.
- In de garage dient vluchtrouteaanduiding aangebracht te worden.
- In de garage wordt geen noodverlichting aangebracht. De onderbouwing hiervoor is opgenomen in paragraaf 9.3.
- Daarnaast wordt geadviseerd bij de trappenhuizen draagbare blustoestellen aan te brengen.
- Op de plattegronden in bijlage 1 zijn de bluswatervoorzieningen en de opstelplaatsen voor de bandweervoertuigen aangegeven. Hierbij is rekening gehouden met een calamiteit in het parkeerdek en calamiteiten op het spoor.

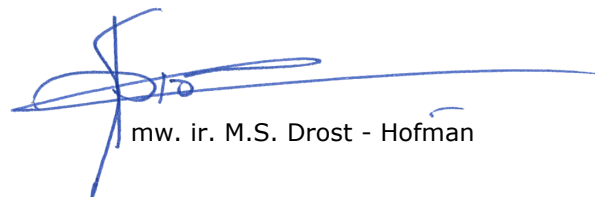
Zwolle, 25 juni 2013

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

mw. ing. S. Brandenburg



mw. ir. M.S. Drost - Hofman



Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1	Inleiding	8
Hoofdstuk 2	Toetskaders	9
2.1	Bouwbesluit	9
2.1.1	<i>Brandbeheersing</i>	9
2.1.2	<i>Brandwerendheid m.b.t. bezwijken</i>	10
2.1.3	<i>Gebruiks- en brandventilatie</i>	11
Hoofdstuk 3	Uitgangspunten	13
3.1	Bouwkundig	13
3.2	Gebruik	13
3.3	Brandscenario	14
3.4	Materiaaleigenschappen	15
Hoofdstuk 4	Rekenmodellen	16
4.1	Luchtstroommodel	16
4.2	Zonemodel op basis van fysisch brandmodel	16
4.3	Fire Dynamics Simulator	16
4.4	Voltra	17
Hoofdstuk 5	Rekenresultaten gebruiksventilatie	18
5.1	Berekening ventilatiebehoefte	18
5.2	Voorzieningen natuurlijke ventilatie volgens luchtstroommodel	18
Hoofdstuk 6	Rekenresultaat fysisch brandmodel (zone niveau)	20
6.1	Parameters	20
6.2	Resultaat	20
6.3	Conclusies	22
Hoofdstuk 7	Rekenresultaten brandventilatie	23
7.1	Geometrie	23
7.2	Positie brandhaard	24
7.3	Rekenresultaten	24
7.4	Analyse rekenresultaten	25
Hoofdstuk 8	Rekenresultaten brandwerendheid draagconstructie	27



8.1	Berekende situatie	27
8.2	CFD-model	28
8.3	Thermodynamisch computermodel	30
8.4	Conclusie constructieve beoordeling	31
Hoofdstuk 9	Overige brandveiligheidsaspecten	32
9.1	Brandbeheersing	32
9.2	Veilig vluchten	32
9.3	Brandbeveiligingsinstallaties	33
Bijlage 1 Tekeningen parkeerdek		
Bijlage 2 Verantwoording luchtstroommodel		
Bijlage 3 Verantwoording FDS		
Bijlage 4 Toegepaste submodellen CFD		
Bijlage 5 CO-emissie (NEN 2443)		
Bijlage 6 Berekening luchtstroommodel parkeerdek		
Bijlage 7 Resultaten CFD-berekening hoofdstuk 7		
Bijlage 8 Resultaten CFD-berekening hoofdstuk 8		
Bijlage 9 Berekeningen Voltra		
Bijlage 10 Toetsing loopafstanden		
Bijlage 11 Ozone-berekening		

Hoofdstuk 1 Inleiding

Voor het project 'Parkeergarage 's-Hertogenbosch' heeft Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. een beoordeling verricht naar de benodigde voorzieningen ten aanzien van brandveiligheid en ventilatie. Hiervoor is door de heer N. Lewis namens Bouwbedrijf Aan de Stegge Twello B.V opdracht verleend. In dit rapport zijn de resultaten van de beoordeling weergegeven.

Het project betreft een parkeerdek van twee bouwlagen hoog. Het onderste dek ligt verdiept op 1.235 mm onder maaiveld. De garage is 315 meter lang en wordt langs het spoor gesitueerd. Bij de bouw van de garage wordt langs een deel van de garage een geluidsscherm geplaatst. Mogelijk wordt in de toekomst ook langs de rest van de garage een scherm geplaatst. In dit rapport is hiermee echter geen rekening gehouden. De garage is geschikt voor ruim 800 auto's.

De garage is groter dan 1.000 m² en wordt niet ingedeeld in brandcompartimenten. Hiervoor zal beoordeeld worden of sprake is van een gelijkwaardige situatie.

Er zal met behulp van rekenmodellen worden beoordeeld of met natuurlijke ventilatie voldoende brandventilatie en gebruiksventilatie plaats vindt.

Het parkeerdek is opgebouwd uit een stalen draagconstructie (stalen kolommen en liggers). De staalconstructie wordt in beginsel niet brandwerend bekleed. Aan de hand van de berekeningen met rekenmodellen, is bepaald of de garage zonder brandwerende voorzieningen bestand is tegen bezwijken bij de maximale thermische belasting van een autobrandscenario op één parkeerlaag.

Daarnaast is het parkeerdek getoetst aan de brandveiligheidsaspecten uit het Bouwbesluit, zoals loopafstanden en de benodigde brandveiligheidsinstallaties.

In dit rapport is gebruik gemaakt van de tekeningen van Aan de Stegge / MH1 Architecten van 25-06-2013. De relevante tekeningen zijn opgenomen in bijlage 1.

Hoofdstuk 2 Toetskaders

2.1 Bouwbesluit

Het Bouwbesluit bevat onder andere voorschriften over het (ver)bouwen en slopen van bouwwerken, over de staat en het gebruik van bestaande bouwwerken. Bij de verwijzing naar het Bouwbesluit wordt bedoeld het Bouwbesluit 2012 dat per 1 april 2012 van kracht is geworden. In dit rapport wordt overigens alleen ingegaan op de eisen die in hoofdstuk 2 (veiligheid) en 6 (installaties) van het Bouwbesluit worden gesteld ten aanzien van de brandveiligheid van een gebouw.

2.1.1 Brandbeheersing

Toetskader brandbeheersing

Volgens het Bouwbesluit mag een brandcompartiment in een overige gebruiksfunctie voor het stallen van motorvoertuigen niet groter zijn dan 1.000 m². Uitgaande van een volledig ontwikkelde brand wordt deze grenswaarde in het Bouwbesluit gehanteerd om voldoende brandbeheersing te kunnen garanderen. Dit is de stationaire situatie die uitgaat van het maximale branduitbreidingsgebied (eindsituatie, gehele compartiment in brand). Ook de in het Bouwbesluit aangewezen bepalingmethoden met betrekking tot brandveiligheid gaan hiervan uit.

Gelijkwaardigheid brandbeheersing

Door een beroep te doen op artikel 1.3 van het Bouwbesluit (gelijkwaardige oplossing) is het mogelijk voor brandbeheersing af te wijken van de maximale brandcompartimentsgrootte van 1.000 m² door het realiseren van een situatie met een gelijke mate van veiligheid.

De maximale omvang van 1.000 m² die het Bouwbesluit eist, is gebaseerd op het beheersbaar houden van een volledig ontwikkelde brand (brand ter grootte van het gehele compartiment). Voor een parkeergarage kan echter worden uitgegaan van een ander brandverloop. TNO heeft in het verleden onderzoek gedaan naar autobranden in parkeerdekken. Uit dit onderzoek is gebleken dat hooguit 3 á 4 auto's tegelijkertijd in brand zullen staan. Er zijn brandvermogenscurves ontwikkeld waarin het verloop van dit zogenaamde autobrandscenario is gemodelleerd. Dit verloop is o.a. vastgelegd in de NEN 6098: 2012, 'Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeergarages'.

Doordat maximaal 3 á 4 auto's *tegelijk* in brand staan blijft de brand lokaal en beheersbaar. Op basis van een brandscenario is het dan ook niet nodig om het parkeerdek in brandcompartimenten van maximaal 1.000 m² in te delen. Indien echter de brandweer niet ingrijpt, zal de brand zich steeds verder voortplanten in de garage met veel schade tot gevolg. Voor parkeergarages wordt in Nederland dan ook als uitgangspunt gehanteerd dat de brandweer de garage betreedt om de brand te blussen en schade te beperken. Er zal dan ook een zodanige brandventilatie aanwezig moeten zijn dat de brandweer de garage kan betreden om de schade te beperken (zie verder paragraaf 2.1.3).

2.1.2 Brandwerendheid m.b.t. bezwijken

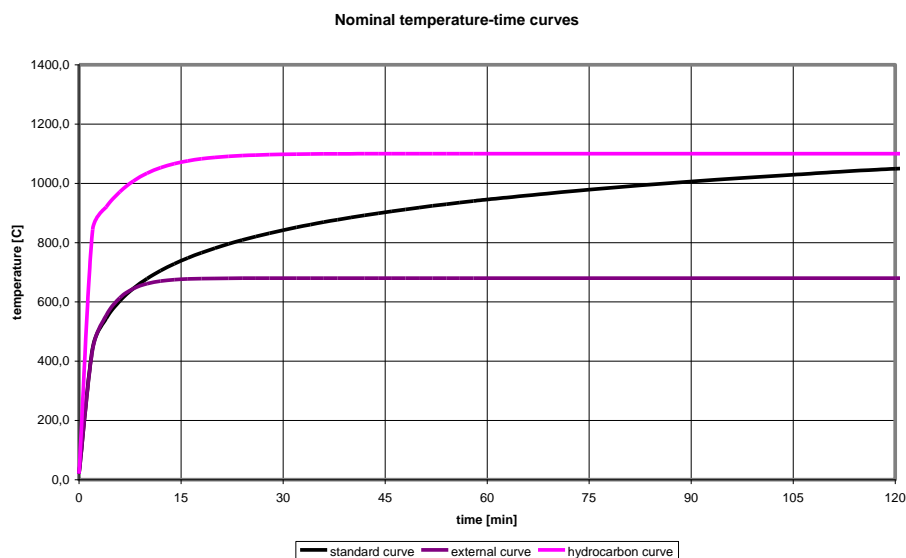
Toetskader brandwerendheid m.b.t. bezwijken

In dit parkeerdek ligt geen vloer boven 5 m boven meetniveau. Vanuit het Bouwbesluit wordt er dan ook geen eis gesteld aan de brandwerendheid m.b.t. bezwijken van de draagconstructie. Echter voor parkeergarages wordt uit het oogpunt van schadebeheersing, ervan uitgegaan dat de brandweer na arriveren de garage zal betreden om de brand te blussen. Dit uitgangspunt maakt onderdeel uit van de gelijkwaardigheid van grote brandcompartimenten bij parkeergarages. Om een veilige brandweerinzet mogelijk te maken, dient de draagconstructie gedurende minimaal 60 minuten bestand te zijn tegen bezwijken bij brand.

Zowel de TT-vloeren als de stalen liggers en kolommen dienen derhalve gedurende 60 minuten bestand te zijn tegen de thermische belasting ten gevolge van brand.

Gelijkwaardigheid brandwerendheid m.b.t. bezwijken

In zowel de Europese als de nationale regelgevingen wordt voor de thermische belasting bij brand uitgegaan van eenvoudige brandmodellen op basis van nominale temperatuur/tijd-krommen (zie o.a. EN-1991-1-2; figuur 1).



Figuur 1: Nominale temperatuur/tijd-krommen volgens EN 1991-1-2.

Bezwijkgedrag bij brand van stalen constructieonderdelen wordt beoordeeld op basis van de standaard brandkromme (middelste lijn in figuur 1). De TT-vloeren die worden toegepast zijn 60 minuten brandwerend conform deze standaard brandkromme. Echter de onbeklede stalen constructies zijn op basis van deze standaard brandkromme niet 60 minuten brandwerend.

De temperatuur/tijd-kromme is echter een afgeleide van het brandscenario dat in de brandruimte kan optreden. Het vermogensscenario van een natuurlijke brand leidt daarom tot een fysisch meer

realistische beschouwing. Met een hierop gebaseerd fysisch brandmodel (zonemodel) worden dus realistischer uitkomsten verkregen. De regelgeving staat toepassing van een dergelijk geavanceerd brandmodel toe (zie o.a. EN-1991-1-2).

In het kader van Europees onderzoek is een fysisch brandmodel ontwikkeld (*Natural Fire Safety Concept* – Profilarbed SA, Luxembourg), waarmee de thermische belasting op de draagstructuur kan worden bepaald. Dit model sluit aan op EN-1991-1-2 *Eurocode 1*. Het autobrandscenario (figuur 3 in hoofdstuk 3) is hierin een belangrijke parameter, naast de eigenschappen (geometrie, materialisering en openingen) van de brandruimte.

Wanneer bij dit autobrandscenario blijkt dat de thermische belastingen in de draagstructuur niet leiden tot overschrijding van de kritieke staaltemperatuur blijft de draagstructuur in stand. Wanneer echter de kritieke staaltemperatuur wordt overschreden zijn maatregelen noodzakelijk om de draagstructuur in stand te houden. Deze maatregelen kunnen bestaan uit:

- Overdimensioneren van de draagconstructie (grotere profieldoorsnede).
- Bekleden van de draagconstructie (met brandwerend plaatmateriaal of brandwerende coating).

Door JVZ Raadgevend Ingenieursburo zijn projectspecifieke berekeningen gemaakt van de kritieke staaltemperaturen, om te beoordelen of de staalconstructie onbekleed kan blijven.

2.1.3 Gebruiks- en brandventilatie

Toetskader gebruiksventilatie

Het Bouwbesluit eist voor ruimten voor het stallen van motorvoertuigen een minimale ventilatie van 3 dm³/s/m², te bepalen met NEN 1087. Deze eis is echter niet afgestemd op de daadwerkelijke verontreinigingen die in een garage plaatsvinden. Om die reden is de benodigde gebruiksventilatie beoordeeld op basis van NEN 2443:2000¹ die de benodigde voorzieningen wel beoordeeld aan de hand van het daadwerkelijke gebruik.

Toetskader brandventilatie

Het Bouwbesluit kent geen eisen t.a.v. brandventilatie. Het Bouwbesluit gaat uit van een garage van maximaal 1.000 m². Voor een garage van maximaal 1.000 m² is het uitgangspunt dat deze in beginsel niet door de brandweer betreden wordt t.b.v. repressieve inzet. Voor zo'n garage is dan ook geen brandventilatie nodig. Omdat de garage in dit project groter is dan 1.000 m² is voor deze garage wel beoordeeld welke voorzieningen nodig zijn ten aanzien van brandventilatie.

Gelijkwaardigheid brand- en gebruiksventilatie

¹ Inmiddels is NEN 2443:2012 beschikbaar. Opdrachtgever heeft als eis gesteld dat NEN 2443:2000 gehanteerd wordt. Omdat deze norm geen publiekrechtelijke regelgeving is, is het hanteren van deze eerdere versie toegestaan.

De Nederlandse norm NEN 2443:2000, Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages, geeft functionele eisen en prestatie-eisen voor de ventilatievoorzieningen die nodig zijn voor parkeerterreinen en parkeer- en stallinggarages voor personenauto's. In de norm NEN 2443 worden de voorwaarden weergegeven, waaronder uit kan worden gegaan van een natuurlijk geventileerde garage in zowel de gebruikssituatie als de brandsituatie. Als aan deze voorwaarden wordt voldaan, is geen mechanische ventilatie benodigd.

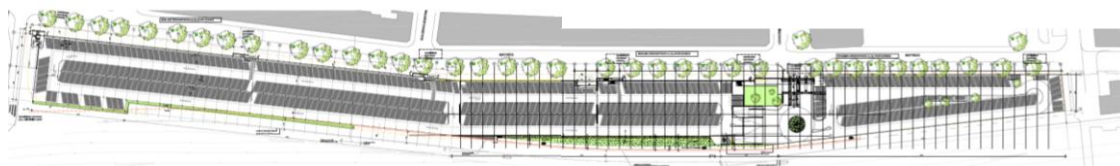
Het parkeerdek voldoet echter niet rechtstreeks aan de voorwaarden die NEN 2443:2000 stelt aan garages die natuurlijk geventileerd kunnen worden. Bij de bouw van de garage wordt langs een deel van de achtergevel een geluidsscherm geplaatst. Het geluidsscherm is op diverse plaatsen minder dan 5 m van de achtergevel van het parkeerdek gelegen en vormt daarmee een belemmering voor de ventilatie van het onderste parkeerdek. Dit betekent dat de vereiste openheid van de gevels bepaald moet worden op basis van het daadwerkelijke gebruik. NEN 2443 biedt naast de randvoorwaarden een realistische bepalingmethode voor de benodigde ventilatiecapaciteit, gebaseerd op de toelaatbare CO-verontreinigingen in het parkeerdek en het daadwerkelijke gebruik van het parkeerdek. Met behulp van een luchtstroommodel moet vervolgens bepaald worden of wat de gemiddelde ventilatiedebiet in het parkeerdek is met de aanwezige gevelopeningen (zie verder hoofdstuk 5).

Er wordt in de NEN 2443 echter geen concreet toetskader gegeven ten aanzien van brandventilatie. Als toetskader is het rook- en warmteafvoer criterium gehanteerd, dat is opgenomen in NEN 6098:2012 'Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeergarages'. Het doel van de rook- en warmteafvoer is dat het parkeerdek zodanig geventileerd wordt dat na 60 minuten na detectie (5 minuten na de brand bij garages met een volledige detectie) van de brand de rookdichtheid zover is teruggelopen dat kan worden teruggekeerd naar in een ingebruikname. De prestatie-eis houdt in dat de gehele garage vanaf 60 minuten na detectie van de brand rookarm moet zijn. Alhoewel in de garage in dit project geen automatische detectie aanwezig zal zijn, is ook voor deze garage het voldoende rookarm zijn van de garage na 65 minuten als toetskader aangehouden.

Hoofdstuk 3 Uitgangspunten

3.1 Bouwkundig

De geometrie van het parkeerdek is weergegeven in figuur 2. Het parkeerdek bestaat uit twee bouwlagen. De bovenste laag is geheel in de buitenlucht gelegen. Het parkeerdek heeft een gebruiksoppervlakte van circa 7.600 m². In totaal bevat het parkeerdek inclusief de parkeerplaatsen onder het parkeerdek en op het parkeerterrein, 814 parkeerplaatsen.



Figuur 2: Geometrie parkeerdek.

De gevels van het parkeerdek worden, afgezien van de achtergevel grenzend aan het geluidscherm, voorzien van wapeningsnetten. Voor de wapeningsnetten is een openheid van 84% aangehouden. Op diverse plekken in de gevels worden deze wapeningsnetten voorzien van begroeiing. In hoofdstuk 5 is berekend welk percentage van de gevels minimaal vrij dient te worden gehouden van beplanting, om rechtstreeks te kunnen voldoen aan de voorwaarde die NEN 2443 geeft aan natuurlijk geventileerde parkeergarages. Ter plaatse van de wapeningsnetten die niet voorzien zijn van begroeiing wordt op een korte afstand van de gevel hagen gepland. De grootte van de opening hier (netto doorlaat) is bepaald door de afstand loodrecht op de haag.

Het deel van de achtergevel dat op minder dan 5 m van het geluidscherm is gelegen, is niet meegenomen in de beoordeling van de gebruiksventilatie omdat het hiervoor toegepaste model (1-zone-luchtstroommodel) te gunstig met dakopeningen om gaat. Voor de brandventilatie zijn de openingen in dit gedeelte van de gevel wel meegenomen. In het hiervoor toegepaste model (CFD) wordt wel op een juiste wijze met dit soort openingen gerekend.

3.2 Gebruik

Tabel 1 toont de uitgangspunten ten aanzien van het gebruik van de garage.

Tabel 1: Uitgangspunten gebruik.

Grootheid	Eenheid	Kelder
Capaciteit	[auto's]	356
Bezettingsfrequentie	[1/dag]	1,25
Gemiddeld afgelegde weg per auto	[m]	484,6
Oponthoud per auto	[min]	1

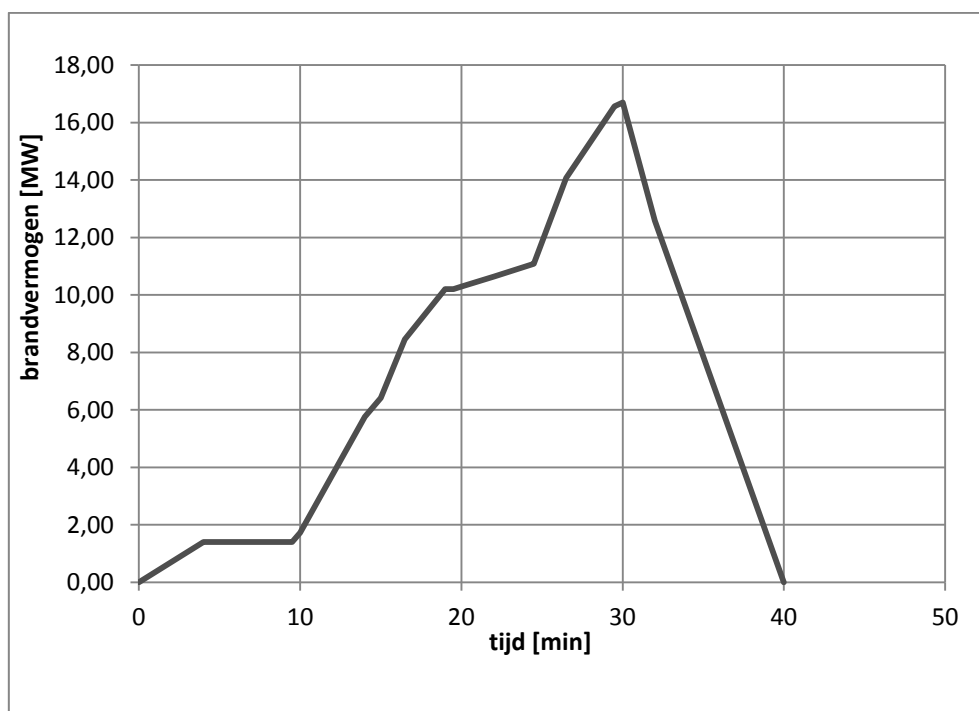
3.3 Brandscenario

NEN 6098 gaat ervan uit dat maximaal drie auto's tegelijk in brand staan. De Brandweer Brabant Noord is van mening dat bij autobrandscenario's ook met brandoverslag naar een tegenoverstaande (vierde) auto rekening wordt gehouden. Dit betekent dat met een hoger brandvermogen rekening moet worden gehouden.

Het brandvermogensverloop van vier auto's (drie auto's naast elkaar en één ertegenover) is weergegeven in figuur 3. Voor het vermogensverloop van de eerste drie auto's is aangesloten bij het vermogensverloop van NEN 6098. Vanaf het moment dat conform NEN 6098 brandoverslag plaats vindt naar auto 3 (15 minuten na start brand) is rekening gehouden met brandoverslag naar de tegenover geparkeerde auto (auto 4). Omdat geen brandmeldinstallatie met doormelding in de garage aanwezig is, is uitgegaan van blussing na 30 minuten, conform de brandbeveiligingsconcepten van het voormalig Ministerie BZK.

Langs de gevel zijn geen tegenover elkaar geparkeerde auto's aanwezig. Voor de thermische belasting op de constructies in de gevel is dan ook van een brandscenario van 3 auto's conform NEN 6098 uitgegaan.

In een bovengrondse natuurlijk geventileerde garage is het niet altijd mogelijk adequaat te blussen. De condities in een dergelijke garage zijn afhankelijk van windkracht en windrichting. Indien het niet mogelijk blijkt adequaat te blussen dan kan een brand zich verder verspreiden door de garage met meer schade als gevolg. Opdrachtgever dient zich bewust te zijn dat dit risico aanwezig is. Overigens mag ook wanneer het niet mogelijk blijkt te blussen verwacht worden dat de brand lokaal en beheersbaar blijft.



Figuur 3: Brandscenario vier auto's (drie naast elkaar en één ertegenover).

3.4 Materiaaleigenschappen

Voor de materiaaleigenschappen van de staalconstructies en het beton in het parkeerdek wordt uitgegaan van de volgende eigenschappen.

Tabel 2: Uitgangspunten CFD- en thermodynamische berekeningen.

Brandomvang	Brand midden garage: 1-4 [auto's] Brand bij gevel garage: 1-3 [auto's]
Rookpotentieel (R)	400 [$\text{m}^{-1} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$]
Verbrandingswarmte materiaal	25,0 MJ/kg
Warmtegeleidingscoëfficiënt staal	52 [W/m.K]
Soortelijke massa staal	7.800 [kg/m^3]
Soortelijke warmtecapaciteit staal	530 [J/kg.K]
Warmtegeleidingscoëfficiënt beton	2 [W/m.K]
Soortelijke massa beton	2.400 [kg/m^3]
Soortelijke warmtecapaciteit beton	840 [J/kg.K]

In de CFD-berekening is van de volgende randvoorwaarden uitgegaan:

- initiële temperatuur (buitentemperatuur): 20 °C (283 K);
- meteorologische windsnelheid van 0 m/s.

Hoofdstuk 4 Rekenmodellen

Met een luchtstroommodel kan een inschatting van de luchtverversing in ruimten gemaakt worden.

Om vervolgens te bepalen of de constructie bij een autobrandscenario zonder brandweerinzet gedurende het gehele brandscenario (waarbij alle auto's op één parkeerlaag uitbranden) niet zal bezwijken, is met behulp van rekenmodellen de ruimtetemperatuur en de stralingsflux bepaald die invloed hebben op temperatuur van de stalen draagconstructie. Voor het berekenen van het *gemiddelde temperatuurverloop in het parkeerdek* is gebruik gemaakt van het zonemodel Ozone. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van een autobrandscenario (zie paragraaf 3.3). Met berekeningen op basis van Computational Fluid Dynamics (CFD), is het *lokale effect* van de thermische belasting (convectie en straling) van brand op de draagconstructies beoordeeld. Met behulp van het thermodynamische computermodel Voltra (Physibel, België) zijn vervolgens de constructietemperaturen beoordeeld.

4.1 Luchtstroommodel

Voor het parkeerdek wordt gebruikt gemaakt van een luchtstroommodel voor één ruimte. De verantwoording hiervoor is opgenomen in bijlage 2.

4.2 Zonemodel op basis van fysisch brandmodel

Het fysisch brandmodel is opgezet conform het Natural Fire Safety Concept (NFSC). Hierbij wordt het autobrandscenario opgelegd, waardoor in eerste instantie een twee-zone-model ontstaat (hete bovenlaag boven een koude onderlaag). Dit twee-zone-model kan overgaan in een gemengde-zone-model (één-zone-model) wanneer de brand in omvang en duur toeneemt. Voor deze garage dient op basis van de lage verdiepingshoogte, vanaf tijdstip $t = 0$ s van een één-zone-model te worden uitgegaan.

Wanneer onvoldoende zuurstof in de brandruimte aanwezig is voor het onderhouden van het opgelegde (brandstofbeheerste) brandvermogensscenario, dan wordt het (zuurstofbeheerste) brandvermogen herberekend in het fysisch brandmodel.

Voor het fysisch brandmodel is het computerprogramma Ozone toegepast (Universiteit van Luik, 2001).

4.3 Fire Dynamics Simulator

Voor het bepalen van de lokale thermische belasting op de draagconstructies ter plaatse van de brandhaard, (convectieve warmte en stralingsfluxen), is gebruik gemaakt van Computational Fluid Dynamics (CFD). De Fire Dynamics Simulator (FDS, versie 5.4.0) is een CFD-model voor gasstromingen in brandsituaties. Het model lost numeriek een stelsel Navier-Stokes vergelijkingen op dat specifiek geschikt is voor (geforceerde) stromingen ten gevolge van bijvoorbeeld temperatuurverschillen, met de nadruk op rook- en warmtetransport van branden. Met FDS kunnen onder andere de luchtstromingen, de rookverspreiding en de temperatuursverdeling in een brandruimte wordt berekend. FDS wordt beheerd en bijgehouden door NIST (National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of

Commerce). Een beknopt overzicht van de achtergronden en specificaties van het model is opgenomen in bijlage 3.

4.4 Voltra

Om de temperaturen van de kritische onderdelen van de draagconstructie te beoordelen, zijn de rekenresultaten van de CFD-berekeningen als randvoorwaarden opgelegd in een thermodynamisch computermodel (Voltra). Bij een thermodynamische beoordeling wordt gebruik gemaakt van een thermodynamisch computermodel. Een rekenprogramma dat dergelijke berekeningen uitvoert is Voltra (Physibel, België). In dit rekenprogramma wordt de geometrie via een orthogonaal raster opgedeeld in kleine volume-elementjes. Vervolgens wordt in kleine tijdstappen de temperatuurverdeling in de constructie berekend, rekening houdend met de opgelegde randcondities enerzijds en de warmte-accumulatie in het materiaal anderzijds. Als simulatietechniek (verzekering van de stabiliteit van het simulatieproces) wordt de Crank-Nicholson eindige differentie methode gebruikt.

Met behulp van een thermodynamisch computermodel kan een gefundeerde voorspelling voor het temperatuurverloop van de constructie worden gedaan.

Hoofdstuk 5 Rekenresultaten gebruiksventilatie

5.1 Berekening ventilatiebehoefte

NEN 2443:2000 geeft een bepalingmethode voor het dimensioneren van ventilatie-installaties op basis van de koolmonoxideproductie. De bepalingmethode uit NEN 2443:2000, aangepast voor de 8-uur-gemiddelde-waarde, geeft voor het benodigde ventilatiedebiet op basis van werkelijke verontreinigingen de volgende berekening:

$$q = \frac{n \cdot P_{co} \cdot 10^6}{TGG_{8uur} - C_a}$$

waarin:

q	=	het ventilatieluchtdebiet, in m ³ /h
n	=	het aantal auto's dat gedurende een tijdsduur van een uur in de garage met draaiende motor (stilstaand en rijdend) aanwezig is
P _{co}	=	de gemiddelde koolmonoxideproductie van een draaiende motor (P _{co} = 0,35 m ³ /h), in m ³ /h
TGG _{8 uur}	=	de maximale gemiddelde binnenluchtconcentratie van CO gedurende 8 uur, in ppm = TGG-grenswaarde volgens Arbeidsomstandighedenregeling van 25 ppm (ofwel 29 mg/m ³)
C _a	=	de maximale gemiddelde buitenluchtconcentratie van CO gedurende 8 uur, in ppm

Het landelijk gemiddelde van de achtergrondconcentratie bedraagt circa 2 ppm. In de berekening is uitgegaan van een mogelijke langdurende piek van 3 ppm (worst case). De ventilatiebehoefte van het parkeerdek op basis van NEN 2443 bedraagt 54.412 m³/h. De berekening is opgenomen in bijlage 5.

5.2 Voorzieningen natuurlijke ventilatie volgens luchtstroommodel

Met een luchtstroommodel kunnen de benodigde gevelopeningen met realistische uitgangspunten worden berekend. In dit project is gerekend met windstil weer en 2 K temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Het parkeerdek is ingevoerd in een luchtstroommodel, dat is opgebouwd conform internationale toegepaste luchtstroomvergelijkingen en overeenkomt met de 'Guide to Energy-Efficient Ventilation' (AIVC, 1996).

De berekening met het luchtstroommodel is in bijlage 6 opgenomen. Uit het luchtstroommodel volgt dat de wapeningsnetten met begroeiing een openheid van ten minste 56% moeten bezitten. Conform NEN 2443 is in de gebruikssituatie dan geen mechanische ventilatie vereist.

Om de openheid van de begroeide gevels te kunnen garanderen, adviseren wij een onderhoudscontract voor de beplanting af te sluiten. Dat wil zeggen dat de planten periodiek (afhankelijk van type

beplanting) gesnoeid worden om de openheid te garanderen. Daarnaast moeten de dode bladeren en takken worden verwijderd (deze leveren in tegenstelling tot levende planten wel een bijdrage aan een eventuele brand).

Met het luchtstroommodel kunnen alleen gemiddelde ventilatiedebieten worden bepaald. Lokale verschillen hierin komen niet uit het model. Voor een deel van de garage geldt dat ventilatie slechts via één gevel plaats kan vinden. Bij windstil weer of bepaalde windrichtingen, zullen verontreinigingen in dit deel van de garage niet voldoende worden afgevoerd. Er kan een ophoping van CO ontstaan (gezondheidsrisico en stankoverlast) en van LPG (veiligheidsrisico). Met name LPG vormt hierbij een probleem, omdat LPG laag in de garage blijft hangen en een risico geeft op explosies. Om auto's met LPG zoveel mogelijk op het dek te laten parkeren, zullen bij de ingang van de garage en bij de hellingbaan naar het dek borden worden opgehangen die LPG auto's naar boven sturen. In de kelder worden ter plaatse van de parkeervakken achter de dichte gevel verbodsborden opgehangen voor auto's met LPG. De strook met verbodsborden wordt tot minimaal 3 parkeervakken voorbij de dichte gevel doorgetrokken.

Hoofdstuk 6 Rekenresultaat fysisch brandmodel (zone niveau)

6.1 Parameters

De berekeningen zijn uitgevoerd voor het in paragraaf 3.3 beschreven brandscenario: een autobrand op de begane grond.

Geometrie en materialisering:

Gebruiksoppervlakte begane grond:	7.580 m ²
Netto hoogte begane grond:	2,4 m (vrije hoogte onder rib TT-vloer)
Gevels:	stalen wapeningsnetten voorzien van begroeiing
Vloeren:	begane grondvloer: betonklinkers parkeerdek: betonvloer (TT-vloer) materiaalgegevens conform EN 1994-1-2
Draagstructuur:	staal; materiaalgegevens conform EN 1994-1-2

Brandscenario:

Brandvermogensscenario:	conform paragraaf 3.3, autobrand midden garage (figuur 3)
Verbrandingswaarde auto:	25 MJ/kg
Verbrandingsefficiëntie:	80 %
Verbrandingsmodel:	brandstofbeheerst
Afmetingen parkeervak (b x d):	2,5 x 5 m
Max. brandomvang:	4 parkeervakken

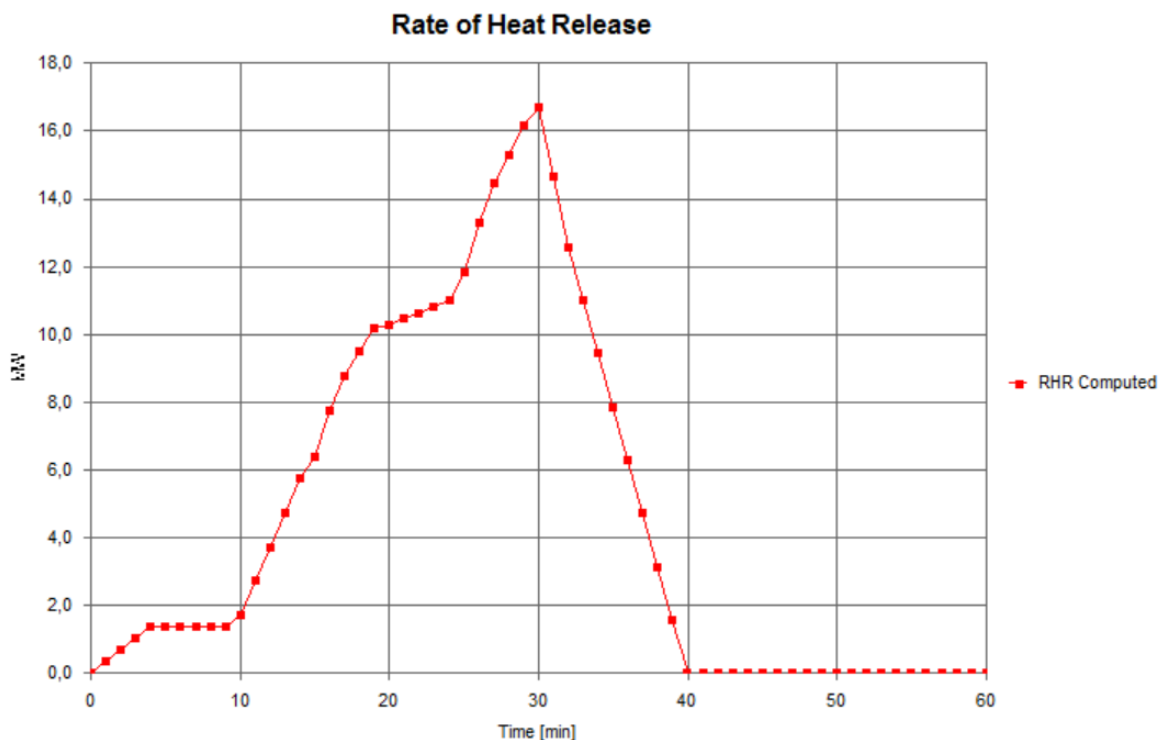
Brandmodel:

NFSC (Ozone), 1-zone model.

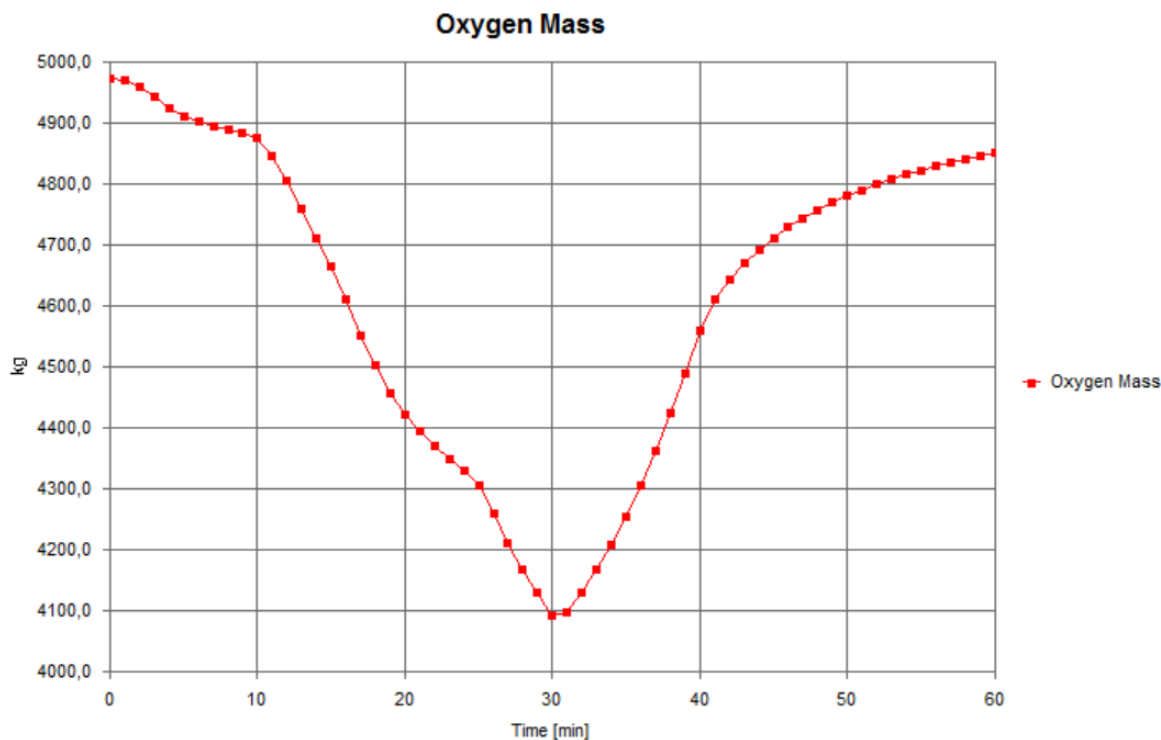
6.2 Resultaat

De berekening is opgenomen in bijlage 11. Het brandscenario is lokaal en brandstofbeheerst. Vanwege de geringe hoogte is sprake van een (opgelegd) 1-zone model. De maximale gastemperatuur van de gemengde zone is 65 °C na 30 minuten.

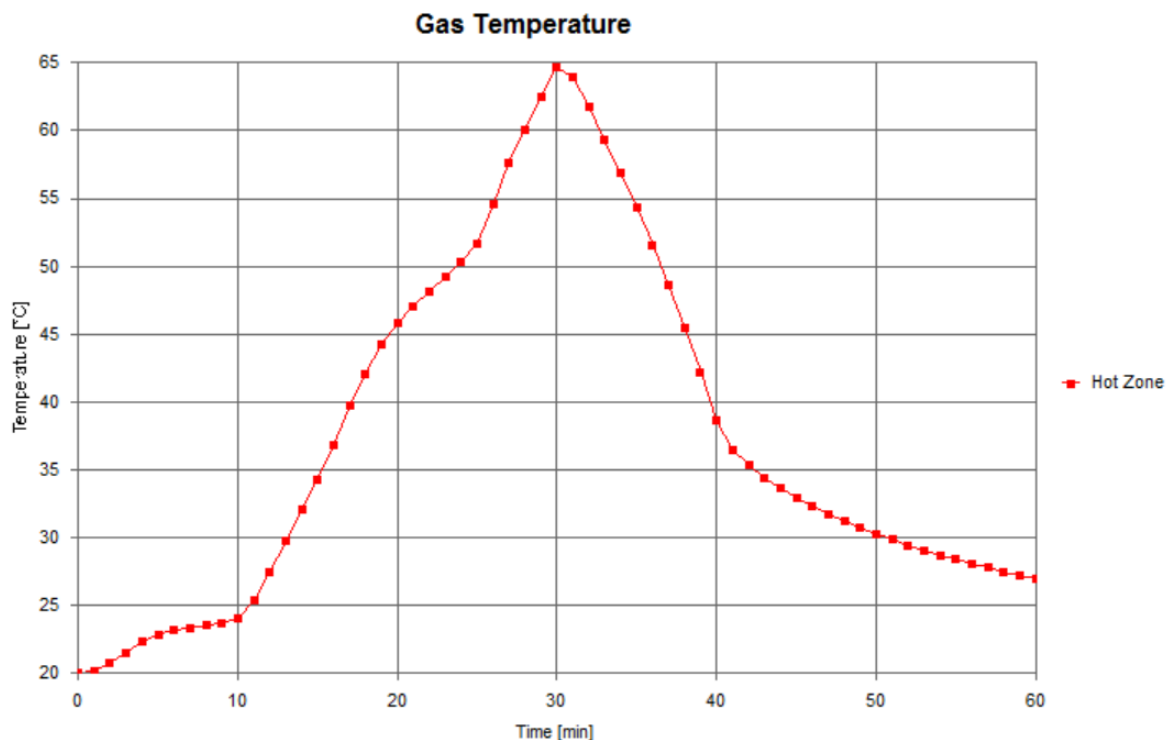
In de figuren 4a, 4b en 5 zijn het brandvermogensscenario na berekening door Ozone, de zuurstofmassa in de brandruimte en het verloop van de gastemperatuur in de brandruimte weergegeven.



Figuur 4a: Brandvermogensscenario na berekening door Ozone.



Figuur 4b: Zuurstofmassa in de brandruimte: het brandvermogen blijft brandstofbeheerst.



Figuur 5: Gastemperatuur in de brandruimte; in de homogeen gemengde zone maximaal 65 °C na 30 minuten.

6.3 Conclusies

De temperatuur van de gemengde zone zal niet tot een zodanige opwarming van de stalen profielen van de hoofddraagconstructie leiden, dat deze zal bezwijken.

De gemiddelde temperatuur in de garage bedraagt maximaal 65 °C. Dit is ruim onder de grenswaarde voor convectieve flash-over van 300 °C. Hiermee is aangetoond dat het realistisch is van een lokale brand uit te gaan.

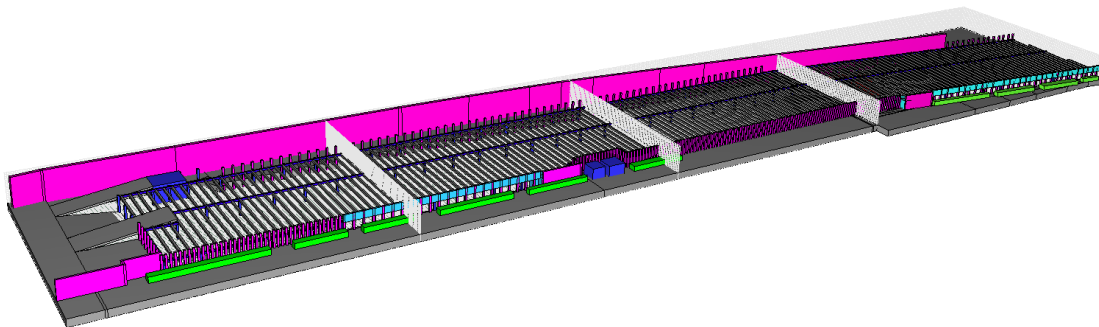
In de garage is voldoende zuurstof voorhanden zodat de brand brandstofbeheerst blijft. Dit betekent dat geen onverbrande gassen via de gevels naar buiten stromen die daar kunnen leiden tot uitslaande vlammen. Omdat er geen sprake is van uitslaande vlammen hoeft er geen rekening te worden gehouden met brandoverslagrisico's naar hogere parkeerlagen via de gevels.

Hoofdstuk 7 Rekenresultaten brandventilatie

De rookverspreiding in de garage wordt beoordeeld op basis van de aanwezige geometrie en belemmeringen van het parkeerdek. Indien aan het toetskader, zoals vastgelegd in paragraaf 2.1.3, wordt voldaan: een gemiddelde zichtlengte van minimaal 30 meter op 65 minuten na ontstaan van de brand, dan kan met deze berekening worden volstaan.

7.1 Geometrie

De geometrie van de parkeergarage, zoals deze in het CFD-model is ingevoerd, is weergegeven in figuur 6. De aanwezige kolommen, gevels, hellingbanen en trappenhuizen in het parkeerdek zijn meegenomen als belemmering in het model. Daarbij zijn de afmetingen van deze obstakels afgestemd op het gekozen rekenrooster (grid). Hierbij is getracht de werkelijke afmetingen zo goed mogelijk te benaderen. FDS maakt gebruik van een gestructureerd rekenrooster (orthogonaal grid). In het model zijn schuine constructie-onderdelen vereenvoudigd gemodelleerd door middel van het 'stair stepping' principe, waarin wordt gecorrigeerd op de grotere overdrachtsoppervlakte en de grotere ruwheid van de betreffende constructieonderdelen.



Figuur 6: Geschematiseerde geometrie van het parkeerdek.

De begrenzingen van het model worden gevormd door de vloer en plafond van het parkeerdek en de omgeving rondom het parkeerdek. In het model zijn de volgende afmetingen voor het rekenrooster (gridcellen) gebruikt:

- langs x-as: 0,3 m;
- langs y-as: 0,3 m;
- langs z-as: 0,3 m.

Dit rekenrooster leidt tot een model met 1.790.000 cellen. Een fijner rekenrooster is gezien de omvang van het rekengebied (aantal gridcellen) en rekencapaciteit vrijwel niet mogelijk. Uit eerdere studies (simulaties) blijkt dat het gekozen rekenrooster voldoende nauwkeurig is om rookverspreiding in een natuurlijk geventileerde parkeergarage te beoordelen.

Daarnaast is het toegepaste rekengrid kleiner dan wat volgens bijlage B van NEN 6098:2012 minimaal vereist wordt. In bijlage B is aangegeven dat de maximale afmetingen voor de rekencellen in horizontale projectie 0,5 x 0,5 m in de zone van de brandhaard en 1 x 1 m buiten deze zone moeten bedragen en in verticale projectie maximaal 0,5 m.

7.2 Positie brandhaard

Voor het parkeerdek is één scenario voor de plaats van de brandhaard doorgerekend. De locatie is weergegeven in figuur 7. De garage is op deze locatie het meest besloten zodat dit de meest ongunstige positie (worst-case) voor de brandhaard in het parkeerdek is.. Indien voor dit scenario voldaan wordt aan het toetskader (gemiddelde zichtlengte van 30 m op 65 minuten na ontstaan van de brand), betekent dit dat de resultaten voor alle mogelijke locaties van de brandhaard gelden.



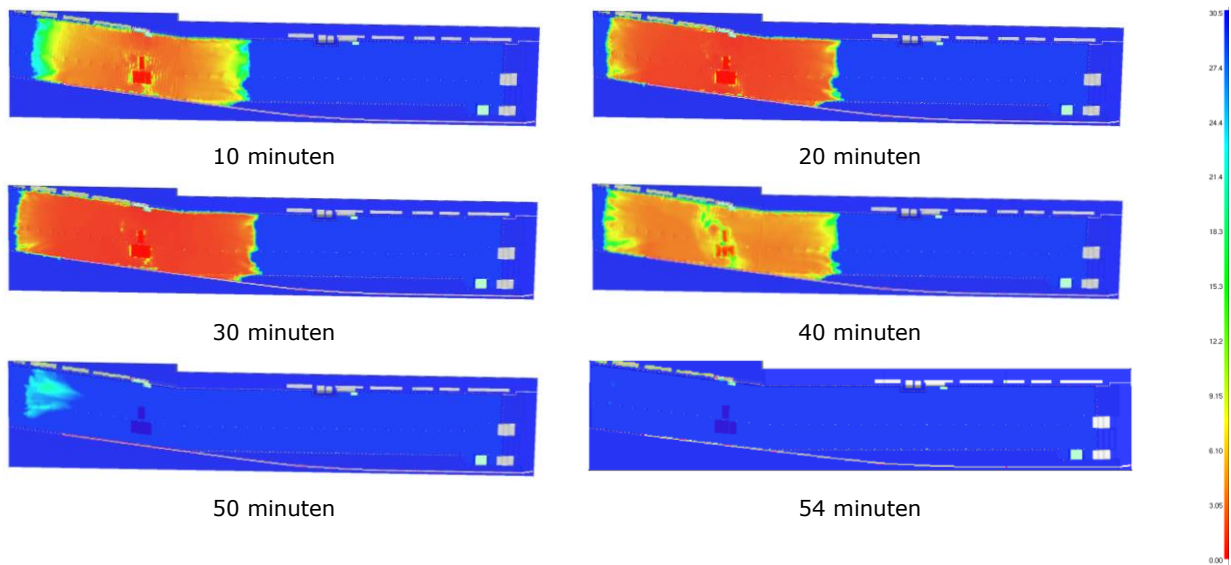
Figuur 7: Scenario autobrand vier auto's (rood vlakje).

Er is volgens NEN 6098 gerekend met een leeg parkeerdek. Alleen ter plaatse van de brandhaard bevinden zich vier (brandende) auto's met een netto-verbrandingswaarde van 25 MJ/kg en een rookpotentieel van 400 m²/kg.

In bijlage 4 wordt ingegaan op de toegepaste submodellen.

7.3 Rekenresultaten

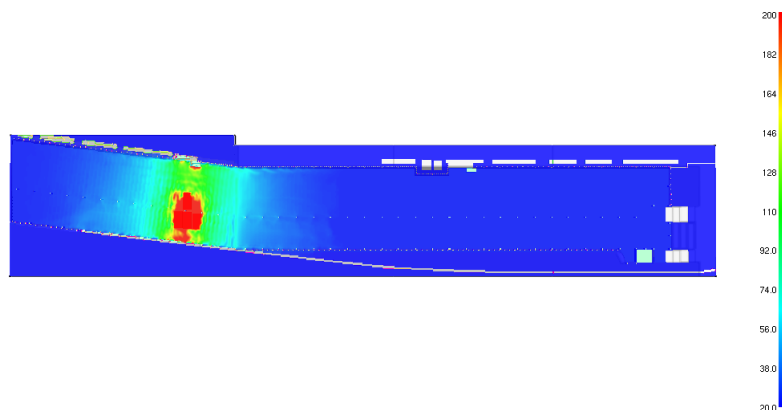
Figuur 8 geeft de zichtlengte op de laag van de brand weer (laag 0) op 10, 20, 30 en 45 minuten na het ontstaan van de autobrand. De zichtlengte in deze afbeelding is weergegeven op een schaal van 0 tot 30 m. De afbeeldingen in dit hoofdstuk zijn tevens bijgevoegd in bijlage 7.



Figuur 8: Zichtlengte op 1,8 m boven vloerniveau.

Temperatuur

Figuur 9 geeft de temperatuur weer op 30 minuten na het ontstaan van de autobrand. Dit is op het moment dat de brandweer aankomt en start met blussen. De temperatuur in deze afbeelding is weergegeven op een schaal van 20 tot 200 °C. Door deze schaalverdeling is inzichtelijk gemaakt hoe hoog de temperatuur in het parkeerdek wordt rondom de brandhaard op een hoogte van 1,8 m boven de vloer. De temperatuur boven de brandhaard (rode vlekken in afbeelding 9) ligt gedurende een deel van het brandscenario hoger dan 200 °C.



Figuur 9: Temperatuur op 1,8 m boven vloerniveau op 30 minuten.

7.4 Analyse rekenresultaten

Uit paragraaf 7.3 blijkt dat op 54 minuten na ontstaan van de brand overal in het parkeerdek een gemiddelde zichtlengte van ten minste 30 m aanwezig is. Hiermee wordt voldaan aan het toetskader, zoals vastgelegd in paragraaf 2.1.3 (een gemiddelde zichtlengte van minimaal 30 meter op 65 minuten na ontstaan van de brand).

Zoals aangegeven in paragraaf 3.3 is uitgegaan van de meest ongunstigste locatie voor de brandhaard. Dit betekent dat deze resultaten representatief zijn voor de gehele garage.

Op basis van dit onderzoek, rekening houdend met het besproken toetskader, kan worden geconcludeerd dat het parkeerdek bij brand voldoende wordt geventileerd. Er is sprake van een gelijkwaardige mate van veiligheid zoals beoogd in afdeling 2.10 van het Bouwbesluit 2012.

Hoofdstuk 8 Rekenresultaten brandwerendheid draagconstructie

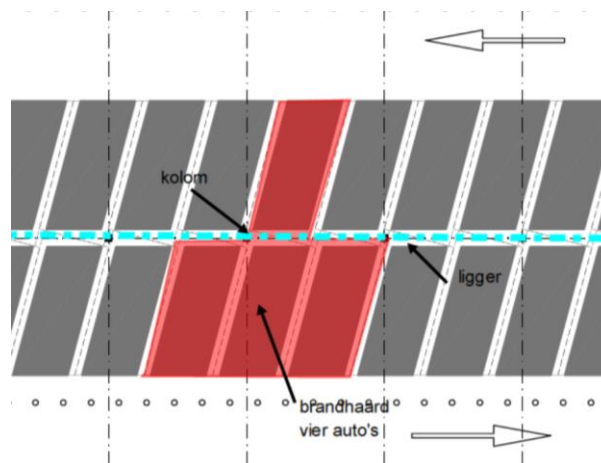
8.1 Berekende situatie

De bepaling van de thermische belasting op de staalprofielen van de draagconstructie wordt uitgevoerd voor de meest kritische situaties (twee worst case scenario's).

Aangezien het uitgangspunt voor het ontwerp van de draagconstructie is dat geen enkele kolom of hoofdligger mag bezwijken, wordt de lokale thermische belasting op staalprofielen direct ter plaatse van de brandhaard berekend.

Brand midden parkeerdek

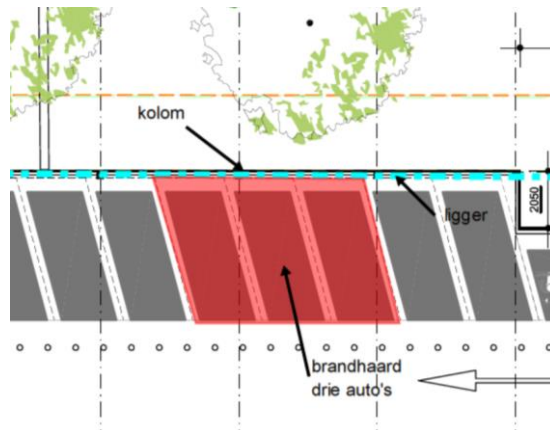
Een brand in het midden van de garage geeft de grootste thermische belasting op de constructies. In het midden van de garage staan auto's tegenover elkaar geparkeerd. Tevens is de afkoelende invloed van de omgeving in het midden van de garage het kleinst. Voor dit scenario is uitgegaan van een brandhaard van drie naast elkaar geparkeerde auto's en één daartegenover geparkeerde auto in een parkeervak (zie figuur 10). De brand start daarbij voor een ligger en een kolom. Wanneer de brand op deze positie begint, is de thermische belasting op de staalconstructies het grootst.



Figuur 10: Positie van brandscenario van vier auto's.

Brand bij gevel parkeerdek

In de gevelzone doen zich geen situaties voor waarbij auto's tegenover elkaar geparkeerd worden. Tevens worden hier andere type kolommen toegepast met een lagere kritische staaltemperatuur. Om deze reden is een specifieke berekening uitgevoerd van de thermische belasting op de kolommen wanneer zich een brand voordoet in de gevel. Voor dit scenario, is uitgegaan van een brandhaard van drie naast elkaar geparkeerde auto's in het midden van een parkeervak (zie figuur 11). Wanneer de brand op deze positie begint, is de thermische belasting op de staalconstructies het grootst. De brand start daarbij midden voor een ligger en een kolom.



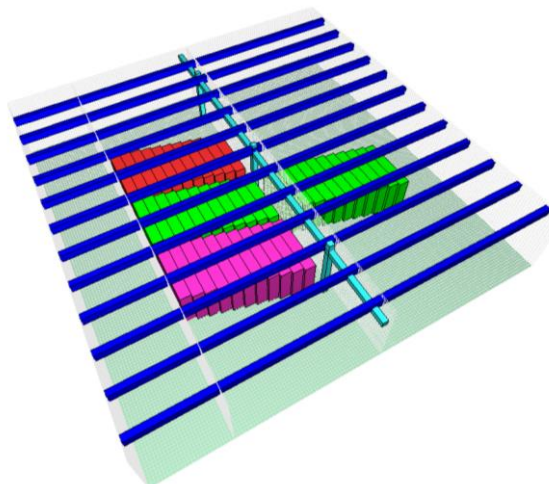
Figuur 11: Positie van brandscenario van vijf auto's bij de gevel.

In de Voltra-berekeningen zijn de maatgevende staalprofielen (met de grootste profielfactor) die in de garage worden toegepast doorgerekend. Ook voor deze berekeningen zijn worst case uitgangspunten gebruikt.

8.2 CFD-model

CFD-model brandscenario midden parkeerdek

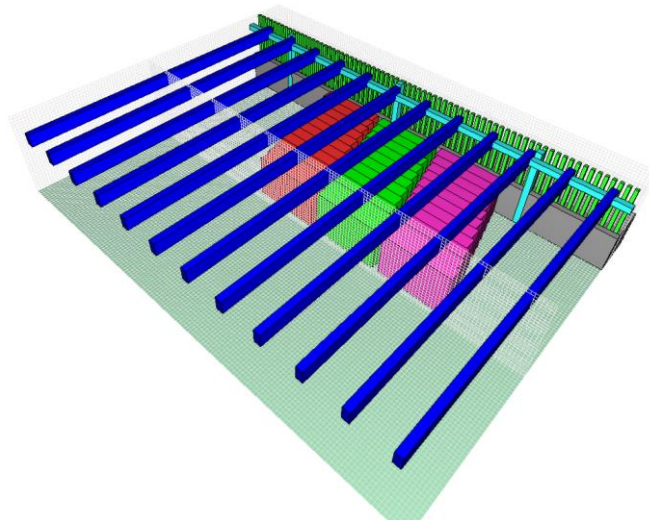
De CFD-berekening is uitgevoerd voor een fijnmazig gemodelleerd gedeelte van het parkeerdek, bestaande uit een gedeelte van het parkeerdek van 15 bij 15 m en één bouwlaag hoog. Het is niet mogelijk een gehele parkeerlaag in te voeren vanwege de rekenkundige beperkingen in de grootte van het model (aantal rekencellen) en de benodigde rekestijd. De omvang van het model is voldoende groot om de lokale effecten op de constructie te beoordelen. De geometrie van het model voor dit brandscenario zoals gemodelleerd in Pyrosim is weergegeven in figuur 12. In het model zijn gridcellen met afmetingen van $0,1 \times 0,1 \times 0,1 \text{ m}^3$ gebruikt.



Figuur 12: Geometrie brand midden parkeerdek.

CFD-model brandscenario bij gevel parkeerdek

De tweede CFD-berekening is uitgevoerd voor een fijnmazig gemodelleerd gedeelte van het parkeerdek nabij de gevel, bestaande uit een gedeelte van het parkeerdek van 15 bij 11 m en één bouwlaag hoog. De geometrie van het model voor dit brandscenario zoals gemodelleerd in Pyrosim is weergegeven in figuur 13. Ook in dit model model zijn gridcellen met afmetingen van 0,1 x 0,1 x 0,1 m¹ gebruikt.



Figuur 13: Geometrie brand bij gevel parkeerdek.

Invloedsfactoren voor model

In het model zijn de volgende factoren meegenomen, die van invloed zijn op de lokale thermische belasting van de staalconstructie:

- de geometrie van de brandruimte (met name de hoogte);
- de plaats (t.o.v. draagconstructies) en omvang van de brandhaard en de ontwikkeling van het brandvermogen;
- omgevingscondities;
- convectieve afvoer en stralingsafgifte van het brandvermogen (convectieve afgifte en stralingsafgifte zijn afhankelijk van de brandtemperatuur en omgevingstemperatuur en worden door het CFD-programma berekend);
- de turbulentie-intensiteit (de thermische turbulentie-intensiteit voor grote wervels wordt door het programma FDS berekend, voor kleine wervels wordt het κ - ϵ turbulentiemodel gehanteerd);
- afkoeling aan vloer (betonconstructie, thermisch zwaar).

De begrenzende constructies hebben bij het ontstaan van een brand dezelfde temperatuur als de aangrenzende lucht (20 °C). Door de brand worden de begrenzende constructies opgewarmd, zowel door stralingsafgifte (vanaf de brandhaard) als door convectieve afgifte (vanaf de rooklaag). Bij *thermisch zware constructies* (zoals steenachtige constructies) kan de opwarming geheel in de constructie worden geaccumuleerd. Dit houdt in dat aan de niet-verhitte zijde van de constructie geen opwarming is waar te nemen. Bij *thermisch lichte constructies* (zoals beglazingen en andere transparante materialen) kan de opwarming niet geheel in de constructie worden geaccumuleerd. De niet-verhitte zijde van de constructie

warmt dus ook op. Daardoor ontstaat een warmtestroom naar de omgeving toe (transmissie door de constructie).

In de lokale thermische belasting ter plaatse van de brandhaard zal met name de directe stralingsbelasting door de brandhaard een rol spelen. Zeker bij een brand in het midden van de garage geldt dat een gedeeltelijke begrenzing door gevels hier nauwelijks invloed op heeft. In het model voor een brand bij de gevel zal de gevel wel meer invloed hebben. In dit model is de gevel op as A dan ook in het model meegenomen.

De resultaten van de CFD-berekening zijn opgenomen in bijlage 8 van dit rapport. Met behulp van deze resultaten kan met het thermodynamische computermodel worden bepaald wat de temperatuur van de staalconstructie onder invloed van de omgevingstemperatuur en de warmtestralingsflux vanuit de brandhaard zal worden.

8.3 Thermodynamisch computermodel

De gemeten temperatuur en stralingsflux van de CFD-berekening zijn in het thermodynamisch simulatiemodel toegepast als randvoorwaarden voor de thermische belasting op de staalprofielen. Per zijde van het profiel zijn de gemeten waarden voor de temperatuur en stralingsflux van de zwaarst belaste meetpunten aan die zijde over de volledige lengte opgelegd als randcondities (worst case scenario).

De vloer is uitgevoerd in een dubbele T vloer. Tussen de vloer en de ligger is ruimte aanwezig. Hierdoor wordt de ligger aan zowel de onderzijde als de zijkanten door straling verwarmd en aan vier zijden convectief (door de ruimtetemperatuur) verwarmd. De kolom wordt aan vier zijden door straling verwarmd en convectief verwarmd (door de ruimtetemperatuur).

Voor elk profiel is op verschillende punten in het profiel het temperatuurverloop gedurende de brand berekend. Aan de hand van deze berekeningen is de maximale temperatuur bepaald die in het profiel bereikt wordt.

Tabel 3 toont de rekenresultaten van de berekeningen die zijn uitgevoerd voor de maatgevende staalprofielen:

Tabel 3: Rekenresultaten van de thermodynamische berekening toegepaste staalprofielen

Staalprofielen	Berekende maximale temperatuur	Kritieke staaltemperatuur
Ligger IPE 300*)	632 °C (brandscenario midden garage)	649 °C
Ligger IPE 270	634 °C (brandscenario midden garage)	677 °C
Kolom K 200.200.6	598 °C (brandscenario midden garage)	647 °C
Ligger IPE 300	663 °C (brandscenario bij gevel garage)	685 °C
Kolom HEB 200	719 °C (brandscenario bij gevel garage)	720 °C

*) Plaatselijk wordt voor de ligger op as B een IPE 330-profiel toegepast. Doordat een IPE 300 voldoet voor deze situatie, voldoet een IPE 330 ook.

In tabel 3 zijn ook de door JVZ berekende kritieke staaltemperaturen opgenomen. Uit de tabel volgt dat de kritieke staaltemperaturen van de toegepaste profielen in het parkeerdek niet lager zijn dan de berekende maximaal optredende temperaturen. Dit betekent dat de staalprofielen niet brandwerend bekleed hoeven te worden.

Op een aantal posities worden profielen toegepast met een kleinere profielfactor dan de doorgerekende profielen conform tabel 3, bijvoorbeeld op as B wordt een . Profielen met een kleinere profielfactor (grotere massa per meter lengte) warmen minder snel op. De kritieke staaltemperatuur van een zelfde type profielen met kleinere profielfactoren blijft onder de maximale temperatuur in de doorgerekende staalprofielen zodat zonder nadere beoordeling geconcludeerd kan worden dat ook deze staalprofielen niet brandwerend bekleed hoeven worden.

De uitgebreide rekenresultaten van de thermodynamische berekeningen zijn weergegeven in bijlage 9.

8.4 Conclusie constructieve beoordeling

Aan de hand van CFD-berekeningen en thermodynamische berekeningen is bepaald welke temperaturen optreden in de staalprofielen die worden toegepast in het parkeerdek.

Door JVZ zijn voor de meest voorkomende profielen in het parkeerdek de kritieke staaltemperaturen uitgerekend. Volgens opgave van JVZ blijkt dat de kritieke staaltemperaturen van de toegepaste profielen in het parkeerdek niet lager zijn dan de in tabel 3 berekende maximaal optredende temperaturen. Dit betekent dat de staalprofielen niet brandwerend bekleed hoeven te worden.

Hoofdstuk 9 Overige brandveiligheidsaspecten

9.1 Brandbeheersing

WBDBO-eisen

Volgens artikel 2.84 van het Bouwbesluit dient de volgens NEN 6068 bepaalde WBDBO-eis (Weerstand tegen BrandDoorslag en BrandOverslag) minimaal 60 minuten te bedragen. Deze eis en de bepalingmethode NEN 6068 zijn gebaseerd op het normatief brandverloop. Zoals in paragraaf 2.1.1 is aangegeven, is in een parkeergarage sprake van een ander brandverloop: een autobrandscenario waarbij een beperkt aantal auto's tegelijkertijd in brand zullen staan.

Om te kunnen garanderen dat er geen grotere brand dan een autobrand in het parkeerdek kan ontstaan, dienen ruimten zoals bergingen en technische ruimten, in een apart brandcompartiment ondergebracht te worden. Tussen het parkeerdek en deze ruimten dient in een 60 minuten brandwerende scheidingsconstructie en zelfsluitende deuren te worden voorzien.

Het Bouwbesluit en NEN 6068 gaan bij de bepaling van de WBO-risico's uit van een compartimentsbrand, conform het normatief brandverloop. Dit betekent dat de brand zich heeft uitgebreid tot het volledige brandcompartiment en ventilatiebeheerst is, met hoge temperaturen in de brandruimte en uitslaande vlammen uit de openingen. Echter, een lokale brand zoals een autobrand, is brandstofbeheerst, er kan voldoende zuurstof worden toegevoerd. Er treden dan ook geen uitslaande vlammen op uit de openingen en er is dan ook geen brandoverslagrisico ten gevolge van uitslaande vlammen. Eventuele brandoverslagrisico's vanuit het parkeerdek naar de omgeving hoeven dan ook niet beschouwd te worden.

Ten aanzien van de risico's richting het spoor kan ervan worden uitgegaan dat de risico's van een brand in het parkeerdek ongeveer gelijk zullen zijn aan de risico's bij een brand op het parkeerterrein. In beide gevallen ontstaat er een lokale autobrand. Vanuit de publiekrechtelijke regelgeving worden geen brandwerende voorzieningen geëist tussen parkeerdek en spoor.

Brandvoortplantingsklasse

Het hele brandveiligheidsconcept van dit parkeerdek is gebaseerd op een lokale brand en een geleidelijke branduitbreiding van auto naar auto. Dat kan alleen gerealiseerd worden door eisen te stellen aan de brandvoortplantingsklasse van de toegepaste materialen. Anders zal de branduitbreiding via de bouwmaterialen resulteren in een totaal ander brandverloop. Daarom wordt vereist dat alle toegepaste materialen van het parkeerdek voldoen aan brandklasse B volgens NEN-EN 13501.

9.2 Veilig vluchten

Volgens het Bouwbesluit geldt dat de loopafstand tussen een punt in een gebruikgebied en de uitgang van een subbrandcompartiment ten hoogste 60 m bedraagt (bezetting is minder dan 1 persoon per 30 m²). Doordat aannemelijk is dat het parkeerdek in de toekomst niet nader opgedeeld gaat worden in

meerdere ruimten, hoeft de loopafstand in het parkeerdek niet gecorrigeerd te worden. Er mag worden uitgegaan van de werkelijke loopafstand. Vanuit de onderste dek zal gevlucht worden via de trappenhuisen bij de kopgevels en aan de straatzijde naar het aansluitende terrein. De toetsing van de loopafstand is opgenomen in bijlage 10. Uit deze toetsing volgt dat de loopafstand vanuit het onderste del tot het aansluitende terrein minder dan 60 m bedraagt.

Omdat het bovenste parkeerdek geheel open is en rook bij een eventuele brand op deze bouwlaag niet zal blijven hangen, hoeft de loopafstand op deze bouwlaag pas vanaf de trappenhuisen gerekend te worden. Met de twee trappenhuisen bij de kopgevels van het parkeerdek en drie trappenhuisen aan de straatzijde van het parkeerdek, wordt vanuit elk punt van het parkeerdek het aansluitende terrein bereikt binnen 60 meter.

Dit betekent dat het parkeerdek niet hoeft te worden ingedeeld in subbrandcompartimenten en de trappenhuisen niet brandwerend van het parkeerdek afgescheiden hoeven te worden.

9.3 Brandbeveiligingsinstallaties

Draagbare blustoestellen

In een parkeerdek zijn volgens het Bouwbesluit geen brandslanghaspels vereist. Een parkeerdek die niet is voorzien van brandslanghaspels, moet wel worden voorzien van voldoende draagbare of verrijdbare blustoestellen. Wij adviseren bij de trappenhuisen draagbare blustoestellen aan te brengen.

BMI en OAI

Voor een besloten parkeergarage is conform het Bouwbesluit een brandmeldinstallatie met volledige bewaking zonder doormelding naar de brandweer en een ontruimingsalarminstallatie benodigd. Voor het parkeerdek in dit project, geldt dat brandventilatie op natuurlijke wijze plaatsvindt. In de berekeningen zal worden uitgegaan van een brandscenario van 30 minuten. Van dit scenario wordt uitgegaan wanneer geen volledige brandmeldinstallatie met doormelding wordt toegepast. Overigens is wel permanent cameratoezicht in de garage aanwezig zodat verwacht mag worden dat een brand tijdig gedetecteerd zal worden.

De stalen constructie zal zodanig gedimensioneerd worden dat deze bij het gegeven brandscenario minimaal 60 minuten bestand is tegen bezwijken. Gedurende deze tijd kan de brandweer een binnenaanval doen om de lokale brand te blussen. Dit betekent dat een brandmeldinstallatie met volledige bewaking achterwege blijven zonder dat dat ten koste gaat van de veiligheid van de gebruikers en de brandweer.

Daarnaast is dit parkeerdek zodanig open dat een brand op de onderste laag van het parkeerdek vrij snel ontdekt zal worden op de bovenste laag van het parkeerdek doordat de rook vrij kan wegstromen rondom het gebouw. Een brand op het bovenste parkeerdek geeft geen bedreiging voor personen op het onderste parkeerdek. Dit betekent dat het toepassen van een (niet-automatische) brandmeldinstallatie en een ontruimingsalarminstallatie t.b.v. de ontruiming van het aanwezige publiek, geen extra veiligheid

geeft. Door ervoor te kiezen geen brandmeldinstallatie toe te passen wordt voorkomen dat veel loze meldingen plaatsvinden (uit ervaring blijkt dat in open garages vaak loze meldingen voorkomen bij het toepassen van handbrandmelders).

Vluchtrouteaanduiding

Alle ruimtes waardoor verkeersroutes voeren en ruimten voor meer dan 50 personen, moeten voorzien worden van vluchtrouteaanduiding conform NEN 6088. Dat betekent dat onder het parkeerdek en in de trappenhuizen vluchtrouteaanduiding moet worden aangebracht.

Noodverlichting

De onderste parkeerlaag van het dek ligt ruim een meter onder het niveau van de aangrenzende openbare weg. Indien de openbare weg als meetniveau wordt beschouwd, dient deze parkeerlaag conform het Bouwbesluit van dient noodverlichting te worden voorzien. Echter dit voegt weinig toe aan de veiligheid van de garage. De gevels van de onderste parkeerlaag zijn zeer open en de garage staat vlakbij de openbare weg die van straatverlichting is voorzien. Indien 's avonds of 's nachts onverhoeds de stroom zou uitvallen komt er nog voldoende licht de garage in om je te kunnen oriënteren.

Brandweerinzet

De aanvalsroute van de brandweer verloopt via de Lekkerbeetjesstraat of vanaf de stationszijde. Op de plattegrond van niveau -0,5 in bijlage 1 zijn de posities van de brandhydranten in de omgeving van het parkeerdek en de opstelplaatsen van de brandweervoertuigen (op Mayweg) aangegeven. Om overal in het parkeerdek een inzetdiepte van maximaal 60 m te behalen, wordt ter plaatse van de voetgangersentree (linkerzijde parkeerdek) een droge blusleiding aangebracht. Het aansluitpunt en de aftappunten zullen zodanig geplaatst worden dat deze goed bereikbaar zijn.

Nabij elk trappenhuis wordt een sleutelkuis aangebracht, zie de plattegrond in bijlage 1. Met de algemene sleutel(s) in de kluisen moet toegang tot het terrein van het parkeerdek en tot het terrein achter het geluidscherm verschaft kunnen worden.

Calamiteiten op het spoor

Er moet rekening gehouden worden met calamiteiten op het spoor met treinen, die gevaarlijke stoffen vervoeren. Ten behoeve van een brandweerinzet in dat geval, dient een opstelplaats te worden gemaakt voor de inrit van de garage en ter plaatse van de voetgangersentree van de garage. Mogelijke inzet vanaf die opstelplaatsen is 210 meter (200 meter slang + 10 meter worp). Deze opstelplaatsen zijn op tekening aangegeven.

Vanaf het spoor kunnen gevaarlijke stoffen de parkeerkelder in stromen. Daarom leiden de trappen achter de nooddeuren in het geluidscherm naar niveau +0,5, zodat de vluchtende personen vanaf het spoor in de open lucht naar de vluchtdeuren aan de zijde van Mayweg vluchten.

Ter plaatse van de linkerzijde en de inrit van het parkeerdek moeten brandhydranten door derden aangebracht worden in verband met calamiteiten op het spoor.

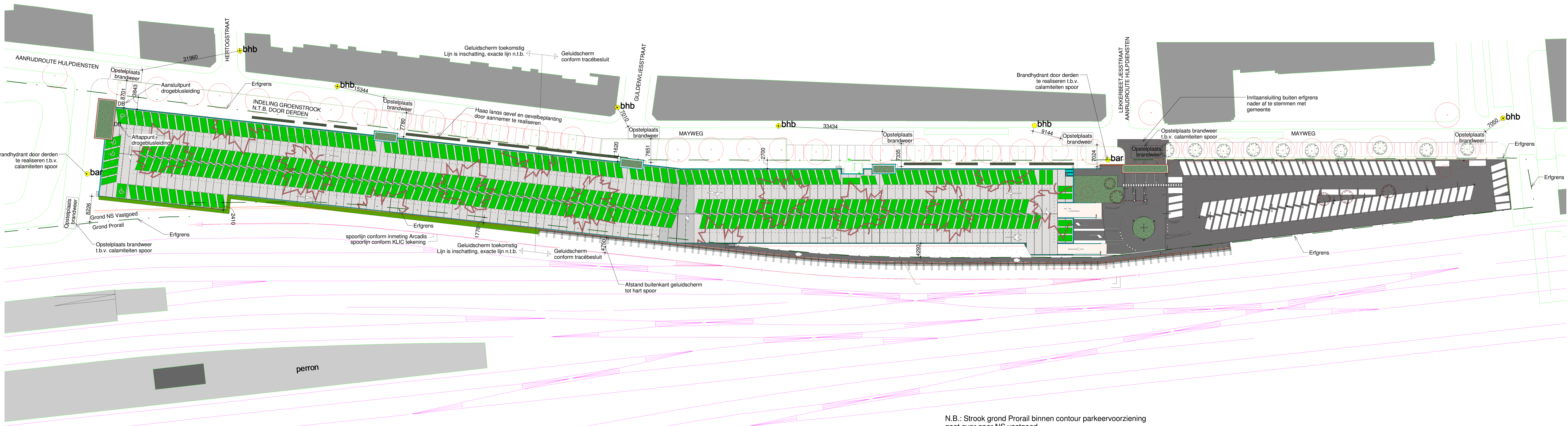
Speedgates

De in- en uitrit van het parkeerdek zijn afgesloten door middel van speedgates. Nabij de speedgates zullen handopeners worden aangebracht om in geval van nood de speedgates te kunnen openen. Er is overigens in de beoordeling van loopafstanden geen rekening gehouden met deze speedgates. In geval van een calamiteit zal er primair gevlucht worden via de nooduitgangen nabij de trappen(huizen).



Bijlage 1

Tekeningen parkeerdek



Situatie
1 : 500

N.B.: Strook grond Prorail binnen contour parkeervoorziening gaat over naar NS vastgoed

Legenda

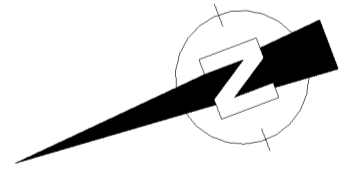
- Sandwichpaneel, 60 mm
- Metaalwolk 100 mm
- thermisch verzinkt enkelstaals draadmat, Ø6 mm, maaswijde 50x200 mm
- Prefab beton 100 mm

- bar brandhydrant, nader te realiseren door derden
- bhb brandhydrant, bestaand
- db droge blusleiding
- put hemelwaterafvoer put, Ø100
- hwa hemelwaterafvoer, Ø100
- ln lichtmast
- nv natuurlijke ventilatie
- mv mechanische ventilatie
- sk straatlantaarn, 300x300 mm
- sp schroefput, 200x200 mm

- zelfsluitende deur
- 60 min brandwerendeheid
- MK metaalkast
- Z1 vluchtrouteaanduiding
- Z2 vluchtrouteaanduiding naar aansluitend terrein
- brandblussers: codering N-schuimblusser/ K-koolduurblusser/ O-poederblusser, gewicht

- basalt split, zwart, 50 mm
- bodembedekker
- betonklinkers, grijs, 210x105x80 mm
- betontegels zonder vellingkant, antraciet, 500x500x50 mm
- betonklinkers, antraciet, 210x105x80 mm (begane grond)
- vloercoating parkerenvak, groen (verdiepingen)
- 2-componenten beklijning en pijlen, RAL 9010 (verdiepingen)
- beklijning en pijlen d.m.v. witte klinkers (begane grond)

- rotering PVC, Ø125
- rotering PVC, Ø180
- rotering PVC, Ø200
- rotering PVC, Ø250
- rotering PVC, Ø315
- bergings riool, Ø800
- hoogtemaat t.o.v. peil (peil 0 = 9.300+ NAP)
- 0.0 ruimtenummer inclusief naamgeving, alle ruimten vallen onder overige gebruiksfuncties.
- [naam]
- bochtstralen volgens P+E (binnenstraat 3750 mm, buitenstraat 7500 mm)



opdrachtgever	NS Stations	werknr.	G62	d.d.	25-06-2013
werk	P&R Den Bosch	sketch	BA-001	schaal	1:500
onderdeel		form.		OG	
plaats	Den Bosch	get.	PKA	paraaf	



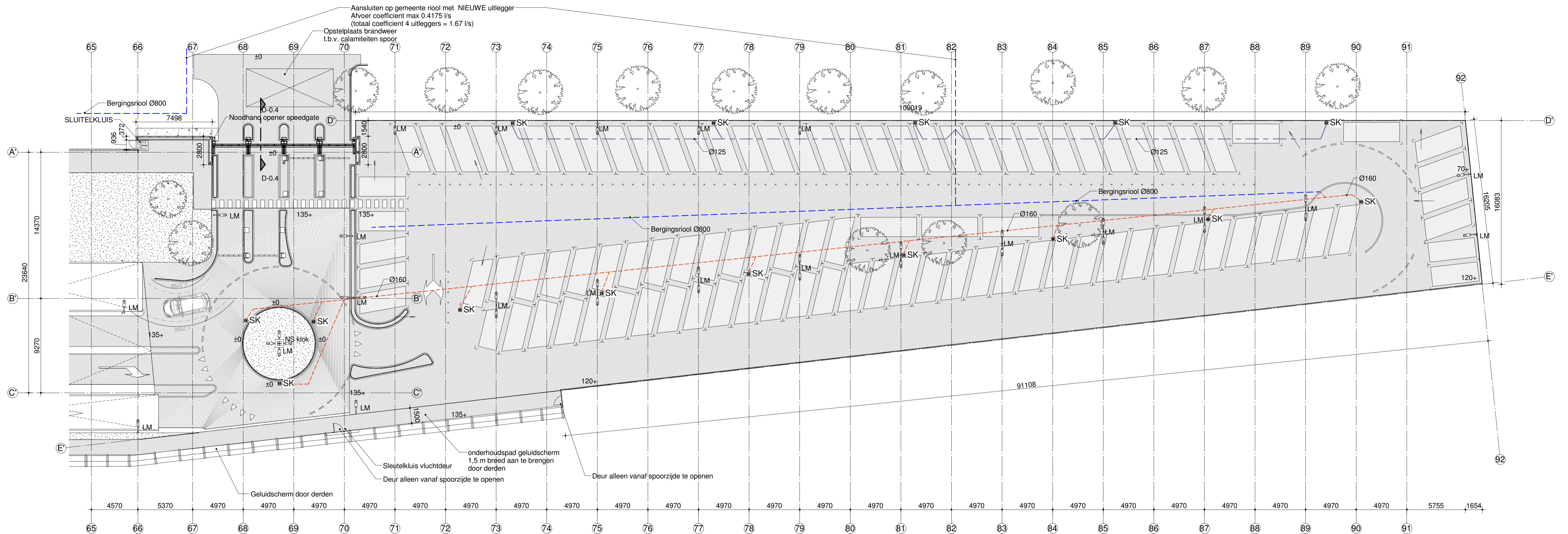
MH1architecten
 Stationsplein 8H
 6221BT Maastricht
 telefoon 043 711 50 30
 email info@mh1architecten.nl
 internet www.mh1architecten.nl

Hietweideweg 14 || 7391XX Twello
 postbus 69 || 7390 AB Twello
 telefoon 0571-27 73 31 || fax 0571-27 57 93
 email info@adst.nl || internet www.adst.nl



AANDESTEGGE
 bedrijfsphuisvesting twello

I:\werk\GEGE_P+E_Den_Bosch\ORANJE_GEGE_Zaak\GEGE_Den_Bosch\2013\4.rvt 26-6-2013 10:55:47



NIVO 0

1 : 200

UITGANGSPUNTEN DEBIETBEREKENING (max. afvoer = Qmax.)										
Regenintensiteit dakten volgens de NEN 3215	(i = 300tr./sec./ha.)	(minus e.v.t. reductiefactor)	(reductiefactor = 1)							
regenintensiteit glad dak (i)	300x0,75=225 ltr./sec/ha.	0,225 m³/sec/ha								
regenintensiteit verharding vlak (i)	90 ltr./sec/ha.	0,09 m³/sec/ha								
regenintensiteit verharding hellend (i)	90 ltr./sec/ha.	0,09 m³/sec/ha								
maximale snelheid in rioolbuis	Vmax.	2,5 m/sec.								
Berekening:	maximale afvoer / debiet (Qmax.)	Qmax. = i x A	A rioolbuis = Qmax. / Vmax.							
	Benodigde doorsnede buis		Dmax. = de wortel uit (4x Abuis / pi)							
	Diameter buis									
Uitgangspunt bepalen opp. verharding: vanuit gevel 2 m! naar binnen t.b.v. regeninslag										
A	m²	A	regenint.	i	Qmax. dak	Qmax. Dak (ltr.)	A rioolbuis	min doorsnede	diameter	UITVOERING
opp. Kelder stramen 1 - 32	975	0,0975	0,225	0,0219	21,94	0,0088	0,106	105,7	Ø125 mm	
opp. Kelder stramen 32 - 64	975	0,0975	0,225	0,0219	21,94	0,0088	0,106	105,7	Ø125 mm	aansluiting op bergingsriool
B	m²	A	regenint.	i	Qmax. dak	Qmax. Dak (ltr.)	A rioolbuis	min doorsnede	diameter	
opp. deel MV spoorzijde + entreegebied	2200	0,22	0,225	0,0495	49,50	0,0198	0,159	159,9	Ø160 mm	
opp. deel MV straatzijde	900	0,09	0,225	0,0190	18,00	0,0072	0,096	95,7	Ø125 mm	aansluiting op bergingsriool
Bergingsriool conform afspraak met dhr. J. Klaazen										
15mm/m² berging op eigen terrein	m²	m³/m²	m³	m³	bestaand	totaal m³	riool Ø800	Uitvoering totaal		
Plus compensatie bestaand riool 15m²										
Parkstradaak 7720m²	11000	0,015	165	15	160	502 l/m³	359	m³	riool Ø800	
Maximaal afvoercoëfficiënt op gemeenteriool: 1,67 liter/sec										

Legenda

- Sandwichpaneel, 60 mm
- Metselwerk, 100 mm
- Ijzeren schroef enkelstaaf draadniet, Ø6 mm, maaswijdte 50x200 mm
- Prefab beton 100 mm
- bar brandhydrant, nader te realiseren door derden
- bbv brandhydrant, bestaand
- db droge buisleiding
- put hemelwaterafvoer put, Ø100
- hwa hemelwaterafvoer, Ø100
- lm lichtmast
- nv natuurlijke ventilatie
- mv mechanische ventilatie
- sk straatkook, 300x300 mm
- sp schroefput, 200x200 mm
- zelfsluitende deur
- 60 min brandwerendheid
- MK meterkast
- vuichtroudeanduiding
- vuichtroudeanduiding naar aansluitend terrein
- brandblussers: codering N=schuimblusser/ K=koolzuurblusser/ O=poederblusser, gewicht
- basalt split, zwart, 50 mm
- bodembedekker
- betonklinkers, grijs, 210x105x80 mm
- betontegels zonder vellingkant, antraciet, 500x500x50 mm
- betonklinkers, antraciet, 210x105x80 mm (begane grond)
- vloercoating parkervak, groen (verdiepingen)
- 2-componenten belijning en pijlen, RAL 9010 (verdiepingen)
- belijning en pijlen d.m.v. witte klinkers (begane grond)
- riolering PVC, Ø125
- riolering PVC, Ø160
- riolering PVC, Ø200
- riolering PVC, Ø250
- riolering PVC, Ø315
- bergingsriool, Ø800
- hoogtemaat t.o.v. peil (peil 0 = 9.300+ NAP)
- 0.0 (naam) ruimtenummer inclusief naamgeving, alle ruimten vallen onder overige gebruiksfuncties.
- bochtstralen volgens PvE (binnenstraat 3750 mm, buitenstraat 7500 mm)

niveau - 0,5 / : 353 pp incl. 3 miva pp conform PvE 3 pp 2400x3800mm
 1 pp (A1/2) voldoet (theoretisch) niet aan PvE, maar voldoet praktisch wel
 sub totaal 356 PP incl. 3 miva pp

niveau MV : 97 pp

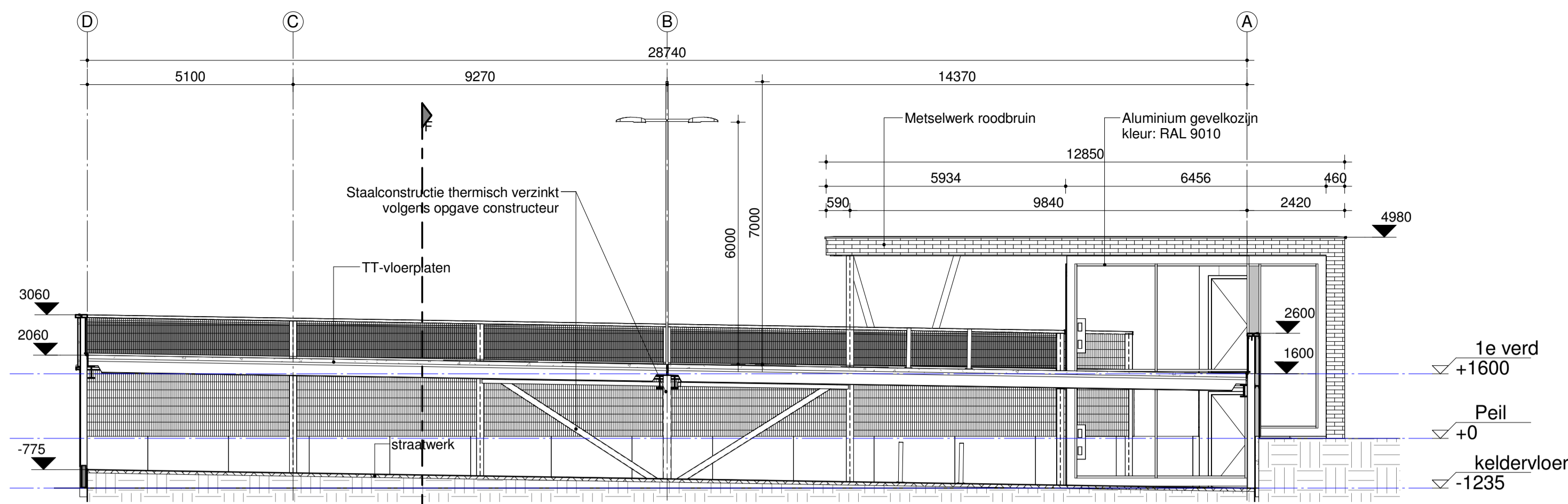
niveau + 0,5 : 358 pp incl. 4 miva pp conform PvE 3 pp 2400x3800mm
 1 pp (A1/2) voldoet (theoretisch) niet aan PvE, maar voldoet praktisch wel
 sub totaal 361 PP incl. 4 miva pp

totaal : 814 pp incl. 7 miva pp

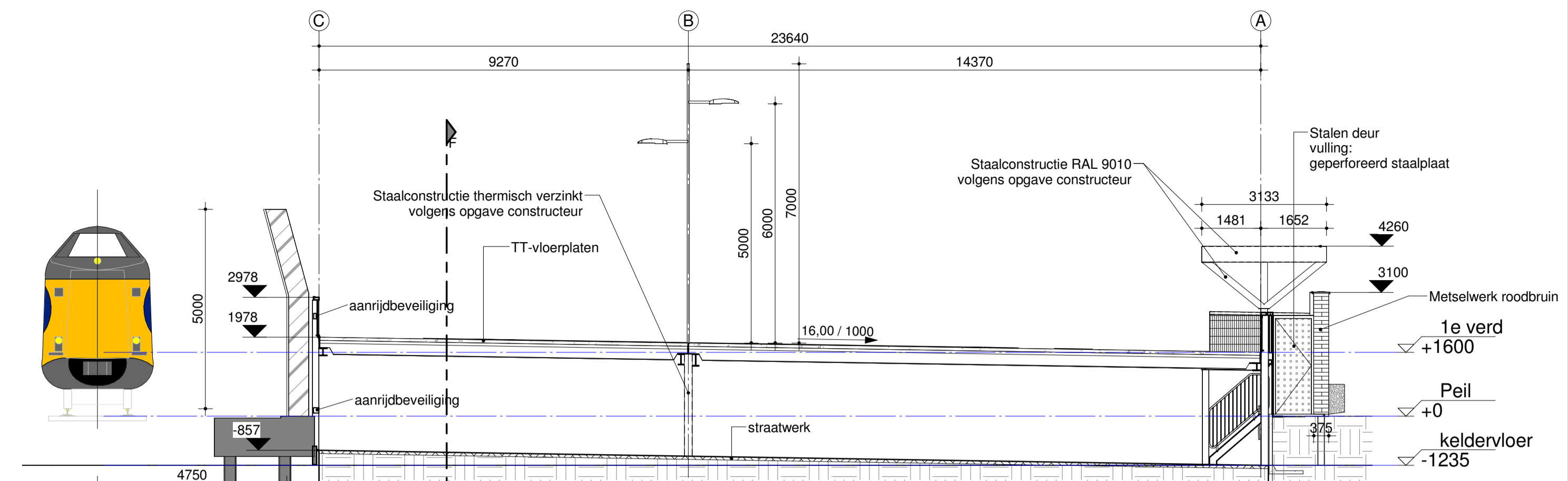
opdrachtgever	NS Stations	werknr.	G62	d.d.	25-06-2013
werk	P&R Den Bosch	schaal	1 : 200		
onderdeel	Plattegrond nivo 0	teknr.	BA-101	fase	OG
plaats	Den Bosch	get.	PKA	form.	A1
				paraaf	

MH1 architecten	Stationsplein 8H 6221BT Maastricht	Hietweideweg 14 7391XX Twello postbus 69 7390 AB Twello telefoon 0571-27 73 31 fax 0571-27 57 93 email info@adst.nl internet www.adst.nl
	telefoon 043 711 50 30 email info@mh1architecten.nl internet www.mh1architecten.nl	

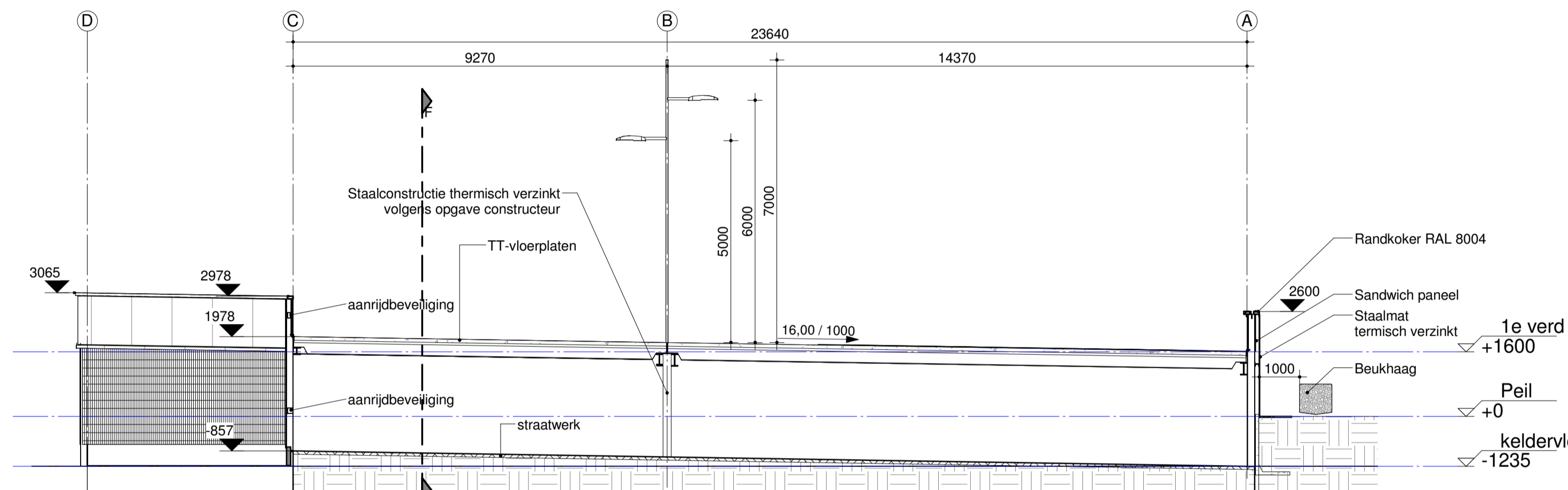
AANDESTEGGE bedrijfshuisvesting twello



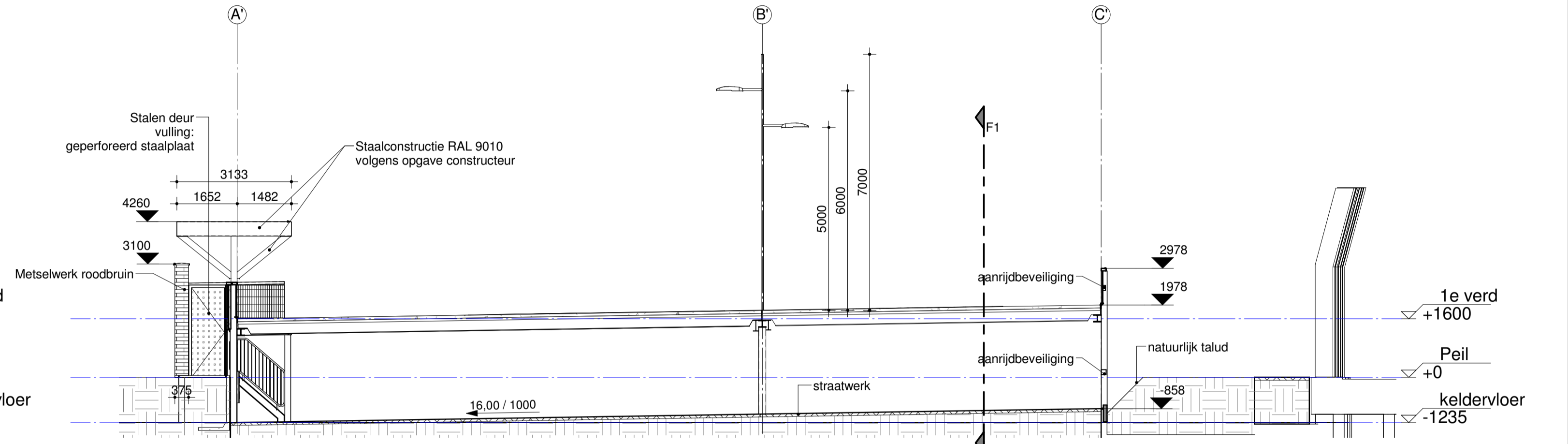
A-A
1 : 100



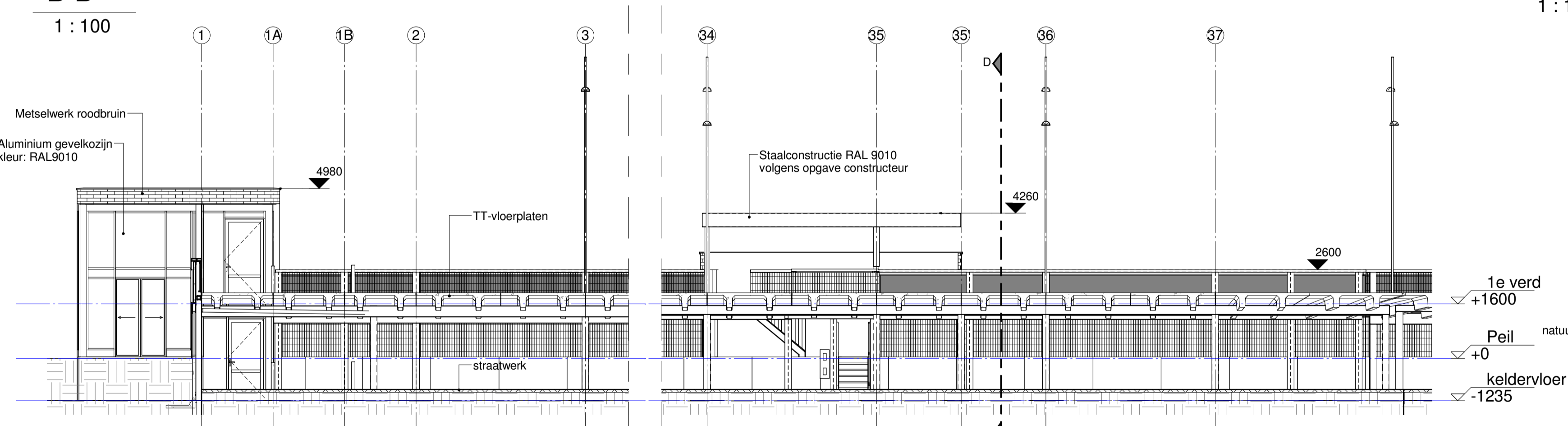
D-D
1 : 100



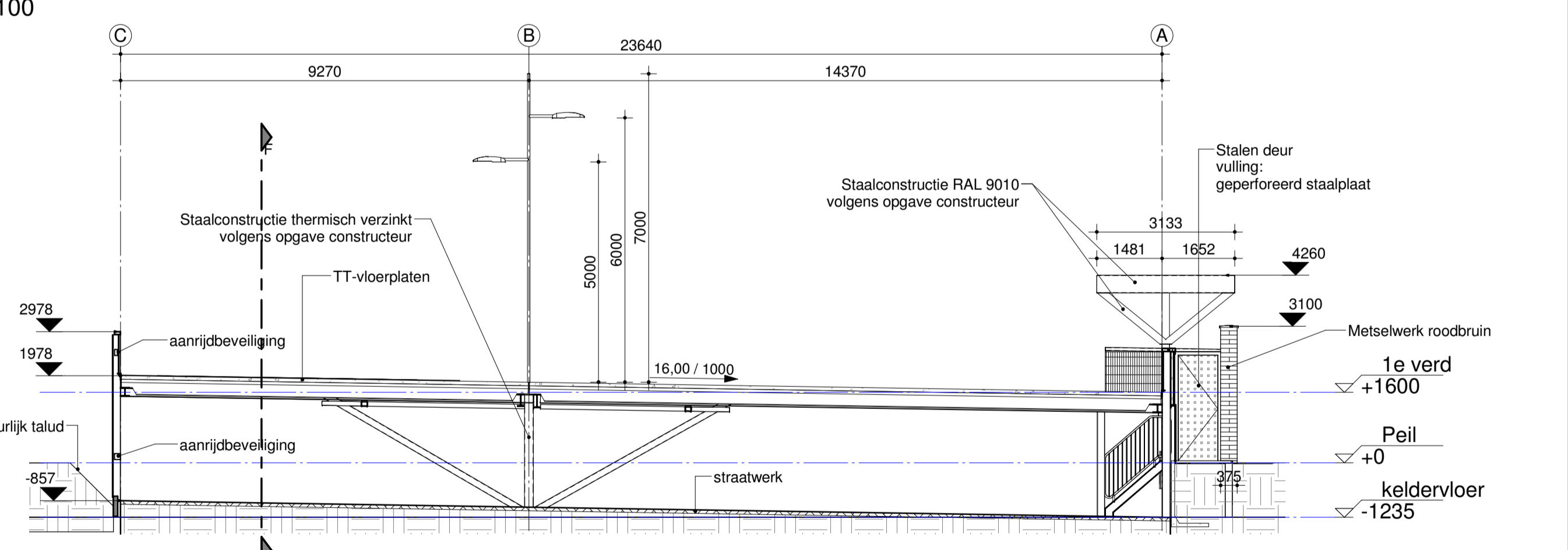
B-B
1 : 100



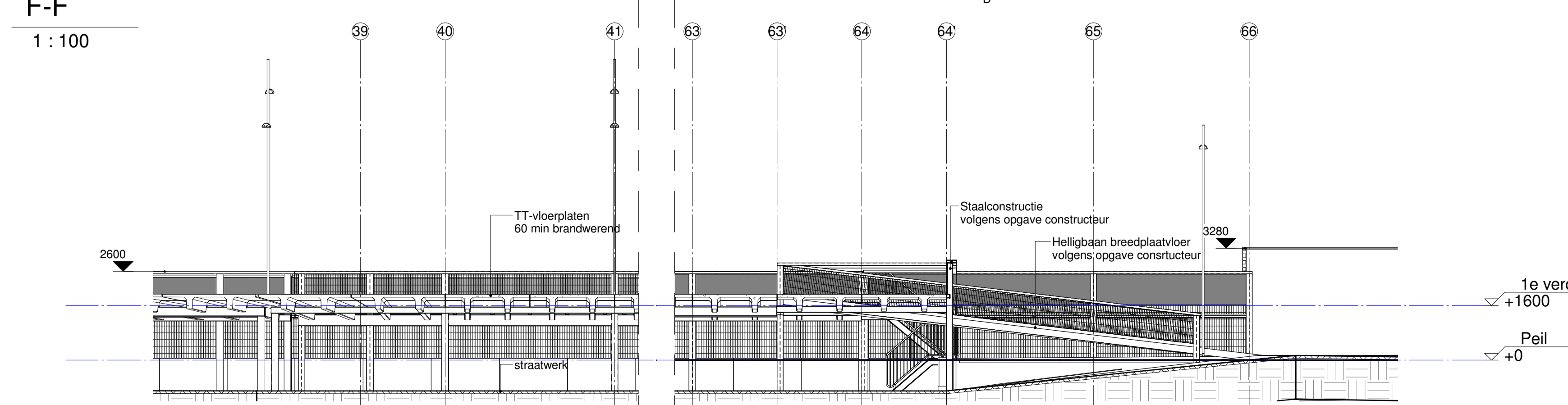
E-E
1 : 100



F-F
1 : 100



C-C
1 : 100



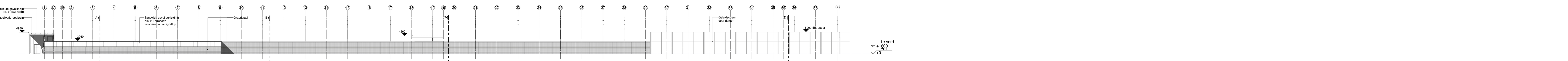
F1-F1
1 : 100

opdrachtgever	NS Stations	werknr.	G62	d.d.	25-06-2013
werk	P&R Den Bosch	schaal	1 : 100	fase	OG
onderdeel	Doorsneden	teknr.	BA-200	form.	A1
plaats	Den Bosch	get.	PKA	paraaf	

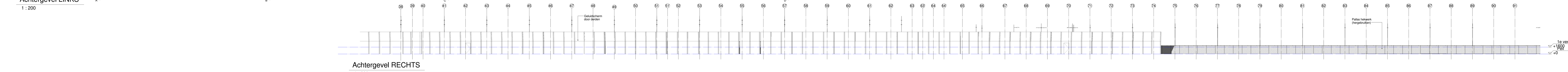
MH1architecten
 Stationsplein 8H
 6221BT Maastricht
 telefoon 043 711 50 30
 email info@mh1architecten.nl
 internet www.mh1architecten.nl

Hietweideweg 14 || 7391XX Twello
 postbus 69 || 7390 AB Twello
 telefoon 0571-27 73 31 || fax 0571-27 57 93
 email info@adst.nl || internet www.adst.nl

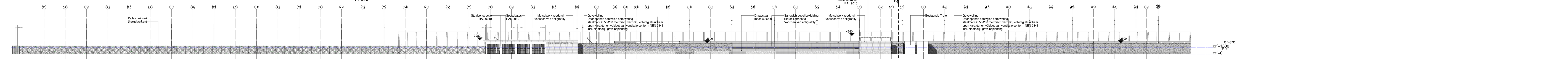
AANDESTEGGE
 bedrijfshuisvesting twello



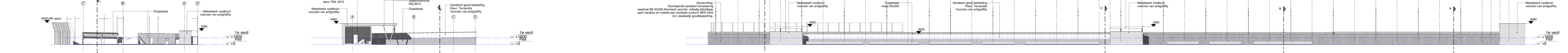
Achtergevel LINKS
1 : 200



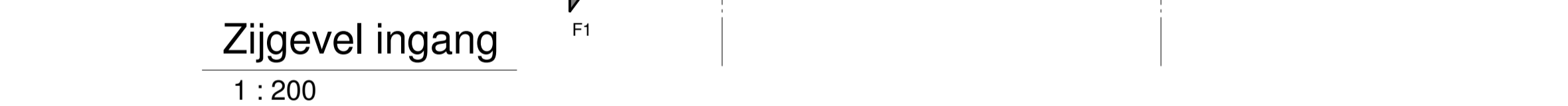
Achtergevel RECHTS
1 : 200



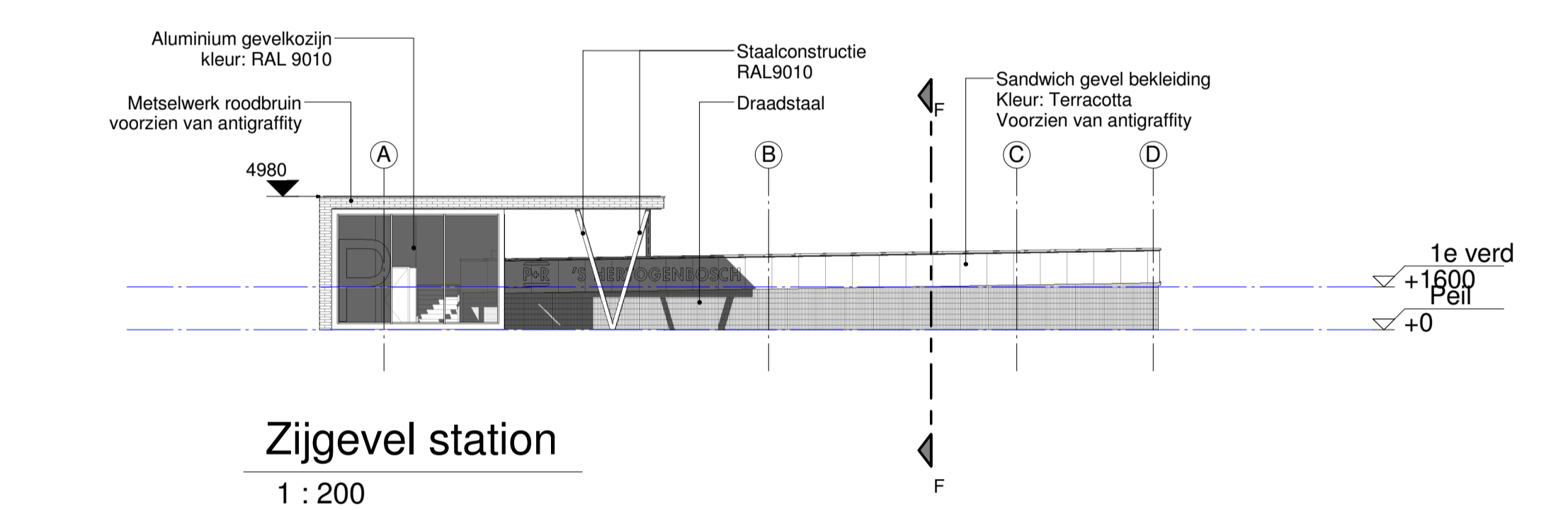
Voorgevel LINKS
1 : 200



Voorgevel RECHTS
1 : 200



Zijgevel ingang
1 : 200



Zijgevel station
1 : 200

MATERIALEN EN KLEUREN

- Begane grond middels klinkerbestrating. Zoveel als mogelijk hergebruiken en daar waar nodig nieuwe klinkerbestrating. Rijbanen grijs, vakken antraciet en belijning wit.
- Staalconstructie, conservering thermisch verzinkt en plaatselijk gecoat in kleur RAL 8004 en RAL 9010, conform tekening BA-300.
- Verdiepingsvloer middels geprefabriceerde TT betonvloeren, kleur: betongrijs.
- Verkeers- pijlen, belijning en emblemen kleur wit.
- Belijning van de bladeren op het dek kleur bruin.
- Parkeervakken op het parkeerdek kleur groen.
- De dijken worden als groene dijken uitgevoerd.
- Balusters en leuningen van thermisch verzinkt staal.
- Trappen en bordessen t.p.v. de vluchtrappenhuizen/secondaire entrees in thermisch verzinkt staal met perforeren.
- Trappen en bordessen t.p.v. het hoofdtrappenhuis in beton, kleur: betongrijs.
- Aluminium gevelkozijnen van het trappenhuis in kleur RAL 9010.
- Gevelbekleding t.p.v. de trappenhuizen en de hoofd in- uitrit: baksteen, kleur roodbruin.
- Gevelbekleding: sandwich borstwering, kleur: Terracotta. Thermisch verzinkte draadstaal matten maas 50mm x 200mm.
- Het plaatsen van standaard parkeerdekbeplating conform NEN 2443. Ten behoeve van inrijbeveiliging zal de inrit van het parkeerdek op de begane grond worden voorzien van een bord met de maximale doorrijhoogte daarop aangegeven.

opdrachtgever	NS Stations	werknr.	G62	d.d.	25-06-2013
werk	P&R Den Bosch	schaal	1 : 200	fase	OG
onderdeel	Gevels	tek.nr.	BA-300	form.	AO
plaats	Den Bosch	get.	PKA	paraaf	



Stationsplein 8H
6221 BT Maastricht

MHarchitecten

telefoon 043 711 50 30
email info@mharchitecten.nl
internet www.mharchitecten.nl

Hietwidedeweg 14 | 7381KX Twello
postbus 69 | 7390 AB Twello
telefoon 0571-27 73 31 | fax 0571-27 57 93
email info@adst.nl | internet www.adst.nl



bedrijfshuisvesting twello



Bijlage 2

Verantwoording luchtstroommodel

Luchtstroommodel voor ventilatiecapaciteit t.g.v. natuurlijke convectie

Algemeen

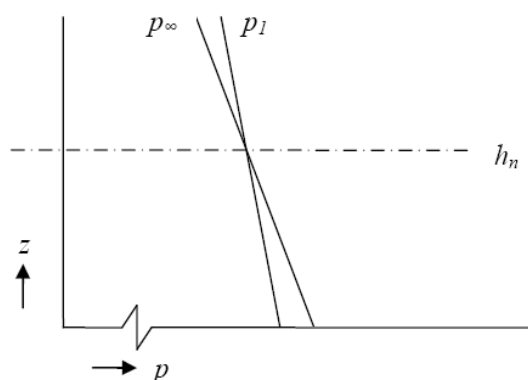
Door openingen in de scheidingsconstructies van een ruimte zullen luchtstromingen optreden indien er een temperatuurverschil aanwezig is tussen de ruimte en zijn omgeving. Deze luchtstroming waarbij het temperatuurverschil de drijvende kracht is wordt ook wel natuurlijke convectie genoemd. De optredende fysische verschijnselen bij natuurlijke convectie zijn goed bekend en in veel literatuur beschreven (zie bijvoorbeeld Cooper, 2002 of Liddament, 1996). Het luchtstroommodel berekent de ventilatiecapaciteit ten gevolge van natuurlijke convectie in overeenstemming met deze literatuur.

Toepassingsgebied luchtstroommodel

Het luchtstroommodel is toepasbaar om de ventilatiecapaciteit te bepalen in een stationaire situatie voor één ruimte met relatief grote verticale of horizontale openingen (gevel-, dak- en/of vloeropeningen groter dan $0,10 \times 0,10 \text{ m}^2$) bij windstil weer. Binnen de ruimte wordt een homogeen gemengd volume verondersteld (1 zone). Om hieraan te voldoen mogen in de ruimte geen grote interne stromingsweerstand aanwezig zijn en dienen openingen gelijkmatig verdeeld te zijn over de gevels (en eventueel vloer en plafond).

Fysische achtergrond natuurlijke convectie

Het temperatuurverschil tussen binnen en buiten zorgt voor een verschil in dichtheid van de lucht. Door het verschil in dichtheid ontstaat tussen binnen en buiten een drukverschil, dat een functie is van de hoogte boven vloerniveau. In een stationaire situatie zal een neutraal vlak ontstaan. Indien de temperatuur in de ruimte hoger is dan buiten zal er door openingen boven het neutraal vlak lucht uitstromen en door openingen onder het neutraal vlak lucht instromen (zie figuur 1).



Figuur 1: drukverloop in ruimte en omgeving bij een hogere temperatuur binnen

In formulevorm wordt het drukverschil op een hoogte z gegeven door:

$$\Delta p(z) = (\rho_{\infty} - \rho_i)g(z - h_n) \quad (1)$$

waarin: $\Delta p(z)$ = drukverschil op hoogte z [Pa]
 ρ = dichtheid van de lucht [kg/m³]
 g = gravitatieconstante $\approx 9,81$ m/s²
 z = hoogte boven vloerniveau [m]
 h_n = hoogte neutraal vlak [m]
 en subscript 1 en ∞ staan voor de ruimte respectievelijk de omgeving

De snelheid in een opening ten gevolge van het drukverschil op die hoogte wordt beschreven door de Wet van Bernoulli:

$$V(z) = \left(\frac{2|\Delta p(z)|}{\rho_v} \right)^{1/2} \quad (2)$$

waarin: $V(z)$ = snelheid in de opening op hoogte z [m/s]
 ρ_v = $\begin{cases} \text{bij een positief drukverschil van binnen naar buiten: } \rho_1 \\ \text{bij een negatief drukverschil van binnen naar buiten: } \rho_\infty \end{cases}$

Een positief drukverschil van binnen naar buiten zorgt voor een luchtstroming naar buiten; een negatief drukverschil van binnen naar buiten voor een stroming naar binnen.

Stroming door verticale openingen

De in- of uitgaande massastroom wordt per gevelopening gegeven door:

$$\dot{m}_{gevel,i} = C_d \int_{h_{onder,i}}^{h_{boven,i}} w_i \rho_v V(z) dz \quad (3)$$

waarin: $\dot{m}_{gevel,i}$ = massastroom door gevelopening i [kg/s]
 C_d = stromingscoëfficiënt [-]
 w_i = breedte gevelopening i [m]
 $h_{onder,i}$ = hoogte onderzijde gevelopening i boven vloerniveau [m]
 $h_{boven,i}$ = hoogte bovenzijde gevelopening i boven vloerniveau [m]

Stroming door dakopeningen

De massastroom door een dakopening volgt uit:

$$\dot{m}_{dak,i} = C_d A_{eff,dak,i} \rho_v V(z) \quad (4)$$

waarin: $\dot{m}_{dak,i}$ = massastroom door dakopening i [kg/s]
 $A_{dak,i}$ = effectieve oppervlakte dakopening i [m²]

Wanneer de temperatuur in de ruimte hoger is dan in de omgeving zal er ter hoogte van een dakopening een positief drukverschil van binnen naar buiten bestaan en zal lucht uitstromen. Deze uitstroom wordt echter bemoeilijkt door de koudere en zwaardere lucht buiten de ruimte boven de dakopeningen. De uitstroom uit de dakopening is hierdoor minder efficiënt is dan de stroming door een verticale opening. Dit effect wordt in rekening gebracht door de (netto) oppervlakte van de dakopening te reduceren volgens:

$$A_{eff,dak,i} = A_{dak,i} \left[1 + \left(\frac{A_{dak,tot}}{A_{gevel,tot} + A_{vloer,tot}} \right)^2 \left(\frac{T_{\infty}}{T_1} \right) \right]^{-1/2} \quad (\text{indien } T_1 > T_{\infty}) \quad (5a)$$

waarin: $A_{eff,dak,i}$ = effectieve oppervlakte dakopening i [m²]
 $A_{dak,i}$ = oppervlakte van dakopening i [m²]
 $A_{dak,tot}$ = totale oppervlakte aan dakopeningen [m²]
 $A_{gevel,tot}$ = totale oppervlakte aan gevelopeningen [m²]
 $A_{vloer,tot}$ = totale oppervlakte aan vloeropeningen [m²]
 T_{∞} = temperatuur buiten [K]
 T_1 = temperatuur binnen [K]

Indien de temperatuur in de ruimte lager is dan is dan in de omgeving geldt:

$$A_{eff,dak,i} = A_{dak,i} \quad (\text{indien } T_1 < T_{\infty}) \quad (5b)$$

Stroming door vloeropeningen

De massastroom door een vloeropening wordt gegeven door:

$$\dot{m}_{vloer,i} = C_d A_{eff,vloer,i} \rho_v V(z) \quad (6)$$

waarin: $\dot{m}_{vloer,i}$ = massastroom door vloeropening i [kg/s]
 $A_{eff,vloer,i}$ = effectieve oppervlakte vloeropening i [m]

Voor vloeropeningen geldt net als bij dakopeningen dat de netto oppervlakte gereduceerd moeten worden wanneer zich koudere en zwaardere lucht boven warme lucht bevindt en de stromingsrichting naar boven is. Dit treedt voor vloeropeningen op als de temperatuur in de ruimte lager is dan de

temperatuur in de omgeving. In dat geval wordt de (netto) oppervlakte van de vloeropening gereduceerd volgens:

$$A_{eff,vloer,i} = A_{vloer,i} \left[1 + \left(\frac{A_{vloer,tot}}{A_{dak,tot} + A_{gevel,tot}} \right)^2 \left(\frac{T_1}{T_\infty} \right) \right]^{-1/2} \quad (\text{indien } T_1 < T_\infty) \quad (7a)$$

waarin: $A_{eff,vloer,i}$ = effectieve oppervlakte vloeropening i [m²]
 $A_{vloer,i}$ = oppervlakte van vloeropening i [m²]

Indien de temperatuur in de ruimte hoger is dan in de omgeving geldt:

$$A_{eff,dak,i} = A_{dak,i} \quad (\text{indien } T_1 > T_\infty) \quad (7b)$$

Stromingscoëfficiënt

C_d is de stromingcoëfficiënt voor openingen. In het algemeen kan voor verticale gevelopeningen en horizontale dak- en vloeropeningen de waarde 0,60 aangehouden worden (Emmons, 2002, pp. 2-34).

Literatuur

- Cooper, L.Y. (2002), Smoke and Heat Venting, in: DiNenno, P.J. et al. (eds), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association, pp. 3-222 – 3-225
- Emmons, H.W. (2002), Vent Flows, in: DiNenno, P.J. et al. (eds), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association, pp. 2-33 – 2-34
- Liddament, M.W. (1996), *A Guide to Energy Efficient Ventilation*, Coventry: The Air Infiltration and Ventilation Centre



Bijlage 3

Verantwoording FDS

NIST Special Publication 1018-5

Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide

Kevin McGrattan
Howard Baum
Ronald Rehm
Randall McDermott
*Fire Research Division
Building and Fire Research Laboratory*

Simo Hostikka
*VTT Technical Research Centre of Finland
Espoo, Finland*

Jason Floyd
*Hughes Associates, Inc.
Baltimore, Maryland, USA*

April 3, 2008
SVNRepository Revision : 1534



U.S. Department of Commerce
Carlos M. Gutierrez, Secretary

National Institute of Standards and Technology
James M. Turner, Acting Director

Disclaimer

The US Department of Commerce makes no warranty, expressed or implied, to users of the Fire Dynamics Simulator (FDS), and accepts no responsibility for its use. Users of FDS assume sole responsibility under Federal law for determining the appropriateness of its use in any particular application; for any conclusions drawn from the results of its use; and for any actions taken or not taken as a result of analysis performed using these tools.

Users are warned that FDS is intended for use only by those competent in the fields of fluid dynamics, thermodynamics, heat transfer, combustion, and fire science, and is intended only to supplement the informed judgment of the qualified user. The software package is a computer model that may or may not have predictive capability when applied to a specific set of factual circumstances. Lack of accurate predictions by the model could lead to erroneous conclusions with regard to fire safety. All results should be evaluated by an informed user.

Throughout this document, the mention of computer hardware or commercial software does not constitute endorsement by NIST, nor does it indicate that the products are necessarily those best suited for the intended purpose.

Chapter 1

Introduction

Howard Baum, NIST Fellow Emeritus

The idea that the dynamics of a fire might be studied numerically dates back to the beginning of the computer age. Indeed, the fundamental conservation equations governing fluid dynamics, heat transfer, and combustion were first written down over a century ago. Despite this, practical mathematical models of fire (as distinct from controlled combustion) are relatively recent due to the inherent complexity of the problem. Indeed, in his brief history of the early days of fire research, Hoyt Hottel noted “A case can be made for fire being, next to the life processes, the most complex of phenomena to understand” [5].

The difficulties revolve about three issues: First, there are an enormous number of possible fire scenarios to consider due to their accidental nature. Second, the physical insight and computing power required to perform all the necessary calculations for most fire scenarios are limited. Any fundamentally based study of fires must consider at least some aspects of bluff body aerodynamics, multi-phase flow, turbulent mixing and combustion, radiative transport, and conjugate heat transfer; all of which are active research areas in their own right. Finally, the “fuel” in most fires was never intended as such. Thus, the mathematical models and the data needed to characterize the degradation of the condensed phase materials that supply the fuel may not be available. Indeed, the mathematical modeling of the physical and chemical transformations of real materials as they burn is still in its infancy.

In order to make progress, the questions that are asked have to be greatly simplified. To begin with, instead of seeking a methodology that can be applied to all fire problems, we begin by looking at a few scenarios that seem to be most amenable to analysis. Hopefully, the methods developed to study these “simple” problems can be generalized over time so that more complex scenarios can be analyzed. Second, we must learn to live with idealized descriptions of fires and approximate solutions to our idealized equations. Finally, the methods should be capable of systematic improvement. As our physical insight and computing power grow more powerful, the methods of analysis can grow with them.

To date, three distinct approaches to the simulation of fires have emerged. Each of these treats the fire as an inherently three dimensional process evolving in time. The first to reach maturity, the “zone” models, describe compartment fires. Each compartment is divided into two spatially homogeneous volumes, a hot upper layer and a cooler lower layer. Mass and energy balances are enforced for each layer, with additional models describing other physical processes appended as differential or algebraic equations as appropriate. Examples of such phenomena include fire plumes, flows through doors, windows and other vents, radiative and convective heat transfer, and solid fuel pyrolysis. Descriptions of the physical and mathematical assumptions behind the zone modeling concept are given in separate papers by Jones [6] and Quintiere [7], who chronicle developments through 1983. Model development since then has progressed to the point where documented and supported software implementing these models are widely available [8].

The relative physical and computational simplicity of the zone models has led to their widespread use in

the analysis of fire scenarios. So long as detailed spatial distributions of physical properties are not required, and the two layer description reasonably approximates reality, these models are quite reliable. However, by their very nature, there is no way to systematically improve them. The rapid growth of computing power and the corresponding maturing of computational fluid dynamics (CFD), has led to the development of CFD based “field” models applied to fire research problems. Virtually all this work is based on the conceptual framework provided by the Reynolds-averaged form of the Navier-Stokes equations (RANS), in particular the $k - \epsilon$ turbulence model pioneered by Patankar and Spalding [9]. The use of CFD models has allowed the description of fires in complex geometries, and the incorporation of a wide variety of physical phenomena. However, these models have a fundamental limitation for fire applications – the averaging procedure at the root of the model equations.

RANS models were developed as a time-averaged approximation to the conservation equations of fluid dynamics. While the precise nature of the averaging time is not specified, it is clearly long enough to require the introduction of large eddy transport coefficients to describe the unresolved fluxes of mass, momentum and energy. This is the root cause of the smoothed appearance of the results of even the most highly resolved fire simulations. The smallest resolvable length scales are determined by the product of the local velocity and the averaging time rather than the spatial resolution of the underlying computational grid. This property of RANS models is typically exploited in numerical computations by using implicit numerical techniques to take large time steps.

Unfortunately, the evolution of large eddy structures characteristic of most fire plumes is lost with such an approach, as is the prediction of local transient events. It is sometimes argued that the averaging process used to define the equations is an “ensemble average” over many replicates of the same experiment or postulated scenario. However, this is a moot point in fire research since neither experiments nor real scenarios are replicated in the sense required by that interpretation of the equations. The application of “Large Eddy Simulation” (LES) techniques to fire is aimed at extracting greater temporal and spatial fidelity from simulations of fire performed on the more finely meshed grids allowed by ever faster computers.

The phrase LES refers to the description of turbulent mixing of the gaseous fuel and combustion products with the local atmosphere surrounding the fire. This process, which determines the burning rate in most fires and controls the spread of smoke and hot gases, is extremely difficult to predict accurately. This is true not only in fire research but in almost all phenomena involving turbulent fluid motion. The basic idea behind the LES technique is that the eddies that account for most of the mixing are large enough to be calculated with reasonable accuracy from the equations of fluid dynamics. The hope (which must ultimately be justified by comparison to experiments) is that small-scale eddy motion can either be crudely accounted for or ignored.

The equations describing the transport of mass, momentum, and energy by the fire-induced flows must be simplified so that they can be efficiently solved for the fire scenarios of interest. The general equations of fluid dynamics describe a rich variety of physical processes, many of which have nothing to do with fires. Retaining this generality would lead to an enormously complex computational task that would shed very little additional insight on fire dynamics. The simplified equations, developed by Rehm and Baum [10], have been widely adopted by the larger combustion research community, where they are referred to as the “low Mach number” combustion equations. They describe the low speed motion of a gas driven by chemical heat release and buoyancy forces. Oran and Boris provide a useful discussion of the technique as applied to various reactive flow regimes in the chapter entitled “Coupled Continuity Equations for Fast and Slow Flows” in Ref. [11]. They comment that “There is generally a heavy price for being able to use a single algorithm for both fast and slow flows, a price that translates into many computer operations per time step often spent in solving multiple and complicated matrix operations.”

The low Mach number equations are solved numerically by dividing the physical space where the fire is to be simulated into a large number of rectangular cells. Within each cell the gas velocity, temperature, *etc.*, are assumed to be uniform; changing only with time. The accuracy with which the fire dynamics can

be simulated depends on the number of cells that can be incorporated into the simulation. This number is ultimately limited by the computing power available. Present day, single processor desktop computers limit the number of such cells to at most a few million. This means that the ratio of largest to smallest eddy length scales that can be resolved by the computation (the “dynamic range” of the simulation) is on the order of 100. Parallel processing can be used to extend this range to some extent, but the range of length scales that need to be accounted for if all relevant fire processes are to be simulated is roughly 10^4 to 10^5 because combustion processes take place at length scales of 1 mm or less, while the length scales associated with building fires are of the order of tens of meters. The form of the numerical equations discussed below depends on which end of the spectrum one wants to capture directly, and which end is to be ignored or approximated.

Chapter 2

Model Overview

This chapter presents general information about the Fire Dynamics Simulator, following the basic framework set forth in ASTM E 1355 [3]. This chapter also provides information about how the FDS software is developed and maintained, often referred to as a *Configuration Management Plan*. Formal guidelines for such a plan are detailed in IEEE Standard 828-1998.

2.1 Basic Description of FDS

2.1.1 Type of Model

FDS is a Computational Fluid Dynamics (CFD) model of fire-driven fluid flow. The model solves numerically a form of the Navier-Stokes equations appropriate for low-speed, thermally-driven flow with an emphasis on smoke and heat transport from fires. The partial derivatives of the conservation equations of mass, momentum and energy are approximated as finite differences, and the solution is updated in time on a three-dimensional, rectilinear grid. Thermal radiation is computed using a finite volume technique on the same grid as the flow solver. Lagrangian particles are used to simulate smoke movement, sprinkler discharge, and fuel sprays.

Smokeview is a companion program to FDS that produces images and animations of the results. In recent years, its developer, Glenn Forney, has added to Smokeview the ability to visualize fire and smoke in a fairly realistic way. In a sense, Smokeview now is, via its three-dimensional renderings, an integral part of the physical model, as it allows one to assess the visibility within a fire compartment in ways that ordinary scientific visualization software cannot.

Although not part of the FDS/Smokeview suite maintained at NIST, there are several third-party and proprietary “add-ons” to FDS either available commercially or privately maintained by individual users. Most notably, there are several Graphical User Interfaces (GUIs) that can be used to create the input file containing all the necessary information needed to perform a simulation.

2.1.2 Version History

Version 1 of FDS was publicly released in February 2000, version 2 in December 2001, version 3 in November 2002, and version 4 in July 2004. The present version of FDS is 5, first released in October, 2007.

Starting with FDS 5, a formal revision management system has been implemented to track changes to the FDS source code. The open-source program development tools are provided by an Internet-based organization known as Google Code (code.google.com).

The version number for FDS has three parts. For example, FDS 5.2.12 indicates that this is FDS 5, the fifth major release. The 2 indicates a significant upgrade, but still within the framework of FDS 5. The 12

indicates the twelfth minor upgrade of 5.2, mostly bug fixes and minor user requests.

2.1.3 Model Developers

Currently, FDS is maintained by the Building and Fire Research Laboratory (BFRL) of National Institute of Standards and Technology. The developers at NIST have formed a loose collaboration of interested stakeholders, including:

- VTT Technical Research Centre of Finland, a research and testing laboratory similar to NIST
- The Society of Fire Protection Engineers (SFPE) who conduct training classes on the use of FDS
- Fire protection engineering firms that use the software
- Engineering departments at various universities with a particular emphasis on fire

BFRL awards grants on a competitive basis to external organizations who conduct research in fire science and engineering. Some of these grants have been used to assist the development of FDS. The role of the grantee in supporting day to day development varies. Not all of the developers outside of NIST are grantees.

Starting with Version 5, the FDS development team uses an Internet-based development environment called GoogleCode, a free service of the search engine company, Google. GoogleCode is a widely used service designed to assist open source software development by providing a repository for source code, revision control, program distribution, bug tracking, and various other very useful services.

Each member of the FDS development team has an account and password access to the FDS repository. In addition, anonymous access is available to all interested users, who can receive the latest versions of the source code, manuals, and other items. Anonymous users simply do not have the power to commit changes to any of these items. The power to commit changes to FDS or its manuals can be granted to anyone on a case by case basis.

The FDS manuals are typeset using \LaTeX , specifically, PDF \LaTeX . The \LaTeX files are essentially text files that are under SVN (Subversion) control. The figures are either in the form of PDF or jpeg files, depending on whether they are vector or raster format. There are a variety of \LaTeX packages available, including MiKTeX. The FDS developers edit the manuals as part of the day to day upkeep of the model. Different editions of the manuals are distinguished by date.

2.1.4 Development Process

Changes are made to the FDS source code daily, and tracked via revision control software. However, these daily changes do not constitute a change to the version number. After the developers determine that enough changes have been made to the source, they release a new minor upgrade, 5.2.12 to 5.2.13, for example. This happens every few weeks. A change from 5.2 to 5.3 might happen only a few times a year, when significant improvements have been made to the model physics.

There is no formal process by which FDS is updated. Each developer works on various routines, and makes changes as warranted. Minor bugs are fixed without any communication (the developers are in different locations), but more significant changes are discussed via email or telephone calls. A suite of simple verification calculations (included in this document) are routinely run to ensure that the daily bug fixes have not altered any of the important algorithms. A suite of validation calculations (also included here) are run with each significant upgrade. Significant changes to FDS are made based on the following criteria, in no particular order:

Better Physics: The goal of any model is to be *predictive*, but it also must be reliable. FDS is a blend of empirical and deterministic sub-models, chosen based on their robustness, consistency, and reliability. Any new sub-model must demonstrate that it is of comparable or superior accuracy to its empirical counterpart.

Modest CPU Increase: If a proposed algorithm doubles the calculation time but yields only a marginal improvement in accuracy, it is likely to be rejected. Also, the various routines in FDS are expected to consume CPU time in proportion to their overall importance. For example, the radiation transport algorithm consumes about 25 % of the CPU time, consistent with the fact that about one-fourth to one-third of the fire's energy is emitted as thermal radiation.

Simpler Algorithm: If a new algorithm does what the old one did using less lines of code, it is almost always accepted, so long as it does not decrease functionality.

Increased or Comparable Accuracy: The validation experiments that are part of this guide serve as the metric for new routines. It is not enough for a new algorithm to perform well in a few cases. It must show clear improvement across the suite of experiments. If the accuracy is only comparable to the previous version, then some other criteria must be satisfied.

Acceptance by the Fire Protection Community: Especially in regard to fire-specific devices, like sprinklers and smoke detectors, the algorithms in FDS often are based on their acceptance among the practicing engineers.

2.1.5 Intended Uses of FDS

Throughout its development, FDS has been aimed at solving practical fire problems in fire protection engineering, while at the same time providing a tool to study fundamental fire dynamics and combustion. FDS can be used to model the following phenomena:

- Low speed transport of heat and combustion products from fire
- Radiative and convective heat transfer between the gas and solid surfaces
- Pyrolysis
- Flame spread and fire growth
- Sprinkler, heat detector, and smoke detector activation
- Sprinkler sprays and suppression by water

Although FDS was designed specifically for fire simulations, it can be used for other low-speed fluid flow simulations that do not necessarily include fire or thermal effects. To date, about half of the applications of the model have been for design of smoke control systems and sprinkler/detector activation studies. The other half consist of residential and industrial fire reconstructions.

2.1.6 Required Input for FDS

All of the input parameters required by FDS to describe a particular scenario are conveyed via a single text file created by the user. The file contains information about the numerical grid, ambient environment, building geometry, material properties, combustion kinetics, and desired output quantities. The numerical grid consists of one or more rectilinear meshes with (usually) uniform cells. All geometric features of the scenario must conform to this numerical grid. Objects smaller than a single grid cell are either approximated as a single cell, or rejected. The building geometry is input as a series of rectangular blocks.

Boundary conditions are applied to solid surfaces as rectangular patches. Materials are defined by their thermal conductivity, specific heat, density, thickness, and burning behavior. There are various ways that this information is conveyed, depending on the desired level of detail.

Any simulation of a real fire scenario involves specifying material properties for the walls, floor, ceiling, and furnishings. FDS treats all of these objects as multi-layered solids, thus the physical parameters for many real objects can only be viewed as approximations to the actual properties. Describing these materials in the input file is the single most challenging task for the user. Thermal properties such as conductivity, specific heat, density, and thickness can be found in various handbooks, or in manufacturers literature, or from bench-scale measurements. The burning behavior of materials at different heat fluxes is more difficult to describe, and the properties more difficult to obtain. Even though entire books are devoted to the subject [12], it is still difficult to find information on a particular item.

A significant part of the FDS input file directs the code to output various quantities in various ways. Much like in an actual experiment, the user must decide before the calculation begins what information to save. There is no way to recover information after the calculation is over if it was not requested at the start.

A complete description of the input parameters required by FDS can be found in the FDS User's Guide [4].

2.1.7 FDS Output Quantities

FDS computes the temperature, density, pressure, velocity and chemical composition within each numerical grid cell at each discrete time step. There are typically hundreds of thousands to millions of grid cells and thousands to hundreds of thousands of time steps. In addition, FDS computes at solid surfaces the temperature, heat flux, mass loss rate, and various other quantities. The user must carefully select what data to save, much like one would do in designing an actual experiment. Even though only a small fraction of the computed information can be saved, the output typically consists of fairly large data files. Typical output quantities for the gas phase include:

- Gas temperature
- Gas velocity
- Gas species concentration (water vapor, CO₂, CO, N₂)
- Smoke concentration and visibility estimates
- Pressure
- Heat release rate per unit volume
- Mixture fraction (or air/fuel ratio)
- Gas density
- Water droplet mass per unit volume

On solid surfaces, FDS predicts additional quantities associated with the energy balance between gas and solid phase, including

- Surface and interior temperature
- Heat flux, both radiative and convective
- Burning rate
- Water droplet mass per unit area

Global quantities recorded by the program include:

- Total Heat Release Rate (HRR)
- Sprinkler and detector activation times
- Mass and energy fluxes through openings or solids

Time histories of various quantities at a single point in space or global quantities like the fire's heat release rate (HRR) are saved in simple, comma-delimited text files that can be plotted using a spreadsheet program. However, most field or surface data are visualized with a program called Smokeview, a tool specifically designed to analyze data generated by FDS. FDS and Smokeview are used in concert to model and visualize fire phenomena. Smokeview performs this visualization by presenting animated tracer particle flow, animated contour slices of computed gas variables and animated surface data. Smokeview also presents contours and vector plots of static data anywhere within a scene at a fixed time.

A complete list of FDS output quantities and formats is given in Ref. [4]. Details on the use of Smokeview are found in Ref. [13].

2.1.8 FDS Governing Equations, Assumptions and Numerics

Following is a brief description of the major components of FDS. Detailed information regarding the assumptions and governing equations associated with the model is provided in Section 3.1.

Hydrodynamic Model FDS solves numerically a form of the Navier-Stokes equations appropriate for low-speed, thermally-driven flow with an emphasis on smoke and heat transport from fires. The core algorithm is an explicit predictor-corrector scheme that is second order accurate in space and time. Turbulence is treated by means of the Smagorinsky form of Large Eddy Simulation (LES). It is possible to perform a Direct Numerical Simulation (DNS) if the underlying numerical grid is fine enough. LES is the default mode of operation.

Combustion Model For most applications, FDS uses a combustion model based on the mixture fraction concept. The mixture fraction is a conserved scalar quantity that is defined as the fraction of gas at a given point in the flow field that originates as fuel. Unlike versions of FDS prior to 5, the reaction of fuel and oxygen is not necessarily instantaneous and complete, and there are several optional schemes that are designed to predict the extent of combustion in under-ventilated spaces. The mass fractions of all of the major reactants and products can be derived from the mixture fraction by means of "state relations," expressions arrived at by a combination of simplified analysis and measurement.

Radiation Transport Radiative heat transfer is included in the model via the solution of the radiation transport equation for a gray gas. In a limited number of cases, a wide band model can be used in place of the gray gas model to provide a better spectral accuracy. The radiation equation is solved using a technique similar to a finite volume method for convective transport, thus the name given to it is the Finite Volume Method (FVM). Using approximately 100 discrete angles, the finite volume solver requires about 20 % of the total CPU time of a calculation, a modest cost given the complexity of radiation heat transfer. Water droplets can absorb and scatter thermal radiation. This is important in cases involving mist sprinklers, but also plays a role in all sprinkler cases. The absorption and scattering coefficients are based on Mie theory. The scattering from the gaseous species and soot is not included in the model.

Geometry FDS approximates the governing equations on one or more rectilinear grids. The user prescribes rectangular obstructions that are forced to conform with the underlying grid.

Boundary Conditions All solid surfaces are assigned thermal boundary conditions, plus information about the burning behavior of the material. Usually, material properties are stored in a database and invoked

by name. Heat and mass transfer to and from solid surfaces is usually handled with empirical correlations, although it is possible to compute directly the heat and mass transfer when performing a Direct Numerical Simulation (DNS).

Sprinklers and Detectors The activation of sprinklers and heat and smoke detectors is modeled using fairly simple correlations of thermal inertia for sprinklers and heat detectors, and transport lag for smoke detectors. Sprinkler sprays are modeled by Lagrangian particles that represent a sampling of the water droplets ejected from the sprinkler.

2.1.9 Limitations of FDS

Although FDS can address most fire scenarios, there are limitations in all of its various algorithms. Some of the more prominent limitations of the model are listed here. More specific limitations are discussed as part of the description of the governing equations in Section 3.1.

Low Speed Flow Assumption The use of FDS is limited to low-speed¹ flow with an emphasis on smoke and heat transport from fires. This assumption rules out using the model for any scenario involving flow speeds approaching the speed of sound, such as explosions, choke flow at nozzles, and detonations.

Rectilinear Geometry The efficiency of FDS is due to the simplicity of its rectilinear numerical grid and the use of a fast, direct solver for the pressure field. This can be a limitation in some situations where certain geometric features do not conform to the rectangular grid, although most building components do. There are techniques in FDS to lessen the effect of “sawtooth” obstructions used to represent non-rectangular objects, but these cannot be expected to produce good results if, for example, the intent of the calculation is to study boundary layer effects. For most practical large-scale simulations, the increased grid resolution afforded by the fast pressure solver offsets the approximation of a curved boundary by small rectangular grid cells.

Fire Growth and Spread Because the model was originally designed to analyze industrial-scale fires, it can be used reliably when the heat release rate (HRR) of the fire is specified and the transport of heat and exhaust products is the principal aim of the simulation. In these cases, the model predicts flow velocities and temperatures to an accuracy within 10 % to 20 % of experimental measurements, depending on the resolution of the numerical grid². However, for fire scenarios where the heat release rate is *predicted* rather than *prescribed*, the uncertainty of the model is higher. There are several reasons for this: (1) properties of real materials and real fuels are often unknown or difficult to obtain, (2) the physical processes of combustion, radiation and solid phase heat transfer are more complicated than their mathematical representations in FDS, (3) the results of calculations are sensitive to both the numerical and physical parameters. Current research is aimed at improving this situation, but it is safe to say that modeling fire growth and spread will always require a higher level of user skill and judgment than that required for modeling the transport of smoke and heat from prescribed fires.

Combustion For most applications, FDS uses a mixture fraction-based combustion model. The mixture fraction is a conserved scalar quantity that is defined as the fraction of gas at a given point in the flow field that originated as fuel. In its simplest form, the model assumes that combustion is mixing-controlled, and that the reaction of fuel and oxygen is infinitely fast, regardless of the temperature. For

¹Mach numbers less than about 0.3

²It is extremely rare to find measurements of local velocities and/or temperatures from fire experiments that have reported error estimates that are less than 10 %. Thus, the most accurate calculations using FDS do not introduce significantly greater errors in these quantities than the vast majority of fire experiments.

large-scale, well-ventilated fires, this is a good assumption. However, if a fire is in an under-ventilated compartment, or if a suppression agent like water mist or CO₂ is introduced, fuel and oxygen are allowed to mix and not burn, according to a few empirically-based criteria. The physical mechanisms underlying these phenomena are complex, and are tied closely to the flame temperature and local strain rate, neither of which are readily-available in a large scale fire simulation. Subgrid-scale modeling of gas phase suppression and extinction is still an area of active research in the combustion community. Until reliable models can be developed for building-scale fire simulations, simple empirical rules can be used that prevent burning from taking place when the atmosphere immediately surrounding the fire cannot sustain the combustion. Details are found in Section 3.2.

Radiation Radiative heat transfer is included in the model via the solution of the radiation transport equation (RTE) for a gray gas, and in some limited cases using a wide band model. The RTE is solved using a technique similar to finite volume methods for convective transport, thus the name given to it is the Finite Volume Method (FVM). There are several limitations of the model. First, the absorption coefficient for the smoke-laden gas is a complex function of its composition and temperature. Because of the simplified combustion model, the chemical composition of the smokey gases, especially the soot content, can effect both the absorption and emission of thermal radiation. Second, the radiation transport is discretized via approximately 100 solid angles, although the user may choose to use more angles. For targets far away from a localized source of radiation, like a growing fire, the discretization can lead to a non-uniform distribution of the radiant energy. This error is called “ray effect” and can be seen in the visualization of surface temperatures, where “hot spots” show the effect of the finite number of solid angles. The problem can be lessened by the inclusion of more solid angles, but at a price of longer computing times. In most cases, the radiative flux to far-field targets is not as important as those in the near-field, where coverage by the default number of angles is much better.

2.2 Peer Review Process

FDS is reviewed both internally and externally. All documents issued by the National Institute of Standards and Technology are formally reviewed internally by members of the staff. The theoretical basis of FDS is laid out in the present document, and is subject to internal review by staff members who are not active participants in the development of the model, but who are members of the Fire Research Division and are considered experts in the fields of fire and combustion. Externally, papers detailing various parts of FDS are regularly published in peer-reviewed journals and conference proceedings. In addition, FDS is used world-wide by fire protection engineering firms who review the technical details of the model related to their particular application. Some of these firms also publish in the open literature reports documenting internal efforts to validate the model for a particular use. Many of these studies are referenced in the FDS Validation Guide [?].

2.2.1 Survey of the Relevant Fire and Combustion Literature

FDS has three separate manuals – the FDS Technical Reference Guide, the FDS Validation Guide [?], and the FDS User's Guide [4]. Smokeview has its own User's Guide [13]. The User Guides only describe the mechanics of using the computer programs. The Technical Reference Guide provides the theory, algorithm details, and verification work. The Validation Guide is new with FDS 5. It describes validation studies of FDS, both those performed by NIST and by others.

There are numerous sources that describe various parts of the model. The basic set of equations solved in FDS was formulated by Rehm and Baum in the *Journal of Research of the National Bureau of Standards* [10]. The basic hydrodynamic algorithm evolved at NIST through the 1980s and 1990s, incorporating fairly well-known numerical schemes that are documented in books by Anderson, Tannehill and Pletcher [14], Peyret and Taylor [15], and Ferziger and Perić [16]. This last book provides a good description of the large eddy simulation technique and provides references to many current publications on the subject. Numerical techniques appropriate for combustion systems are described by Oran and Boris [11]. The mixture fraction combustion model is described in a review article by Bilger [17]. Basic heat transfer theory is provided by Holman [18] and Incropera [19]. Thermal radiation is described in Siegel and Howell [20].

Much of the current knowledge of fire science and engineering is found in the *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* [21]. Popular textbooks in fire protection engineering include those by Drysdale [22] and Quintiere [23]. On-going research in fire and combustion is documented in several periodicals and conference proceedings. The International Association of Fire Safety Science (IAFSS) organizes a conference every two years, the proceedings of which are frequently referenced by fire researchers. Interscience Communications, a London-based publisher of several fire-related journals, hosts a conference known as Interflam roughly every three years in the United Kingdom. The Combustion Institute hosts an international symposium on combustion every two years, and in addition to the proceedings of this symposium, the organization publishes its own journal, *Combustion and Flame*. The papers appearing in the IAFSS conference proceedings, the Combustion Symposium proceedings, and *Combustion and Flame* are all peer-reviewed, while those appearing in the Interflam proceedings are selected based on the submission of a short abstract. Both the Society for Fire Protection Engineers (SFPE) and the National Fire Protection Association (NFPA) publish peer-reviewed technical journals entitled the *Journal of Fire Protection Engineering* and *Fire Technology*. Other often-cited, peer-reviewed technical journals include the *Fire Safety Journal*, *Fire and Materials*, *Combustion Science and Technology*, *Combustion Theory and Modeling* and the *Journal of Heat Transfer*.

Research at NIST is documented in various ways beyond contributions made by staff to external journals and conferences. NIST publishes several forms of internal reports, special publications, and its own journal

called the *Journal of Research of NIST*. An internal report, referred to as a NISTIR (NIST Inter-agency Report), is a convenient means to disseminate information, especially when the quantity of data exceeds what could normally be accepted by a journal. Often parts of a NISTIR are published externally, with the NISTIR itself serving as the complete record of the work performed. Previous versions of the FDS Technical Reference Guide and User's Guide were published as NISTIRs. The current FDS and Smokeview manuals are being published as NIST Special Publications, distinguished from NISTIRs by the fact that they are permanently archived. Work performed by an outside person or organization working under a NIST grant or contract is published in the form of a NIST Grant/Contract Report (GCR). All work performed by the staff of the Building and Fire Research Laboratory at NIST beyond 1993 is permanently stored in electronic form and made freely available via the Internet and yearly-released compact disks (CDs) or other electronic media.

2.2.2 Review of the Theoretical Basis of the Model

The technical approach and assumptions of the model have been presented in the peer-reviewed scientific literature and at technical conferences cited in the previous section. The major assumptions of the model, for example the large eddy simulation technique and the mixture fraction combustion model, have undergone a roughly 40 year development and are now documented in popular introductory text books. More specific sub-models, like the sprinkler spray routine or the various pyrolysis models, have yet to be developed to this extent. As a consequence, all documents produced by NIST staff are required to go through an internal editorial review and approval process. This process is designed to ensure compliance with the technical requirements, policy, and editorial quality required by NIST. The technical review includes a critical evaluation of the technical content and methodology, statistical treatment of data, uncertainty analysis, use of appropriate reference data and units, and bibliographic references. The FDS and Smokeview manuals are first reviewed by a member of the Fire Research Division, then by the immediate supervisor of the author of the document, then by the chief of the Fire Research Division, and finally by a reader from outside the division. Both the immediate supervisor and the division chief are technical experts in the field. Once the document has been reviewed, it is then brought before the Editorial Review Board (ERB), a body of representatives from all the NIST laboratories. At least one reader is designated by the Board for each document that it accepts for review. This last reader is selected based on technical competence and impartiality. The reader is usually from outside the division producing the document and is responsible for checking that the document conforms with NIST policy on units, uncertainty and scope. He/she does not need to be a technical expert in fire or combustion.

Recently, the US Nuclear Regulatory Commission (US NRC) published a seven-volume report on its own verification and validation study of five different fire models used for nuclear power plant applications [24]. Two of the models are essentially a set of empirically-based correlations in the form of engineering "spread sheets." Two of the models are classic two-zone fire models, one of which is the NIST developed CFAST. FDS is the sole CFD model in the study. More on the study and its results can be found in the FDS Validation Guide [?].

Besides formal internal and peer review, FDS is subjected to continuous scrutiny because it is available free of charge to the general public and is used internationally by those involved in fire safety design and post-fire reconstruction. The quality of the FDS and Smokeview User Guides is checked implicitly by the fact that the majority of model users have not taken a formal training course in the actual use of the model, but are able to read the supporting documents, perform a few sample simulations, and then systematically build up a level of expertise appropriate for their applications. The developers receive daily feedback from users on the clarity of the documentation and add clarifications when needed. Before new versions of the model are released, there is a several month "beta test" period in which users test the new version using the updated documentation. This process is similar, although less formal, to that which most computer

software programs undergo. Also, the source code for FDS is released publicly, and has been used at various universities world-wide, both in the classroom as a teaching tool as well as for research. As a result, flaws in the theoretical development and the computer program itself have been identified and corrected. As FDS continues to evolve, the user base will continue to serve as a means to evaluate the model. We consider this process as important to the development of FDS as the formal internal and external peer-review processes.



Bijlage 4

Toegepaste submodellen CFD

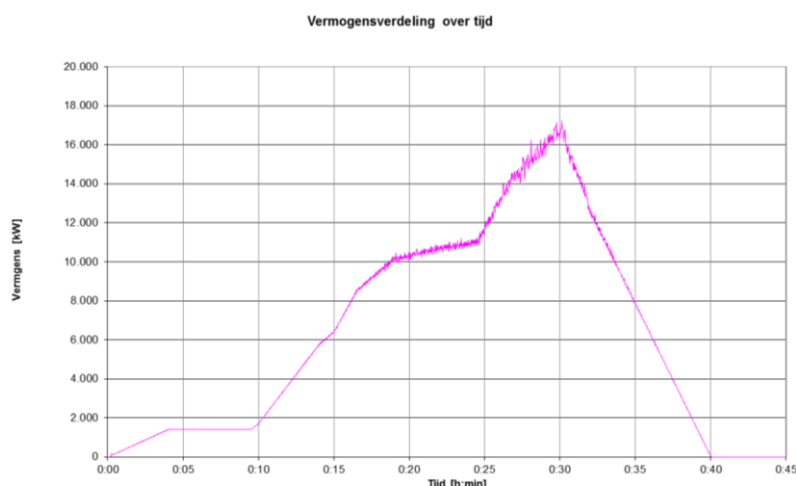
Turbulentie

FDS rekent met een turbulentie model op basis van de LES-methode. LES staat voor Large Eddy Simulation. In LES wordt de turbulentie per cel dynamisch opgelost. Bij deze methode worden de grote wervels direct in de vergelijkingen opgelost. De afmetingen van het rekenrooster bepalen de afmetingen van de grote wervels die in rekening worden gebracht. Een apart (scalair) turbulentiemodel is bij LES niet aanwezig. LES simulaties zijn succesvol gevalideerd voor brandsimulaties.

Verbrandingsmodel en rookproductie

De berekeningen zijn uitgevoerd met het standard mixture fraction verbrandingsmodel van FDS. Dit model is gebaseerd op het 'mixed is burnt'-principe. Voor een bepaalde gridcel wordt alle aanwezige brandstof verbrand tot alle zuurstof op is. Overgebleven niet-verbrande brandstof stroomt vervolgens naar naastgelegen gridcellen. Voor de brandstof wordt uitgegaan van koolwaterstofbrandstof $C_{16}H_{34}$ (auto) met een verbrandingswaarde van 25 MJ/kg volgens NEN 6055.

In het simulatie model wordt het brandvermogensscenario opgelegd op het oppervlak van een constructie-onderdeel. Bij een autobrand is dat het oppervlak van vier auto's. De auto's hebben een omvang van $b = 2,4$ m, $l = 4,8$ m en $h = 1,5$ m. Het totale bovenoppervlak van de auto's in het model bedraagt $46,08$ m². Rekening houdend met een maximaal piekvermogen resulteert dit in een referentievermogensdichtheid van $362,4$ kW/m². Op basis van de tijdsafhankelijke sturing wordt het brandvermogensscenario volgens afbeelding 4.1 opgelegd. In onderstaande afbeelding is het resultaat op basis van de uitvoergegevens van de berekende simulaties weergegeven. Hieruit blijkt dat het opgelegde brandscenario overeenkomt met figuur 3.



Afbeelding 4.1: Uitgerekende brandvermogensscenario.

In de chemische reactie die plaatsvindt bij een autobrand worden CO_2 , H_2O en vaste rookdeeltjes geproduceerd. De massafractie van de brandstof dat in vaste rookdeeltjes wordt omgezet is 1 %. Het rookpotentieel is 400 m²/kg, conform NEN 6098. Op basis van deze gegevens wordt de zichtlengte in de garage berekend uit de optische rookdichtheid volgens:

zichtlengte = 1,3 / optische rookdichtheid

Verbranding/stralingsmodel

In de CFD-simulatie van een autobrand beschouwen we geen warmtestraling. Dit betekent dat in elk geval een correctie op het brandvermogen gedaan moet worden. In het FDS-pakket wordt 65% van het brandvermogen convectief afgegeven aan de lucht en 35% van het vermogen door straling aan de rook en constructies.

Warmtetransport door bouwkundige constructies

Het simuleren van warmtetransport in bouwkundige constructies is op verschillende manieren mogelijk. In het model zijn de constructie-onderdelen gemodelleerd als een vaste stof met een constante warmte-overdrachtscoëfficiënt gebaseerd op de eigenschappen van de constructieonderdelen (in dit geval beton/staal). De begrenzende constructies hebben bij de ontstaan van de brand dezelfde temperatuur als de aangrenzende lucht. Door de brand worden de begrenzende constructies opgewarmd, zowel door stralingsafgifte (vanaf de brandhaard) als door convectieve afgifte (vanaf de rooklaag).



Bijlage 5

CO-emissie (NEN 2443)

Koolmonoxide-emissie t.g.v. rijdende auto's

Emissiegegevens volgens NEN 2443 / dag = 8 uur

projectgegevens

project	P+R Den Bosch
projectnummer	z110576aa
opdrachtgever	Aan de Stegge
datum	30 mei 2013

invoergegevens

vlak		parkeren	stallen
Capaciteit		356	0
Bezettingsfrequentie	[1/dag]	1,25	0
Aantal auto's per dag	[auto]	445	0
Gem. afgelegde weg per auto	[m]	485	0
Totaal afgelegde weg	[auto.m]	215825	0
Oponthoud per auto	[min.]	1	1
Totaal oponthoud	[auto.min]	445	0

inrijden en uitrijden

Gemiddelde snelheid	[km/h]	10	10
Koolmonoxide-emissie per uur	[m ³ /auto.h]	0,35	0,35
Koolmonoxide-emissie per afgelegde weg	[cm ³ /auto.m]	35	35

oponthoud

Gemiddelde snelheid	[km/h]	0	0
Koolmonoxide-emissie per uur	[m ³ /auto.h]	0,35	0,35
Koolmonoxide-emissie per minuut	[cm ³ /auto.min]	5833,3	5833,3

totale koolmonoxide-emissies

	[m ³ /dag]	10,09	0,00
Totaal	[m³/dag]		10,09

grenswaarden

TGG (8 uur)	[ppm]	25,0
-------------	-------	------

achtergrondniveaus

gemiddelde concentratie (8 uur)	[ppm]	3,0
---------------------------------	-------	-----

ventilatiebehoefte volgens Wet Luchtkwaliteit

Gemiddeld	[m ³ /dag]	459297
Capaciteit	[m ³ /h]	57412



Bijlage 6

Berekening luchtstroommodel parkeerdek

Ventilatiecapaciteit t.g.v. natuurlijke convectie

Luchtstroommodel voor de bepaling van de ventilatiecapaciteit in een ruimte (1 zone) via verticale en horizontale openingen (stationaire situatie, windstil weer)

projectgegevens

project	Parkeergarage Den Bosch
projectnummer	z110576aa
opdrachtgever	Aan de Stegge
datum	18-06-2013
variant	gebruikventilatie totale parkeergarage

invoer gevelopeningen (verticaal)

omschrijving	aantal	breedte	hoogte onderzijde	hoogte bovenzijde	stromings- coëfficiënt
	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]
Voorgevel voorzien van wap	1	85,25	1,29	2,24	0,6
Voorgevel voorzien van beg	1	77,71	1,29	2,24	0,6
Achteregevel	1	94,24	1,29	2,24	0,6
Linkerzijgevel	1	19,45	1,29	2,24	0,6
Rechterzijgevel t.p.v. gevel	1	5,00	1,29	2,24	0,6
Rechterzijgevel t.p.v. inrit	1	7,59	0,00	2,24	0,6

invoer randvoorwaarden

Binnentemperatuur [°C]	12
Omgevingstemperatuur [°C]	10

rekenresultaten

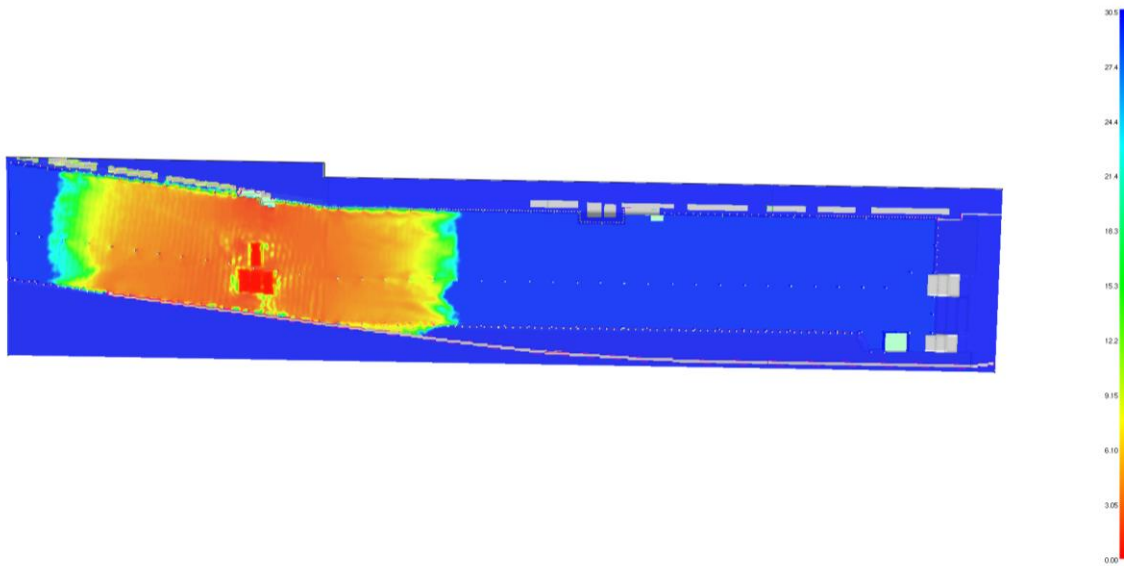
Ventilatiecapaciteit t.g.v. natuurlijke convectie [kg/s]	18,92	< in uit >	18,92
Ventilatiecapaciteit t.g.v. natuurlijke convectie [dm ³ /s]	15165	< in uit >	15272
Ventilatiecapaciteit t.g.v. natuurlijke convectie [m ³ /h]	54595	< in uit >	54980



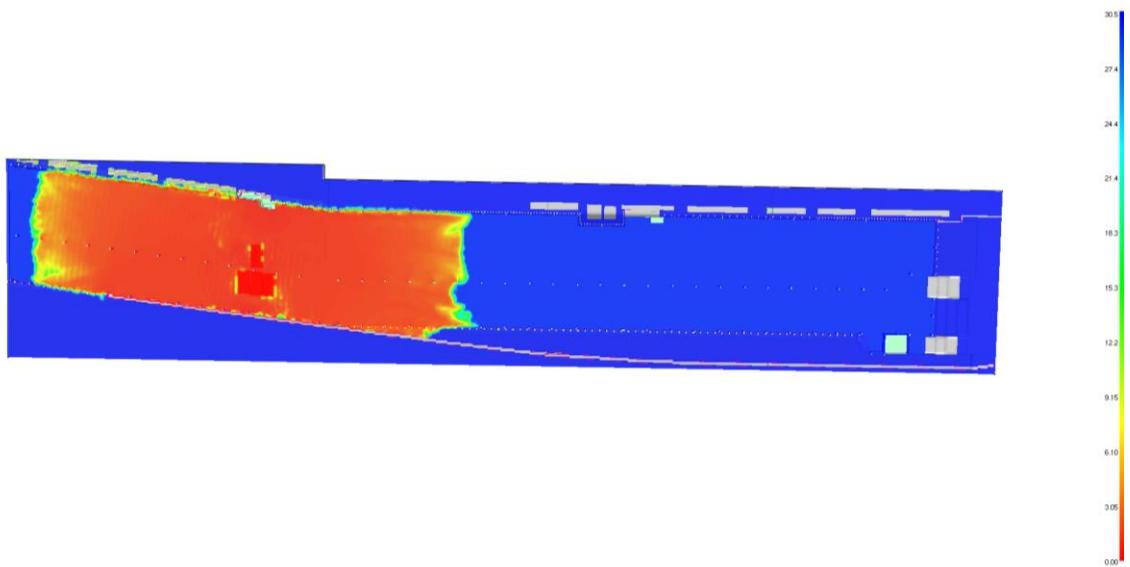
Bijlage 7

Resultaten CFD-berekening hoofdstuk 7

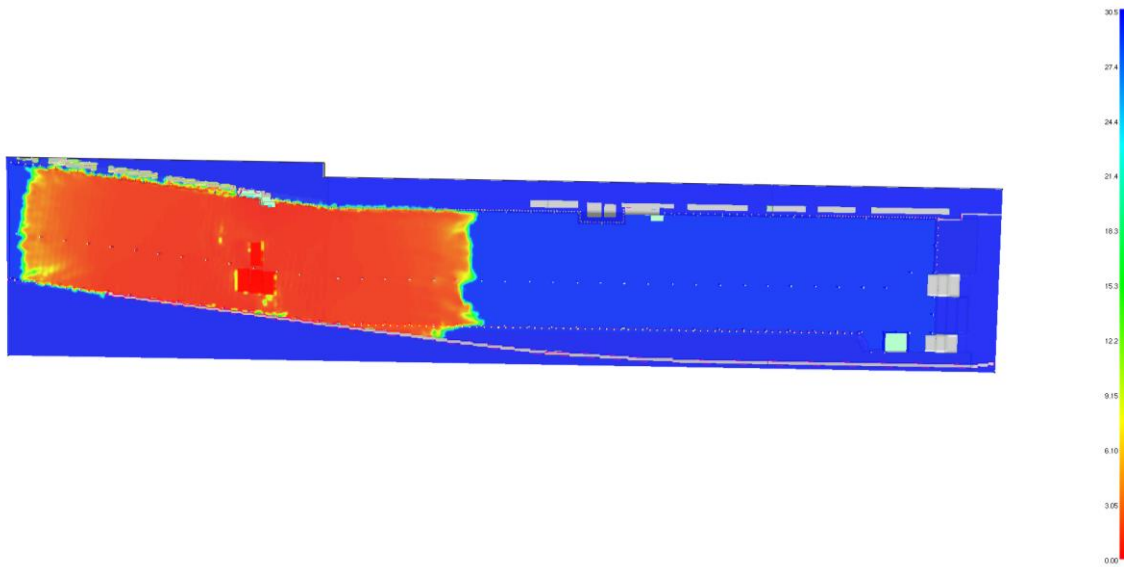
Zichtlengte, t = 10 minuten op 1,8 m boven vloerniveau



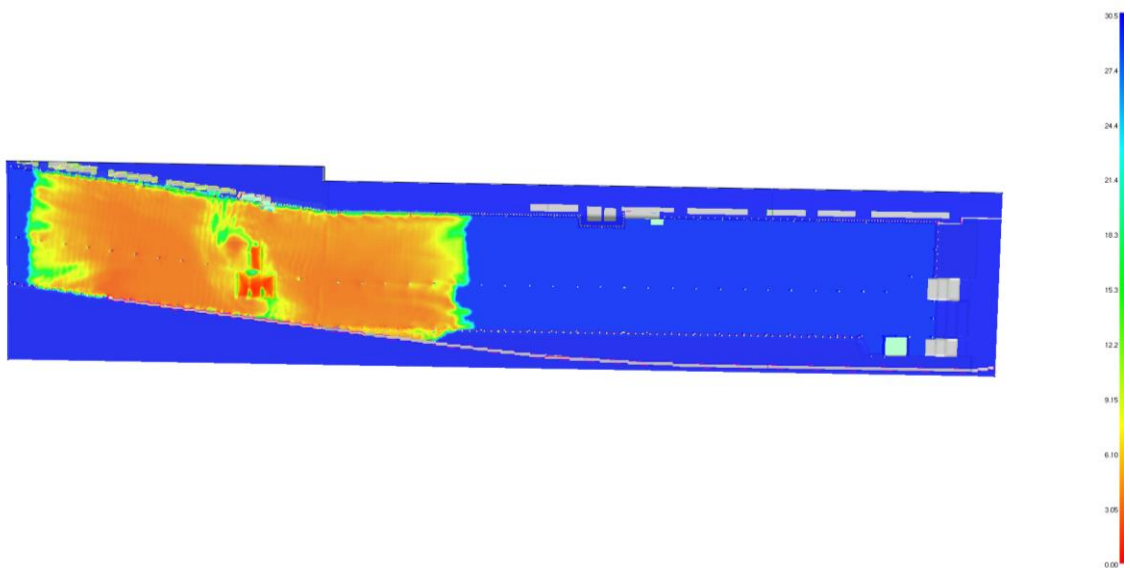
Zichtlengte, t = 20 minuten op 1,8 m boven vloerniveau



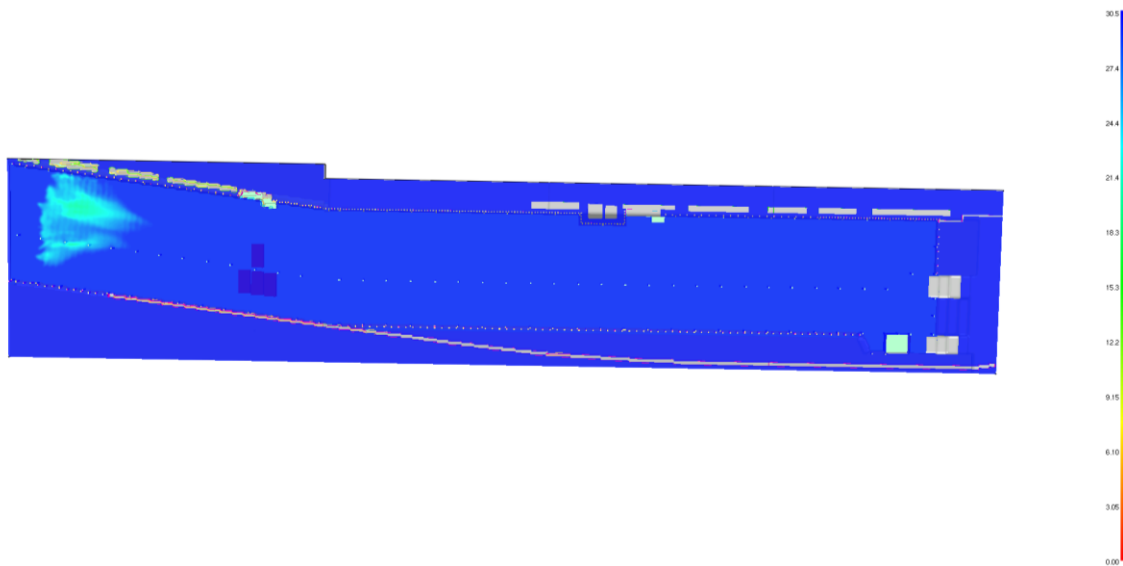
Zichtlengte, t = 30 minuten op 1,8 m boven vloerniveau



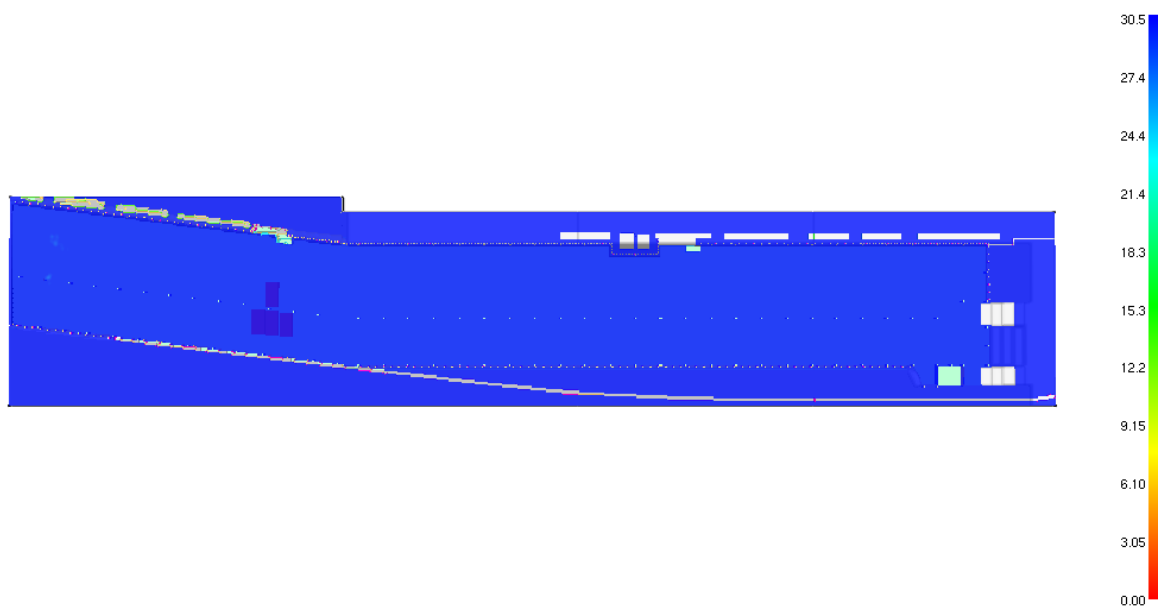
Zichtlengte, t = 40 minuten op 1,8 m boven vloerniveau



Zichtlengte, t = 50 minuten op 1,8 m boven vloerniveau



Zichtlengte, t = 54 minuten op 1,8 m boven vloerniveau





Bijlage 8

Resultaten CFD-berekening hoofdstuk 8

CFD-model

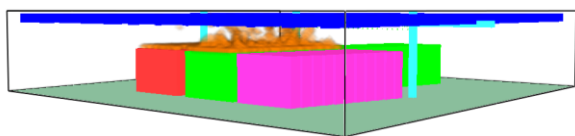
In de CFD-berekeningen is met behulp van meetpunten op de constructie de lokale thermische belasting door straling en convectie op de staalprofielen (per scenario kolom en ligger) van de draagconstructie het dichtst bij de brandhaard bepaald.

De thermische belasting is hiermee bepaald voor:

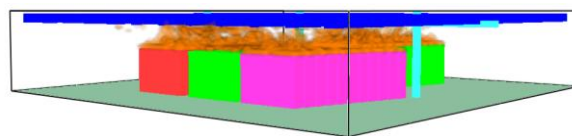
1. de middenkolom direct voor de brandhaard;
2. de middenligger direct voor de brandhaard;
3. de gevelkolom direct voor de brandhaard;
4. de randligger direct voor de brandhaard.

In de CFD-modellen is een groot aantal meetpunten opgelegd op alle zijden van de profielen. Afbeelding 8.1 geeft een beeld van de vlammen tijdens de brand na 15 minuten (tijdstip van brandoverslag naar naastgeparkeerde auto's) en na 30 minuten (tijdstip start blussing).

Model brandscenario vier auto's

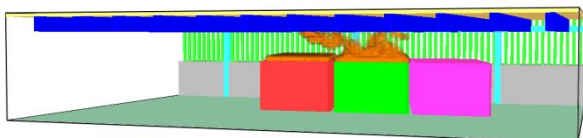


15 minuten

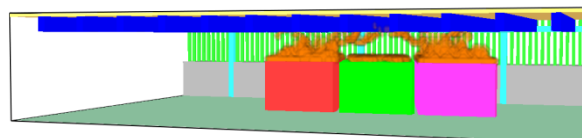


30 minuten

Model brandscenario drie auto's



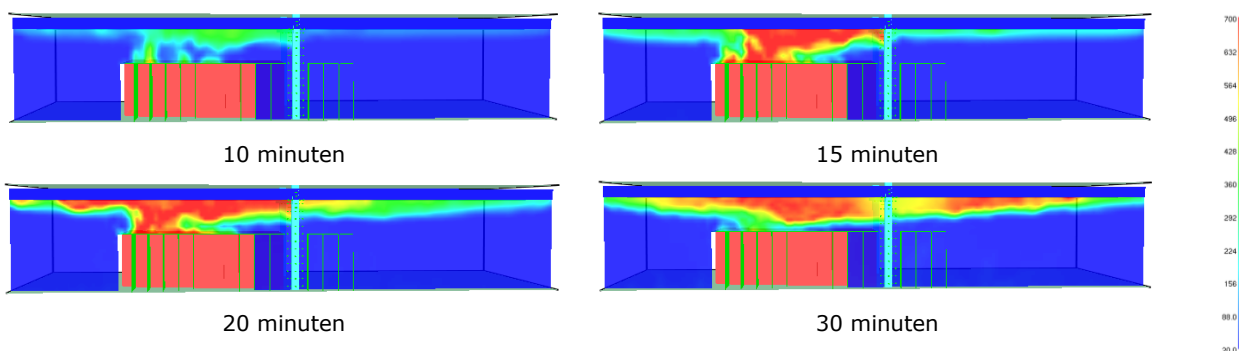
15 minuten



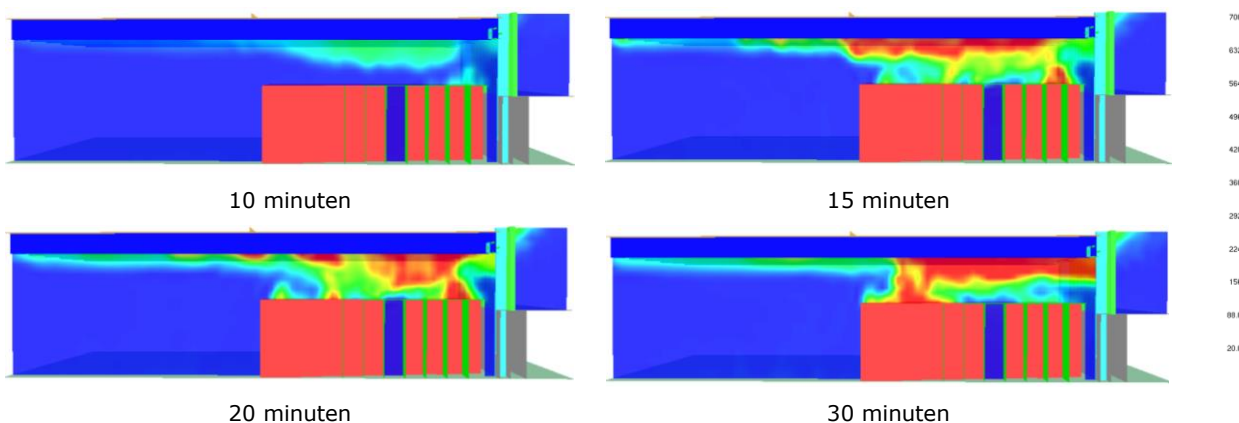
30 minuten

Afbeelding 8.1: 3D-beeld van de vlammen tijdens de brand, na 15 en 30 minuten.

Afbeeldingen 8.2a en 8.2b geven de temperatuur weer op een verticale doorsnede over de kolommen en de liggers op een aantal tijdstappen.



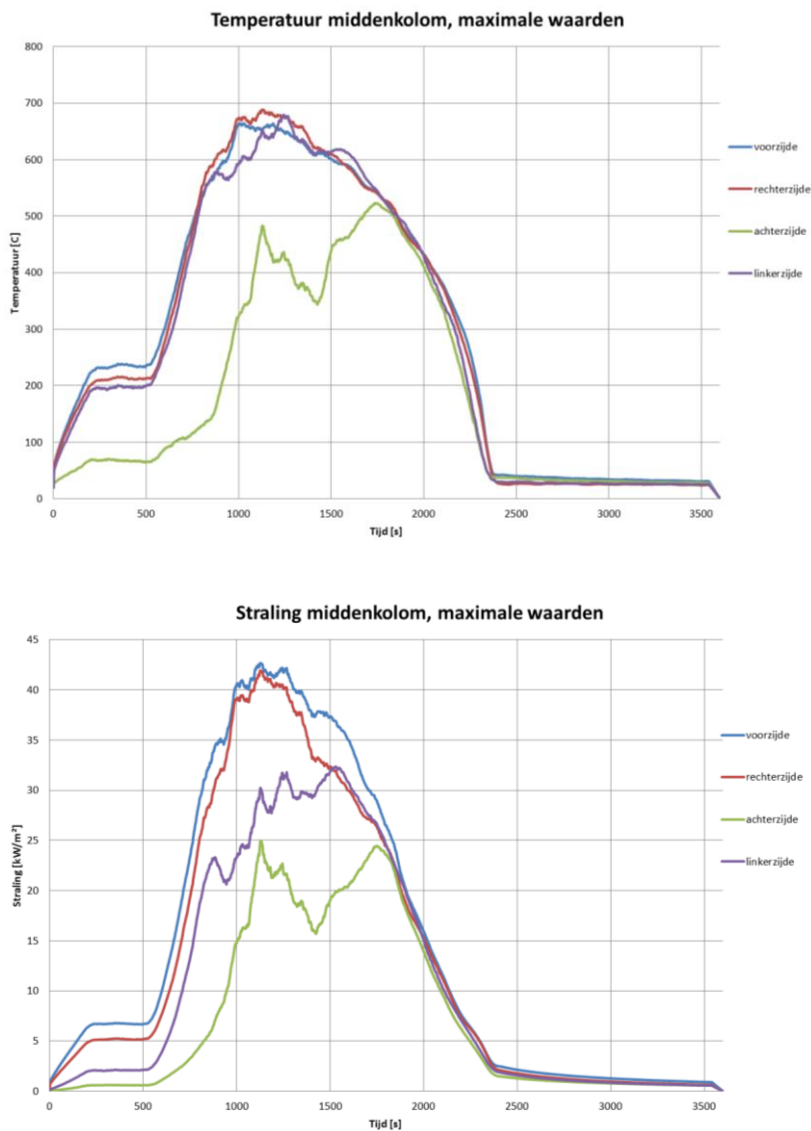
Afbeelding 8.2a: Temperatuur op verticale doorsnede over de kolommen en liggers op verschillende tijdstappen brandscenario 4 auto's.



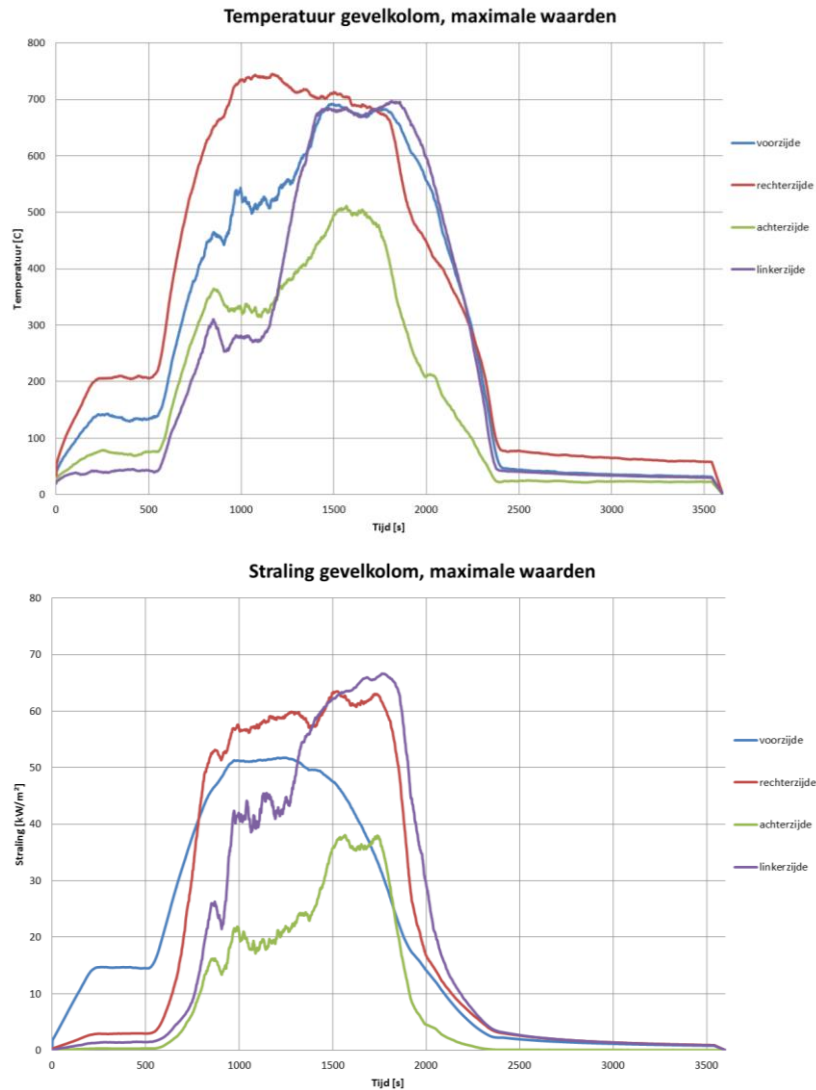
Afbeelding 8.2b: Temperatuur op verticale doorsnede over de kolommen en liggers op verschillende tijdstappen brandscenario 3 auto's.

Uit de rekenresultaten is voor elke zijde van de profielen de hoogste belasting bepaald. Dit is zowel voor de convectieve opwarming (temperatuur) als de straling (stralingsflux) gedaan. De meetgegevens van deze meetpunten met de grootste belasting zijn gebruikt in de berekeningen met het thermodynamisch simulatiemodel.

Voor de kolommen wordt voor alle zijden de grootste belasting gemeten dicht tegen de bovenliggende vloer. Naar beneden toe loopt de belasting snel terug. Afbeelding 8.3 geeft het verloop weer van de temperatuur en stralingsflux van de zwaarst belaste meetpunten van de middenkolom. Afbeelding 8.4 geeft dit weer voor de gevelkolom.

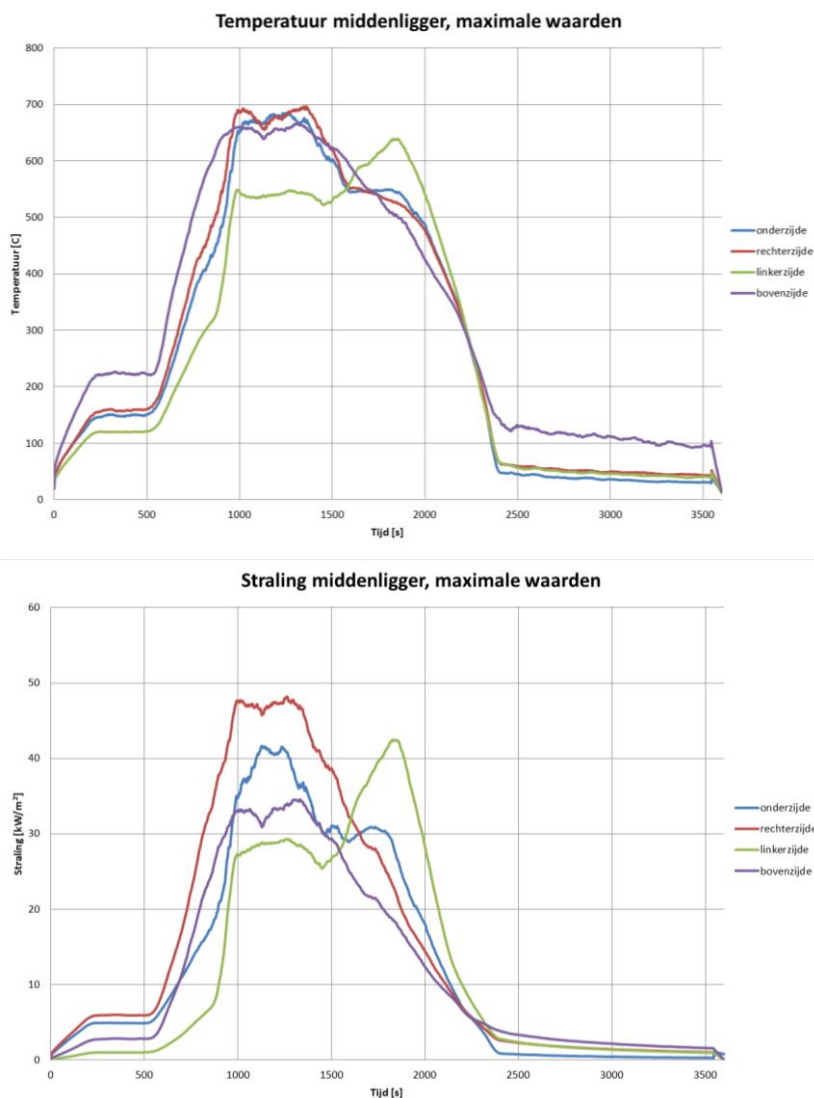


Afbeelding 8.3: Verloop van temperatuur en stralingsflux voor de zwaarst belaste meetpunten van de middenkolom (bewerkt tot 60 s gemiddelde waarden).

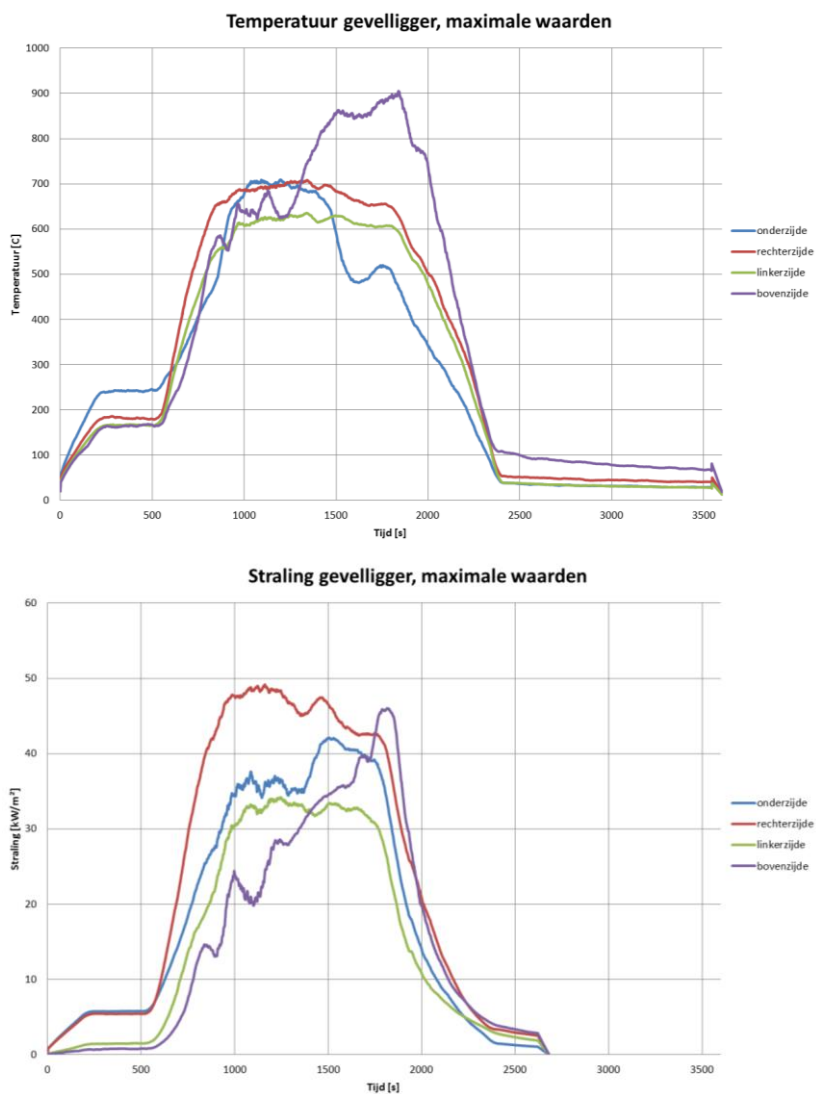


Afbeelding 8.4: Verloop van temperatuur en stralingsflux voor de zwaarst belaste meetpunten van de gevelkolom (bewerkt tot 60 s gemiddelde waarden).

Afbeelding 8.5 geeft het verloop weer van de temperatuur en stralingsflux van de zwaarst belaste meetpunten van de middenligger. Afbeelding 8.6 geeft dit weer voor de gevelliger.



Afbeelding 8.5: Verloop van temperatuur en stralingsflux voor de zwaarst belaste meetpunten van de middenligger (bewerkt tot 60 s gemiddelde waarden).



Afbeelding 8.6: Verloop van temperatuur en stralingsflux voor de zwaarst belaste meetpunten van de gevelliger (bewerkt tot 60 s gemiddelde waarden).

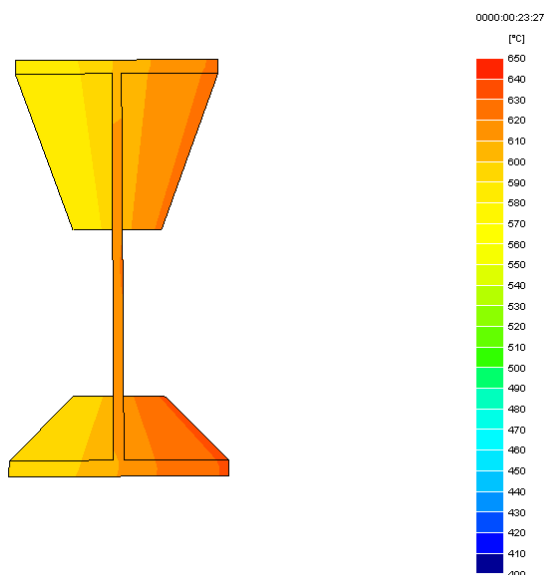


Bijlage 9

Berekeningen Voltra

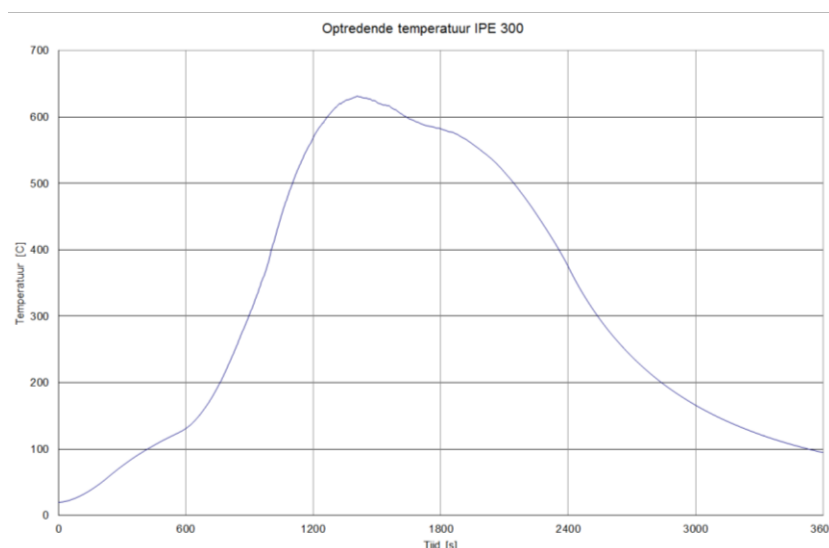
Ligger IPE 300

Afbeelding 9.1 toont een doorsnede over het profiel op het tijdstip met de hoogste temperatuur in het profiel, als gevolg van de randcondities die in bijlage 8 zijn berekend.



Afbeelding 9.1: Doorsnede over de ligger op tijdstip met hoogste temperatuur.

Afbeelding 9.2 geeft het temperatuurverloop van het warmste punt van de ligger weer gedurende het brandscenario.

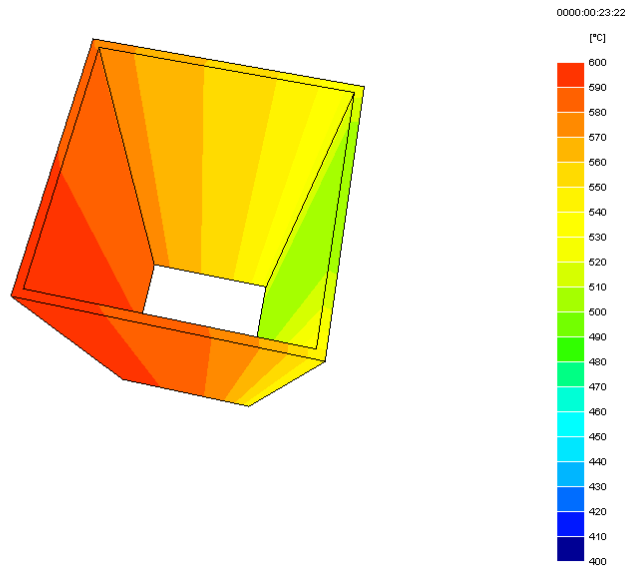


Afbeelding 9.2: Maximale materiaaltemperatuur in de ligger gedurende het brandscenario.

De hoogste temperatuur die het profiel gedurende het brandscenario bereikt is 632 °C (na circa 24 minuten).

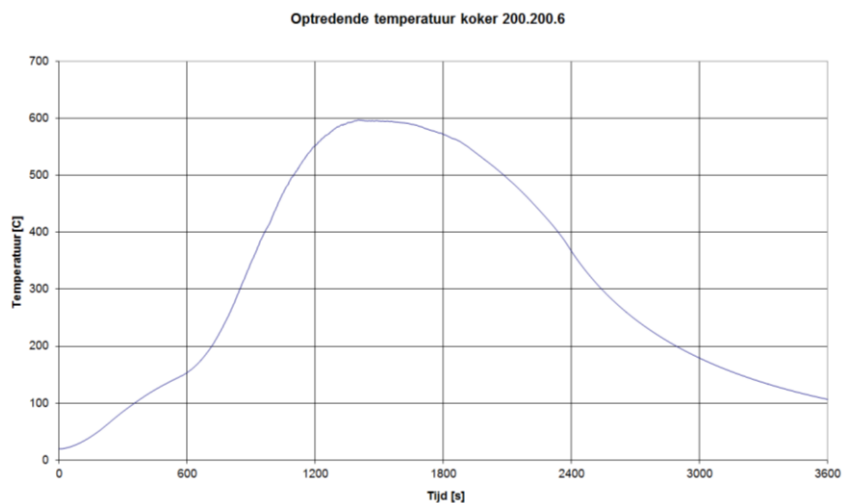
Middenkolom koker 200.200.6

Afbeelding 9.3 toont een doorsnede over het profiel op het tijdstip met de hoogste temperatuur in het profiel, als gevolg van de randcondities die in bijlage 8 zijn berekend.



Afbeelding 9.3: Doorsnede over de kolom op tijdstip met hoogste temperatuur.

Afbeelding 9.4 geeft het temperatuurverloop van het warmste punt van de kolom weer gedurende het brandscenario.

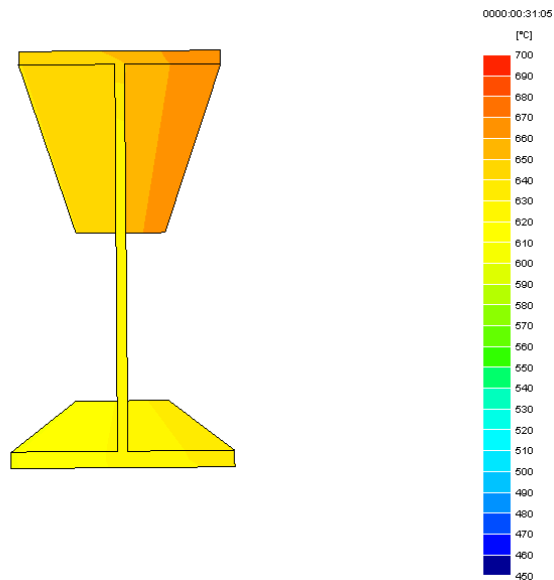


Afbeelding 9.4: Maximale materiaaltemperatuur in de kolom gedurende het brandscenario.

De hoogste temperatuur die het profiel gedurende het brandscenario bereikt is 598 °C (na circa 24 minuten).

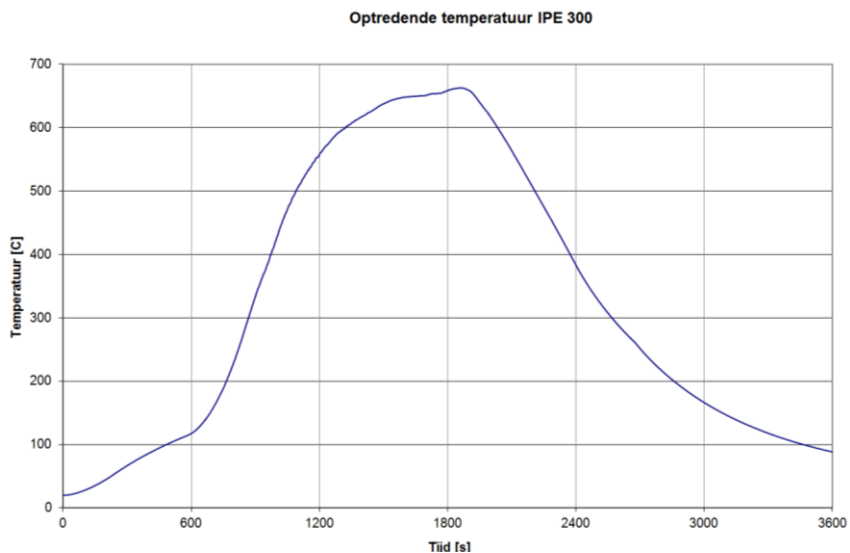
Gevelliger IPE 300

Afbeelding 9.5 toont een doorsnede over het profiel op het tijdstip met de hoogste temperatuur in het profiel, als gevolg van de randcondities die in bijlage 8 zijn berekend.



Afbeelding 9.5: Doorsnede over de ligger op tijdstip met hoogste temperatuur.

Afbeelding 9.6 geeft het temperatuurverloop van het warmste punt van de ligger weer gedurende het brandscenario.

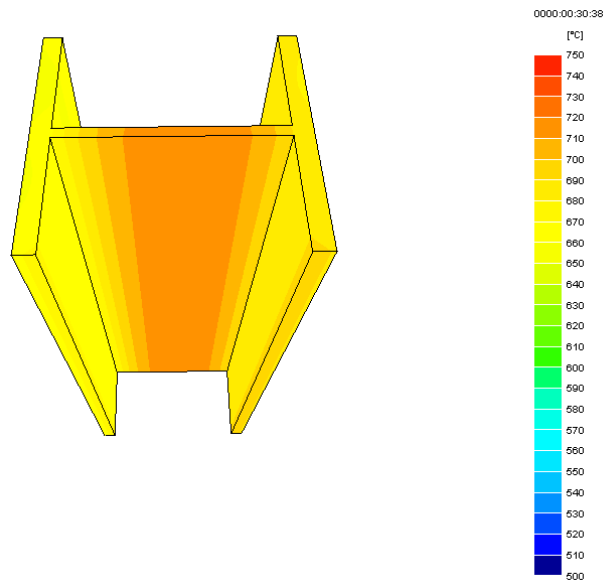


Afbeelding 9.6: Maximale materiaaltemperatuur in de kolom gedurende het brandscenario.

De hoogste temperatuur die het profiel gedurende het brandscenario bereikt is 663 °C (na circa 31 minuten).

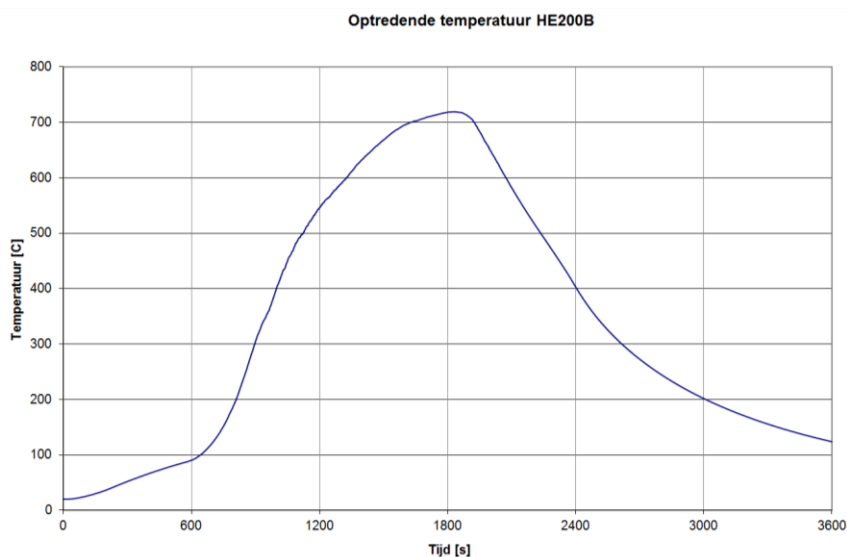
Gevelkolom HE200B

Afbeelding 9.5 toont een doorsnede over het profiel op het tijdstip met de hoogste temperatuur in het profiel, als gevolg van de randcondities die in bijlage 8 zijn berekend.



Afbeelding 9.5: Doorsnede over de kolom op tijdstip met hoogste temperatuur.

Afbeelding 9.6 geeft het temperatuurverloop van het warmste punt van de kolom weer gedurende het brandscenario.

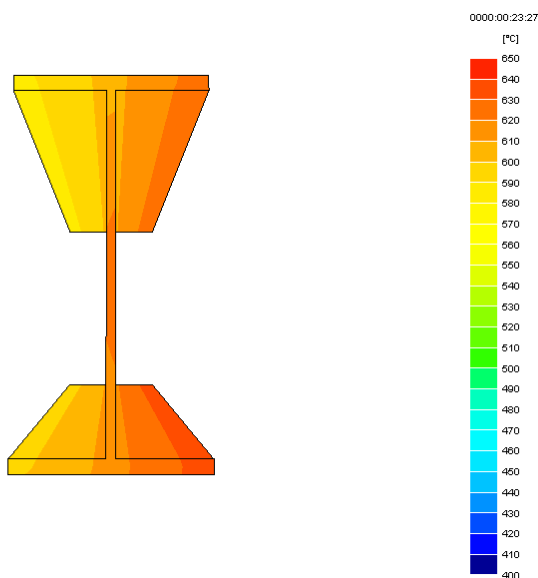


Afbeelding 9.6: Maximale materiaaltemperatuur in de kolom gedurende het brandscenario.

De hoogste temperatuur die het profiel gedurende het brandscenario bereikt is 719 °C (na circa 31 minuten).

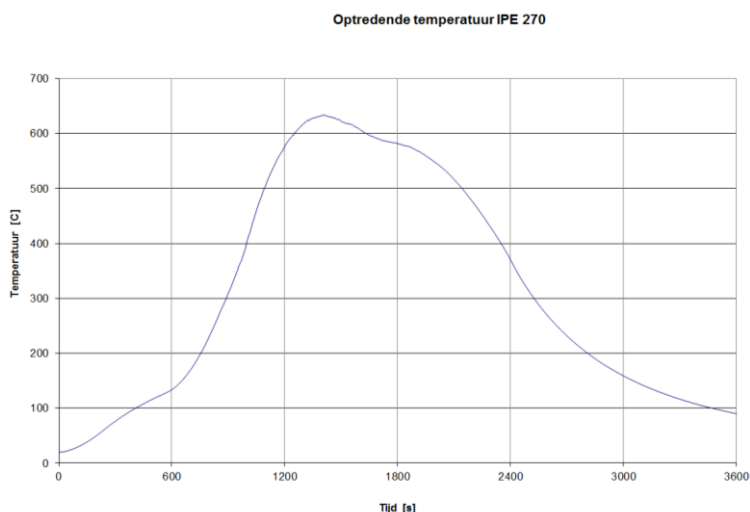
Ligger IPE 270

Afbeelding 9.7 toont een doorsnede over het profiel op het tijdstip met de hoogste temperatuur in het profiel, als gevolg van de randcondities die in bijlage 8 zijn berekend.



Afbeelding 9.7: Doorsnede over de ligger op tijdstip met hoogste temperatuur.

Afbeelding 9.8 geeft het temperatuurverloop van het warmste punt van de ligger weer gedurende het brandscenario.



Afbeelding 9.8: Maximale materiaaltemperatuur in de ligger gedurende het brandscenario.

De hoogste temperatuur die het profiel gedurende het brandscenario bereikt is 634 °C (na circa 24 minuten).



Bijlage 10

Toetsing loopafstanden



Bijlage 11

Ozone-berekening

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name: **Parkeergarage Den Bosch variant 1**
File Name: G:\Projecten\z11\z110576aa\Ozone\parkeergarage Den Bosch
variant 1.ozn
Created: 19-6-2013 at 10:12:50

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: 1 Zone Model

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings: 0,8
Bernoulli Coefficient: 0,7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature: 293 K
Initial Pressure: 100000 Pa

Parameters of Wall Material

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

Calculation Parameters

End of Calculation: 3600 sec
Time Step for Printing Results: 60 sec
Maximum Time Step for Calculation: 10 sec

Air Entrained Model: Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment: Any Compartment
Number of Walls: 1
Floor Area: 7580 m²
Height: 2,4 m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Bricks	10	1600	0,7	840

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Middle weight Concrete [EN12524]	1	1800	1,15	1000

Wall 1

Wall length: 290 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Steel [EN1994-1-2]	1	7850	45	600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
1,29	2,24	281,65	Constant	no
0	2,24	7,59	Constant	no

FIRE

Fire Curve: User Defined Fire
Maximum Fire Area: 50 m²
Fire Elevation: 0,5 m
Fuel Height: 1,5 m

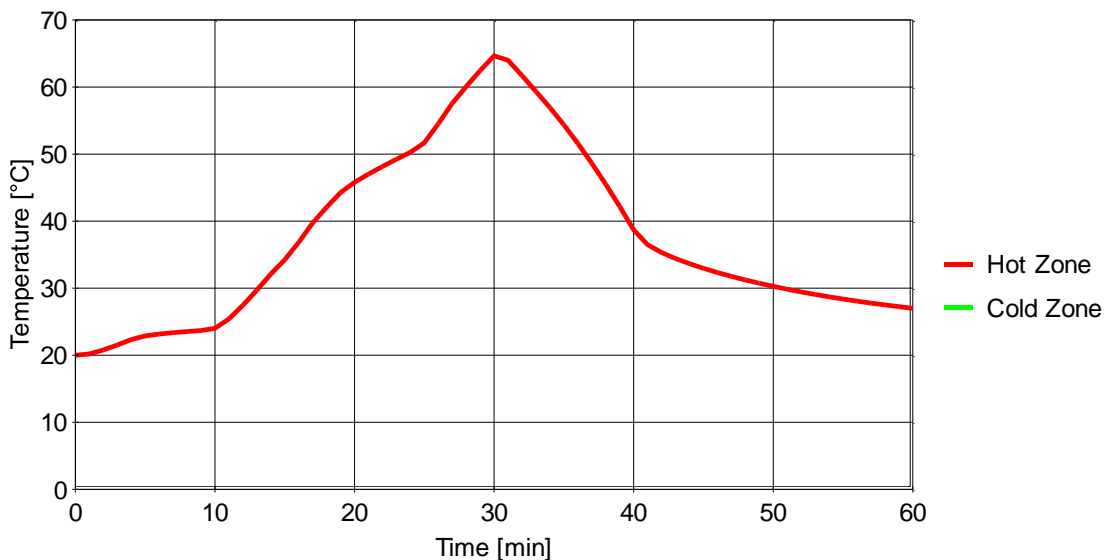
Point	Time [sec]	RHR [MW]	mf [kg/sec]	Fire Area [m ²]
1	0	0	0	0
2	240	1,4	0,07	4,192
3	570	1,4	0,07	4,192
4	600	1,73	0,086	5,18
5	840	5,76	0,288	17,246
6	900	6,41	0,32	19,192
7	990	8,45	0,422	25,299
8	1140	10,2	0,51	30,539
9	1170	10,2	0,51	30,539
10	1200	10,29	0,514	30,808
11	1320	10,64	0,532	31,856
12	1470	11,09	0,554	33,204
13	1590	14,07	0,703	42,126
14	1770	16,57	0,828	49,611
15	1800	16,7	0,835	50
16	1920	12,59	0,629	37,695
17	2400	0	0	0

Combustion Heat of Fuel: 25 MJ/kg
Combustion Efficiency Factor: 0,8
Combustion Model: No combustion model

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (50.00m²) is lower than 25% of the floor area (7580.00m²). The fire load is localised.

Gas Temperature



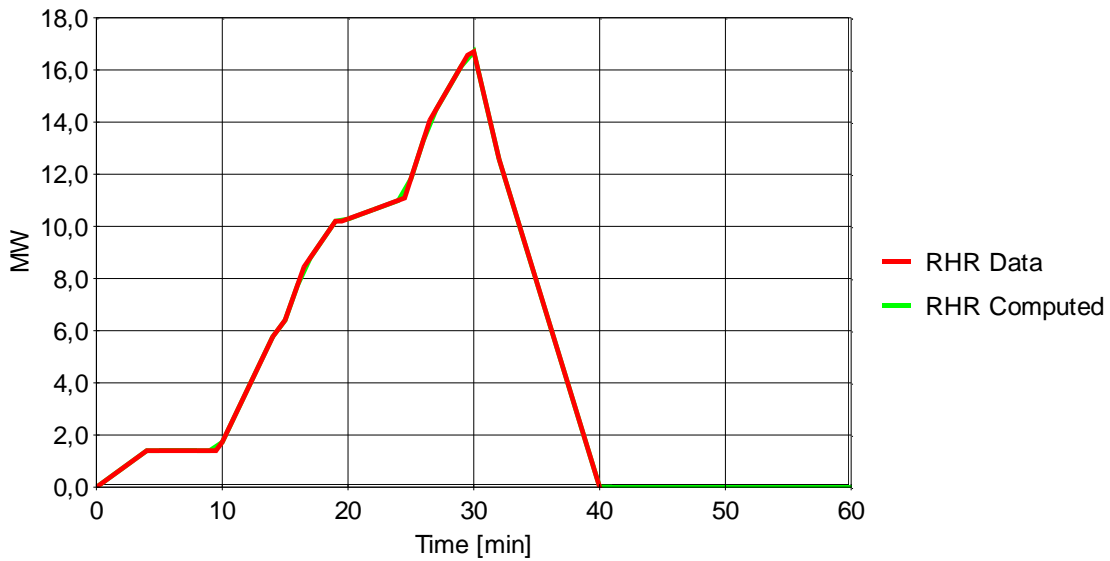
Analysis Name: Parkeergarage Den Bosch variant 1

Peak: 65 °C

At: 30 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

Rate of Heat Release



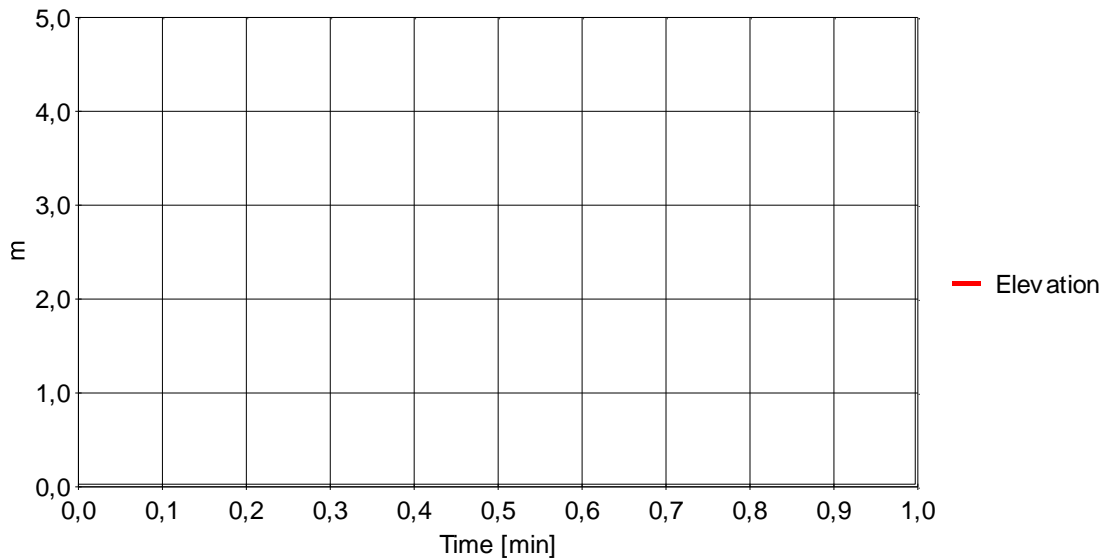
Analysis Name: Parkeergarage Den Bosch variant 1

Peak: 0 MW

At: 0 min

Figure 2. RHR Data and Computed

Zones Interface Elevation



Analysis Name: Parkeergarage Den Bosch variant 1

h = 0,00 m

At: 0,00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation



RAADGEVENDE INGENIEURS

Nieman

Bouwfysica, -techniek en -regelgeving

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Vestiging Utrecht

Atoomweg 400
Postbus 40217
3504 AA Utrecht
T 030-241 34 27

Vestiging Zwolle

Dr. Van Lookeren -
Campagneweg 16
Postbus 40147
8004 DC Zwolle
T 038-467 00 30



NI LID INGENIEURS

In 't Hart van de Bouw