

# Waterkoeling maakt kantoorgebouw brandveilig

Vorige maand is de nieuwe brandweerkazerne in Breda officieel in gebruik genomen. In een vorig artikel is de keuze van een staalconstructie voor het kantoorgedeelte belicht<sup>1</sup>. Bijzonder aan dit kantoor is een systeem met waterkoeling om de vereiste brandveiligheid van de kokervormige kolommen en gevelligers te waarborgen. Ervaring met dit systeem bestaat in Nederland niet. Daarom waren proeven nodig om de berekeningsmethode te toetsen en om de opdrachtgever voldoende zekerheid te geven. De constructeurs vertellen over hun ervaringen en overwegingen.

ir. J.A. Ketel en ing. H.A. van Vliet  
CAE Nederland, Capelle aan den IJssel



De nieuwe brandweerkazerne omvat naast een kantoor van 2030 m<sup>2</sup> ook een remise voor de brandweervoertuigen, ruimten voor sport, ontspanning en overnachten en oefen- en lesruimten voor het eigen korps en de regionale brandweerkorpsen.

Het kantoorgebouw telt maximaal vier bouwlagen. De draagconstructie bestaat uit stalen kokervormige kolommen en liggers in de beide gevels en kanaalplaten die in één keer die gebouwbreedte van 12,6 m overspannen. De naastliggende remise heeft eenzelfde staalconstructie in de gevel en ruim 25 m lange betonnen dubbel T-platen als vloer- en dakliggers.

## Goedkeuring

De brandwerendheid van de staalconstructie is in dit project op een bijzondere manier opgelost. Gelet op de zeer slanke kolomafmetingen van 120x120 mm en de wens van de architect om het gevelpakket zo dun mogelijk te houden, stelden wij voor de kolommen niet brandwerend te bekleden maar om ze met water te koelen.

Het principe van waterkoeling kenden we door een artikel in *Bouwen met Staal*<sup>2</sup> uit 1995 over het kantoorgebouw van Unidek in Gemert. In het verleden hadden we dit onderwerp ook al eens bestudeerd naar aanleiding van Amerikaanse literatuur over watergekoelde gietijzerconstructies in de vorige eeuw. Gezien de eenvoud van het systeem waren de architect en de installatie-adviseur snel overtuigd van de haalbaarheid. Ook de Bredase brandweer – de gebruiker en

namens de gemeente tevens de opdrachtgever – had tegen het toepassen van waterkoeling geen overwegende bezwaren. Maar gezien de voorbeeldfunctie van het gebouw en het innovatieve karakter van het systeem hadden ze wel behoefte aan een grondige toetsing door een onafhankelijke partij. Na overleg werd als toetsende instantie Bouw- en Woningtoezicht Breda aangewezen. Onze theoretische onderbouwing is door hen beoordeeld en akkoord bevonden. Maar omdat er voor het toetsen van het systeem met waterkoeling geen normblad of richtlijn bestaat, eiste Bouw- en Woningtoezicht een proef bij TNO. Nadat deze test succesvol was verlopen, waren alle partijen overtuigd van de goede werking en werd het systeem goedgekeurd.

## Brandwerendheidseis

Bepalend voor de brandwerendheidseis voor een verdiepinggebouw is de ligging van de bovenste vloer boven het maaiveld. Voor kantoorgebouwen liggen de grenzen tussen de verschillende brandwerendheidsklassen voor de hoofd-draagconstructie op respectievelijk 5, 13, 50 en 70 m.

Tot een hoogte van 5 m voor de bovenste vloer van een verblijfsgebied geldt een eis van 60 minuten; tussen 5 m en 13 m een eis van 90 minuten; en tussen 13 m en 50 m en tussen 50 m en 70 m een eis van 120 minuten, in combinatie met een aantal bouwkundige eisen. Boven de 70 m geldt ook de eis van 120 minuten, maar dan meestal in combinatie met een sprinklerinstallatie.



(foto's: Tom de Rooij, Moordericht)



Bij het kantoorgebouw van de brandweerkazerne in Breda ligt de bovenste vloer op 10,8 m boven peil, zodat een brandwerendheid geldt van 90 minuten. Vanwege de geringe permanente vuurbelasting van minder dan 500 MJ/m<sup>2</sup> (equivalent van 25 kg vurenhout per m<sup>2</sup>) kon deze eis worden gereduceerd tot 60 minuten.

### Mogelijkheden

Om de brandwerendheid van een staalconstructie te verzorgen, konden we kiezen uit de volgende mogelijkheden:

- bekleden met een brandwerend materiaal;
- vullen dan wel omhullen met beton;
- aanbrengen van een schuimvormende verf;
- intern koelen van de constructie met water.

Voor deze laatste optie is gekozen. Het intern koelen met water had namelijk een aantal voordelen ten opzichte van de meer gebruikelijke methoden van beschermen.

- De staalconstructie kan in het zicht blijven, waardoor deze een bijdrage levert aan de architectonische beleving.
- Met staal is slank te construeren. Dat is visueel aantrekkelijk én gunstig vanwege het geringere ruimtebeslag van de constructie (groter netto vloeroppervlak).
- Er is minder kans op beschadiging en daardoor minder bouwkundig onderhoud nodig dan bij constructies met een bekleding van plaat of verf.
- In het kader van duurzaam bouwen kan het staal eenvoudig worden gerecy-

clied. Dat is bijvoorbeeld bij betongevulde kolommen veel lastiger.

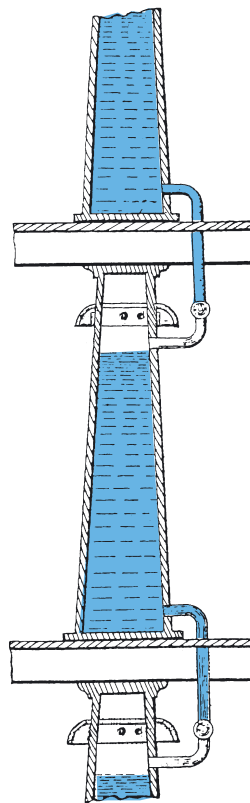
- Bij zeer geringe kolomafmetingen is het vullen met gewapend beton technisch niet mogelijk.

### Principe van waterkoeling

Bij brand wordt de staalconstructie opgewarmd door straling en door convectie van de brandende materie (vuurbelasting). De temperatuurstijging in de brandruimte in de loop van de tijd volgt uit de standaardbrandkromme.

Waterkoeling gaat uit van het principe dat de energie die aan de staalconstructie wordt toegevoerd via een vloeibaar koelmedium wordt afgevoerd. Daardoor blijft de temperatuur van het staal beneden een bepaalde kritische waarde. Dat is nodig, omdat bij een oplopende temperatuur de sterkte van het staal snel afneemt. Met name bij temperaturen hoger dan 400 °C loopt de sterkte snel terug. De bedoeling van het koelsysteem is om door afvoer van warmte de temperatuur van de constructie op een zodanig laag niveau te houden dat de sterkte niet of nauwelijks afneemt.

Het temperatuurniveau in het staal hangt af van vier factoren: de hoeveelheid toegevoerde energie, de warmtegeleidingscoëfficiënt van de constructie, de soortelijke warmte van het koelmedium en als laatste de stroomsnelheid van het koelmedium. Wanneer de toevoer en de afvoer van de warmte in het systeem stationair is, is het temperatuurniveau vrij te kiezen. Voor de berekening kozen we arbitrair voor een maximale staaltemperatuur van 145 °C; in elk ge-



Idee voor watergevulde kolommen van gietijzer uit 1884 om de brandveiligheid van de gietijzerconstructie te vergroten.

val wilden we ruimschoots boven de 100 °C zitten om zeker van stoomvorming te zijn.

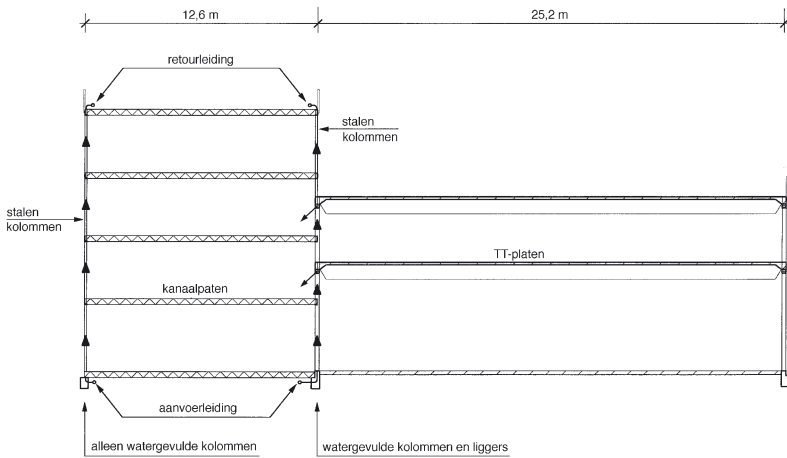
### Koelmedium water

Voor de afvoer van warmte is in principe elke vloeistof geschikt. De keuze van het koelmiddel hangt af van een aantal randvoorwaarden:

- het moet een redelijke waarde voor de soortelijke warmte hebben;
- het moet goed vloeibaar zijn dan wel gemakkelijk kunnen stromen;
- het mag niet brandgevaarlijk zijn;
- het mag het staal niet aantasten;
- het moet milieuvriendelijk zijn;
- het moet eenvoudig verkrijgbaar en goedkoop zijn.

Naast water komen bijvoorbeeld ook paraffine, olie en lucht als koelmiddel in aanmerking. De soortelijke warmte van water is echter het grootst. Deze waarde is van belang voor de afvoer van warmte in een stationaire stromingssituatie. Veel belangrijker is echter dat veel stoffen en vloeistoffen vanaf kamertemperatuur opwarmen tot een temperatuur waarbij een fase-overgang plaatsvindt. Voor het opwarmen tot deze overgang is een bepaalde hoeveelheid energie nodig. Bij de fase-overgang vindt bovendien een fysisch proces plaats waarvoor opnieuw energie nodig is. Voor water bestaat de fase-overgang bij het kookpunt van 100 °C uit verdampen tot stoom. Deze energie voor water is zeer groot ten opzichte van andere mogelijke koelmiddelen. De keuze voor water ligt dan ook voor de hand.

Dwarsdoorsnede over het kantoorgebouw van de brandweerkazerne in Breda met de naastliggende remise. Geforceerde waterkoeling.



Bij de kazerne is de aanvoerleiding in de vloer gestort.



### Keuze watertransport

Water kan bij brand op twee manieren in de staalconstructie gaan stromen: op natuurlijke wijze (koud water is zwaarder dan warm water) of geforceerd via pompen.

De dichtheid van water hangt af van de temperatuur: naarmate de temperatuur stijgt neemt de dichtheid af (zie grafiek). Wanneer het water bij brand wordt opgewarmd, ontstaat er een natuurlijke stroming voor zover de geometrie van de constructie dat toestaat en er verder geen belemmeringen zijn. Het voordeel van dit systeem is dat de warmte op natuurlijke wijze wordt afgevoerd. De ontstane drukverschillen zijn echter gering en het water zal bij een grote energietoevoer zeer snel opwarmen en lokaal de kooktemperatuur bereiken. Op dat moment ontstaat plaatselijk stoomvorming. De stoom zoekt eveneens zijn weg naar boven en in gunstige omstandigheden versterken de stoombellen zelfs de stroming.

Bij een toenemende temperatuur neemt echter de druk in het systeem toe. Bovendien bezit een staalconstructie altijd een zekere stromingsweerstand. Wanneer de stoombellen zich door een discontinuïteit in het doorstroomprofiel zeer plaatselijk ophopen, ontstaan zogeheten vapor locks die de doorstroming van het nog vloeibare water belemmeren. Op dat moment komt het watertransport door natuurlijke stroming tot stilstand en loopt de temperatuur in het systeem ongecontroleerd op. Deze situatie is uiteraard zeer ongewenst en is te voorkomen door het water via pompen te dwingen door te stromen. De waterdruk moet daarbij groter zijn dan de totale weerstand in het systeem. De enige voorwaarde is dat bij brand de

pompen aanslaan, maar aan deze voorwaarde is eenvoudig te voldoen via brandmelders, zoals dat bij een sprinklerinstallatie het geval is.

### Beheersing van de druk

De kooktemperatuur van water hangt af van de druk. Onder normale atmosferische druk bedraagt de kooktemperatuur van water 100 °C. Wanneer de druk toeneemt, loopt ook de kooktemperatuur op (zie grafiek). Aangezien de aangeboden energie bij brand grotendeels wordt opgenomen door de verdamping van water tot stoom, is het van belang dat het kookpunt niet te hoog oploopt en dat het koken niet wordt belemmerd. Dit impliceert dat de druk in het systeem – zowel lokaal als integraal – zo laag mogelijk wordt gehouden en dat de afvoer van stoom optimaal is.

### Nat of droog?

Wanneer er lokaal brand ontstaat, is het van belang dat de koelende werking van het water snel tot stand komt. De staalconstructie kan in de gebruikssituatie zowel met water zijn gevuld als met lucht. In dat laatste geval moet bij brand het water zo snel mogelijk in de constructie worden gebracht.

Het nadeel van een droog systeem is dat bij het uitbreken van brand een zekere tijd nodig is om de constructie te vullen. Bovendien zullen bij een snelle vulling altijd luchtinsluitingen optreden. Daardoor bestaat onzekerheid of het systeem wel overall direct functioneert. Bij de brandweerkazerne in Breda is om die reden gekozen het systeem permanent met water te vullen.

Wanneer de constructie altijd met water is gevuld, kan het systeem direct in werking treden. Een nadeel van een met

water gevulde constructie is echter het gevaar van inwendige corrosie en vorstschade. Angst voor lekkage hadden we niet. Na de montage is de complete staalconstructie afgeperst, zoals bij een cv-installatie. Slechts op één punt werd een lek gevonden, dat is gedicht door de rubberpakking plaatselijk te injecteren.

Inwendige corrosie is te voorkomen door het vullen met zuurstofarm water, door het toevoegen van een anticorrosief of door de staaldikte iets groter te kiezen dan constructief gezien strikt nodig is. Uit Duits onderzoek wisten we dat bij stilstaand water de afname van de staaldoorsnede door corrosie over een periode van vijftig jaar bijzonder gering is. Voor een gesloten systeem is een praktische maat maximaal 1 mm afname in vijftig jaar. De zuurstof die in het water zit, wordt binnen vijftien maanden verbruikt. Voor de brandweerkazerne in Breda hebben we voor de kolommen en de liggers rekening gehouden met een corrosie-afname van de wanddikte met 1 mm. De resterende draagkracht is dan altijd nog ruim voldoende, zodat we voor deze meest praktische oplossing hebben gekozen.

Vorstschade is te voorkomen door het toevoegen van antivries. Nog beter is het te zorgen dat alle onderdelen van de constructie binnen de isolerende schil van het gebouw staan en dus niet kunnen bevriezen. Door een goede bouwkundige detaillering is bij de brandweerkazerne in Breda voor het laatste gekozen.

### Berekeningsmethode

De berekening van de staalconstructie met waterkoeling hebben we gebaseerd op het principe van de gebalanceerde warmtestroming. Dat betekent dat de bij brand aangeboden hoeveelheid energie

## Berekeningsmethode

Het principe van waterkoeling bij brand lijkt op de werking van een fluitketel: het water warmt op en neemt de aangeboden energie voor het belangrijkste deel op door op te warmen en daarna te verdampen. Zolang dit proces gaande is, blijft de staaltemperatuur vrijwel gelijk aan de watertemperatuur van 100 °C. En bij deze temperatuur behoudt het staal zijn volledige sterkte.

De berekening van de brandwerendheid van een staalconstructie door waterkoeling verloopt als volgt.

- De temperatuur in de brandruimte volgt de standaardbrandkromme.
- De warmte-afvoer door het water wordt gelijk gesteld aan de warmte-overdracht van de brand naar de stalen kolom via convectie en straling.
- De formules voor de warmte-overdracht door convectie en straling staan in principe in NEN 6072:

$$Q = Q_c + Q_r = (\alpha_c + \alpha_r)S(\theta_t - \theta_a) \text{ [W]}$$

$$\alpha_r = 5,67 \frac{0,5}{\theta_t - \theta_a} \left( \left( \frac{\theta_t + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\theta_a + 273}{100} \right)^4 \right)$$

Hierin is:

- $\alpha_c$  warmte-overgangscoefficiënt voor convectie ( $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- $\alpha_r$  warmte-overgangscoefficiënt voor straling ( $\text{W/m}^2\text{K}$ );
- $S$  aangestraalde kolomoppervlakte (= aangestraalde omtrek x kolomlengte) ( $\text{m}^2$ );
- $\theta_t$  brandtemperatuur volgens de standaardbrandkromme ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $\theta_a$  staaltemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

- De warmtecapaciteit van het water wordt verwaarloosd, totdat het staal een temperatuur van 145 °C bereikt. Tot dit tijdstip is de warmte-overdracht gelijk aan die bij een kolom zonder water en is de verhoging van de staaltemperatuur in een tijdstap  $\Delta t$  volgens NEN 6072:

$$\Delta\theta_a = \frac{\alpha_c + \alpha_r}{c_a \rho_a} P(\theta_t - \theta_a) \Delta t$$

Hierin is:

- $P$  profiefactor ( $P = O/A =$  aangestraalde omtrek/oppervlakte van de staaldoorsnede) ( $\text{m}^{-1}$ );
- $c_a$  specifieke warmte van het staal volgens art. 8.1.2 van NEN 6072, zie figuur (voor het temperatuurbereik tot 145 °C geldt  $c_a \approx 450 \text{ J/kgK}$ );
- $\rho_a$  volumieke massa van het staal ( $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$ ).

- Vanaf het tijdstip dat het staal een temperatuur van 145 °C bereikt, blijft deze temperatuur constant en wordt de energie afgevoerd via het verdampende water. De warmte-opname door verdampen, bedraagt 2200 kJ/kg. Hierbij is het opwarmen van het water verwaarloosd. De benodigde hoeveelheid water per kolom wordt gelijk gesteld aan de totale energietoevoer naar de kolom, gedeeld door deze 2200 kJ/kg.
- De pompcapaciteit is gebaseerd op de warmtestroming na 90 minuten.

### Rekenvoorbeeld

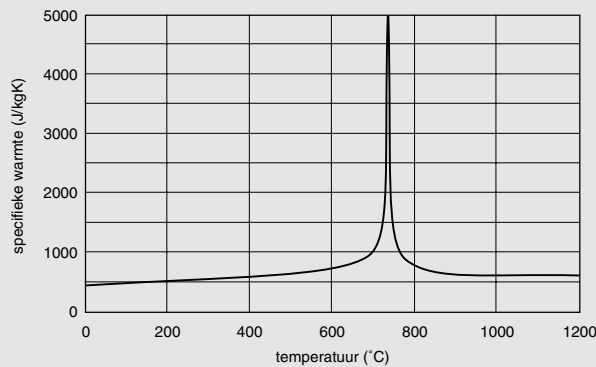
Als voorbeeld is hier genomen een 3,7 m lange koker 120x120x8, driezijdig aangestraald door de brand (de kolom wordt aan één zijde door de gevel afgeschermd). De omtrek is dan  $O = 0,4608 \text{ m}$ , de staaloppervlakte bedraagt  $A = 3485 \text{ mm}^2$  en de profiefactor  $P = O/A = 0,4608/3485 \cdot 10^{-6} = 132 \text{ m}^{-1}$ . Hiermee wordt voor de aangestraalde kolomoppervlakte gevonden  $S = 0,75/O =$

$$0,75 \cdot 3,7 \cdot 0,4608 = 1,279 \text{ m}^2.$$

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de berekening met een tijdstap van telkens 0,2 minuten. De energie  $E$  over een tijdstap is berekend als de gemiddelde warmtestroom (van het begin en het einde van de tijdstap), vermenigvuldigd met de tijdstapgrootte.

In de laatste kolom staat de gesommeerde energie. Na 90 minuten is dit 466,5 MJ. De benodigde hoeveelheid water per kolom volgt dan door deze hoeveelheid energie te delen door de energie die nodig is om 1 kg water te verdampen:  $466,54 \cdot 10^6 / 2200 \cdot 10^3 = 212 \text{ kg water}$ .

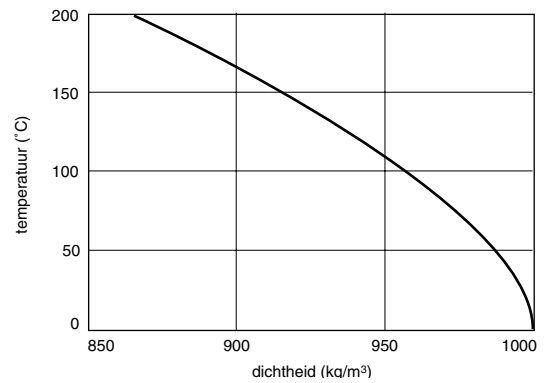
De pompcapaciteit is ontworpen op de maatgevend te leveren koeling na 90 minuten brand:  $123,6 \text{ kW} / 2200 \text{ kJ/kg} = 0,056 \text{ kg/s} = 3,4 \text{ liter/minuut}$ . Bij de brandproeven is een vierzijdig verhitte kolom getest, zodat de waterbehoefte daar  $3,4 \cdot (4/3) = 4,5 \text{ liter/minuut}$  bedroeg.



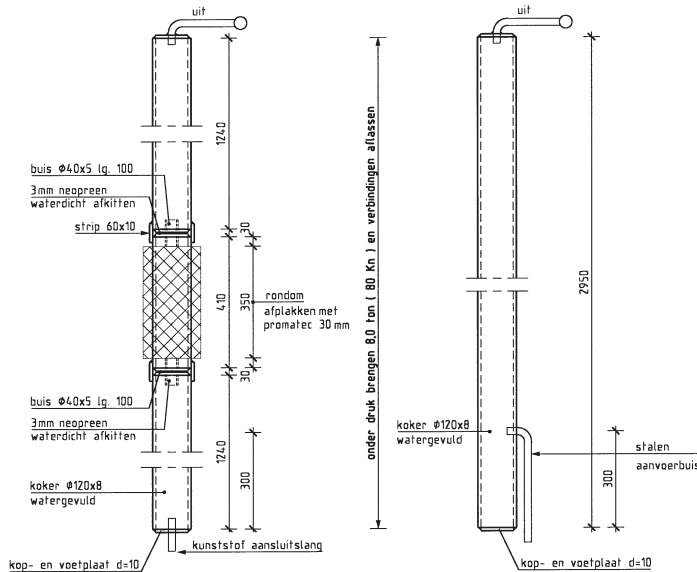
Specifieke warmte van staal conform NEN 6072.

t (min)	$\theta_t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\theta_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\alpha_c + \alpha_r$ ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	Q (kW)	E (kJ)	$\Sigma E$ (MJ)
0	20	20	30,7	5,6	0	0
1	349	39	39,0	16,7	191	0,7
2	445	72	44,9	22,2	261	1,9
3	502	111	50,3	25,8	306	3,4
4	544	145	55,1	28,6	338	5,0
5	576	145	57,7	32,3	383	6,8
10	678	145	67,2	46,1	551	18,7
15	739	145	73,8	56,2	672	34,1
20	781	145	78,9	64,4	770	52,2
25	815	145	83,1	71,3	854	72,6
30	842	145	86,7	77,4	928	94,9
40	885	145	92,8	87,9	1053	144,6
50	918	145	97,8	96,8	1160	200,1
60	945	145	102,0	104,5	1253	260,5
70	968	145	105,8	111,5	1337	325,3
80	988	145	109,1	117,8	1413	394,1
90	1006	145	112,2	123,6	1482	466,5

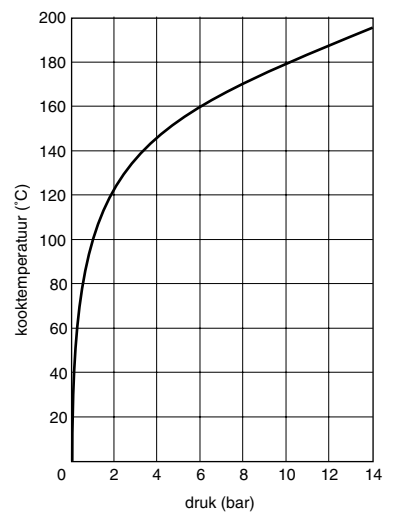
Dichtheid van water als functie van de temperatuur.



De twee geteste kolommen. Bij de linker kolom is het effect van de vloer gesimuleerd door het middenstuk met een brandwerend materiaal te bekleden.



Kooktemperatuur van water als functie van de druk.



per tijdseenheid wordt afgevoerd door een combinatie van:

- opwarmen van de watergevulde staalconstructie;
- warmtetransport door het stromende water;
- verdamping van het water.

De hoeveelheid aangeboden energie hangt daarbij af van twee factoren, namelijk: de temperatuur van de directe omgeving van de staalconstructie én van de afmeting van het aan brand blootgestelde oppervlak van de staalconstructie. In een apart kader wordt het principe verder uitgelegd en met een rekenvoorbeeld toegelicht.

### Proeven

Om het ontworpen systeem te toetsen, zijn bij TNO in Rijswijk brandproeven uitgevoerd op twee kolommen. Beide kolommen hadden een lengte van 2,95 m, een doorsnede van 120x120 mm en een wanddikte van 8 mm. Eén van de twee kolommen kreeg halverwege over een hoogte van 350 mm een brandwerende bekleding om zo het effect van het vloerpakket te simuleren (zie afbeelding). Onder en boven deze bekleding zat in de kolom een koppeling met kop- en voetplaat en een neopreen pakking.

Om de pakking net als in de werkelijke situatie onder spanning te zetten, waren de kolomdelen onder voorspanning met strips aan vier zijden van de koppeling aan elkaar gelast. In werkelijkheid bevinden deze pakkingen zich in de cementdekvloer, maar in de proef werden ze aan het open vuur blootgesteld.

De kolommen hadden aan de onderzijde een watertoevoerpunt met debietregeling en aan de bovenzijde een afvoerpijp voor water en stoom naar buiten het gebouw. De beide proefstukken kregen thermokoppels, waarmee de temperatuur van de oven op totaal tien plaatsen en de oppervlaktetemperatuur van het staal op acht plaatsen per kolom werd gemeten. Tevens werden de temperatuur en de druk van het ingaande water en van het uitgaande water per kolom gemeten.

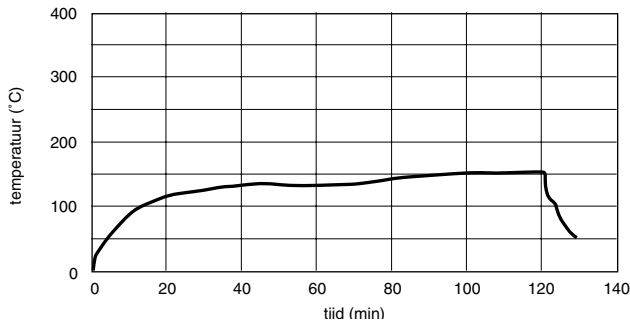
De beide kolommen zijn in een oven gelijktijdig onderworpen aan de brandproef. Door onvoorziene omstandigheden zijn de brandproeven tweemaal uitgevoerd op dezelfde kolommen. Wat bleek namelijk? Bij de eerste proef was de watertoevoer direct aangesloten op het waterleidingnet van het TNO-gebouw. De waterdruk hierin liep op bepaalde momenten door watervraag el-

ders in het gebouw zodanig terug dat de druk van de watertoevoer lager werd dan de druk in de kolom. Hierdoor werd heet water teruggestuwd in de kunststof toevoerleiding, waardoor deze verweekte en 32 minuten na de start van de proef bezweek.

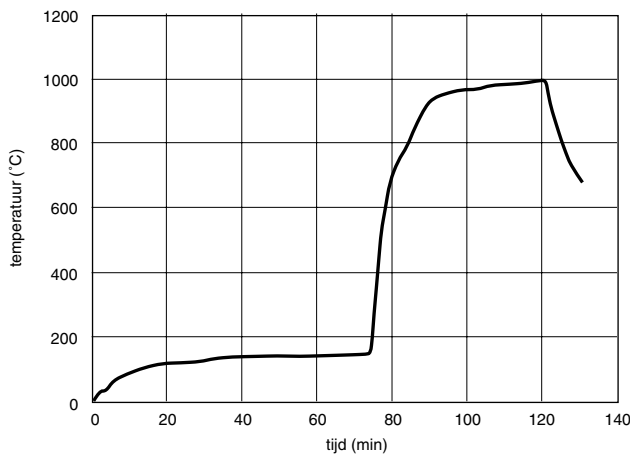
Uit deze toevallige gebeurtenis trokken we twee belangrijke conclusies. De eerste was dat het zeer belangrijk is dat de weerstand van het systeem zo klein is dat er geen drukopbouw kan plaatsvinden. Door een te kleine diameter van en enkele koppelingen in de afvoerpijp bleef boven in de kolom een stoombel hangen waardoor de druk opliep. Ten tweede conclusie was dat de toevoer van water via het waterleidingnet geen voldoende druk waarborgt. Gelukkig konden we nu de tweede proef aanpassen. Er is een pomp geplaatst om de watertoevoer zeker te stellen en de kunststof toevoerleiding is vervangen door een leiding van koper, terwijl bovendien de afvoerpijp is vergroot.

De tweede proef is na aanpassing op dezelfde twee proefstukken uitgevoerd. Bij deze tweede proef bleek na ongeveer 45 minuten de oventemperatuur iets terug te lopen ten opzichte van de lijn van de standaardbrandkromme (zie gra-

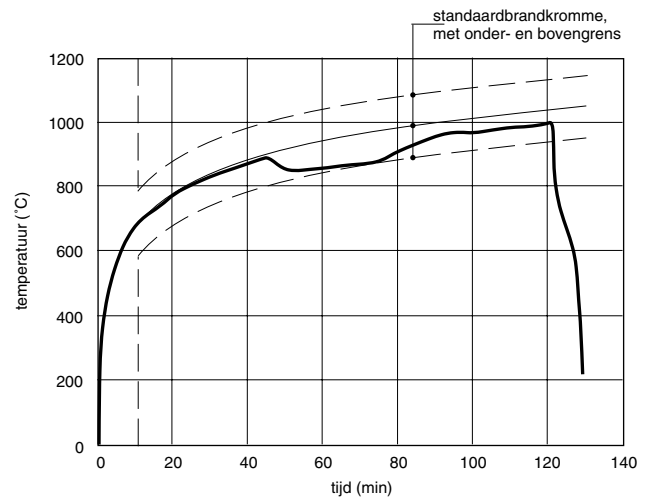
Gemeten staaltemperatuur van de kolom zonder middenstuk (tweede proef).



Gemeten staaltemperatuur van de kolom met middenstuk (tweede proef).



Gemeten oventemperatuur bij de tweede proef.



fiek). De oorzaak was dat één van de neopreen pakkingen in de gestapelde kolom een zeer kleine lekkage vertoonde. Hierdoor lekte een stoompluimpje in de oven (zie kader). Doordat de neopreen tijdens de eerste proef al ongeveer 60 minuten aan een grote hitte was blootgesteld en bij de tweede proef 45 minuten, was deze plaatselijk verkoold. Ondanks de lekkage bleef de staaltemperatuur van beide kolommen toch exact op de streef temperatuur van 145 °C. Om de verstoring van de oventemperatuur een halt toe te roepen, is de watertoevoer van de kolom met de neopreen koppeling na ongeveer 70 minuten gestopt, waarna de kolom droogkookte en de temperatuur van deze kolom binnen tien minuten opliep tot de oventemperatuur. De kolom zonder koppeling ondervond nauwelijks hinder van dit euvel en handhaafde een stationaire toestand bij 150 °C tot de proef na 120 minuten werd beëindigd. In principe had deze kolom veel langer in deze stationaire toestand kunnen blijven en zonder moeite een brandwerendheid van 240 minuten kunnen halen.

### Kosten van het systeem

Het systeem met waterkoeling bestaat

voor de brandweerkazerne in Breda uit de volgende zes componenten:

- noodstroomvoorziening voor de pompen;
- opslagvat van ongeveer 30 m<sup>3</sup>, ingegraven onder de fundering;
- één pomp per compartiment (in dit project dus drie pompen);
- 1"-leidingnet voor de watertoevoer vanuit de kruipruimte;
- waterdichte lassen en koppelingen in de staalconstructie;
- 1"-leidingnet voor de waterafvoer boven op het dak (stoom en/of warm water).

Vanwege de aard van het gebouw was een noodstroomaggregaat al in het programma van eisen opgenomen en vergde derhalve geen extra investering. Voor de overige vijf componenten was een investering nodig van ongeveer f 70.000. Begrotingstechnisch konden we gemakkelijk aantonen dat een bekleding van de staalconstructie met brandwerend materiaal of een brandvertragende verf voor dit gebouw zelfs een iets hogere investering vergde, zodat het systeem met waterkoeling zeker niet duurder uitpakte dan een meer traditionele oplossing. De voordelen voor de architectuur, het ge-

ringe ruimtebeslag en de gelijkblijvende kosten maakten de keuze voor waterkoeling in dit project voor ons eenvoudig.

### Literatuur

1. H.A. van Vliet en J.A. Ketel, 'Variantenstudie toont 'onbekende' mogelijkheden van staal', *Bouwen met Staal* 147 (1999), p. 46-53.
2. J.H. van der Zanden en T.P. van der Zanden, 'Hoofdkantoor Unidek, Gemert. Dubbele gangen en watergevulde buiskolommen maken nieuwbouw bijzonder', *Bouwen met Staal* 123 (1995), p. 40-46.

### Blussen met stoom?

Tijdens de tweede brandproef ontstond door verkooling op een neopreen pakking plaatselijk een zeer kleine lekkage, waardoor stoom ontsnapte in de oven. De ontsnappende stoom was door een ruitje zichtbaar als een pluimpje van ongeveer 10 cm. Merkwaardig was dat de oventemperatuur vanaf dat moment licht begon terug te lopen. Ondanks het opvoeren van de gasbranders tot hun maximale capaciteit bleef de oventemperatuur licht dalen. Door het ontsnappen van een zeer kleine hoeveelheid stoom trad in de oven kennelijk een proces in werking dat zelfs met een zeer grote energietoevoer niet was te stuiten. Wat de fysische verklaring is voor dit verschijnsel is ons niet bekend, maar het roept de vraag op of het toevoeren van stoom in een brandruimte geen sterk blussende werking heeft. Dit onderwerp verdient zeker nader onderzoek.