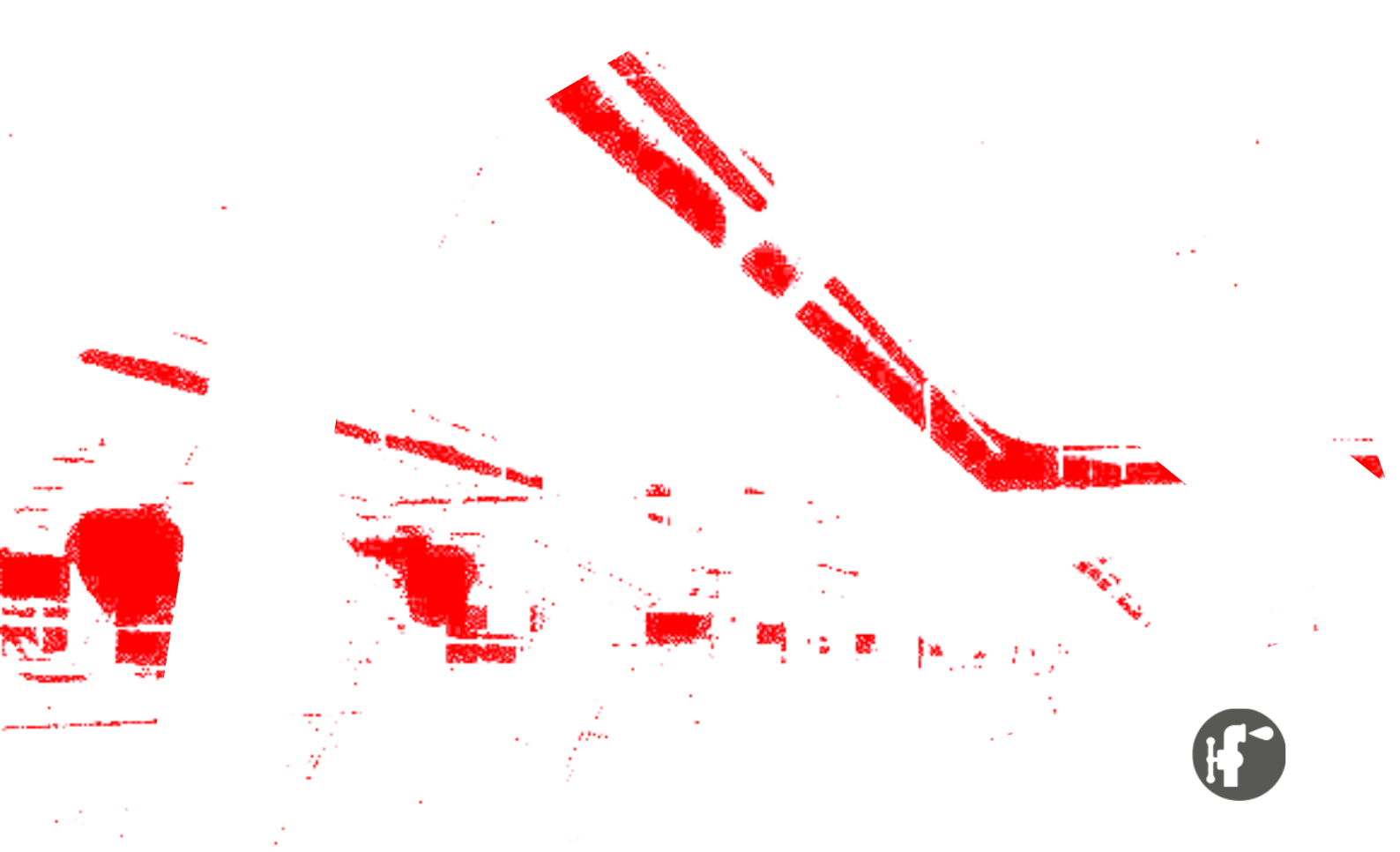




Waterlagen op platte daken en het veranderende klimaat

Technisch Rapport ST -49



INHOUDSOPGAVE

Blz.

SAMENVATTING	2
HOOFDSTUK 1 - Inleiding	4
HOOFDSTUK 2 - Regenintensiteit KNMI klimaatscenario's.....	6
2.1 Inleiding.....	6
2.2 Resultaten: neerslagintensiteiten voor klimaatscenario's.....	6
2.3 Hydraulische onderbouwing	7
HOOFDSTUK 3 - Rekenmethode capaciteit dakafvoer	12
3.1 Inleiding.....	12
3.2 Berekening afvoeren	12
3.3 Hydraulische onderbouwing	13
HOOFDSTUK 4 - Invloed van wind	16
4.1 Inleiding.....	16
4.2 Invloed van wind op de ontwerp neerslagintensiteiten	16
4.3 Discussie.....	17
4.4 Hydraulische onderbouwing	17
HOOFDSTUK 5 - Afwatering van verschillende uitvoeringen begroeide platte daken.....	22
5.1 Inleiding.....	22
5.2 Reductiefactor afvoercoëfficiënt begroeide daken	22
5.3 Hydraulische onderbouwing	22
Bijlagen	26
Bijlage 1a: Memo bepaling waterniveau op plat dak	26
Bijlage 1b: Schematisatie van rekenmethodiek opbouw waterlaag op plat dak.....	29
Bijlage 2: Methode conform ST 48-1	31
Bijlage 3: Retentiedaken en -dekken integraal ontwerpen	36



SAMENVATTING

In opdracht van TVVL en in samenwerking met een werkgroep is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar een aantal onderzoeksvragen omtrent het veranderende klimaat en daken en dakafvoeren. Dit rapport is bedoeld om adviezen te bieden aan de ISSO/NEN-commissie voor gebouwriolering en de NEN-commissie voor constructieve veiligheid.

Procesaanpak

Dit rapport is tot stand gekomen in samenspraak met de werkgroep (zie pagina 5). Het rapport is op basis van drie werkgroepoverleggen, met schriftelijke en mondelinge terugkoppeling op de rapportage, steeds verder verfijnd en aangescherpt. In een aantal gevallen (rekenmethode voor de capaciteit van de dakafvoer, invloed van de wind) was de expertise van de werkgroep, bij gebrek aan geschikte literatuur, doorslaggevend in het trekken van conclusies en doen van aanbevelingen. De verantwoording van dit rapport is te lezen op pagina 5.

Onderzoeksvraag 1:

Met welke **regenintensiteit** moet de NEN 3215 /NTR 3216 rekening houden bij reguliere hemelwaterafvoersystemen en overstortsystemen afgestemd op de klimaatscenario's voor 2050?

Er is een advies om de regenintensiteit waarmee reguliere hemelwaterafvoersystemen en overstortsystemen worden ontworpen van een update te voorzien, rekening houdend met de klimaatscenario's voor 2050. Voor het ontwerp van reguliere hemelwaterafvoersystemen adviseren wij de regenintensiteit te verhogen van $0,03 \text{ l/s/m}^2$ naar $0,037 \text{ l/s/m}^2$. Voor overstortsystemen adviseren wij de regenintensiteit te verhogen van $0,05 \text{ l/s/m}^2$ naar $0,060 \text{ l/s/m}^2$.

Onderzoeksvraag 2

- a) Op welke manier kan de capaciteit van de dakafvoer/overstort worden berekend bij een overlaatstroming voor UV-systemen, bij een **stuwhoogte kleiner** dan het **grensdebiet**?
- b) Welke **adviezen uit ST 48-1 en ST 48-2** adviseert de werkgroep om over te nemen in deze rapportage?

Antwoord a)

De afvoercapaciteit van dakafvoeren/overstortvoorzieningen bij overlaatstroming en voor UV-systemen, met een stuwhoogte kleiner dan het grensdebiet kan worden bepaald op de volgende manier:

1. Met behulp van de grafieken en data die de fabrikant aanlevert. Dit is het geval bij UV-systemen en bijvoorbeeld bij kant-en-klare dakafvoeren of overstortvoorzieningen bij overlaatstroming die getest/gecertificeerd zijn volgens EN 1253-2.
2. Wanneer dakafvoeren/overstortvoorzieningen bij overlaatstroming niet zijn getest/gecertificeerd volgens EN 1253-2 beschrijft bijlage 2 (volgens ST 48-1) een stappenplan om dit te bepalen.

Antwoord b)

De werkgroep onderschrijft het belang van eenduidigheid en adviseert daarom de adviezen uit ST 48-1 te volgen. Dit betekent dat we voor plaatsingslocatie C kiezen bij het berekenen van de waterhoogte en de maximale afvoercapaciteit voor overstortvoorziening in de vorm van een ronde steekafvoer bij overlaatstroming. Hierbij moet de (samengestelde) getalswaarde 2,5 uit formule 7.6 uit de NEN-EN 1991-1-3+C1/NB 2011 (op dat vlak gelijk aan de nieuwere en geldende NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019) worden vervangen door 2,92.



Op deze manier wordt zowel de waterhoogte als de maximale afvoercapaciteit berekend volgens het principe van plaatsingslocatie C. Formule 7.6 wordt dan: $Q_{h,max} = 2,92 d^{\frac{5}{2}}$.

Daarnaast onderkennen wij de verschillen in formules volgens de Europese en de Nederlandse normen, zoals beschreven in ST 48-2. Gezien de onduidelijkheid in de gehanteerde veiligheidsmarges en rimpeleffecten van aanpassingen in Nederlandse en Europese normen adviseren wij om de Nederlandse normen niet aan te passen. Wel benadrukken wij het belang van het erkennen en toepassen van de verschillen in normen. Bedrijven buiten Nederland hanteren andere normen en formules. Wanneer zij aan gebouwen in Nederland werken, moeten zij conform Nederlandse normen ontwerpen. Omgekeerd geldt dit ook als aandachtspunt voor Nederlandse bedrijven die in het buitenland werkzaam zijn. Daar moeten ze volgens de in dat land geldende ontwerpnormen ontwerpen.

Onderzoeksvraag 3:

Welke invloed heeft de **wind** op het gedrag van neerslag en de waterlaag bij een regulier overstortstelsel en een overstortstelsel op een begroeid dak, en moet daar een toeslagpercentage voor worden toegerekend?

Wind heeft invloed (toe- en afname neerslagintensiteit) op het gedrag van neerslag op daken, zowel begroeid als onbegroeid. Daarnaast heeft wind op platte daken ook invloed op de waterlagen. Op begroeide daken is dat minder aangezien de neerslag infiltreert in het substraat en er normaliter geen waterlagen op de bovenlaag blijven liggen. Afhankelijk van de oriëntatie van de windrichting kan de combinatie van platte daken en hevige wind leiden tot plaatselijk verhoogde waterstanden of water dat van het dak wordt geblazen. Er is echter geen aanleiding om een toeslagpercentage te rekenen op de neerslagintensiteit als gevolg van wind. De reden hiervoor is, op basis van de expertise van de werkgroep bij gebrek aan literatuur, dat het tegelijk optreden van hevige wind en hevige neerslag zeldzaam is. De kans op hevige neerslag én hevige wind resulteert naar verwachting in een herhalingstijd die kleiner is dan de herhalingstijden om de systemen (zonder rekening te houden met windinvloed) te ontwerpen.

Onderzoeksvraag 4:

Welke richtlijnen kunnen wij geven voor afwatering (reguliere afvoer- en overstortvoorziening) van **verschillende uitvoeringen van begroeide daken** voor opname in de NTR 3216?

Wij adviseren om de lijst met reductiefactoren voor het ontwerpen van reguliere hemelwaterafvoeren aan te vullen met de dakopbouw zoals beschreven in de (eind zomer 2021) vertaalde Duitse FLL-Dachbegrünungsrichtlinien. Verder adviseren wij om de test zoals beschreven in bijlage D van de NTA 8292 of bijlage B.4 van de FLL-Dachbegrünungsrichtlinien over te nemen in de NTR 3216. Deze test beschrijft op welke manier een reductiefactor kan worden bepaald voor daken met een afwijkende opbouw dan die in de NTR 3216 of (vertaalde) FLL-Dachbegrünungsrichtlinien is opgenomen. Deze reductiefactoren zijn enkel toepasbaar voor het ontwerp van reguliere hemelwaterafvoeren (binnen de afspraken van minimaal aantal hemelwaterafvoeren) en *niet* voor overstortvoorzieningen.



HOOFDSTUK 1 - INLEIDING

Het klimaat verandert. Het KNMI heeft prognoses gemaakt voor toekomstige neerslagintensiteiten en herhalingstijden voor vier klimaatscenario's. TVVL heeft Royal HaskoningDHV gevraagd om mee te denken over een aantal vraagstukken met betrekking tot klimaatverandering en water op platte daken. In de uitvraag heeft TVVL 7 vragen gesteld, die wij in dit rapport gebundeld hebben tot 4 vragen, die we in 4 hoofdstukken behandelen.

De opzet van dit rapport is als volgt: Ieder hoofdstuk begint met de onderzoek(deel)vraag, waarna er direct antwoord wordt gegeven op deze onderzoeksvraag. In de laatste paragraaf van ieder hoofdstuk volgt een uitgebreidere onderbouwing.

Hoofdstuk 2 beschrijft de neerslagintensiteit van het toekomstige scenario WH2050. Hoofdstuk 3 gaat in op de methode waarmee de afvoercapaciteit kan worden berekend in systemen van overlaatstroming en UV-systemen onder specifieke condities. In hoofdstuk 4 beantwoorden wij de vraag welke invloed wind op neerslag heeft en welke invloed de wind op de waterlagen heeft op reguliere en groene daken. Dit rapport sluit af met hoofdstuk 5, waarin we nader ingaan op richtlijnen voor verschillende uitvoeringen van groene daken. Bijlage 1a en 1b bevatten een verkennende berekening over de impact van de toekomstige neerslagintensiteit. Bijlage 2 bevat de afvoercapaciteitsmethode bij een stuwhoogte kleiner dan het grensdebiet bij overlaatstroming volgens ST 48-1. Bijlage 3 bevat een voorstel integraal ontwerpen van retentiedaken en -dekken.

Kader 1 Toelichting scope van deze rapportage

Constructieve veiligheid

De bovenstaande vragen die dit rapport beantwoordt, grenzen aan de constructieve veiligheid van het dak. Constructieve veiligheid heeft een sterk verband met dit onderzoek, maar dit is niet de focus van deze rapportage. Dit rapport is vooral ter ondersteuning van installatietechnische ontwerpers en dakleveranciers, niet voor constructeurs.

Dakfalen

Daarnaast moeten we opmerken dat bij zware of kleine daken nauwelijks dakfalen optreedt. Het zijn met name grote, lichte daken waar dakfalen als gevolg van doorbuiging van het dak optreedt. Water dat op een doorgebogen dak valt, stroomt lokaal af naar het laagste punt, wat voor extra belasting zorgt en de kans op falen ter plekke van de doorbuiging vergroot.

Tot slot was er binnen de werkgroep discussie over de naamgeving 'noodoverstort', 'noodafvoer' en 'overstortvoorziening'. Hieronder zijn deze termen toegelicht. Deze definities komen uit de NTR 3216: 2018.

- Noodafvoervoorzieningen zijn noodzakelijk voor de constructieve veiligheid van daken (draagkracht van de dakconstructie bij het verschijnsel wateraccumulatie). De berekeningen voor de plaats, de hoogte en de afmetingen/capaciteit van noodafvoeren worden uitgevoerd door de constructeur.
- Overstortvoorzieningen moeten, waar noodafvoeren voor de constructieve veiligheid niet nodig zijn volgens de constructeur, zorgen dat bij stagnatie van het reguliere hemelwaterafvoersysteem het hemelwater op een veilige wijze, zonder waterschade kan worden afgevoerd. Voor overstortvoorzieningen kunnen in principe dezelfde eisen worden gehanteerd als die voor noodafvoeren.



VERANTWOORDING

Aan de totstandkoming van deze rapportage van de TVVL Expertgroep Sanitaire Technieken hebben meegewerkt:

Begeleidingscommissie:

Eric van der Blom, Techniek Nederland (projectleider)
Leen Baijense, Dyka
Marc Buitenhuis, Alliaxis
Onno Leevers, Leevers installatie adviseurs B.V.
Chris van der Meijden, KIWA
René Offringa, Wavin
Erik Reumer, ERadvies
Henk-Jan Rijnveld, Sanitair-Installatie Hoogendoorn B.V.
Will Scheffer
Rob Steltenpohl, Optigrün
Henk Vlijm, Optigrün
Hank Wes, Geberit
Simon Wijte, adviesbureau Hageman
Wouter Stapel, Royal HaskoningDHV

Het project is financieel mede mogelijk gemaakt door Techniek Nederland

Auteur(s)

Timon Huijzendveld, Royal HaskoningDHV

Datum
Gewijzigd

29 november 2021
-





HOOFDSTUK 2 - REGENINTENSITEIT KNMI KLIMAATSCENARIO'S

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beantwoordt de volgende vraagstelling:

- Met welke regenintensiteit moet de NEN 3215/NTR 3216 rekening houden bij reguliere hemelwaterafvoersystemen en overstortsystemen afgestemd op de klimaatscenario's voor 2050?

Hieronder volgt een bondige beantwoording op de vraagstelling, gevolgd door onderbouwing.

2.2 Resultaten: neerslagintensiteiten voor klimaatscenario's

Op drie manieren is de intensiteit bij een neerslagduur van 5 minuten berekend voor de middelste twee klimaatscenario's (GH en WL). Hierbij geven alle methodes een range aan neerslagintensiteiten. Op alle manieren komen we op ongeveer dezelfde neerslagintensiteiten uit. Gezien de kennis van het KNMI adviseren wij om hun neerslagintensiteiten aan te houden. Verder adviseren wij om de neerslagintensiteiten voor 2050 te hanteren bij het ontwerpen van een reguliere of overstortvoorziening.

Namens de werkgroep (uitgevoerd door R. Offringa) is een verkenning uitgevoerd op basis van een berekening om de impact van een hogere neerslagintensiteit op de waterspiegel te bepalen voor reguliere en overstortafvoeren op een plat dak. Uit deze berekeningen bleek dat bij de hierbij gehanteerde uitgangspunten de afmeting van het dak van groot belang is voor de impact op de waterspiegel. Voor de overstortafvoeren is berekend dat bij een afstand van 30 m tussen laagste lijnen van het dak en een neerslagintensiteit van $0,069 \text{ l/s/m}^2$ (bovengrens neerslagintensiteit voor ontwerp overstortsystemen 2050) i.p.v. $0,05 \text{ l/s/m}^2$, de waterspiegel slechts met één millimeter toeneemt. Bij dezelfde toename van neerslagintensiteit en een afstand van meer dan 30 m (in het rekenvoorbeeld 60 m), neemt de waterspiegel toe met 17 mm (zie verder bijlage 1 en de toelichting in onderstaande paragraaf). Daarbij moet worden aangetekend dat de voorbeeldberekeningen betrekking hebben op de toepassing van UV-systemen.

Om direct antwoord te geven op de vraagstelling van dit hoofdstuk is één neerslagintensiteit voor reguliere hemelwaterafvoersystemen bepaald en één voor overstortsystemen. Dit is in overleg met de werkgroep gebeurt.

Tabel 1 Geadviseerde ontwerpintensiteiten

	Huidige norm neerslagintensiteit (l/s/m^2)	Voorstel ontwerpintensiteit 2050 scenario's (l/s/m^2)
Ontwerpintensiteit reguliere hemelwaterafvoersystemen (T=5)	0,03	0,037
Ontwerpintensiteit overstortsystemen T=50	0,05	0,060

We kozen de ondergrens om een aantal redenen:

- Gezien de onzekerheid van de neerslagintensiteit in 2050 en het willen voorkomen van overdimensionering, kozen we om de ondergrens van de 2050 neerslagintensiteit-range aan te houden.
- De ondergrenzen van 2050 en 2085 komen vrijwel overeen. Door de keuze van de ondergrens houden we ook gedeeltelijk rekening met het 2085 scenario.
- Uit de verkennende berekening lijkt de impact van neerslagintensiteit beperkt.



Verder adviseren wij een herziening of heroverweging van deze neerslagintensiteiten na een periode van 5 jaar, of wanneer het KNMI haar klimaatscenario's en toekomstige neerslagprognoses aanpast.

Op deze manier loopt de ontwerpneerslagintensiteit mee met de meest recente neerslagstatistiek.

Tot slot is het goed om te realiseren dat een wijziging van ontwerpneerslagintensiteit met name invloed heeft op toekomstig te bouwen daken. Voor bestaande daken heeft een wijziging in neerslagintensiteit ook gevolgen; voor bestaande gebouwen zal de veranderende neerslagintensiteit niet direct leiden tot een aanpassing van het dak en haar afvoeren.

2.3 Hydraulische onderbouwing

De huidige maatgevende neerslagintensiteit (NTR 3216:2018) waarmee reguliere hemelwaterafvoer- en overstortsystemen worden berekend, is die van 5 minuten van T=5 met een intensiteit van 0,03 l/s/m² (reguliere afvoer) en 5 minuten van T=50 met een intensiteit van 0,05 l/s/m² (voor overstortsystemen).

Voor het berekenen van toekomstige neerslagintensiteit van 5 minuten voor T=5 en T=50 zijn drie methodes gebruikt, die we hieronder toelichten.

KNMI data

Het KNMI heeft in 2019 nieuwe neerslagdata gerapporteerd (o.a. vastgelegd in STOWA 2019-19¹). Idealiter zouden we deze neerslagstatistiek direct willen overnemen, om te komen tot de 5-minuten neerslagduur van T= 5 en T=50. Echter, bij navraag bij het KNMI blijkt dat het KNMI al sinds de jaren 90 van de vorige eeuw geen 5-minuten neerslagduur meer rapporteert. In de periode voor 1990 mat het KNMI met een analoge meter, waaruit ook de 5 minuten neerslagduur werd berekend. Sinds 1990 is het KNMI overgegaan op digitale metingen, waarbij zij per minuut meet, maar de neerslagstatistiek wordt bepaald vanaf de 10 minuten neerslagduur.

Het is dus noodzakelijk om met de neerslagstatistiek die wel beschikbaar is terug te rekenen naar 5-minuten neerslagduur. Hierbij moeten we opmerken dat in ST 48-4 (bladzijde 38) het KNMI de 5 minuten neerslagduur rapporteert. Het is onduidelijk waar deze getallen exact vandaan komen. Deze 5 minuten neerslagduur (uit ST 48-4) gebruiken we overigens in de tweede methode om de neerslagduur te berekenen. We beginnen echter met de methode zoals voorgesteld door het KNMI.

Verandering vastleggen 5 minuten neerslagduur

Het KNMI heeft aangegeven dat er een redelijk simpele manier is om van de 10-minuten neerslagduur naar de 5-minuten neerslagduur terug te rekenen. Uit de tijd dat zij nog wel 5-minuten neerslagduur rapporteerde, bleek het onderlinge verschil tussen 5 en 10-minuten neerslagduur een factor 0,7 (zie ook KNMI Technische rapportage 295 'Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren' uit 2007, bladzijde 13). De omrekenfactor is volgens het KNMI betrouwbaar genoeg om te gebruiken met de huidige neerslagstatistiek.

¹ Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019; STOWA 2019-19; 2019



Deze omrekenfactor is gebruikt in combinatie met de neerslagstatistiek voor 10-minuten neerslagduur van herhalingstijden $T=5$ en $T=50$ jaar, voor de klimaatscenario's GH en WL in 2050 en 2085 van STOWA 2019-19. De 'lower' scenario's bevatten het klimaatscenario met gematigde temperatuurstijging (G, + 1°C) en een hoge waarde voor verandering van luchtstromen (hoge waarden resulteren bijvoorbeeld in drogere zomers). De 'upper' scenario's bevatten een sterke temperatuurstijging (H, + 2°C) en een lage waarde voor verandering van luchtstromen.

Er is niet gerekend met het meest extreme scenario voor 2050 en 2085; dat zou 'WH' zijn. Op de vrij toegankelijke database (meteobase) van het KNMI was het WH-scenario voor korte neerslagduur niet opgenomen in de statistiek. De uitkomsten staan in onderstaande tabel.

Tabel 2 Neerslagintensiteiten gebaseerd op omrekenfactor op basis van advies KNMI

Scenario volgens STOWA 2019	KNMI '14 scenario	5 minuten neerslagintensiteit (l/s/m ²) voor T=5	5 minuten neerslagintensiteit (l/s/m ²) voor T=50
2050 'lower'	2050GH 'lower'	0,037	0,060
2050 'upper'	2050WL 'upper'	0,043	0,070
2085 'lower'	2085 GH 'lower'	0,037	0,061
2085 'upper'	2085 WL 'upper'	0,050	0,081

Neerslag-veranderingspercentage

Ten tweede is de veranderingsfactor gebruikt zoals gerapporteerd door STOWA (2019-19). De factor is per scenario in onderstaande tabel te zien. Hierbij zijn de klimaatscenario's gekozen waarvoor het KNMI op het internet (via meteobase) ook een neerslagstatistiek heeft gepubliceerd (scenario's GH en WL voor kortdurende buien).

In memo ST 48-4 (blz. 38) is de neerslagstatistiek opgenomen met een neerslagduur van 5 minuten. Deze is gebruikt om voor dezelfde scenario's uit Tabel 2 de aangepaste neerslagintensiteiten te berekenen met een 5 minuten neerslagduur.

Tabel 3 Neerslagstatistiek op basis van KNMI 2018 5 minuten neerslagduur vermenigvuldigd met neerslagverandering (STOWA 2019, tabel 1, blz. 199) voor 4 klimaatscenario's

Scenario volgens STOWA 2019	KNMI '14 scenario	Neerslag-verandering t.o.v. 2014 (%)	5 minuten neerslagintensiteit (l/s/m ²) voor T=5	5 minuten neerslagintensiteit (l/s/m ²) voor T=50
2050 'lower'	2050GH 'lower'	4,9	0,038	0,059
2050 'upper'	2050WL 'upper'	19,6	0,044	0,068
2085 'lower'	2085 GH 'lower'	7,2	0,039	0,061
2085 'upper'	2085 WL 'upper'	41,1	0,052	0,080

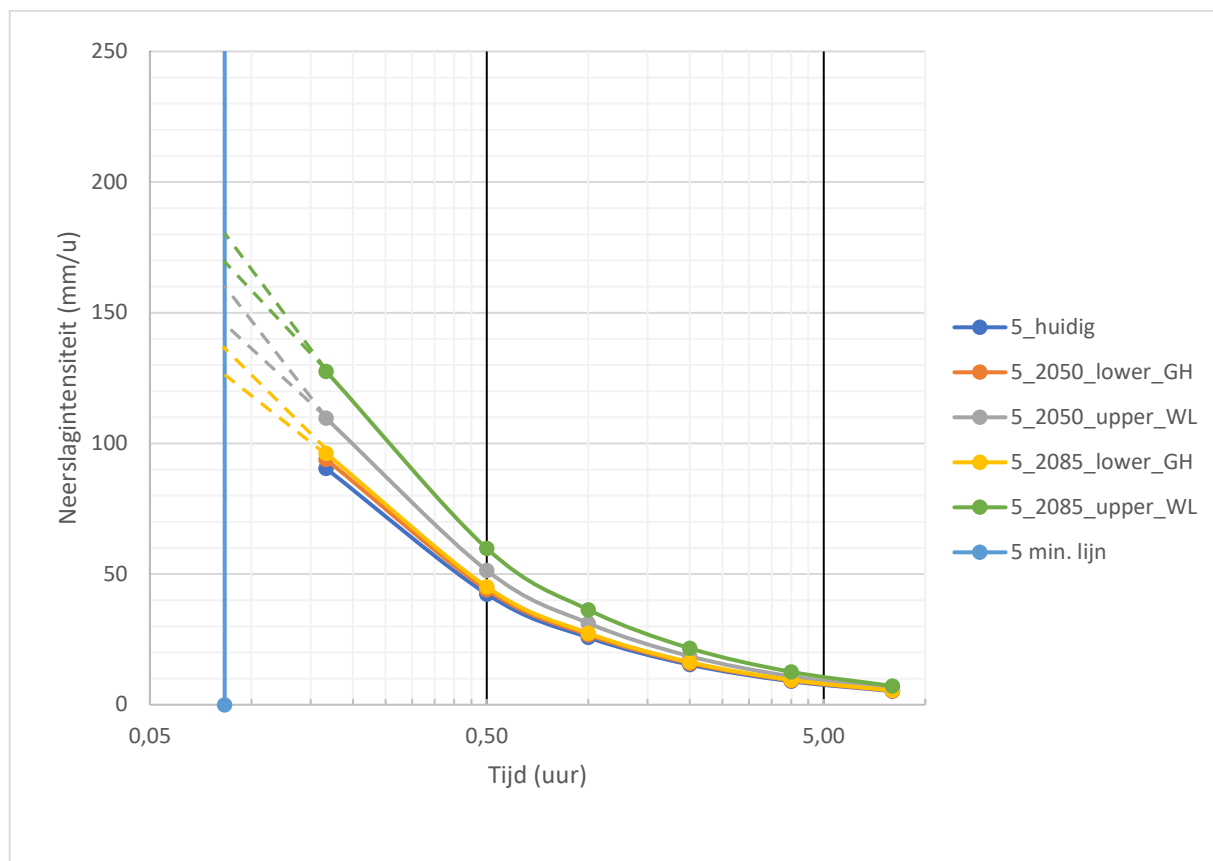


Dit resulteert in een variatie van neerslagintensiteiten, allen groter dan de huidige ontwerpneerslagintensiteit. Uit de tabel valt op dat de 'lower' scenario's voor T=5 in 2050 en 2085 vrijwel gelijk blijven (0,038 l/s/m² in 2050 naar 0,039 l/s/m² in 2085). Dit geldt ook voor de 'lower' scenario's van T=50 (0,059 l/s/m² in 2050 naar 0,061 l/s/m² in 2085). De 'upper' scenario's in 2050 en 2085 van T=5 (van 0,044 l/s/m² naar 0,052 l/s/m²) en T=50 (0,068 l/s/m² naar 0,080 l/s/m²) verschillen in grotere mate van elkaar.

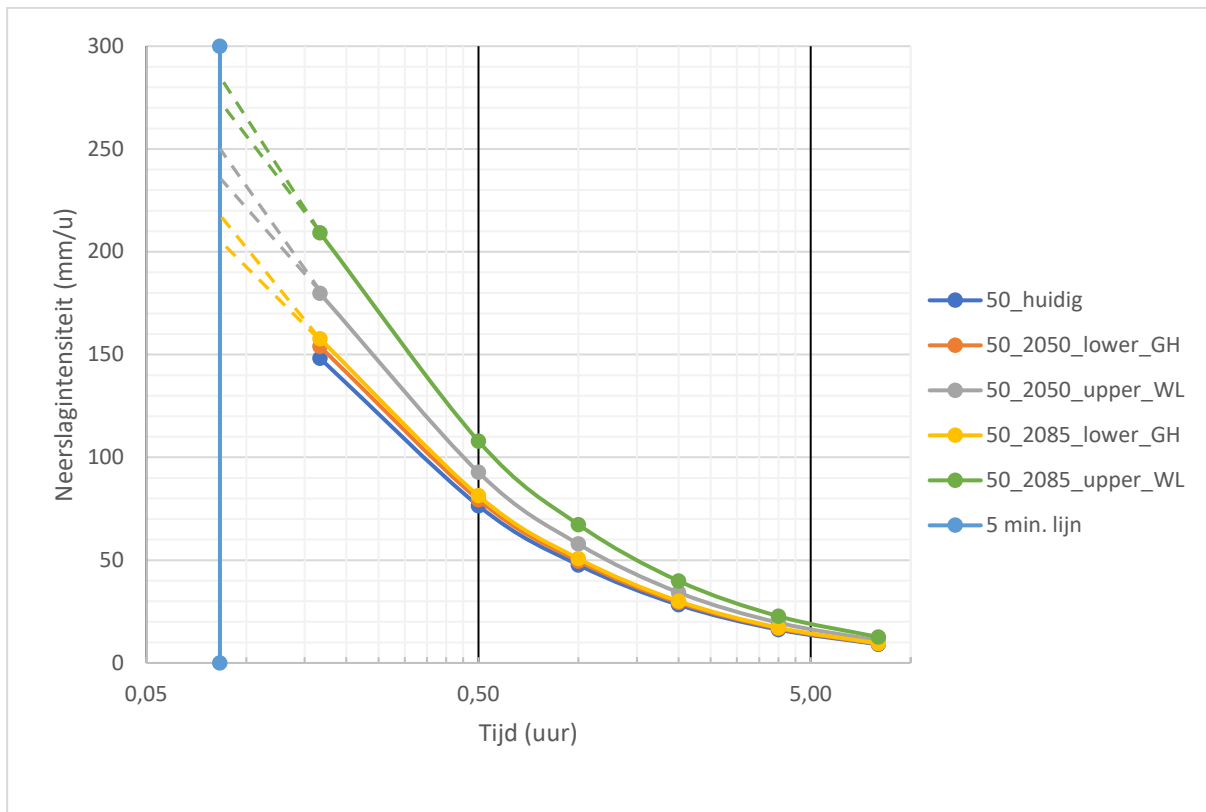
Grafische extrapolatie

De derde methode betreft een grafische extrapolatie van de bekende meetpunten, waarbij we aflezen wat de orde van grootte is van de neerslagintensiteit bij een neerslagduur van 5 minuten. Wederom is STOWA (2019-19) hiervoor de basis.

In onderstaande grafiek zijn de neerslagintensiteiten van T=5 voor 2050 en 2085 voor de beschouwde klimaatscenario's geplot op half logaritmische schaal (x-as is logaritmisch). Hierop is af te lezen wat de neerslagintensiteit is bij 5 minuten (ter hoogte van de blauwe lijn).



Figuur 1 Grafische extrapolatie voor T=5 van huidig, 2050 en 2085 klimaatscenario's



Figuur 2 Grafische extrapolatie voor T=50 van huidig, 2050 en 2085 klimaatscenario's

De resultaten van beide grafieken zijn in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 4 Samenvatting resultaten grafische extrapolatie T=5 en T=50 voor het huidige, 2050 en 2085 klimaatscenario GH en WL

	Huidige norm neerslagintensiteit (l/s/m ²)	Range 2050 scenario's (l/s/m ²)	Range 2085 scenario's (l/s/m ²)
T=5	0,03	0,034-0,044	0,038-0,050
T=50	0,05	0,057-0,069	0,061-0,079

De maximale waarden van bovenstaande intensiteiten komen goed overeen met de intensiteiten van de andere methodes. Doordat we de uitkomsten op drie manieren van zeer vergelijkbare neerslagintensiteiten bereiken, hebben wij daar vertrouwen in. Wel is het belangrijk om te vermelden dat dit geen waterdichte, wetenschappelijke benadering is van de 5 minuten neerslagduur.



Verkenning impact van toename neerslagintensiteit

Namens de werkgroep (uitgevoerd door R. Offringa) is een verkenning gedaan naar de impact van hogere neerslagintensiteiten op de waterlaag op een plat dak. De berekeningen zijn toegevoegd aan bijlage 1a. Hiervoor hanteerden we de volgende uitgangspunten:

	Berekening 1	Berekening 2	Berekening 3
Neerslagintensiteit	T=50: 0,069 l/s/m ² in 5 minuten		
Afmeting dak	Breedte: 30m; lengte: 20m	Breedte: 30m; lengte: 20m	Breedte: 60m; lengte: 20m
Type afvoer	Reguliere afvoer, overstortafvoer ongebruikt	Alleen gebruik overstortafvoer, reguliere afvoer verstopt	Alleen gebruik overstortafvoer, reguliere afvoer verstopt
Schematisering afvoer	Geen concentratietijd, constante en maximale afvoer	Geen concentratietijd, 2 afvoerdebieten, één voordat stuwhoogte bereikt is (15 l/s) en één na bereiken stuwhoogte (30 l/s)	Geen concentratietijd, 2 afvoerdebieten, één voordat stuwhoogte bereikt is (30 l/s) en één na bereiken stuwhoogte (60 l/s)
Startsituatie dak	Dak is watervrij	Dak gevuld tot 50mm (dit is drempelhoogte overstortafvoer)	Dak gevuld tot 50mm (dit is drempelhoogte overstortafvoer)

Uit deze verkennende berekeningen trekken we de volgende conclusies:

1. In de eerste berekening wordt enkel gebruik gemaakt van de reguliere afvoer, terwijl het water wel stijgt tot het niveau waarop de overstortafvoer in werking zou treden. De waterspiegel stijgt tot 9,1 cm.
2. In de tweede berekening, waar gerekend is met enkel de overstortafvoer zonder de reguliere afvoer, is nauwelijks een hogere waterspiegel berekend (toename van 1 mm) waarbij de waterspiegel stijgt tot 10,1 cm.
3. In de derde berekening wordt met een groter dak gerekend (60 m breedte i.p.v. 30 m). Hier neemt de waterspiegel toe met 17 mm, tot een hoogte van 11,7 cm.
4. Uit de verkennende berekening blijkt dat de toename van neerslagintensiteit niet direct/altijd tot problemen leidt.

Daarbij moet worden aangetekend dat de voorbeeldberekeningen betrekking hebben op de toepassing van UV-systemen.

In bovenstaande berekeningen neemt de regenintensiteit bijna 40% toe (van 0,05 naar 0,069). Desondanks heeft (in deze berekeningen) de toename in regenintensiteit maar beperkt invloed op de maximale waterspiegel. Dit is te verklaren door de berging die beschikbaar is op het dak, tussen de drempelhoogte van de overstort en de stuwhoogte (de waterspiegel) waarbij de overstort zijn ontwerpcapaciteit bereikt.

N.B. bovenstaande berekeningsresultaten zijn tot stand gekomen met een aantal belangrijke aannames. Aanpassing van deze aannames kan leiden tot afwijkende conclusies over de impact van de toename van neerslagintensiteit.

Als toevoeging op bovengenoemde berekening is een schematisatie van de rekenmethodiek voor de opbouw van de waterlaag op een plat dak aangeleverd door W.J.H. Scheffer. Dit is opgenomen in bijlage 1b.



HOOFDSTUK 3 - REKENMETHODE CAPACITEIT DAKAFVOER

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beantwoordt de volgende vraagstelling:

1. Op welke manier kan de capaciteit van de dakafvoer/overstort worden berekend bij overlaatstroming en voor UV-systemen, bij een stuwhoogte kleiner dan die bij het grensdebiet?
2. Nemen we/de werkgroep de aanpassing op formule NEN-EN 1991-1-3+C1/NB (2011) over, zoals voorgesteld in de ST 48-1?
3. Hoe kijken we/de werkgroep aan tegen de verschillen tussen de Duitse, Belgische en Europese normen t.o.v. de Nederlandse normen, zoals beschreven in de ST 48-2?

Deze vragen worden één voor één beantwoord. Naar aanleiding van overleg met de werkgroep wordt dit hoofdstuk verder aangevuld/aangepast.

3.2 Afvoeren berekenen

Beantwoording vraag 1:

Wanneer de stuwhoogte kleiner is dan die bij het grensdebiet, kan de afvoercapaciteit op 2 manieren worden bepaald:

1. Met behulp van door de fabrikant aangeleverde grafieken en data. Dit is het geval bij UV-systemen en bijvoorbeeld kant-en-klare dakafvoeren of overstortvoorzieningen bij overlaatstroming die getest/gecertificeerd zijn volgens EN 1253-2.
2. Wanneer dakafvoeren of overstortvoorzieningen bij overlaatstroming niet getest/gecertificeerd zijn volgens EN 1253-2, beschrijft de ST 48-1 een stappenplan om dit door te rekenen. Dit is verder beschreven in paragraaf 3.3 en bijlage 2.

Beantwoording vraag 2:

Er is geconstateerd dat de formules voor het bepalen van de waterhoogte (H) en maximale afvoercapaciteit van noodafvoeren (en dus ook voor overstortvoorzieningen) in de vorm van een ronde steekafvoer bij overlaatstroming in de NEN-EN 1991-1-3+C1/NB (2011) (dit geldt ook voor de nieuwere NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019) gebaseerd is op twee plaatsingslocaties:

- Plaatsingslocatie c is gebruikt in de formule van de waterhoogte (H) boven de overstortvoorziening;
- Plaatsingslocatie d is gebruikt in de formule van de maximale afvoercapaciteit (Q_{max}).

Er wordt geadviseerd om één plaatsingslocatie te kiezen voor het gebruik van beide formules. Gezien de eis voor een minimale afstand van 2 keer de middellijn van afvoerpunt ten opzichte van dakopstanden, sluit plaatsingslocatie c het beste aan.

Dit houdt in dat in de formule 7.6 uit de NEN-EN 1991 de (samengestelde) getalswaarde 2,5 wordt vervangen voor 2,92. De formule wordt dan:

$$Q_{h,max} = 2,92 d^{\frac{5}{2}}$$

Beantwoording vraag 3:

Er zijn verschillen geconstateerd tussen de Nederlandse en Europese normen, zoals ook beschreven in de ST 48-2. Hier adviseert de werkgroep echter niet tot aanpassingen van deze normen, omdat het onduidelijk is welke veiligheidsmarges worden gehanteerd in de Europese normen. Daarnaast is niet goed te overzien welk rimpeleffect het aanpassen/stroomlijnen van de Nederlandse en Europese normen heeft en welke andere formules hierdoor moeten worden aangepast.



Wel willen wij het belang benadrukken van het gebruik van de juiste normen, zowel voor Nederlandse bedrijven werkzaam aan projecten (daken) in het buitenland, als buitenlandse bedrijven die systemen/producten afzetten op de Nederlandse markt.

3.3 Hydraulische onderbouwing

Afvoercapaciteit bij stuwhoogte lager dan stuwhoogte grensdebiet bij overlaatstroming.

Voor de beantwoording van deze vraag definiëren we eerst de term 'grensdebiet'.

- Grensdebiet: het maximale debiet dat met 'vrije stroming' door een regulier hemelwatersysteem stroomt, zonder dat de drukken in de afvoer/standleiding verdwijnen en een instabiel stromingsbeeld ontstaat.

Er zijn situaties waarin de installateur/dakontwerper opdracht krijgt om met een kleinere stuwhoogte te rekenen dan die bij het grensdebiet. Als deze stuwhoogte lager is dan het grensdebiet (verhouding waterhoogte/diameter afvoerleiding, of H/d), geven de NEN 3215:2018 en NTR 3216: 2018 geen uitsluitel. Deze twee documenten geven alleen uitsluitel voor de afvoercapaciteit bij een verhouding $H/d=0.6$. Wanneer deze verhouding groter is dan 0.6 leidt dit tot onstabiele stroming, waardoor drukschommelingen ontstaan. Wanneer deze verhouding kleiner is dan 0.6, krijgen we een stuwhoogte die lager is dan de stuwhoogte bij het grensdebiet.

In dat geval zijn er de volgende mogelijkheden om de afvoercapaciteit te bepalen:

- De fabrikanten van UV-dakafvoeren/overstortvoorzieningen beschikken over (grafieken die het verband aangeven tussen de) stuwhoogte en de capaciteit, bepaald volgens EN 1253-2*). In de meeste gevallen worden de complete UV-systemen door de fabrikant berekend.
- De fabrikanten van dakafvoeren/overstortvoorzieningen bij overlaatstroming beschikken over tabellen die het verband aangeven tussen de stuwhoogte en de capaciteit, bepaald volgens EN 1253-2*
- Voor steekafvoeren als dakafvoer/overstortvoorziening bij overlaatstroming adviseert de werkgroep de ST-48-1 te volgen. Zie verder bijlage 2 of de ST 48-1.

* De plaatsingssituatie van de dak- of noodafvoer in de testopstelling van EN 1253-2 laat zich niet (direct) vergelijken met de plaatsingssituatie d en c uit het Achtergrondrapport 2.3 van NEN 3215 (zie Memo ST-48-1). Van een belemmering van instroming door opstaande dakranden is nauwelijks sprake, maar een belemmering van instroming door het rooster/bladvanger wordt wel bij de capaciteitstest betrokken. In NEN 3215:2018 en NEN EN 1991-1-3+C1/NB (2011) is dat laatste verdisconteerd in de keuze van respectievelijk plaatsingssituatie d (reguliere dakafvoeren) en c (noodafvoeren).

Aanpassing formule NEN EN 1991-1-3+C1+A1:2019

In de ST 48-1 wordt het volgende geconstateerd:

- Volgens NEN 3215 wordt voor de hemelwaterstandleiding bij overlaatstroming de plaatsingslocatie d gekozen bij het berekenen van de waterhoogte en afvoercapaciteit;
- In de NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019 wordt voor een noodafvoer (overstortvoorziening) met een ronde steekafvoer bij overlaatstroming in de formules zowel gebruik gemaakt van plaatsingslocatie c als d bij het berekenen van respectievelijk de waterhoogte (H) en afvoercapaciteit ($Q_{\max}$).

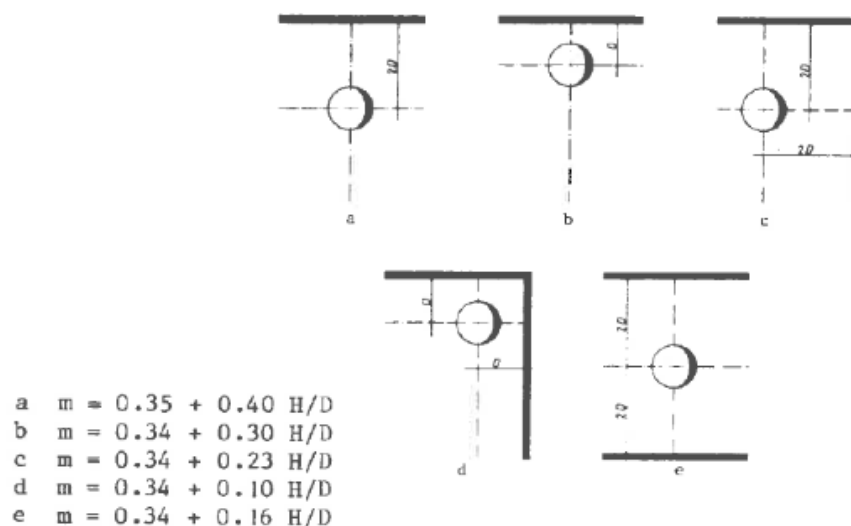


Voor hemelwaterstandleidingen (NEN3215, reguliere hemelwaterafvoer) is de meest ongunstigste plaatsingslocatie gebruikt: locatie d (zie ook Figuur 3). Dit staat verder niet ter discussie.

Voor de aanleg van noodafvoeren (overstortvoorzieningen) (NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019) is de volgende eis opgenomen:

- Afstand ronde afvoerpunt ten opzichte van dakopstanden > 2x middellijn afvoerpunt.

Dit sluit aan bij een plaatsingslocatie c. Het is daarom onlogisch dat de NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019 gebruik maakt van twee verschillende plaatsingslocaties voor het berekenen van de waterhoogte en de afvoercapaciteit. Gezien de hierboven beschreven eis van een afstand > 2x de middellijn van het afvoerpunt, wordt in de ST 48-1 geadviseerd om enkel plaatsingslocatie c te hanteren in de formules.



Dit leidt tot het volgende voorstel tot wijziging in de NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019: aanpassing van formule 7.6 zodat beide ontwerpformules voor een noodafvoer (overstortvoorziening) aansluiten op plaatsingslocatie c.

Hiervoor moet de formule 7.6 uit de NEN-EN 1991 worden gewijzigd naar:

$$Q_{h,u} = 4100 * F_r * F_g * d^{2.5} * 10^{-3} = 4100 * 1 * 0,713 * d^{2.5} * 10^{-3} = 2,92 d^{2.5}$$

Zie voor een uitgebreidere analyse en onderbouwing de memo ST 48-1 (W.J.H. Scheffer, 2020).

Vergelijking verschillen Duitse/Belgische/Europese normen met Nederlandse normen

In de ST 48-2 worden verschillen beschreven tussen het berekenen van de afvoer en de benodigde breedte/diameter van een rechte overlaat en steekafvoer volgens Europese normen (gehanteerd in Belgische en Duitse normen) en Nederlandse normen.

Voor een rechte overlaat vallen ons drie dingen op:

1. NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019 hanteert een overstortformule met een gebruikelijke coëfficiënt van 1,7. Na terugrekenen op basis van het voorbeeld op pagina 2 van de ST 48-2 blijkt dat de Europese norm een coëfficiënt van circa 1,32 gebruikt in de



- overstortformule. Hiermee wordt een conservatievere rekenmethode gehanteerd, die resulteert in een grotere overstortbreedte.
2. De schetsen van de twee voorbeelden laten situaties zien waarbij de stroomlijnen van elkaar verschillen. In de Europese norm komen de stroomlijnen parallel aan het dak aan en wordt er zonder 'muur' of opstaande rand overgestort. In het voorbeeld uit de NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019 is een opstaande rand te zien, waardoor het water theoretisch gezien een andere aanstroming krijgt.
 3. Bij nadere vergelijking van de formule, staat de formule ($b = Q_{\text{not}} \cdot 24000 / h^{1.5}$) verkeerd in de EN12056. In de EN12056 staat namelijk 2400, niet 24000. Als we deze formules vergelijken met de formule in de NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019, lijkt 24000 meer in dezelfde orde van grootte te vallen. Dit betreft zeer waarschijnlijk een typfout in de EN12056.

Beide constanten, in de NEN-EN 1991 en de Europese norm, zijn empirisch bepaald. Op het eerste gezicht heeft de Europese norm een conservatievere aanpak gekozen i.v.m. de NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019.

Voor de berekening van de diameter van een nood-steekafvoer vallen de volgende zaken op:

- De Europese norm gebruikt een coëfficiënt van 1 voor instroming zonder belemmering, en een coëfficiënt van 0,5 voor gebruik van een rooster. Nederlandse normen gebruiken plaatsingslocaties c of d in de berekeningen.
- De Europese norm gebruikt een andere coëfficiënt in vergelijking tot de NEN 3215 en NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019.

De aanbeveling van de werkgroep is om ondanks de verschillen geen aanpassingen te maken in de Europese of Nederlandse normen als gevolg van de onderlinge verschillen van de normen. Het is onbekend welke andere formules hier nog spelen en wat de exacte achtergrond en veiligheidsmarges zijn in de verschillende formules. Daarnaast is het ook onduidelijk welk rimpeleffect het aanpassen van deze formules heeft.

Wel adviseren wij oplettendheid bij niet-Nederlandse bedrijven die aan de Europese normen gewend zijn. Hetzelfde geldt voor Nederlandse bedrijven die in het buitenland aan de slag gaan; hier worden andere eisen en formules gehanteerd. Voor een uitgebreidere vergelijking van de hierboven beschreven formules verwijzen wij naar de ST 48-2 (W.J.H. Scheffer, 2020).



HOOFDSTUK 4 - INVLOED VAN WIND

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beantwoordt de volgende vraagstelling:

- Welke invloed heeft de wind op het gedrag van neerslag en de waterlaag bij een regulier overstortstelsel en een overstortstelsel op een begroeid dak. En of daar al dan niet een toeslagpercentage voor moet worden toegerekend?

4.2 Invloed van wind op de ontwerpneerslagintensiteiten

De omzetting naar concrete punten hebben wij onderverdeeld in twee categorieën: reguliere platte daken en begroeide daken.

Reguliere platte daken

Wind kan de waterlaag op een plat dak op twee manieren beïnvloeden:

Wind kan de neerslagintensiteit beïnvloeden. Dit betekent dat een deel van het dak een reductie van neerslag ervaart en een ander deel van het dak (mits het dak groot genoeg is en er aankleving van de luchtstroming plaatsvindt) een toename van neerslag. Afhankelijk van de windrichting kan deze toename op ieder deel van het dak vallen. In de literatuur wordt een mogelijke toename van 12% genoemd.

Daarnaast kan er sprake zijn van windopzet, waarbij de waterlaag wordt opgestuwd in de windrichting. De impact van windopzet op platte daken is vooral merkbaar bij hoge windsnelheden en bij ondiepe waterlagen. Afhankelijk van de oriëntatie van de windrichting kan dit leiden tot water dat over de nok van het dak wordt geblazen. Ook kan het water boven waterdichte rand van het dak uitkomen, het kan versneld afstromen naar de onderkant van het dak, en er kan opstuwing van water te zien zijn richting de afvoer en opstuwing in tegenovergestelde richting van de afvoer. In de huidige richtlijnen wordt geen correctiefactor voor windopzet genoemd.

Het is echter de vraag in hoeverre hevige wind en hevige neerslag tegelijkertijd voorkomen. In overeenstemming met een expertbeoordeling blijkt dit zeldzaam te zijn. Daarom gaan wij ervanuit dat wind de neerslagintensiteit niet versterkt, omdat het niet hard waait tijdens hevige neerslag. Na een bui kan hevige wind de waterlagen op het dak wel beïnvloeden. De reguliere en overstortvoorzieningen zouden over voldoende afvoercapaciteit moeten beschikken om deze waterlagen af te voeren. Wij adviseren om geen toeslagpercentage voor de neerslagintensiteit te rekenen.

Begroeide daken

Op een begroeid dak is de situatie anders. Bij extensief begroeide daken (sedum, kruiden, grassen tot maximaal 150mm dik dakbegroeiingssysteem) zal er vooral neerslag infiltreren in de substraatlaag en (deels) worden afgevoerd naar de daaronder liggende drainagelaag (zie verder hoofdstuk 5). Windopzet van de waterlaag is hier niet meer van toepassing omdat er geen waterlaag boven op het begroeide dak ontstaat die zodanig is dat de wind er vat op krijgt. Daarbij gaan we er vanuit dat de neerslag voldoende snel in de substraatlaag kan infiltreren.

Overigens is het bij buitenriolering gebruikelijk om in vlakke gebieden pas bij een T=100 bui met stroming over maaiveld te rekenen.



4.3 Discussie

Windopzet op begroeid dak?

Is het inderdaad niet realistisch om opbouw van een waterlaag op een begroeid dak te veronderstellen - zodanig dat hierbij sprake kan zijn van windopzet?

Statistiek van gelijktijdigheid van wind en hoge neerslagintensiteit

Indicatieve verkenning: Als er 50% kans is dat het hard waait bij extreme neerslag levert een T=25 neerslag gecombineerd met harde wind een T=50 gebeurtenis op.

- De T=25 neerslagintensiteit hebben wij bepaald op 180 mm/h (op basis van 21,3 mm in 10 minuten, geëxtrapoleerd naar 5 minuten op basis van de grafiek op dezelfde manier bepaald als in Figuur 1).
- Wanneer we deze T=25 neerslagintensiteit verhogen met 12%, resulteert dit in 201,6 mm/u. De huidige T=50 intensiteit voor 5 minuten bedraagt omgerekend 204 mm/u. Dit ligt in dezelfde orde van grote als de T=25 intensiteit met een toeslag van 12%.
- We hebben gekeken of het windklimaat ook hevig verandert in het WH2050 scenario. Mogelijk geeft dit nog nieuwe inzichten. Volgens onderzoek van het KNMI² verandert er echter weinig aan het windklimaat. In het scenario WH2050 neemt de gemiddelde windsnelheid toe met slechts 0,9%³.

Onzekerheid in gebruikte formule voor windopzet

Daarnaast wordt er in de formule voor windopzet gebruik gemaakt van een constante C1. Deze constante is afgeleid van constante C2, die weer is bepaald op basis van empirische waarden. C2 is bepaald voor grote oppervlaktewateren (zee, groot meer) en voor kanalen. Omdat deze constante niet is bepaald voor platte daken, hebben wij hiervoor de constante overgenomen van kanalen. Wat deze constante is op platte daken, is onbekend. De constante voor grote oppervlakken is groter dan voor kanalen. De verwachting is dat de constante voor platte daken dan verder afneemt. Hiermee neemt de windopzet ook af. De berekende windopzet betreft dus naar verwachting een maximum waarde of (lichte) overschatting. Dit is echter niet teruggevonden in de literatuur.

4.4 Hydraulische onderbouwing

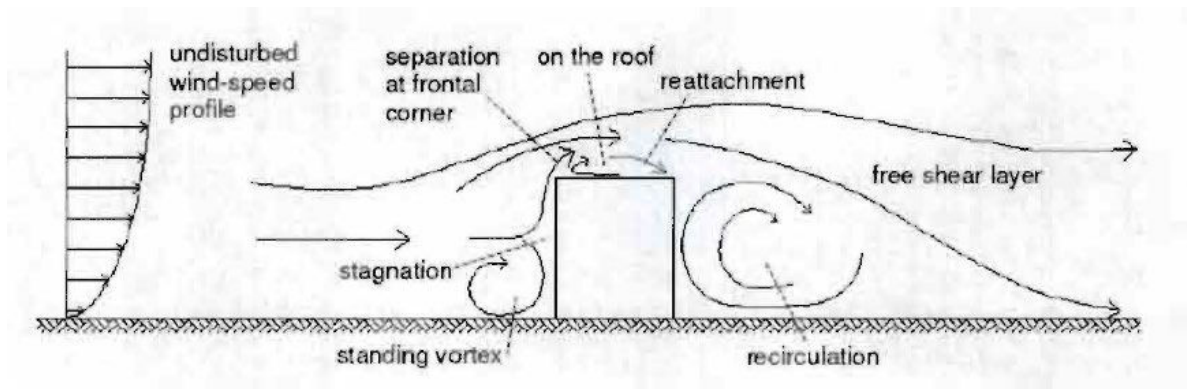
De invloed van wind op het gedrag van neerslag beschouwen wij hier als eerste. Daarna gaan we verder in op de invloed van wind op de waterlaag bij een regulier overstortstelsel en een overstortstelsel op een begroeid dak.

Invloed wind op neerslag: aankleving

De invloed van wind op neerslag op een dak wordt bepaald door het gedrag van de wind op het dak. Onderstaande figuur laat een schematisatie zien van de processen op het dak, voor en na het gebouw. Voor deze vraag beperken we ons enkel tot de processen op het dak.

² Bron: https://cdn.knmi.nl/system/ckeditor_assets/attachments/160/5_Wind_Andreas_KNMI21_23_20201116.pdf (bezoekt in maart 2021)

³ Bron: KNMI Klimaatscenario's voor Nederland '14 (herziene uitgave 2015), <https://knmiprojects.archiefweb.eu/?subsite=klimaatscenario's#archive>, bezocht in maart 2021)



4)

Zoals in dit figuur te zien is, ontstaan er wervelingen en 'separation at frontal corner' aan de bovenwindse kant van het dak. De wind 'botst' hier met het gebouw, waardoor de windrichtingen niet meer uniform zijn. Met andere woorden, aan de bovenwindse kant van het dak gaat de wind alle kanten op. Hierbij kan het (lichte en kleine) waterdruppels wegblazen, wat tot een reductie van de neerslag leidt. Als het dak lang genoeg is, kan er na een bepaalde afstand zogenaamde aankleving (of in het Engels "reattachment") plaatsvinden. Hierbij is de windrichting weer parallel aan het dak.⁵

Afhankelijk van de lengte van het dak, kan er wel of geen reattachement plaatsvinden. Eerst bepalen we of het gebouw kort of lang is.

Het gebouw is kort als $L/H < 2$; het gebouw is lang als $L/H > 2$.⁶

Voor korte gebouwen geldt:

$$\frac{x_r}{H} = \frac{L}{H} + \frac{A * \left(\frac{W}{H}\right)}{1,0 + B * \left(\frac{W}{H}\right)}$$

met

$$A = -2,0 + 3,7 * \left(\frac{L}{H}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ en } B = -0,15 + 0,305 * \left(\frac{L}{H}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Voor lange gebouwen is de verhouding L/H niet meer belangrijk. De formule is dan

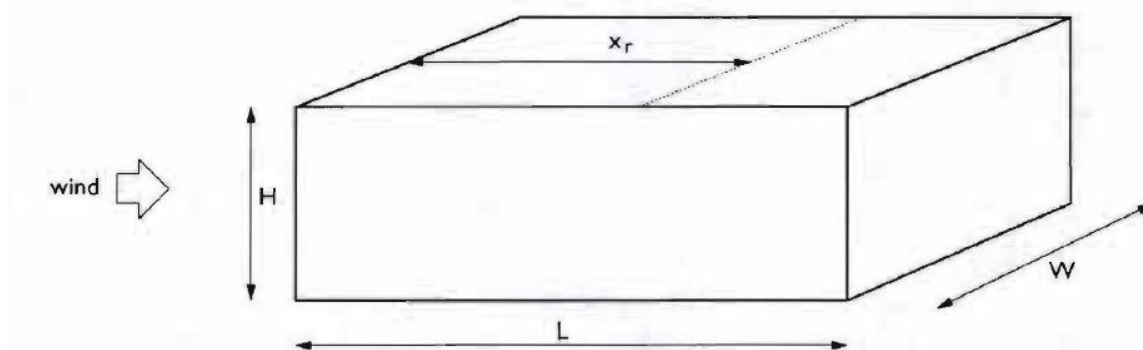
$$\frac{x_r}{H} = \frac{1,75 * \left(\frac{W}{H}\right)}{1,0 + 0,25 * \left(\frac{W}{H}\right)}$$

De benodigde variabelen worden in onderstaande figuur toegelicht.

⁴ Prof. Dr. Ir. M.H. de Wit; "Wind en zon in de gebouwde omgeving"; colledictaat 7S280 TU/e; Eindhoven; najaar 2004

⁵ Principes wervelingen op het dak volgens masterthesis J. de Borst (zie voetnoot 10)

⁶ Formules reattachement length: K.B. Schnelle, P.R. Dey; "Atmospheric dispersion modeling compliance guide"; McGrawHill Professional; 1999



Figuur 5 Benodigde variabelen om de aankleefflengte of reattachment length te berekenen (bron: thesis J. Borst (2010)⁷)

De eerste controle die kan worden gedaan om de invloed van wind op een dak te berekenen, is het uitrekenen of er aankleving plaatsvindt op een deel van het dak. Hoe groter dit deel van het dak, hoe waarschijnlijker het wordt dat neerslag weggeblazen van het eerste deel van het dak terecht komt op het dak na aankleving.

Op basis van onderzoek van Chang en Wu (2003)⁸ kan de neerslag na het aankleefpunt met circa 12% toenemen. Daarbij gaan we uit van het principe van behoud van massa, en dat al de weggewaarde neerslag voor het aankleefpunt terecht komt op het dak na aankleefpunt.

Invloed van wind op neerslag: horizontale regen

Wanneer een hoge gevel direct aansluit op een lagergelegen gebouw, kan de neerslagintensiteit op het lagergelegen dak worden beïnvloed door de gevel van het hoge gebouw. Onder bepaalde windrichtingen is het mogelijk dat de gevel water 'opvangt' en het via afstroming langs de gevel terecht komt op het lagergelegen dak. Wanneer het hoge gebouw aanzienlijke breedte en vooral hoogte heeft, kan de impact op het lagergelegen dak flink toenemen.

Een van de onzekerheden hierbij is de afstroomsnelheid via de gevel. Het is mogelijk dat de piekintensiteit van 5 minuten reeds verstreken is voordat de afstroming van de gevel voor een extra bijdrage zorgt aan de piekintensiteit op het lagergelegen dak.

In de NTR 3216:2018 (paragraaf 8.3.3) wordt rekening gehouden met aanregend oppervlak.

Invloed van wind op de waterlaag: windopzet

Daarnaast heeft wind op daken invloed op de waterstand. Zoals we op kleine schaal al zien op garagedaken, stuwt wind de waterlagen een bepaalde kant op. Windopzet van de waterlaag kan, afhankelijk van de windrichting en de indeling van het dak, leiden tot:

- Het over de nok blazen van water.
- Het uitkomen van water boven de waterdichte rand als gevolg van wind.
- Het versnellend afstromen van water door de wind die naar de onderkant van het dak waait. Hiermee wordt de waterlaagdikte bij de verzamelgoot vergroot, waarmee de afvoer van hemelwater wordt versneld.

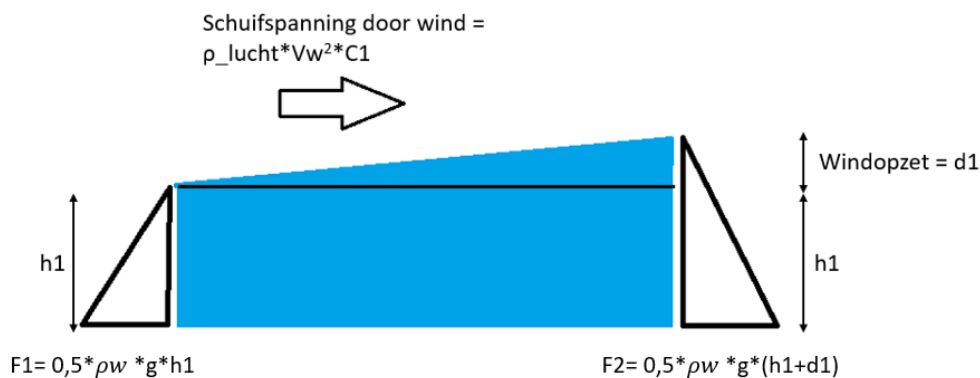
⁷ J. de Borst; "Een oriëntatie op het gedrag van waterlagen op platte daken"; master thesis; Tu/e; 2010

⁸ T.J. Chang, Y.T. Wu; "Wind driven rain distributions around street canopies"; American Water Resources Association; Journal of American Water Resources Association; june 2003; pagina 545 – 563.



- Het opstuwen van water richting het afvoerpunt. Ook hier wordt de afvoer van hemelwater versneld.
- Het opstuwen van water in de tegenovergestelde richting van het afvoerpunt, waarbij er meer water op het dak blijft liggen.

Om een gevoel te krijgen bij de impact van windopzet, is de situatie van een waterlaag op een dak geschematiseerd. Hierbij beschouwen we een strook van het dak, dat onder invloed van verschillende windsnelheden wordt opgestuwd. Zie onderstaande schets voor de schematisatie van het dak en de waterlaag.



Figuur 6 Schematische verdeling van krachten door waterlagen op een plat dak (afschot dak = 0%)

In evenwicht, en met een aanname voor C_1 (afgeleid van de constante voor kanalen), kunnen we bij een bepaalde lengte van het dak een opstuwing berekenen. Hierbij gaan we uit van de volgende parameters:

- Waterlaag op het dak aan bovenwindse zijde 3, 5 en 10 cm
- Dichtheid van lucht = $1,3 \text{ kg/m}^3$
- Dichtheid van water = 993 kg/m^3

Tabel 5 Rekenvoorbeeld met verschillende windsnelheden en waterdieptes van waterlagen op platte daken

Windsnelheid (V_w , m/s)	Indicatie windkracht (schaal van Beaufort)	Benedenwindse waterstand (in mm) bij bovenwindse waterdiepte (h_1) van		
		10cm	5 cm	3 cm
2	2 (zwak)	0,02 mm	0,1 mm	0,1 mm
5	3 (matig)	0,2 mm	0,3 mm	0,5 mm
10	5 (vrij krachtig)	0,6 mm	1,2 mm	2,0 mm
20	8 (stormachtig)	2,5 mm	4,9 mm	8,2 mm
30	11 (zeer zware storm)	5,5 mm	11,0 mm	18,4 mm

Uit deze versimpelde berekening blijkt dat de windopzet bij lage windsnelheden tot lage windopzet leidt (minder dan 1 mm). Bij hevige windsnelheden loopt de windopzet wel op tot circa 1 á 2 cm, afhankelijk van de waterdiepte van de laag op het platte dak.

Belangrijk om hierbij te vermelden: de gebruikte formules voor windopzet worden gebruikt voor berekeningen van windopzet in kanalen of grote oppervlaktewaterlichamen. Het is onbekend in hoeverre de formules de situatie op een plat dak goed beschrijven. De NTR bevat reductiefactoren voor vertraagde afvoer (o.a. afhankelijk van het soort dakbedekking).



Windopzet bij licht afschot

De meeste platte daken bevatten in werkelijkheid ook een licht afschot. Hierbij is een afschot van 1,6% gebruikelijk. Het maximale afschot, zoals berekend in Tabel 5 (afgerond 2 cm op 30 meter), bedraagt circa 0.067 %. Hieruit blijkt dat de orde van grootte van opstuwing door wind vele malen kleiner is dan het afschot van een 'plat' dak. We kunnen concluderen dat de impact van windopzet op de waterlaag beperkt is.

HOOFDSTUK 5 - AFWATERING VAN VERSCHILLENDE UITVOERINGEN BEGROEIDE PLATTE DAKEN

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beantwoordt de volgende vraagstelling:

- Welke richtlijnen kunnen wij geven voor afwatering (reguliere afvoer en overstortvoorziening) van verschillende uitvoeringen van begroeide daken voor opname in de NTR 3216?

5.2 Reductiefactor afvoercoëfficiënt van begroeide daken

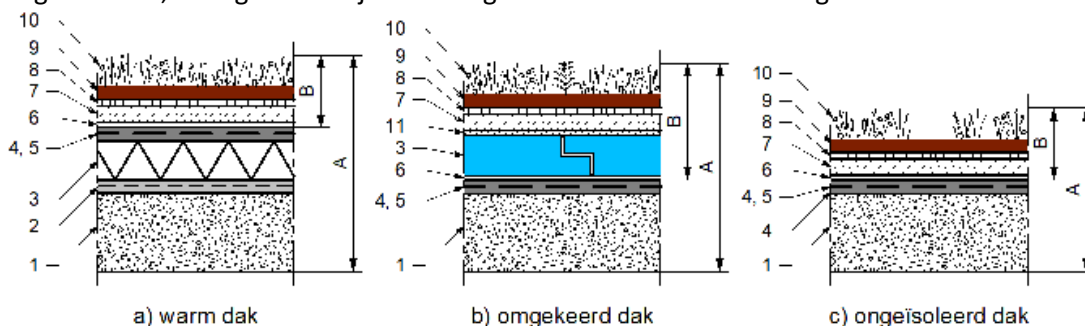
Door de grote variatie in uitvoeringen van begroeide daken is het belangrijk om begroeide daken op een uniforme manier te beschouwen. De NTR 3216 kent momenteel een reductiefactor toe aan de neerslagintensiteit voor het ontwerpen van het reguliere hemelwaterafvoersysteem volgens een aantal opbouwlagen. Dit betreft slechts een aantal variaties van begroeide daken.

De uit het Duits vertaalde FLL-Dachbegrünungsrichtlinien voegt voor een aantal type opbouwlagen hieraan meer reductiefactoren toe. Wij adviseren om deze over te nemen in de NTR 3216, of naar deze reductiefactoren te verwijzen. Mocht een begroeid dak dermate afwijken van de standaardopbouw, zoals beschreven in de NTR 3216 of (vertaalde) FLL-Dachbegrünungsrichtlinien, dan moet de dakopbouw worden getest voordat een reductiefactor mag worden toegekend. Deze test is beschreven in bijlage B.4 van de FLL-Dachbegrünungsrichtlinien en bijlage D van de NTA 8292. Voor een uniforme beoordeling van reductiefactoren bevelen wij aan om alle begroeide daken volgens deze test te beoordelen, mits deze niet binnen de standaarden van de NTR 3216 en (vertaalde) FLL-Dachbegrünungsrichtlinien vallen. De reductiefactor heeft invloed op het ontwerp van de reguliere hemelwaterafvoer, niet op het ontwerp van de overstortvoorziening.

In bijlage 3 van dit rapport is verder een uitgebreide beschrijving toegevoegd over het integraal ontwerpen van retentiedaken en -dekken. Dit was origineel geen deel van het onderzoek, maar is gedurende het verloop van het project tot stand gekomen.

5.3 Hydraulische onderbouwing

Voor het beantwoorden van deze vraag beschouwen we de standaard opbouw van een begroeid dak, zie Figuur 7. Vrijwel ieder groen dak bestaat uit de volgende elementen:



Figuur 7 Schematische opbouw van een begroeid dak (bron: NTA 8292:2016 (2016))

- | | |
|--------------------------|--------------------|
| A: Begroeid dak | 6. Bescherm laag |
| B: Dakbegroeiingssysteem | 7. Drainagelaag |
| 1. Onderconstructie | 8. Filterlaag |
| 2. Dampremmende laag | 9. Substraatlaag |
| 3. Isolatielaag | 10. Begroeiing |
| 4. Waterdichte laag | 11. Scheidingslaag |
| 5. Wortelwerende laag | |

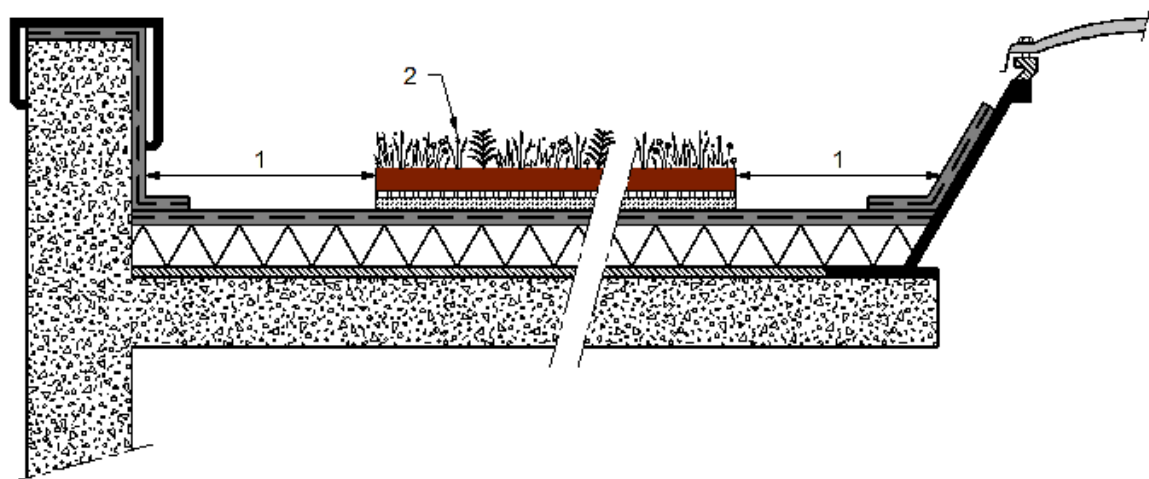
Een begroeid dak kan worden uitgevoerd als extensief of intensief begroeid dak. De opbouw zoals beschreven in Figuur 7 is voor veel begroeide daken representatief. Afhankelijk van het project en de daarin gestelde doelstellingen verschilt de samenstelling van een begroeid dak. Het ontwerpen zal gebeuren met inachtneming van richtlijnen zoals in de FLL-Dachbegrünungsrichtlinien, bij gebrek aan een Nederlands alternatief. Deze FLL-richtlijnen worden momenteel (voorjaar/zomer 2021) vertaald vanuit het Duits naar het Nederlands en worden naar verwachting in september 2021 uitgebracht door de VBB (Vereniging Bouwwerk Begroeners). De vertaling is in overeenstemming met de NEN-normen en eurocodes. Vanaf dat moment kan men deze vertaling gebruiken en daarnaar verwijzen.

De dakbelasting op de constructie is conform FLL-Dachbegrünungsrichtlinien onderverdeeld in twee categorieën:

1. Het gewicht van een systeem bij een droog volume;
2. Het gewicht van een systeem bij maximale watercapaciteit. Daarbij rekening houdend met een toename van het gewicht door extra water dat met afvoervertragende voorzieningen, in het kader van aanvullende waterretentie, in het systeem kan worden vastgehouden.

Afhankelijk van de leverancier en de opbouw van het dak kan dit gewicht aanzienlijk variëren. Dit zal de constructeur moeten meenemen in zijn eerste ontwerpen en berekeningen van de dakconstructie.

Bij ten minste de dakranden en dakonderbrekingen moet men vegetatievrije zones realiseren met een breedte van minimaal 0,5 m, zie ter illustratie onderstaand figuur. Het is een vrije keuze om rondom hemelwaterafvoeren eveneens een vegetatievrije zone te realiseren. Zo kan men de kans op ongewenste wortelgroei minimaliseren en daarnaast de zichtbaarheid optimaliseren.



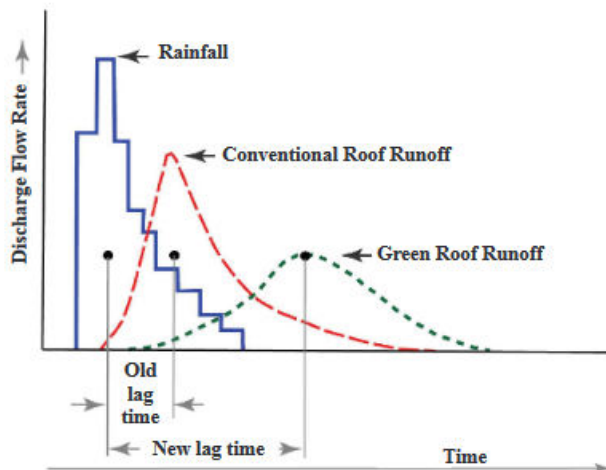
Figuur 8 Schematisatie van de vegetatievrije zone op een begroeid dak bij de dakrand (links) en bij de dakonderbreking (rechts). Met vegetatievrije zone (1) en dakbegroeiingssysteem (2) (bron: [NTA 8292: 2016 \(2016\)](#))

Andere afvoersnelheid

Bij onbegroeide platte daken valt de neerslag op het dak en stroomt het via de reguliere afvoer naar het hemelwaterriool. De gemiddelde tijd tussen het moment dat de neerslag op het dak valt en het moment dat de overtollige neerslag van het dak wordt afgevoerd via het hemelwaterafvoer (concentratie tijd) is beperkt. Wanneer de regen echter op een begroeid (retentie)dak valt, zal de neerslag eerst via de substraatlaag moeten infiltreren en dan via de filterlaag naar de drainagelaag worden afgevoerd (zie Figuur 9).



Uit gesprekken met een leverancier van dakbegroeiingssystemen (Optigrün) blijkt de waterdoorlatendheid in droge periodes vele malen beter dan een gemiddeld begroeid oppervlak, zoals een gazon op maaiveldniveau. Dit komt door de korrelige structuur van het substraat van een begroeid dak in combinatie met het geringe percentage organische stof. Hierdoor slaat een groen dak veel minder snel dicht na (extreme) droogte en blijft de infiltratie stabiel en relatief hoog.



Figuur 9 Afvoer- en neerslagcurve bij normale en groene daken (bron: <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/q2244.pdf>)

Afvoercoëfficiënt

De NTR 3216 hanteert voor een aantal type groene daken een reductiefactor om de neerslagintensiteit mee te verkleinen bij het ontwerpen van een regulier hemelwaterafvoersysteem. Deze zijn in onderstaande tabel weergegeven (bron: tabel 8.3 uit NTR 3216).

Tabel 6 Reductiefactor α voor verschillende type begroeide daken (bron: tabel 8.3 uit NTR 3216)

Regenintensiteit $i = 0,030 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$		α
Groen dak met dakhelling φ dikte substraatlaag d [cm]	$\varphi \leq 5^\circ$ met een substraatlaag van $4 < d \leq 6 \text{ cm}$	0,60
	$\varphi \leq 5^\circ$ met een substraatlaag van $6 < d \leq 10 \text{ cm}$	0,50
	$\varphi \leq 5^\circ$ met een substraatlaag van $10 < d \leq 15 \text{ cm}$	0,40
	$\varphi \leq 5^\circ$ met een substraatlaag van $d > 15 \text{ cm}$	0,30
	$5^\circ < \varphi \leq 45^\circ$ schuin groendak	0,75

Uit de vertaalde FLL-Dachbegrünungsrichtlinien volgen voor meerdere laagdiktes en dakhellingen aanvullende reductiefactoren. Deze zijn in Tabel 7 te zien.



Tabel 7 Reductiefactor C voor verschillende type begroeide daken (bron: 9.3.4 uit de vertaalde FLL-Dachbegrünungsrichtlinien 2018)

Laagdikte	Dakhelling $\leq 5^\circ$	Dakhelling $> 5^\circ$
<50cm	C = 0,1	-
>25 – 50 cm	C = 0,2	-
>15 – 25 cm	C = 0,3	-
>10 – 25 cm	C = 0,4	C = 0,5
>6 – 10 cm	C = 0,5	C = 0,6
>4 – 6 cm	C = 0,6	C = 0,7
>2 – 4 cm	C = 0,7	C = 0,8

Ook deze reductiefactor C kan worden gebruikt om de ontwerpneerslagintensiteit van reguliere hemelwaterafvoersystemen aan te passen. Wanneer de dakhelling afwijkt ($> 5^\circ$) moet er aan de hand van een test conform de vertaalde FLL-Dachbegrünungsrichtlinien een afvoercoëfficiënt worden bepaald. In bijlage B.4 van de vertaling van de FLL-Dachbegrünungsrichtlinien wordt dit nader toegelicht. Dit is de methode die in bijlage D van de NTA 8292 staat.

Door een breed scala aan type uitvoeringen van begroeide daken komt het vaak voor dat de producent van begroeide daken zelf een afvoercoëfficiënt levert. Deze afvoercoëfficiënt is vastgesteld conform de methode uit bijlage B.4 en bijlage D van respectievelijk de FLL en de NTA 8292 zoals hierboven beschreven.

Hiermee kan men een afvoervertraging realiseren, waardoor uiteindelijk het aantal reguliere hemelwaterafvoeren kan worden verlaagd, mits men aan de voorwaarden van de NTR 3216 voldoet. Het kan zijn dat de reguliere afvoer verstopt raakt of dat er om andere redenen niet voldoende hemelwater kan worden afgevoerd. In deze gevallen is het noodzakelijk om altijd één (of meerdere) overstortvoorziening(en) aan te leggen, conform de huidige regelgeving.

Waterretentiedaken

Nog sterker dan begroeide daken, is er een grote verscheidenheid in ontwerp, aanleg en uitvoering van waterretentiedaken. Om hier enige structuur in aan te brengen is in bijlage 3 een voorstel opgenomen voor richtlijnen bij het ontwerpen en aanleggen van waterretentiedaken.



BIJLAGEN

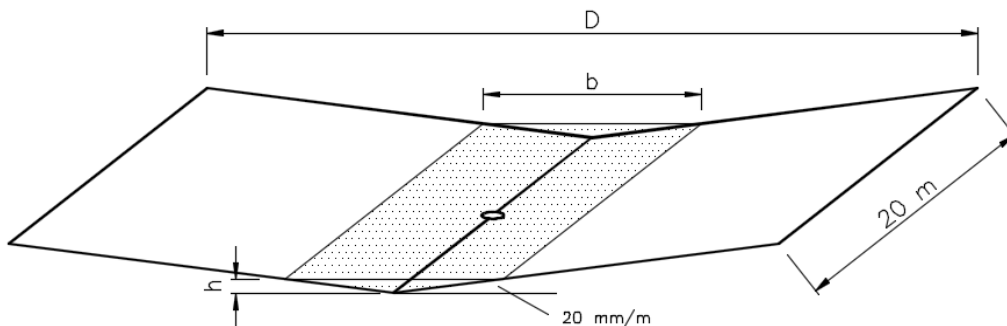
Bijlage 1a: Memo bepaling waterniveau op plat dak

Voor het maken van een inschatting van de waterhoogte bij een T50 bui gaan we uit van een plat dak met een afschot van 20 mm/m. Het beschouwde oppervlak heeft een breedte van D m en een lengte van 20 m (20 m is de maximale afstand tussen twee dakafvoeren).

We bekijken 3 situaties; 1 situatie waarbij de dakafvoeren werken volgens het ontwerp en 2 situaties waarbij de dakafvoeren nagenoeg geheel verstopt zijn en al het water dus via het overstortstelsysteem moet worden afgevoerd.

1. Afvoer via primaire HWA-systeem

We gaan uit van een 'toekomstige' T50 bui van $0,069 \text{ l/s/m}^2$. Waarschijnlijk komt deze niet zomaar uit de lucht vallen, maar zal er vooraf al enige tijd regen zijn gevallen. Wij gaan er vanuit dat het vooraf gevallen regenwater redelijk is afgevoerd en het dak dus nagenoeg watervrij is op het begin van de T50 bui. Voorts gaan we er vanuit dat er geen concentratietijd is en dat de afvoer direct start na het begin van de T50 bui en dat geen water wordt afgevoerd via de overstortafvoer.



We gaan uit van een $D = 30 \text{ m}$.

Het HWA-systeem is uitgelegd om een $Q_a = 20 \times 30 \times 0,03 \times 0,75 = 13,5 \text{ l/s}$ af te voeren.

In 5 minuten wordt er dan 4.050 liter afgevoerd.

In 5 minuten is de aanvoer $5 \times 60 \times 20 \times 30 \times 0,069 = 12.420 \text{ liter}$.

Er blijft na 5 minuten dus 8.370 liter op het dak achter. Deze hoeveelheid zal in circa 10 minuten zijn afgevoerd.

$V = 10.000 \times h^2 \text{ dm}^3$. Dus $h = \sqrt{8.370 / 10.000} = 0,91 \text{ dm}$.

De totale waterhoeveelheid van 8.370 liter die na 5 minuten op het dak staat, geeft op het deel waar het water staat een gemiddelde belasting van $8.370 / 182 = 46 \text{ kg/m}^2$. 1 m ter weerszijden van de laagste lijn is dit circa 2x zoveel.

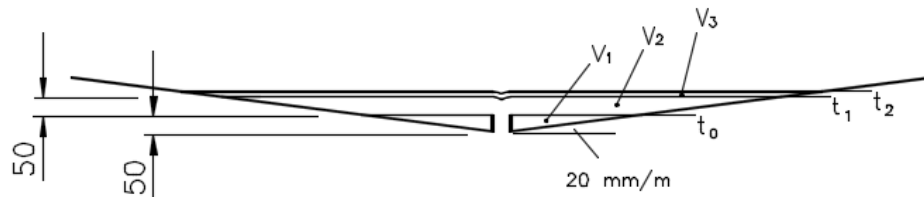
2. Afvoer via de overstortafvoer, $D = 30 \text{ m}$

We gaan uit van een 'toekomstige' T50 bui van $0,069 \text{ l/s/m}^2$.

De primaire dakafvoeren zitten verstopt. Bij het begin van de bui staat er water tot aan de overstortafvoer. Deze zit op een hoogte van 50 mm (dit is de drempelhoogte).



We gaan uit van een situatie waarbij de dakafvoeren nagenoeg geheel verstopt zijn en al het water dus via het overstortstelsysteem moet worden afgevoerd.



- t_0 – start van de 5 minuten bui, overstort werkt op halve capaciteit
- t_1 – waterspiegel bereikt stuwhoogte, overstort werkt op volle capaciteit
- t_2 – einde van de 5 minuten bui, maximale waterspiegel

De overstortafvoer is uitgelegd om een $Q_a = 20 \times 30 \times 0,05 = 30$ l/s af te voeren. De volle capaciteit wordt bereikt bij een zekere stuwhoogte; in dit rekenvoorbeeld gaan we uit van een stuwhoogte van 50 mm.

De toevoer is $20 \times 30 \times 0,069 = 41,4$ l/s.

Zolang de stuwhoogte van 50 mm niet is bereikt, zal de afvoer lager zijn dan de ontwerpafvoer van 30 l/s. Wij nemen aan dat de afvoer gemiddeld 15 l/s is, zolang de stuwhoogte niet is bereikt.

Volume V_2 , het volume tussen de aanvankelijke waterspiegel en de stuwhoogte, wordt als volgt bepaald:

$$V_1 + V_2 = 10.000 \times 1^2 = 10.000 \text{ dm}^3.$$

$$V_1 = 10.000 \times 0,5^2 = 2.500 \text{ dm}^3.$$

$$V_2 = 10.000 - 2.500 = 7.500 \text{ dm}^3.$$

De stuwhoogte wordt bereikt in $7.500 / (41,4 - 15) = 7.500 / 26,4 = 284$ sec.

In 284 sec wordt $284 \times 15 = 4.260$ liter water afgevoerd.

In de resterende 16 sec (van de 5 minuten) wordt $16 \times 30 = 480$ liter afgevoerd.

Dus is er na 5 minuten een overschot van

$$(5 \times 60 \times 41,4) - 7.500 - 4.260 - 480 = 12.420 - 7.500 - 4.260 - 480 = 180 \text{ liter}.$$

Dit overschot wordt opgeslagen in V_3 .

$$V_1 + V_2 + V_3 = 10.000 \times h^2 = 2.500 + 7.500 + 180 = 10.180 \text{ dm}^3.$$

$$h = \sqrt{10.180 / 10.000} = \sqrt{1,018} = 1,009 \text{ dm} (\approx 101 \text{ mm}).$$

Het waterpeil bij de stuwhoogte is 100 mm. Dus aan het einde van de bui van 5 minuten staat het water 1 mm hoger dan het waterpeil stuwhoogte.

3. Afvoer via de overstortafvoer, $D = 60$ m

We gaan uit van een 'toekomstige' T50 bui van $0,069$ l/s/m².

De primaire dakafvoeren zitten verstopt, bij het begin van de bui staat er water tot aan de overstortafvoer. Deze zit op een hoogte van 50 mm (dit is de drempelhoogte).

We gaan uit van een situatie waarbij de dakafvoeren nagenoeg geheel verstopt zijn en al het water dus via het overstortstelsysteem moet worden afgevoerd.



De overstortafvoer is uitgelegd om een $Q_a = 20 \times 60 \times 0,05 = 60$ l/s af te voeren. De volle capaciteit wordt bereikt bij een zekere stuwhoogte. In dit rekenvoorbeeld gaan we uit van een stuwhoogte van 50 mm.

De toevoer is $20 \times 60 \times 0,069 = 82,8$ l/s.

Zolang de stuwhoogte van 50 mm niet is bereikt, zal de afvoer lager zijn dan de ontwerpafvoer van 60 l/s. Wij nemen aan dat de afvoer gemiddeld 30 l/s is, zolang de stuwhoogte niet is bereikt.

Volume V_2 , het volume tussen de aanvankelijke waterspiegel en de stuwhoogte, wordt als volgt bepaald:

$$V_1 + V_2 = 10.000 \times 1^2 = 10.000 \text{ dm}^3.$$

$$V_1 = 10.000 \times 0,5^2 = 2.500 \text{ dm}^3.$$

$$V_2 = 10.000 - 2.500 = 7.500 \text{ dm}^3.$$

De stuwhoogte wordt bereikt in $7.500 / (82,8 - 30) = 7.500 / 52,8 = 142$ sec.

In 142 sec wordt $142 \times 30 = 4.260$ liter afgevoerd.

In de resterende 158 sec (van de 5 minuten) wordt $158 \times 60 = 9.480$ liter afgevoerd.

Dus is er na 5 minuten een overschot van

$(5 \times 60 \times 82,8) - 7.500 - 4.260 - 9.480 = 24.840 - 7.500 - 4.260 - 9.480 = 3.600$ liter. Dit overschot wordt opgeslagen in V_3 .

$$V_1 + V_2 + V_3 = 10.000 \times h^2 = 2.500 + 7.500 + 3.600 = 13.600 \text{ dm}^3.$$

$$h = \sqrt{13.600 / 10.000} = \sqrt{1,36} = 1,17 \text{ dm} (= 117 \text{ mm}).$$

Het waterpeil bij de stuwhoogte is 100 mm. Dus aan het eind van de bui van 5 minuten staat het water 17 mm hoger dan het waterpeil stuwhoogte.

Formules

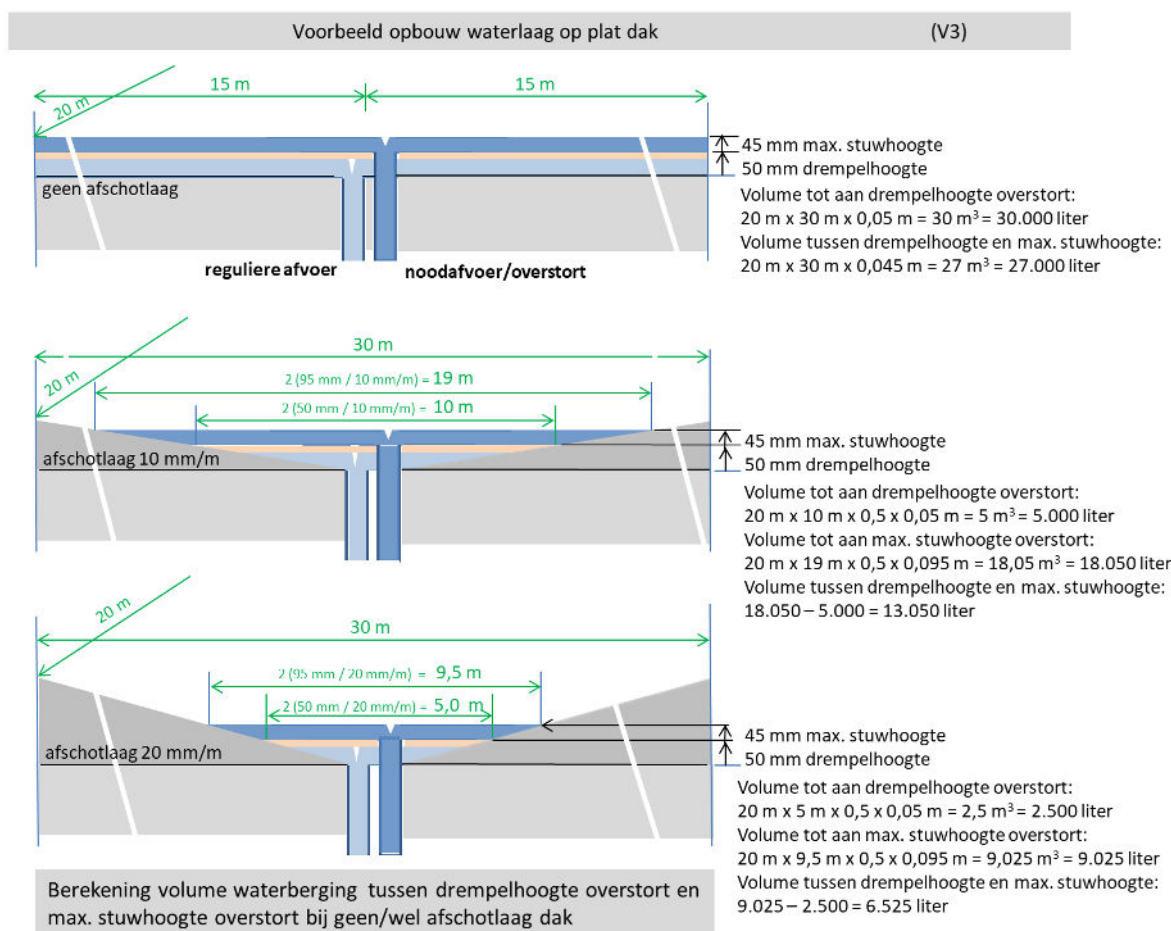
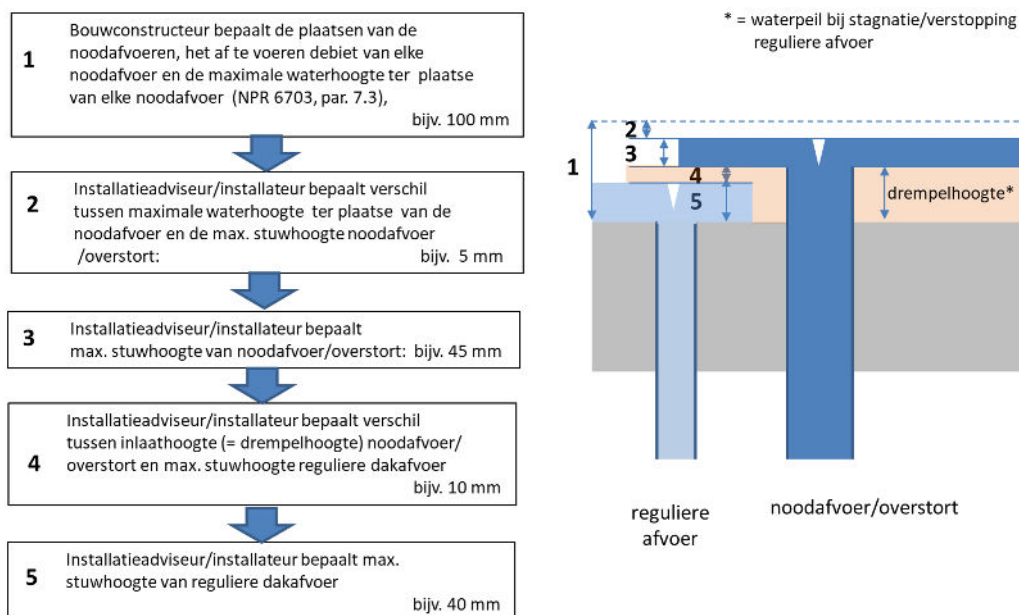
$$A = \frac{1}{2} \times b \times h$$

$$b = 2 \times h / 0,02 \text{ (als gevolg van afschot } 0,02 \text{ m/m)}$$

$$V = A \times L = 10.000 \times h^2 \text{ dm}^3 \text{ (A in dm}^2, L = 200 \text{ dm, h in dm)}$$

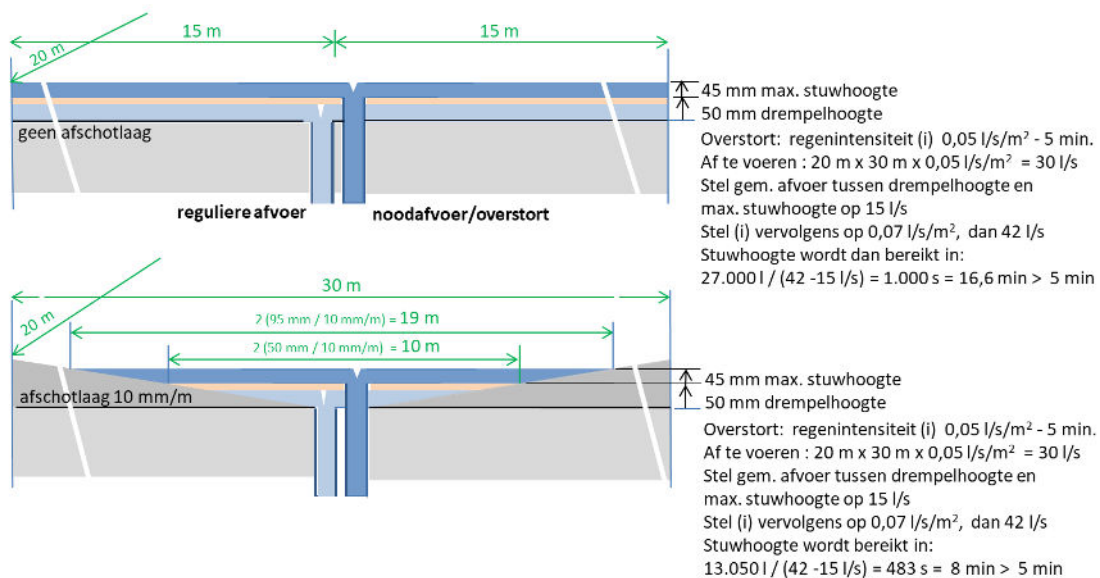
Bijlage 1b: Schematisatie van rekenmethodiek opbouw waterlaag op plat dak

Deze bijlage is een toevoeging op bijlage 1a.



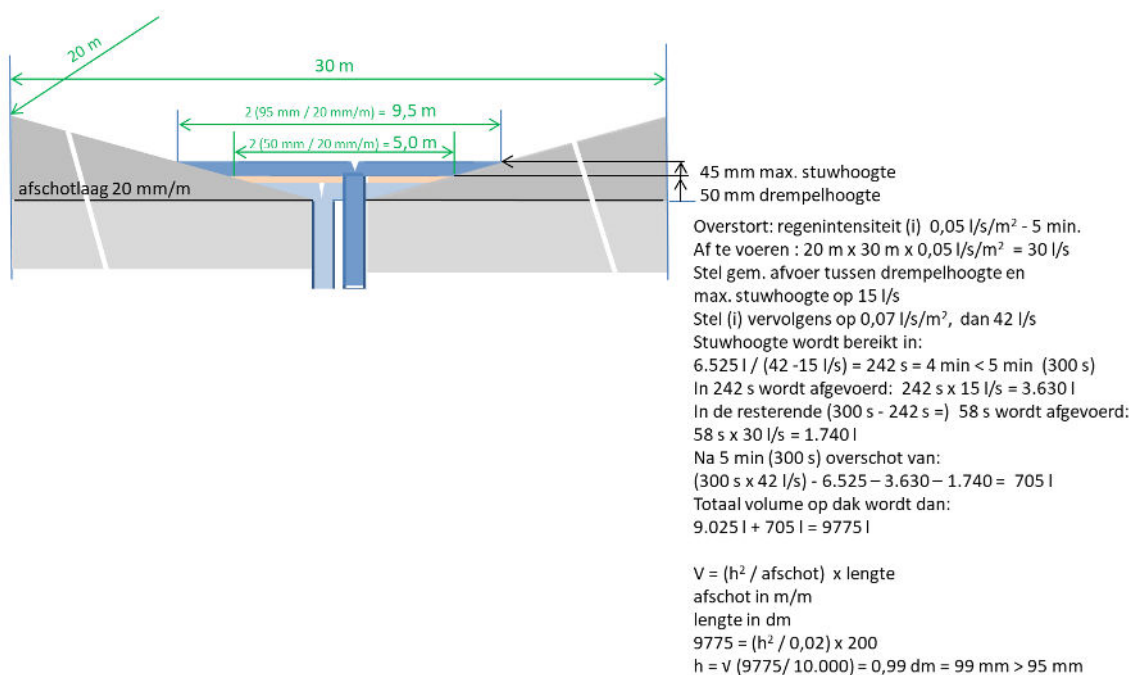


Waterlagen op platte daken en het veranderende klimaat



Als in het eerste voorbeeld na ruim 16 min en in het tweede voorbeeld na 8 min de regenintensiteit niet is afgenomen van $0,07$ tot $0,05 \text{ l/s/m}^2$ ontstaat een hoger waterpeil dan $(45 \text{ mm} + 50 \text{ mm}) = 95 \text{ mm}$. Die situaties komen volgens de geïnventariseerde gegevens van het KNMI niet voor.

Effect van grotere regenintensiteit ($0,07 \text{ l/s/m}^2$) voor overstort dan huidig ontwerpuitgangspunt ($0,05 \text{ l/s/m}^2$)



Als de regenintensiteit na 5 min is afgenomen van $0,07$ tot $0,05 \text{ l/s/m}^2$ is het waterpeil $(99 \text{ mm} - 95 \text{ mm}) = 4 \text{ mm}$ hoger dan bij de max. stuwhoogte volgens het ontwerp.

Effect van grotere regenintensiteit ($0,07 \text{ l/s/m}^2$) voor overstort dan huidig ontwerpuitgangspunt ($0,05 \text{ l/s/m}^2$)



Bijlage 2: Methode conform de ST 48-1

De ST 48-1 geeft aan dat het grensdebiet bij steekafvoeren voor overlaatstroming, waarop formule (6) van NEN 3215 betrekking heeft, bestaat bij een nagenoeg constante verhouding tussen de stuwhoogte (H) boven de dakafvoer en de middellijn van de dakafvoer/standleiding: $H \approx 0,6 d$ (zie 7.3.1 van NTR 3216: 2018)

Formule (6) geldt dus bij $H/d \approx 0,6$

NEN 3215 +C1+A1 (2018)

De afvoercapaciteit van een hemelwaterstandleiding wordt berekend met de formule:

$$Q_{h;\max} = 4100 \cdot F_r \cdot F_g \cdot d^{2,5} \quad (6)$$

waarin:

$Q_{h;\max}$ is de maximale afvoercapaciteit [l/s]

F_r is de factor voor de instroming (cilindrische instroming = 1, conische instroming = 1,2)

F_g is de factor voor de afvoer (standleiding gekoppeld aan de steekafvoer: 0,6)

d is de ontwerpmiddellijn [m]

Afvoerfactor F_g , ook wel situeringsfactor genoemd, staat voor de plaatsingssituatie van de steekafvoer.

De afvoerstroom voldoet aan de vergelijking:

$$H = \sqrt[3]{\frac{Q_h^2}{2 \cdot g \cdot \pi^2 \cdot m^2 \cdot d^2}} = \sqrt[3]{\frac{1}{193,45 \cdot m^2 \cdot d^2}} \times \sqrt[3]{\frac{Q_h^2}{d^2}}$$

waarin:

H is de waterhoogte (overlaathoogte/drijfhoogte) boven de steekafvoer

Q_h is de afvoercapaciteit [m³/s]

g is de versnelling zwaartekracht [9,81 m/s²]

m is de afvoercoëfficiënt

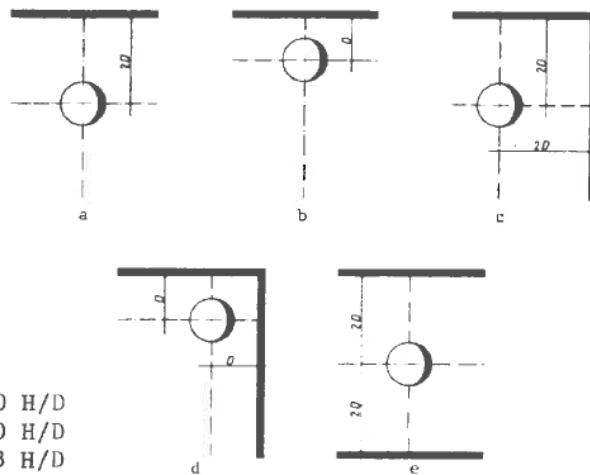
d is de ontwerpmiddellijn van de aangesloten standleiding [m]

Substitutie geeft: $Q_h = \sqrt{(H^3 \cdot 193,45 \cdot m^2 \cdot d^2)}$

De afvoercoëfficiënt m is voor een cilindrische steekafvoer met onbelemmerde instroming gelijk aan:

$$\alpha + \beta(H/d) = 0,46 + 0,35(H/d)$$

In de praktijk is er altijd sprake van belemmerde (gehinderde) afvoersituaties door plaatsing van de steekafvoer nabij opstanden of door roosters/bladvangers. Uitgaande van de maximale waterhoogten bij $H/d = 0,6$ en met de verschillende waarden van de afvoercoëfficiënt m volgens onderstaand schema, kan het grensdebiet bij gehinderde afvoer worden bepaald. Voor NEN 3215 is de meest ongunstigste plaatsingssituatie (d) als uitgangspunt gekozen.



- a $m = 0.35 + 0.40 H/D$
b $m = 0.34 + 0.30 H/D$
c $m = 0.34 + 0.23 H/D$
d $m = 0.34 + 0.10 H/D$
e $m = 0.34 + 0.16 H/D$

Schema met plaatsen van steekafvoeren ten opzichte van opstaande randen met bijbehorende waarden van afvoercoëfficiënt m (Bron: Achtergrondrapport 2.3 voor concept NEN 3215 (1984)).

Bij plaatsingssituatie d en $d = 0,1$ m is de afvoercoëfficiënt m gelijk aan:

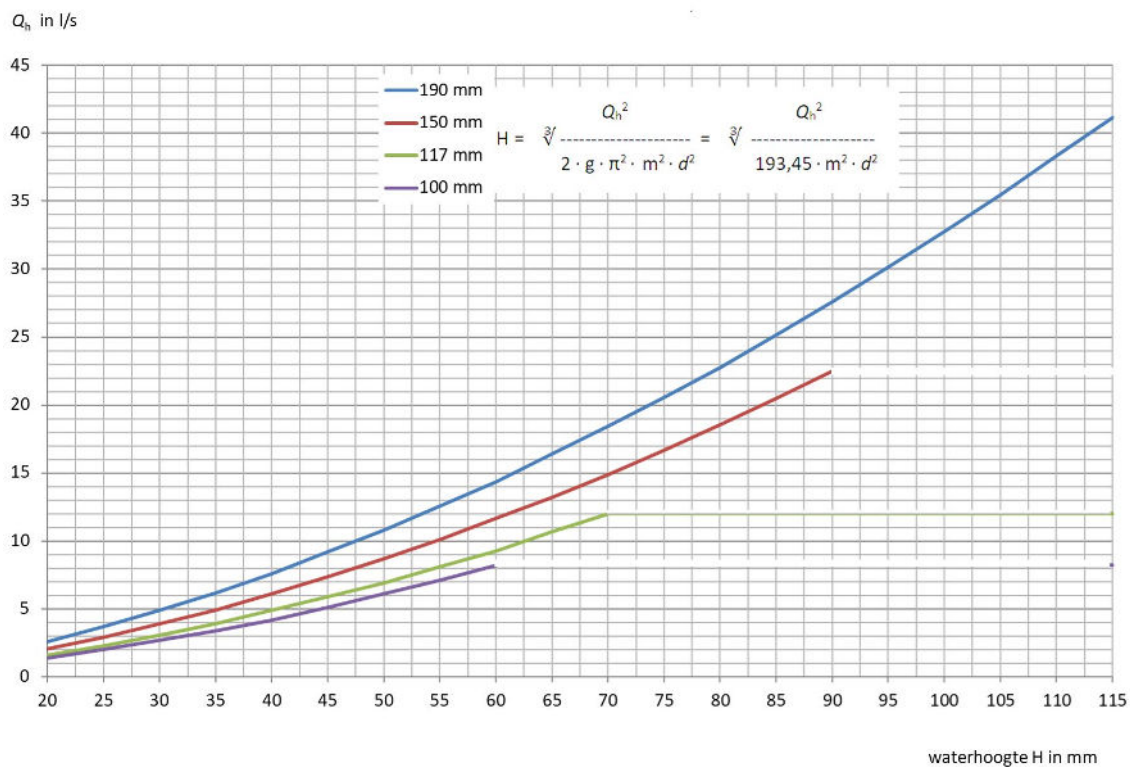
$$\alpha + \beta(H/d) = 0,34 + 0,10(0,06/0,1) = 0,4$$

In tabel 5 van de ST-48-1 zijn voor enkele ontwerpmiddellijnen de debieten (Q_h) gegeven bij verschillende waterhoogten (H) in geval van plaatsingssituatie d van cilindrische steekafvoeren.

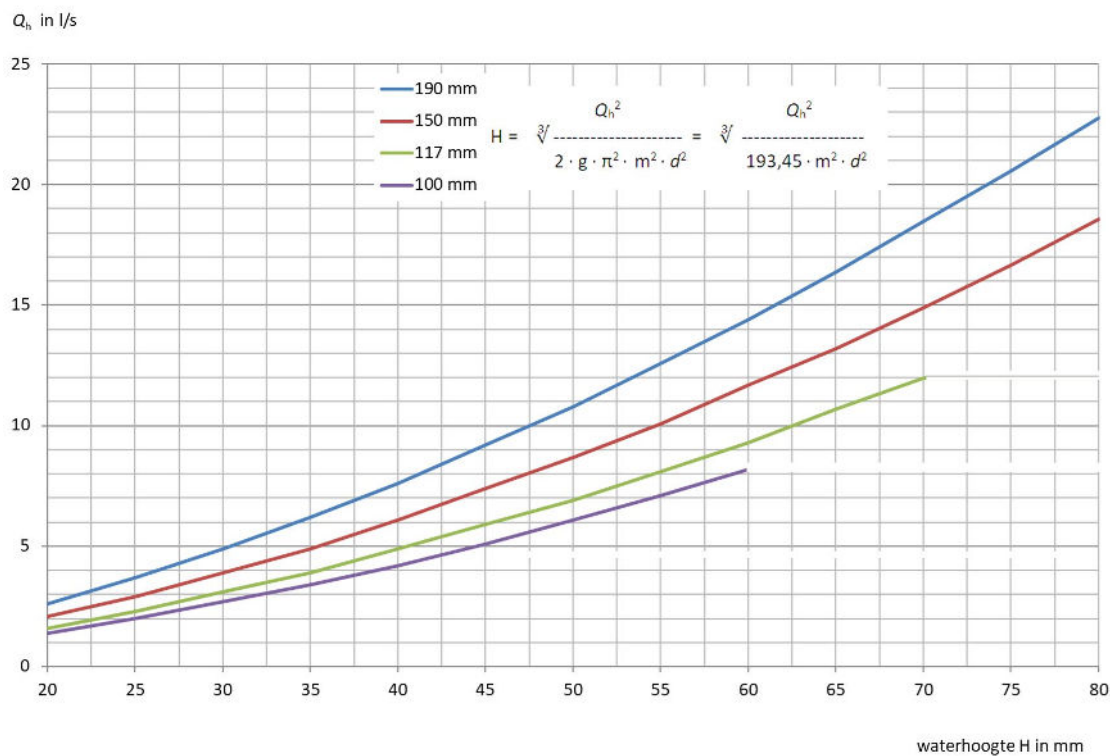
Deze tabel is zonder veiligheidsmarges.

NEN 3215: plaatsingssituatie d									
$m = 0,34 + 0,10 H/d$									
$m^2 \cdot d^2$									
H [mm]	$d = 100$ mm		$d = 117$ mm		$d = 150$ mm		$d = 190$ mm		
	m	Q [l/s]	m	Q [l/s]	m	Q [l/s]	m	Q [l/s]	
114	-	-	-	-	-	-	0,400	40,7	
110	-	-	-	-	-	-	0,398	38,4	
105	-	-	-	-	-	-	0,395	35,5	
100	-	-	-	-	-	-	0,392	32,8	
95	-	-	-	-	-	-	0,390	30,2	
90	-	-	-	-	0,400	22,5	0,387	27,6	
85	-	-	-	-	0,396	20,5	0,385	25,2	
80	-	-	-	-	0,393	18,6	0,382	22,8	
75	-	-	-	-	0,390	16,7	0,379	20,6	
70	-	-	0,400	12,0	0,386	14,9	0,377	18,5	
65	-	-	0,396	10,7	0,383	13,2	0,374	16,4	
60	0,400	8,2	0,391	9,3	0,380	11,7	0,371	14,4	
55	0,395	7,1	0,387	8,1	0,377	10,1	0,369	12,6	
50	0,390	6,1	0,382	6,9	0,373	8,7	0,366	10,8	
45	0,385	5,1	0,378	5,9	0,370	7,4	0,364	9,2	
40	0,380	4,2	0,374	4,9	0,367	6,1	0,361	7,6	
35	0,375	3,4	0,370	3,9	0,363	4,9	0,358	6,2	
30	0,370	2,7	0,365	3,1	0,360	3,9	0,356	4,9	
25	0,365	2,0	0,361	2,3	0,357	2,9	0,353	3,7	
20	0,360	1,4	0,357	1,6	0,353	2,1	0,351	2,6	

Tabel 5 (ST-48-1). Afvoercoëfficiënten m en debieten (tot grensdebieten $Q_{h,max}$) bij verschillende waterhoogten (H) boven cilindrische steekafvoeren met verschillende ontwerpmiddellijnen. Plaatsingssituatie d. Exclusief veiligheidsmarges.



Grafische weergave van debieten (Q_h) bij verschillende waterhoogten (H) boven cilindrische steekafvoeren bij verschillende ontwerp-middellijnen en plaatsingssituatie d volgens NEN 3215.



Grafische weergave van debieten (Q_h) bij verschillende waterhoogten (tot $H = 80$ mm) boven steekafvoeren dakafvoeren bij verschillende ontwerp-middellijnen en plaatsingssituatie d volgens NEN 3215.



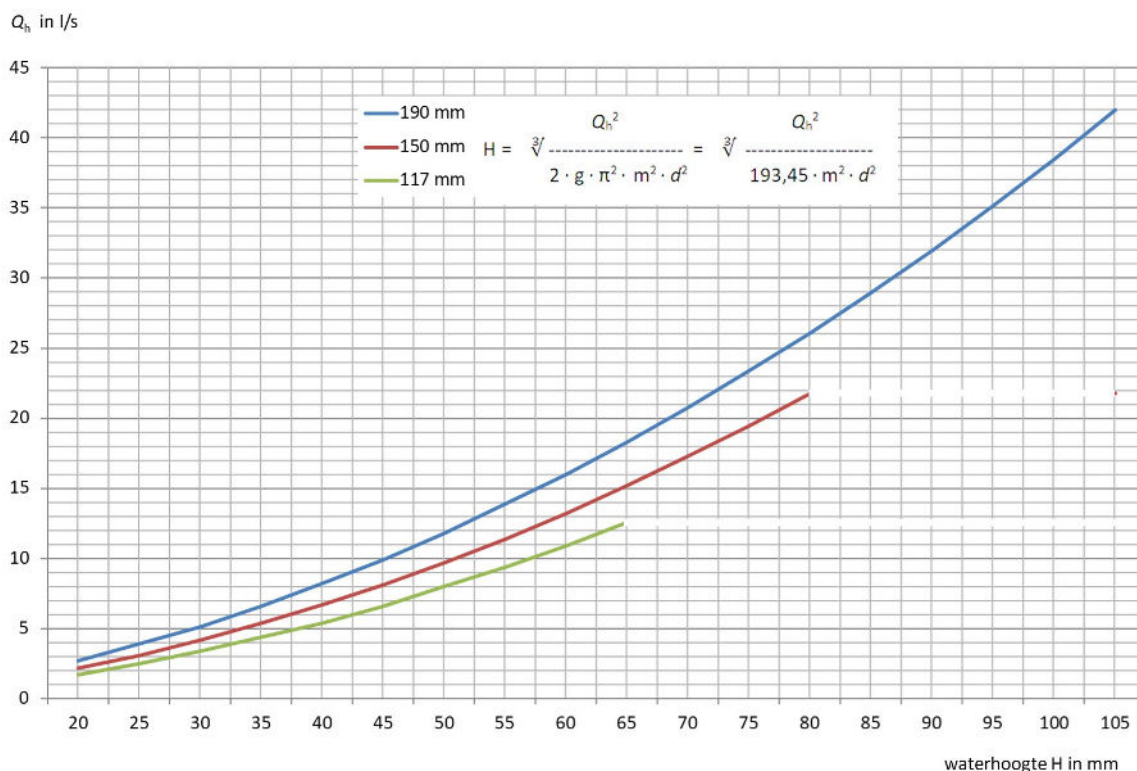
De werkgroep onderschrijft het belang van eenduidigheid en adviseert daarom de adviezen uit de ST-48-1 te volgen. Dit betekent dat we kiezen voor plaatsingslocatie c bij het berekenen van de waterhoogte en de maximale afvoercapaciteit voor overstortvoorziening in de vorm van een ronde steekafvoer bij overlaatstroming. Hierbij moet men de (samengestelde) getalswaarde 2,5 uit formule 7.6 uit de NEN1 EN 991-1-3+C1/NB 2011 (op dat vlak gelijk aan de nieuwere en geldende NEN EN 991-1-3+C1+A1:2019) vervangen door 2,92. Op deze manier wordt zowel de waterhoogte als de maximale afvoercapaciteit berekend volgens het principe van plaatsingslocatie c.

Formule 7.6 wordt dan: $Q_{h,max} = 2,92 d^{\frac{5}{2}}$

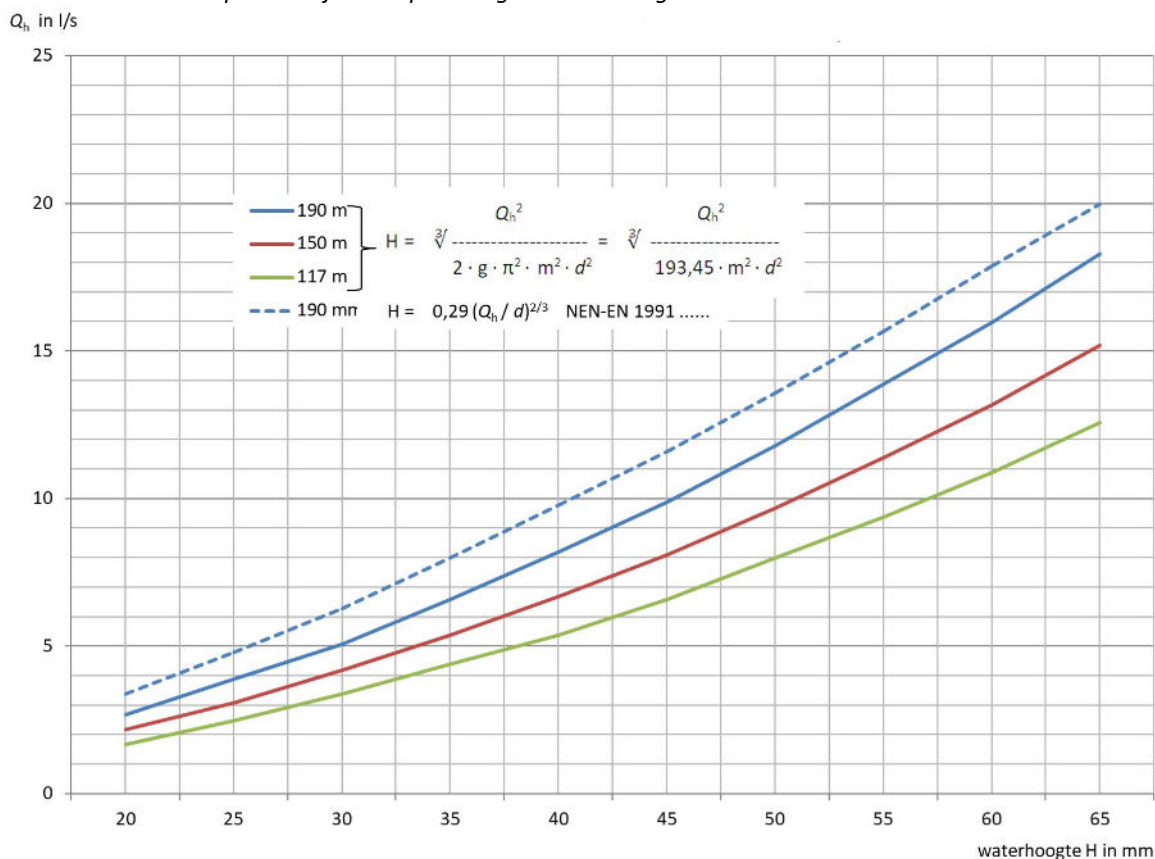
In tabel 9 van de ST-48-1 zijn voor enkele ontwerpmiddellijnen de debieten (Q_h) gegeven bij verschillende waterhoogten (H) in geval van plaatsingssituatie c van cilindrische steekafvoeren. Deze tabel is zonder veiligheidsmarges.

NEN-EN 991: plaatsingssituatie c									
m = 0,34 + 0,23 H/d									
$Q_h = \sqrt{(H^3 \cdot 193,45 \cdot m^2 \cdot d^2)}$									
H [mm]	d = 100 mm		d = 117 mm		d = 150 mm		d = 190 mm		
	m	Q_h [l/s]	m	Q_h [l/s]	m	Q_h [l/s]	m	Q_h [l/s]	
114							0,478	48,6	
110							0,473	45,6	
105							0,467	42,0	
100							0,461	38,5	
95							0,455	35,2	
90					0,478	26,9	0,449	32,0	
85					0,470	24,3	0,443	29,0	
80					0,462	21,8	0,437	26,1	
75					0,455	19,5	0,431	23,4	
70			0,478	14,4	0,447	17,3	0,425	20,8	
65			0,468	12,6	0,440	15,2	0,419	18,3	
60			0,458	10,9	0,432	13,2	0,413	16,0	
55			0,448	9,4	0,424	11,4	0,407	13,9	
50			0,438	8,0	0,417	9,7	0,401	11,8	
45			0,428	6,6	0,409	8,1	0,394	9,9	
40			0,419	5,4	0,401	6,7	0,388	8,2	
35			0,409	4,4	0,394	5,4	0,382	6,6	
30			0,399	3,4	0,386	4,2	0,376	5,1	
25			0,389	2,5	0,378	3,1	0,370	3,9	
20			0,379	1,7	0,371	2,2	0,364	2,7	

Tabel 9 (ST-48-1). Afvoercoëfficiënten m en debieten (tot grensdebieten $Q_{h,max}$) bij verschillende waterhoogten (H) boven steekafvoeren bij verschillende ontwerpmiddellijnen. Plaatsingssituatie c. Exclusief veiligheidsmarges.



Grafische weergave van debieten (tot $Q_{h,max}$) bij verschillende waterhoogten (H) boven steekafvoeren bij verschillende ontwerpmiddellijnen en plaatsingssituatie c volgens NEN-EN 1991.



Grafische weergave van debieten bij verschillende waterhoogten (tot $H = 65$ mm) boven steekafvoeren bij verschillende ontwerpmiddellijnen en plaatsingssituatie c volgens NEN-EN 1991 .

Bijlage 3: Retentiedaken en -dekken integraal ontwerpen

Concept

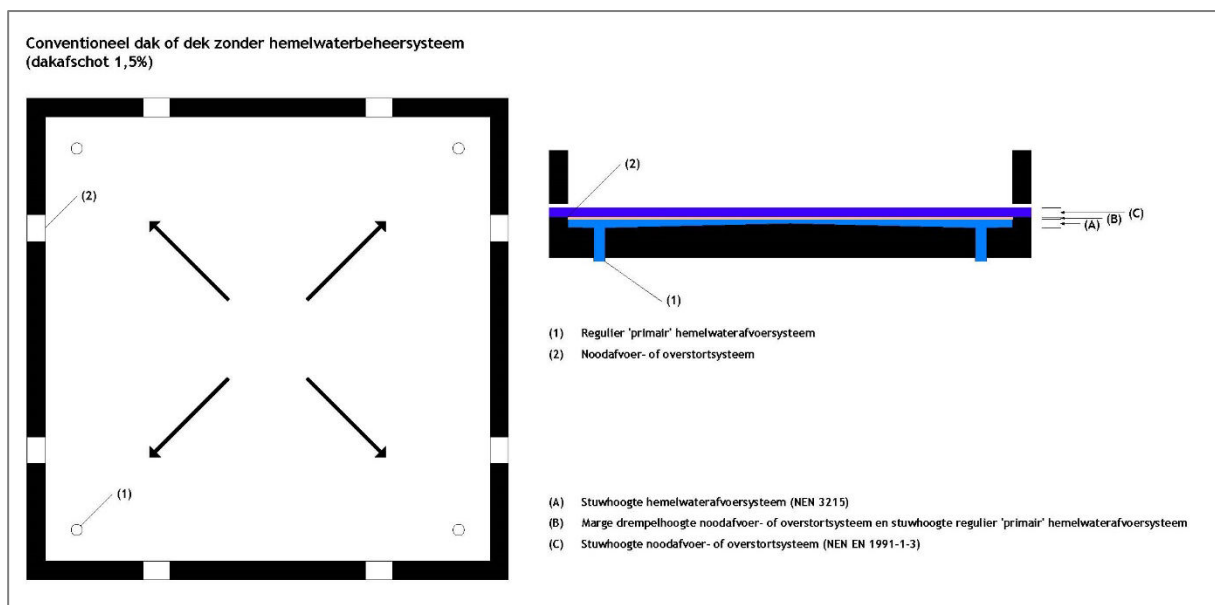
Daken en dekken kunnen we geschikt maken voor waterberging door deze uit te voeren als retentiedak of -dek. De retentiedaken en -dekken kunnen we inzetten om hemelwateroverlast te voorkomen en daarnaast de voorraad hemelwater veilig te stellen voor duurzaam watergebruik op de kavel. De kracht van een retentiedak of -dek zit hem in het multidisciplinaire karakter van het systeem. Steeds vaker worden deze systemen in ontwerpen van bouwwerken geïntegreerd om toekomstbestendig te kunnen ontwikkelen en bouwen met het oog op het Deltaplan Klimaatadaptatie.

Context

Bij retentiedaken en -dekken moeten we, met het oog op het waterbeheer op het dak of dek, onderscheid maken tussen, en rekening houden met, de volgende systemen:

- Hemelwaterafvoersysteem (conform NEN 3215)
- Noodafvoer- of overstortstelsysteem (conform NEN EN 1991-1-3 of NTR 3216)
- Hemelwaterbeheersysteem (conform wateropgave waterbeheerder)

Het reguliere hemelwaterafvoersysteem (1) en het noodafvoer- of overstortstelsysteem (2) van daken en dekken moeten we op aanwijzing van het Bouwbesluit conform de daarvoor geldende normen ontwerpen en realiseren. Dat is dus ook van toepassing voor bouwwerken met een retentiedak of -dek om op deze wijze zowel een deugdelijke afvoer van hemelwater als de constructieve veiligheid van bouwwerken te kunnen waarborgen.



Afbeelding 1. Principe; Conventioneel dak of dek zonder hemelwaterbeheersysteem

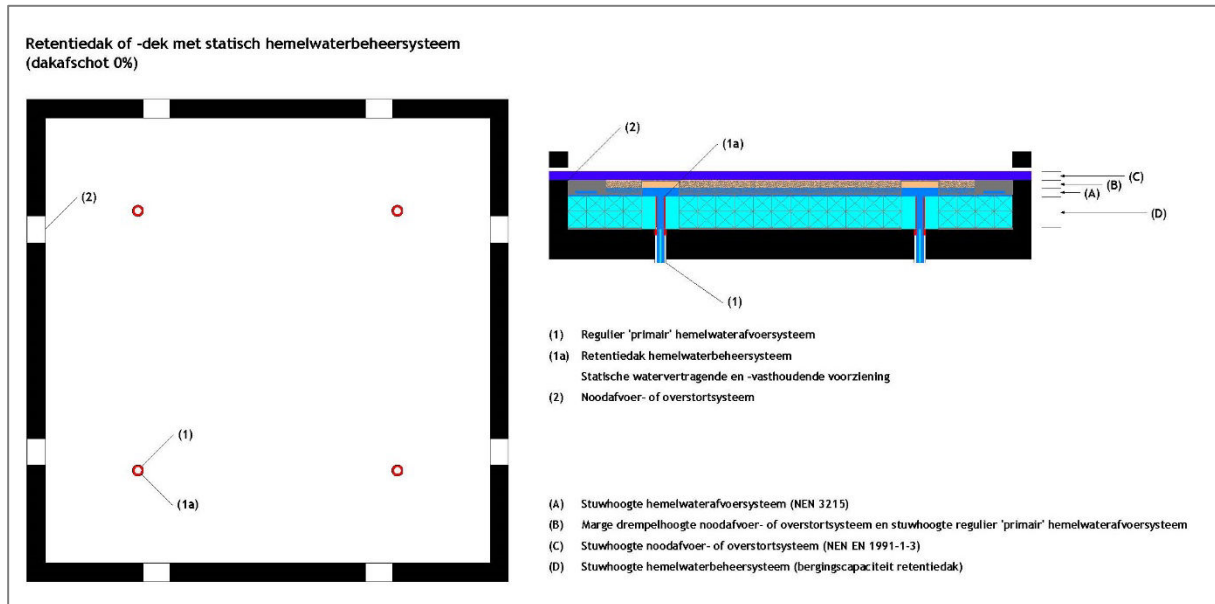


Een integraal ontwerp is hier noodzakelijk, zodat het niveau waarop het reguliere hemelwaterafvoersysteem (1) in werking treedt zich op hetzelfde niveau bevindt als het niveau waarop de bergingsvoorziening van het retentiedak of -dek volledig verzadigd raakt.

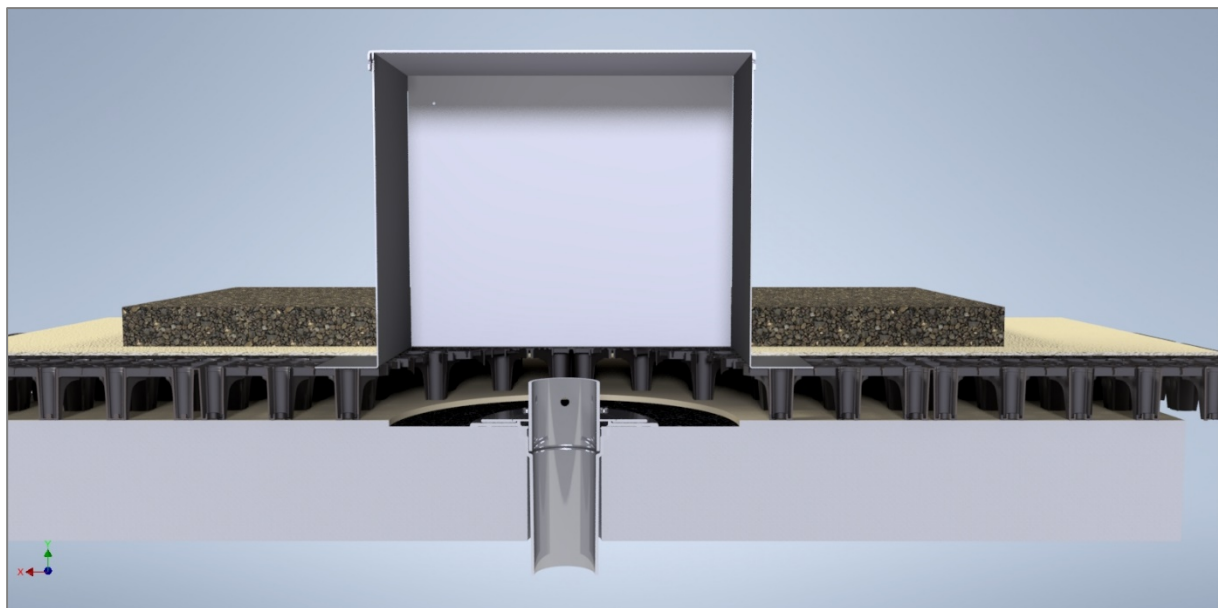
Het niveau waarop het noodafvoer- of overstortstelsel (2) in werking treedt, zal zich logischerwijs op een hoger niveau moeten bevinden dan het niveau waarop de bergingsvoorziening van het retentiedak of -dek volledig verzadigd raakt. Dit geldt met inachtneming van de benodigde stuwhoogte voor het reguliere hemelwaterafvoersysteem (1). Dat moet weer liggen onder het niveau waarop de constructieve veiligheid van bouwwerken in het geding zou komen. Daarbij moet men rekening houden met de benodigde stuwhoogte voor het noodafvoer- of overstortstelsel (2) op geringe hoogte (>10 mm) boven de benodigde stuwhoogte voor het reguliere hemelwaterafvoersysteem (1). Als men hiermee geen rekening houdt dan zal zowel het reguliere hemelwaterafvoersysteem (1) als het noodafvoer- of overstortstelsel (2) de werking van het retentiedak of -dek ondermijnen.

De voorzieningen die men aanvullend moet realiseren voor de werking van het retentiedak of -dek zijn allen onderdeel van het hemelwaterbeheersysteem (1a of 3a i.c.m. 1b). Dit systeem moet men als een extra systeem beschouwen naast, en dus niet ter vervanging van het reguliere hemelwaterafvoersysteem (1) en het noodafvoer- of overstortstelsel (2). We kunnen daarbij onderscheid maken tussen een hemelwaterbeheersysteem in de vorm van statische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (1a) en een hemelwaterbeheersysteem in de vorm van dynamische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (3a) in combinatie met statische, watervasthoudende voorzieningen (1b).

Statische watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (1a) worden gecombineerd met het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1). Dit is dus een hemelwaterafvoersysteem dat zonder toepassing van een retentiedak of -dek ook op een bouwwerk aanwezig zal zijn. Het betreft statische voorzieningen zonder mechatronica die al het geborgen water of een deel daarvan afvoeren. Deze kunnen niet worden gesloten om al het aanwezige water in de bergingsvoorziening vast te houden. Deze voorzieningen worden voor, op of over de afvoeren van het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) aangebracht. Door in deze voorzieningen op een specifieke hoogte een perforatie met een specifieke diameter aan te brengen, zal het water in de bergingsvoorziening zich allereerst opstuwten. Vervolgens zal het water met een berekend variabel debiet via doorlopen deels of geheel vertraagd worden afgevoerd door het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1). Zodra het systeem, om welke reden dan ook, het aanbod van water minder snel kan verwerken dan wordt aangeboden, zal de bergingsvoorziening maximaal gevuld raken. Het overschot aan water zal daarna uiteindelijk via overlopen alsnog door het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) worden afgevoerd.



Afbeelding 2. Principe van het retentiedak of -dek met statisch hemelwaterbeheersysteem



Afbeelding 3. Hemelwaterbeheersysteem met statische, watervertragende en -vasthoudende voorziening (1a)

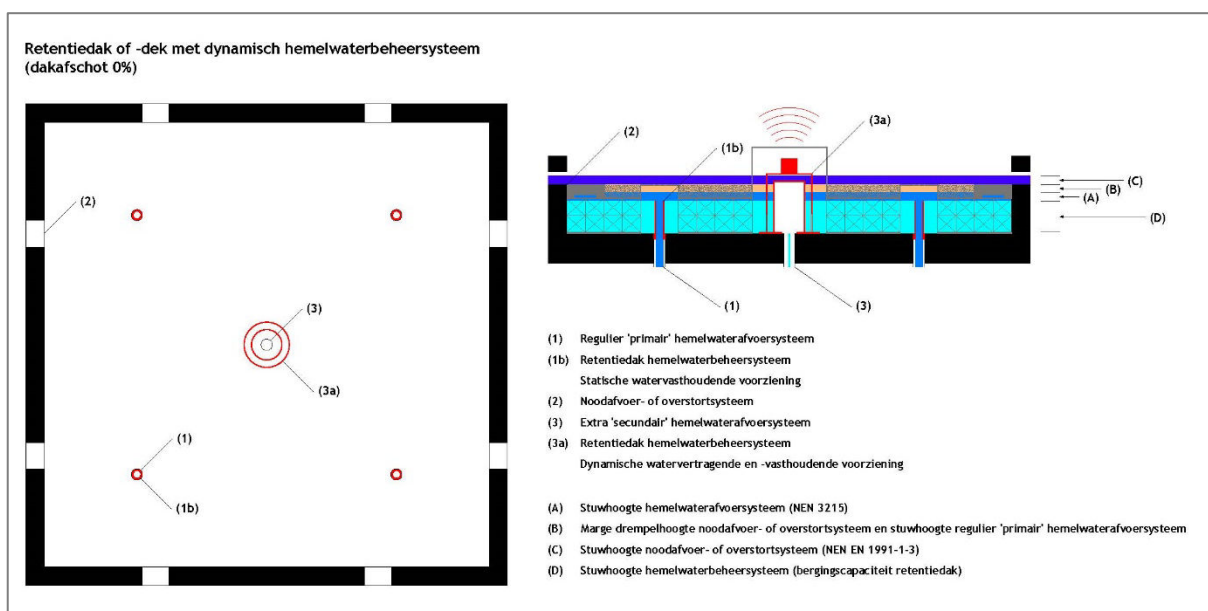
Dynamische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (3a) worden gecombineerd met het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3). Dat is een hemelwaterafvoersysteem dat zonder toepassing van een retentiedak of -dek niet op een bouwwerk aanwezig zou zijn. Het betreft dynamische voorzieningen met mechatronica die het al het geborgen water vasthouden. Men kan deze alleen doelbewust openen om al het aanwezige water in de bergingsvoorziening, of een deel daarvan, af te voeren. Deze voorzieningen worden voor, op of over de afvoeren van het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) aangebracht.

Door deze voorzieningen in de basis gesloten te houden zal het water in de bergingsvoorziening zich allereerst opstuwten. Alleen als daarvoor een aanleiding voor zal het water vervolgens via een commando van het centrale besturingssysteem via onder- of overlopen deels of geheel worden afgevoerd. Dit gebeurt met een berekend gestabiliseerd debiet, vertraagd door het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3).

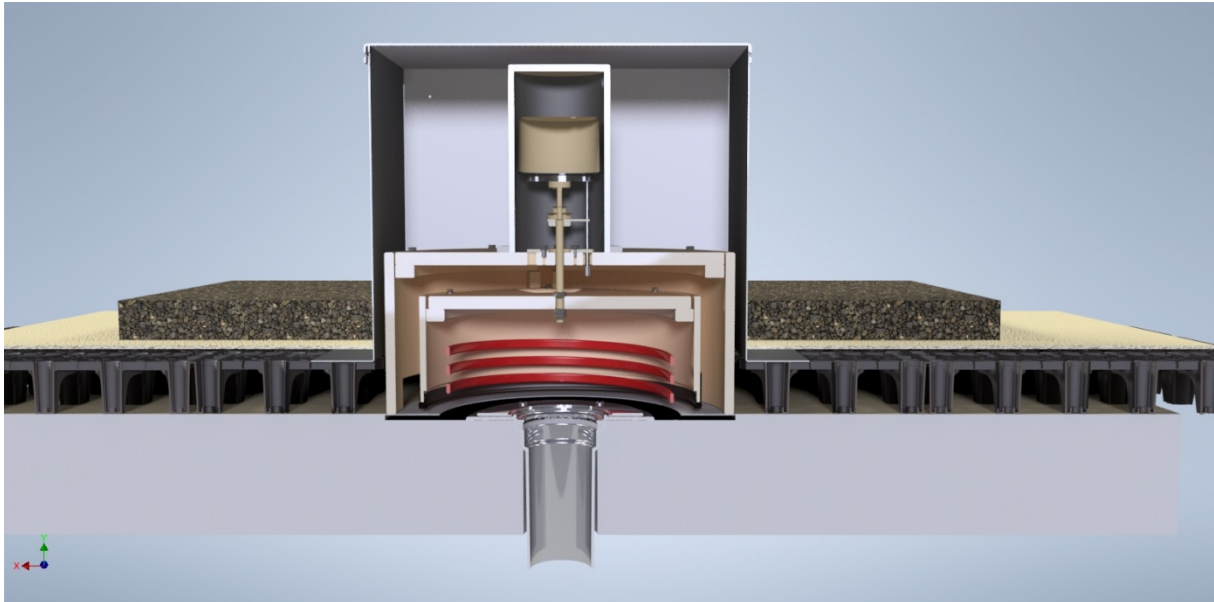
Wanneer men kiest voor dynamische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (3a) in combinatie met het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) moet men het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) combineren met statische watervasthoudende voorzieningen (1b).

Het betreft statische voorzieningen zonder mechatronica die al het geborgen water vasthouden maar de bergingsvoorziening niet kunnen openen om al het aanwezige water, of een deel daarvan, af te voeren. Deze voorzieningen worden voor, op of over de afvoeren van het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) aangebracht.

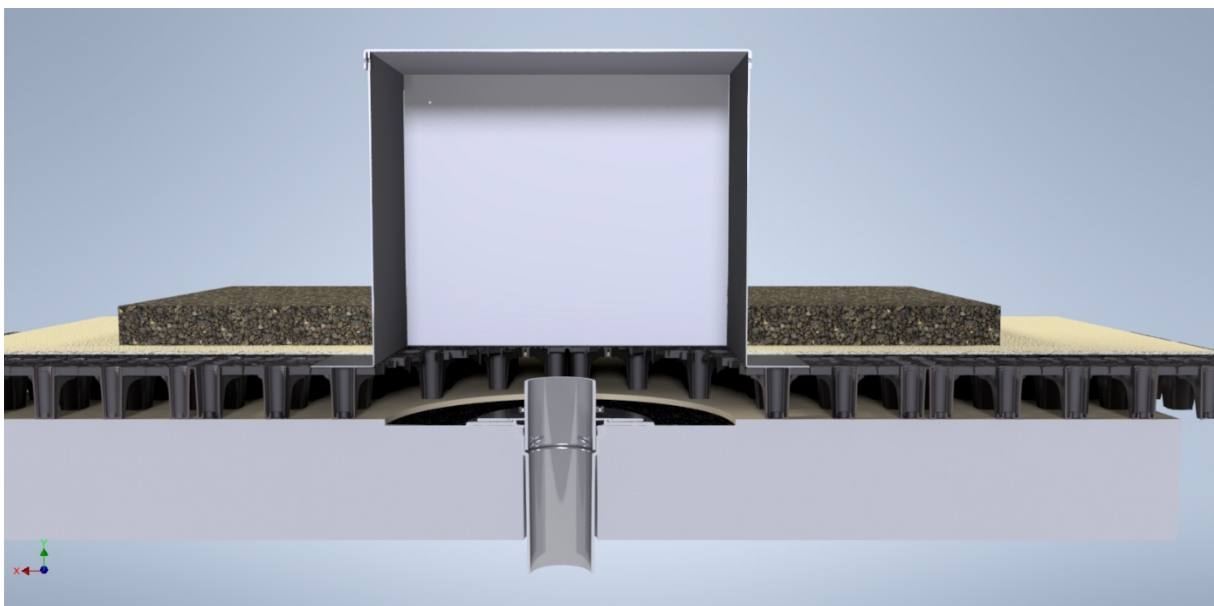
Zodra, om welke reden dan ook, het aanbod van water minder snel kan worden verwerkt dan wordt aangeboden, zal de bergingsvoorziening maximaal gevuld raken. Daarna kan het overschot aan water via de overlopen alsnog door het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) worden afgevoerd.



Afbeelding 4. Principe van retentiedak of -dek met dynamisch hemelwaterbeheersysteem



Afbeelding 5. Hemelwaterbeheersysteem met dynamische, watervertragende en -vasthoudende voorziening (3a)



Afbeelding 6. Hemelwaterbeheersysteem met statische, watervasthoudende voorziening (1b)

Demarcaties

De watervertragende en/of -vasthoudende voorzieningen (1a, 1b en 3a) voor het aansturen van het debiet van retentiedaken en of -dekken moet men op het dak of dek van het bouwwerk installeren, en dus niet in het bouwwerk zelf. Dit is nodig om duidelijke demarcaties te kunnen definiëren in zowel de ontwerpfase als de realisatie- en beheerfase.

Weerstand statische watervertragende en/of -vasthoudende voorzieningen

Door het installeren van statische, watervertragende en/of -vasthoudende voorzieningen (1a en 1b) kan in het geval van overlopen sprake zijn van een extra weerstand, veroorzaakt door het hemelwaterbeheersysteem en dus ook door het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1).



Bij toepassing van statische, watervertragende en/of -vasthoudende voorzieningen (1a en 1b) met een niet te verwaarlozen weerstand, moet men rekening houden met additionele stuwhoogte van het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1).

De afvoercapaciteit van statische, watervertragende en/of vasthoudende voorzieningen (1a en 1b), in combinatie met een eventueel verhoogde stuwhoogte, moet zodanig zijn geconstrueerd dat deze geen belemmerende factor vormt voor de afvoer van hemelwater zodra de bergingsvoorziening van het retentiedak of -dek maximaal gevuld raakt.

Extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem

Het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) is in de basis afgesloten door dynamische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (3a), totdat een commando van het centrale besturingssysteem aangeeft dat er een lediging moet plaatsvinden. Daarom mag de afvoercapaciteit hiervan niet worden meegenomen bij het bepalen van de benodigde afvoercapaciteit van het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1). Bijvoorbeeld mechanische problemen, verbingsproblemen, blokkades of afwijkende neerslagvoorspellingen kunnen een reden zijn waardoor het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) geen hemelwater kan afvoeren op het moment voorafgaand aan en/of tijdens een neerslaggebeurtenis.

Door het toepassen van het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) wordt de afvoercapaciteit van het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) van bouwwerken nimmer belemmerd en negatief beïnvloed. De dakafvoer van het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) mag nooit aan het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) worden gekoppeld wanneer dit een UV-systeem betreft. Dit komt omdat deze in gesloten toestand lucht aanzuigt en daarmee de werking van het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) kan verstoren.

Ledigen van retentiedaken en -dekken

Gedurende het ledigen van retentiedaken en -dekken zullen de stuwhoogtes variëren en steeds verder afnemen naarmate de lediging vordert. Daarmee zal ook de druk steeds verder afnemen. Zodra statische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (1a) en dynamische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (3a) een specifiek debiet aanbieden aan het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) of het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) is het van belang om in de ontwerpfase te toetsen hoeveel debiet deze systemen kunnen afvoeren bij de verschillende, te verwachten stuwhoogtes.

Bij retentiedaken en -dekken vormen deze voorzieningen (1a of 3a), samen met het desbetreffende hemelwaterafvoersysteem (1 of 3), het hemelwaterbeheersysteem dat als integraal geheel stabiel en betrouwbaar moet functioneren.

De afvoercapaciteit van zowel het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) als van het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) moet daarom worden afgestemd op de streefdebieten van zowel de statische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (1a) als de dynamische, watervertragende en -vasthoudende voorzieningen (3a). Bij een combinatie met een UV-systeem is dit van belang om onnodig en onwenselijk pendelen te voorkomen. Het doel is om een betrouwbaar streefdebet van het hemelwaterbeheersysteem van retentiedaken en -dekken te kunnen waarborgen. Dit debiet moet in overeenstemming zijn met het door de waterbeheerder voorgeschreven, maximaal toegestane lozingsdebet op de openbare (hemelwater)afwateringsvoorzieningen. Daarbij moeten tussentijdse lozingen op een



bergingsvoorziening ten behoeve van een hemelwater(gebruik)systeem ook tot de mogelijkheden behoren.

Bergingsvoorziening

Het bergen van water op daken en dekken van bouwwerken moet plaatsvinden op retentiedaken en -dekken die beschikken over een bergingsvoorziening. Deze voorziening is omwikkeld met speciaal daarvoor geschikt geotextiel dat zorgvuldig is afgewerkt met een deklaag in de vorm van bijvoorbeeld een begroeid dak. Zo wordt het geborgen water beschermd tegen onwenselijke opstuwing door windinvloeden, maar ook tegen uv-licht en vervuiling. Vervuild water kan ervoor zorgen dat watervertragende en/of -vasthoudende voorzieningen (1a, 1b en 3a) verstopt raken. Daarnaast wordt het waterdichte dakbedekkingssysteem beschermd tegen craquelé (veroudering) door uv-straling in combinatie met vocht. Dakafoeren, al dan niet voorzien van watervertragende en/of -vasthoudende voorzieningen (1a, 1b en 3a), moeten voorzien zijn van controleschachten. Daarmee kan de inspectie van deze voorzieningen eenvoudig plaatsvinden.

Het bergen van water op daken en dekken in de vorm van open water, zonder retentiedak of -dek, wordt afgeraden. Daarbij spelen de volgende aspecten een cruciale rol:

- Wind in relatie tot extreme veranderlijke belasting(en);
- Wind in relatie tot vochtproblemen ter hoogte van bouwkundige details;
- Wind in relatie tot golfslag (verneveling) over dakrand(en);
- Craquelé dakbedekkingssysteem door de combinatie van uv-straling en vocht;
- Slechte waterkwaliteit door vervuiling en activatie van micro-organismen;
- Vervuilen (verstoppert) van het hemelwaterbeheersysteem van het retentiedak of -dek door bijvoorbeeld bladeren, slib en algen.

Lozen van hemelwater van andere daken of dekken

Het lozen van water via zowel het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) als het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) van een hoger gelegen dak of dek op een lagergelegen retentiedak of -dek moet plaatsvinden via een vuilvangvoorziening. Daarmee beperken we de kans op vervuiling en verstopping van een retentiedak of -dek tot een minimum.

Hierbij moet men rekening houden met een maximaal toelaatbaar lozend dakoppervlak per vuilvangvoorziening, om zo de te verwerken debieten per vuilvangvoorziening tot een acceptabel en verantwoord niveau te beperken. Zo kan de robuustheid en de betrouwbaarheid van een hemelwaterafvoersysteem, in combinatie met een vuilvangvoorziening, worden gewaarborgd.

Daarnaast moet men rekening houden met de extra benodigde capaciteit van zowel het reguliere 'primaire' hemelwaterafvoersysteem (1) als het extra 'secundaire' hemelwaterafvoersysteem (3) van een retentiedak of -dek wanneer andere daken hierop lozen.

Noodafvoer- of overstortstelsysteem

Het is niet toegestaan dat de afvoercapaciteit van het noodafvoer- of overstortstelsysteem (2) op welke wijze dan ook wordt belemmerd en negatief wordt beïnvloed. Zodra een noodafvoer- of overstortstelsysteem op daken en dekken in werking moet treden, is het van belang dat er voldoende vrije toestroom kan worden gegarandeerd, zonder belemmeringen. Op die manier wordt het functioneren van een noodafvoer- of overstortstelsysteem niet ondermijnd en kan de eventuele constructieve veiligheid van het bouwwerk worden gewaarborgd.



Zodra er sprake is van een noodafvoer- of overstortstelsysteem in combinatie met een controleschacht moet de maaswijdte van de openingen in deze voorziening borgen dat het water te allen tijde wordt doorgelaten richting het noodafvoer- of overstortstelsysteem.



Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 00

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

