

# VALIDATIE VAN EEN CFD SPRINKLERMODEL

## TOEGEPAST OP DE INTERACTIE TUSSEN SPRINKLERDRUPPELS EN EEN GESTRATIFICEERDE ROOKLAAG

Met de toegenomen rekenkracht van computers wordt het mogelijk CFD modellen (Computational Fluid Dynamics) steeds geavanceerder te maken. Diverse CFD pakketten bieden inmiddels de mogelijkheid om te rekenen aan (automatische) blusinstallaties zoals watermist- en sprinklersystemen. Maar wat is nu de betrouwbaarheid van dit soort berekeningen en de waarde voor ontwerpers? De NFPA zegt daarover: “The capability to model the sprinkler activation and the effects of suppression cannot be done a priori.” Ook de IWMA<sup>1</sup> is kritisch: “From our viewpoint, we feel it is essential that the design of a given system is based on an applicable full-scale fire test protocol, carried out under supervision of an independent third party or witnessed by an authority having jurisdiction, and not merely based on assumptions, mathematical calculations, or simulations created by computer modeling.”

Het navolgende artikel geeft een korte beschrijving van de stand van zaken van de sprinklermodellering in CFD, mogelijkheden en beperkingen. En vervolgens de beschrijving van een validatie aan medium scale brandproeven met het CFD pakket FDS.



ing. D.J. (David) den Boer,  
Peutz, Mook

### VALIDATIE

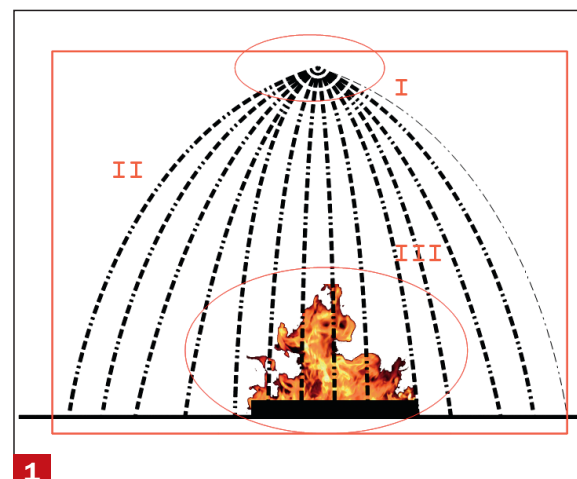
Een belangrijk middel om de kwaliteit van rekenmodellen te bepalen is verificatie en validatie. In een verificatie wordt nagegaan of een beschreven (fysisch) model correct is omgezet in een rekenmodel, in dit geval een CFD rekenpakket. Kortweg bevat het rekenpakket geen bugs? In een validatie wordt nagegaan in hoeverre het model representatief is voor de werkelijkheid. Met andere woorden: worden de juiste modellen toegepast en dus de juiste vergelijkingen opgelost? Verificatie en validatie kunnen tijdrovende en kostbare processen zijn, zeker wanneer nog experimentele gegevens verkregen moeten worden. Specifiek voor de brandveiligheid geldt dat maar beperkt goed gedocumenteerde, openbare, gegevens voorhanden zijn. Echter daar kan niet lichtzinnig mee worden omgegaan: validatie is een voorwaarde voor toepassing van een CFD model in ontwerpsituaties. Dat geldt ook voor de toepassing van sprinklers in de brandveiligheid. Inmiddels zijn door het Chinese Laboratory of Fire Science in twee series een aantal proeven uitgevoerd die de gelegenheid bieden tot validatie van sprinklermodellen in CFD.

### ACHTERGROND VAN SPRINKLERMODELLERING IN CFD

Elk CFD model is gebaseerd op het oplossen van de Navier-Stokes vergelijkingen voor druk, snelheden en temperatuur/energie. Aanvullend kent vrijwel ieder CFD model voor de toepassing op praktijksituaties een aantal aanvullende submodellen, bijvoorbeeld voor de berekening van turbulentie of stralingsoverdracht. Wanneer

gerekend wordt aan sprinklers moet het model aangevuld worden met een submodel dat rekening houdt met de effecten van de waterdruppels in het systeem. Dat submodel zou grofweg moeten bestaan uit de drie delen die zijn weergegeven in figuur 1.

Deel I beschrijft het ontstaan van de druppels na het activeren van de sprinkler. Een zekere waterdruk op een sprinklerkop resulteert in een bepaalde flow, een ruimtelijke druppelverdeling, snelheden en een druppelgrootteverdeling. Het ontstaan van de druppels bij de sprinklerkop is een complex verschijnsel dat doorgaans niet in het CFD model beschreven wordt. Bovendien blijken de resultaten slecht voorspelbaar omdat deze ook afhankelijk zijn



1

De drie onderdelen van het submodel voor sprinkler

1 IWMA: International Water Mist Association

van het type sprinklerkop dat wordt toegepast. Een voorbeeld van de sproeidichtheid onder een sprinklerkop is weergegeven in figuur 2. In de figuur is te zien dat de verdeling van de sproeidichtheid voor verschillende koppen behoorlijk uiteen kan lopen. Het beschrijven van de druppels rondom de sprinklerkop kan in een alternatieve benadering wél gebaseerd worden op metingen, mits uitgevoerd op de toe te passen type sprinklerkop.

Deel II van het model beschrijft het pad dat de druppels na het vrijkomen uit de sprinklerkop beschrijven. Ook moet het model de afkoeling en verdamping die onderweg plaats vindt beschrijven. Dit type model is doorgaans gebaseerd op literatuurgegevens die beschikbaar zijn over het gedrag van individuele (losse) druppels in een stroming. De beperkingen van deze benadering komen later aan de orde.

Deel III van het model beschrijft het effect van het water op de brand. In een praktijkblussing hebben de (verdampende) druppels in de brand een aantal effecten namelijk het verdringen van de lucht en zuurstof nabij de brand en tevens het afkoelen van de brandstof en de omgeving. Als gevolg daarvan wordt het verbrandingsproces gehinderd (en kan de brand doven). Met de huidige stand van de techniek kan de interactie van de waterdruppels met de brand en het effect op het verbrandingsproces niet met een adequaat fysisch/chemisch model beschreven worden. In het beste geval kan men zich verlaten op empirische gegevens.

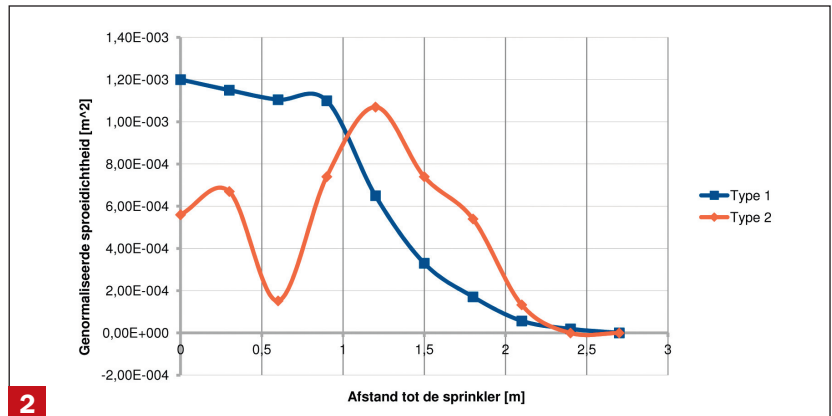
Nota bene: Voor praktijksituaties is het moment waarop de eerste sprinklerkop en de daarop volgende sprinklerkoppen activeren ook van belang. Dit aspect valt buiten het kader van dit artikel.

**CFD MODEL ZOALS NU TOEGEPAST IN DIT ARTIKEL**

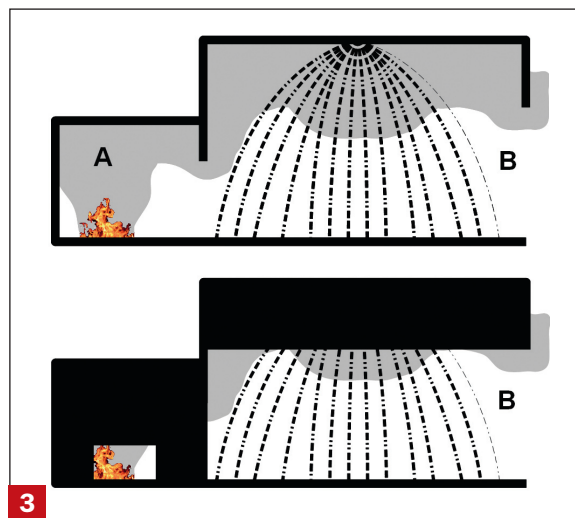
Voor het CFD model is gebruik gemaakt van FDS. Dit CFD pakket is met een internationale samenwerking ontwikkeld door het NIST (VS). Het gebruik van FDS vindt als gevolg van lage gebruikskosten en een goede grafische uitvoer een sterke opgang. Bovendien behoeven relatief weinig parameters vooraf ingesteld te worden, zonder veel kennis vooraf is een berekening uit te voeren. Ook het sprinklermodel in FDS is eenvoudig te activeren en daardoor laagdrempelig toepasbaar. FDS gaat uit van een LES modellering van de turbulentie. Verder is bij de in dit artikel beschreven validatie uitgegaan van:

- tijdsafhankelijke opwarming van wanden;
- stralingsmodellering voor een grijs gas met de zogenaamde eindige volume methode;
- verbranding in één stap, oneindig snel;
- druppelbewegingen berekend met behulp van zogenaamde Langrangian particle tracking.

In de praktijk resulteert een waterdruk op de sprinklerkop in een bepaalde flow, een ruimtelijke druppelverdeling, snelheden en een druppelgrootteverdeling. Het CFD model in FDS berekend dit sproeipatroon niet. Daarom is in deze studie het sproeipatroon afgeleid van metingen aan sprinklerkoppen en als randvoorwaarde opgelegd aan het model.



2 De verdeling van de sproeidichtheid van twee sprinklerkoppen



3 Schematische weergave meetopstelling, boven: doorsnede en onder: aanzicht



Rooklaagontwikkeling 640 kW brand. Sprinklerdruk 0,09 MPa. 4a: rooklaag tijdens experiment, 4b: CFD berekening rooklaag

## EXPERIMENTEN

In een serie experimenten is de interactie tussen een warme rooklaag en een stroming van sprinklerdruppels onderzocht [1]. Het betreft de rooklaagtemperatuur en de verstoring van de stratificatie onder invloed van sprinklers. In figuur 3 is de meetopstelling schematisch weergegeven. Tijdens de experimenten is een proefbrand gemaakt in ruimte A. Rookgassen kunnen in het experiment uitwijken naar ruimte B waarin na circa 1 minuut een sprinklerkop geactiveerd wordt. In ruimte B is vervolgens de interactie tussen de rooklaag en de waterdruppels onderzocht. In de experimenten is daarbij de grootte van de brand en de waterdruk op de sprinklerkop (waterdrukt) gevarieerd en het effect daarvan op de rooklaagtemperatuur en -dikte vastgelegd. Opgemerkt wordt dat de interactie tussen sprinkler en de brand niet is meegenomen in het experiment omdat de brand zich in de afgeschermdede ruimte A bevindt. Het betreft dus alleen de interactie van de druppels met de rooklaag in ruimte B. Tijdens de experimenten zijn de optredende rooklaagtemperaturen en de rooklaagdiktes in ruimte B gemeten.

## BEREKENINGSRESULTATEN

### Stratificatie kwalitatief

In figuur 4 is een beeld gegeven van de rooklaag tijdens het experiment en de rooklaag zoals berekend nadat de sprinkler geactiveerd is. Het betreft een beeld van ruimte B waarin onder de sprinklerkop een neerwaartse pluim zichtbaar is die door de sprinkler geïnduceerd wordt. Een aantal zaken valt op. In het experiment wordt de rooklaag direct onder de sprinkler, centraal in de ruimte, het sterkst naar beneden gedrukt. Dit is in de berekeningen ook wel zichtbaar echter daar bevindt deze neerwaartse pluim zich verder stroomafwaarts van de brand. Verder valt op dat in de experimenten een sterke stratificatie zichtbaar is, er is een scherpe overgang naar de rooklaag die in de berekeningen minder goed zichtbaar is.

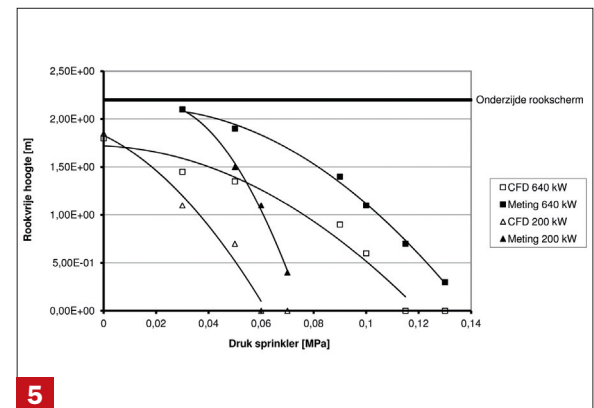
### Stratificatie kwantitatief

In figuur 5 is de rookvrije hoogte in ruimte B weergegeven, de schone luchtlaag onder de rooklaag. Het betreft de afstand van de vloer gemeten tot aan de onderzijde van de neerwaartse pluim die veroorzaakt wordt door de sprinkler. Te zien is dat de stratificatie sterker verstoort wordt wanneer de druk op de sprinklerkop, en daarmee de sprinklerflow, toe neemt. Met andere woorden: als gevolg van het hogere debiet aan druppels neemt de rooklaagdikte toe en de rookvrije hoogte af.

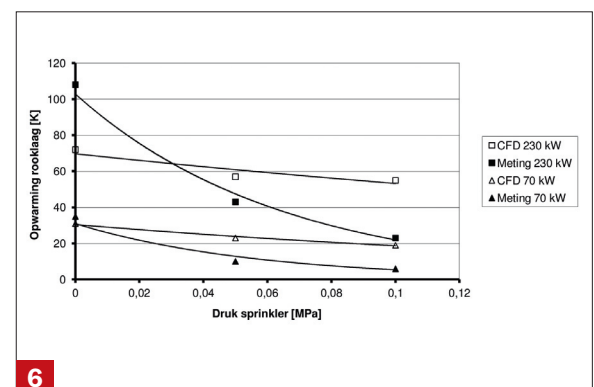
Het experiment en de berekeningen zijn uitgevoerd voor branden van circa 200 kW en circa 640 kW. Betreffende experimenten zijn ook met FDS berekend. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuur. Uit een vergelijking van de stratificatie tussen experiment en berekeningen blijkt dat in de berekeningen een behoorlijk dikkere rooklaag berekend wordt dan zichtbaar is tijdens de experimenten, bij een hoge voordruk is in de berekeningen zelfs geen rookvrije zone meer zichtbaar.

### Temperaturen kwantitatief

In figuur 6 is de temperatuur van de rooklaag onder het dak van ruimte B weergegeven. Daarbij neemt de temperatuur af wanneer de druk op de sprinklerkop, en daar-



5 Rookvrije hoogte in ruimte B; de afstand van de vloer tot de onderzijde van de neerwaartse pluim van de sprinkler



6 Temperatuur van de rooklaag onder het dak in ruimte B

mee de sprinklerflow, toe neemt. Met andere woorden: als gevolg van het hogere debiet aan druppels treedt meer afkoeling op.

Het experiment en de berekeningen zijn onder andere uitgevoerd voor branden van circa 230 kW en circa 70 kW. De resultaten van de berekeningen zijn ook weergegeven in de figuur. Zoals zichtbaar in de figuur treedt in de berekeningen aanzienlijk minder afkoeling op nadat de sprinklerinstallatie geactiveerd is. Zowel in absolute zin als trendmatig (helling van de lijn) lijkt FDS de mate van afkoeling in belangrijke mate te onderschatten.

## GEVOELIGHEIDSANALYSE

Voor een aantal numerieke en fysische parameters is de gevoeligheid ervan op het berekeningsresultaat onderzocht. Daartoe zijn deze in het rekenmodel gevarieerd:

- gemiddelde druppelgrootte (+/- 25%)
- brandvermogen (+/- 25%)
- uittredesnelheid druppels (+/- 25%)
- aantal rekencellen (factor 10)
- aantal druppels (factor 2)

Deze (forse) variaties van de invoerparameters hebben niet geleid tot variaties in de berekeningsresultaten die groot genoeg zijn om de verschillen tussen experiment en berekeningen te kunnen verklaren.

## ANALYSE RESULTATEN

Uit de berekeningen blijkt dat sprake is van een aanzienlijk verschil tussen metingen en berekeningen. Daarvoor is een aantal mogelijke oorzaken aan te wijzen.

Technisch: FDS is als softwarepakket in ontwikkeling en is niet volledig gevalideerd. De onderliggende code kan fouten bevatten.

Fysisch model: Het submodel in het CFD model dat de opwarming van de druppels beschrijft gaat, in een eenvoudig model, uit van de opwarming van 'harde' ronde bollen. In werkelijkheid ontstaat er een grenslaag rondom de druppel als gevolg van verdamping. Diverse studies laten zien dat mede daarom de luchtweerstand van de druppels mogelijk lager is [2] en de warmteoverdrachtscoëfficiënt hoger dan berekend op basis van dit eenvoudige model. Een ander effect is het zogenaamde 'wake effect', druppels die zich in het zog van een andere druppel bevinden hebben een lagere weerstand.

Numeriek model: De vallende druppels oefenen een kracht uit op de omringende lucht en omgekeerd. Deze interactie moet tijdsafhankelijk in beide richtingen in het CFD model worden verwerkt, de zogenaamde two-way-coupling [3]. In FDS is dat maar gedeeltelijk het geval.

Experimenteel: Het meten van de luchttemperatuur onder de invloed van een sprinklerinstallatie is zeer complex. Er valt niet uit te sluiten dat thermokoppels nat geworden zijn en daardoor een (te) lage temperatuur aangewezen hebben.

Deelbijdragen van deze mogelijke foutbronnen zijn voor FDS niet goed te bepalen. FDS is een gesloten pakket waarin submodellen niet als los model te onderzoeken zijn.

## CONCLUSIES

Technisch gezien is het inmiddels mogelijk (delen van) een sprinklerstroming onderdeel uit te laten maken van een CFD model. Zonder nadere validatie van zo'n model is de waarde van de uitkomsten echter moeilijk in te

schatten. Onzekerheden hangen samen met het te verwachten sproeipatroon, de interactie tussen de druppels en de hete rooklaag, de blussende werking van de druppels en numerieke factoren. Kortweg kan worden gesteld dat dergelijke modellen nog onvoldoende basis bieden voor ontwerpdoeleinden.

Op basis van ons onderzoek blijkt meer specifiek dat met de toepassing van het CFD model FDS en het daarin opgenomen LES model terughoudend moet worden omgegaan. Uit de validatie van het sprinklermodel uit FDS blijkt:

- dat structureel een te dikke rooklaag voorspeld wordt;
- dat onvoldoende afkoeling van de rooklaag aan sprinklerdruppels plaats vindt. De temperaturen die FDS voorspelt ná het activeren van de sprinkler zijn structureel te hoog en;
- dat het stromingspatroon ook in kwalitatieve zin onnauwkeurig voorspeld wordt.

Voor de verschillen tussen experiment en berekeningen zijn verschillende oorzaken aan te wijzen, onder andere fysische, numerieke en experimentele factoren. Om te komen tot een verbetering van de prestaties zullen de toegepaste deelmodellen los van elkaar en in meer detail onderzocht moeten worden. ■

## BRONNEN

- [1] Li, S.C., Yang, D., Huo, R., Hu, L.H., Li, Y.Z., Li, K.Y. and Wang, H.B., 2009, Studies of Cooling effects of Sprinkler Spray on Smoke Layer, *Fire Safety Science* 9: p. 861-872
- [2] Yuen, M.C. and Chen, L.W., 1976, On drag of evaporating droplets, *Combustion science and technology* 14: p. 147-54
- [3] Elghobashi, S. E., 1994, On Predicting Particle-Laden Turbulent Flows, *J. Applied Scientific Research*, Vol. 52: p. 309-329

### VRAAG REDACTIE:

*De conclusie van de auteur is dat terughoudend moet worden omgegaan met het rekenen aan sprinklerinstallaties middels CFD. Er zijn een groot aantal factoren (fysisch en numeriek) die nog niet goed in de CFD modellen verwerkt zijn. Buiten de in het artikel genoemde factoren speelt ook de invloed van het type sprinklerkop en de temperatuur van de rook een belangrijke rol op het effect van de sprinklerinstallatie. Is het gezien de hoeveelheid invloedsfactoren en onzekerheden te verwachten dat er met CFD überhaupt een betrouwbare simulatie kan worden gemaakt? Met andere woorden is het zinvol om de CFD modellen te voorzien van een sprinklermodel?*

### ANTWOORD AUTEUR:

Dit type modellen worden al met succes toegepast, bijvoorbeeld in de procesindustrie ten behoeve van het ontwerp van gaswassers en sproeidrogers. Met aanpassingen aan de numerieke basis en het bijstellen van de fysische modellen zal naar verwachting ook voor toepassingen in de brandveiligheid een verdere verbetering bereikt kunnen worden. Belangrijkste probleem daarbij is echter het ontbreken van betrouwbare en gedetailleerde data. Experimenten op het gebied van brandveiligheid zijn eigenlijk altijd moeilijk, kostbaar en tijdrovend. Dat staat ook de ontwikkeling van rekentechnieken in de weg. Je ziet dit soort CFD modellen echter nu al wel toegepast worden in onderzoeken, veelal zonder validatie. Dat lijkt gezien de uitkomsten van onze studie nogal voorbarig, er moet nog een flinke stap vooruit gezet worden.