

2016•2017
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Onderzoek naar de functionaliteit en de duurzaamheid van het Fluvio
infiltratie- en buffersysteem

Promotor :
ir. Carlo BOLLEN

Promotor :
Dhr. BERT MAES

Pieter Hermans

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: bouwkunde*

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2016•2017

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Onderzoek naar de functionaliteit en de duurzaamheid van
het Fluvio infiltratie- en buffersysteem

Promotor :
ir. Carlo BOLLEN

Promotor :
Dhr. BERT MAES

Pieter Hermans

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: bouwkunde*

Woord vooraf

Allereerst zou ik mijn promotoren, Ir. Carlo Bollen en Dhr. Bert Maes willen bedanken. Zij hebben me op goede weg geholpen en me wegwijs gemaakt in de materie. Tevens hebben ze op regelmatige basis mijn teksten nagekeken en zijn ze met oplossingen gekomen als er vragen waren. Daarnaast zou ik Marino Moons van Infrac willen bedanken. Hij heeft tevens ook mijn teksten gecontroleerd en hielp bij de theoretische uiteenzetting van de proeven en stuurde bij waar nodig.

Tijdens dit onderzoek heb ik nauw samengewerkt met de mensen van Artstone. Daarom wil ik graag Ann De Schutter en Bob Verbruggen bedanken. Ze zorgden ervoor dat ik het nodige materiaal ter beschikking had en bezorgden me nuttige informatie over het Fluvio-systeem. In het bijzonder zou ik ook Guy Wouters van Artstone willen bedanken die me bijstond tijdens de inspecties en ook altijd klaar stond om te helpen als ik vragen had.

Verder wil ik Elia Boonen en Jochem Sneyers van het “Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw” (OCW) bedanken. Ze bezorgden me nuttige informatie over het onderwerp en stelden het centrum open voor een bezoek. Tevens mocht ik gebruik maken van hun apparatuur en stonden ze me bij tijdens de doorlatendheidsmeting. Ook wil ik de mensen van Geos bedanken die me gebruik lieten maken van hun laboratorium voor de waterdoorlatendheidsproeven en in het bijzonder Wouter Fock die me tijdens de proeven begeleidde.

Binnen de faculteit industriële ingenieurswetenschappen zou ik graag Prof. dr. Ing. Bram Vandoren willen bedanken. Hij verzorgde de lessen van het vak masterproefseminarie waarbij de correcte richtlijnen omtrent het schrijven van een scriptie toegelicht werden.

Tenslotte wil ik mijn ouders bedanken voor de steun en de hulp gedurende heel mijn studentenperiode. Zonder hun was het niet mogelijk geweest deze studie succesvol af te ronden.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Lijst van tabellen	VII
Lijst van figuren	IX
Symbolenlijst	XI
Abstract	XIII
Abstract in English	XV
1 Inleiding	XVII
2 Infiltratievoorzieningen	21
2.1 Rechtstreekse infiltratie via oppervlakteverharding	22
2.1.1 Steenslagverharding, dolemietverharding en mulchbedekking	22
2.1.2 Grastegels	23
2.1.3 Waterdoorlatende betonstraatstenen	24
2.2 Onrechtstreekse infiltratie via bovengrondse infiltratiesystemen	26
2.2.1 Infiltratiebekken	26
2.2.2 Infiltratiekom en wadi	27
2.2.3 Randbegroeiing en infiltratiezones	28
2.2.4 Infiltratiesleuven	29
2.2.5 Infiltratiegrachten	30
2.3 Onrechtstreekse infiltratie via ondergrondse infiltratiesystemen	31
2.3.1 Infiltratieput	31
2.3.2 Combinatieput infiltratie-hemelwater	32
2.3.3 Infiltratiemodule uit poreus beton	32
2.3.4 Infiltratiekratten	33
2.3.5 Infiltratiebuis	34
2.3.6 Fluvio-systeem	34
3 Type funderingen en parameters die invloed hebben op de keuze	37
4 Het Fluvio-systeem	43
4.1 De opbouw en de toepassingen van het Fluvio-systeem	43
4.2 Maat- en productiekenmerken van de FLuvio-blok	48
4.3 De productie van de Fluvio-blok	49
4.4 Eisen en randvoorwaarden voor de plaatsing van het systeem	49
4.4.1 Werken voor de opbouw van het systeem	50

4.4.2	De bescherming van het Fluvio-systeem.....	50
4.4.3	Kenmerken en eigenschappen van de straatlaag van de Fluvio-blokken	51
5.	Bespreking van een voorgaand onderzoek op het Fluvio-systeem.....	53
5.1	Individuele Fluvio-blok	53
5.1.1	Type80	53
5.1.2	Type40	55
5.2	Als onderdeel van een weglichaam	56
6	Bepalen van de porositeit van de poreuze Fluvio-blok	57
6.1	Inleiding.....	57
6.2	Beschrijving van de proef.....	57
6.2	De resultaten	58
7	Buffercapaciteit van het Fluvio-systeem.....	61
7.1	Inleiding.....	61
7.2	Controleren of de buffercapaciteit voldoet aan de gestelde eisen	62
7.3	Buffercapaciteit Fluvio-systeem vergelijken met de andere funderingsmogelijkheden	63
7.4	Bespreking	68
8	Waterdoorlatendheidstesten.....	71
8.1	Waterdoorlatendheidsproef van het beton van de poreuze Fluvio-blok.....	71
8.1.1	Inleiding.....	71
8.1.2	De benodigde apparatuur	72
8.1.3	De voorbereiding	72
8.1.4	De uitvoering	73
8.1.5	Formule voor het bepalen van de resultaten:.....	75
8.1.6	Resultaten	75
8.2	Waterdoorlatendheidsproef van een individuele Fluvio-blok	76
8.2.1	Inleiding.....	76
8.2.2	De voorbereiding	76
8.2.3	De uitvoering	77
8.2.4	Resultaten	78
8.3	Bespreking	79
9	Doorlatendheidsmeting in situ via een dubbele ringmethode	81
9.1	Locatie en randvoorwaarden	81
9.2	Proefmethode.....	82

9.2.1 Meetopstelling	82
9.2.2 De opbouw van de proef.....	83
9.2.3 De werking van de proef	85
9.3 Resultaat	87
10. Inspecties van gebruikte Fluvio-systemen en Fluvio-blokken.....	89
10.1 Heusden-Zolder	89
10.2 Dessel	91
10.2.1 Porositeit van de gebruikte Fluvio-blokken.....	92
10.2.2 Waterdoorlatendheidsproeven	94
10.3 Bespreking.....	96
11. Opmaken van ontwerpregels.....	97
11.1 Inleiding.....	97
11.2 Rekenregels voor het Fluvio-systeem	99
11.3 Voorbeeldoefening	100
11.3.1 Opgave.....	100
11.3.2 Oplossing.....	101
12 Besluit	103
Literatuurlijst	105

Lijst van tabellen

Tabel 1: Verkeerscategorieën [8, 13, 14]	38
Tabel 2: Resultaat natte weging.....	58
Tabel 3: Resultaat droge weging	58
Tabel 4: Uitkomst waterabsorptie in gewichtsprocent	58
Tabel 5: Porositeit van de Fluvio-blok Type80	59
Tabel 6: Buffervolumes in functie van het ledigingsdebiet en de terugkeerperiode [3, 4, 14].....	63
Tabel 7: Buffervolumes in functie van het ledigingsdebiet van de ondergrond en de terugkeerperiode	63
Tabel 8 : De parameters voor het bepalen van de waterdoorlatendheidsfactor van het beton	75
Tabel 9: De waterdoorlatendheidsfactor van het beton	76
Tabel 10: De parameters voor het bepalen van de waterdoorlatendheidsfactor de Fluvio-blok Type80.....	78
Tabel 11: De waterdoorlatendheidsfactor van het de Fluvio-blok Type80.....	79
Tabel 12: Resultaten van de wegingen van zowel het nat als het droog gewicht.....	93
Tabel 13: Waterabsorptie in gewichtsprocent	93
Tabel 14: Resultaten van de porositeit	93
Tabel 15: Gegevens voor de bepaling van de waterdoorlatendheid	95
Tabel 16: Gegevens voor de bepaling van de waterdoorlatendheidsfactor	95
Tabel 17: Waterdoorlatendheidsfactor van het beton.....	96
Tabel 18: Nodige buffervolumes in functie van het maximaal ledigingsdebiet en de terugkeerperiode van de overlaat voor een constante en lineaire ledigingsrelatie bij een concentratietijd van 10 minuten [26].....	98
Tabel 19: Bepalen van het buffervolume	101

Lijst van figuren

Figuur 1: De natuurlijk watercyclus en de door menselijke ingrepen veranderde situatie [22, 26]	XVII
Figuur 2: Steenslagverharding	22
Figuur 3: Dolomietverharding	23
Figuur 4: Mulchbedekking	23
Figuur 5: Grasbetontegels [20]	24
Figuur 6: Kunststofgrastegels [10]	24
Figuur 7: Betonstraatstenen met drainageopeningen [13]	25
Figuur 8: Betonstraatstenen met verbrede voegen [21]	25
Figuur 9: Poreuze betonstraatstenen [23]	26
Figuur 10: Infiltratiebekken	27
Figuur 11: Infiltratiekom	27
Figuur 12: Wadi	28
Figuur 13: Randbegroeiing	29
Figuur 14: Infiltratiezones	29
Figuur 15: Infiltratiesleuf [7]	30
Figuur 16: Infiltratiegracht [7]	30
Figuur 17: Infiltratieput [25]	31
Figuur 18: Combinatieput infiltratie-hemelwater [7]	32
Figuur 19: Infiltratiemodule uit poreus beton [12]	33
Figuur 20: Infiltratiekratten [28]	33
Figuur 21: Infiltratiebuis [5]	34
Figuur 22: Fluvio-systeem [1]	35
Figuur 23: Opbouw van de onderbouw van waterdoorlatende betonstraatstenen in verschillende situaties [2, 8, 13, 14]	40
Figuur 24: Standaardopbouw Fluvio-systeem [1]	44
Figuur 25: Halfsteensverband	45
Figuur 26: Steensverband	45
Figuur 27: Sleufrooster gecombineerd met een niet waterdoorlatende bestrating [1] ..	46
Figuur 28: Aansluiting afvoer dakwater in het fluvio-systeem [1]	46
Figuur 29: Het Fluvio-systeem met overloop en inspectieput [1]	47
Figuur 30: Het Fluvio-systeem toegepast als infiltratiebekken [1]	47
Figuur 31: Fluvio-blokken als toplaag [1]	48
Figuur 32: Technische tekening Fluvio-blok Type80	49
Figuur 33: Eisen geotextiel volgens PTV829 [16, 27]	51
Figuur 34: Scheurvorming in Fluvio-blok Type80 [19]	54
Figuur 35: Vergelijking van het scheurpatroon van de proefopstelling en het numeriek model [19]	55
Figuur 36: Opbouw onderlaag voor een weinig doorlatende ondergrond met wegcategorie III [2, 8, 13, 14]	65
Figuur 37: Opbouw onderlaag voor een weinig doorlatende ondergrond met wegcategorie II [2, 8, 13, 14]	67

Figuur 38: Fluvio-blok Type80 voor- en zijaanzicht.....	71
Figuur 39: Zagen van het proefstuk.....	72
Figuur 40: Proces van het omdoen van de roefingband	73
Figuur 41: Opstelling waterdoorlatendheidsproef van het beton van de Fluvio-blok....	74
Figuur 42: Proefopstelling met waterbak	74
Figuur 43: Het proces van het omdoen van de roefingband.....	77
Figuur 44: Proefopstelling waterdoorlatendheidsproef van een volledige Fluvio-blok Type80	77
Figuur 45: Toplaag waarop de proef is uitgevoerd.....	82
Figuur 46: Onderdelen van dubbele ringmethode [15, 24]	83
Figuur 47: De krijtmarkeringen van de ringen op het bestratingsoppervlak.....	84
Figuur 48: Aanbrengen van de cementmortel op de krijtmarkeringen.....	84
Figuur 49: Aanhechting van de binnenste en buitenste ring met het bestratingsoppervlak	85
Figuur 50: Werking van de niveaudetector [15].....	86
Figuur 51: Opstelling van de proef gedurende de proef.....	86
Figuur 52: Grafiek waterdoorlatendheid	87
Figuur 53: Sleuf met niet poreuze betonstraatstenen	89
Figuur 54: Het opengebroken systeem in Heusden-Zolder	90
Figuur 55: Vergelijking toplaag met verschillende onderbouw	91
Figuur 56: Conceptueel model voor het berekenen van de nodige buffervolumes aan de hand van continue lange termijn simulaties [26].....	97

Symbolenlijst

Symbool	Grootheid	Eenheid
A	oppervlakte van het bovenzvlak van het proefstuk	cm ²
b	breedte proefstuk	mm
dikte _{fundering}	dikte van de fundering	cm
F _r	veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting	/
G	gewichtsprocent	%
h	hoogte van het proefstuk	mm
H _r	waterhoogte op een oppervlakte van 1 m ²	cm
h _w	hoogte waterfilm op het bovenzvlak van het proefstuk	mm
k	waterdoorlatendheidsfactor	m/s
k _{inf}	infiltratiecapaciteit van de ondergrond	m/dag
l	lengte proefstuk	mm
M _{droog}	massa in droge toestand	g
M _{nat}	massa in natte toestand	g
O _{af}	afvoerende verharde oppervlakte	ha
O _{inf}	infiltratieoppervlakte	m ²
Q	ledigingsdebiet	m ³ /dag x ha
t	tijdsduur	s
V	volume opgevangen hoeveelheid water	cm ³
V _b	beschikbaar buffervolume	m ³ /ha
V _{beton}	volume beton per Fluvio-blok	cm ³
V _{buf}	buffervolume Fluvio-systeem per m ²	l/m ²

Abstract

De verwerking van hemelwater is de laatste tijd een zeer actueel thema. De mens heeft alles volgebouwd, waardoor het op vele plaatsen niet meer mogelijk is om het hemelwater op een natuurlijke wijze te verwerken. Deze masterproef behandelt een nieuw ontwikkeld infiltratie- en buffersysteem dat in de fundering van bestratingen toegepast wordt. Er wordt onderzocht of het systeem een meerwaarde biedt en of deze eventuele meerwaarde gedurende een periode kan behouden blijven.

Er wordt gestart met een literatuurstudie die de verschillende infiltratievoorzieningen in kaart brengt. Daarna worden de aanverwante funderingsmaterialen en de belangrijkste parameters die mee bepalen hoe de fundering van een bestrating wordt opgebouwd toegelicht. Vervolgens wordt het Fluvio-systeem voorgesteld en wordt onderzocht of dit systeem voldoet aan de opgelegde eisen. Verder worden er testen en inspecties uitgevoerd op individuele Fluvio-blokken en op een geheel werkend Fluvio-systeem. Uit al deze bevindingen worden dan ontwerpregels afgeleid.

Uit het onderzoek blijkt dat het Fluvio-systeem gezien kan worden als een werkende, waterdoorlatende fundering die voldoet aan de eisen van een infiltratie- en buffersysteem. Tevens verliest het systeem hooguit een fractie van zijn functionaliteit doorheen de tijd, waardoor er aangenomen kan worden dat reinigen van het systeem niet noodzakelijk is. Een kanttekening die hierbij gemaakt moet worden is het feit dat het systeem nog maar 9 jaar wordt toegepast.

Abstract in English

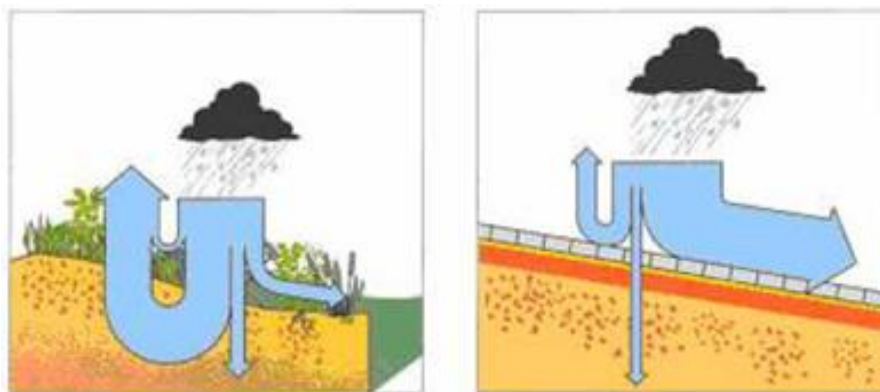
Lately, the processing of rainwater is a very contemporary subject. Reason for this is the construction of more and more buildings, closer together, making it impossible for rainwater to be processed in a natural way in some places. This master thesis deals with a newly developed buffer- and infiltration system, which is applied in the foundations of roads and which can especially be of use in the places described above. The added value of the system will be subjected to an investigation as well as if the potential added value can persist throughout an extended period of time.

First off an overview of the different kinds of infiltration systems will be presented based upon a thorough review of the already available literature. After, the related foundation materials and the most important parameters which are also critical in determining the construction of the road foundation are discussed. Additionally the Fluvio-system is presented and it will be investigated if the system measures up to the imposed requirements. Furthermore individual Fluvio-blocks, as well as a fully functional Fluvio-system, will be subjected to a multitude of test and inspections. Finally, out of all these findings the design rules will be deduced.

The results of the investigation show that the Fluvio-system can be seen as a fully functional, water permeable foundation that meets the requirements of a buffer-infiltration system. The system also seems to lose only a fraction of its functionality throughout time, from which we can assume that cleansing of the system is not necessary. It is important to note that the system has only been applied for nine years.

1 Inleiding

De aanzienlijke toename aan bebouwde oppervlakte zorgt de laatste decennia voor meer problemen omtrent de verwerking van hemelwater. De toename aan bebouwde oppervlakte zorgt ervoor dat de natuurlijke watercyclus voor een groot deel verdwijnt. De neerslag valt bij een natuurlijke situatie op een min of meer doorlaatbare ondergrond en dringt dan onmiddellijk gedeeltelijk in de ondergrond. Het hemelwater dat overblijft, zal via de begroeiing vertraagd naar de grachten stromen waarin het wordt geborgen. Na verdere infiltratie en verdamping wordt het hemelwater vertraagd naar de waterloop afgevoerd. [22, 26]



Figuur 1: De natuurlijk watercyclus en de door menselijke ingrepen veranderde situatie [22, 26]

Doordat de mens alles volbouwt gaat het hemelwater nu vaak op verharde ondergronden terecht komen waarbij het niet rechtstreeks in de grond kan dringen. Het grootste gedeelte van het hemelwater zal dan versneld en geconcentreerd in de riolering terecht komen, waar het dan samen met het afvalwater naar het waterzuiveringsstation wordt afgevoerd. Zo'n systeem wordt een gemengde riolering genoemd. [22, 25, 26]

Deze gemengde riolering heeft een heleboel negatieve effecten:

- ❖ Dit systeem heeft een negatieve invloed op de waterbalans. Door de versnelde afvoer van het hemelwater zal er een verlaging van de grondwatertafel optreden. Dit gaat gepaard met een algemene verdroging, want in sommige delen van Vlaanderen wordt er ten behoeve van de drinkwaterproductie en industrie meer water uit de ondergrond onttrokken dan dat er aangevuld wordt.
- ❖ De waterzuiveringsstations worden overbelast en de werking verslechtert doordat het afvalwater te fel verdund is.
- ❖ Het ontwerp van de riolering is vaak niet voorzien op grote hoeveelheden water. Bij zware regenbuien gaat de riolering het water niet meer kunnen verwerken met als gevolg dat het hemelwater samen met het vervuilde water gaat overstorten in het oppervlaktewater. Dit heeft een negatief gevolg voor het ecosysteem en zal bovendien alle verrichte inspanningen om het oppervlaktewater zuiver te houden grotendeels ongedaan maken.

- ❖ Als er geen overstort aanwezig is of als men te maken heeft met zeer intensieve regenbuien kan er zelfs een overstroming ontstaan waarbij het hemelwater samen met het afvalwater op de straat of zelfs in de woningen terecht kan komen. Dit kan voor schade en geurhinder zorgen. [22, 25, 26]

De riolering wordt bij nieuwe projecten tegenwoordig gescheiden uitgevoerd omwille van de problemen met het gemengde systeem. Bij een gescheiden riolering wordt het afvalwater (DWA-stelsel) en het hemelwater (RWA-stelsel) in aparte stelsels afgevoerd. Onder hemelwater wordt verstaan regen, sneeuw en hagel met dooiwater. [22, 25, 26]

Een gescheiden stelsel voert het hemelwater af naar een bekken of een oppervlaktewater en het afvalwater naar een waterzuiveringsstation. Anderzijds zijn er betere alternatieven om het hemelwater te verwerken. Deze worden in volgorde van graad van belang hieronder vermeld:

- I. opvangen en hergebruik door middel van een hemelwaterput;
- II. infiltreren op eigen terrein;
- III. buffering met vertraagd lozen op oppervlaktewater of een kunstmatige afvoerweg voor hemelwater;
- IV. lozing in de hemelwaterafvoerleiding (RWA) in de straat. [22, 25, 26]

Deze volgorde moet gerespecteerd worden. Enkel als er geen van deze bovenstaande verwerkingsmethodes mogelijk is, mag het hemelwater in de openbare riolering worden geloosd. [22, 25, 26]

Er wordt nog altijd te veel hemelwater onnodig afgevoerd waardoor er elders wateroverlast optreedt. Dit probleem kan verholpen worden door het hemelwater zoveel mogelijk ter plaatste te houden en het te laten infiltreren op de plaats waar het valt of een plaats hier dichtbij. Op deze wijze zal er terug een natuurlijke watercyclus gecreëerd worden. Het Fluvio-systeem is hier een ideaal systeem voor doordat het wordt opgebouwd in de fundering van bestratingen. Het systeem kan hemelwater opvangen door buffering en het daarna plaatselijk laten infiltreren in de ondergrond. Infiltreren betekent het insijpelen van hemelwater in de bodem. [22]

Het Fluvio-systeem is nog een nieuw en vrij onbekend systeem. Daarom wordt er in deze masterproef aandacht aan besteed. Er wordt een algemeen beeld geschetst van wat het Fluvio-systeem precies is, hoe het is opgebouwd en in welke toepassingen het wordt gebruikt. Voorts wordt er onderzoek gedaan naar de duurzaamheid en de functionaliteit van het Fluvio-systeem.

Werkt het Fluvio-systeem? Zal het systeem blijven werken of is er regelmatig onderhoud nodig? Kan het systeem genoeg hemelwater opvangen en verwerken? Dit zijn enkele van de vele vragen waarop deze masterproef een antwoord geeft. Tevens moet deze masterproef samen met de voorafgaande technologieverkenning van Ing. Rik

Steensel en Prof. dr. ing. Bram Vandoren een basis zijn voor de benoriserie van de Fluvio-blok.

In het onderzoek wordt gestart met het overlopen van de verschillende infiltratiemogelijkheden. Hier worden de belangrijkste infiltratievoorzieningen besproken met hun voor- en nadelen en hun toepassingsgebied. Daaropvolgend worden de type funderingen geïnventariseerd en worden de belangrijkste parameters toegelicht die mee bepalen hoe een waterdoorlatende fundering van een bestrating wordt opgebouwd.

Vervolgens wordt het Fluvio-systeem en al zijn kenmerken voorgesteld. Op het Fluvio-systeem is er door Ing. Rik Steensels en Prof. dr. ing. Bram Vandoren al een onderzoek uitgevoerd. In dat onderzoek wordt de sterkte van het systeem onderzocht en wordt er gekeken of het mogelijk is de vorm van de Fluvio-blok te optimaliseren. Hiervan worden de belangrijkste elementen toegelicht.

Voorts wordt de porositeit en de waterdoorlatendheid van een enkele poreuze Fluvio-blok bepaald aan de hand van proeven. Er wordt ook nagegaan of de buffercapaciteit van het systeem voldoet aan de opgelegde eisen en deze wordt ook vergeleken met andere funderingssystemen. Daaropvolgend wordt een doorlatendheidsmeting uitgevoerd op een waterdoorlatende bestrating waar een Fluvio-systeem toegepast wordt in de fundering. Aansluitend hierop worden twee Fluvio-systemen opgebroken waardoor er kan gekeken worden in welke staat dat deze zich bevinden na enkele jaren in gebruik te zijn geweest. Tevens worden ook enkele Fluvio-blokken verwijderd uit het systeem. Van deze blokken wordt dan weer de porositeit en de waterdoorlatendheid bepaald.

Op basis van al deze resultaten en bevindingen worden dan ontwerpregels voor het Fluvio-systeem opgemaakt. Tenslotte wordt er een algemene conclusie in deze masterproef gegeven.

2 Infiltratievoorzieningen

Het doel van infiltratievoorzieningen is het hemelwater ter plaatse laten infiltreren zodat de grondwatertafel wordt aangevuld en er stroomafwaarts geen wateroverlast kan optreden. Om een infiltratievoorziening uit te voeren is er bij voorkeur een redelijk doorlatende ondergrond en een lage grondwaterstand nodig, want een infiltratievoorziening die zich onder de grondwaterstand bevindt zal eerder draineren dan infiltreren, wat uiteraard niet de bedoeling is. [25, 26, 27]

Om een infiltratievoorziening te dimensioneren moet er rekening worden gehouden met volgende twee belangrijke parameters:

- de terugkeerperiode voor de overloop;
- het ledigingsdebiet.

De terugkeerperiode voor overloop geeft aan om de hoeveel tijd de infiltratievoorziening niet in staat is om een bepaalde bui te verwerken. Het ledigingsdebiet wordt bepaald uit de infiltratiecapaciteit, de toevoerende verharde oppervlakte en de infiltratieoppervlakte [25, 27]:

$$\text{Ledigingsdebiet} = \frac{\text{infiltratiecapaciteit} \cdot \text{infiltratieoppervlakte}}{\text{afvoerende verharde oppervlakte}} \text{ (m/s)}. [25, 27]$$

De infiltratiecapaciteit geeft de doorlatendheid of de k-waarde van de bodem weer in meter per seconde. De infiltratieoppervlakte is de oppervlakte van de ondergrond waar het hemelwater in kan infiltreren en wordt in vierkante meter uitgedrukt. De afvoerende verharde oppervlakte is de totale oppervlakte van de ondergrond waarop het hemelwater valt dat geïnfiltreerd moet worden. Dit wordt uitgedrukt in vierkante meter. Het infiltratieoppervlak is bij ondergrondse infiltratievoorzieningen enkel de nuttige wandoppervlakte die in rekening gebracht kan worden. Dit is de som van alle wandoppervlakten waarlangs water in de bodem kan infiltreren. [25, 26, 27]

De infiltratievoorzieningen zijn ingedeeld op de manier waarop ze het hemelwater naar de ondergrond brengen en of het systeem zich ondergronds of bovengronds bevindt. Er zijn 3 verschillende groepen van infiltratiesystemen:

- rechtstreekse infiltratie via oppervlakteverharding;
- onrechtstreekse infiltratie via bovengrondse infiltratiesystemen;
- onrechtstreekse infiltratie via ondergrondse infiltratiesystemen. [7,22,25]

De belangrijkste en de meest gebruikte infiltratievoorzieningen worden verder toegelicht.

2.1 Rechtstreekse infiltratie via oppervlakteverharding

Bij rechtstreekse infiltratie via oppervlakteverharding gaat het hemelwater dat op de verharding valt rechtstreeks infiltreren via de verharding in de ondergrond, waardoor er een natuurlijke situatie wordt gecreëerd. De verharding zelf gaat een grote doorlatendheid hebben of voorzien zijn van open voegen. De onderbouw moet voldoende waterdoorlatend uitgevoerd worden om het systeem te laten functioneren en zal tevens dienst doen als buffervolume. Het nadeel van dit soort systemen is dat de belasting op de verharding vaak beperkt moet blijven en dat het grondwater zich minimaal 0,7 meter diep moet bevinden. [22, 26]

2.1.1 Steenslagverharding, dolomietverharding en mulchbedekking

Het hemelwater gaat bij steenslagverharding gewoon tussen de verharding in de ondergrond dringen. De verharding bestaat uit steenslag zoals puingranulaten, grind, natuurstenen, gewassen kiezel, enzovoort. De dikte van de laag en de korrelverdeling is afhankelijk van de te verwachten belasting. Deze toepassing is uitermate geschikt voor opritten, kleine parkeerplaatsen, brandwegen, tuin- en voetpaden. Het is een systeem dat eenvoudig en goedkoop kan opgebouwd en onderhouden worden. Een nadeel is dat er vrij snel putten gaan ontstaan bij een grote verkeersbelasting. [7, 22]



Figuur 2: Steenslagverharding

Dolomietverhardingen worden opgebouwd uit een mengsel van cement, dolomiet, aanmaakwater en eventueel kalk. Er kan geotextiel voorzien worden onder de dolomietverharding om vermenging met andere lagen en het ingroeien van planten tegen te gaan. Deze verharding is geschikt voor opritten, parkeerplaatsen, brandwegen, tuin- en voetpaden. Bij grote verkeersbelasting kunnen er putten ontstaan en kan er bijkomend verbrokkeling optreden, waardoor de doorlatendheid van de ondergrond ongunstig wordt beïnvloed. [7, 22]



Figuur 3: Dolomietverharding

Mulchbedekking of houtspaanders kunnen ook gebruikt worden als verharding. Deze verharding bestaat dan uit schors of gehakseld hout en wordt vooral gebruikt voor tuinpaden en als bodembedekker tussen planten. Dit product is natuurlijk en gaat op termijn vergaan, waardoor het nodig is om het materiaal regelmatig aan te vullen. [7, 22]



Figuur 4: Mulchbedekking

2.1.2 Grastegels

Grastegels worden gemaakt uit beton of uit kunststof. Grasbetontegels zijn betonnen tegels met openingen waartussen gras groeit. Deze openingen kunnen ook gevuld worden met steenslag als de doorlatendheid altijd moet gegarandeerd worden, bijvoorbeeld bij druk verkeer. De opbouw bestaat uit een doorlatende onderfundering, een fundering van steenslag, een straatlaag en dan de eigenlijke grasbetontegels. Alleen bij zeer goede doorlatende ondergronden is er geen onderfundering nodig. [7, 22, 25]

Als het gras volledig volgroeid is, zal de bestrating de ondergrond beschermen tegen erosie. Er zal een geotextiel voorzien worden mits er een kans bestaat dat de teelaarde in de onderlaag gaat wegspoelen. De grasbetontegels zijn gemakkelijk te plaatsen en hebben een lage onderhoudskost. Ze worden gebruikt voor parkeerplaatsen, opritten, brandwegen, tuin- en parkpaden. [7, 22, 25]



Figuur 5: Grasbetontegels [20]

De kunststofgrastegels zijn vervaardigd uit gerecycleerd polyethyleen met een hoge dichtheid. De oppervlakte van de tegels bestaat voor 95% uit openingen, waardoor de tegels zo goed als onzichtbaar zijn. De openingen kunnen gevuld worden met teelaarde en graszaad of met een grind- of kiezelsoort. De opbouw is hetzelfde als bij de grasbetontegels. De kunststofgrastegels zijn bijzonder licht waardoor ze heel eenvoudig geplaatst kunnen worden. Ook zijn ze onderling met elkaar verbonden wat zorgt voor een robuuste structuur. Dit systeem wordt vooral gebruikt voor opritten, parkeerplaatsen en bermstroken. [7, 22, 25]



Figuur 6: Kunststofgrastegels [10]

2.1.3 Waterdoorlatende betonstraatstenen

Waterdoorlatende betonstraatstenen kunnen opgedeeld worden in 3 groepen:

- betonstraatstenen met drainageopeningen;
- betonstraatstenen met brede voegen;
- poreuze betonstraatstenen.

De volledige onderbouw bij waterdoorlatende betonstraatstenen moet voldoende doorlatend zijn om het systeem te doen werken. De fundering moet ook bestand zijn tegen de weerstand van het verkeer. De eventuele onderfundering moet voor buffering van het hemelwater zorgen en voor bescherming van de ondergrond tegen vorst. [7, 25]

Betonstraatstenen met drainageopeningen bevatten gaten in het oppervlak waarlangs het hemelwater in de ondergrond kan sijpelen. De openingen zorgen tevens voor een buffercapaciteit. Het probleem is dat deze openingen vrij snel zullen dichtslibben wat de werking ervan ongedaan maakt. Het systeem mag niet gebruikt worden bij grote verkeersbelastingen. Het wordt dan ook vooral aangelegd op industrieterreinen, woonstraten met licht verkeer, opritten, brandwegen, kleine parkeerplaatsen en pleinen. [7, 22, 26]



Figuur 7: Betonstraatstenen met drainageopeningen [13]

Bij de betonstraatstenen met brede voegen gaan de voegen voor de infiltratie zorgen. Deze zijn opgebouwd uit fijne kiezel, grof zand of uit geprefabriceerd afstandshouders. Het legverband met de speciaal daarvoor ontworpen stenen zorgt voor de verbrede voegen. De openingen van deze voegen zijn vaak beperkt. Hierdoor is er onvoldoende afwatering mogelijk en wordt de verharding best onder een lichte dwarshelling van 2% geplaatst. De voegen zullen regelmatig vrijgehouden moeten worden van begroeiing, zodat de waterdoorlatendheid van het systeem behouden blijft. Deze toepassing is minder geschikt voor zwaar belastend verkeer maar eerder voor opritten, parkeerplaatsen, brandwegen, woonstraten met licht verkeer en pleinen. [7, 13, 20]



Figuur 8: Betonstraatstenen met verbrede voegen [21]

Poreuze betonstraatstenen zijn volledig waterdoorlatend uitgevoerd. Ze bezitten een speciale korrelstructuur waardoor er een zekere porositeit verkregen wordt. Deze speciale korrelstructuur zorgt voor open kanalen in de structuur van het beton en worden poriën genoemd. In de loop van de tijd kunnen deze poriën dichtslibben door gronddeeltjes die samen met het hemelwater worden afgevoerd. Hierdoor zullen ze hun

waterdoorlatende eigenschappen verliezen. Om deze eigenschappen volledig te recupereren moeten de poreuze betonstraatstenen regelmatig gereinigd worden. Het gebruik van dooizouten moet vermeden worden en het systeem is niet geschikt voor hoge verkeersbelasting, waardoor worden ze vooral toegepast worden voor opritten, parkeerplaatsen, brandwegen, woonstraten met licht verkeer en pleinen. [7, 22, 25]



Figuur 9: Poreuze betonstraatstenen [23]

2.2 Onrechtstreekse infiltratie via bovengrondse infiltratiesystemen

In deze systemen wordt het hemelwater naar een open voorziening geleid waarin dan de infiltratie zal gebeuren. Deze voorziening is vaak lager gelegen dan de verharding. Het hemelwater wordt hierin opgeborgen en vervolgens gebeurt er een geleidelijke infiltratie in de ondergrond. De grondwaterstand moet minimum 0,7 meter diep zijn en de toevoer van het hemelwater wordt best bovengronds gehouden. Indien dit niet mogelijk of wenselijk is, moet er een systeem voorzien worden om bladeren tegen te houden. [7, 22]

2.2.1 Infiltratiebekken

Een infiltratiebekken wordt gebruikt om grote hoeveelheden hemelwater te laten infiltreren. Het is een verlaagde zone die het hemelwater opvangt en laat infiltreren in de ondergrond. Het bekken moet minstens 30 centimeter dieper gelegen zijn dan de verharding. Tevens moet de ondergrond van het bekken goed waterdoorlatend zijn. Deze bekkens mogen geen rechthoekige betonnen bakken met steile overs zijn maar moeten goed geïntegreerd worden in de omgeving. Omwille hiervan wordt een infiltratiebekken best uitgevoerd met flauwe taluds en in een zo grillig mogelijke vorm. [7, 22, 25]



Figuur 10: Infiltratiebekken

Uit esthetisch oogpunt is er nog heel vaak een laagje water zichtbaar op de bodem van het bekken, waardoor het afgezette slib op de bodem onzichtbaar is. Om dit te verwezenlijken wordt de bodem van het bekken uitgegraven tot beneden het grondwaterpeil. Het gras van de bodem moet minstens één maal per jaar gemaaid worden zodat het slib mee met het gemaaid gras verdwijnt en de doorlatendheid van het bekken behouden blijft. Een minimale overstroming van het infiltratiebekken is vaak toelaatbaar waardoor een overloop niet nodig is. [7, 22, 25]

2.2.2 Infiltratiekom en wadi

Een infiltratiekom wordt beschouwd als een kleine versie van een infiltratiebekken. Deze mag maximaal 30 centimeter dieper gelegen zijn dan de verharding. De hellingen ervan zijn vrij vlak, altijd kleiner dan 45° en hebben afgeronde zijanten. De ondergrond van de infiltratiekom bestaat uit een humushoudende laag die begroeid is met gras. Om een goede infiltratie te behouden moet het gras regelmatig gemaaid worden zodat het slib mee zal verdwijnen. Ook moet de infiltratiekom vrij gehouden worden van bladeren en mag er niet over gereden worden. Als ondanks dit alles de infiltratiecapaciteit toch te laag bevonden wordt, kan men het gras nog verluchten of verticuteren. Er kan eveneens best gezorgd worden voor een bovengrondse toevoer. Als dit niet mogelijk is en er moet gewerkt worden met een ondergrondse toevoer, zal er een systeem voorzien worden om de bladeren tegen te houden. [7, 22, 25, 26]



Figuur 11: Infiltratiekom

Wadi is een woord dat afkomstig is uit het Arabisch en wat zoveel betekent als een vaak droogstaand rivierdal. Deze toepassing is oorspronkelijk afkomstig uit Nederland en hier hebben ze er een nieuwe benaming aan gegeven, namelijk “water drainage en infiltratie”. Het is een systeem dat veel gelijkenissen vertoont met een infiltratiekom. Het verschil is dat een wadi vooral wordt toegepast als de ondergrond onvoldoende doorlatend is en de grondwatertafel voldoende diep zit. [7, 22, 25, 26]

Bij een wadi wordt er een filterbed onder de infiltratiekom aangelegd. Dit filterbed dient om de minder doorlatende laag te doorbreken of om extra berging te voorzien. Er kan een drainageleiding in het ondergrondse filterbed aangebracht worden om de infiltratiecapaciteit van de wadi te vergroten. Op deze manier bekom je een ondiepe infiltratiekom die ondergronds gedraineerd wordt. [7, 22, 25, 26]



Figuur 12: Wadi

Zowel een infiltratiekom als een wadi kan perfect in de omgeving geïntegreerd worden. Als voordeel hebben ze beperkte technische- en installatiekosten nodig en wordt er een goede biologische zuivering gegarandeerd. Daar tegenover staat wel dat er veel vrije ruimte nodig is om het systeem uit te voeren en het maaien van het gras moeilijker is dan bij vlak gelegen oppervlakken. [7, 22]

2.2.3 Randbegroeiing en infiltratiezones

Randbegroeiing kan worden toegepast op plaatsen waar een goede doorlatende ondergrond aanwezig is. Het is een verlaagde berm die bestaat uit ongeveer 20 centimeter teelaarde en gazon. Het hemelwater zal door de dwarshelling van de weg afgeleid worden naar de randbegroeiing waarin dan de infiltratie plaatsvindt. Om de doorlatendheid te behouden moet het gras regelmatig gemaaid worden. Parkeren op de randbegroeiing is verboden, want hierdoor gaat het gazon verdichten en zal het een groot deel van zijn infiltratiecapaciteit verliezen. [6]



Figuur 13: Randbegroeiing

Infiltratiezones werken via hetzelfde principe als randbegroeiingen. Het verschil is dat deze zones zich niet langs een weg bevinden maar vaak gewoon midden in een tuin. Het is een verlaagde met gras begroeide zone naar waar het hemelwater zal afvloeien en vervolgens in infiltreert. Net zoals bij alle andere ingezaaide infiltratiezones zal er ook tijdig gemaaid moeten worden. Het is een ideaal systeem om hemelwater van een particuliere woning op het perceel zelf te laten infiltreren. [6]



Figuur 14: Infiltratiezones

2.2.4 Infiltratiesleuven

Een infiltratiesleuf is een lijnvormige infiltratievoorziening die is opgebouwd uit een goed doorlatende steenslagkoffer. De toevoer zal altijd bovengronds gebeuren. De steenslagkoffer bestaat uit grove kiezel, grint, lava of kleikorrels. Deze wordt omhuld met geotextiel om het inspoelen van de omliggende grond tegen te gaan. Er kan onderin de koffer een infiltratiebuis gebruikt worden om het infiltratiewater goed te verdelen. [7, 22, 26]



Figuur 15: Infiltratiesleuf [7]

Het is een toepassing die geschikt is voor afwatering van verharde oppervlaktes en daken bij ééngezinswoningen, voor de afwatering van wegenis en verharde oppervlaktes bij groepsbouw. Het nadeel van het systeem is dat er maar een beperkt onderhoud mogelijk is. Dit kan enkel door de toplaag van de sleuf te reinigen en het systeem bij te vullen. [7, 22, 26]

2.2.5 Infiltratiegrachten

Een infiltratiegracht is een lijnvormige infiltratievoorziening die verdiept wordt aangelegd met steile randen van 45° of meer. Als eerste functie transporteren ze hemelwater, maar door deze grachten in de langsrichting te plaatsen, kunnen ze water plaatselijk vasthouden en fungeren ze als infiltratievoorziening. [7, 26]



Figuur 16: Infiltratiegracht [7]

De grachten kunnen natuurlijk of met een wandversteving aangelegd worden. Het is een systeem dat uitermate geschikt is voor afwatering van wegenis, daken en verharde oppervlaktes bij groepswooningen. Grachten kunnen zeer gemakkelijk in de omgeving

geïntegreerd worden en zijn goed te controleren. Er zal dan ook regelmatig een onderhoud moeten uitgevoerd worden om de infiltrerende functie te behouden. [7, 26]

2.3 Onrechtstreekse infiltratie via ondergrondse infiltratiesystemen

Bij onrechtstreekse infiltratie via een ondergronds infiltratiesysteem wordt het hemelwater ondergronds geborgen en zal het dan via de onderzijde en/of via de zijkant van de voorziening in de grond geleid worden. Voor dit soort infiltratiesysteem wordt vooral gekozen als er aan het oppervlak onvoldoende ruimte beschikbaar is of als enkel een bovengrondse voorziening onvoldoende is. Dit systeem moet geplaatst worden op voldoende afstand van bomen want anders kan de boom gedraineerd worden en kunnen de wortels het systeem aantasten. [7, 22]

2.3.1 Infiltratieput

Een infiltratieput is een betonnen, verticale put die gemaakt is uit ofwel poreus beton ofwel een put met gaten in de onderkant en in de zijkant. Het hemelwater infiltreert via de onderzijde en het onderste gedeelte van de zijkanten. In speciale gevallen kan de put geplaatst worden met een hele open onderkant. Bij geperforeerde putten wordt er geotextiel omheen de put gewikkeld om inspoeling te voorkomen. [7, 22, 25]



Figuur 17: Infiltratieput [25]

De bodem van de put zal vrij snel dichtslibben waardoor het grootste gedeelte van het water door de wand zal infiltreren. Als dit gebeurt, kan door middel van reiniging de volledig infiltratiecapaciteit gerecupereerd worden. Het systeem neemt weinig plaats in beslag, maar kan enkel toegepast worden in gebieden met een lage grondwaterstand. De toepassing wordt vooral gebruikt voor privégebruik of voor een kleine groep woningen. [7, 22, 25]

2.3.2 Combinatieput infiltratie-hemelwater

Een combinatieput infiltratie-hemelwater combineert hergebruik en infiltratie van hemelwater. Het is een verticale betonnen put die bestaat uit een poreuze zone bovenop een waterdichte zone. De poreuze zone zal gebruikt worden voor infiltratie en de waterdichte zone voor hergebruik. De zone voor hergebruik zal eerst vol lopen en daarna de infiltratiezone vullen. Het hemelwater gaat hierin dan tijdelijk gebufferd worden en daarna infiltreren in de bodem. [7]



Figuur 18: Combinatieput infiltratie-hemelwater [7]

De infiltratiezone moet zich voldoende hoog boven de grondwaterstand bevinden om instroom van grondwater in de zone voor hergebruik te voorkomen. Net zoals bij een gewone infiltratieput moet de zone rondom de put worden aangevuld met rolgrind en hoeft er geen geotextiel voorzien te worden. Inspectie en reiniging is mogelijk via een mangat. Het is een geschikt systeem voor de afwatering van daken bij ééngezinswoningen. [7]

2.3.3 Infiltratiemodule uit poreus beton

De infiltratiemodule is een balkvormige infiltratievoorziening uit waterdoorlatend beton die vaak na een regenwaterput geplaatst wordt, zodat hergebruik en infiltratie niet gecombineerd wordt in één put. De modules kunnen naast of op elkaar geschakeld worden, dit tot 2 modules hoog. Het hemelwater infiltreert via de zijkant en via de bodem. [7]



Figuur 19: Infiltratiemodule uit poreus beton [12]

De bodem van de infiltratiemodule kan op termijn dichtslibben door de afzetting van slib. Dit kan verholpen worden door het hemelwater eerst te filteren. Er moet geen geotextiel voorzien worden omheen de modules. Om de infiltratie te bevorderen wordt er wel drainerend materiaal rondom de infiltratiemodules aangebracht. De inspectie en de reiniging zijn mogelijk via een mangat. Tevens is ontluchting van het systeem noodzakelijk. Deze infiltratievoorziening is geschikt voor de afwatering van daken en verharde oppervlaktes bij ééngezinswoningen. [7]

2.3.4 Infiltratiekratten

Infiltratiekratten kunnen aaneengeschakeld worden zodat ze een modulair systeem vormen bestaande uit kunststofkratten die met elkaar verbonden worden tot een infiltratie- of bufferbekken. De infiltratie kan zowel via de bodem als via de wanden gebeuren. De kratten bestaan uit minimaal 95% holle ruimte en zijn verbonden met verbindingsclips.



Figuur 20: Infiltratiekratten [28]

Het infiltratiebekken uit kunststofkratten moet omwikkeld worden met geotextiel om inspoeling van de ondergrond tegen te gaan. De toepassing wordt vooral gebruikt voor groepen woningen, parkings en pleinen. Het nadeel aan dit systeem is dat het een grote investeringskost heeft en dat de meeste systemen moeilijk te inspecteren en te reinigen zijn. [7, 25, 26]

2.3.5 Infiltratiebuis

Een infiltratiebuis is een horizontaal infiltratie-element waarvan er twee types bestaan:

- buizen met een poreuze betonnen wand;
- buizen voorzien van perforaties.

Doordat het een horizontaal element is kan het ook toegepast worden bij hogere grondwaterstanden. Buizen voorzien van perforaties kunnen zowel uit kunststof als uit beton vervaardigd worden. Het is een gewone rioleringsbuis waar gaten zijn ingeboord. Bij dit soort infiltratiebuizen is een geotextiel verplicht om indringing van de omliggende ondergrond tegen te houden terwijl er voor de poreuze betonbuis geen geotextiel nodig is. [7, 22, 25]



Figuur 21: Infiltratiebuis [5]

De poreuze betonbuis moet volgens PTV104 (technische voorschriften voor cirkelvormige geperforeerde buizen, cirkelvormige poreuze buizen en hulpstukken van ongewapend beton voor draineer- en infiltratieleidingen) minstens een waterdoorlatendheid hebben van $2,5 \times 10^{-4}$ m/s. Het hemelwater infiltreert via de zijkant en via de bodem. Door de afzetting van slib kan de bodem op termijn dichtslibben. Dit probleem kan opgelost worden door de buis te reinigen, waardoor deze zijn volledige functionaliteit terugkrijgt. Het is een systeem dat geschikt is voor de afwatering van wegenis, verharde oppervlaktes en daken bij ééngezinswoningen en groepswoningbouw. [7, 22, 25]

2.3.6 Fluvio-systeem

Fluvio-blokken zijn infiltratie - bufferblokken met een geïntegreerde holten. De holte dient om het hemelwater in de eerste plaats te bufferen en daarna te laten infiltreren in de bodem. De blokken kunnen gemaakt worden uit poreus en niet-poreus beton. [1]



Figuur 22: Fluvio-systeem [1]

De infiltratie- en bufferblok wordt gebruikt in de fundering van bestratingen. De bedoeling is dat het hemelwater zo snel mogelijk in het systeem terechtkomt, waar het dan gebufferd wordt. Vervolgens infiltreert het hemelwater in de ondergrond. Uitzonderlijk worden ze ook als waterdoorlatende toplaag gebruikt. De infiltratieblok gaat toegepast worden voor parkings, openluchtmagazijnen, fietspaden, voetpaden, pleinen, scholen, woonwijken en wegen met weinig verkeer. In deze masterproef wordt dit nieuw infiltratie- en buffersysteem onderzocht. [1]

3 Type funderingen en parameters die invloed hebben op de keuze

Een fundering is essentieel in de opbouw van een bestrating en bevindt zich tussen de verharding en de ondergrond. De fundering moet er voor zorgen dat het eigen gewicht en de daarop uitgeoefende krachten worden afgedragen naar de draagkrachtige ondergrond. Omwille hiervan zal de fundering het zwaarst belast worden en daardoor zeer goed bestand moeten zijn tegen optredende spanningen en vervormingen. [13]

De types funderingen en onderfunderingen volgens het standaardbestek 250:

- Onderfunderingen:
 - onderfundering van zand (type I);
 - grofkorrelige onderfundering (typeII);
 - onderfundering door stabilisatie van bodem (typeIII).
- Funderingen:
 - steenslagfundering met niet-continue korrelverdeling;
 - steenslagfundering met continue korrelverdeling zonder toevoegsel;
 - met toevoegsel behandelde steenslagfundering met continue korrelverdeling;
 - fundering in teerhoudend asfaltgranulaatcement;
 - fundering van ternair mengsel;
 - zandcementfundering;
 - fundering door het stabiliseren van de bestaande verhardingen met cement (recycling in situ);
 - fundering van schraal beton;
 - fundering van drainerend schraal beton;
 - fundering in walsbeton;
 - fundering van schraal asfalt. [18]

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen flexibele, ongebonden funderingen zoals zand, steenslag, zand-steenslagmengsels en stijve, hydraulische gebonden funderingen zoals zandcement, gebonden steenslagmengsels, schraal beton, drainerend schraal beton en walsbeton. De ongebonden funderingen gaan sneller permanent vervormen bij grotere verkeersbelastingen, waardoor de onderliggende lagen mee vervormen. Door al deze vervormingen gaat de verharding doorbuigen en spoorvorming vertonen. De gebonden funderingen daarentegen hebben een grotere stabiliteit en stijfheid, waardoor ze makkelijker een grotere verkeersbelasting aankunnen.[13]

Er bestaan vier categorieën van verkeersbelasting. Dit gaat van de zwaarst belaste categorie I tot de minst belaste categorie IV. Er geldt voor elke categorie zowel een maximaal toegelaten volume licht verkeer (< 3,5 ton), als zwaar verkeer (3,5 ton). Als maatstaf wordt hier gewerkt met een dagelijks aantal passerende voertuigen in plaats

van een theoretisch principe van een aantal equivalente standaardlasten. De vier categorieën van verkeersbelasting zijn weergegeven in de onderstaande tabel. [8, 13, 14]

Tabel 1: Verkeerscategorieën [8, 13, 14]

Categorie	Voetgangers, fietsers, bromfietzers	Lichte voertuigen (< 3,5t)	Zware voertuigen (>3,5t)
I	Onbeperkt	Beperkt tot 5000 per dag	Beperkt tot 400 per dag
II	Onbeperkt	Beperkt tot 5000 per dag	Beperkt tot 100 per dag
III	Onbeperkt	Beperkt tot 500 per dag	Beperkt tot 20 per dag
IV	Onbeperkt	Occasioneel	Geen

De fundering moet niet enkel zorgen voor de sterkte van de structuur, maar moet ook een rol spelen bij de verwerking van hemelwater. De fundering helpt met de ontwatering van de wegconstructie. Ongebonden funderingen zijn goed waterdoorlatend waardoor het hemelwater eenvoudig via de fundering in de ondergrond kan dringen. De gebonden funderingen daarentegen zijn zeer slecht waterdoorlatend, dit met uitzondering van drainerend schraal beton, wat een sterk waterdoorlatend cementbeton met een discontinue samenstelling is. [13]

Als een fundering niet goed waterdoorlatend is, moet ervoor gezorgd worden dat het hemelwater op een andere manier wordt afgevoerd. Dit kan door aan de zijkanten één of twee doorlatende stroken of openingen te maken. Een andere mogelijkheid is het plaatsen van rioolslokkers, die het hemelwater afvoeren naar een infiltratievoorziening of naar de riolering. [13]

Als het hemelwater niet door de onderbouw van een waterdoorlatende toplaag kan dringen zal dit voor grote problemen zorgen. Zo zal het hemelwater dan bij een waterdoorlatende betonstraatstenen verharding stagneren in de straatlaag. Deze laag bevindt zich tussen de betonstraatstenen en de fundering en is opgebouwd uit zand, steenslag of zandcement. Dit stagneren van het hemelwater zorgt voor de verzadiging van de straatlaag en heeft bij een continue verkeersbelasting een pompeffect als gevolg. Bij dit effect zal het fijn straatlaag-materiaal samen met het hemelwater via de voegen naar boven gepompt worden, waardoor het fijn voegmateriaal uit de voegen mee verdwijnt en de betonstraatstenen los komen te liggen. [13]

Omdat dit onderzoek gaat over een nieuw, goed waterdoorlatende fundering worden enkel de funderingen die ook deze eigenschap hebben verder behandeld. Dit zijn:

- drainerend schraal beton;
- ongebonden steenslag, zand-steenslagmengsel met een continue of een discontinue korrelverdeling.

De waterdoorlatendheid van de ondergrond speelt een belangrijke rol in het proces van de dimensionering van de waterdoorlatende onderbouw. Hoe beter de

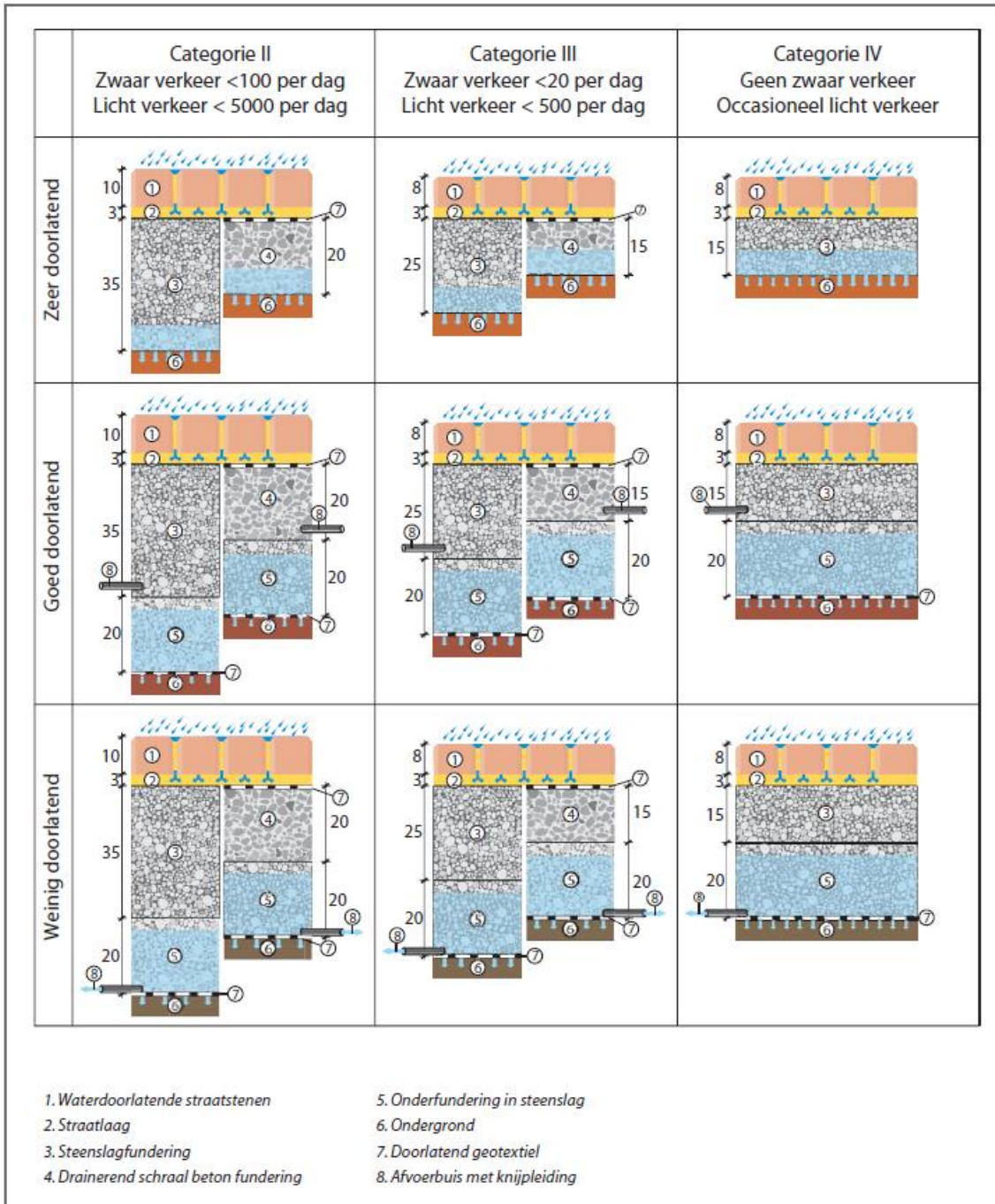
waterdoorlatendheid van de ondergrond hoe eenvoudiger en hoe sneller het hemelwater zal infiltreren in de ondergrond. Aan de hand van de waterdoorlatendheidsfactor (k) wordt er een onderscheid gemaakt tussen de volgende categorieën ondergronden [8, 13, 14]:

- zeer doorlatende grond $k > \frac{10^{-4}m}{s}$;
- goed doorlatende grond $\frac{10^{-4}m}{s} > k > \frac{10^{-6}m}{s}$;
- weinig doorlatende grond $\frac{10^{-6}m}{s} > k > \frac{10^{-8}m}{s}$;
- nagenoeg ondoorlatende grond $k < \frac{10^{-8}m}{s}$.

De waterdoorlatendheidsfactor geeft het volume water weer dat per tijdseenheid door een eenheidsoppervlak stroomt. Dit wordt uitgedrukt in m/s. Er kan op basis van de waterdoorlatendheidsfactor ook een opdeling gemaakt worden voor de verschillende grondsoorten [8, 13, 14]:

- zand/grind $\frac{10^{-3}m}{s} > k > \frac{10^{-5}m}{s}$;
- lemig zand $\frac{10^{-4}m}{s} > k > \frac{10^{-7}m}{s}$;
- zandig leem $\frac{10^{-5}m}{s} > k > \frac{10^{-8}m}{s}$;
- leem $\frac{10^{-6}m}{s} > k > \frac{10^{-9}m}{s}$;
- klei $\frac{10^{-9}m}{s} > k > \frac{10^{-11}m}{s}$.

Een waterdoorlatende onderbouw voor een bestrating wordt op basis van de verkeersbelasting en de waterdoorlatendheid van de ondergrond gedimensioneerd. Voor een verkeersbelasting met categorie I mag er geen gebruik gemaakt worden van een waterdoorlatende onderbouw, omdat hier te grote spanningen en vervormingen gaan ontstaan. Drainerend schraal beton gaat meestal gebruikt worden voor toepassingen met grotere verkeersbelastingen. Bij kleinere verkeersbelastingen wordt er over het algemeen gekozen voor ongebonden steenslag met een beperkte hoeveelheid fijne bestanddelen of met een discontinue korrelverdeling. Hieronder ziet u verschillende soorten opbouwen van de onderlaag van waterdoorlatende betonstraatstenen. [2, 8, 13, 14]



Figuur 23: Opbouw van de onderbouw van waterdoorlatende betonstraatstenen in verschillende situaties [2, 8, 13, 14]

Er kan pas gesproken worden van een waterdoorlatende fundering als de waterdoorlatendheid van de fundering minimaal gelijk is aan $5,4 \times 10^{-5}$ m/s. [2, 8, 13, 14]

Aan de funderingsmaterialen worden op het gebied van waterdoorlatendheid de volgende eisen gesteld:

- Drainerend schraal beton volgens standaard bestek 250:
 - doorlatendheidscoëfficiënt bij verzadiging, in het laboratorium aan kernmonsters uit de fundering: ten minste 4×10^{-4} m/s.

- Ongebonden steenslag met continue korrelverdeling, bijvoorbeeld 0/32:
 - fractie fijne bestanddelen (<63 μm): beperkt tot 3%;
 - fractie 0/2 mm: beperkt tot 25%.
- Ongebonden steenslag met discontinue korrelverdeling:
 - kleinste diameter bij voorkeur gelijk aan 2 mm, om een goede verdichting te verkrijgen. [2, 8, 13, 14]

De fundering kan een extra buffercapaciteit leveren als het onmogelijk is om al het hemelwater rechtstreeks naar onderliggende lagen af te leiden. Dit gebeurt bij een slecht waterdoorlatende ondergrond, ofwel bij overvloedige regenval of wanneer de grondwatertafel extreem hoog is. Als de fundering blijvend onder water blijft staan kan dit wel negatieve gevolgen hebben voor de sterkte van de structuur. [13]

Onder de fundering kan er een onderfundering voorzien worden als de draagkracht van de ondergrond slecht is, de verkeersbelasting hoog is of het een weinig doorlatende ondergrond is. Deze onderfundering zorgt voor buffercapaciteit en zal de constructie extra draagkracht geven. Daarnaast zal die de ondergrond ook nog beschermen tegen inwerking van vorst. De gevoeligheid tegen vorst gaat meestal samen met een weinig of niet-doorlatende ondergrond, zo is bijvoorbeeld kleigrond zeer gevoelig voor vorst. [2, 8, 13, 14]

De porositeit, namelijk het aantal watertogankelijke holtes van de fundering of van de onderfundering bepaalt de grootte van de buffercapaciteit. Het geeft de hoeveelheid hemelwater weer dat opgeslagen kan worden. [2, 8, 13, 14]

Het bepalen van de buffercapaciteit:

$$\text{Buffercapaciteit} = \frac{\text{Oppervlakte} \cdot \text{dikte} \cdot \text{porositeit}}{\text{Veiligheidsfactor}}$$

De waardes van de porositeit voor de funderingstypes:

- drainerend schraal beton: 10%;
- ongebonden steenslag, zand-steenslagmengsel met een continue of een discontinue korrelverdeling: 23%.

Deze waardes zijn enkel richtwaardes en kunnen wel enigszins afwijken doordat de exacte samenstelling van de type funderingen kan verschillen naargelang de toepassing of de fabrikant.

4 Het Fluvio-systeem

Het Fluvio-systeem is een innovatief systeem dat gebruikt wordt in de fundering van bestratingen. Het is een ongebonden fundering samengesteld uit betonnen blokken met een geïntegreerde holte die voor de buffering van hemelwater zorgt. Het systeem combineert regenwaterbuffering met regenwaterafvoer en zorgt tevens voor een sterke onderlaag. De bedoeling van het systeem is het hemelwater op te vangen en te bufferen in de geïntegreerde holtes en van hieruit het hemelwater vertraagd te laten infiltreren in de ondergrond.

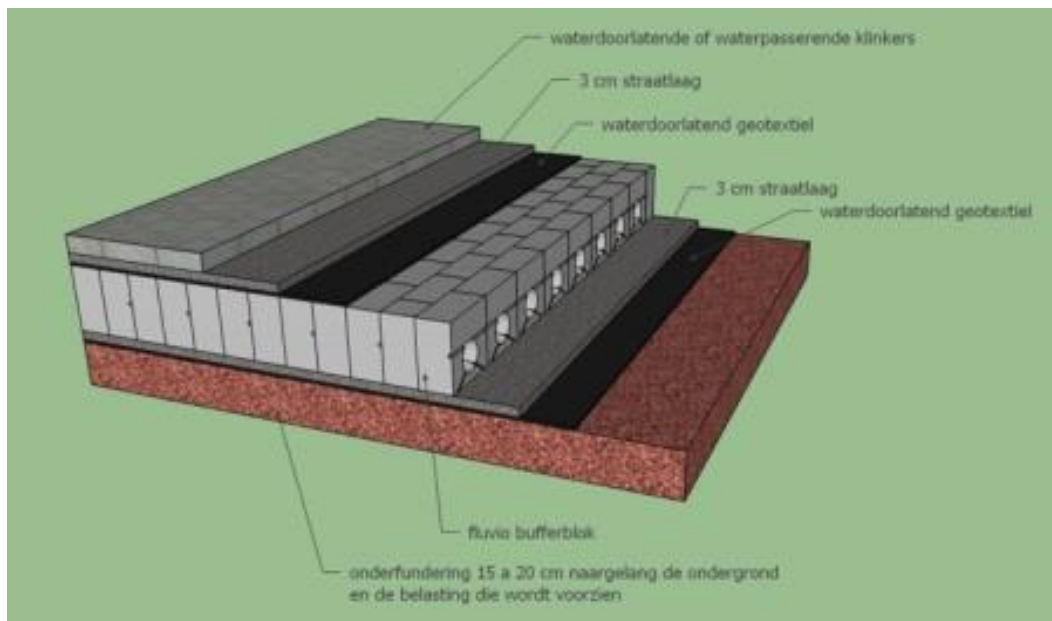
Het Fluvio-systeem is ontwikkeld door Artstone, een bedrijf dat gespecialiseerd is in het maken en verkopen van betonstraatstenen, betontegels, grasbetontegels, waterdoorlatende betonstraatstenen- en tegels voor industrieel en particulier gebruik. Het systeem wordt voorlopig gebruikt voor parkings, openlucht magazijnen, fietspaden, voetpaden, pleinen, scholen, woonwijken en wegen tot wegcategorie III.

4.1 De opbouw en de toepassingen van het Fluvio-systeem

Het Fluvio-systeem kan geplaatst worden onder een grote variëteit van toplagen:

- waterdoorlatende klinkers,
- waterpasserende klinkers,
- klassieke straatklinker,
- kleiklinker,
- megategel/industriedal,
- natuursteen,
- asfalt,
- grind,
- ...

Het is niet nodig dat de toplaag waterdoorlatend is, maar het is wel van belang dat het hemelwater voldoende snel tot in het systeem dringt zodat het hier kan gebufferd worden en dan verder in de ondergrond kan infiltreren. In de onderstaande figuur ziet u de opbouw van een Fluvio-systeem waarbij waterdoorlatende betonstraatstenen als toplaag worden gebruikt.

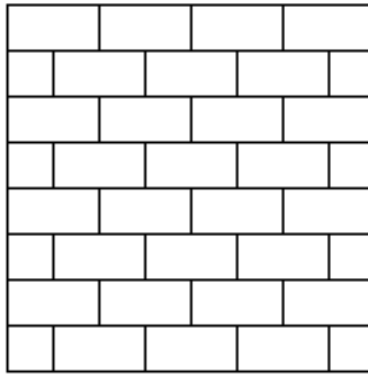


Figuur 24: Standaardopbouw Fluvio-systeem [1]

Het al dan niet plaatsen van een onderfundering bij een Fluvio-systeem hangt af van de doorlatendheid van de ondergrond en van de verkeerbelasting op de constructie. Op deze onderfundering, of op de ondergrond als er geen onderfundering aanwezig is, zal een geotextiel worden aangebracht. De waterdoorlatende geotextiel moet er voor zorgen dat het systeem zich niet gaat mengen met de grondlagen. Bij het plaatsen van de geotextiel is het noodzakelijk dat de ondergrond vrij is van oneffenheden, dat de wielsporen geëffend en verdicht zijn en dat alle plassen en andere ongewenste materialen van het oppervlak verwijderd zijn.

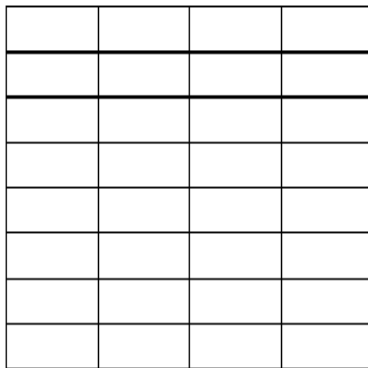
Daaropvolgend wordt op de geotextiel een waterdoorlatende straatlaag aangebracht die kan bestaan uit een zand-, steenslag-of granulaatmengsel. De straatlaag moet voldoende waterdoorlatend zijn zoals de andere onderdelen van het systeem. Vervolgens worden de Fluvio-blokken op de straatlaag geplaatst. Het Fluvio-systeem kan opgebouwd worden in twee verschillende legverbanden, namelijk het halfsteensverband en het steensverband.

Bij een halfsteensverband, weergegeven in de onderstaande tekening, verspringen de blokken per rij steeds een halve blok. De geïntegreerde holtes zullen elkaar hierdoor niet opvolgen maar elke geïntegreerde holte zal gevolgd worden door twee aanpalende wanden van de volgende rij betonnen funderingsblokken. De interactie tussen de verschillende Fluvio-blokken gebeurt via verticale kanalen die aanwezig zijn in de blokken. Zij zorgen er voor dat het hemelwater, dit op basis van het principe van condenserende vaten, van de ene Fluvio-blok naar de andere kan verplaatsen. Om een betere opsluiting te garanderen kunnen de zijkanten van het verband gelegd worden in steensverband. Dit is echter niet noodzakelijk.



Figuur 25: Halfsteensverband

Bij een steensverband liggen de blokken per rij gelijk, waardoor de geïntegreerde holtes elkaar opvolgen. Dit heeft als gevolg dat het Fluvio-systeem gezien kan worden als één lange rij van naast elkaar liggende infiltratiebuizen. Het steensverband is weergegeven in de onderstaande tekening.



Figuur 26: Steensverband

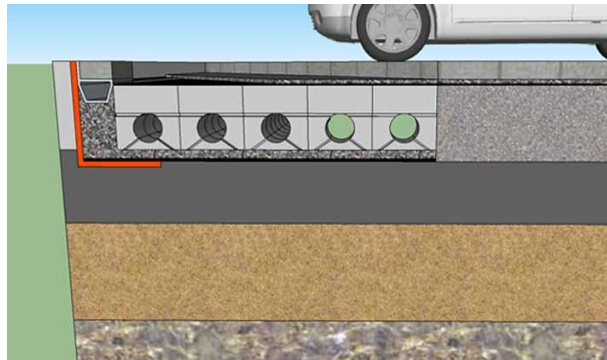
De blokken worden na het plaatsen getrild met een trilplaat totdat ze stevig en vast liggen. De trilplaat moet steeds voorzien zijn van een rubberen zool. Het trillen zorgt eveneens voor de verdichting van de straatlaag. Tijdens het trillen moet men opletten dat de straatlaag niet in de geïntegreerde holten van de Fluvio-blokken terecht komt.

Gedurende het trillen worden de beschadigde Fluvio-blokken vervangen en worden afwijkingen in het profiel, oneffenheden in het oppervlak en hoogteverschillen tussen aanliggende Fluvio-blokken hersteld wanneer deze te groot zijn. [18]

De voegen tussen de Fluvio-blokken mogen niet opgevuld worden met voegmateriaal omdat er moet voorkomen worden dat het voegmateriaal de geïntegreerde holten gaat opvullen waardoor de buffercapaciteit zal reduceren. Het niet opvullen van de voegen zorgt er tevens voor dat het hemelwater eenvoudig door de voegopeningen naar beneden kan sijpelen. De Fluvio-blokken moeten vast tegen elkaar geplaatst worden zodat de voegbreedte minimaal is en er een goede opsluiting ontstaat.

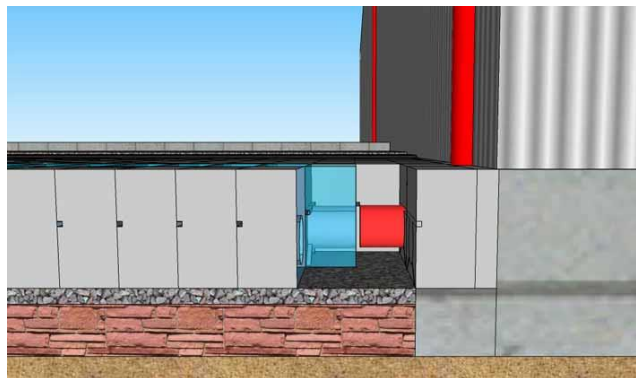
Om te vermijden dat het Fluvio-systeem zich mengt met bovenliggende lagen wordt er bovenop de blokken een geotextiel aangebracht. Op deze manier zal het Fluvio-systeem een afgeschermd systeem zijn dat zich niet kan mengen met onder- of bovenliggende lagen.

Het Fluvio-systeem kan geplaatst worden onder een slecht waterdoorlatende toplaag. Hierbij moet dan wel een voorziening getroffen worden om het hemelwater tot in het systeem te krijgen. Dit kan door middel van een sleufrooster zoals weergegeven in de onderstaande figuur.



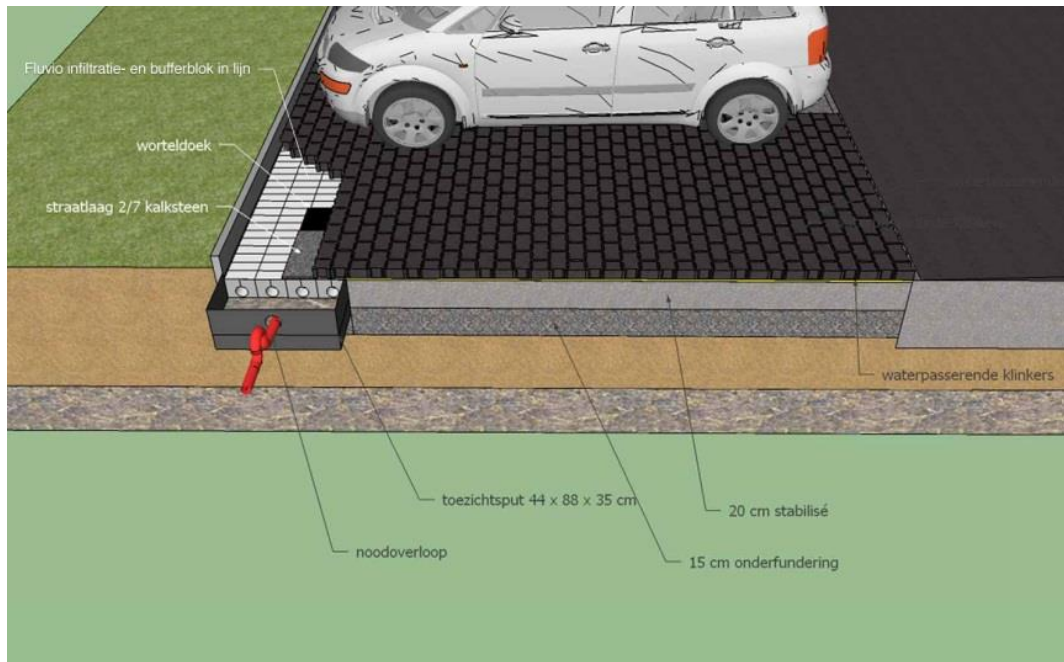
Figuur 27: Sleufrooster gecombineerd met een niet waterdoorlatende bestrating [1]

De afvoer van het dakwater kan ook op het Fluvio-systeem aangesloten worden. Waardoor het dakwater niet meer in de riolering terechtkomt maar ter plaatse infiltreert. De uitvoering van dit systeem is weergegeven op de figuur hieronder.



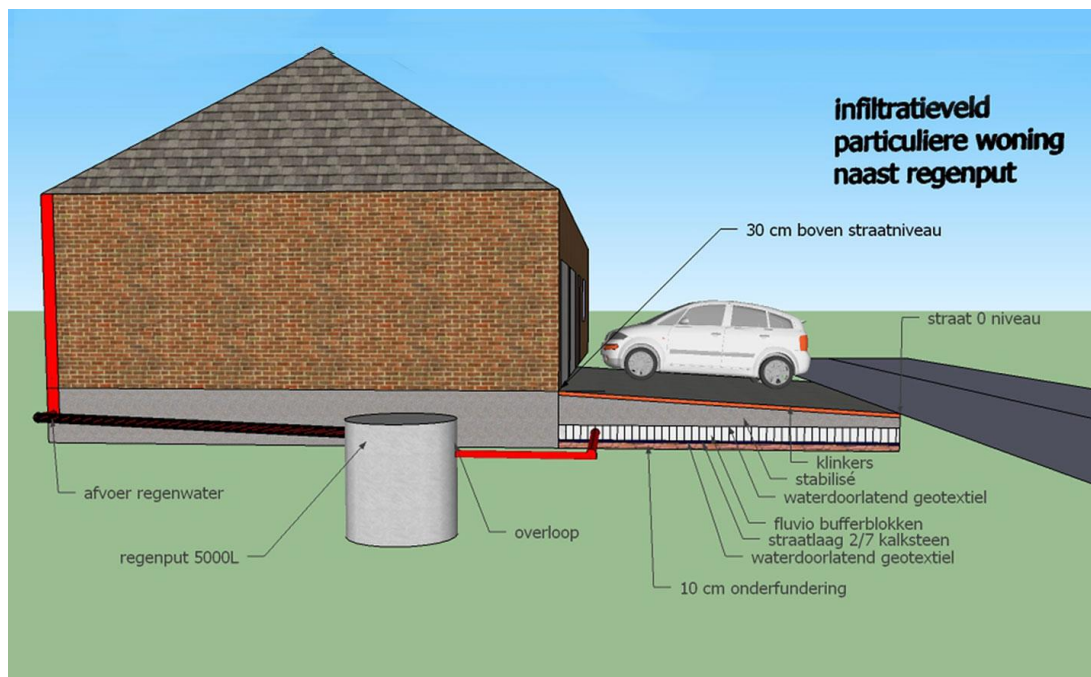
Figuur 28: Aansluiting afvoer dakwater in het fluvio-systeem [1]

In het Fluvio-systeem zelf kan een noodoverloop worden ingepast. Deze wordt vaak in combinatie met een inspectieput uitgevoerd. De noodoverloop moet bij voorkeur aangesloten worden op grachten, vijvers of waterlopen. Als dit niet mogelijk is wordt dit rechtstreeks op het desbetreffende rioleringsstelsel aangesloten. Hieronder een tekening die een weergave geeft van een overloop met een inspectieput. [1]



Figuur 29: Het Fluvio-systeem met overloop en inspectieput [1]

Bij private woningen kan het systeem ook toegepast worden als infiltratiebekken waarbij de overloop van de regenwaterput aangesloten wordt op het Fluvio-systeem. Deze situatie is op de onderstaande tekening weergegeven. [1]



Figuur 30: Het Fluvio-systeem toegepast als infiltratiebekken [1]

Het Fluvio-systeem kan bij uitzondering ook gebruikt worden als toplaag. Hierbij zal wel de geïntegreerde holte van de Fluvio-blok gereduceerd worden omdat de bovenkant van de blok verstevigd moet zijn. De Fluvio-blokken die in de fundering gebruikt worden zijn van het Type80 en die als toplaag worden gebruikt van het Type40. Het

grote verschil tussen beide is de buffercapaciteit, namelijk 80 l/m² voor Type80 en 40 l/m² voor Type40. De Fluvio-blok Type40 werd als eerst ontwikkeld door Artstone en werd in begin ook in de fundering gebruikt. Omwille van de kleinere buffercapaciteit wordt dit niet meer toegepast. In de onderstaande foto wordt een systeem weergegeven met Fluvio-blokken van het Type40 die gebruikt worden als toplaag.



Figuur 31: Fluvio-blokken als toplaag [1]

4.2 Maat- en productiekenmerken van de FLuvio-blok

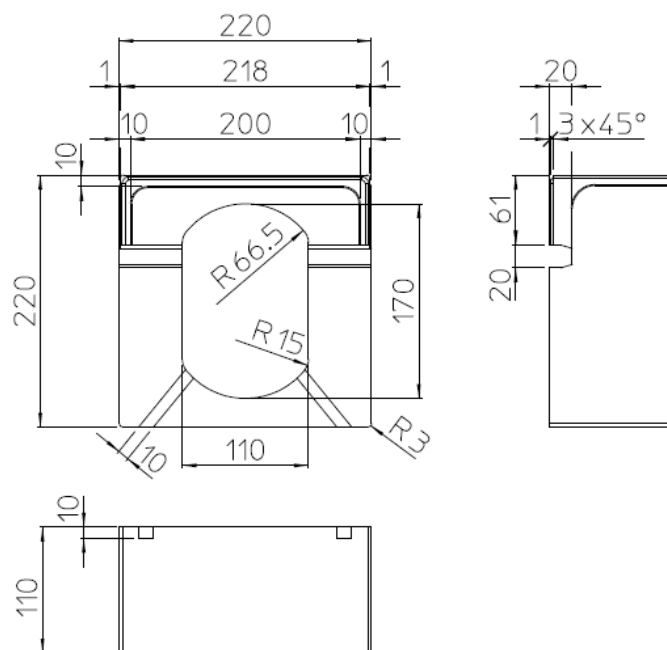
Dit zijn de maatkenmerken van de Fluvio-blok Type80:

- lengte (l): 220 mm;
- breedte (b): 110 mm;
- hoogte (h): 220 mm.
- maatafwijking ten opzichte van fabricagematen:
 - lengte: ± 2 mm;
 - breedte: ± 4 mm;
 - hoogte: ± 2 mm;
 - opening: ± 2 mm.

De maatkenmerken van de Type80 Fluvio-blok:

- totaal bergingsvolume: 1947 cm³/blok;
- totaal volume blok: 5324 cm³;
- percentage bergingsvolume tegenover totaal volume: 36,5%.

Hieronder wordt de technische tekening van de Fluvio-blok Type80 weergegeven.



Figuur 32: Technische tekening Fluvio-blok Type80

4.3 De productie van de Fluvio-blok

De Fluvio-blok is samengesteld uit natuurlijke granulaten met een maximale korrelmaat van 16 millimeter. Deze granulaten zijn vorstbestand en zijn vrij van onzuiverheden. Bij de aanmaak van het beton wordt er gebruik gemaakt van hoogwaardig cement.

De Fluvio-blokken worden geproduceerd via de strengersmethode. Dit is dezelfde methode die gebruikt wordt als bij het maken van de betonstraatstenen, maar met als groot verschil dat de Fluvio-blok al liggend gaat geproduceerd worden en later al rechtstaand wordt gebruikt. Hierdoor zal de hoogte van de Fluvio-blok tijdens de productie de breedte worden bij de opbouw van het Fluvio-systeem. Door deze productiewijze zal de maatafwijking van de breedte groter zijn dan de maatafwijking van de lengte en de hoogte, terwijl de breedte kleiner zal zijn dan de lengte en de hoogte. Deze productiewijze zorgt er ook voor dat de porositeit van één afzonderlijke rechtopstaande Fluvio-blok van boven tot beneden gelijk is.

4.4 Eisen en randvoorwaarden voor de plaatsing van het systeem

Een juiste opbouw van een Fluvio-systeem dient aan enkele belangrijke eisen en randvoorwaarden te beantwoorden. Behalve het juist plaatsen van de Fluvio-blokken zijn er nog andere condities waaraan voldaan moet worden.

4.4.1 Werken voor de opbouw van het systeem

Voordat het systeem kan opgebouwd worden moeten er enkele werken worden uitgevoerd:

- het wegwerken van de oneffenheden van de onderfundering of bij afwezigheid ervan, van het baanbed;
- het effenen en verdichten van de wielsporen in de onderfundering of bij afwezigheid ervan, in het baanbed;
- het verwijderen van alle plassen en ongewenste materialen van het oppervlak van de onderfundering of bij afwezigheid ervan, van het oppervlak van het baanbed. [18]

Deze werken moeten ervoor zorgen dat de ondergrond waarop het Fluvio-systeem gebouwd wordt voldoet aan de volgende kenmerken:

- zeer vlak,
- vormstabiel,
- druk en trekvast,
- duurzaam en droog,
- vrij van vuil, scheidingsmiddelen en scheuren.

4.4.2 De bescherming van het Fluvio-systeem

Er moet een geotextiel op de onderfundering, of bij afwezigheid ervan op het baanbed, aangebracht worden om het opstijgen van fijne deeltjes uit de onderliggende lagen te voorkomen. Op de geplaatste Fluvio-blokken wordt eveneens een geotextiel aangebracht zodat het systeem zich niet mengt met de bovenliggende lagen. Hierdoor kan het Fluvio-systeem gezien worden als een afgeschermd systeem dat niet rechtstreeks in contact staat met andere lagen. Het doel van de geotextiel is het hemelwater door te laten en indringing van boven- of onderliggende lagen in het Fluvio-systeem te voorkomen. De geotextiel mag ook na verloop van tijd niet dichtslibben en zijn functionaliteit verliezen.

De geotextiel moet zo geplaatst worden dat de banen zowel in langs- als in dwarsrichting elkaar minstens één meter overlappen. Tevens moet het voldoen aan de voorschriften van de norm PTV829 (technische voorschriften voor geotextiel en aan geotextiel verwante producten) van Copro. In de onderstaande figuur ziet u de minimale vereisten waaraan een waterdoorlatende geotextiel voor drainage- en infiltratiesystemen moet voldoen volgens de PTV829. [27]

Eigenschap	Testmethode	Eenheden	Toepassing		
			Drainagesystemen en Infiltratiesystemen - EN 13252		
			Drainagesystemen (Filter- en Drainagesystemen)		Infiltratiesystemen (Ondergrondse voorzieningen)
Belangrijkste functie =>	Drainage (in het vlak)	Filtratie	Filtratie		
			Type 5.1	Type 5.2	Type 5.3
Treksterkte	EN ISO 10319	kN/m	≥ 10	≥ 10	≥ 25
Rek bij breuk	EN ISO 10319	%	≥ 20	≥ 20	≥ 20
Weerstand tegen perforatie (statisch)	EN ISO 12236	kN	≥ 1	≥ 1	≥ 3
Weerstand tegen perforatie (dynamisch)	EN ISO 13433	mm	≤ 27	≤ 27	≤ 14
Karakteristieke openingsmaat	EN ISO 12956	µm	$O_{90}/d_{90} \leq 2$	$O_{90}/d_{90} \leq 2$	$O_{90}/d_{90} \leq 2$
Waterdoorlaatbaarheid	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (= l/m ² .s)	≥ 34	≥ 34	≥ 34
Waterdoorlaatbaarheid in het vlak	EN ISO 12958	m ² /s	1×10^{-7} bij 20 kPa, zacht-hard	Informatie enkel op te geven voor combinatie met drainagetoepassingen. Zoals voorzien in EN ISO 12958 worden de resultaten (herleid naar 20 °C) opgegeven bij een samendrukking van 20, 100 en 200 kPa en bij een hydraulische gradiënt van 0,1 en 1,0. Er worden geen minimumwaarden opgelegd.	

Opmerking:

- Is de bekomen waarde voor O_{90} kleiner dan 63 µm, dan worden geotextielen toegelaten met een O_{90} kleiner of gelijk aan 63 µm.

Figuur 33: Eisen geotextiel volgens PTV829 [16, 27]

In de praktijk wordt er bij drainage- en infiltratiesystemen vooral een geotextiel toegepast die voldoet aan de PTV829 en aan de volgende kenmerken:

- samenstelling: geweven polypropyleen/polyethyleen doek;
- dikte: 750 µm;
- gewicht: 215 g/m²;
- karakteristieke maaswijdteopening AOS D90: 180 µm;
- waterdoorlaatbaarheid: 50 l/m². sec;
- treksterkte: 41 KN/m;
- rek: 20 à 32%. [16, 27]

Als de ondergrond minder goed waterdoorlatend is wordt er best gekozen voor een niet-geweven waterdoorlatende geotextiel die voldoet aan de PTV829 en de volgende kenmerken heeft:

- samenstelling: niet-geweven polypropyleenvezels;
- dikte: 1400 µm;
- gewicht: 13 g/m²;
- karakteristieke maaswijdteopening AOS D90: 100 µm;
- waterdoorlaatbaarheid: 105 l/m².sec;
- treksterkte: 13 KN/m;
- rek: 45 à 50%. [16, 27]

4.4.3 Kenmerken en eigenschappen van de straatlaag van de Fluvio-blokken

De straatlaag wordt rechtstreeks op de geotextiel aangebracht en moet de maatafwijking van de dikte van de Fluvio-blokken en oneffenheden in de ondergrond opvangen.

Tevens moet deze ervoor zorgen dat de stenen op hun plaats blijven en vast zitten nadat ze getrild zijn. [2, 8, 13, 14]

De straatlaag moet op een vlakke ondergrond worden aangebracht en de dikte moet 30 mm na verdichting bedragen. De tolerantie hierop is 5 mm. Het is echter aan te raden deze variatie zo klein mogelijk te houden want een ongelijke dikte van de straatlaag kan spoorvorming veroorzaken. Een te dikke straatlaag kan aanleiding geven tot spoorvorming en verzakkingen, daarentegen een te dunne straatlaag zorgt er dan weer voor dat de dikteverschillen in de blokken moeilijk weg te trillen zijn. [2, 8, 13, 14]

Het verdichten van de straatlaag komt tot stand nadat de Fluvio-blokken geplaatst zijn. Dit gebeurt door middel van het trillen met een trilplaat die voorzien is van een rubberen zool.

De straatlaag moet een minimale waterdoorlatendheid hebben van $5,4 \times 10^{-5}$ m/s zodat het hemelwater zich hier niet gaat stationeren. Het materiaal van de straatlaag is afhankelijk van de verkeerscategorie. Dit is tot op dit moment voor het Fluvio-systeem bestratingen tot verkeerscategorie III. [2, 8, 13, 14]

Voorbeelden van straatlagen die toegepast kunnen worden:

- porfier 0/6,3 (<0,063 mm is max 4%);
- gebroken zand 0/4 of 0/6,3 (<0,063 mm is max 4%);
- gebroken steenslag 1/3 – 2/4 – 2/5,6 – 2/6,3. [2, 8, 13, 14]

De kwaliteit van de granulaten die gebruikt worden in de straatlaag is ook van groot belang. De granulaten dienen minstens tot categorie Ab(Wallonië) te behoren of tot categorie 3 (voor Vlaanderen) volgens PTV411 (Aanduiding en identificatie van grove granulaten). Dit betekent dat de LA² (Los Angelescoëfficiënt) niet groter mag zijn dan 20 en de MDW² (Micro-Devalcoëfficiënt) niet groter dan 15. Granulaten 2/4 mm of 2/6,3 mm dienen te behoren tot categorie Ab II f4. [2, 8, 13, 14]

5. Bespreking van een voorgaand onderzoek op het Fluvio-systeem

Voorafgaand aan dit onderzoek is er door Ing. Rik Steensels en Prof.dr.ing. Bram Vandoren al een studie uitgevoerd die meer inzicht geeft over de sterkte van het Fluvio-systeem. In dit hoofdstuk gaan de belangrijkste vaststellingen uit dit onderzoek worden toegelicht. [19]

5.1 Individuele Fluvio-blok

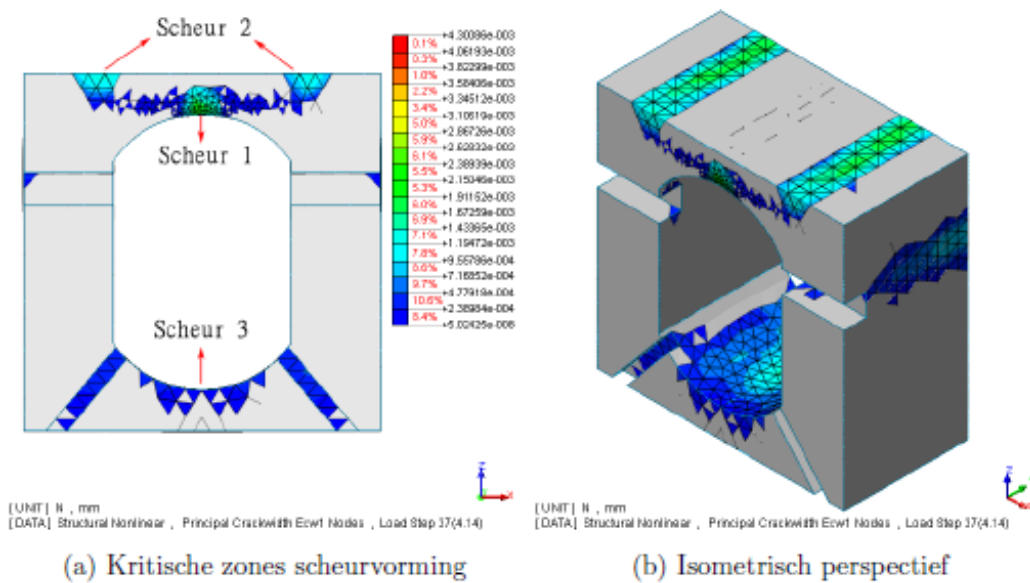
In het eerste deel van de studie werd bepaald wanneer en hoe een individuele Fluvio-blok zou bezwijken en of de vorm van de Fluvio-blok geoptimaliseerd kon worden. Dit werd gedaan voor zowel de Fluvio-blok van het Type80 als van het Type40.

5.1.1 Type80

Eerst werd er met behulp van een eindig-elementenmodel de faalmodus en maximale belasting bepaald. Hieruit bleek dat de grootste trekspanningen zich bovenaan de holte in het midden van de blok bevonden. Dit is dus de kritische zone van de Fluvio-blok. Tevens werd er vastgesteld dat de wanden van de bufferblok bijna uitsluitend op druk belast zijn. Deze wanden kunnen dus slanker worden uitgevoerd zodat de buffercapaciteit van de Fluvio-blok groter kan worden. [19]

Om de gedraging van de Fluvio-blok beter te interpreteren werd hierna een niet-lineaire analyse opgezet om de scheurvorming na maximale belasting in rekening te brengen. Door deze niet-lineaire analyse werd er meer informatie verkregen over de spanningsverdeling in de steen na scheurvorming en kon de bezwijkvorm van de steen nader onderzocht worden. Uit deze niet-lineaire analyse bleek dat na de eerste scheur bovenaan er nog twee identieke kritische zones bovenaan de steen ontstonden. Na verdere belasting scheurde de steen uiteindelijk onderaan de holte en werd de Fluvio-blok in tweeën gespleten. [19]

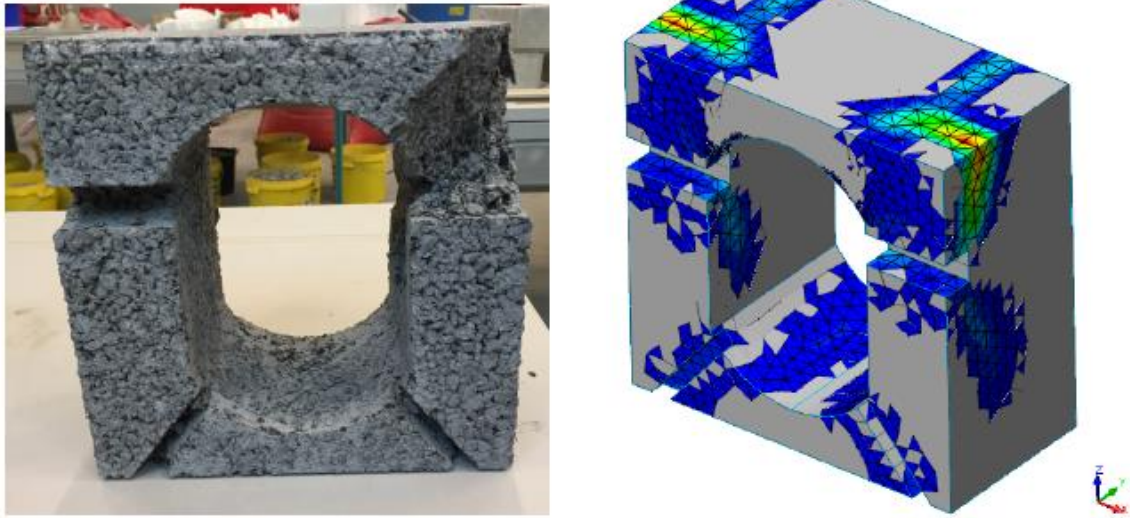
Uit deze proef kon tevens geconcludeerd worden dat zelfs na scheurvorming de wanden voornamelijk in druk belast werden. Hieruit kon nog eens bevestigd worden dat de wanden slanker kunnen uitgevoerd worden. De onderstaande figuur geeft de scheurvorming van de Fluvio-blok bij hoge belasting weer. [19]



Figuur 34: Scheurvorming in Fluvio-blok Type80 [19]

Hierna werd het faalmechanisme van de Fluvio-blok experimenteel bepaald door een blok onder de drukbank te leggen. Tijdens dit onderzoek werd de buffersteen onder de drukpers belast met een startbelasting van 5 kN en een oplopende belasting van 2 kN/sec. Het faalmechanisme is vergelijkbaar met die van een kubus onder een druklast, behalve dat de scheurvorming hier in de dammen van de steen toetreedt. Omwille van de druklast bovenaan de dam gaan er trekspanningen ontstaan in de breedte van de dam. Deze komen er onder invloed van het poisson gedrag. De trekspanningen gaan opbouwen tot de treksterkte wordt geëvenaard en vervolgens bezwijkt de blok door het afspringen van betonschilfers bovenaan de dam. [19]

Als er een vergelijking gemaakt wordt tussen het faalmechanisme van de experimentele proef en die van de niet-lineaire analyse kan er opgemerkt worden dat deze niet hetzelfde zijn. De oorzaak ligt bij het feit dat de experimentele proef een verplaatsingsgestuurde proef is terwijl de niet-lineaire analyse krachtsgestuurd werkt. Om toch een vergelijking te maken tussen de experimentele en de theoretische analyse werd er ook een verplaatsingsgestuurde niet-lineaire analyse gemodelleerd. De resultaten hiervan komen wel overeen met de experimentele proef. Dit is in de onderstaande figuur weergegeven. [19]



Figuur 35: Vergelijking van het scheurpatroon van de proefopstelling en het numeriek model [19]

De bevindingen van de experimentele proef en de verplaatsingsgestuurde niet-lineaire analyse moeten echter genuanceerd worden. Wanneer de Fluvio-blokken in de onderbouw van een weglichaam liggen zal de belasting die op de Fluvio-blokken werkt geen verplaatsingsgestuurde belasting zijn maar eerder nijken naar een krachtsgestuurde belasting. Hierdoor gaat er vooral rekening gehouden worden met het krachtsgestuurde numerieke model. [19]

Voor de vormoptimalisatie van de Fluvio-blok Type80 wordt geopteerd om de zijwanden van de blok smaller te maken. De dikte van de zijwanden zijn in origineel ontwerp 55 mm en zouden verkleind kunnen worden tot 43,5 mm. Hierdoor zal het buffervolume van één Fluvio-blok Type80 vergroten met 22%. Dit gaat wel zorgen voor een afname van de sterkte van de blok. [19]

5.1.2 Type40

Daaropvolgend werd de bezwijkbelasting van de Fluvio-blok Type40 onderzocht. Dit gebeurt op dezelfde wijze als bij de Fluvio-blok Type80. De bezwijklast ligt hoger dan bij de Fluvio-blok Type80 omdat de holte minder groot is en er hierdoor minder materiaal verwijderd is. Daarentegen staat dat de trekspanningen rondom de afwateringskanalen hoger liggen omdat de trekkrachten zich over een kleiner oppervlak moeten verdelen. Ook hier kan het buffervolume verhoogd worden door de holte te vergroten. [19]

De vormoptimalisatie van de Fluvio-blok Type40 kan gebeuren door de diameter van de holte te vergroten van $\text{Ø}50$ mm naar $\text{Ø}60$ mm. De toename van de diameter zal bij de Fluvio-blok Type40 wel een grotere negatieve invloed hebben op de structurele integriteit dan bij de Fluvio-blok van Type80. Omdat de wand van de Fluvio-blok

verkleind wordt zonder de straal van de boog bovenaan aan te passen. Het buffervolume van de steen neemt met 44% toe maar dit gaat gepaard met een sterkte afname van 56,5%. [19]

5.2 Als onderdeel van een weglichaam

In het tweede deel van het onderzoek werd de Fluvio-blok niet individueel, maar als toepassing van een weglichaam onderzocht. Hier wordt nagegaan of er een optimaal verband is voor de toplaag en de Fluvio-blokken. Ook wordt bepaald of de dikte van de toplaag enige invloed heeft. Omdat het systeem vooral gebruikt gaat worden voor voet- en fietspaden, parking, pleinen en pechstroken wordt er gewerkt met een belasting die van toepassing is voor bestratingen van een type wegcategorie III. Hierbij wordt een levensduur van 20 jaar beschouwd voor het weglichaam. [19]

Op basis van een eindig-elementenmodel waarbij het systeem belast wordt door een statische belasting werd er een vergelijking gemaakt tussen het steens- en het halfsteensverband, zowel voor de toplaag als voor de Fluvio-blokken. In het model wordt rekening gehouden met het feit dat de Fluvio-blokken onderling kunnen verschuiven ten opzichte van elkaar en dat ze onder druk een invloed op elkaar uitoefenen. Ook zal de invloed van de geotextiel tussen de verschillende lagen mee geïmplementeerd worden. Er is wel een vereenvoudiging van de geometrie van de Fluvio-blokken nodig om de modellen met elkaar te vergelijken, waardoor de holte in de Fluvio-blok niet meer als ovaalvormig maar als rechthoekig gemodelleerd wordt. [19]

Uit de vergelijkingen van de verschillende combinaties van legverbanden, zowel voor de toplaag als voor de Fluvio-blokken, blijkt dat het verschil heel miniem is en dat dit maar een grootteorde van enkele percenten bedraagt. Er kan dus geconcludeerd worden dat er op het gebied van sterkte geen voorkeur is voor een bepaald legverband en dit voor zowel de toplaag als voor de Fluvio-blokken. Wel moet er opgemerkt worden dat dit getest is geweest met enkel een statische belasting en niet met een dynamische belasting. Bij deze belasting wordt wel rekening gehouden met horizontale lasten en zal het locking effect van de onderlinge stenen mee in rekening genomen worden. [19]

Als laatste onderdeel van het onderzoek werd de invloed van de dikte van de toplaag onderzocht op basis van een eindig-elementenmodel. Er is vastgesteld dat de dikte van de toplaag een duidelijke weerslag heeft op de onderlaag. Zo kan er geconstateerd worden dat hoe dikker de toplaag is des te minder belasting er naar de fundering wordt doorgegeven. Dit wordt verklaard door het feit dat de interface van de toplaag een grotere oppervlakte heeft als deze dikker is. De toplaag kan omwille hiervan meer spanningen en afschuifkrachten opnemen waardoor de spanning die wordt doorgegeven aan de onderliggende lagen kleiner is. [19]

6 Bepalen van de porositeit van de poreuze Fluvio-blok

Bij een poreus Fluvio-systeem wordt het hemelwater niet enkel in de geïntegreerde holte gebufferd, maar zal het hemelwater zich ook kunnen stockeren in het poreus beton van de Fluvio-blok zelf. Om te weten te komen hoeveel hemelwater opgeslagen kan worden in het beton moet de porositeit van het beton gekend zijn. In dit hoofdstuk gaat de waterabsorptie van een Fluvio-blok Type80 bepaald worden aan de hand van de onderdompelingsproef.

6.1 Inleiding

De porositeit van beton is een maat voor het volume van de som van alle capillaire holten, hierin kan water zich vestigen. Deze capillaire holten maken het beton minder compact. Het is belangrijk te weten dat er een groot onderscheid bestaat tussen porositeit en waterdoorlatendheid. Zo kan een beton slechts weinig poreus zijn en toch zeer waterdoorlatend en omgekeerd. [9]

De porositeit van beton wordt gemeten door een onderdompelingsproef in water bij atmosferische luchtdruk. De proef geeft het resultaat van vochttransport in de capillaire poriën die in verbinding staan met de omgeving. [9]

6.2 Beschrijving van de proef

De waterabsorptie wordt bepaald door de Fluvio-blok onder te dompelen in een bak van water met een temperatuur van 20 ± 2 °C. Deze onderdompeling duurt minimaal 48 uur en dit tot de vochtige massa van de Fluvio-blok constant blijft. De vochtige massa wordt als constant gezien als het verschil tussen twee opeenvolgende wegingen met een tussentijd van 24 uur niet groter is dan 0,1%. Het proefstuk moet voor het wegen steeds afgeveegd worden met een vochtig zeemvel zodat het water op het oppervlak verwijderd wordt. [9]

Daarna moet de Fluvio-blok gedurende minimum 72 uur drogen tot de droge massa van de Fluvio-blok constant blijft. De droge massa wordt als constant gezien als het verschil tussen twee opeenvolgende wegingen met een tussentijd van 24 uur niet groter is dan 0,1%. Het drogen moet gebeuren in een geventileerde droogstoof waarin er een temperatuur van 105 ± 3 °C wordt aangehouden. Deze proef wordt toegepast op 3 Fluvio-blokken waarna dan de gemiddelde waarde wordt genomen. [9]

6.2 De resultaten

Het resultaat van de natte weging van de drie proefstukken wordt in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2: Resultaat natte weging

Natte weging: in het water op 17/01/2017 (gram)			
Datum weging	Proefstuk		
	A	B	C
19/01/2017	7674	7664	7602
20/01/2017	7676	7666	7604

Het resultaat van de droge weging van de drie proefstukken wordt in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 3: Resultaat droge weging

Droge weging: in het water op 17/01/2017 (gram)			
Datum weging	Proefstuk		
	A	B	C
23/01/2017	7257	7248	7172
24/01/2017	7256	7248	7171

Uit de resultaten van de natte en droge weging kan dan het gewichtsprocent bepaald worden volgens de volgende formule:

$$G = \frac{M_{nat} - M_{droog}}{M_{droog}} \cdot 100 (\%). [9]$$

De uitkomst van de formule wordt weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 4: Uitkomst waterabsorptie in gewichtsprocent

Gewichtsprocent	Proefstuk		
	A	B	C
Individueel	5,79%	5,77%	6,04%
Gemiddeld	5,78%		

De maatkenmerken van een Fluvio-blok Type80:

- totaal bergingsvolume: 1947 cm³/blok;
- totaal volume blok: 5324 cm³;
- totaal volume beton per blok: 5324 - 1947 = 3377 cm³.

Uit al deze gegevens kan volgens de volgende formule dan de porositeit bepaald worden:

$$Porositeit = \frac{M_{droog}}{V_{beton}} \cdot G (\%). [9]$$

De uitkomst van de formule wordt weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 5: Porositeit van de Fluvio-blok Type80

Porositeit	Proefstuk		
	A	B	C
Individueel	12,44%	12,38%	12,83%
Gemiddeld	12,55%		

Deze porositeit van het beton zorgt voor een extra buffercapaciteit bij een Fluvio-systeem met poreuze Fluvio-blokken van het Type80. Dit wordt op de volgende manier berekend:

- $3377 \text{ cm}^3 \times 41(\text{aantal Fluvio-blokken nodig voor } 1 \text{ m}^2) \times 12,55\% = 17376,4 \text{ cm}^3 = 17,38 \text{ l}$.

Dit is exclusief de veiligheidscoëfficiënt. Met de veiligheidsfactor ($Fr = 1,5$) die rekening houdt met de luchtinsluiting wordt dit:

- $17,38\text{l}/1,5 = 11,58\text{l}$ per m^2 extra buffercapaciteit voor een poreuze Fluvio-blok Type80.

Uit voorafgaande berekeningen kan vastgesteld worden dat een poreuze Fluvio-blok Type80 $11,58 \text{ l/m}^2$ kan bufferen in het poreus beton.

7 Buffercapaciteit van het Fluvio-systeem

7.1 Inleiding

Het Fluvio-systeem heeft een bufferende functie. Deze functie treedt in werking als het hemelwater niet direct in de ondergrond dringt. Het is de bedoeling dat het hemelwater voor een bepaalde tijd in het Fluvio-systeem gehouden wordt en dan later verder in de ondergrond infiltreert. De buffercapaciteit van het Fluvio-systeem is gelijk aan het volume van de holle ruimtes in het systeem en wordt bekomen door:

- de geïntegreerde holten;
- de horizontale kanalen die voor de verbinding tussen de verschillende blokken zorgen;
- de infiltratiekanalen onderaan de blokken;
- de porositeit van het beton (dit is enkel bij de poreuze Fluvio-blokken);
- het volume van de voegopeningen.

Het volume van de voegopeningen wordt in deze berekening niet meegenomen omdat dit volume niet al te groot zal zijn en ze tevens zeer moeilijk te bepalen valt. Uit de berekening van de porositeit in het vorig hoofdstuk is afgeleid dat de poreuze Fluvio-blok 11,58 l/m² extra kan bufferen tegenover een niet-poreuze Fluvio-blok.

Het bepalen van de buffercapaciteit van de geïntegreerde holten en de open kanalen per m² kan op 2 manieren:

1^{ste} manier:

Het volume van de vrije ruimte per Fluvio-blok is 1947 cm³. Bijkomend is er gegeven dat er 41 blokken nodig zijn om een Fluvio-systeem op te bouwen met een oppervlakte van 1 m². Dan kan de buffercapaciteit als volgt berekend worden:

- buffercapaciteit per m² = 41 x 1947 cm³ = 79 827 cm³/m².

2^{de} manier:

Het totale volume van een Fluvio-blok is 5324 cm³, het volume van de vrije ruimtes van één blok is 1947 cm³ en de hoogte is 220 cm. Dan kan de buffercapaciteit als volgt berekend worden:

- percentage holle ruimte per blok = $\frac{1947 \text{ cm}^3}{5324 \text{ cm}^3} \cdot 100 = 36,57\%$;
- buffercapaciteit per m² = 100 cm x 100 cm x 2200 cm x 0,3657 = 80 300 cm³/m².

Het verschil tussen de uitkomst van de 2 manieren is zo klein dat dit verwaarloosd kan worden en er verder gerekend wordt met een afgeronde buffercapaciteit van 80 000 cm³/m² ofwel 80 l/m² voor de geïntegreerde holten en open kanalen. Alles samen geeft

dat een buffercapaciteit van 91,58l/m² voor het poreus systeem en een buffercapaciteit van 80l/m² voor een niet-poreus systeem.

7.2 Controleren of de buffercapaciteit voldoet aan de gestelde eisen

1^{ste} controle:

Controleren of het Fluvio-systeem voldoet aan de eisen van “de stedenbouwkundige verordening hemelwater”. Het buffervolume van een infiltratiesysteem moet volgens “de stedenbouwkundige verordening hemelwater” minimaal 25 liter/m² afwaterende oppervlakte bedragen. Indien de afwaterende oppervlakte groter is als 2500 m² dient de buffervoorziening te worden uitgerust met een vertraagde afvoer met een maximaal ledigingsdebiet van 20 liter per seconde per aangesloten hectare. [11]

De 25 liter/m² afwaterende oppervlakte is gebaseerd op een controle van een felle regenbui gedurende tien minuten die één maal om de dertig jaar terugkeert. Berekening van deze regenbui, dit is 1 enkele regenbui van 270 l/s/ha gedurende 10 minuten [10, 21, 22]:

- het totaal aantal liter water= 270 x 10 x 60 l/hectare= 162 000l/ha;
- volume water per m² ;
 - 1 l= 1000 cm³;
 - 1 ha= 10000 m²;
 - 162 000 l/ha= 16 200 cm³/m²= 16,2l/m²;
- veiligheidsfactor door de luchtinsluiting en andere onvoorziene omstandigheden= 1,5;
- nodige buffercapaciteit= 1,5 x 16,2l/m²= 24,3l/m².

Deze waarde wordt afgerond naar 25l/m² afwaterende oppervlakte en is het minimale buffervolume van een infiltratievoorziening. De buffercapaciteit van het Fluvio-systeem voldoet hier ruimschoots aan en het systeem kan volgens “de stedenbouwkundige verordening hemelwater” gezien worden als een buffersysteem.

2^{de} controle:

In deze controle wordt er rekening gehouden met de opeenvolging van regenbuien en de snelheid van uitstroming door de infiltratie in de ondergrond. In dit geval zijn er grotere buffervolumes noodzakelijk. Deze zijn weergegeven in de volgende tabel. [3, 4, 14]

Tabel 6: Buffervolumes in functie van het ledigingsdebiet en de terugkeerperiode [3, 4, 14]

Ledigingsdebiet	Terugkeerperiode overloop			
	2 jaar	5 jaar	10 jaar	20 jaar
30 l/s/ha			180 m ³ /ha	240 m ³ /ha
25 l/s/ha		160 m ³ /ha	200 m ³ /ha	240 m ³ /ha
20 l/s/ha	120 m ³ /ha	170 m ³ /ha	210 m ³ /ha	260 m ³ /ha
15 l/s/ha	140 m ³ /ha	190 m ³ /ha	240 m ³ /ha	290 m ³ /ha
10 l/s/ha	160 m ³ /ha	220 m ³ /ha	270 m ³ /ha	330 m ³ /ha
5 l/s/ha	210 m ³ /ha	280 m ³ /ha	340 m ³ /ha	410 m ³ /ha

Het ledigingsdebiet is in deze tabel gelijk aan de waterdoorlatendheid van de ondergrond aangezien we hier enkel rekening houden met een lediging via infiltratie. Zo is 10 l/s/ha gelijk aan een ondergrond met een waterdoorlatendheid van 10^{-6} m/s en is 1000 l/s/ha gelijk aan 10^{-4} m/s. [3, 4, 14]

Om een betere vergelijking te maken worden al de buffervolumes omgezet naar liter per vierkante meter:

- 1000 l = 1 m³;
- 10 000 m² = 1 hectare.

De omgezette buffervolumes zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Tabel 7: Buffervolumes in functie van het ledigingsdebiet van de ondergrond en de terugkeerperiode

Ledigingsdebiet	Terugkeerperiode overloop			
	2 jaar	5 jaar	10 jaar	20 jaar
30 l/s/ha			18 l/m ²	24 l/m ²
25 l/s/ha		16 l/m ²	20 l/m ²	24 l/m ²
20 l/s/ha	12 l/m ²	17 l/m ²	21 l/m ²	26 l/m ²
15 l/s/ha	14 l/m ²	19 l/m ²	24 l/m ²	29 l/m ²
10 l/s/ha	16 l/m ²	22 l/m ²	27 l/m ²	33 l/m ²
5 l/s/ha	21 l/m ²	28 l/m ²	34 l/m ²	41 l/m ²

De buffercapaciteit van het Fluvio-systeem is ook hier ruim voldoende. Hierbij moet wel vermeld worden dat het laagste ledigingsdebiet dat gecontroleerd is 5 l/s/ha bedraagt en dat dit overeenkomt met een ondergrond die een waterdoorlatendheid heeft van 5×10^{-7} m/s. Voor ondergronden die nog minder waterdoorlatend zijn zal de buffercapaciteit van het Fluvio-systeem op een gegeven moment niet meer voldoen.

7.3 Buffercapaciteit Fluvio-systeem vergelijken met de andere funderingsmogelijkheden

De andere waterdoorlatende funderingstypes zijn steenslagfundering en drainerend schraal beton. Bij deze funderingen zal de buffering van het hemelwater gebeuren in de

holle ruimtes of kleine openingen van het materiaal zelf. De hoeveelheid buffercapaciteit wordt hier dus enkel bepaald door de porositeit van het materiaal. Hieronder worden de richtwaardes van de porositeit voor de funderingsmaterialen weergegeven:

- drainerend schraal beton: 10%;
- ongebonden steenslag, zand- steenslagmengsel met een continue of een discontinue korrelverdeling: 23%.

1^{ste} vergelijking:

Het bepalen van de dikte van de fundering om eenzelfde buffercapaciteit te hebben als een Fluvio-systeem. Er wordt eerst uitgegaan van een niet-poreus Fluvio-systeem met een buffercapaciteit van 80 liter per vierkante meter.

Drainerend schraal beton:

- H_r = bepalen van de hoogte water op 1 m² oppervlak: 80l/m²= 80 000cm³/m²= 8 cm;
- F_r = veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
- porositeit= 10%;
- $\text{dikte}_{\text{fundering}} = \frac{H_r \cdot F_r}{\text{porositeit}} = \frac{8 \cdot 1,5}{0,10} = 120 \text{ cm.}$

Steenslag :

- H_r = bepalen van de hoogte water op 1 m² oppervlak: 80l/m²= 80000 cm³/m²= 8 cm;
- F_r = veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
- porositeit= 23%;
- $\text{dikte}_{\text{fundering}} = \frac{H_r \cdot F_r}{\text{porositeit}} = \frac{8 \cdot 1,5}{0,23} = 52,17 \text{ cm.}$

In de volgende vergelijking wordt uitgegaan van een poreus Fluvio-systeem met een buffercapaciteit van 91,58 liter per vierkante meter.

Drainerend schraal beton:

- H_r = bepalen van de hoogte water op 1 m² oppervlak: 91,58l/m²= 91580cm³/m²= 9,158 cm;
- F_r = veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
- porositeit= 10%;
- $\text{dikte}_{\text{fundering}} = \frac{H_r \cdot F_r}{\text{porositeit}} = \frac{9,158 \cdot 1,5}{0,10} = 137,37 \text{ cm.}$

Steenslag :

- H_r = bepalen van de hoogte water op 1 m² oppervlak: 91,58 l/m²= 91580 cm³/m²= 9,158 cm;
- F_r = veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
- porositeit = 23%;

- $\text{dikte}_{\text{fundering}} = \frac{H_r \cdot F_r}{\text{porositeit}} = \frac{9,158 \cdot 1,5}{0,23} = 59,73 \text{ cm.}$

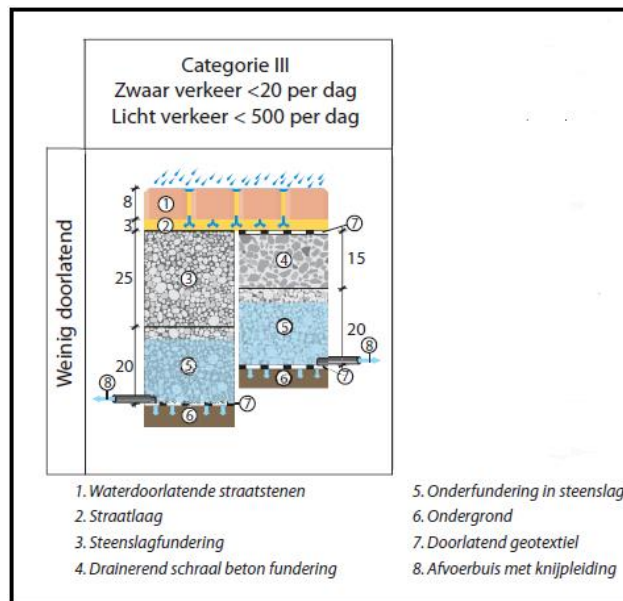
De dikte die bij drainerend schraal beton nodig is om dezelfde buffercapaciteit te krijgen als het Fluvio-systeem is veel te groot om uit te voeren. Er moet wel vermeld worden dat drainerend schraal beton meestal wordt uitgevoerd in combinatie met een onderfundering uit steenslag. Deze onderfundering zal dan voor de extra buffercapaciteit zorgen. De steenslagfundering moet ook vrij dik uitgevoerd worden om eenzelfde buffercapaciteit te krijgen als het Fluvio-systeem. Dit kan enkel gerealiseerd worden als dit in verschillende lagen gebeurt.

2^{de} vergelijking:

Hier wordt het Fluvio-systeem vergeleken met de opbouw van de 2 soorten onderlagen die gebruikt worden voor waterdoorlatende betonstraatstenen waarbij de ondergrond weinig doorlatend is en er een type wegcategorie III wordt toegepast. Deze onderlagen zijn:

1. fundering van drainerend schraal beton met een dikte van 15 cm met een onderfundering van steenslag met een dikte van 20 cm;
2. fundering van steenslag met een dikte van 25 cm en een onderfundering van steenslag met een dikte van 20 cm.

In de onderstaande figuur zijn de 2 opbouwen nog eens weergegeven.



Figuur 36: Opbouw onderlaag voor een weinig doorlatende ondergrond met wegcategorie III [2, 8, 13, 14]

Type 1:

- drainerend schraal beton:
 - Fr= veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
 - porositeit= 10 %;
 - dikte_{fundering}= 15 cm;

- hoogte water op 1 m² oppervlak: $H_r = \frac{\text{dikte} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{15 \cdot 0,10}{1,5} = 1 \text{ cm};$
- buffercapaciteit= 10 l/m².
- steenslag:
 - Fr= Veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
 - porositeit= 23 %;
 - dikte_{fundering}= 20 cm;
 - hoogte water op 1 m² oppervlak: $H_r = \frac{\text{dikte} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{20 \cdot 0,23}{1,5} = 3,07 \text{ cm};$
 - buffercapaciteit= 30,7 l/m².
- totale buffercapaciteit:
 - 10 l/m² + 30,7 l/m²= 40,7 l/m².

Type 2:

- steenslag:
 - Fr= Veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
 - porositeit= 23 %;
 - dikte_{fundering}= 25 cm;
 - hoogte water op 1 m² oppervlak: $H_r = \frac{\text{dikte} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{25 \cdot 0,23}{1,5} = 3,83 \text{ cm};$
 - buffercapaciteit= 38,3 l/m².
- steenslag:
 - Fr= Veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
 - porositeit=23 %;
 - dikte_{fundering}= 20 cm;
 - hoogte water op 1 m² oppervlak: $H_r = \frac{\text{dikte} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{20 \cdot 0,23}{1,5} = 3,07 \text{ cm};$
 - buffercapaciteit= 30,7 l/m².
- totale buffercapaciteit:
 - 38,3 l/m² + 30,7 l/m²= 69 l/m².

De buffercapaciteit van het eerste type is nog altijd maar de helft dan die van het Fluvio-systeem. Het tweede type komt vrij goed in buurt en heeft bijna een vergelijkbare buffercapaciteit dan het Fluvio-systeem. Er wordt ook in beide systemen een afvoerbuis met knijpleiding voorzien. Deze afvoerbuis zal een deel van het hemelwater afvoeren naar gebieden verder stroomafwaarts gelegen zodat het systeem meer hemelwater kan verwerken.

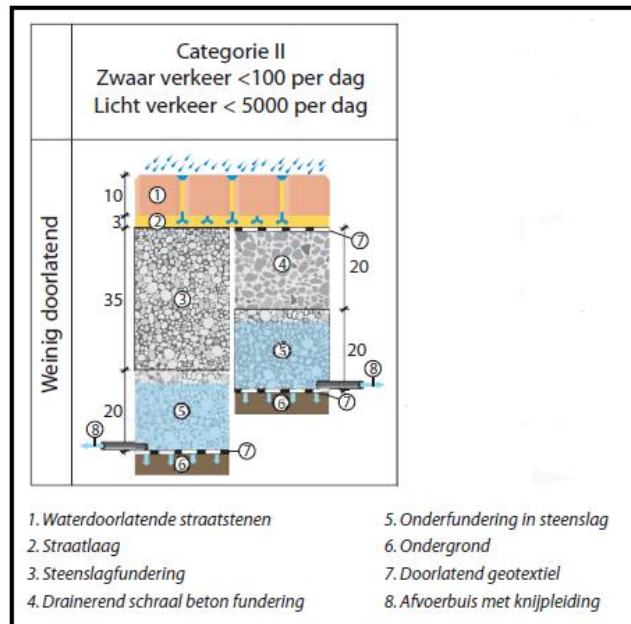
3^{de} vergelijking:

Het Fluvio-systeem wordt voorlopig enkel gebruikt voor bestratingen met wegcategorie III, maar in de toekomst zou het systeem mogelijk ook gebruikt kunnen worden in wegen van wegcategorie II. Daarom wordt de buffercapaciteit van het Fluvio-systeem vergeleken met de opbouw van de 2 soorten onderlagen die gebruikt worden voor

waterdoorlatende betonstraatstenen waarbij de ondergrond weinig doorlatend is en er een type wegcategorie II wordt toegepast. Deze onderlagen zijn:

1. fundering van drainerend schraal beton met een dikte van 25 cm met een onderfundering van steenslag met een dikte van 20 cm;
2. fundering van steenslag met een dikte van 35 cm en een onderfundering van steenslag met een dikte van 20 cm.

In de onderstaande tekening zijn de 2 opbouwen nog eens weergegeven.



Figuur 37: Opbouw onderlaag voor een weinig doorlatende ondergrond met wegcategorie II [2, 8, 13, 14]

Type 1 :

- drainerend schraal beton:
 - F_r = veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting = 1,5;
 - porositeit = 10 %;
 - $d_{\text{fundering}} = 20 \text{ cm}$;
 - hoogte water op 1 m² oppervlak: $H_r = \frac{d_{\text{fundering}} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{20 \cdot 0,10}{1,5} = 1,33 \text{ cm}$;
 - buffercapaciteit = 13,33 l/m².
- steenslag:
 - F_r = Veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting = 1,5;
 - porositeit = 23 %;
 - $d_{\text{fundering}} = 20 \text{ cm}$;
 - hoogte water op 1 m² oppervlak: $H_r = \frac{d_{\text{fundering}} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{20 \cdot 0,23}{1,5} = 3,07 \text{ cm}$;
 - buffercapaciteit = 30,7 l/m².
- totale buffercapaciteit:

- $13,33 \text{ l/m}^2 + 30,7 \text{ l/m}^2 = 44,03 \text{ l/m}^2$.

Type 2:

- steenslag:
 - $F_r =$ Veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
 - porositeit= 23 %;
 - $\text{dikte}_{\text{fundering}} = 35 \text{ cm}$;
 - hoogte water op 1 m^2 oppervlak: $H_r = \frac{\text{dikte} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{35 \cdot 0,23}{1,5} = 5,37 \text{ cm}$;
 - buffercapaciteit= $53,67 \text{ l/m}^2$.
- steenslag:
 - $F_r =$ Veiligheidsfactor die rekening houdt met de luchtinsluiting= 1,5;
 - porositeit= 23 %;
 - $\text{dikte}_{\text{fundering}} = 20 \text{ cm}$;
 - hoogte water op 1 m^2 oppervlak: $H_r = \frac{\text{dikte} \cdot \text{porositeit}}{F_r} = \frac{20 \cdot 0,23}{1,5} = 3,07 \text{ cm}$;
 - buffercapaciteit= $30,7 \text{ l/m}^2$.
- totale buffercapaciteit:
 - $53,67 \text{ l/m}^2 + 30,7 \text{ l/m}^2 = 84,36 \text{ l/m}^2$.

Ook hier is de buffercapaciteit van een fundering opgebouwd met drainerend schraal beton een stuk kleiner. Een onderbouw volledig uit steenslag geeft weinig verschil op het gebied van buffercapaciteit tegenover het Fluvio-systeem. Ook hier wordt in beide systemen een afvoerbuis met knijpleiding voorzien.

7.4 Bespreking

Het Fluvio-systeem scoort zeer goed op gebied van waterbuffering. Het systeem heeft een groot volume aan holle ruimtes hetgeen voor een grote buffercapaciteit zorgt. Het voldoet meer dan ruim aan de gestelde eisen. Door deze grote buffercapaciteit bestaat er ook de mogelijkheid om het hemelwater van nabijgelegen, verharde oppervlakken te verwerken en is het ook perfect geschikt om dakwater op te vangen en te laten infiltreren in de ondergrond. Het systeem zou zelfs als bufferbekken kunnen dienen voor kleinere projecten.

Uit de vergelijking met andere waterdoorlatende onderlagen voor bestratingen kan opgemerkt worden dat het Fluvio-systeem een grotere hoeveelheid hemelwater kan bufferen. Hierdoor zal het systeem dus perfect geschikt zijn om toe te passen bij minder doorlatende ondergronden. Hier zal het hemelwater eerst gedeeltelijk gebufferd worden en trager infiltreren in de ondergrond.

Bij hevige regenval gaat het Fluvio-systeem zorgen voor minder wateroverlast doordat het systeem een grote hoeveelheid hemelwater kan opvangen. Er kan eerst een groot volume aan hemelwater plaatselijk in het systeem opgeborgen worden voordat het verder in de ondergrond infiltreert. Omwille hiervan is het dus niet erg als de ondergrond gedurende een bepaalde periode verzadigd is en er nog nauwelijks hemelwater wordt opgenomen door de ondergrond.

De buffercapaciteit van een bestrating opgebouwd met het Fluvio-systeem kan nog verbeterd worden door een onderfundering uit steenslag onder het systeem te plaatsen. Een andere optie is het plaatsen van een overloop die bij voorkeur wordt aangesloten op een oppervlaktewater, een gracht of infiltratiebekken.

8 Waterdoorlatendheidstesten

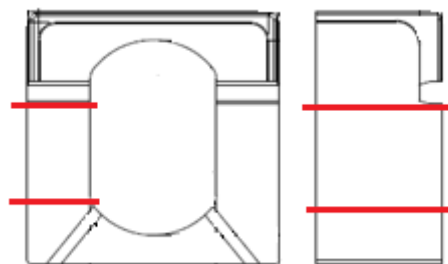
8.1 Waterdoorlatendheidsproef van het beton van de poreuze Fluvio-blok

8.1.1 Inleiding

De waterdoorlatendheid van poreus beton verschilt van product tot product doordat de samenstelling van het beton nooit exact hetzelfde is en de productie moeilijk te controleren is. Om de waterdoorlatendheid van het beton van de poreuze Fluvio-blokken te bepalen moet er rekening gehouden worden met enkele belangrijke randvoorwaarden.

In een Fluvio-blok bevinden zich grote open ruimtes waarin geen beton aanwezig is. Dit gaat de waterdoorlatendheid van het product sterk doen stijgen. Hierdoor is het onmogelijk om de waterdoorlatendheid van het beton te bepalen door een test te doen op een volledige Fluvio-blok.

Zoals al eerder vermeld worden de Fluvio-blokken al liggend geproduceerd volgens de strengpersmethode en later worden ze rechtstaand geplaatst. Hierdoor zal de porositeit enkel variëren in de brede richting van de Fluvio-blok. Het is dus mogelijk om de waterdoorlatendheid van het beton te kennen door een stukje Fluvio-blok over heel zijn breedte te testen. De test zal vergelijkbaar zijn met die van de betonstraatstenen die beschreven is in de PTV122(technische voorschriften waterdoorlatende betonstraatstenen en –tegels). Op tekening hieronder zie je op welk deel van de Fluvio-blok de test zal uitgevoerd worden.



Figuur 38: Fluvio-blok Type80 voor- en zijaanzicht

De afmetingen van het stukje blok waarop de test wordt uitgevoerd:

- breedte => is de standaardmaat: 110 ± 4 mm;
- lengte => lengte van 1 wand: 60 ± 2 mm;
- hoogte => tussen de rode lijnen op de tekening: 70 ± 5 mm.

8.1.2 De benodigde apparatuur

Om de proef uit te voeren worden volgende hulpmiddelen gebruikt:

- Instrumenten die voor de ondersteuning van het proefstuk zorgen, zodat het ondervlak van het proefstuk zichtbaar blijft en de horizontale stand van het bovenzvlak van het proefstuk verzekerd wordt.
 - Een soepele APP-roofingband die door het aanbrengen door middel van opwarming de volledige afdichting verzekert van de zijvlakken en eventuele zijranden van het proefstuk. De hoogte van de band is zodanig dat deze minstens 30 mm boven het proefstuk uitsteekt.
 - Een waterleiding die een constant en regelbaar waterdebiet kan leveren.
 - Een bak die onder het proefstuk wordt gezet en het water opvangt dat door het proefstuk gaat.
 - Een voorziening om de hoeveelheid water in de bak te bepalen met een nauwkeurigheid van 1%.
 - Schuifmaat met een nauwkeurigheid van 0,1 mm.
 - Een meetlat met een nauwkeurigheid van 0,1 mm.
 - Chronometer.
 - Een waterpas voor de controle of het proefstuk wel horizontaal opgesteld is.
 - Een meetlat met een nauwkeurigheid van 0,1 mm om de waterhoogte te bepalen.
- [17]

8.1.3 De voorbereiding

Om de proef uit te voeren moet eerst het proefstuk uit de Fluvio-blok gezaagd worden. Dit gebeurt met een natte slijpschijf zoals op de onderstaande foto is weergegeven.



Figuur 39: Zagen van het proefstuk

De afmetingen van het bovenzvlak van het proefstuk worden opgemeten met behulp van een schuifmaat en worden op 1 mm afgerond. De oppervlakte waardoor het hemelwater

zal vloeien wordt berekend en afgerond op 0,1 cm². Daaropvolgend wordt de dikte van het proefstuk met behulp van een schuifmaat opgemeten en afgerond tot op 1 mm. [17]

De roofingband wordt opgewarmd en op de zijkanten van het proefstuk gekleefd. Op deze wijze worden de zijkanten over de hoogte van het proefstuk volledig afgedicht waardoor het water gedurende de proef nergens langsheen het proefstuk kan lopen. Er moet op gelet worden dat de afdichting zo gebeurt dat het bitumen enkel de oppervlakteporiën van de Fuvio-blok vullen en niet dieper indringen zodat de vrije doorstroming van het water belemmerd wordt. Het proces van het aanbrengen van de roofingband is weergegeven in de onderstaande foto's. [17]



Figuur 40: Proces van het omdoen van de roofingband

De voorbereide proefstukken worden vervolgens gedurende 24 uur \pm 3 uur bewaard onder water, dit bij een temperatuur van 20°C \pm 5°C tot op het ogenblik van de proef. [17]

8.1.4 De uitvoering

Het proefstuk moet zo worden opgesteld dat het boven- en ondervlak van het proefstuk zichtbaar blijft gedurende de proef. Tevens moet de proef zo geconstrueerd worden dat het bovenvlak van het proefstuk horizontaal en vlak is. Dit wordt gecontroleerd met een waterpas. Op de onderstaande foto's wordt de opstelling van de proef weergegeven. [17]



Figuur 41: Opstelling waterdoorlatendheidsproef van het beton van de Fluvio-blok

Er wordt doorlopend een hoeveelheid water op het bovenzvlak van het proefstuk gebracht, waardoor er een waterlaag op het proefstuk komt te staan. Deze waterlaag mag een maximumhoogte van 30 mm hebben. Dit wordt gemeten met een meetlat en het resultaat wordt afgerond tot op 1 mm. Deze hoogte moet door middel van een continu debiet gedurende 15 minuten constant gehouden worden. De waterlaag mag gedurende deze 15 minuten zo weinig mogelijk verstoord worden. [17]

Vanaf de 11^{de} minuut wordt gedurende $t = 300 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$ de hoeveelheid water dat doorheen het proefstuk komt opgevangen in een waterbak. Dit ziet u op de onderstaande foto. Het volume water dat in waterbak is opgevangen wordt hierna gemeten. [17]



Figuur 42: Proefopstelling met waterbak

Onmiddellijk na het uitvoeren van de proef wordt de roefingband verwijderd zonder te verwarmen en het proefstuk te beschadigen. Er wordt nagegaan of het proefstuk gedurende de proef volledig afgedicht was. In het negatieve geval zal de proef ongeldig zijn. [17]

8.1.5 Formule voor het bepalen van de resultaten:

De doorlatendheidsfactor van het proefstuk bepalen met de formule:

$$k = \frac{0,01 \cdot V \cdot h}{A \cdot t \cdot (h + h_w)} \quad [17]$$

Betekenis en de eenheden van de parameters:

- $k \Rightarrow$ de doorlatendheidsfactor (m/s) bij een temperatuur van 20°C;
- $V \Rightarrow$ de opgevangen hoeveelheid water (cm³);
- $A \Rightarrow$ de oppervlakte van het bovenzvlak van het proefstuk (cm²);
- $t \Rightarrow$ de proefduur (s);
- $h \Rightarrow$ de hoogte van het proefstuk (mm);
- $h_w \Rightarrow$ de hoogte van het water op het bovenzvlak van het proefstuk (mm). [17]

8.1.6 Resultaten

De hierboven beschreven proef wordt drie maal uitgevoerd en hiervan wordt het gemiddelde genomen als waterdoorlatendheidsfactor voor het poreus beton van de Fluvio-blokken. De parameters die nodig zijn voor het bepalen van de waterdoorlatendheidsfactor worden voor al de drie proefstukken weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 8 : De parameters voor het bepalen van de waterdoorlatendheidsfactor van het beton

Opmetingen	Proefstuk		
	A	B	C
Lengte (mm)	110	110	110
Breedte (mm)	57	57	57
A (l x b/100) (cm ²)	62,7	62,7	62,7
Tijd (s)	300	300	300
Hoogte steen (mm)	78	82	81
Waterfilm op het bovenzvlak (mm)	15	15	15
Volume water (cm ³)	55	16	42

Deze gegevens worden ingevuld in de formule van de waterdoorlatendheidsfactor:

$$k = \frac{0,01 \cdot V \cdot h}{A \cdot t \cdot (h + h_w)} \quad [17]$$

De waterdoorlatendheidsfactor van de verschillende proefstukken wordt weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 9: De waterdoorlatendheidsfactor van het beton

Waterdoorlatendheidsfactor	Proefstuk		
	A	B	C
Individueel (m/s)	$2,45 \times 10^{-5}$	$0,72 \times 10^{-5}$	$1,88 \times 10^{-5}$
Gemiddeld (m/s)	$1,68 \times 10^{-5}$		

8.2 Waterdoorlatendheidsproef van een individuele Fluvio-blok

8.2.1 Inleiding

Voor de bepaling van de waterdoorlatendheid van een volledige Fluvio-blok Type80 wordt dezelfde proef uitgevoerd als bij de bepaling van de waterdoorlatendheid voor het beton van de Fluvio-blok. Het enige verschil is dat de proef hier wordt uitgevoerd over een volledige Fluvio-blok. De invloed van de geïntegreerde holte kan bepaald worden uit het resultaten van deze proef.

Tevens kunnen deze vergeleken worden met de eisen van de technische voorschriften van betonstraatstenen (PTV122). Deze vergelijking kan een indicatie geven of een poreuze Fluvio-blok wel een poreus bestratingsproduct kan genoemd worden.

De benodigde apparatuur is dezelfde als bij de waterdoorlatendheidsproef van het poreus beton van een Fluvio-blok. Ook wordt er gebruik gemaakt van dezelfde formule voor waterdoorlatendheid.

8.2.2 De voorbereiding

De afmetingen van het bovenzvlak van de Fluvio-blok worden opgemeten met een schuifmaat en een meetlat. Deze worden op 1 mm afgerond. De oppervlakte waardoor het hemelwater zal vloeien wordt berekend en afgerond op 0,1 cm². Daarna wordt de dikte van de Fluvio-blok gemeten met behulp van een meetlat en afgerond tot op 1 mm. [17]

De roofingband wordt voorverwarmd en op de zijkanten van het proefstuk gekleefd. Dit proces wordt weergegeven op de onderstaande foto's. Op deze wijze worden de zijkanten over de hoogte van de Fluvio-blok volledig afgedicht waardoor het water gedurende de proef nergens langs de Fluvio-blok loopt. Er moet op gelet worden dat de

afdichting zo gebeurt dat het bitumen enkel de oppervlakteporiën van de Fuvio-blok vullen en niet dieper indringen zodat de vrije doorstroming van het water belemmerd wordt. Het proces is bij een volledige Fluvio-blok een stuk moeilijker vanwege de holte in het midden. Daardoor moet de roofingband extra voorzichtig worden aangebracht. [17]



Figuur 43: Het proces van het omdoen van de roofingband

De voorbereide proefstukken worden vervolgens gedurende 24 uur \pm 3 uur onder water bewaard bij een temperatuur van 20 °C en \pm 5 °C tot op het ogenblik van de proef. [17]

8.2.3 De uitvoering

Het proefstuk moet zo worden opgesteld dat het boven- en ondervlak zichtbaar blijft gedurende de proef. Tevens moet de proef zo geconstrueerd worden dat het bovenvlak van het proefstuk horizontaal en vlak is. Dit wordt gecontroleerd met een waterpas. Op de onderstaande foto's wordt de opstelling van de proef weergegeven. [17]



Figuur 44: Proefopstelling waterdoorlatendheidsproef van een volledige Fluvio-blok Type80

Er wordt doorlopend een hoeveelheid water op het bovenvlak van het proefstuk gebracht zodat er een waterlaag op de oppervlakte ontstaat. Deze waterlaag mag een maximumhoogte van 50 mm hebben. De hoogte hiervan wordt gemeten en het resultaat wordt afgerond tot op 1 mm. De hoogte van de waterlaag moet via een continu debiet gedurende 15 minuten constant gehouden worden. Tijdens deze 15 minuten mag de waterlaag op het proefstuk zo weinig mogelijk verstoord worden. [17]

Vanaf de 11^{de} minuut wordt gedurende $t = 300 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$ de hoeveelheid water dat doorheen het proefstuk komt opgevangen in een waterbak. Dit volume water wordt hierna gemeten. [17]

Onmiddellijk na het uitvoeren van de proef wordt de roofigband verwijderd zonder te verwarmen en zonder het proefstuk te beschadigen. Er wordt nagegaan of het proefstuk gedurende de proef volledig afgedicht was. In het negatieve geval zal de proef ongeldig zijn. [17]

8.2.4 Resultaten

De hierboven beschreven proef wordt drie maal uitgevoerd en dan wordt het gemiddelde van deze drie metingen genomen als waterdoorlatendheidsfactor voor de Fluvio-blok Type80. De parameters die voor deze berekening gebruikt worden ziet u in de onderstaande tabel.

Tabel 10: De parameters voor het bepalen van de waterdoorlatendheidsfactor de Fluvio-blok Type80

Opmetingen	Proefstuk		
	A	B	C
Lengte (mm)	222	219	219
Breedte (mm)	110	110	110
A (l x b/100) (cm ²)	244,2	240,9	240,9
Tijd (s)	300	300	300
Hoogte steen (mm)	222	221	221
Waterfilm op het bovenvlak (mm)	15	15	15
Volume water (cm ³)	1268	1181	290

Deze gegevens moeten ingevuld worden in de formule van de waterdoorlatendheidsfactor:

$$k = \frac{0,01 \cdot V \cdot h}{A \cdot t \cdot (h + h_w)} \quad [17]$$

De waterdoorlatendheidsfactor van de verschillende proefstukken wordt weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 11: De waterdoorlatendheidsfactor van het de Fluvio-blok Type80

Waterdoorlatendheidsfactor	Proefstuk		
	A	B	C
Individueel (m/s)	$16,21 \times 10^{-5}$	$16,30 \times 10^{-5}$	$3,76 \times 10^{-5}$
Gemiddeld (m/s)	$11,76 \times 10^{-5}$		

8.3 Bespreking

De poreuze Fluvio-blokken hebben een gemiddelde doorlatendheidsfactor van $11,76 \times 10^{-5}$ m/s, terwijl de gemiddelde doorlatendheidsfactor van enkel het poreus beton van de Fluvio-blokken $1,68 \times 10^{-5}$ m/s bedraagt. Hieruit blijkt dus dat de openingen in de Fluvio-blokken de doorlatendheidsfactor ongeveer zeven maal doet stijgen.

Uit deze resultaten kan er geconcludeerd worden dat het hemelwater vooral door het midden van de Fluvio-blok dringt omdat de poreuze betondikte boven aan de blok het minst dik is. Dit komt doordat het water altijd de weg neemt met de minste weerstand. Hoewel het hemelwater vooral beneden aan de Fluvio-blok via infiltratiekanalen de blok verlaat, zal er ook een deel door het midden van de Fluvio-blok naar buiten dringen omdat ook hier de betondikte niet dik is.

De resultaten van de verschillende metingen geven ook grote verschillen. Zo is de hoogste doorlatendheidsfactor van de metingen van een hele Fluvio-blok meer dan vier maal groter dan de kleinste en bij de metingen op enkel het poreus beton is de hoogste meting meer dan drie maal groter dan de kleinste. Dit alles komt door het feit dat het productieproces van waterdoorlatende betonnen elementen moeilijk te controleren en te regelen is.

De waterdoorlatendheidsfactor van de Fluvio-blok voldoet ruim aan de eisen van de technische voorschriften voor waterdoorlatende betonstraatstenen en tegels (PTV122). Hierbij moet wel gesteld worden dat de Fluvio-blok geen waterdoorlatende betonstraatsteen maar een funderingsblok is. Toch kan deze eis van de waterdoorlatende betonstraatstenen wel als indicatie gezien worden, omdat er nog geen technische voorschriften voor funderingsblokken met een geïntegreerde holte bestaan.

9 Doorlatendheidsmeting in situ via een dubbele ringmethode

De Fluvio-blokken zijn tot nu toe niet getest als systeem maar enkel als een individuele blok. Om te controleren of een Fluvio-systeem wel degelijk werkt en dit ook doet nadat het al enkele jaren geplaatst is, gaat er een dubbele ringmethode uitgevoerd worden op een systeem dat al enige tijd ligt. Algemeen wordt er aangenomen dat de bovenste 10 cm van de verharding wordt getest en er dus een oppervlakedoorlatendheid wordt gemeten. Maar als de onderlagen niet goed doorlatend zijn, kan dit bijvoorbeeld gezien worden door water dat horizontaal wegstroomt in plaats van verticaal. De waterdoorlatendheid van een bestrating wordt bepaald door de zwakste laag in de opbouw van een bestrating.

9.1 Locatie en randvoorwaarden

De meting wordt uitgevoerd in Dessel op de Turnhoutsebaan 171 op het terrein dat zich rond de winkel van Artstone bevindt. Belangrijke randvoorwaarden waar tijdens en na de proef rekening mee gehouden moet worden:

- de opbouw ligt al 8 jaar en er is nooit onderhoud op uitgevoerd;
- in de buurt zijn er zandbermen, deze zorgen ervoor dat er zand op de betonstraatstenen waait en in de loop der tijd ook in de poriën zal dringen;
- mos aanwezig tussen de voegen en de poriën van de betonstraatstenen;
- de ondergrond is een zandgrond, dus zal niet de zwakste laag in de opbouw zijn;
- de opbouw van boven tot onder:
 - Poreuze betonstraatstenen;
 - Straatlaag;
 - fluvio-systeem:
 - geotextiel;
 - fluvio-blokken;
 - straatlaag;
 - geotextiel;
 - ondergrond.

Dit alles zorgt ervoor dat de toplaag die bestaat uit waterdoorlatende betonstraatstenen niet meer in 100% goede staat is, waardoor de doorlatendheidsmeting een lagere waarde kan aangeven dan gehoopt. Hieronder een foto van de toplaag.



Figuur 45: Toplaag waarop de proef is uitgevoerd

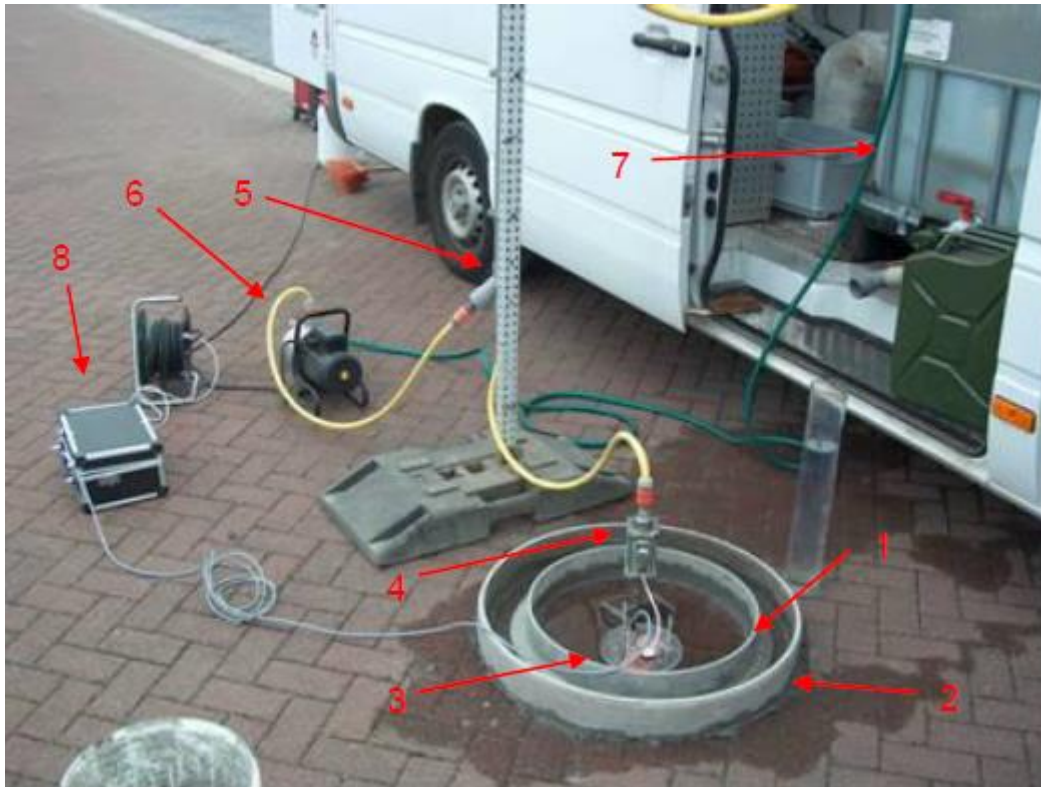
9.2 Proefmethode

De dubbele ringmethode is een beproevingsmethode die beschreven staat en opgenomen is in de PTV827(waterdoorlatende bestratingen systeem-, product- en plaatsingseisen) om de waterdoordringbaarheid bij waterdoorlatende verhardingen te meten. De proef heeft als doel de waterdoorlatendheidscoëfficiënt ($k(m/s)$) te bepalen van een structuur. [15]

9.2.1 Meetopstelling

De onderdelen van de dubbele ringmethode zijn op de onderstaande figuur aangeduid en hieronder opgesomd:

1. binnenste ring (diameter 50 cm)
2. buitenste ring (diameter 70 cm)
3. niveaudetector (samengesteld uit 2 contactplaten)
4. elektromagnetisch ventiel
5. waterkolom(zorgt voor een constante waterdruk)
6. pomp
7. waterreservoir (600 liter)
8. PLC-sturing [15, 24]



Figuur 46: Onderdelen van dubbele ringmethode [15, 24]

9.2.2 De opbouw van de proef

Allereerst wordt een goede locatie op het terrein voor de proef gezocht. Dit was voor onze meting een groot probleem doordat de toplaag op de meeste plaatsten op het terrein enorm vervuild was door zand en mos.

Nadat de locatie voor de proefopstelling bekend is, worden er krijtmarkeringen van de contouren van beide ringen op de betonstraatstenen geplaatst. Op de markeringen moet mortel worden aangebracht die voor de aanhechting tussen de ringen en het oppervlak van de betonstraatstenen zorgt. Hierdoor wordt er een minimum aan cementpasta verspild en zal er weinig mortel langs de ringen moeten weggehaald worden. De onderstaande foto geeft de aangebrachte markeringen voor de meting weer. [15, 24]



Figuur 47: De krijtmarkeringen van de ringen op het bestratingsoppervlak

De cementmortel wordt afhankelijk van de buitentemperatuur vloeier gemaakt. De aanhechting zorgt ervoor dat er geen lateraal transport van water gebeurt tussen de ringen onderling en ook tussen de buitenste ring en het bestratingsoppervlak buiten de ringen. Op de onderstaande figuur wordt weergegeven hoe de cementmortel wordt aangebracht. [15, 24]



Figuur 48: Aanbrengen van de cementmortel op de krijtmarkeringen

De binnenste ring grenst de oppervlakte af waarop de waterdoorlatendheidsmeting wordt uitgevoerd. De buitenste ring die ook gevuld wordt met water gaat dienst doen als verticaal scherm voor het water dat zich in de binnenste ring bevindt. Hierdoor wordt de horizontale verspreiding van het water zo goed mogelijk verhinderd. [15, 24]

De ringen worden op de mortel geplaatst en worden goed aangedrukt zodat er een optimale aanhechting mogelijk is. De restanten van de mortel die zich langs de ringen

bevinden worden aangedrukt tegen de aanhechtingsnaad, waardoor de aanhechting verstevigd wordt. Als er teveel morteloverschot is wordt deze door middel van een truweel verwijderd. [15, 24]

De aanhechtingsnaad moet zich zoveel mogelijk onder de ringen bevinden. Als dit niet het geval is kan het waterdoorlatende oppervlak dichtslibben. Nadat dit alles gebeurd is, krijgt de cementmortel droogtijd. Deze droogtijd is nodig om te voorkomen dat de cementmortel in een latere fase zal wegspoelen. De opstelling wordt gecontroleerd door beide ringen met water te vullen. Als er op geen enkele plaats lateraal transport is, kan de opstelling als correct beschouwd worden. Onderstaande foto geeft de aanhechting weer tussen de ringen en het bestratingsoppervlak. [15, 24]

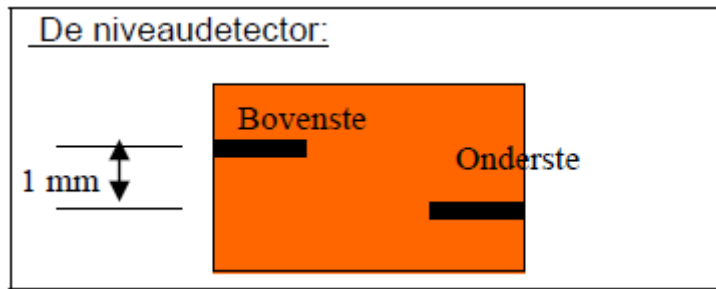


Figuur 49: Aanhechting van de binnenste en buitenste ring met het bestratingsoppervlak

Nadat de controle van de aanhechting van beide ringen op het bestratingsoppervlak positief is, kunnen de toestellen die de meting gaan uitvoeren in de binnenste ring geplaatst en hierna aangesloten worden. De niveaudetector moet waterpas staan in de binnenste ring, waardoor het waterniveau in de binnenste ring evenwijdig staat met de contactplaten van de detector. Dit is nodig om de contactplaten van de detector correcte signalen te laten ontvangen wanneer het water tot een bepaald niveau gestegen of gedaald is. De pomp wordt hierna ook verbonden met de waterkolom en het waterreservoir. [15, 24]

9.2.3 De werking van de proef

De proef meet het debiet dat nodig is om een constante waterhoogte van ongeveer 10 mm aan te houden in de binnenste ring. Dit constant debiet komt er door middel van een elektromagnetisch ventiel dat verbonden is met een waterpomp en aangestuurd wordt door de niveaudetector en de PLC. De waterhoogte binnen de binnenste ring moet zich gedurende de proef altijd tussen de twee metalen platen van de niveaudetector bevinden. Deze zijn weergegeven in de onderstaande figuur. [15, 24]



Figuur 50: Werking van de niveaudetector [15]

Van zodra de PLC-sturing in werking wordt gesteld, stroomt het water met behulp van de pomp van het waterreservoir naar de waterkolom om daarna via het ventiel de binnenste ring op te vullen. Het vullen van de binnenste ring gaat door tot het water contact maakt met het bovenste plaatje van de niveaudetector. Bij dit contact sluit het ventiel. Door infiltratie in de bestratingsoppervlakte zal het water in de binnenste ring opnieuw zakken. Als het water contact maakt met het onderste plaatje van de niveaudetector, springt het ventiel terug aan en zal de binnenste ring zich terug vullen tot aan het bovenste plaatje. Op de onderstaande foto's ziet u de meetopstelling gedurende de proef. [15]



Figuur 51: Opstelling van de proef gedurende de proef

De tijdsintervallen van lediging en vullen worden geregistreerd en hieruit wordt de waterdoorlatendheid van het oppervlak van de wegconstructie bepaald. Om zeker geen fouten te maken en ook de resultaten achteraf te kunnen controleren worden de tijden ook handmatig met een stopwatch gemeten. [15, 24]

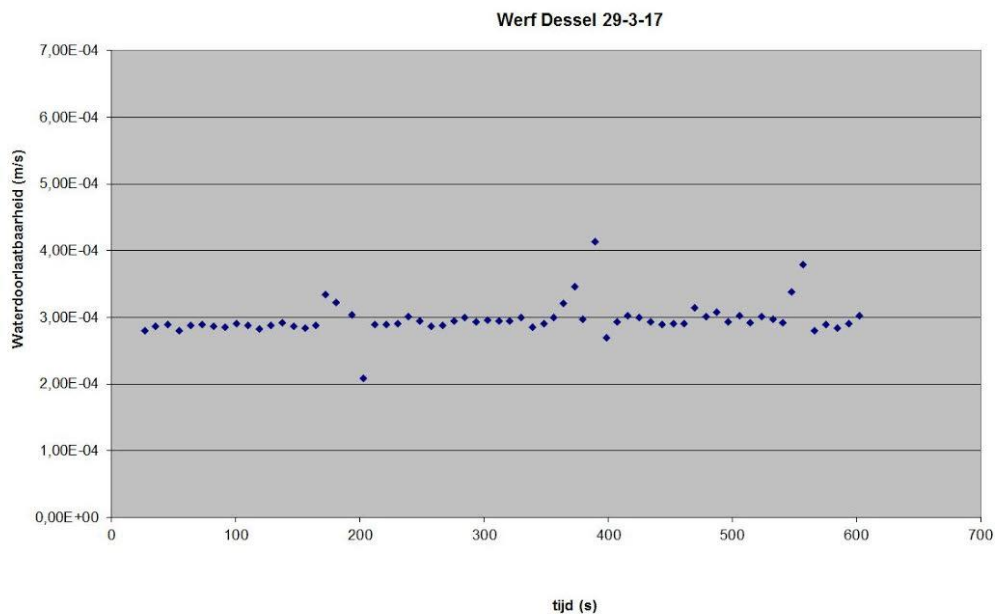
De proef moet minimaal 30 minuten duren zodat er voldoende tijd is om de watersaturatie van de structuur te verzekeren. Om het horizontaal scherm gedurende de proef te verzekeren moet het bestratingsoppervlakte tussen de binnenste en buitenste ring altijd gevuld zijn met een laagje water van minimaal enkele millimeters. [15, 24]

De doorlatendheidscoëfficiënt wordt bepaald uit de gemeten tijden gedurende de proef. Dit gebeurt via een voorafgaande kalibratie in het labo van het OCW waarbij het verband tussen de doorlatendheidscoëfficiënt (Y) en de gemeten infiltratietijd gedurende de meting (X) wordt bepaald (algemeen volgens de met formule $Y = a \cdot X^{-b}$ met $a, b > 0$). De doorlatendheidscoëfficiënt wordt gedurende een bepaalde tijd

opgenomen en als de uiteindelijk resultaat wordt het gemiddelde van de laatst 10 minuten van de metingen genoteerd.[15, 24]

9.3 Resultaat

De gemiddelde waterdoorlatendheid (k) van de proef is $2,97 \times 10^{-4}$ m/s. Gezien de vrij oude en vervuilde toplaag is dit nog een vrij hoge waarde. De waterdoorlatende structuur voldoet aan de eis van $5,4 \times 10^{-5}$ m/s die opgelegd is in de technische voorschriften van waterdoorlatende bestratingen (PTV827). Er was geen water of een aanwijzing van horizontaal transport van water terug te vinden op het oppervlak langs de ringen, wat er dus op wijst dat het water verticaal wegstroomde tijdens de proef. Uit deze bevindingen kan er opgemaakt worden dat de oppervlakedoorlatendheid zeer goed was. Tevens geeft deze meting een indicatie dat het Fluvio-systeem wel degelijk goed werkt. Het is enkel moeilijk een definitieve conclusie te trekken uit één meting.



Figuur 52: Grafiek waterdoorlatendheid

10. Inspecties van gebruikte Fluvio-systemen en Fluvio-blokken

Om na te gaan of het Fluvio-systeem een duurzaam systeem is zijn er enkele Fluvio-systemen opgebroken. Zo kan er gekeken worden hoe het systeem eruit ziet nadat het enkele jaren in gebruik is geweest. Tevens zijn er proeven uitgevoerd op de poreuze Fluvio-blokken die tijdens de opbraak naar boven zijn gehaald. Dit zijn dezelfde proeven die in de vorige hoofdstukken beschreven staan en die uitgevoerd zijn op de niet gebruikte Fluvio-blokken, namelijk de waterabsorptieproef en de waterdoorlatendheidsproeven voor zowel het poreus beton als voor een volledige poreuze Fluvio-blok.

10.1 Heusden-Zolder

Op de inrit van de productiehal van Artstone in Heusden-Zolder is een systeem opgebouwd met niet-poreuze Fluvio-blokken in de onderlaag. De bestrating is gelegd in het jaar 2008, een deel is opgebouwd met een toplaag uit doorlatende betonstraatstenen en een deel met gewone betonstraatstenen. De bestrating met gewone betonstraatstenen is voorzien van een sleuf. Via deze sleuf kan het hemelwater in het Fluvio-systeem dringen. Op onderstaande foto is deze sleuf weergegeven.



Figuur 53: Sleuf met niet poreuze betonstraatstenen

De bestrating die opgebouwd is met een toplaag uit waterdoorlatende betonstraatstenen is opgebroken om te onderzoeken in welke staat het Fluvio-systeem zich nu bevindt. De opbouw bestaat uit:

- doorlatende betonstraatstenen;
- straatlaag uit kleine kiezel;
- geotextiel;

- niet-poreuze Fluvio-blokken Type40;
- straatlaag uit stabilisé;
- geotextiel.

Het systeem wordt opgebroken om te bepalen of het nog altijd intact is en of er veel slib of andere ongewenste materialen in het Fluvio-systeem terechtgekomen zijn. De onderstaande foto's geven de opbraak van het systeem en de toestand ervan weer.



Figuur 54: Het opgebroken systeem in Heusden-Zolder

Het systeem is na 8 jaar nog altijd in goede staat. Hoewel er dagelijks veel vrachtvervoer overrijdt, zijn de blokken onbeschadigd. In het systeem zelf was ook weinig slib of andere ongewenste materialen terug te vinden. Enkel op de bodem van de geïntegreerde holtes is er slibafzetting te zien. De straatlaag waarop de Fluvio-blokken geplaatst zijn bestaat uit stabilisé. Dit is voor een waterdoorlatende onderbouw niet aan te raden omdat de doorlatendheid van stabilisé vaak gering is, maar toch heeft dit hier nooit voor problemen gezorgd.

Naast de betonstraatstenen die opgebouwd zijn met een onderbouw die bestaat uit Fluvio-blokken is er ook een systeem opgebouwd met een gewone steenslagfundering. Op deze bestrating is een plas water te zien en zijn de betonstraatstenen op sommige

plaatsen losgekomen. Dit is te zien op de onderstaande foto. De bestrating aan de rechterkant van de foto is deze met een fundering uit steenslag.



Figuur 55: Vergelijking toplaag met verschillende onderbouw

10.2 Dessel

Op de parking en rond de winkel van Artstone te Dessel is er ook een bestrating gelegd met een Fluvio-systeem in de fundering. Hierop is eerst al de doorlatendheidsmeting met de dubbele ringproef op uitgevoerd. De opbouw van de bestrating is hier gelegd in het jaar 2009 en bestaat uit:

- waterdoorlatende betonstraatstenen;
- straatlaag uit kleine kiezel;
- geotextiel;
- poreuze Fluvio-blokken Type40;
- straatlaag uit kleine kiezel;
- geotextiel.

Deze bestrating wordt opgebroken en op de Fluvio-blokken die uit de bestrating worden gehaald gaan achteraf de proeven van waterabsorptie en waterdoorlatendheid uitgevoerd worden. De onderstaande foto's geven de opbraak van het systeem en de toestand ervan weer.



Figuur 55: Het opengebroken systeem in Dessel

Het systeem van de Fluvio-blokken ziet er nog zeer goed uit en zijn na 8 jaar nog altijd in perfecte staat. De blokken zijn niet gebarsten of stuk. Hierbij moet wel vermeld worden dat er weinig zwaar verkeer over deze bestrating komt. Er is ook nauwelijks tot geen afzetting van slib of andere ongewenste materialen in de Fluvio-blokken teruggevonden.

Op deze Fluvio-blokken worden proeven uitgevoerd waarvan de resultaten vergeleken worden met de eerder uitgevoerde proeven. Het probleem hierbij is wel dat dit Fluvio-blokken van het Type40 zijn en de eerdere proeven zijn uitgevoerd op Fluvio-blokken van Type80. Dit komt doordat de Type80 Fluvio-blokken 8 jaar geleden nog niet geproduceerd werden en men toen nog Fluvio-blokken van het Type40 in de fundering toepaste.

10.2.1 Porositeit van de gebruikte Fluvio-blokken

Deze proef is reeds beschreven in hoofdstuk 7 en wordt op drie proefstukken uitgevoerd. In de onderstaande tabel ziet u de resultaten van de metingen van zowel het nat als het droog gewicht.

Tabel 12: Resultaten van de wegingen van zowel het nat als het droog gewicht

Gewicht	Proefstuk		
	A	B	C
Nat gewicht (g)	8973	8896	9005
Droog gewicht (g)	8511	8425	8561

Bepalen van de waterabsorptie in gewichtsprocent:

$$G = \frac{M_{nat} - M_{droog}}{M_{droog}} \cdot 100 (\%). [9]$$

In de onderstaande tabel is het resultaat van de berekening van de bovenstaande formule weergegeven.

Tabel 13: Waterabsorptie in gewichtsprocent

Gewichtsprocent	Proefstuk		
	A	B	C
Individueel (%)	5,4	5,6	5,2
Gemiddeld (%)	5,4		

Hieruit kan nu de porositeit bepaald worden via de maatkenmerken van een Fluvio-blok Type40. Deze kenmerken zijn:

- totaal bergingsvolume: $\text{Type}80/2 = 1947/2 = 973,5 \text{ cm}^3$;
- totaal volume blok: 5324 cm^3 ;
- totaal volume beton per blok: $5324 - 973,5 = 4350,5 \text{ cm}^3$.

Formule voor het bepalen van de porositeit:

$$\text{Porositeit} = \frac{M_{droog}}{V_{beton}} \cdot G (\%). [9]$$

In de onderstaande tabel is het resultaat van de porositeit weergegeven.

Tabel 14: Resultaten van de porositeit

Porositeit	Proefstuk		
	A	B	C
Individueel (%)	10,64	10,85	10,23
Gemiddeld (%)	10,55		

De porositeit is gemiddeld 10,55%. Als je dit vergelijkt met die van de niet-gebruikte Fluvio-blokken Type80, namelijk 12,55%, kan er opgemerkt worden dat de porositeit minder is maar dat het verschil zeker niet heel erg groot is. Dit klein verschil kan veroorzaakt worden door het feit dat een ander type Fluvio-blok getest is en je hierdoor een vertekend beeld van het resultaat krijgt. Een andere oorzaak kan het gedeeltelijk dichtslibben van het poreus beton zijn. Toch kan men stellen dat het resultaat positief is en dat de Fluvio-blokken nog steeds een goede porositeit hebben.

10.2.2 Waterdoorlatendheidsproeven

Tijdens het inpakken van de Fluvio-blokken voor de proeven van de waterdoorlatendheid is er iets fout gelopen. Hierdoor is er maar één proef uitgevoerd op een volledige Fluvio-blok en twee keer een proef op een stuk van de Fluvio-blok, waarbij de waterdoorlatendheid van het poreus beton getest wordt. Aanvankelijk was er de intentie om beide proeven elk drie maal uit te voeren.

De proeven worden op dezelfde manier uitgevoerd zoals deze besproken zijn in hoofdstuk 8. Het grote verschil is dat hier een Fluvio-blok Type40 getest wordt in plaats van een Fluvio-blok Type80, waardoor de waterdoorlatendheidstest op het poreus beton gebeurt op een stuk beton met een andere afmeting. Er wordt gebruik gemaakt van de bovenkant van de Fluvio-blok Type40 en dit met de volgende afmetingen:

- lengte= 215mm;
- breedte= 110mm;
- dikte= 80mm.

De gegevens die nodig zijn voor de bepaling van de waterdoorlatendheid van een volledige Fluvio-blok Type40 worden in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 15: Gegevens voor de bepaling van de waterdoorlatendheid

Opmetingen	Proefstuk
	A
Lengte (mm)	215
Breedte (mm)	105
A (LxB/100) (cm ²)	225,75
Tijd (s)	300
Hoogte steen (mm)	220
Waterfilm op het bovenzvlak (mm)	15
Volume water (cm ³)	1986

Deze gegevens worden ingevuld in de formule voor de berekening van de waterdoorlatendheidsfactor (k):

$$k = \frac{0,01 \cdot V \cdot h}{A \cdot t \cdot (h + h_w)} \quad [17]$$

Als de formule wordt ingevuld komt dit op een waterdoorlatendheidsfactor (k) van $27,45 \times 10^{-5}$ m/s uit. Deze is hoger dan die van het Type80 hetgeen normaal niet zou kunnen omdat er meer vrije ruimtes aanwezig zijn bij het Type80 Fluvio-blok, waardoor de waterdoorlatendheid een stuk hoger zou moeten liggen. Ook het feit dat de Fluvio-blok al 8 jaar in de onderbouw van een bestrating gelegen heeft zou normaal moeten wijzen op een vermindering van de waterdoorlatendheid.

De gegevens die nodig zijn voor de bepaling van de waterdoorlatendheid van het poreus beton van de Fluvio-blok Type40 worden in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 16: Gegevens voor de bepaling van de waterdoorlatendheidsfactor

Opmetingen	Proefstuk	
	A	B
Lengte (mm)	215	215
Breedte (mm)	105	105
A (LxB/100) (cm ²)	225,75	225,75
Tijd (s)	300	300
Hoogte steen (mm)	80	80
Waterfilm op het bovenzvlak (mm)	20	17
Volume water (cm ³)	521	1121

Deze parameters worden ingevuld in de formule voor de berekening van de waterdoorlatendheidsfactor (k):

$$k = \frac{0,01 \cdot V \cdot h}{A \cdot t \cdot (h + h_w)} \quad [17]$$

De resultaten van de waterdoorlatendheidsfactor (k) van het poreus beton zijn terug te vinden in de onderstaande tabel.

Tabel 17: Waterdoorlatendheidsfactor van het beton

Doorlatendheidsfactor k	Proefstuk	
	1	2
Individueel (m/s)	$6,15 \times 10^{-5}$	$13,65 \times 10^{-5}$
Gemiddeld (m/s)	$9,9 \times 10^{-5}$	

De gemiddelde doorlatendheidsfactor van het poreus beton is $9,9 \times 10^{-5}$ m/s. Dit is een stuk meer dan bij de niet gebruikte Fluvio-blokken Type80. Dit terwijl er net zoals bij de volledige Fluvio-blok eerder een daling van de doorlatendheidsfactor doorheen de tijd zou verwacht worden.

10.3 Bespreking

Bij de inspectie van de opgebroken Fluvio-systemen is er opgemerkt dat deze nog in zeer goede staat zijn. Zo waren er geen gebroken Fluvio-blokken te vinden in de systemen. Tevens is er zeer weinig slib of ander vuil in de systemen aangetroffen, dit wil zeggen dat de geotextiel goed zijn werk doet en het systeem goed afgeschermd wordt van andere lagen. Hierdoor kan er wel gesteld worden dat de systemen nadat ze respectievelijk acht en negen jaar in gebruik zijn geweest nog altijd functioneel zijn en dat reiniging van het systeem niet noodzakelijk is.

Sluitende conclusies trekken uit de resultaten van proeven op de Fluvio-blokken Type40 uit Dessel is moeilijk omdat ze nogal moeilijk te vergelijken zijn met de eerdere proeven en vooral bij de waterdoorlatendheidsproeven de resultaten per blok zeer uiteenlopend zijn. Er kan wel uit afgeleid worden dat de resultaten van de proeven positief zijn en dat de Fluvio-blokken nog altijd een goede porositeit en waterdoorlatendheid hebben.

Uit al deze bevindingen kan gesteld worden dat het niet nodig is het Fluvio-systeem te reinigen of te vervangen nadat het enkele jaren in gebruik is geweest.

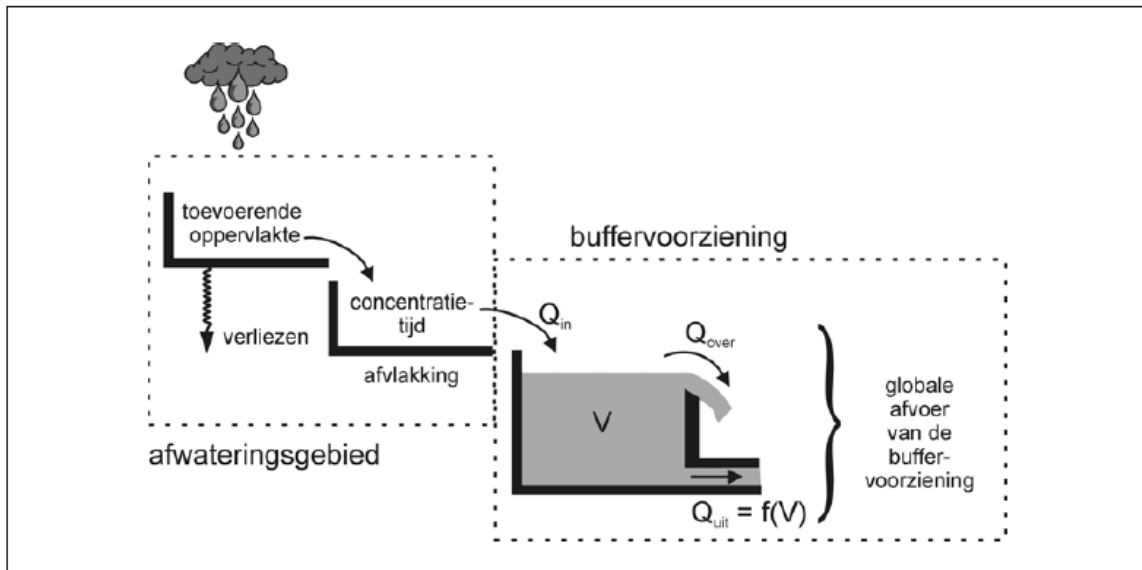
11. Opmaken van ontwerpregels

11.1 Inleiding

Het Fluvio-systeem is een infiltratie- en buffersysteem dat wordt opgebouwd in de fundering van bestratingen. Het systeem heeft hierdoor twee grote functies, namelijk de sterkte van de structuur garanderen en het verwerken van hemelwater. Dit laatste slaat op het feit dat het systeem het hemelwater eerst tijdelijk buffert en dan later laat infiltreren in de ondergrond. Bij een buffervoorziening zijn 4 componenten van groot belang [26]:

- de instroom(Q_{in});
- de doorvoer(Q_{uit});
- de overloop(Q_{over});
- het buffervolume(V). [26]

De oppervlakte van de aangesloten verharding bepaalt de instroom van de buffervoorziening en de doorvoer wordt bepaald door het leeglopen van het buffervolume. De overloop zal in werking treden wanneer het buffervolume zijn maximum bereikt heeft en de instroom groter is dan de doorvoer. Hieronder ziet u het conceptuele model voor de berekening van de nodige buffervolumes. [26]



Figuur 56: Conceptueel model voor het berekenen van de nodige buffervolumes aan de hand van continue lange termijn simulaties [26]

Als het ledigingsdebiet constant en onafhankelijk van het opgeborgen volume hemelwater is, wordt er gesproken van een constante lediging. Als het ledigingsdebiet een lineaire functie van het opgeborgen volume hemelwater is, wordt er gesproken van een lineaire lediging. Vaak ligt de ledigingskarakteristiek tussen deze twee in. In de onderstaande tabel worden de nodige buffervolumes weergegeven in functie van het

maximaal ledigingsdebiet en de terugkeerperiode van de overlaat voor een constante en lineaire ledigingsrelatie. [26]

Tabel 18: Nodige buffervolumes in functie van het maximaal ledigingsdebiet en de terugkeerperiode van de overlaat voor een constante en lineaire ledigingsrelatie bij een concentratietijd van 10 minuten [26]

Ledigings - debiet	Terugkeerperiode					
	½ jaar	1 jaar	2 jaar	5 jaar	10 jaar	20 jaar
Lineaire lediging						
50 l/(s.ha)	48 m ³ /ha	78 m ³ /ha	111 m ³ /ha	159 m ³ /ha	198 m ³ /ha	240 m ³ /ha
40 l/(s.ha)	57 m ³ /ha	87 m ³ /ha	121 m ³ /ha	172 m ³ /ha	214 m ³ /ha	259 m ³ /ha
30 l/(s.ha)	69 m ³ /ha	100 m ³ /ha	135 m ³ /ha	188 m ³ /ha	232 m ³ /ha	279 m ³ /ha
25 l/(s.ha)	75 m ³ /ha	107 m ³ /ha	144 m ³ /ha	199 m ³ /ha	244 m ³ /ha	294 m ³ /ha
20 l/(s.ha)	84 m ³ /ha	117 m ³ /ha	155 m ³ /ha	213 m ³ /ha	261 m ³ /ha	313 m ³ /ha
15 l/(s.ha)	96 m ³ /ha	133 m ³ /ha	176 m ³ /ha	242 m ³ /ha	298 m ³ /ha	359 m ³ /ha
10 l/(s.ha)	118 m ³ /ha	159 m ³ /ha	207 m ³ /ha	280 m ³ /ha	342 m ³ /ha	411 m ³ /ha
5 l/(s.ha)	167 m ³ /ha	220 m ³ /ha	281 m ³ /ha	372 m ³ /ha	450 m ³ /ha	534 m ³ /ha
2 l/(s.ha)	259 m ³ /ha	330 m ³ /ha	410 m ³ /ha	526 m ³ /ha	622 m ³ /ha	725 m ³ /ha
1 l/(s.ha)	432 m ³ /ha	547 m ³ /ha	671 m ³ /ha	846 m ³ /ha	988 m ³ /ha	1137 m ³ /ha
Constante lediging						
50 l/(s.ha)	27 m ³ /ha	49 m ³ /ha	75 m ³ /ha	115 m ³ /ha	150 m ³ /ha	188 m ³ /ha
40 l/(s.ha)	35 m ³ /ha	59 m ³ /ha	87 m ³ /ha	130 m ³ /ha	167 m ³ /ha	207 m ³ /ha
30 l/(s.ha)	46 m ³ /ha	71 m ³ /ha	101 m ³ /ha	148 m ³ /ha	188 m ³ /ha	232 m ³ /ha
25 l/(s.ha)	52 m ³ /ha	79 m ³ /ha	111 m ³ /ha	159 m ³ /ha	199 m ³ /ha	244 m ³ /ha
20 l/(s.ha)	60 m ³ /ha	88 m ³ /ha	121 m ³ /ha	171 m ³ /ha	214 m ³ /ha	261 m ³ /ha
15 l/(s.ha)	72 m ³ /ha	103 m ³ /ha	138 m ³ /ha	191 m ³ /ha	236 m ³ /ha	284 m ³ /ha
10 l/(s.ha)	89 m ³ /ha	123 m ³ /ha	162 m ³ /ha	221 m ³ /ha	270 m ³ /ha	324 m ³ /ha
5 l/(s.ha)	124 m ³ /ha	166 m ³ /ha	214 m ³ /ha	285 m ³ /ha	345 m ³ /ha	410 m ³ /ha
2 l/(s.ha)	182 m ³ /ha	236 m ³ /ha	296 m ³ /ha	387 m ³ /ha	464 m ³ /ha	547 m ³ /ha
1 l/(s.ha)	261 m ³ /ha	327 m ³ /ha	398 m ³ /ha	499 m ³ /ha	580 m ³ /ha	665 m ³ /ha

Een andere belangrijke parameter bij een buffervoorziening is de concentratietijd. Dit is de tijd die de verst gevallen hemelwaterdruppel nodig heeft om naar het ontwerp punt te stromen. Het ontwerp punt is de plaats waar het hemelwater uiteindelijk terecht moet komen. Wanneer er buffering bij grote gebieden gaat plaatsvinden en de concentratietijd hoog gaat zijn, moeten de buffervolumes kleiner genomen worden doordat er zich meer afvlakking gaat voordoen tijdens de afstroming naar de voorziening. Hiervoor wordt verwezen naar de “Katern afkoppelen, bufferen en infiltreren”. [26]

Een infiltratievoorziening wordt op een overeenkomstige manier gedimensioneerd als een buffervolume. Dit is dus op basis van twee belangrijke parameters, namelijk het ledigingsdebiet en de terugkeerperiode van de overloop. Dit is in het hoofdstuk van de infiltratievoorzieningen al toegelicht. De formule voor ledigingsdebiet is:

$$Ledigingsdebiet = \frac{\text{infiltratiecapaciteit} \cdot \text{infiltratieoppervlakte}}{\text{afvoerende verharde oppervlakte}} \text{ (m/s)}. [25, 27]$$

11.2 Rekenregels voor het Fluvio-systeem

Om de rekenregels van het Fluvio-systeem op te maken moeten eerst enkele belangrijke zaken toegelicht worden. Zo is het Fluvio-systeem een laag in de opbouw van een bestrating, namelijk de funderingslaag. Het hemelwater zal dus tot in het Fluvio-systeem moeten infiltreren om van hieruit verder de ondergrond in te infiltreren. Dit kan door middel van een waterdoorlatende verharding of een inlaat. Bij een opbouw met verschillende lagen, wat het geval zou zijn bij een waterdoorlatende verharding, zal de laag met de kleinste doorstroomcapaciteit bepalend zijn voor de dimensionering van de infiltratievoorziening.

Bij het opstellen van de rekenregels wordt er van uit gegaan dat de doorstroomcapaciteit van een eventuele doorlatende toplaag groter is als de doorstroomcapaciteit van het Fluvio-systeem. Zo zal het Fluvio-systeem bepalend zijn voor de dimensionering. Tevens gaat er geen rekening gehouden worden met een eventueel buffervolume van de toplaag of andere onderliggende lagen. Het Fluvio-systeem gaat bij het opmaken van de rekenregels gezien worden als een afzonderlijk onafhankelijk systeem.

De lediging van het Fluvio-systeem ondervindt weinig invloed van de hoeveelheid hemelwater dat op dat moment in het systeem is. Bij het Fluvio-systeem zal dus een constante lediging plaatsvinden.

Omdat het Fluvio-systeem gezien wordt als een afzonderlijk, onafhankelijk systeem en er hier geen externe doorvoer in rekening gebracht wordt, is de doorvoercapaciteit gelijk aan de hoeveelheid hemelwater dat infiltreert in de ondergrond. Hierdoor zal de infiltratiecapaciteit gelijk zijn aan de waterdoorlatendheid van de ondergrond waarop het Fluvio-systeem is opgebouwd.

De infiltratieoppervlakte is gelijk aan de oppervlakte van het Fluvio-systeem omdat de volledige onderkant van het Fluvio-systeem als nuttig infiltratieoppervlakte gezien kan worden. Dit komt door het feit dat het hemelwater over de volledige oppervlakte van het Fluvio-systeem in de ondergrond kan dringen. De afvoerende verharde oppervlakte is de totale oppervlakte van de ondergrond waarop het hemelwater valt dat achteraf in het Fluvio-systeem terechtkomt. Dus kan er gesteld worden dat:

- infiltratiecapaciteit= $k_{\text{ondergrond}}$;
- infiltratieoppervlakte= oppervlakte Fluvio-systeem (lengte x breedte);
- Afvoerende verharde oppervlakte= oppervlakte van de volledige verkaveling (lengte x breedte).

De formule is dan:

$$Q = \frac{k_{inf} \cdot O_{inf}}{O_{af}};$$

met:

- Q: ledigingsdebiet [m³/dag x ha];
- k_{inf}: Infiltratiecapaciteit van de ondergrond [m/dag];
- O_{inf}: Infiltratieoppervlakte [m²];
- O_{af}: Afvoerende verharde oppervlakte [ha].

De terugkeerperiode voor de overloop geeft weer om de hoeveel tijd de voorziening niet in staat is om een bepaalde bui te verwerken en de overloop in werking zal moeten treden. Bij het Fluvio-systeem zal deze overloop in werking treden als het maximum buffervolume van het Fluvio-systeem overschreden wordt. Buffervolume Fluvio-systeem:

- Poreus systeem met Type80 => V_{buf}= 91,58 l/m²;
- Niet-poreus systeem met Type80 => V_{buf}= 80 l/m².

De formule voor het bepalen van het beschikbaar buffervolume:

$$Vb = \frac{V_{buf} \cdot O_{in}}{O_{af}}.$$

11.3 Voorbeeldoefening

11.3.1 Opgave

Er wordt gekozen om al het hemelwater dat op een parking valt op te vangen en plaatselijk te laten infiltreren in de ondergrond. In het midden van de parking is er een strook met waterdoorlatende betonstraatstenen voorzien, waarbij de fundering is uitgevoerd met het Fluvio-systeem. De Fluvio-blokken zijn niet poreus en zijn van het Type80. De strook is 80 m lang en 35 m breed. De lengtes van de strook zijn uitgerust met een sleuf waarlangs het hemelwater naar het Fluvio-systeem kan afgevoerd worden. De rest van de verharding van de parking helt af naar de strook toe, zodat al het hemelwater naar deze strook zal stromen. De totale oppervlakte van de parking bedraagt 1,20 ha. De ondergrond is een leemachtig, fijn zand met een infiltratiecapaciteit van 11 mm/h. De grondwaterstand is voldoende laag zodat het hemelwater gemakkelijk kan infiltreren. De lediging gebeurt enkel door infiltratie in de ondergrond. De terugkeerperiode waarbij het systeem mag falen is 5 jaar. Controleer of dit mag.

11.3.2 Oplossing

Infiltratiecapaciteit ondergrond: $k_{\text{grond}} = 11 \text{ mm/h} = 11 \times \frac{24}{1000} = 0,264 \text{ m/dag}$.

Afvoerende verharde oppervlakte: $O_{\text{af}} = 1,2 \text{ ha}$.

Infiltratieoppervlakte: $O_{\text{inf}} = 80 \text{ m} \times 35 \text{ m} = 2800 \text{ m}^2$.

Dit invullen in het ledigingsdebiet:

$$Q = \frac{k_{\text{inf}} \cdot O_{\text{inf}}}{O_{\text{af}}} = \frac{0,264 \cdot 2800}{1,2} = 616 \frac{\text{m}^3}{\text{dag} \cdot \text{ha}} = 7,13 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}}.$$

Uit tabel 18 het nodige buffervolume halen, dan krijg je dit:

Tabel 19: Bepalen van het buffervolume

Ledegingsdebiet	Buffervolume
10 l/(s.ha)	214 m ³ /ha
7,13 l/(s.ha)	X
5 l/(s.ha)	162 m ³ /ha

Het bepalen van X door interpolatie:

$$\frac{10 - 7,13}{10 - 5} = \frac{214 - X}{214 - 162}$$
$$X = 184,152 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}.$$

Beschikbaar buffervolume:

$$V_b = \frac{V_{\text{buf}} \cdot O_{\text{in}}}{O_{\text{af}}};$$

$$V_b = \frac{80 \frac{\text{l}}{\text{m}^2} \cdot 2800 \text{ m}^2}{1,2 \text{ ha}} = 186\,667 \frac{\text{l}}{\text{ha}} = 186,67 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}.$$

Dit ontwerp voldoet, want het beschikbare buffervolume is groter dan het nodige buffervolume.

12 Besluit

Uit dit onderzoek blijkt dat het Fluvio-systeem een zeer goed alternatief is om toe te passen in de onderbouw van bestratingen. Het is eenvoudig op te bouwen en kan gebruikt worden onder allerhande toplagen. Het voornaamste is dat het hemelwater zo snel mogelijk in het systeem terechtkomt. Dit kan via een waterdoorlatende verharding of een externe inlaat.

De functie van het Fluvio-systeem is het hemelwater eerst te bufferen en dan vertraagd te laten infiltreren in de ondergrond. Deze bufferende functie valt weg bij zeer goed doorlatende ondergronden. Hier zal het hemelwater gewoon rechtstreeks door het Fluvio-systeem sijpelen en zo de ondergrond indringen.

Het systeem heeft een groter volume aan holle ruimtes in vergelijking met andere funderingsmaterialen. Dit gegeven zorgt voor een grotere buffercapaciteit, waardoor er de mogelijkheid is om het systeem ook te gebruiken als bufferbekken voor nabijgelegen verharde oppervlakten of daken. Tevens zorgt deze hoge buffercapaciteit er ook voor dat het systeem kan toegepast worden bij minder goed doorlatende ondergronden. Volgens de waterabsorptie proef is de buffercapaciteit van een poreus systeem 11,58 l/m² groter dan een niet-poreus systeem.

De waterdoorlatendheid van de poreuze Fluvio-blokken is voldoende hoog om als waterdoorlatend materiaal gezien te worden. Hierbij moet wel vermeld worden dat er tussen de verschillende proefstukken enorme verschillen zijn. De oorzaak ligt bij het feit dat het productieproces van poreuze betonnen elementen moeilijk te sturen en te controleren is. Ook zal het weinig verschil maken op het gebied van waterdoorlatendheid qua structuur namelijk, of een Fluvio-blok nu poreus of niet-poreus is. Het hemelwater gaat vooral via de voegen en door de open kanalen van de Fluvio-blokken naar de ondergrond worden getransporteerd. De grote meerwaarde van een poreuze Fluvio-blok ligt in het feit dat deze een extra buffercapaciteit kan leveren.

Het resultaat van de doorlatendheidsmeting die werd uitgevoerd door middel van de dubbele ringproef was positief. De oppervlaktedoorlatendheid was zeer goed ondanks dat er een vrij oude en vervuilde verharding werd getest. Er was ook geen sprake van horizontaal transport van water waaruit er zou kunnen afgeleid worden dat de onderlagen niet goed waterdoorlatend zijn. Uit deze bevindingen kan er geconcludeerd worden dat het Fluvio-systeem goed werkt in deze verharding. Hierbij moet wel een kanttekening gemaakt worden dat het slechts gaat over één enkele meting. Ook is het een suggestie om de doorlatendheidsmeting langer uit te voeren, zo zou er gecontroleerd kunnen worden of de doorlatendheid constant blijft.

Tijdens de inspecties van de Fluvio-systemen is er opgemerkt dat deze systemen nog in zeer goede staat zijn. Zo waren er geen gebroken of gebarsten Fluvio-blokken. Ook was er weinig slibafzetting of ander niet gewenst materiaal terug te vinden in het Fluvio-

systeem. De waterabsorptie en waterdoorlatendheidsproeven op de gebruikte Fluvio-blokken gaven ook zeer goede resultaten.

Uit al deze voorgaande bevindingen kan opgemaakt worden dat het systeem wel degelijk zijn werk doet en het weinig van zijn functionaliteit verliest in de tijd, waardoor er eigenlijk geen onderhoud nodig is. Hierbij moet wel vermeld worden dat het Fluvio-systeem nog maar een negental jaren bestaat en het hierdoor moeilijk is om echt uitsluitend over de duurzaamheid van het systeem te geven.

Ook zou het mogelijk moeten zijn het systeem toe te passen voor bestratingen met weg categorie II. Dit zou in een verdere studie onderzocht kunnen worden.

Literatuurlijst

- [1] Artston, website, [Online]. Available: <http://artstone.be/> , [Geopend op 10 oktober].
- [2] A. Beeldens- L. Donne- L. Vijvermans, Febestral-OCW, “Waterdoorlatende bestrating: hoe te dimensioneren ? ,” [Online]. Available: <http://www.abr-bwv.be/sites/default/files/II.29..pdf>, [Geopend op 7 februari 2017].
- [3] A. Beeldens, OCW, presentatie: “De technische uitwerking van infiltratie en buffering,” [Online]. Available: http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user_files/beeldens_paves_drainants.pdf , [Geopend 19 december 2017].
- [4] E. Boonen, OCW, presentatie: “Waterdoorlatende bestratingen: een ecologische en duurzame verharding binnen het integraal waterbeleid,” [Online]. Available: http://www.vvsg.be/Omgeving/Water/Documents/CC%20d2553%20WDB_studiedagVVSG_22-10-2013_OCW.pdf , [Geopend 4 mei 2017].
- [5] Bovin-beton, productfolder, [Online]. Available: <http://www.bovin-beton.be/nl/producten.php?prodid=5> , [geopend op 3 mei 2017].
- [6] T. Delvaux en T. Vansaet, “Studie naar de duurzaamheid van poreuze betonbuizen,” doks.xios.be , Xios, 2008. [Online]. Available: <http://doks.xios.be/doks/do/record/Get;jsessionid=512EBE34BD15D7A6BC49732F89DC8CE1?dispatch=view&recordId=Sxhl8ae57e8c1d2a17f3011daaca2a1a0025>, [Geopend op 30 mei 2017].
- [7] Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse Overheid, “infiltratiewaaier” [Online]. Available: <http://infiltratiewaaier.waterbewustbouwen.be/home/static>, [Geopend op 10 mei 2017].
- [8] Febastral, “Waterdoorlatende verharding met betonstraatstenen,” [Online]. Available: <http://www.febe.be/frontend/files/userfiles/files/Andere%20Publicaties/publication-techniques/Waterdoorlatende%20bestratingen.pdf> , [Geopend 8 november 2016].
- [9] Febelcem, “Duurzaam beton door de beheersing van de waterabsorptie,” november 2009, [Online]. Available: http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-2008/nl/T2-Nl-duurzaam-beton-waterabsorptie.pdf , [Geopend 4 januari 2017].

- [10] Infrastore, productfolder, [Online]. Available: <https://www.infrastore.nl/producten/kunststof-grastegels>, [Geopend op 13 februari 2017].
- [11] Integraal waterbeleid, “Technisch achtergronddocument bij de gewestelijke stedenbouwkundige verordening hemelwater,” september 2016 versie 4, [Online]. Available: <http://www.integraalwaterbeleid.be/nl/publicaties/afbeeldingen/Technisch%20document%20GSV%202014%20versie%202.pdf/view> , [Geopend 11 mei 2017].
- [12] O beton, productfolder, [Online]. Available: <http://www.obeton.be/index.cfm?Id=45>, [Geopend op 3 mei 2017].
- [13] OCW, “Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen,” [Online]. Available: <http://www.stradusinfra.be/pdf/documentatie/handleiding-ocw.pdf>, [Geopend op 20 oktober 2016].
- [14] OCW, “Waterdoorlatende verharding met betonstraatstenen,” [Online]. Available: <http://www.stradusinfra.be/pdf/documentatie/ocw-dossier-5-waterdoorlatende-bestratingen-nl.pdf> , [Geopend 3 februari 2017].
- [15] Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten, “Technische voorschriften Waterdoorlatende bestratingen Systeem-, product- en plaatsingseisen,” versie 1.0, 30/11/2010, [Online]. Available: <http://www.copro.eu/en/document/ptv-827-10-waterdoorlatende-bestratingen-systeem-product-en-plaatsingseisen> , [Geopend 15 mei 2017].
- [16] Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten, “Technische voorschriften Geotextiel en aan geotextiel verwante producten,” , versie 3.1, 08/12/2010, [Online]. Available: <http://www.copro.eu/nl/document/ptv-829-31-geotextiel-en-aan-geotextiel-verwante-producten>, [Geopend 15 mei 2017].
- [17] Probeton, “Technische voorschriften waterdoorlatende betonstraatstenen en tegels,” PTV122, uitgave 3, 2009, [Online]. Available: http://www.probeton.be/uploads/docs/DOC_NL/PTV/TV%20122_Uitgave%203.pdf , [Geopend 17 mei 2017].
- [18] Standaardbestek 250, Hoofdstuk 5, [Online]. Available: <https://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/standaardbestek-250-voor-de-wegenbouw-versie-3-1> , [Geopend 10 mei 2017].

- [19] R. Steensels- B. Vandoren, “ Rapport: Vormoptimalisatie van waterbergende betonstraatstenen,” universiteit Hasselt, Diepenbeek.
- [20] Stradus Infra N.V., productfolder, [Online]. Available: <https://www.wegenbouw.be/bedrijven/428869/producten-item/61742791/stradus-infra-n-v/grasbetontegels-grastegels-en-grasplaten/> , [Geopend op 13 februari 2017].
- [21] Stradus Infra N.V., productfolder, [Online]. Available: <https://www.wegenbouw.be/bedrijven/428869/producten-item/81503016/stradus-infra-n-v/waterdoorlatende-stenen-betonstraatstenen-betonklinkers-bkk/> , [Geopend op 13 februari 2017].
- [22] Tandemweb, “Water infiltreren? Zeker proberen! Handleiding voor de afkoppeling van hemelwater van de riolering,” [Online]. Available: http://www.tandemweb.be/docs/158.Bijlage_handleiding_infiltratie.pdf, [Geopend op 10 oktober 2016].
- [23] Trablo, productfolder, [Online]. Available: <http://www.trablo.com/nl/productdetail/2/2/1/28/26/91/48/1778/Infra-Nederland-Bestrating-Waterdoorlatende-bestrating-Waterdoorlatende-steen-Piove-Piove-Zwart-20x10x10-Piove-Piove-20x10x10-zwart.aspx>, [Geopend op 13 februari 2017].
- [24] P. Van helden, “ Onderzoek naar de waterdoorlatendheid van bestratingen in functie van de tijd,” U Hasselt, 2014, [Online]. Available: <https://uhdspace.uhasselt.be/dspace/handle/1942/17457>, [Geopend 8 november 2017]
- [25] Vlaamse milieumaatschappij, “Waterwegwijzer bouwen en verbouwen,” [Online]. Available: <https://www.vmm.be/publicaties/waterwegwijzer-bouwen-en-verbouwen>, [Geopend op 10 oktober 2016].
- [26] Vlario, “Katern afkoppelen bufferen en infiltreren,” [Online]. Available: <http://www.wegwijzerduurzaam bouwen.be/pdf/172.pdf>, [Geopend op 4 maart 2017].
- [27] Vlario, “Code van goede praktijk aanleg voor ondergronds infiltratievoorzieningen,” [19 april 2017 per mail aangekregen van Marino Moons], nog niet gepubliceerd.
- [28] Wavin, Productfolder, [Online]. Available: <http://nl.wavin.com/web/projecten/wegen-en-bruggen/toon-wegen-en-bruggen->

[projecten/infiltratiekratten-ingenieus-ventilatiesysteem-stroomkabels.htm](#),
[Geopend op 3 mei 2017].

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Onderzoek naar de functionaliteit en de duurzaamheid van het Fluvio infiltratie- en buffersysteem

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**
Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Hermans, Pieter

Datum: **6/06/2017**