

# Brandveilige parkeergarage haalbaar en betaalbaar

**Met FSE (Fire Safety Engineering) kunnen stalen parkeergarages met geen of beperkte brandwerende maatregelen worden gebouwd. Van belang zijn vooral de positie van de constructiedelen ten opzichte van de parkeervakken en het constructief ontwerp, bij voorkeur uitgevoerd in doorgaande liggers. Bij de bouw van spoorparkeergarage Medimall in Rotterdam, die tegelijk met de opening van het nieuwe Maasstadziekenhuis op 17 mei 2011 in gebruik is genomen, heeft deze aanpak geleid tot een staalconstructie met vrijwel geen brandwerende voorzieningen.**

**dr. ir. A.F. Hamerlinck, ing. B.S. de Kool, ing. A.C.A. T. Tax en M. van Dongen**

Ralph Hamerlinck is senior adviseur bij Bouwen met Staal in Zoetermeer, en directeur van Adviesbureau Hamerlinck in Roosendaal. Stefan de Kool is junior specialist bij Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs in Rotterdam. Toon Tax is planontwikkelaar bij BAM Wegen, Regio Zuidwest, Bergen op Zoom. Matty van Dongen is directeur staalbouw bij ASK Romein Staalbouw in Roosendaal.

Parkeergarage Medimall ligt tussen station Rotterdam-Lombardijen en het nieuwe Maasstadziekenhuis. Het gebouw, voorzien van markante aluminium geveldelen van open honingraatstructuren, staat ter beschikking van de bezoekers van het ziekenhuis en heeft een zogeheten Park & Ride-functie voor treinreizigers. De parkeerboulevard van 295x35x13 m (bvo 42.000 m<sup>2</sup>) is goed voor ongeveer achttienhonderd parkeerplaatsen, verdeeld over vijf lagen.

De parkeergarage wordt aan de westzijde (ziekenhuiszijde) op drie plaatsen ontsloten met liften en trappenhuizen. De parkeerlagen zijn bereikbaar via opritten aan de oostgevel (spoorzijde), voor beide gebruikersgroepen één. De meeste parkeervakken liggen onder een hoek ( $\pm 70^\circ$ ) ten opzichte van de langsegevels. Enkele parkeervakken liggen aan de kopgevels.

## Samenwerking

De spoorparkeergarage is gebouwd door BAM Wegen, in opdracht van Estrade Projecten. Het gebruikte modulaire bouwsysteem is het product van samenwerking tussen BAM Wegen, Architectenburo Baart en staalbouwer ASK Romein. Zij vertaalden hun eerdere parkeermagazijnconcept naar een compleet bouwsysteem voor publieke garages. De kennis en ervaring, opgedaan bij projecten met het magazijnconcept, zijn benut om het systeem optimaal af te stemmen op de locatie, het programma van eisen en bijkomende wensen van de klant. Voor de spoorparkeergarage viel de keuze op een modulaire constructie van staal en beton, aangevuld met bouwkundige voorzieningen en technische installaties. Samen met Cauberg-Huygen en Adviesbureau Hamerlinck

zijn de aanvullende eisen ten aanzien van Fire Safety Engineering vertaald naar een veilige, economisch gunstige oplossing.

## Constructie

In langsrichting bestaat de parkeergarage uit vier, van elkaar gedillateerde delen op een stramien van 4,8 m. In dwarsrichting zijn er twee beuken van 14,75 m met de parkeervakken en een beuk van 4,5 m met de hellingbanen. In dwarsrichting overspannen kanaalplaten de parkeervakken. Dunnere kanaalplaten liggen bij de hellingbanen. De kanaalplaten worden ondersteund door doorgaande stalen liggers in langsrichting, via consoles (samengesteld uit plaatmateriaal) aan de kokerkolommen. De gevelkolommen zijn doorgaand over de volledige hoogte van de parkeergarage uitgevoerd. De kolommen op de middenas zijn verdiepinghoog en met beton gevuld. De bouwdelen zijn elk gestabiliseerd met in langsrichting twee K-verbanden en acht X-verbanden en in dwarsrichting staan X- en K-verbanden in het eerste, het middelste en het laatste stramien, verbonden met dwarsliggers. De vloer is een horizontale schijf. De staalconstructie is volledig uitgevoerd in staalsoort S355.

## Brandwerendheid

Met CFD-berekeningen op basis van de Praktijkrichtlijn<sup>1)</sup> is aangetoond dat de parkeergarage kan worden uitgevoerd als één natuurlijk geventileerd brandcompartiment. Een knelpunt was dat, ook bij volledig windstil weer, een volledig rookvrije benadering van de brand mogelijk moet zijn. Een aanvullend scenario waarbij uitgegaan wordt van gelijktijdigheid van brand (calamiteit) en volledig windstil weer heeft uiteindelijk



1. De spoorparkkeergange Madimalli in Rotterdam (foto: Paul Martens)

## Noot

1 Zo wordt in de toelichting van artikel 2.169 (niet-besloten rookvrije vluchtrouten) verwezen naar NEN 1087. In deze norm wordt uitgegaan van een windsnelheid die in 50% van de tijd aanwezig is. Dat houdt dus in dat in de overige 50% van de tijd hier niet aan wordt voldaan. Evenzo mag voor de beoordeling van de constructieve veiligheid uitgegaan worden van slechts 20% van de windbelasting. Beide voorbeelden tonen aan dat gelijktijdigheid van brand en een 'extrem' windscenario een veiligheidsniveau geeft dat boven het Bouwbesluit 2003 uitgaat.

geleid tot een hoger veiligheidsniveau dan bedoeld in het Bouwbesluit<sup>1)</sup>.

Op basis van een nadere beschouwing van de condities bij de brandweerinzet waarbij de berekeningen bij verschillende meteorologische condities zijn uitgevoerd, is gekomen tot een door de brandweer goedgekeurd ontwerp. Hierbij zijn lokaal enkele inductieventilatoren toegepast om de doorstroming bij de inritten te bevorderen.

Door de hoogte van de parkeergarage geldt volgens het Bouwbesluit een brandwerendheidseis van 90 minuten voor de hoofd-draagconstructie. Vanwege een lage permanente vuurbelasting (van het gebouw zelf, dus zonder de auto's) kon deze worden gereduceerd tot 60 minuten. Op grond van de genoemde Praktijkrichtlijn stond de toetsende instantie eerst geen reductie toe (omdat de brandweer de parkeergarage moet kunnen betreden teneinde uitbreiding van de brand tot maximaal drie auto's te beperken). In uitgebreid overleg met de brandpreventiecommissie van de gemeente Rotterdam is echter alsnog overeenstemming bereikt en is het toepassen van de reductie niet in strijd met de bedoeling van de Praktijkrichtlijn (veilige brandweerinzet). Uitgaande van de brandwerendheidseis van 60 minuten, zouden de stalen kokerkolommen moeten worden gevuld met gewapend beton en de liggers worden voorzien van brandwerende bekleding, maar dat is uit oogpunt van kosten onwenselijk. Daarom is met Fire Safety Engineering op basis van de Eurocodes een gedetailleerde beschouwing van het branden constructiegedrag uitgevoerd om, zonder daarbij afbreuk te doen aan het benodigde veiligheidsniveau, te komen tot een kosten-effectieve oplossing. Voor de aanwezige kanaalplaatvloeren was een beoordeling met FSE niet noodzakelijk; de kanaalplaten zijn door de leverancier uitgevoerd met een brandwerendheid van 60 minuten met de standaardbrandkromme en volgens de aanbevelingen van BFBN, de branchevereniging van de prefab betonproductenindustrie.

## Brandmodellering

Volgens NEN-EN 1991-1-2 moet het ontwerpbrandscenario zijn bepaald met de beoordeling van de brandrisico's voor het ge-

bouw. Uit Europees onderzoek<sup>2)</sup> is gebleken dat bij brand in parkeergarage geen flash-over optreedt en slechts in 10-20% van de onderzochte branden meer dan één auto bij de brand betrokken raakt. Een realistisch worstcase-scenario is dan ook een lokale brand met een omvang van maximaal drie auto's: een gebruikelijk ontwerpbrandscenario. Uit recent praktijkonderzoek<sup>6)</sup> blijkt dat bij een late brandmelding de kans groter is dat meerdere auto's vlam vatten. Dit is in deze garage ondervangen door een brandmeldinstallatie met volledige bewaking en doormelding naar de brandweer. Er is daarom geen reden om af te wijken van het standaard ontwerpscenario van maximaal drie auto's. Met het brandscenario moet vervolgens een vermogenscurve worden gekozen. In het kader van thermische belasting van constructies bij brand is een internationaal gangbare vermogenscurve gegeven in [4]. Deze curve is gebaseerd op brandproeven van door de Europese Commissie gefinancierd onderzoek. Behalve deze curve wordt in Nederland vaak gebruik gemaakt van een curve gebaseerd op onderzoek in de parkeergarage 'Fleerde' te Amsterdam<sup>5)</sup>. Verder hanteert Veiligheidsregio Rotterdam een afwijkende curve. Hoewel in de richtlijn staat dat deze is gebaseerd op de brandproeven verricht in 'Fleerde', komt de curve niet overeen met die brandproeven. Voor dit onderzoek is deze curve niet hanteerbaar omdat hier uitgegaan wordt van blussing op 20 minuten na ontstaan van de brand. Conform de Nationale Bijlage van NEN-EN 1991-1-2<sup>6)</sup> moet de thermische belasting echter worden beschouwd tot aan het tijdstip overeenkomend met de brandwerendheidseis, 60 minuten in dit geval. Daarom is besloten om aan te sluiten bij de internationaal gangbare vermogenscurve.

De standaard vermogenscurve heeft een effectieve verbrandingswaarde van 6650 MJ (wat ongeveer overeenkomt met de uit de 'Fleerde'-proeven af te leiden verbrandingswaarde). Aanvullend hierop is door de brandpreventiecommissie Rotterdam en Efectis Nederland (voor een second opinion) een gevoeligheidsanalyse verlangd voor enkele uitgangspunten. Daarom zijn aanvullende rekenscenario's voor enkele brandpo-

sities doorgerekend, zie tabel 1. In afbeelding 4 staat het basis brandscenario. Bij de bepaling van de thermische belasting moet conform NEN-EN 1991-1-2 (§ 2.4) rekening worden gehouden met de positie van de brand ten opzichte van de blootgestelde constructieonderdelen. Daarom is voor elk constructieonderdeel de maatgevende brandpositie vastgesteld, rekening houdend met de situering van de parkeervakken ten opzichte van de constructieonderdelen. De berekeningen zijn uitgevoerd met het binnen het Europese onderzoek ontwikkelde model Car Park Fire ( $\kappa\text{-}\Phi$ ) versie 2.1.

## Opwarming staalconstructie

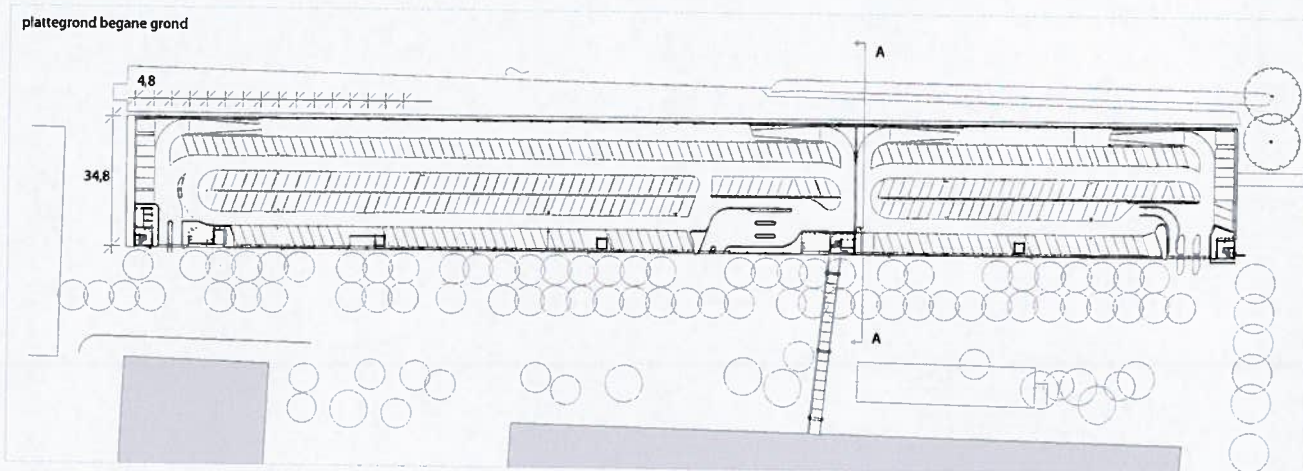
Afbeelding 5 geeft een voorbeeld van de berekende staaltemperaturen op verschillende posities langs een HEB 300-ligger bij driezijdige verhitting ( $A_m/V_{box} = 60 \text{ m}^{-1}$ ) bij het basis rekenscenario (driemaal klasse 3-auto's). De positionering van de auto's ten opzichte van de ligger is gegeven in het rechterdeel van afbeelding 5. Afbeelding 6 geeft het temperatuursverloop op het maatgevende punt in een HEB 300-ligger. Hieruit is te zien dat de invloed van de verschillende scenario's op het temperatuursverloop beperkt is. De invloed van de positie van de auto's ten opzichte van de constructie is vele malen groter (vergelijk *afb. 5*).

## Mechanische respons

De mechanische belasting tijdens het buitengewone belastinggeval brand volgens NEN-EN 1990<sup>7)</sup> en NEN-EN 1991-1-2<sup>8)</sup> is aangehouden. Hierbij geldt voor alle belastingfactoren de waarde 1,0 en de combinatiefactoren  $\psi_2 = 0,6$  voor de veranderlijke vloerbelasting en  $\psi_1 = 0,2$  voor de windbelasting. De constructie is beoordeeld met NEN-EN 1993-1-2<sup>9)</sup> (mechanische respons van de staalconstructie).

## Liggers

Van de (doorgaande) liggers zijn de kritieke staaltemperaturen berekend met de standaardmethode uit de Eurocode waarbij de kritieke staaltemperatuur direct volgt uit de benuttingsgraad en de correctiefactoren voor (beperkte) ongelijkmatige opwarming van de doorsnede en bij de oplettingen.



2. Plattegrond.

Tabel 1. Rekenscenario's verschillende brandposities.

rekenscenario	omschrijving	aantal en type auto's	tijdstippen ontbranding auto's (min)
basis		3: standaard	12, 0, 24
I	brand ontstaat in middelste auto	3: middelste standaard+1,25 + 2 standaard	12, 0, 24
II	versnelde brandoverslag	3: standaard	12, 0, 12
III	versnelde en herhaalde brandoverslag	5: standaard	24, 12, 0, 12, 24



Tabel 3. Resultaten kolomberekeningen met de maximale staaltemperatuur  $\theta_{s,max}$  (natuurlijke brandscenario) en de kritieke staaltemperatuur  $\theta_{s,crit}$ .

profiel	locatie	$\theta_{s,max}$ (°C)	$\theta_{s,crit}$ (°C)
K220	as D en B (as 19-29)	538	586
K220	as D en B (andere assen)	495	563
K250	as B (as 5-9, 34-38, 44, 48, 54-58)	538	575
K250	as B (as 45, 47)	538	561
K300	as B (as 33 en 41)	449	530
K300	as B (as 4, 10, 12, 39, 43, 49, 53, 59)	538	528*
K300	as B (as 2, 16)	566	528*
K220	as A (hellingbaan)	558	740

a) Met beton (B25) gevuld op de onderste bouwlaag.

Tabel 2. Resultaten liggerberekeningen met de maximale staaltemperatuur  $\theta_{s,max}$  volgens het natuurlijke brandscenario en de maatgevende unity check (u.c.) bij herverdeling van momenten, rekening houdend met het temperatuurverloop over de lengte van de ligger.

profiel	locatie	$\theta_{s,max}$ (°C)	u.c. (-)
HEM 240	middenligger	609	0,63
HEB 300	middenligger	721	0,54
HEB 320	middenligger	667	0,57
HEA 300	randligger	691	0,89
HEA 320	randligger 1e-3e	688	0,98
HEA 320	randligger 4e	688	0,83
HEB 300	randligger 4e	721	0,69
HEM 260	bij hellingbaan	611	0,59
HEM 280	bij hellingbaan	608	0,86
HEA 240	bij hellingbaan	612	0,37
HEA 200	bij hellingbaan	628	0,71



Hierbij is het uitgangspunt dat de temperaturen in lengterichting van de ligger constant zijn. Dit is, zoals zojuist beschreven, zeker niet het geval. Omdat de maximale staaltemperatuur slechts lokaal voorkomt en de temperatuur afneemt naarmate de afstand van de brandhaard toeneemt (orde van grootte 100 °C lager op 1 m en 200 °C lager op 2 m van de brandhaard), is de situatie veel gunstiger wanneer doorgaande liggers zijn toegepast, zoals in dit project. Door herverdeling van momenten kan de bij brand optredende belasting worden opgenomen ondanks de 'verzwakking' bij de meest opgewarmde zone. Hierbij moet een brandscenario in het veldmidden en een scenario bij een oplegging worden beoordeeld, voor de verschillende liggerprofielen in de eind- en middenvelden. De toegepaste profielen zijn vrijwel allemaal klasse 1-profielen bij brand, zodat mag worden uitgegaan van een plastische momentenverdeling en het plastische weerstandsmoment (§ 4.2.3.3 van NEN-EN 1993-1-2). Alleen de HEA-profielen zijn klasse 3, waarbij moet worden uitgegaan van een elastische momentenverdeling en het elastische weerstandsmoment.

In tabel 2 zijn de berekeningsresultaten weergegeven. In alle gevallen voldoen de liggers zonder brandwerende bescherming aan de brandwerendheidseis.

#### Kolommen

De gevelkolommen worden door een normaalkracht en (vanwege de excentrische krachtleiding door de consoles) door een buigend moment belast. Omdat de kolommen doorgaand zijn over vier bouwlagen is het kolomdeel tussen de begane grond en de 1e verdieping maatgevend. Deze kolommen zijn bij brand getoetst volgens § 4.2.3.5 van NEN-EN 1993-1-2 op de in het buitengewone belastinggeval brand volgens NEN-EN 1990 optredende belastingen. De aldus berekende kritieke staaltemperaturen zijn in tabel 3 vergeleken met de maximale staaltemperaturen tijdens de natuurlijke brandscenario's. In vrijwel alle gevallen voldoen de kolommen zonder brandwerende bescherming aan de brandwerendheidseis. Alleen de kolommen (K300) op as B moeten op de onderste bouwlaag met beton worden gevuld.

Voor de middenkolommen is door de tijdsdruk in de staalproductie afgezien van controle bij een natuurlijke brand of deze zonder aanvullende brandwerende voorzieningen en door de kolommen eventueel één profielhoogte te verzwaren aan de brandwerendheidseis kon worden voldaan. Ze zijn met een standaardbrand berekend (Potfire) en gevuld met gewapend beton (C40/B50).

#### Consoles

Van de consoles is de profielfactor berekend en zijn de maximale staaltemperaturen bij een natuurlijke brand – 578 °C bij scenario II – bepaald. Bij deze temperatuur is de sterkte gereduceerd tot 52%. De benuttingsgraad bij brand is maximaal 40%, zodat de consoles zonder brandwerende bescherming aan de brandwerendheidseis voldoen.

#### Windverbanden

Per gedilateerd gebouwdeel zijn er voldoende stabiliteitsverbanden aanwezig. Bij een lokale brand kan het wegvallen van één verband gemakkelijk door de overige verbanden worden opgevangen. Bij het belastinggeval brand hoeft immers slechts 20% van de windbelasting te worden gerekend bij een belastingfactor 1,0. Omdat er redundantie aanwezig is, was het niet nodig te rekenen aan de draagkracht van de verbanden onder invloed van de bij brand optredende temperatuur. De stabiliteitsverbanden voldoen dus zonder aanvullende brandwerende voorzieningen. Gezien de lage benuttingsgraad ( $= 0,2/1,5 = 0,133$ ) is een enkel verband overigens in staat 20% van de windbelasting te dragen tot een temperatuur van 786 °C (dit is de temperatuur waarbij de staalsterkte gedaald is tot 13%). Deze temperatuur wordt in geen van de scenario's bereikt.

#### Kanaalplaten

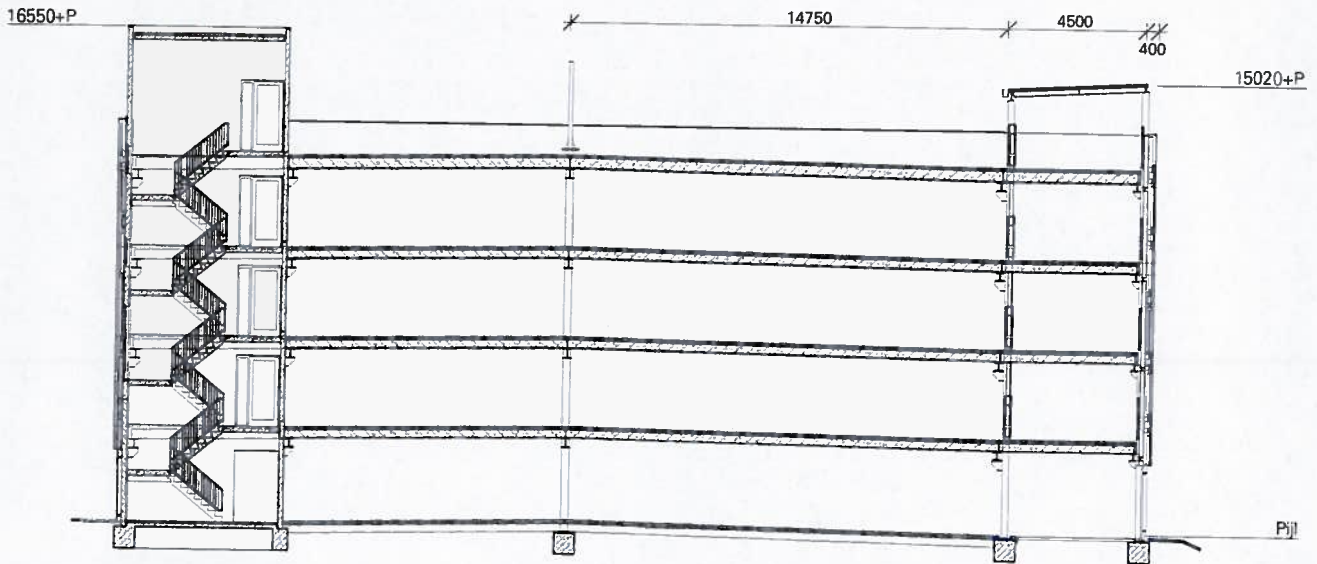
De kanaalplaten vormen stabiliteitsschijven. Bij een lokale brand kan de stabiliteitsfunctie echter altijd door de omliggende koude vloerdelen worden overgenomen. Er is op dezelfde manier als bij de windverbanden sprake van redundantie. In feite gelden ze niet als hoofdconstructie onder brandomstandigheden. De kanaalplaten moeten wel voldoen aan de eis van 60 minuten stan-

daard brandwerendheid (in verband met de functie als brandscheiding en vooral de binnenaanval van de brandweer), waarbij aanvullend geëist is dat voldaan wordt aan de BFBN-aanbevelingen van november 2009.

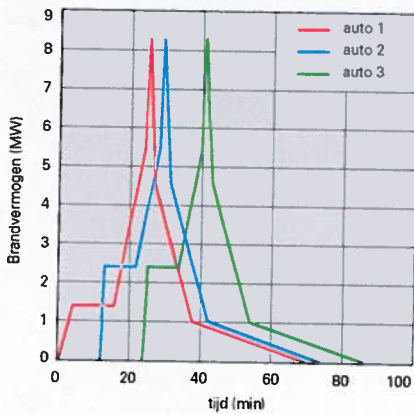
#### Vrijwel geen voorzieningen

Met FSE is het mogelijk stalen parkeergarages met geen of beperkte brandwerende maatregelen te bouwen. Van belang zijn met name de positie van de constructiedelen ten opzichte van de parkeervakken en het constructief ontwerp (bij voorkeur doorgaande liggers). Bij de spoorparkeergarage Medimall in Rotterdam heeft de aanpak geleid tot een staalconstructie met vrijwel geen brandwerende voorzieningen. De middenkolommen en enkele gevelkolommen zijn met beton gevuld. •

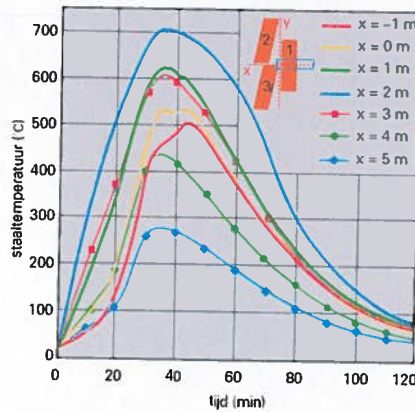
*Projectgegevens* Opdracht Estrade Projecten, Rotterdam • Architectuur BAART Architecten, Rotterdam • Constructief ontwerp ABR, Roosendaal en ASK Romein Staalbouw, Roosendaal • Advies brand Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs, Rotterdam en Adviesbureau Hamerlinck, Roosendaal • Uitvoering BAM Wegen, Regio Zuidwest, Bergen op Zoom • Staalconstructie ASK Romein Staalbouw, Roosendaal • Fotografie Paul Martens, BAM Wegen



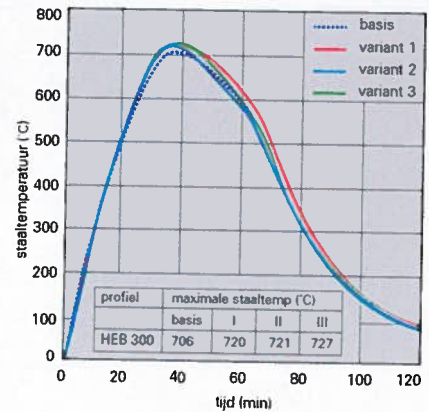
3. Doorsnede A-A.



4. Basis brandvermogensscenario.



5. Voorbeeld berekende staaltemperaturen op verschillende posities langs een HEB 300-ligger bij driezijdige verhitting.



6. Invloed van de verschillende rekenscenario's op het temperatuursverloop in een HEB 300-ligger.

Literatuur 1. Praktijkrichtlijn mechanisch geventileerde parkeergarages met een gebruiksoverlakte groter dan 1000 m<sup>2</sup> van de Veiligheidsregio Rotterdam, 2007. • 2. CEC Agreement 7210-SA/211, Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks, EUR 18867 EN, Profil ARBED, Esch sur Alzette 1999. • 3. D. Joyeux, J. Kruppa, L-G. Cajot, J-B. Schleich, P. van de Leur en L. Twilt, Demonstration of real fire tests in car parks and high buildings, 7215-PP/025, CEC, 2001. • 4. CEC Agreement 7210-SA/210, Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in large compartments, EUR 18868 EN, Profil ARBED, Esch sur Alzette 1999. • 5. N. J. van Derle, A. D. Lemaire en P. van de Leur, The effectiveness of thrust ventilation in closed car parks – fire tests and simulation, v 2.1, 1999-CVB-R1442, Delft 1999. • 6. M. P. de Feijter en A. J. Breunese, Onderzoek brand parkeergarage Lloydstraat, Rotterdam, R0894, Delft 2007. • 7. NEN-EN 1990 (Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp), 2002 + NB 2007. • 8. NEN-EN 1991-1-2 (Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-2: Algemene belastingen - Belasting bij brand), 2002 + NB 2007. • 9. NEN-EN 1993-1-2 (Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-2: Algemene regels - Ontwerp en berekening van constructies bij brand), 2005 + NB 2007.