

CFD en het voorspellen van regenhinder

Auteur: Erik den Tonkelaar, DGMR

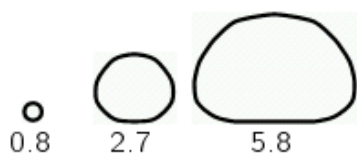
1. Inleiding

Soms is het gemakkelijk om regenhinder te voorkomen; gewoon een dak plaatsen. In de praktijk ligt het vaak wat lastiger. Soms is een dak niet gewenst of is een dak wel mogelijk, maar zijn afsluitende verticale wanden niet mogelijk (denk bijvoorbeeld aan luifels), waardoor de regen toch onder de luifel kan komen. Als in dergelijke gevallen een antwoord op vragen als "Hoe vaak krijgen we nu last van regen?" gewenst is, dan is het antwoord "In Nederland regent het altijd" niet afdoende. Als we regenhinder willen toetsen, dan moeten we vooraf toetsingscriteria vastleggen. Voor regenhinder gelden geen vastomlijnde criteria en er is geen officiële regenhindernorm. Dit maakt het onderzoek naar regenhinder tot een uitdaging.

Dit artikel beschrijft hoe DGMR deze uitdaging aanpakt en uitwerkt. Allereerst hebben wij het fenomeen 'regen' nader onderzocht. Hoe groot zijn regendruppels? Maakt het uit of het motregen is of een zware regenbui? Hoe vaak regent het precies in Nederland en bij welke windsnelheden en windrichtingen? Vervolgens deden wij een voorstel voor het toetsingscriterium voor regenhinder. Als laatste gingen wij dieper in op twee methodes om regenhinder te bepalen: de eerste methode op basis van de NEN-EN-ISO 15927-3, de tweede methode gaat uit van 'Computational Fluid Dynamics' (CFD). Het voorbeeld dat we hierbij gebruiken is de overkapping van het stationsplein Utrecht CS. Deze overkapping is ontworpen door architect Ector Hoogstad.

2. Regendruppels en neerslagintensiteit

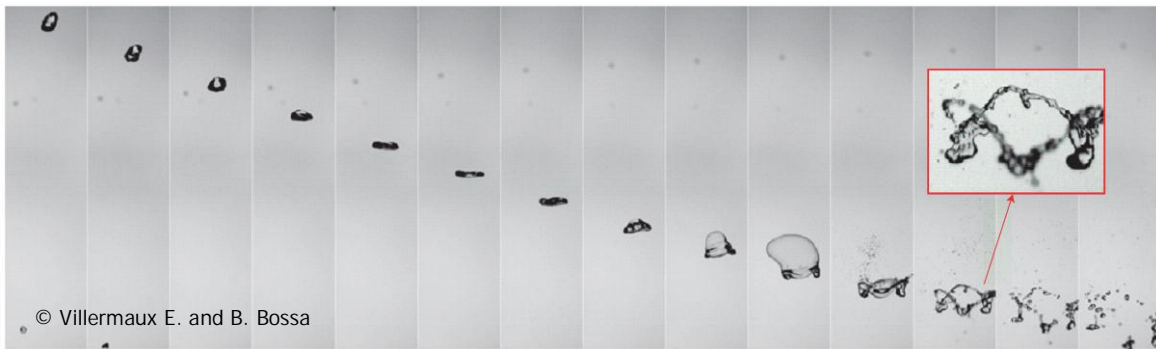
Om te beginnen deed DGMR onderzoek naar de vorm en de grootte van de regendruppel. Regendruppels hebben helemaal geen druppelvorm; de luchtweerstand vervormt de druppel. De vorm van de regendruppel is afhankelijk van de grootte. Kleine regendruppels vervormen nauwelijks, maar grote regendruppels juist wel ^[1]. Dit is weergegeven in figuur 1.



© Pruppacher & Klett

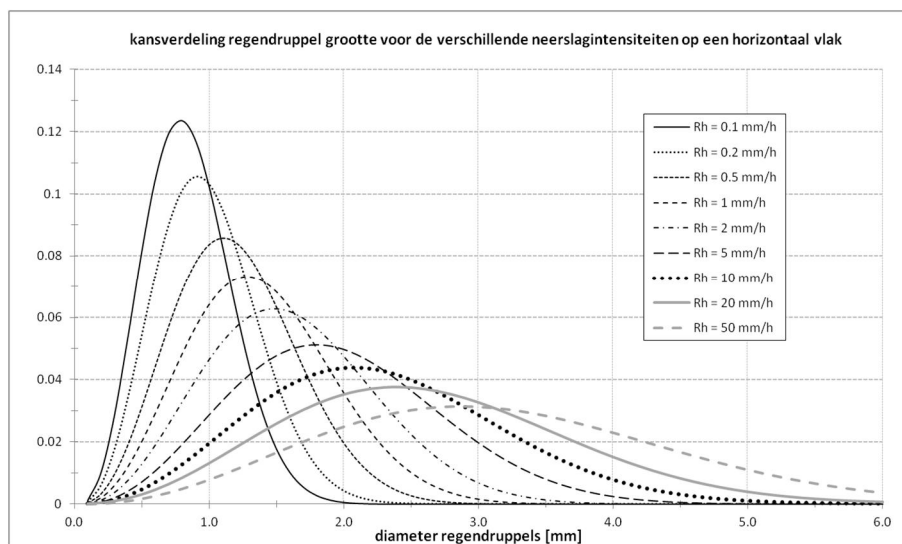
Figuur 1: De vorm van vallende regendruppels is afhankelijk van de grootte.

Het blijkt dat regendruppels met een diameter groter dan 6 millimeter nauwelijks voorkomen. In een regenbui is er sprake van een constante wisselwerking. Kleine regendruppels klonteren samen tot grotere regendruppels. En als de regendruppel te groot wordt, dan valt deze in delen uiteen ^[2]. In figuur 2 op de volgende pagina is het uiteenvallen van een regendruppel weergegeven.



Figuur 2: Uit elkaar vallende regendruppel

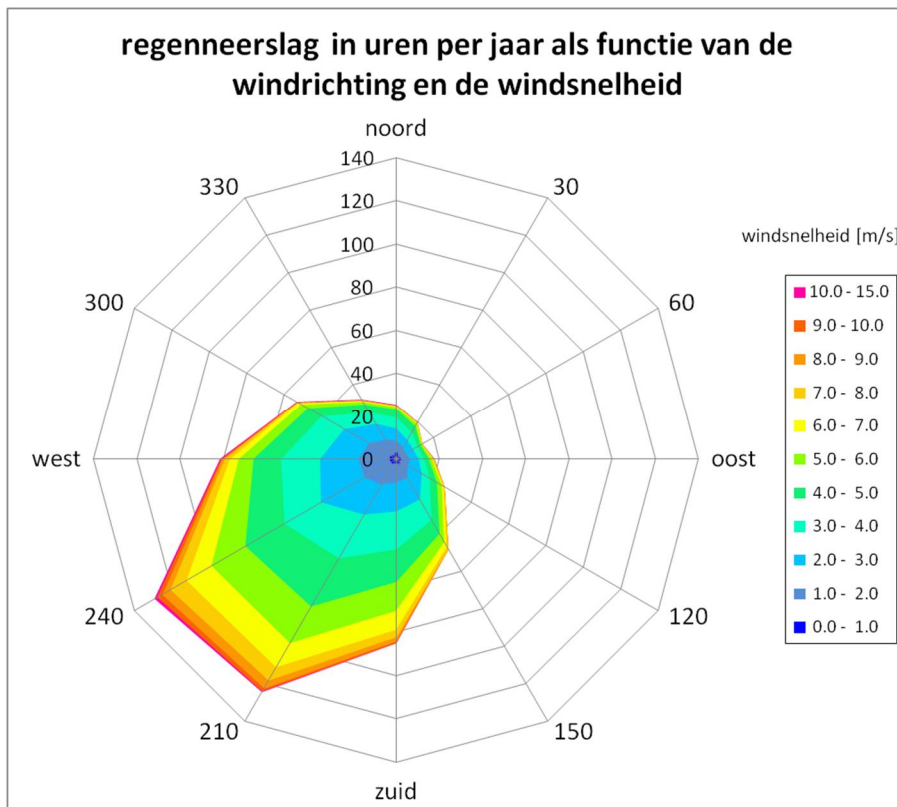
Uit de literatuur volgt dat er een verband tussen de regenintensiteit en de grootte van de regendruppel vast te stellen is. In het algemeen blijkt dat bij lage regenintensiteiten de regendruppels vooral klein zijn, en dat bij zware regenbuien de regendruppels vooral groot zijn. In figuur 3 is de verdeling van de regendruppelgrootte bij verschillende regenintensiteiten weergegeven [5].



Figuur 3: De kansverdeling van de regendruppeldiameters bij verschillende neerslagintensiteiten

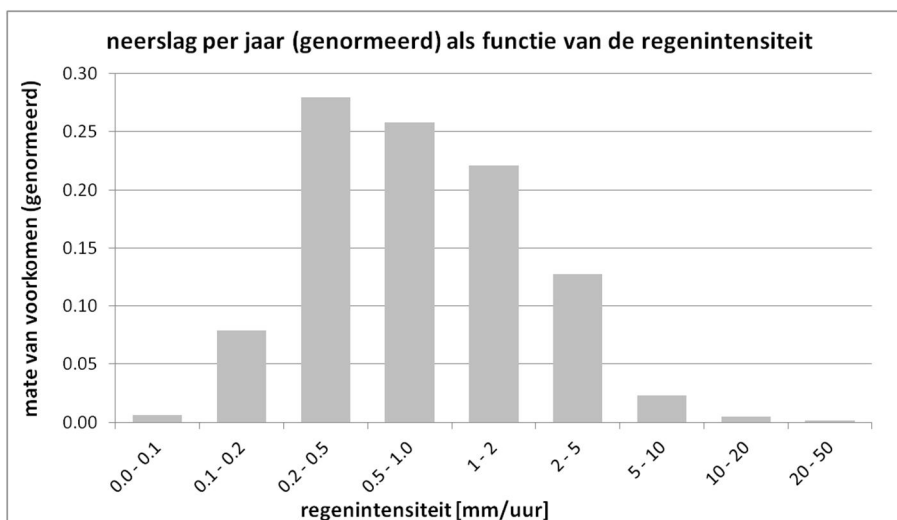
3. Kans op regen

Hoe vaak regent het nu? Wat voor windsnelheden zijn er te verwachten? Regent het vaker bij wind uit zuidwestelijke richting? Een antwoord op zulke vragen is noodzakelijk om uiteindelijk te kunnen vaststellen onder welke omstandigheden regenhinder optreedt. Om deze vragen te kunnen beantwoorden, analyseerden we de gegevens van het KNMI van uur tot uur op de lange termijn [3]. Volgens het KNMI vallen er om de dag wel een paar druppels, terwijl het gemiddeld in ongeveer acht procent van de tijd regent [4]. In de onderstaande figuren is steeds uitgegaan van gegevens van het regenstation in De Bilt. Uit de analyse komt naar voren dat regen bij zuidwestenwind inderdaad vaker voorkomt dan bij andere windrichtingen. In figuur 4 is dit weergegeven door onderscheid te maken naar windrichting en windsnelheid. Tevens is eruit op te maken dat de meest voorkomende windsnelheden bij regen ongeveer tussen de 2 m/s en de 5 m/s liggen.



Figuur 4: Het aantal uur per jaar dat het regent, per windrichting en per windsnelheid

Een andere belangrijke parameter is de regenintensiteit. In figuur 5 is de verdeling per jaar van de regenintensiteit weergegeven. Uit deze figuur valt op te maken dat een regenintensiteit tussen 0.2 mm/h en de 2 mm/h het meest voorkomt. Een neerslagintensiteit van kleiner dan 0.5 mm/h wordt vaak 'motregen' genoemd; dit gaat meestal samen met kleine regendruppels.



Figuur 5: Neerslag per jaar als functie van de regenintensiteit (genormeerd)

4. Toetsing

Ons uitgangspunt voor de toetsing is de norm voor windhinder. We hebben aansluiting gezocht bij de NEN 8100, die toetsingscriteria voor windhinder vastlegt. Deze norm maakt onderscheid in de activiteit die plaatsvindt. Publiek dat voor de etalage slentert heeft volgens deze norm eerder hinder dan iemand die zich zo snel mogelijk van A naar B wil verplaatsen. Wij stellen voor om voor regenhinder een dergelijk onderscheid te maken. Ons voorstel is om ook bij regenhinder dit onderscheid aan te houden: slenteren en doorlopen.

De vraag die vervolgens beantwoordt moet worden is: "Wanneer wordt regen als hinderlijk ervaren?" Uit een eigen, kleinschalig onderzoek blijkt dat als de neerslag meer is dan 0.5 mm/h de paraplu gebruikt gaat worden. Dit hebben wij als uitgangspunt aangehouden.

Wij definiëren twee activiteiten en het moment waarop regen als hinderlijk wordt ervaren:

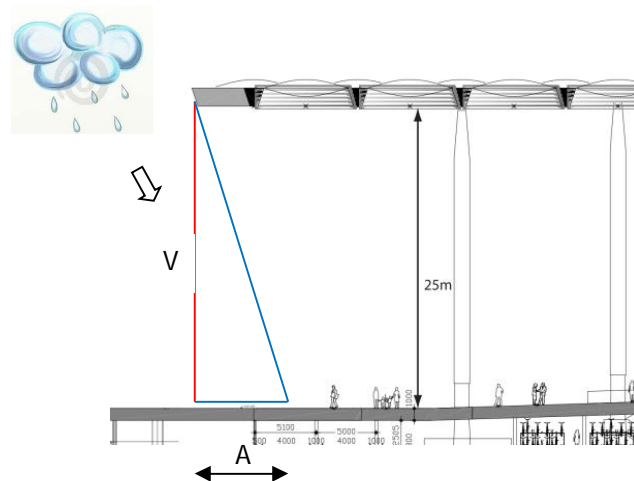
- doorloopgebied: gebieden waarin mensen zich hoofdzakelijk van A naar B verplaatsen. Voor deze gebieden treedt regenhinder op als de neerslagintensiteit groter is dan 0.5 mm/h.
- slentergebied: gebieden waarin vooral rustig gelopen en geslenterd wordt, zoals op winkelpromenades en langs etalages. Deze gebieden worden strenger beoordeeld en hierin worden alle neerslagintensiteiten (dus ook motregen met een intensiteit lager dan 0.5 mm/h) meegenomen.

Analoog aan de norm voor windhinder gebruiken wij meteorologische gegevens om vast te stellen hoe vaak het regent en onder welke windomstandigheden. Op basis hiervan is een inschatting gemaakt hoe vaak per jaar regenhinder optreedt.

De vraag die nu overblijft is: "Hoe vaak per jaar sta ik een overschrijding toe?" Dit is een moeilijk te beantwoorden vraag. Mag dat tien procent van de tijd dat het regent zijn of maar vijf procent? Op dit moment hebben we daar nog geen goed antwoord op en bepalen we in samenspraak met de opdrachtgever voor elke situatie afzonderlijk wat een acceptabele overschrijding is.

5. Bepaling van regenhinder

Hoe kunnen we regenhinder nu bepalen? DGMR heeft hiervoor verschillende methoden ontwikkeld. De eerste methode maakt gebruik van de Europese norm NEN-EN-ISO 15927-3 (Hygro-thermische eigenschappen van gebouwen, deel 3). Deze norm bepaalt de regenintensiteit aan de hand van tien jaar meteorologische wind- en regengegevens. Deze methode is in eerste instantie bedoeld voor een verticale gevel, maar kan ook gebruikt worden om de regenintensiteit op een horizontaal vlak te bepalen; dit is in figuur 6 weergegeven. De regen die op de verticale gevel, 'V', valt, zal ook op het horizontale vlak, 'A', vallen. Hierbij veronderstellen we dat de regendruppels ongestoord verder kunnen vallen en dus niet van richting veranderen door plaatselijke veranderingen in de windrichting en windsnelheid, beïnvloed door de omliggende bebouwing.



Figuur 6: Neerslag per jaar als functie van de regenintensiteit (genormeerd)

De grondgedachte achter deze norm is dat de hoeveelheid regen die op de gevel valt afhankelijk is van de regenintensiteit, de windrichting, de windsnelheid en de oriëntatie van de gevel. In formulevorm:

$$I_{gevel} = \frac{2}{9} V_{wind} R^{\frac{8}{9}} \cos(D - \theta)$$

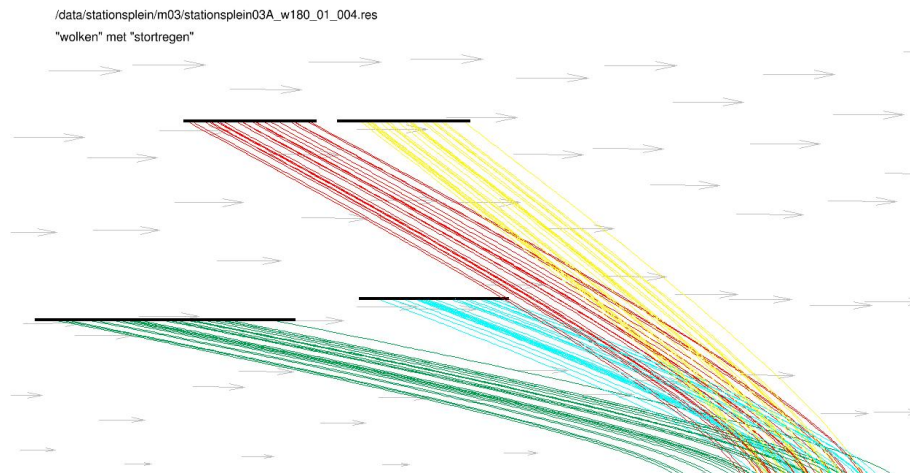
Hierin is I_{gevel} de regenintensiteit op de gevel, V_{wind} de windsnelheid op 10 meter hoogte, R de heersende regenintensiteit, D de windrichting, θ de oriëntatie van de gevel. Verder wordt rekening gehouden met de omgeving (landelijk of stedelijk gebied) en mogelijke windafscherming, waardoor de regenintensiteit I_{gevel} groter of kleiner kan worden.

Op basis van de langjarige statistiek en bovenstaande rekenregels kan bepaald worden hoe ver en hoe vaak de regen onder de luifel of overkapping doorschiet. Op basis hiervan kan bepaald worden vanaf welk punt onder de overkapping er geen sprake meer is van regenhinder.

Bovenstaande methode is alleen toepasbaar als de omringende bebouwing de windsnelheid en de windrichting niet verstoort. In gebieden met complexe en vaak hoge gebouwen kan deze methode regenhinder minder goed voorspellen. In die gevallen gebruiken wij een andere methode, die we in de volgende paragraaf beschrijven.

6. Regen en CFD

Een methode om luchtstromingen in een complexe situatie te bepalen is 'Computational Fluid Dynamics' (CFD). Hiermee kunnen luchtstromingen langs willekeurige geometrieën in beeld worden gebracht. Tevens kunnen met deze methode de regendruppeltrajecten worden bepaald; in figuur 7 wordt dit in beeld gebracht. Om rekentijd en data-opslag te besparen, wordt niet over de gehele hemelkoepel regendruppels losgelaten, maar alleen in kleine wolken, op strategische posities. In deze figuur zijn vier wolkjes geplaatst, die elk regendruppeltjes van een verschillende grootte loslaten. Hoe groter een regendruppel is, hoe sneller deze naar beneden valt. De wolkjes zijn zo geplaatst dat alle regendruppels uiteindelijk in hetzelfde gebied de grond bereiken.



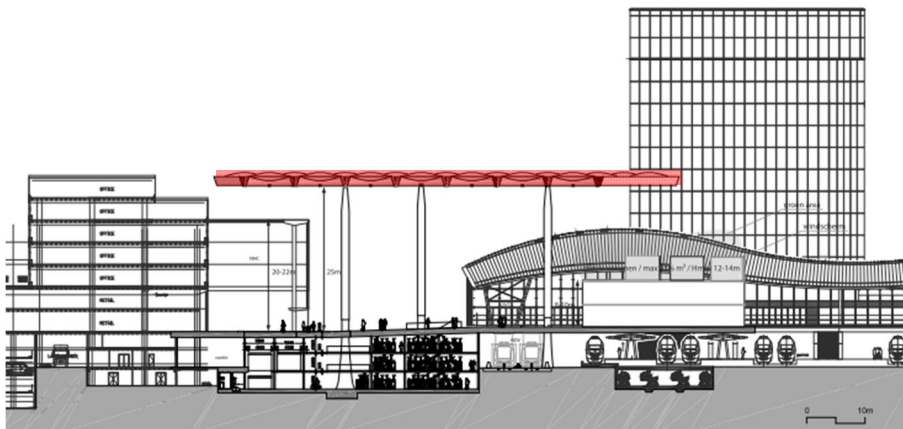
Figuur 7: Plaatselijke wolkbreukjes met verschillende druppeldiameter (groen: 0.5 mm, blauw: 1.0 mm, rood: 2.0 mm, geel: 5.0 mm) die dezelfde plek uiteindelijk beregenen. De grijze pijlen geven de windrichting weer (5 m/s op 10 meter hoogte)

De gekozen regendruppelgrootte is niet willekeurig: de grootte van de regendruppels is zo gekozen, dat deze representatief zijn voor de verschillende soorten regenbuien in Nederland [6]. De volgende regendruppelgrootte is gekozen:

- Diameter 0.5 mm; deze druppelgrootte is kenmerkend voor motregen (intensiteit minder dan 0.5 mm/uur).
- Diameter 1.0 mm; deze druppelgrootte is kenmerkend voor de meest voorkomende regenbuien in Nederland (intensiteit tussen 0.5 en 5 mm/uur).
- Diameter 2.0 mm; deze druppelgrootte is kenmerkend voor zware regenbuien (intensiteit groter dan 5 mm/uur).
- Diameter 5.0 mm; dit zijn de grootste regendruppels die voorkomen in zware regenbuien.

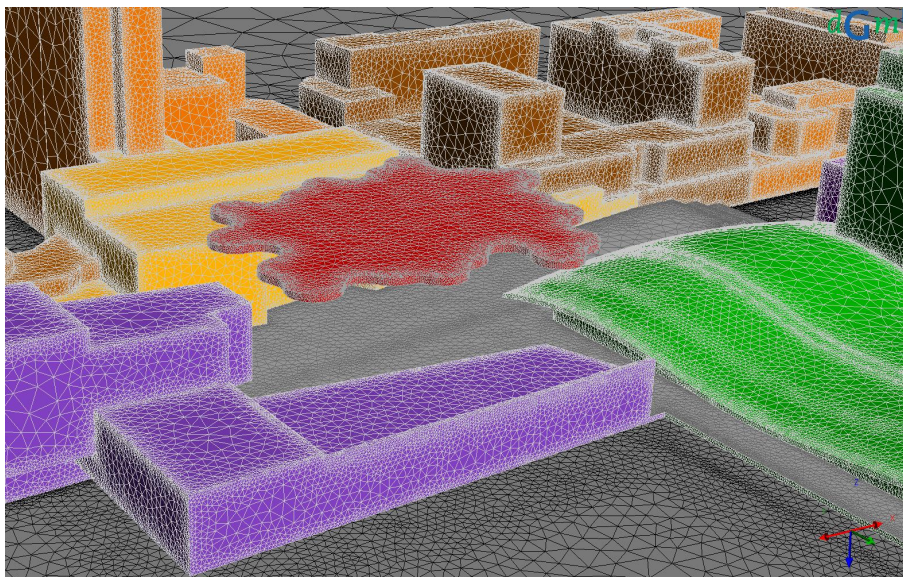
Kleinere regendruppels (met een diameter tussen 0.1 en 0.2 mm) waaien met de wind mee en worden significant verder meegevoerd door de wind. Deze zijn in het onderzoek niet opgenomen.

In een recent onderzoek is deze methode gebruikt om te onderzoeken in hoeverre regenhinder te verwachten is. Het betreft de overkapping op het Stationsplein te Utrecht, ontworpen door architect Ector Hoogstad. In figuur 8 is een zijaanzicht van de overkapping weergegeven. Er is sprake van veel omringende bebouwing, waardoor de eerste rekenmethode niet toereikend is. Duidelijk is dat de overkapping op relatief grote hoogte geplaatst wordt. Hierdoor kan regen in principe onder de overkapping terechtkomen.



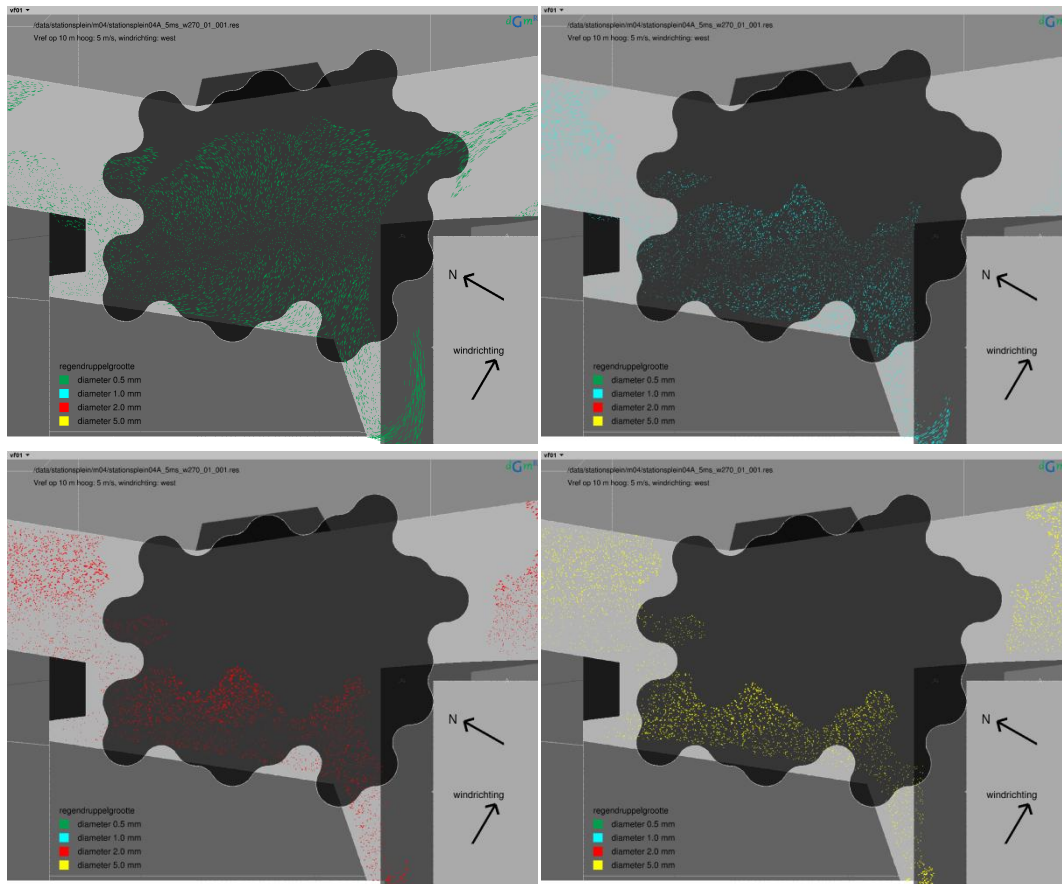
Figuur 8: Impressie van het Stationsplein in zij aanzicht. Met rood is de overkapping aangegeven

Van het Stationsplein en de omgeving is een 3D-model gemaakt voor het uitvoeren van de CFD-berekeningen. Hiervoor is een ontwerp van de overkapping uit een vroeg stadium gemodelleerd. In figuur 9 is het 3D-model weergegeven, waarin het rekengrid is weergegeven. Het model bestaat uit circa 10 miljoen cellen. Per situatie zijn ongeveer 250.000 regendruppeltrajecten bepaald.



Figuur 9: Overzicht 3D-model en het rekengrid met een voorlopige configuratie van de overkapping

Aan de hand van de langjarige regenstatistiek zijn de meest maatgevende windrichtingen voor deze specifieke situatie bepaald. Deze windrichtingen zijn allen doorgerekend. De plaats van inslag van de regendruppels is bepaald met behulp van CFD. Dit is weergegeven voor een specifieke windrichting en een specifieke windsnelheid voor de vier verschillende regendruppelgroottes in figuur 10 op de volgende pagina.



Figuur 10: Resultaten van de CFD-berekening. Zichtbaar is hoe ver regendruppels van verschillende grootte onder de overkapping door kunnen komen, bij een bepaalde windrichting en windsnelheid. Kleine regendruppels kunnen verder onder de overkapping doorkomen dan grote regendruppels.

De hoge positie van de overkapping zorgt er inderdaad voor dat regendruppels onder de overkapping terecht kunnen komen. De CFD-berekeningen zijn gecombineerd met de langjarige regenstatistiek, zodat ingeschat kon worden hoe vaak regenhinder kan optreden. Deze berekeningen hebben ertoe geleid dat de vorm van de overkapping verder geoptimaliseerd is om de kans op regenhinder te verminderen.

7. Résumé

Er bestaan geen vaststaande normen voor het beoordelen van de regenhinder. DGMR stelt voor om regenhinder kwantitatief te beoordelen, in analogie met de normen voor windhinder. Op deze manier kan regenhinder berekend worden. Wij hebben twee methoden ontwikkeld om regenhinder in de praktijk te kunnen bepalen. De eerste (eenvoudige) rekenmethode verloopt met behulp van de norm NEN-EN-ISO 15927-3. De tweede methode wordt met behulp van 'Computational Fluid Dynamics' (CFD) uitgevoerd. Met deze laatste methode is een helder inzicht te verkrijgen in te verwachten regenhinder in stedelijke gebieden. In stedelijke gebieden blijkt namelijk de verstoring van de luchtstroming door gebouwen groot te zijn. Zonder deze effecten in het model mee te nemen, zou er een onrealistisch beeld van de schermwerking tegen regen ontstaan. Een studie via CFD voorkomt teleurstellingen na realisatie.

8. Referenties

- [1] Pruppacher, H. and J. Klett (1978): 'Microphysics of clouds and precipitation'. Uitgever: Reidel Publishing Company, Dordrecht (NL)
- [2] Villermaux E. and B. Bossa (2009): 'Single-drop fragmentation determines size distribution of raindrops'. Bron: 'Nature Physics', published online: 20 July 2009
- [3] KNMI, 'Uurgegevens van het weer in Nederland', Metingen van 01-01-1951 t/m 31-12-2010. Bron: <http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/>
- [4] KNMI (2012): brochure 'Factsheet KNMI waarschuwingen regen', De Bilt, www.knmi.nl
- [5] Best, A. (1950): 'The size distribution of raindrops'. Q.J.R. Meteorol. Soc. 76, 16-36
- [6] Blocken, B. and T. van Hooff (2012): 'Dry run, Ansys Advantage', volume VI, issue 2, 2012