

2015•2016  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: bouwkunde*

## Masterproef

Duurzaamheid van poreuze betonbuizen als infiltratievoorziening

Promotor :  
ir. Carlo BOLLEN

Promotor :  
Dhr. BART HENDRIKX

Copromotor :  
ing. JOHAN NYSEN

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

Dries Hendrix , Kevin Wathion

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

2015•2016  
Faculteit Industriële  
ingenieurswetenschappen  
*master in de industriële wetenschappen: bouwkunde*

## Masterproef

Duurzaamheid van poreuze betonbuizen als  
infiltratievoorziening

Promotor :  
ir. Carlo BOLLEN

Promotor :  
Dhr. BART HENDRIKX

Copromotor :  
ing. JOHAN NYSEN

Dries Hendrix , Kevin Wathion

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

## **Woord vooraf**

In de eerste plaats zouden we graag onze promotoren, ir. Carlo Bollen en ing. Bart Hendrikx, willen bedanken. Zij hebben ons goed op weg geholpen en regelmatig kunnen inspireren om tot nieuwe ideeën te komen. Daarnaast willen we Johan Nysen en Tony Scherpenbergh van Infrac danken voor hun hulp. Johan hielp bij de opvolging van de proeven en stuurde bij waar nodig. Tony stond in voor de planning van iedere reiniging en inspectie.

Wij zijn in het kader van deze masterproef ontvangen op twee bedrijven, namelijk De Hamer en Bovin beton. Daarom willen we graag Léon de Bruijn van betonbedrijf De Hamer bedanken voor de rondleiding in hun firma in Nijmegen. Hij leerde ons de Nederlandse visie rond infiltratiebuizen kennen en hij gaf ons een korte toelichting over de functieherstellende reiniging in het naburig gelegen bedrijf: Van der Velden rioleringsbeheer. Frank Bijnens van Bovin beton zijn we ook erg dankbaar voor het demonstreren van het productieproces van een buis. Hij maakte het voor ons ook mogelijk om enkele proeven uit te voeren op hun bedrijf in Kortenaken.

Verder willen we ir. Johan Horckmans, directeur van Probeton, bedanken. Hij gaf ons een korte toelichting over de geschiedenis en de aanpassingen in de verschillende uitgaves van de norm.

Ten slotte zouden we graag binnen de faculteit industriële ingenieurswetenschappen onze dank willen betuigen aan dr. Ing. Bram Vandoren. Tijdens de lessen van het vak masterproefseminarie werden door hem de correcte richtlijnen omtrent het schrijven van een scriptie toegelicht.



# Inhoudsopgave

<b>Woord vooraf</b> .....	<b>i</b>
<b>Inhoudsopgave</b> .....	<b>iii</b>
<b>Lijst van Tabellen</b> .....	<b>v</b>
<b>Lijst van figuren</b> .....	<b>vii</b>
<b>Verklarende woordenlijst</b> .....	<b>ix</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>xii</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Infiltratievoorzieningen</b> .....	<b>15</b>
2.1 Poreuze betonstraatsteen .....	15
2.2 Infiltratieput .....	16
2.3 Infiltratiekolk .....	16
2.4 Permeoblok .....	17
2.5 Infiltratiebuis .....	17
<b>3 Geschiedenis van de PTV 104</b> .....	<b>19</b>
3.1 Eerste uitgave 1994.....	19
3.2 Uitgave 1 –Add. 1 2001 .....	20
3.3 2de uitgave 2004 .....	20
3.4 3de uitgave 2011 .....	20
3.5 4de uitgave 2015 .....	20
<b>4 Productieproces</b> .....	<b>21</b>
<b>5 Keuring van de buizen</b> .....	<b>25</b>
5.1 Infiltratieproef.....	25
5.2 Verbrijzelingsproef .....	27
<b>6 Reinigingen</b> .....	<b>29</b>
<b>7 Camera-inspectie</b> .....	<b>31</b>
<b>8 Infiltratieproef met extra drukhoogte</b> .....	<b>33</b>
8.1 Debietmeting van de pomp.....	33
8.2 Infiltratieproef op kort deel .....	34
8.3 Infiltratieproef op volledige streng .....	37
8.3.1 <i>Formule cirkelsegment in functie van de waterhoogte</i> .....	39
8.4 Resultaten .....	40
8.4.1 <i>Infiltratieproef op kort gedeelte van de streng</i> .....	40
8.4.2 <i>Infiltratieproef op volledige streng</i> .....	43
8.5 Vergelijking tussen de twee proeven.....	45
<b>9 Infiltratieproef voor en na reiniging</b> .....	<b>51</b>
9.1 Infiltratieproef voor reiniging .....	51
9.1.1 <i>Proefopstelling</i> .....	51
9.1.2 <i>Resultaten</i> .....	54

9.2	Reiniging.....	58
9.3	Infiltratieproef na reiniging .....	60
9.3.1	<i>Resultaten</i> .....	60
9.4	Vergelijking van de proeven .....	65
9.5	Infiltratieproef na reiniging met verminderde verzadiging .....	67
9.5.1	<i>Resultaten</i> .....	67
<b>10</b>	<b>Reinigingsproef onder hoge druk .....</b>	<b>69</b>
10.1	Doel .....	69
10.2	Proefopstelling .....	69
10.3	Metingen .....	70
10.4	Resultaten .....	71
<b>11</b>	<b>Berekening van de regenwaterafvoer.....</b>	<b>73</b>
11.1	Ontwerpneerslag .....	73
11.2	Type berekening .....	73
<b>12</b>	<b>Berekening poreuze betonbuizen .....</b>	<b>75</b>
12.1	Systeem buis – wand.....	75
12.2	Systeem wand – sleuf.....	77
12.3	Systeem sleuf-ondergrond.....	78
12.4	Controle buffervolume .....	79
<b>13</b>	<b>Voorbeeldberekening .....</b>	<b>81</b>
13.1	Systeem buis – wand.....	81
13.2	Systeem wand – sleuf.....	83
13.3	Systeem sleuf – ondergrond .....	83
<b>14</b>	<b>Besluit.....</b>	<b>85</b>
<b>15</b>	<b>Literatuurlijst .....</b>	<b>87</b>
<b>16</b>	<b>Bijlagen .....</b>	<b>89</b>
	Bijlage A: Metingen infiltratieproef en verbrijzelingsproef .....	89
	Bijlage B: Reinigingswagen reinigingsproef onder hoge druk .....	96
	Bijlage C: Opbouw van ronde inspectieput .....	97
	Bijlage D: Opbouw vierkant infiltratieputten .....	98

## Lijst van Tabellen

Tabel 1: Waterinfiltratie per meter nuttige lengte van de buis .....	19
Tabel 2: Minimale breuksterkte .....	19
Tabel 3: Berekende k-waardes.....	27
Tabel 4: Resultaten verbrijzelingsproef.....	28
Tabel 5: Overzicht waardes meting met extra drukhoogte op korte streng .....	41
Tabel 6: Overzicht waardes bij meting met extra drukhoogte op volledige streng .....	44
Tabel 7: Overzicht infiltratievolume per infiltrerend oppervlak.....	47
Tabel 8: Berekende Waterhoogtes.....	55
Tabel 9: Infiltratiesnelheid voor reiniging.....	57
Tabel 10: Berekende waterhoogtes na reiniging.....	61
Tabel 11: Infiltratiesnelheid op realistische meting na reiniging .....	64
Tabel 12: Nodige buffervolumes in functie van het maximaal doorvoerdebiet en de terugkeerperiode van de overlaat voor een constante en lineaire doorvoerrelatie bij een concentratietijd van 10 minuten [Vaes & Berlamont, 2004] [1] .....	82





## Lijst van figuren

Figuur 1: Gemengde riolering [1] .....	13
Figuur 2: Gescheiden stelsel [1] .....	14
Figuur 3: Principiële werking van poreuze betonstraatsteen [2] .....	16
Figuur 4: Infiltratieput [2] .....	16
Figuur 5: Permeoblok [3] .....	17
Figuur 6: Infiltratiebuis .....	17
Figuur 7: Buisdoorsnede .....	21
Figuur 8: Mal van poreuze betonbuis .....	22
Figuur 9: Ontkisting van de poreuze betonbuis .....	22
Figuur 10: Stockageplaats van de buizen .....	23
Figuur 11: Proefopstelling infiltratieproef .....	25
Figuur 12: Debietmeter .....	26
Figuur 13: Testopstelling voor drukproef [11] .....	27
Figuur 14: Krachtenverdeling bij drukproef [11] .....	28
Figuur 15: Combiwagen .....	29
Figuur 16: Reinigingskop voor functieherstellend reinigen .....	30
Figuur 17: Inspectiecamera .....	31
Figuur 18: Beeld in de buis van camera-inspectie .....	32
Figuur 19: Proefopstelling debietmeting pomp .....	33
Figuur 20: Rioolafsluiter .....	34
Figuur 21: Opstelling meetbaak .....	35
Figuur 22: Proefopstelling meting met extra drukhoogte op gedeelte van de streng .....	36
Figuur 23: Proefopstelling meting met extra drukhoogte op volledige streng ....	38
Figuur 24: Berekening cirkelsegment in functie van waterhoogte .....	39
Figuur 25: Waterhoogte bij meting met extra drukhoogte op korte streng .....	41
Figuur 26: Infiltratiesnelheid bij meting met extra drukhoogte op korte streng .	43
Figuur 27: Waterhoogte bij meting met extra drukhoogte op volledige streng ...	44
Figuur 28: Infiltratiesnelheid bij meting met extra drukhoogte op volledige streng .....	45
Figuur 29: Vergelijking waterhoogtes bij meting met extra drukhoogte op korte en volledige streng .....	46
Figuur 30: Vergelijking infiltratiesnelheid per infiltrerend oppervlak bij meting met extra drukhoogte op korte en volledige streng .....	47
Figuur 31: Infiltratiewijze bij korte en lange streng .....	49
Figuur 32: Proefopstelling infiltratieproef in Bree .....	52
Figuur 33: Proefopstelling infiltratieproef voor en na reiniging .....	53
Figuur 34: Waterhoogtes bij meting voor reiniging .....	56
Figuur 35: Infiltratiesnelheid bij meting voor reiniging .....	58
Figuur 36: Reinigingsopstelling .....	59
Figuur 37: Reinigingskop .....	59
Figuur 38: Waterhoogte bij meting na reiniging .....	62
Figuur 39: Aangepaste waterhoogte bij meting na reiniging .....	63
Figuur 40: Infiltratiesnelheid bij meting na reiniging .....	64

Figuur 41: Vergelijking waterhoogte bij meting voor en na reiniging .....	65
Figuur 42: Vergelijking infiltratiesnelheid bij meting voor en na reiniging .....	66
Figuur 43: Waterhoogte voor en na reiniging (zonder verzadiging) .....	67
Figuur 44: Infiltratiesnelheid in functie van de tijd .....	68
Figuur 45: Bevestiging ijzernet .....	69
Figuur 46: Proefopstelling hogedrukmeting .....	70
Figuur 47: Combiwagen hogedrukreiniging .....	70
Figuur 48: IDF-relaties (Ukkel, 1967-1993) voor terugkeerperiode van 2, 5, 10 en 20 jaar [1] .....	73
Figuur 49: Schema ontwerpberekening [1] .....	74
Figuur 50: Schema nazichtsberekening [1] .....	74
Figuur 51: Theoretisch model [15] .....	75

## **Verklarende woordenlijst**

RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
Infiltratie	Water dat van de buis in de grond dringt
Drainage	Water dat van de grond in de buis terechtkomt
Buffering	Opslag van regenwater
Mof	Aansluiting aan de brede kant van de buis
Spie	Aansluiting aan de smalle kant van de buis
RWA	Regenwaterafvoer
DWA	Droogweerafvoer
IRHD	International Rubber Hardness Degrees
Slokker	Straatkolk voor afvoer van het regenwater naar de riool
Kruin	Bovenkant van de binnenzijde van de buis
Vloei	Onderkant van de binnenzijde van de buis
Slikhuid	Betonresten afkomstig van het ontkisten
Drukhoogte	Druk die wordt opgebouwd door toenemende waterhoogte



## **Abstract**

De laatste tien jaren worden er in Vlaanderen poreuze betonbuizen gelegd die dienen als regenwaterleiding. Sinds de aanleg is er zeer weinig gekend over de werkelijke functionaliteit en de duurzaamheid van deze buizen. Deze masterproef gaat verder in op onder meer de vermindering van de infiltratiecapaciteit, en hoe deze gerecupereerd kan worden door reiniging. Verder wordt er gekeken of deze reiniging de duurzaamheid van de buis niet in het gedrang brengt.

Allereerst worden er camera-inspecties uitgevoerd op gedateerde poreuze betonbuizen om mogelijke schade in kaart te brengen. Vervolgens wordt er een gedeelte van een streng afgesloten van het rioolstelsel zodat er een specifieke meting van de infiltratiecapaciteit kan plaatsvinden. Deze meting wordt na een professionele reiniging herhaald om de recupereerbaarheid van de infiltratiecapaciteit te na te gaan. Ten slotte wordt er een hogedrukreinigingsproef uitgevoerd om de weerstand van de buis tegen hogere waterdrukken te controleren.

Uit de beelden van de camera-inspecties kan afgeleid worden dat er na verloop van tijd geen schade optreedt. Uit de infiltratieproeven blijkt dat de werking van de buis nog steeds gegarandeerd kan worden. Reinigingen zijn in staat om de infiltratiecapaciteit te verbeteren maar deze zijn tien jaar na aanleg nog niet noodzakelijk. De hogedrukreinigingsproef toont aan dat een reiniging de staat van de buis niet beïnvloedt, en dat de buis zelfs bestand is tegen drukken tot dubbel zo hoog als deze overeenkomstig met de norm.

## **Abstract in English**

Over the last decade, numerous porous concrete pipes, of which the purpose is rainwater drainage, have been placed in Flanders. Currently, very little is known about the functionality and the durability of these pipes. As such, this master's thesis thoroughly analyses the reduction of infiltration capacity and how said capacity can be recovered through cleaning. Furthermore, this thesis also aims to clarify whether cleaning affects the sustainability of the pipe.

Firstly, camera inspections are carried out on outdated porous concrete pipes to identify possible damage. Afterwards, a part of the sewer system is closed off, which allows the infiltration capacity to be measured correctly. This measurement is repeated after a professional cleaning to visualize the recoverability of the infiltration capacity. Lastly, a high-pressure cleaning test is carried out to check the resistance of the pipe to higher levels of water pressure.

From the recorded images of the camera inspections can be inferred that, over time, no damage has occurred. The infiltration tests show that the functionality of the pipes can still be ensured. Cleanings can improve the infiltration capacity, but they have yet to become necessary, even ten years after placement. The high-pressure cleaning test shows that cleaning does not affect the condition of the pipe, and that pipes are even resistant to pressures up to twice as big as those in accordance with the standard.

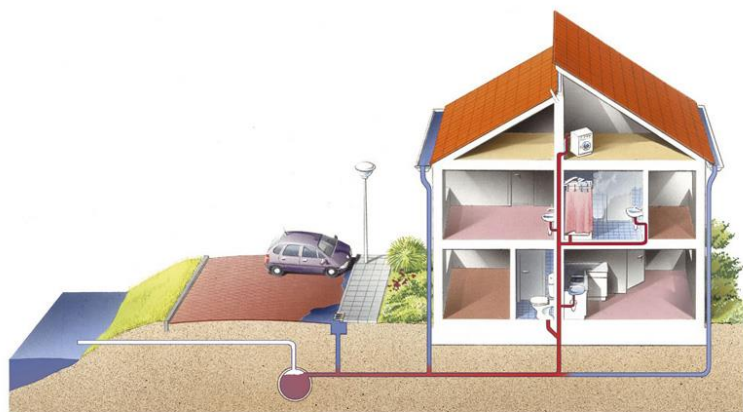
# 1 Inleiding

Vroeger werd er gebruik gemaakt van het zogenaamde 'gemengde rioleringsstelsel'. Met dit type stelsel wordt al het water afgevoerd naar de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI). Deze krijgen vervolgens veel te veel water te verwerken en ook is het vuil water dermate verdund dat een goede werking van de zuiveringsinstallaties niet gegarandeerd kan worden. Door het direct afvoeren van grote hoeveelheden water ontstaat er stroomafwaarts bijkomende wateroverlast door de hoeveelheid water die er aankomt en niet op tijd weggeraakt. Er is dus noodzaak aan een goede reglementering rond het hemelwater.

Hemelwater is een verzamelnaam voor regen, sneeuw en hagel met dooiwater meegerekend. Indien er een gescheiden rioleringsstelsel aanwezig is kan het hemelwater, afkomstig van dakvlakken en grondvlakken, naar het RWA-stelsel afgevoerd worden. Indien andere afvoerwijzen mogelijk zijn dienen deze toegepast te worden. Hieronder wordt de geprefereerde volgorde van prioriteit in afnemende rang weergegeven:

- opvang voor hergebruik;
- infiltratie op eigen terrein;
- buffering met vertraagd lozen in een oppervlaktewater of een kunstmatige afvoerweg voor hemelwater;
- lozing in de regenwaterafvoerleiding in de straat.

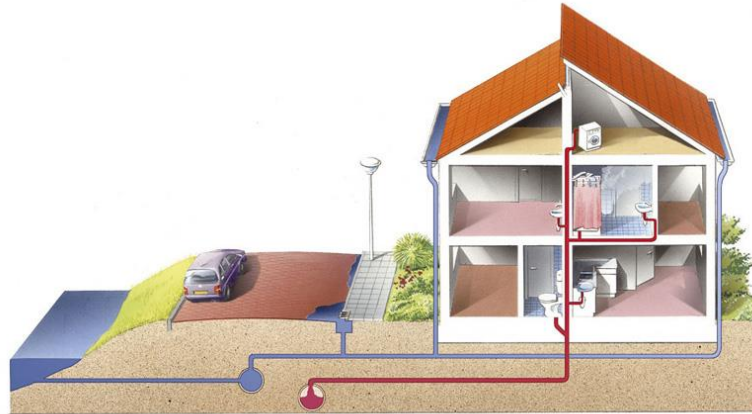
Enkel indien er geen enkel van bovengenoemde afvoerwijzen mogelijk zijn mag het hemelwater worden geloosd in de openbare riolering. Een voorbeeld van de gemengde riolering is terug te vinden in onderstaande figuur. [1]



**Figuur 1: Gemengde riolering [2]**

De laatste jaren wordt er meer en meer geïnvesteerd in de zogenaamde 'gescheiden stelsels'. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een regenwaterafvoer en een droogweerafvoer (RWA en DWA). Vervolgens kan het

regenwater afgevoerd worden naar bekken en het vuil water kan afgevoerd worden naar de RWZI's. Hierbij komt er minder water toe in de zuiveringsstations en is dit water ook minder verdund met een betere zuivering tot gevolg.



**Figuur 2: Gescheiden stelsel [2]**

Er gebeurt bij dit systeem echter nog te veel onnodige afvoer van regenwater waardoor er elders wateroverlast optreedt. Dit probleem moet aan de bron zelf aangepakt worden. Het regenwater moet zoveel mogelijk ter plaatse blijven om daarna vertraagd afgevoerd te worden. De ideale oplossing bestaat er uit om het regenwater plaatselijk te infiltreren. Op deze manier wordt de mogelijkheid op bodemverdroging ook teniet gedaan. Door de toenemende verstedelijking en toename in verharde oppervlakte trekt er steeds minder water plaatselijk in de grond. Hierdoor zal ook het grondwaterpeil dalen. Dit probleem kan opgelost worden door gebruik te maken van poreuze betonbuizen. Deze zullen het regenwater opvangen voor buffering en het daarna plaatselijk terug laten infiltreren.

Om een goede werking van de poreuze betonbuis te kunnen garanderen, moet deze geplaatst worden op plaatsen waar de grond infiltratie toelaat. Zandgronden zijn ideaal voor deze toepassing. Dit is ook één van de redenen waarom deze buis veel toegepast wordt in Noord-Limburg. Ook is het belangrijk dat de buizen boven het grondwaterpeil liggen. Indien de buizen in het grondwater liggen, zullen deze werken als drainagebuizen en zal er een permanente grondwaterverlaging gebeuren.

Over de duurzaamheid van de buizen is tot nu toe zeer weinig bekend. Er is in 2008 door Tim Vansaet en Tom Delvaux proefondervindelijk onderzoek gedaan naar poreus beton. Meer specifiek naar de doorlatendheid, de invloed van zandinfiltratie en het dichtslibben van de wanden. Uit de resultaten van dit eindwerk is gebleken dat het aangewezen is om een praktisch onderzoek op te starten naar de werkelijke functionaliteit van een buis. Op dit ogenblik kan de werking en toestand van de leidingen aan de hand van infiltratieproeven en inspecties geanalyseerd worden.



## 2 Infiltratievoorzieningen

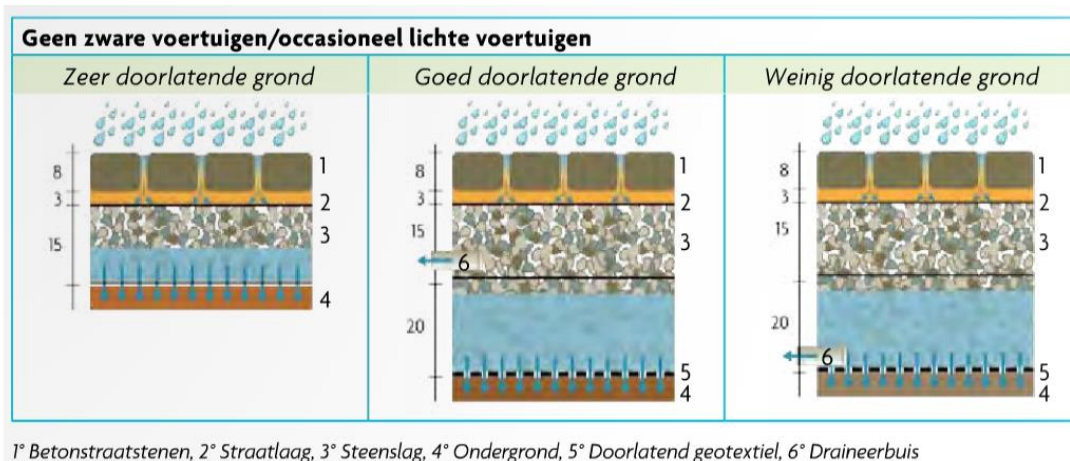
Alle infiltratievoorzieningen kunnen opgedeeld worden in drie grote klassen die verschillen in de manier waarop het water naar de bodem wordt gebracht:

- Oppervlakte-infiltratie: het hemelwater dat op de straten belandt wordt afgevoerd naar de zijkant waar zich een grasstrook of gracht bevindt.
  
- Doorlatende verharding: hier zal het hemelwater door de perforaties of poriën van de verharding sijpelen naar de fundering die dienst doet als berging. Vanuit de fundering kan het water langzaam in de grond infiltreren. Enkele voorbeelden van deze soort infiltratievoorziening zijn:
  - o waterdoorlatende materialen zoals houtspaanders of dolomietverharding;
  - o grastegels;
  - o waterdoorlatende verharding;
  - o permeoblok.
  
- Ondergrondse infiltratie: het hemelwater komt via een leiding in een ondergrondse infiltratievoorziening en kan dan via de onderkant of zijkanten in de ondergrond infiltreren. Enkele voorbeelden hiervan zijn:
  - o infiltratieput;
  - o infiltratiekolk;
  - o infiltratiebuis.

In wat volgt worden de infiltratievoorzieningen die uit poreus beton verwezenlijkt kunnen worden één voor één beschreven. [1]

### 2.1 Poreuze betonstraatsteen

Poreuze betonstraatstenen hebben een speciale korrelstructuur waardoor een zekere porositeit verkregen wordt. Water dat op de verharding terechtkomt, zal door de poriën van de straatsteen via de fundering naar de onderfundering sijpelen. Deze onderfundering dient als buffer zolang het water nog niet in de ondergrond geïnfiltrerd is. Bij een weinig doorlatende ondergrond wordt er een knijpleiding voorzien om het water vertraagd af te voeren naar een nabijgelegen bufferbekken. Hieronder wordt de opbouw weergegeven in functie van de waterdoorlatendheid van de ondergrond.



**Figuur 3: Principiële werking van poreuze betonstraatsteen [3]**

## 2.2 Infiltratieput

Een infiltratieput is een verticale put met waterdoorlatende wanden. Bij een lage grondwaterstand zal het water via de bodem en de zijkanten infiltreren. De bodem zal vrij vlug aanslibben waarna het grootste gedeelte via de wand infiltreert. Indien een groot deel van de put is aangeslibd kan de infiltratiecapaciteit van de put na een slibuiming volledig gerecupereerd worden. Op de foto is een infiltratieput te zien uit geperforeerde beton, maar deze kan ook verwezenlijkt worden uit poreuze beton.



**Figuur 4: Infiltratieput [4]**

## 2.3 Infiltratiekolk

De infiltratiekolk is ook een element dat verticaal is opgesteld. De onderbak bestaat uit een poreuze betonbuis en wordt omhuld met een geotextiel. Het verschil met de infiltratieput is dat de kolk ook nog dienst doet als buffer. Voor

een goede werking dient deze infiltratievoorziening regelmatig gereinigd te worden. [3]

## 2.4 Permeoblok

In het Nederlands betonbedrijf De Hamer wordt sinds kort de permeoblok geproduceerd. Deze infiltratievoorziening is ontwikkeld voor situaties waarin de grondwaterstand erg hoog ligt. Het water dringt door de poriën van de blok en kan zo infiltreren. De permeoblok heeft buiten een infiltrerende, ook een bufferende en afvoerende werking. Het is mogelijk om dit systeem aan te sluiten op een andere infiltratievoorziening. [5]



**Figuur 5: Permeoblok [5]**

## 2.5 Infiltratiebuis

Een andere horizontale infiltratievoorziening verwezenlijkt uit poreus beton is de infiltratiebuis. Deze buis is ontworpen om het regenwater te laten infiltreren, te bufferen en af te voeren indien nodig. De mogelijkheid bestaat dat er slib van de straat in de riolering spoelt wat kan veroorzaken dat de poriën verstopt raken. Dit probleem kan eenvoudig worden opgelost door de buis te reinigen, waarna de buis zijn oorspronkelijke functionaliteit bijna volledig terugwint. [3]



**Figuur 6: Infiltratiebuis**

Het is deze laatste infiltratievoorziening die in deze masterproef volledig onderzocht, geanalyseerd en geëvalueerd zal worden.



### 3 Geschiedenis van de PTV 104

#### 3.1 Eerste uitgave 1994

Met het oog op de standaardisatie van de technische voorschriften en het bekomen van een BENOR-certificatie van de geperforeerde buizen werd de eerste PTV 104 opgesteld in 1994. In de eerste versie van de PTV 104 zijn de benodigde debieten per meter nuttige lengte van de buis opgesteld en dit per diameter van buis. Een voorbeeld hiervan is te vinden in onderstaande tabel.

Fabrikagemaat binnendiameter	Debiet
$D_i$ (mm)	$Q$ (l/s per m lengte)
150	$7 \leq Q \leq 12$
200	$9 \leq Q \leq 16$
300	$14 \leq Q \leq 24$
400	$19 \leq Q \leq 31$
500	$24 \leq Q \leq 39$

Tabel 1: Waterinfiltratie per meter nuttige lengte van de buis

Ook de breuksterktes van de betreffende buizen werden vastgelegd in deze versie. De minimale breuksterktes zijn terug te vinden in onderstaande tabel.

Fabrikagemaat binnendiameter	Minimale breuksterkte
$D_i$ (mm)	$P_r$ (kN/m)
150	20
200	23
300	27
400	32
500	38

Tabel 2: Minimale breuksterkte

Uitgaande van de geperforeerde buizen moesten de perforaties een diameter hebben tussen 10 mm en 12 mm, welke regelmatig verdeeld moeten zijn over de omtrek van de buis. De totale oppervlakte aan perforaties per lopende meter buis bedraagt minstens 20 cm<sup>2</sup>. De perforaties worden verspreid over 1/3 of 2/3 van de omtrek van de buis.

Ook wordt er in deze versie beschreven hoe de infiltratieproef moet uitgevoerd worden. De buis wordt horizontaal opgesteld in een reservoir. Het reservoir is voorzien van een stalen plaat met daarin een opening passend op de te testen buis. De buis wordt geplaatst tegen de plaat en de voegen tussen de buis en de plaat worden afgedicht alsook de andere opening van de buis. Op deze manier kan de infiltratie enkel tot stand komen doorheen de wand van de buis.

Vervolgens wordt de pompinstallatie zodanig ingesteld dat het waterniveau zich stabiliseert op 300 mm boven de as van de buis. Het water moet zich minstens 30 seconden op dit stabiel niveau bevinden waarna het debiet kan afgelezen worden. Door dit debiet te delen door de lengte van het poreuze gedeelte van de

buis wordt uiteindelijk het debiet per meter nuttige lengte van de buis bekomen. Dit debiet moet vervolgens voldoen aan de waardes opgenomen in tabel 1. [6]

### 3.2 Uitgave 1 –Add. 1 2001

De perforaties worden aangepast naar ronde gaten met een diameter die mag variëren tussen 10 en 15 mm. De totale oppervlakte aan perforaties blijft behouden op 20 cm<sup>2</sup>. De zone waarover de perforaties verspreid worden moet zich bevinden tussen 1/3 en 1/2 van de omtrek van de buis. Ook moeten de perforaties minimaal verdeeld zijn over drie rijen in de langsrichting van de buis. [7]

### 3.3 2de uitgave 2004

In tegenstelling tot de vorige uitgave, wordt in de 2<sup>de</sup> uitgave bepaald dat de infiltratieproef moet gebeuren op een verticaal geplaatste buis. Verder wordt in deze uitgave niet enkel rekening gehouden met de geperforeerde betonbuis, maar ook met de poreuze betonbuis. De buis wordt verticaal opgesteld met de spie naar beneden. Er wordt gedurende minstens 20 min water in de buis gepompt zodat er zich een stabiele waterhoogte creëert die minstens één meter bedraagt. Vervolgens kan het debiet gemeten worden en hieruit kan de waterdoorlatendheidscoëfficiënt bepaald worden. De coëfficiënt moet minimaal  $2,5 \times 10^{-4}$  m/s bedragen. De waarde werd vastgelegd op basis van de voormalige geperforeerde buizen. [8]

### 3.4 3de uitgave 2011

Door het fabricageproces heeft de buis geen vaste wanddikte. Bij de berekening van de waterdoorlatendheidscoëfficiënt wordt vanaf deze versie rekening gehouden met de variërende wanddikte. Bij de infiltratieproef wordt er gekozen voor de minimale waterhoogte die gelijk is aan de som van het niet poreuze gedeelte van de spie en de originele waterhoogte van één meter. [9]

### 3.5 4de uitgave 2015

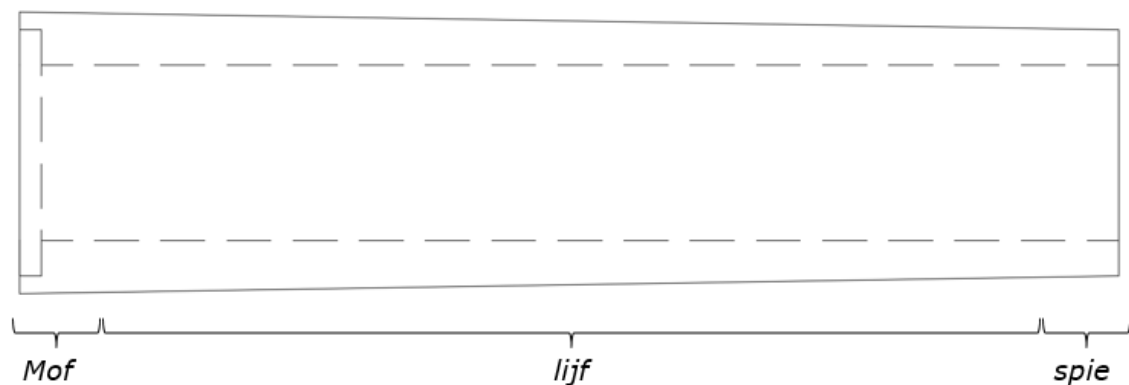
De buizen worden rechtopstaand geproduceerd, hierdoor zullen de mof en de spie anders verdicht zijn en zal bijgevolg de waterdoorlatendheid van de mof- en spie-kant van elkaar verschillen. Meer uitleg over de mof en de spie kan teruggevonden worden in hoofdstuk 4. Vanaf deze versie is het dus verplicht om de beproeving twee keer uit te voeren. In de eerste proef wordt de buis getest met de spie onderaan en in de tweede proef wordt de buis getest met de mof onderaan. Ook is er in de praktijk gebleken dat de minimale waterhoogte van één meter niet altijd realiseerbaar is, zeker voor buizen met diameter 800 mm. Hiervoor wordt een alternatieve proef voorgesteld waarbij deze vaste waterhoogte niet bereikt moet worden en waarbij de bekomen waterhoogte omgerekend kan worden. [10]

## 4 Productieproces

Het gebruik van poreus beton als infiltratievoorziening is in België nog maar pas aan het opkomen. Er zijn dan ook slechts twee Belgische fabrikanten, namelijk Bovin Beton en Stradus. In Nederland worden de poreuze buizen al wat langer gebruikt. Eén van de Nederlandse fabrikanten is betonbedrijf De Hamer waar we ook voor een rondleiding zijn uitgenodigd.

De poreuze betonbuis bestaat uit drie delen:

- De mof
- Het lijf
- De spie



Figuur 7: Buisdoorsnede

Bij het plaatsen van buizen worden de mof en de spie van twee buizen over elkaar geschoven. Deze verbindingen zijn de minst stabiele punten van de buis, waar de grootste krachten op komen. Daarom worden de mof en de spie in normaal beton vervaardigd. Het lijf van de buis is vervaardigd uit poreus beton. De buis is conisch opgebouwd en de wanddikte neemt af van mof naar spie. Dit wordt gedaan zodat het ontkisten van de buis vlotter verloopt.

De samenstelling van het poreus beton verschilt met deze van het gewone beton. De productietechniek echter blijft hetzelfde. Bij de samenstelling van poreus beton worden er minder kleine fracties (zand) gebruikt om een open structuur te bekomen. Ook wordt er gebruikgemaakt van granulaten met een grotere korreldiameter. Bij het realiseren van de buis wordt het beton minder verdicht (minder trillen) zodat er een open structuur wordt behouden. Om voldoende sterkte en een goede samenhang te garanderen wordt het cementgehalte bij poreuze buizen verhoogd.

De poreuze betonbuis wordt net zoals de ongewapende buis rechtopstaand geproduceerd. In de vloer is een mal voorzien die wordt volgestort met beton, zie Figuur 8.



**Figuur 8: Mal van poreuze betonbuis**

Tijdens het storten maakt de mal een trilbeweging wat zorgt voor een goede verdichting. Het poreus beton wordt minder hard getrild dan het normaal beton om een voldoende grote porositeit te bekomen. Om te voldoen aan de gevraagde sterkteklasse worden in België poreuze betonbuizen geproduceerd met een buiswand die dikker is als deze van ongewapende betonbuizen.

Na het trillen wordt het beton nog een laatste keer aangeduwd en wordt de buis naar boven geschoven. Buizen worden spievormig ontworpen waardoor de ontkisting moeiteloos kan verlopen, zie Figuur 9.



**Figuur 9: Ontkisting van de poreuze betonbuis**

Na het ontkisten worden de buizen naar een plaats gebracht waar ze 28 dagen verticaal kunnen uitharden, zie Figuur 10. Ten slotte worden ze buiten horizontaal gestockeerd en zijn ze klaar voor gebruik. Na 7 dagen uithardingstijd worden enkele buizen geselecteerd om kwaliteitsproeven op uit te voeren. In het volgende hoofdstuk worden deze proeven verder toegelicht.





**Figuur 10: Stockageplaats van de buizen**



## 5 Keuring van de buizen

### 5.1 Infiltratieproef

Deze proef wordt uitgevoerd ter controle van de waterdoorlatendheid van de buis. Zoals in de norm beschreven moet er één periodieke keuring gebeuren per 500 geproduceerde elementen van elke diameter.

De buis wordt verticaal opgesteld met de spie aan de onderkant. De buis wordt geplaatst op een rubberen mat zodanig dat er aan de onderkant geen water kan lekken. Vervolgens wordt er langs onder water in de buis gepompt aan een bepaald debiet, zie Figuur 11.



**Figuur 11: Proefopstelling infiltratieproef**

Het debiet wordt continu bijgesteld tot er zich een stationair wateroppervlak vormt waarin de waterhoogte constant is. Er wordt gedurende minstens 20 minuten gepompt. Volgens de norm PTV 104 bedraagt deze hoogte minstens één meter boven het niet-poreuze gedeelte van de spie. Indien deze hoogte niet behaald kan worden, dient er een aangepaste berekening uitgevoerd te worden. Eens deze constante waterstand bereikt wordt kan men het debiet aflezen op de debietmeter welke zichtbaar is op Figuur 12.



**Figuur 12: Debietmeter**

Vervolgens kunnen ze aan de hand van deze waarde de waterdoorlatendheid berekenen indien de wanddikte, de waterstand en de diameter van de buis gekend zijn. Hiervoor wordt onderstaande formule gebruikt, deze werd vastgelegd in de norm PTV 104.

$$k = \frac{Q}{\omega \pi D} * \left( \int_0^{H-h_s} \frac{h}{t(h)} dh \right)^{-1}$$

Met :

k =	Waterdoorlatendheidscoëfficiënt in m/s
$\omega$ =	De fractie van de omtrek van de buis die uit poreus beton is vervaardigd.
Q =	Gemiddelde van 3 metingen van het stationair debiet in m <sup>3</sup> /s
D =	Diameter van het element in m
H =	Stationaire waterhoogte in het element in m
H <sub>s</sub> =	Lengte van het niet-poreuze deel van het spie-einde van het element in m
H =	Waterdiepte vanaf het stationair wateroppervlak in m
T(h) =	Variabele wanddikte van het element in m in functie van de waterdiepte (h).

De proef wordt drie keer uitgevoerd waaruit vervolgens een gemiddeld debiet berekend wordt. De waterdoorlatendheidscoëfficiënt moet een minimale waarde van  $2,5 * 10^{-4} \frac{m}{s}$  hebben, eveneens overeenkomstig met de norm PTV 104.

In samenwerking met een fabrikant van de poreuze betonbuizen hebben we infiltratieproeven uitgevoerd op de geproduceerde buizen. De bekomen resultaten zijn terug te vinden in onderstaande tabel. Voor de gedetailleerde resultaten wordt doorverwezen naar bijlag A.

Berekende waterdoorlatendheidscoëfficiënt (m/s)
0,000932
0,001540
0,000886
0,000599
0,000620

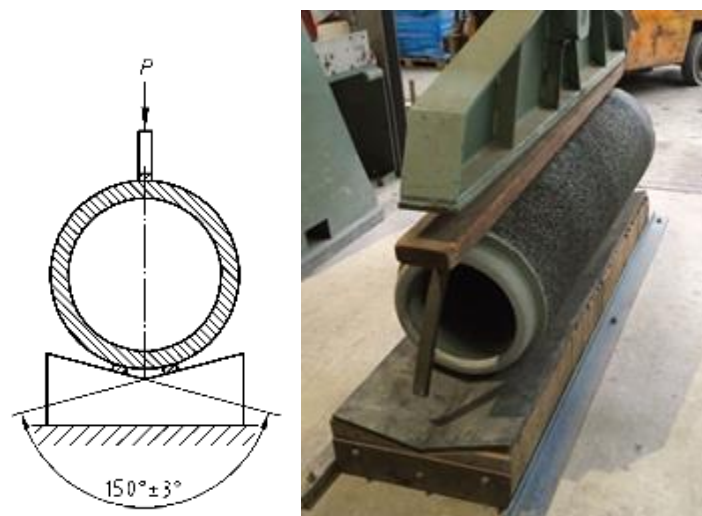
**Tabel 3: Berekende k-waardes**

Uit bovenstaande resultaten kunnen we besluiten dat alle buizen voldoen en dat de waterdoorlatendheidscoëfficiënt zelfs een factor twee tot drie keer groter is dan de eis van 0,00025 m/s bepaald in de PTV 104. Uit de berekende waardes kunnen we dus ook besluiten indien er 50 procent van de poriën is dichtgeslibd de buis nog altijd zal voldoen aan de minimale waarde van de waterdoorlatendheidscoëfficiënt. [9]

## 5.2 Verbrijzelingsproef

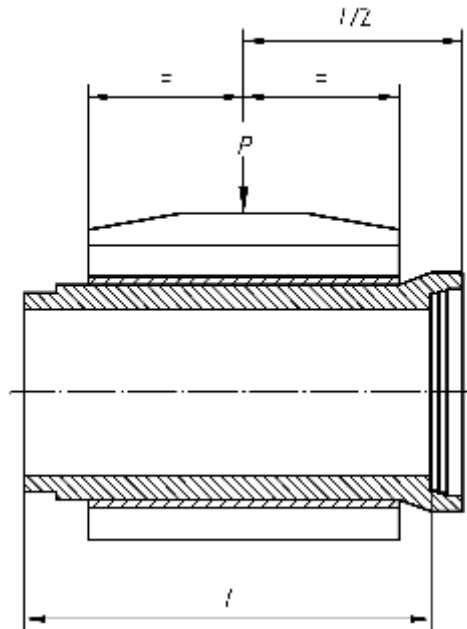
In deze proef wordt de draagkracht van de buis gecontroleerd zodat de productie mag vrijgegeven worden. Ook hier moet er één periodieke keuring gebeuren per 500 geproduceerde elementen van elke diameter.

De buis wordt in de testmachine gepositioneerd zoals aangegeven in Figuur 13. De drager van de buis zal in een V-vorm gevormd zijn met een ingesloten hoek van ( $\beta$ )  $150^\circ \pm 3^\circ$ . Het elastomeer materiaal van de dragers moet een gemiddelde hardheid van 50 IRHD  $\pm$  5 IRHD met een dikte van 20 mm  $\pm$  5mm hebben. Dit elastomeer materiaal zal zorgen voor een goede krachtverdeling zodanig dat er geen piekbelastingen optreden die een vertekend beeld op de werkelijke druksterkte geven. De maximale breedte van het bovenste elastomeer materiaal bedraagt 50 mm voor buizen met een diameter kleiner dan 400 mm. Voor buizen vanaf diameter 400 mm bedraagt deze maximale breedte 100 mm.



**Figuur 13: Testopstelling voor drukproef [11]**

Het zwaartepunt van de belasting wordt uitgeoefend op een afstand van  $l/2$  van de buitenzijde van de mof, zie Figuur 14. De kracht wordt aangebracht en zal systematisch toenemen aan een snelheid die gelegen is tussen 20kN/m en 25 kN/m. De kracht wordt opgevoerd tot er breuk optreedt. We spreken dus van een destructieve proefmethode.



**Figuur 14: Krachtenverdeling bij drukproef [11]**

Zoals beschreven in de norm PTV 104 moeten de buizen van diameter 400 mm voldoen aan sterkteklasse 80 waarin er moet voldaan worden aan een minimale verbrijzelingslast  $F_n$  van 32 kN/m. In samenwerking met de fabrikant worden deze proeven uitgevoerd op de buizen. De bekomen resultaten zijn terug te vinden in onderstaande tabel. De gedetailleerde resultaten zijn terug te vinden in bijlage A. [11]

Verbrijzelingsbelasting (kN/m)
97,68
89,98
98,69
101,26
104,35
91,56

**Tabel 4: Resultaten verbrijzelingsproef**

Uit bovenstaande resultaten kunnen we besluiten dat alle buizen voldoen en dat de verbrijzelingslast zelfs een factor twee tot drie keer groter is dan de eis bepaald in de PTV 104.

## 6 Reinigingen

Een probleem dat zich na een bepaalde tijd kan voordoen bij de poreuze betonbuizen is het dichtslibben van de poriën. Slib dat afkomstig is van de weg spoelt de riolering in en kan verstoppingen veroorzaken. Als poriën verstopt geraken kan er minder water infiltreren hetgeen een negatieve invloed heeft op de functionaliteit van de buis. Door een reiniging kan het grootste deel van de infiltratiecapaciteit van de buis gerecupereerd worden.

Om een riolering te reinigen wordt er gebruik gemaakt van een combiwagen, zie Figuur 15. Dit is een vrachtwagen die dienst doet als hogedrukwagen en als zuigwagen. De vrachtwagen beschikt over een spoelwatertank en een slibtank. Het reinigingsmechanisme bestaat uit een dunne en een dikke darm. Aan de dunne darm is een rioolrat bevestigd, deze wordt in het riool gelaten en spuit water tegen de binnenwand van de buis onder een druk van 100 bar. Boven de rioolopening wordt de dikke darm naar beneden gelaten in de inspectieput, deze zuigt al het vuil water op en verzamelt deze in de slibtank van de vrachtwagen. Dit vuil water wordt in de vrachtwagen gefilterd en in de spoelwatertank verzameld. Het water uit deze tank wordt op zijn beurt opnieuw gebruikt om via de dunne darm de riolering verder te reinigen. Als de rioolrat terug tot bij de vrachtwagen is gehaald schuift de vrachtwagen één of twee inspectieputten op en laat hij de darmen terug in de riolering om het volgende gedeelte te reinigen.



**Figuur 15: Combiwagen**

Indien deze reinigingsmethode gebruikt wordt bij een traditionele betonbuis kan er met zekerheid gezegd worden dat er zich geen slib meer in de buis bevindt. Bij poreuze betonbuizen kunnen er nog slibresten in de poriën achterblijven. In Nederland is er precies om die reden een tweede reinigingsmethode ontwikkeld, speciaal voor de poreuze betonbuis. Voor het functieherstellend reinigen is door Van der Velden rioleringsbeheer een speciale reinigingskop ontwikkeld, zie Figuur 16. De spuitkop bestaat uit vier roterende nozzles die onder verschillende hoeken geplaatst zijn. Op die manier wordt er bij gelijkblijvende druk een vacuüm achter

de spuitkop gecreëerd. Dit vacuüm zuigt het slib uit de poriën en zorgt ervoor dat de laatste resten vuil worden opgezogen. [12]



**Figuur 16: Reinigingskop voor functieherstellend reinigen**

Eens de reinigingen zijn uitgevoerd en het slib uit de buis is verwijderd krijgt men de mogelijkheid tot het uitvoeren van een inspectie. Hiervoor wordt verwezen naar het volgende hoofdstuk.



## 7 Camera-inspectie

Indien er zich problemen voordoen in het rioleringsstelsel is het niet altijd evident om de oorzaak hiervan te achterhalen. Daarom wordt er meestal geopteerd voor het uitvoeren van een camera-inspectie.

Bij een inspectie wordt er een klein wagentje via de put in de te inspecteren buis gelaten, zie Figuur 17. Op het wagentje bevindt zich een bestuurbare camera. De wagen rijdt door de buis en maakt beelden die onmiddellijk verzonden worden naar de besturingsruimte in de bestelwagen. Van hieruit worden het wagentje en de camera bestuurd. De buis wordt gecontroleerd op eventuele barsten en er wordt nagegaan of iedere huisaansluiting nog in orde is.



**Figuur 17: Inspectiecamera**

In deze masterproef wordt er onderzoek gedaan naar de duurzaamheid van een poreuze betonbuis. Om de huidige staat van zo een buis te evalueren kunnen we beroep doen op een camera-inspectie. In de Sportlaan in Dilsen-Stokkem liggen poreuze betonbuizen die 10 jaar geleden geplaatst zijn. Op Figuur 18 is een beeld te zien dat door de camera in de buis wordt opgenomen. De toestand van de buis is goed en er is geen sprake van schade. Ook bevindt er zich geen zand in de buizen. Dit betekent dat er geen zand van de ondergrond door de poriën van de buis naar binnen is gedrongen. De mogelijkheid op omgekeerde zandinfiltratie kan hiermee dus uitgesloten worden.



**Figuur 18: Beeld in de buis van camera-inspectie**

## 8 Infiltratieproef met extra drukhoogte

Om een idee te krijgen van de infiltratiecapaciteit van poreuze betonbuizen in een bestaand rioleringsstelsel hebben we een methode voor de uitvoering van een infiltratieproef bedacht. De eerste proef wordt uitgevoerd in de Sint-Jansweg in Dilsen-Stokkem. Deze plaats is specifiek gekozen voor de gunstige ligging van het regenwaterstelsel. Zo bevindt de meest afwaartse inspectieput zich op nagenoeg 50 meter van een zijtak van het kanaal de Zuid-Willemsvaart. Ook bevindt de gekozen streng zich in een doodlopende straat zodat de proeven kunnen uitgevoerd worden zonder verkeershinder. Tevens is er gezocht naar een relatief korte streng met een beperkte diameter van 400 mm. Dit rioleringsstelsel dateert van het bouwjaar 2014. Er wordt gekozen voor de meest afwaarts gelegen inspectieput omdat hier het water naartoe zal vloeien en hier dus ook de grootste vervuiling zal optreden.

Om de poreuze betonleiding volledig volgepompt te krijgen, is er een pomp nodig die het noodzakelijke debiet kan realiseren. Er is gekozen voor een Hidrostal pomp, type Betsy 100 GG, welke door Infracx beschikbaar wordt gesteld. Deze pomp beschikt echter niet over een debietmeter, welke essentieel is voor de bepaling van het volume water dat in de buis wordt gepompt.

### 8.1 Debietmeting van de pomp

Het debiet van de pomp wordt op voorhand via een aparte proef bepaald. De proefopstelling is zichtbaar in onderstaande figuur.



Figuur 19: Proefopstelling debietmeting pomp

De pomp pompt water van het kanaal in een kunststof vat van 1000 liter. Hierbij wordt de tijd gemeten die nodig is om het vat te vullen. Het vat wordt gevuld op een tijd van 55 seconden. Met deze gegevens kan het debiet bepaald worden met behulp van onderstaande formule.

$$\text{Debiet} \left( \frac{\text{liter}}{\text{seconde}} \right) = \frac{\text{volume van het vat (liter)}}{\text{benodigde tijd (seconde)}} = \frac{1000 \text{ (l)}}{55 \text{ (s)}} = 18,2 \text{ l/s}$$

Aan de hand van bovenstaande berekening wordt een debiet van 18,2 liter per seconde bekomen. Met dit debiet kan er verder gerekend worden in volgende proeven.

## 8.2 Infiltratieproef op kort deel

De eerste infiltratieproef wordt uitgevoerd op een kort gedeelte van het stelsel dat op voorhand dient afgesloten te worden. Het afsluiten gebeurt met een ballon die dienst doet als rioolafsluiter, zie Figuur 20. De ballon wordt zo ver mogelijk in de buis geschoven waarna deze opgepompt wordt tot een druk van 3 bar. De afstand van de zijwand van de put tot de ballon bedraagt 3,63 meter. Ter hoogte van de aansluiting aan de put bevindt zich een ongewapende buis van 1,01 meter, welke niet poreus is. De effectieve lengte van het infiltrerende gedeelte bedraagt dus 2,62 meter.



**Figuur 20: Rioolafsluiter**

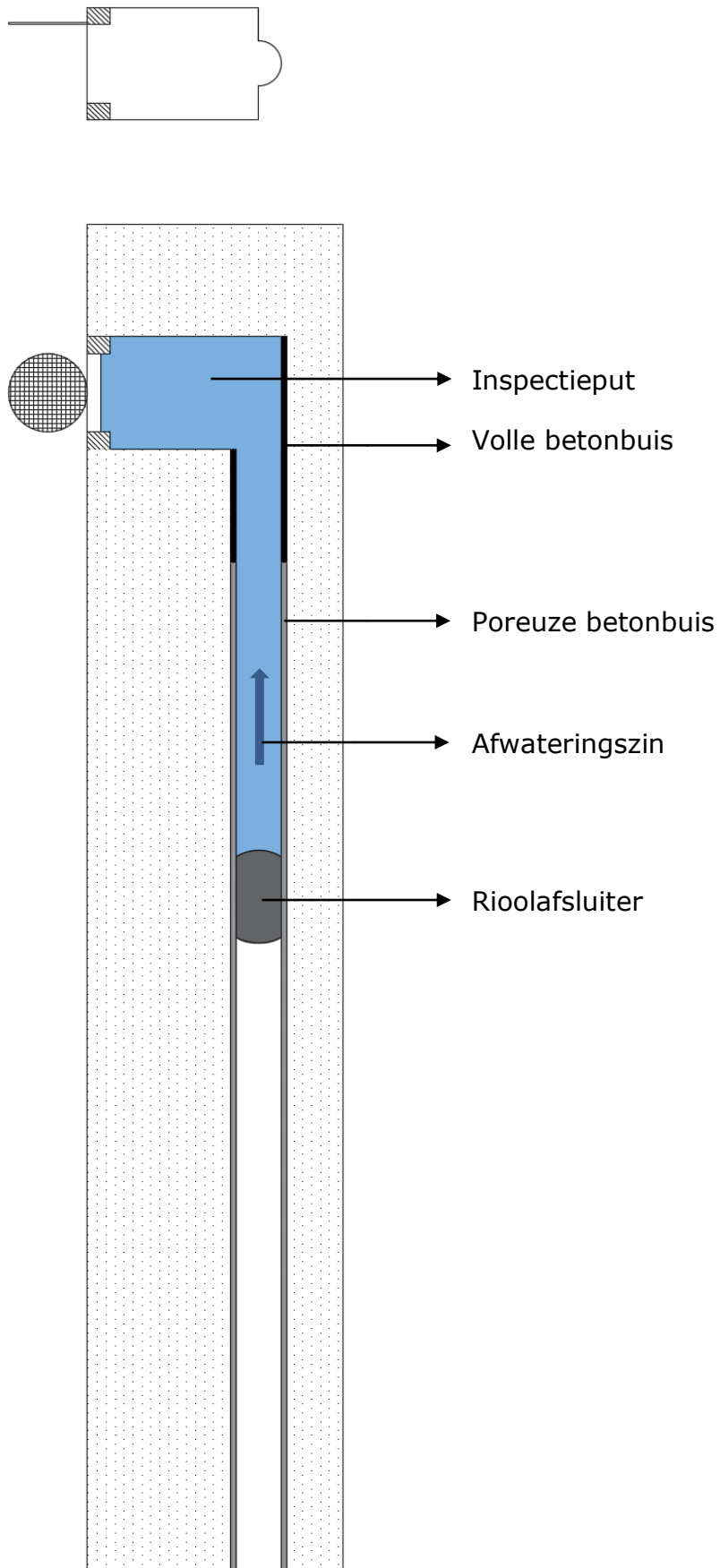
De pomp wordt opgesteld langs het kanaal, zodat er gebruik gemaakt wordt van 10 meter aanzuigleiding welke geplaatst wordt in het kanaal en een persleiding van 75 meter welke verbonden is met de inspectieput. Op het moment dat de pomp wordt ingeschakeld wordt de tijd opgenomen om te weten welk volume water in de buis is gepompt. De pomp wordt pas afgezet als er een waterhoogte van 1,40 meter in de inspectieput bereikt wordt. De waterhoogte wordt gemeten ten opzichte van de bodem, ook gekend als vloeï, van de buis met behulp van een meetbaak, zie Figuur 21. Eens deze waterhoogte bereikt is wordt de tijd gemeten voor elke 10 centimeter dat het water zakt. Aan de hand van de gemeten tijd kan er bepaald worden welke hoeveelheden water er infiltreren per tijdseenheid.



**Figuur 21: Opstelling meetbaak**

Op Figuur 22 is een dwars- en langsprofiel van de proefopstelling weergegeven. Hierop is te zien dat de poreuze buis, in grijze kleur, door een ballon wordt afgesloten. De zwarte buis die op de inspectieput is aangesloten is verwezenlijkt uit niet-doorlatende ongewapende beton. De put wordt bijna tot boven gevuld waarna de proef van start gaat.

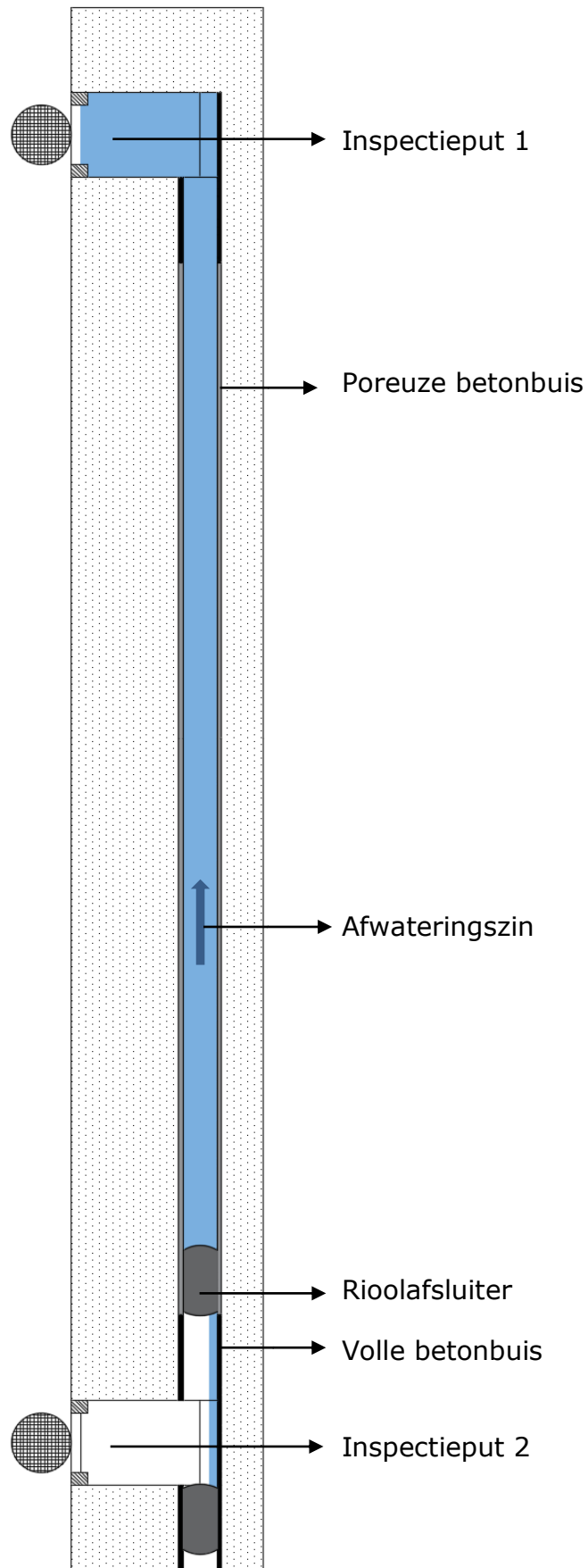
Op deze proef zit echter wel een kleine foutmarge. De rioolafsluiter bevindt zich namelijk aan de binnenkant van een *poreuze* betonbuis. Dit wil zeggen dat de buis niet helemaal wordt afgesloten aangezien het water zich door de poriën van de buiswand ook naar de ruimte achter de ballon kan verplaatsen. Om de grootteorde van deze fout te achterhalen zal er een tweede proef uitgevoerd worden. Na afloop van deze proef kan de fout in beide testen weggewerkt worden om zo een correct resultaat te verkrijgen.



**Figuur 22: Proefopstelling meting met extra drukhoogte op gedeelte van de streng**

### 8.3 Infiltratieproef op volledige streng

In de tweede proef wordt de ballon geplaatst vanuit de eerstvolgende inspectieput. De ballon wordt stroomafwaarts geplaatst, net voorbij de scheiding tussen een ongewapende en een poreuze betonbuis. Op deze manier zal het verliesvolume aan water nog steeds overvloeien naar de ruimte achter de ballon, maar heeft van hieruit niet de kans om te infiltreren omdat deze ruimte verwezenlijkt is in volle ongewapende beton. Stroomopwaarts wordt een tweede ballon geplaatst, net op de plaats waar de buis aan de inspectieput verbonden is. Zo wordt er in de tweede inspectieput een ruimte tussen de twee ballonnen afgesloten waarin het verliesvolume aan water tijdens de proef gemeten kan worden. Op Figuur 23 wordt het langsprofiel van de infiltratieproef op de volledige streng weergegeven.



**Figuur 23: Proefopstelling meting met extra drukhoogte op volledige streng**

Voor de rest wordt de proef op dezelfde wijze herhaald door de waterstanden te meten vanuit de eerste inspectieput. Vanuit de tweede inspectieput worden de



waterstanden gemeten om het verliesvolume te bepalen. Aangezien deze waterstanden gelegen zijn onder de kruin van de buis zal er een formule moeten worden opgesteld om deze hoogtes te herrekenen naar volumes. Eens het verliesvolume gekend is kan dus ook het werkelijk geïnfiltreerd volume voor beide proeven bepaald worden.

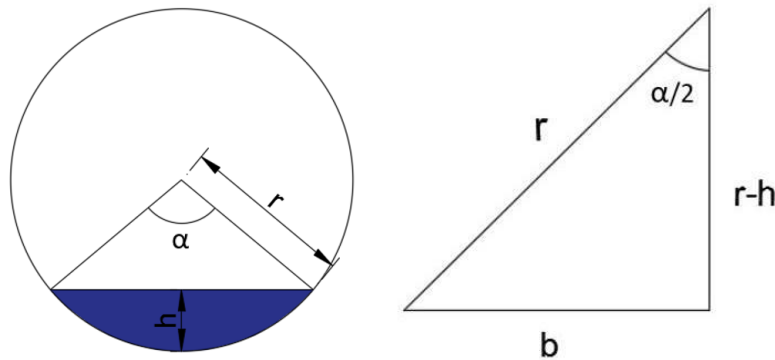
### 8.3.1 Formule cirkelsegment in functie van de waterhoogte

De oppervlakte van de cirkel is gegeven door volgende formule:

$$A_{cirkel} = \pi * r^2$$

Hieruit kunnen we de oppervlakte voor de cirkelsector afleiden:

$$A_{cirkelsector} = \frac{\alpha}{2 * \pi} * A_{cirkel} = \frac{\alpha}{2 * \pi} * \pi * r^2 = \frac{\alpha * r^2}{2}$$



**Figuur 24: Berekening cirkelsegment in functie van waterhoogte**

De oppervlakte van de driehoek in de cirkel is gegeven door:

$$A_{driehoek} = b * (r - h)$$

Waarin de breedte berekend kan worden met behulp van de stelling van Pythagoras:

$$b = \sqrt{r^2 - (r - h)^2}$$

Dus bekomen we voor de oppervlakte van de driehoek:

$$A_{driehoek} = (r - h) * \sqrt{r^2 - (r - h)^2}$$

De oppervlakte van het cirkelsegment bekomen we vervolgens door het verschil te nemen tussen de oppervlakte van de cirkelsector en deze van de driehoek:

$$A_{cirkelsegment} = A_{cirkelsector} - A_{driehoek} = \frac{\alpha * \pi * r^2}{2} - (r - h) * \sqrt{r^2 - (r - h)^2}$$

Omdat de waterhoogte is gemeten in de proeven wordt  $\alpha$  in bovenstaande formule omgezet in functie van de straal en de waterhoogte.

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{r-h}{r}$$

Hieruit volgt:

$$\alpha = 2 * \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right)$$

Vervolgens bekomen we de oppervlakte van het cirkelsegment in functie van de waterhoogte en de straal van de cirkel.

$$A_{cirkelsegment} = \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) * r^2 - (r-h) * \sqrt{r^2 - (r-h)^2}$$

Indien we deze oppervlakte vermenigvuldigen met de lengte van de buis waarin het water zich bevond kunnen we het verliesvolume bepalen. Aangezien er bij het starten van de tweede proef nog enkele centimeters water van de eerste proef in de buis stond moet dit volume van het totale volume uit de meting in de tweede inspectieput worden afgetrokken.

## 8.4 Resultaten

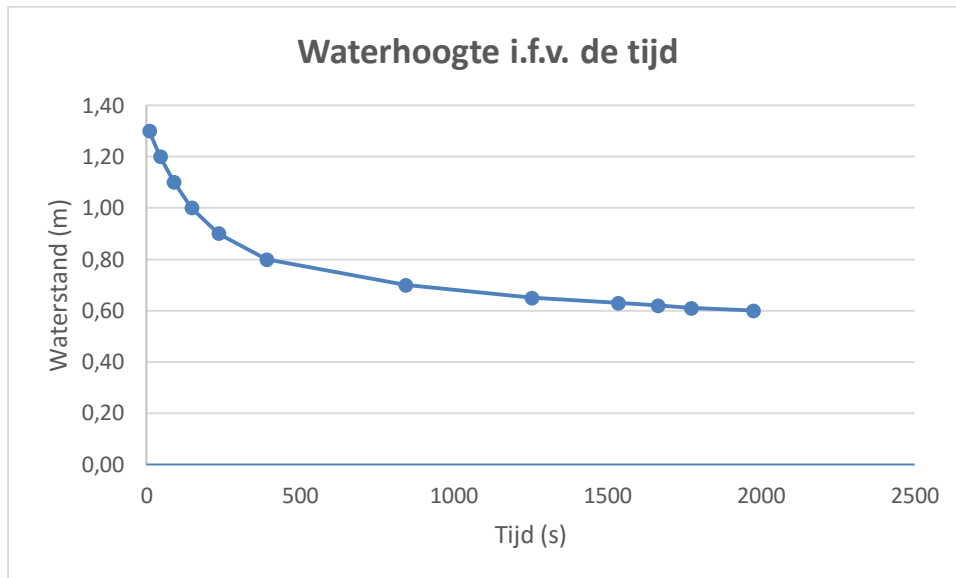
### 8.4.1 Infiltratieproef op kort gedeelte van de streng

Het water uit het kanaal wordt in de inspectieput gepompt tot een hoogte van 1,40 meter boven de vloeï van de buis. Bij het bereiken van deze waterhoogte wordt de pomp uitgeschakeld en de tijd gemeten op verschillende waterstanden. De daling van de waterstand in functie van de tijd wordt weergegeven in Tabel 5 Figuur 25.

Tijd (s)	Waterhoogte (m)	Aanwezig volume (m <sup>3</sup> )	Geïnfilteerd volume (m <sup>3</sup> )	Infiltratiesnelheid (l/s)
0	1,4	1,649	0	4,328
9	1,3	1,619	0,030	3,311
45	1,2	1,519	0,130	2,778
90	1,1	1,419	0,230	2,222
147	1	1,319	0,330	1,754
234	0,9	1,219	0,430	1,149
391	0,8	1,119	0,530	0,637
843	0,7	1,019	0,630	0,221
1255	0,65	0,969	0,680	0,121
1535	0,63	0,949	0,700	0,071
1664	0,62	0,939	0,710	0,078
1773	0,61	0,929	0,720	0,092
1976	0,6	0,919	0,730	0,049

**Tabel 5: Overzicht waardes meting met extra drukhoogte op korte streng**

Bij deze tabel moet echter vermeld worden dat de infiltratieproef gestart wordt op een waterhoogte van 1,40 meter, wat overeenkomt met een tijd van nul seconden.



**Figuur 25: Waterhoogte bij meting met extra drukhoogte op korte streng**

Belangrijk om te weten is dat de vierkantvormige sectie van deze inspectieput constant blijft tussen een hoogte van 130 en 40 centimeter boven de vloei van de buis, zie bijlage D. Dit betekent dat het volume van het geïnfilterd water rechtevenredig afneemt met de dalende waterstand.

Op de grafiek is duidelijk te zien dat de waterhoogte in het begin van de proef vrij snel zakt en dat dit niveau steeds trager daalt naarmate de proef vordert. Dit kan verklaard worden aan de hand van de hydrostatische druk en de verzadiging van de ondergrond.

De hydrostatische druk is de druk die een statische vloeistof uitoefent op een bepaalde waterhoogte. De formule van deze druk, ook gekend als de wet van Pascal, wordt hieronder weergegeven. [13]

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Met

- $\rho$  de massadichtheid van water ( $1000 \frac{kg}{m^3}$ )
- $g$  de valversnelling ( $9,81 \frac{m}{s^2}$ )
- $h$  de hoogte van het water

Deze formule toont aan dat er bij een hogere waterstand een grotere druk gecreëerd wordt. Concreet wilt dit zeggen dat er door de druk meer water zal infiltreren als het water in de put hoog staat. Naarmate het waterpeil zakt zal

ook de druk verkleinen waardoor het water meer moeite heeft om door de poriën te dringen. Hierdoor zal de infiltratiesnelheid afnemen naarmate het waterniveau in de put zakt.

De verzadiging van de ondergrond heeft op zijn beurt ook een grote invloed op de daling van de infiltratiesnelheid. Het regenwater infiltreert vrij gemakkelijk in een droge grond aangezien deze nog niet verzadigd is en nog een goede bufferende werking heeft. Vanaf het moment dat de grond verzadigd begint te geraken, met andere woorden wanneer de poriën van de ondergrond zich vullen met water, zal er minder water kunnen infiltreren waardoor de infiltratiesnelheid zal dalen.

Voor de start van de proef werd er gedurende 119 seconden, aan een debiet van 18,2 l/s, een volume kanaalwater van 2,164 m<sup>3</sup> in de put gepompt. Aangezien de waterstand van 1,40 meter overeenkomt met een aanwezig volume van 1,649 m<sup>3</sup> kunnen we het volume water bepalen wat tijdens het pompen al geïnfiltreerd is.

$$\text{reeds geïnfiltreerd volume} = \text{ingepompt volume} - \text{aanwezig volume}$$

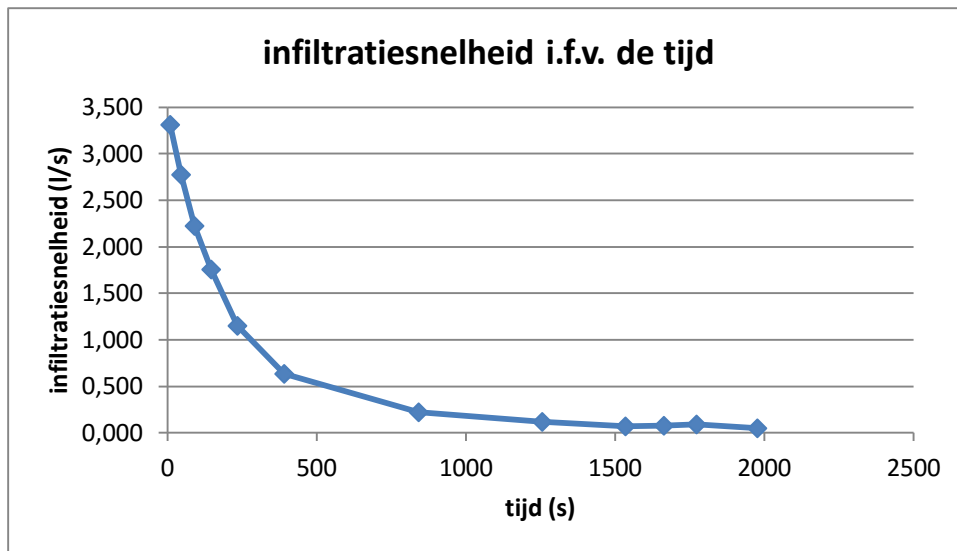
$$\text{reeds geïnfiltreerd volume} = 2,164 \text{ m}^3 - 1,649 \text{ m}^3$$

$$\text{reeds geïnfiltreerd volume} = 0,515 \text{ m}^3$$

$$\text{gemiddelde infiltratiesnelheid tijdens pompen} = \frac{515 \text{ liter}}{119 \text{ seconden}} = 4,328 \text{ l/s}$$

Tijdens de 119 seconden dat er gepompt wordt is er reeds 515 liter water geïnfiltreerd en dit onder een gemiddelde infiltratiesnelheid van 4,328 liter per seconde. De tabelwaarden voor het geïnfiltreerd volume starten op nul kubieke meter en geven dus de infiltratie weer na het uitschakelen van de pomp.

In de laatste kolom wordt de infiltratiesnelheid berekend. Het is duidelijk dat de infiltratiesnelheid afneemt naarmate de proef vordert. De infiltratiesnelheid in functie van de tijd is weergegeven in Figuur 26



**Figuur 26: Infiltratiesnelheid bij meting met extra drukhoogte op korte streng**

We kunnen besluiten dat de infiltratiesnelheid niet lineair maar exponentieel afneemt in functie van de tijd. Dit is te wijten aan de invloeden van de drukhoogte en de verzadiging van de ondergrond.

### 8.4.2 Infiltratieproef op volledige streng

Bij de proef op de volledige streng van 43,78 meter poreuze beton wordt de inspectieput opnieuw gevuld tot een waterhoogte van 1,40 meter. Na 472 seconden wordt de gewenste waterhoogte bereikt. Op dit moment is er 6,891 m<sup>3</sup> water aanwezig in het afgesloten stelsel en is er al 11 liter door de poreuze wand naar de achterkant van de ballon gesijpeld. Aangezien er gedurende de pomptijd van 472 seconden 8,582 m<sup>3</sup> water van het kanaal in het stelsel gepompt is kan het reeds geïnfiltreerde volume opnieuw berekend worden.

$$\text{reeds geïnfiltreerd volume} = \text{ingepompt volume} - \text{aanwezig volume} - \text{verliesvolume}$$

$$\text{reeds geïnfiltreerd volume} = 8,582 \text{ m}^3 - 6,891 \text{ m}^3 - 0,011 \text{ m}^3$$

$$\text{reeds geïnfiltreerd volume} = 1,680 \text{ m}^3$$

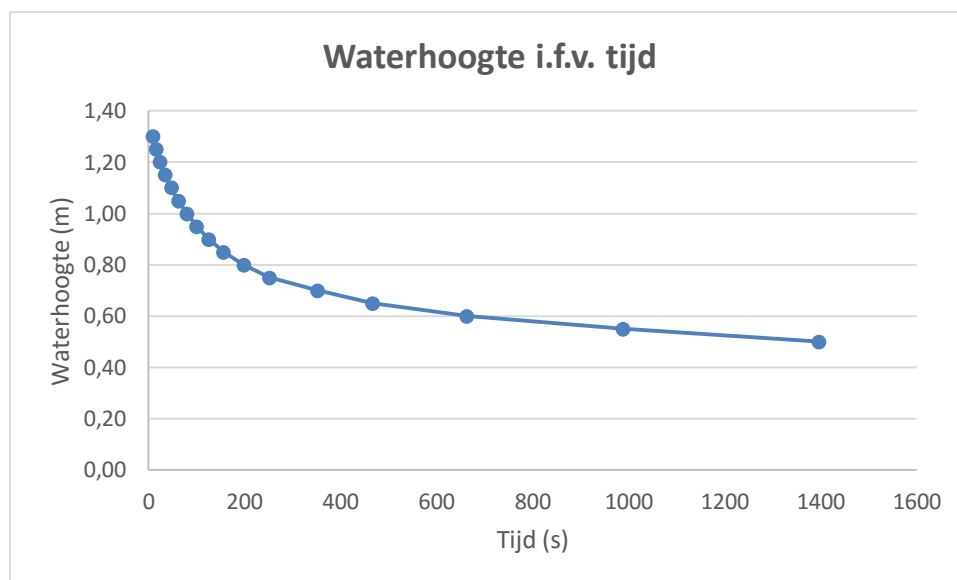
$$\text{gemiddelde infiltratiesnelheid tijdens pompen} = \frac{1,680 \text{ liter}}{472 \text{ seconden}} = 3,559 \text{ l/s}$$

Er is dus tijdens het pompen reeds 1680 liter geïnfiltreerd onder een gemiddelde infiltratiesnelheid van 3,559 liter per seconde. In Tabel 6 worden de berekende waarden voor de infiltratiesnelheid weergegeven.

Tijd (s)	Waterhoogte (m)	Totale infiltratie (m <sup>3</sup> )	Infiltratiesnelheid (l/s)
0	1,4	0,000	3,559
9	1,3	0,099	11,022
15	1,25	0,149	8,307
23	1,2	0,199	6,216
34	1,15	0,248	4,492
47	1,1	0,298	3,805
62	1,05	0,347	3,301
80	1	0,397	2,745
100	0,95	0,446	2,459
125	0,9	0,494	1,928
156	0,85	0,540	1,488
198	0,8	0,588	1,147
252	0,75	0,636	0,881
352	0,7	0,682	0,459
466	0,65	0,727	0,396
663	0,6	0,769	0,213
988	0,55	0,811	0,131
1396	0,5	0,850	0,095

Tabel 6: Overzicht waardes bij meting met extra drukhoogte op volledige streng

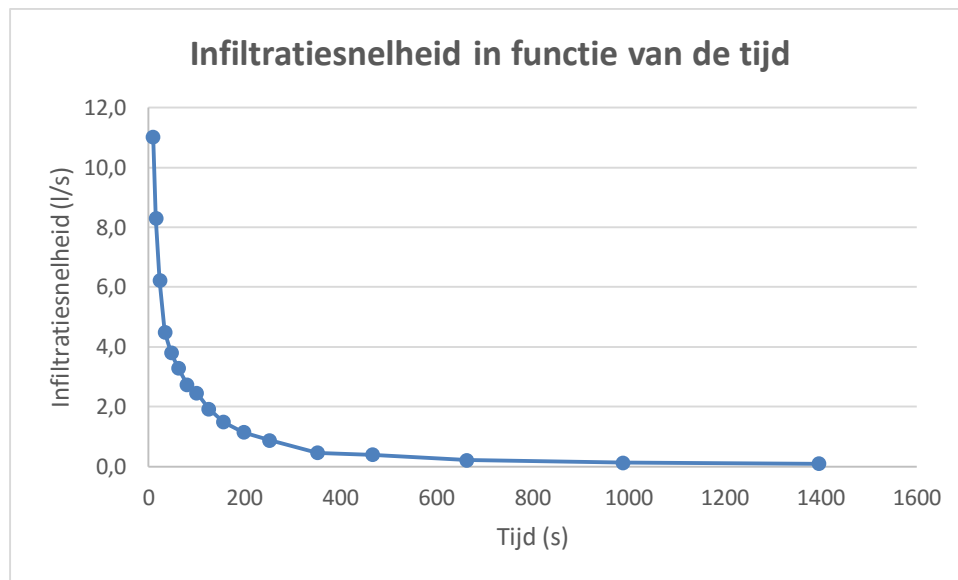
Uit deze tabel kan duidelijk afgeleid worden dat de infiltratiesnelheid daalt naarmate de proef vordert. Als de waterhoogte wordt uitgezet in functie van de tijd krijgen we volgende grafische weergave.



Figuur 27: Waterhoogte bij meting met extra drukhoogte op volledige streng

Er kan wederom gezien worden dat de drukhoogte en verzadiging hun invloed hebben op de leegloop van het stelsel. Bij een hoge waterstand en dus een minieme verzadiging zal het water zeer snel infiltreren in vergelijking met lagere waterstanden.

In Tabel 6 kan er gezien worden dat de eerste waarde voor de infiltratiesnelheid opmerkelijk laag is. De reden hiervoor is dat dit de gemiddelde infiltratiesnelheid is voor heel het pompproces. De waterstand bedraagt dus niet constant 1,40 meter, maar is een gemiddelde van al de niveaus hieronder die het water tijdens het inpompen overstegen heeft. De daling van de infiltratiesnelheid wordt hieronder weergegeven in functie van de leeglooptijd.



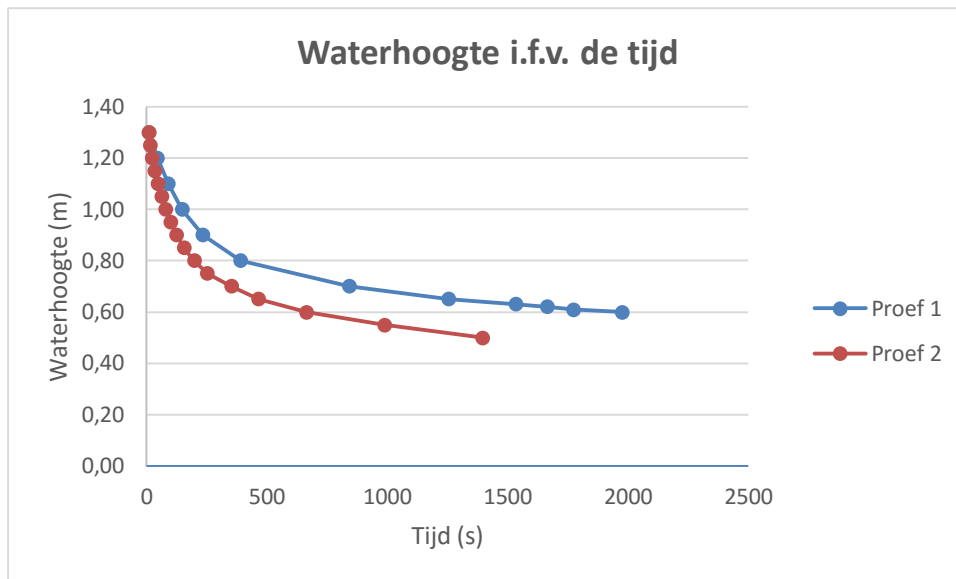
**Figuur 28: Infiltratiesnelheid bij meting met extra drukhoogte op volledige streng**

Opnieuw kan de invloed van de drukhoogte en de verzadiging opgemerkt worden aan de hand van de daling en de kromming in de grafiek.

## 8.5 Vergelijking tussen de twee proeven

In beide proeven wordt de meting gestart op een waterhoogte van 1,40 meter en een tijd van nul seconden. Aangezien de eerste proef slechts wordt uitgevoerd op een twintigste van de gehele streng uit poreus beton mogen we stellen dat de verzadiging uit de eerste proef geen invloed heeft op de tweede proef. Er is ook geen sprake van een verschil in druk omdat iedere waterstand dezelfde druk uitoefent op heel de buis, ongeacht de lengte van de afgesloten streng.

Het enige verschil tussen beide proeven is dus de grootte van het infiltrerend oppervlak. Hieronder is een grafische voorstelling te zien van het verschil in de daling van de waterhoogte tussen de twee proeven.



**Figuur 29: Vergelijking waterhoogtes bij meting met extra drukhoogte op korte en volledige streng**

In de grafiek is te zien dat heel de curve van de tweede proef onder deze van de eerste proef gelegen is. De waterstand daalt in de tweede proef dus veel sneller dan in de eerste. Het duurt bijvoorbeeld bijna vier keer langer in de eerste proef om tot een waterstand van 60 centimeter te dalen.

De eerste proef beschikt over 2,62 lopende meter aan poreuze betonbuizen terwijl dit bij de tweede proef 43,78 lopende meter bedraagt. De diameter van de buis is gekend waardoor het infiltrerend oppervlak voor beide proeven berekend kan worden.

$$\textit{infiltrerend oppervlak} = \textit{buisdiameter} * \pi * \textit{lengte}$$

$$\textit{infiltrerend oppervlak}_{\textit{proef 1}} = 0,400 \textit{ m} * \pi * 2,62 \textit{ m}$$

$$\textit{infiltrerend oppervlak}_{\textit{proef 1}} = 3,29 \textit{ m}^2$$

$$\textit{infiltrerend oppervlak}_{\textit{proef 2}} = 0,400 \textit{ m} * \pi * 43,78 \textit{ m}$$

$$\textit{infiltrerend oppervlak}_{\textit{proef 2}} = 55,02 \textit{ m}^2$$

Aangezien het waterniveau tijdens de proef altijd gelegen is boven de kruin van de buis blijft het infiltrerend oppervlak voor beide proeven gedurende alle

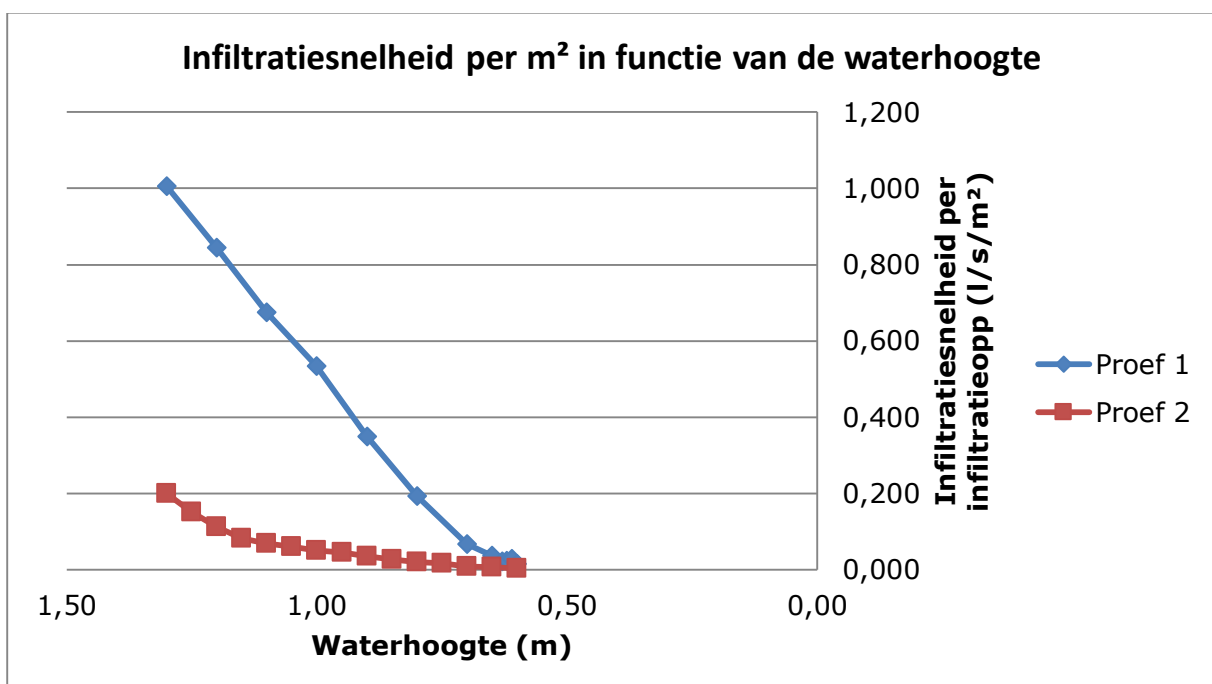


metingen constant. Ook het volume tussen twee bepaalde waterhoogtes is voor beide proeven gelijk zodat er in beide proeven evenveel water infiltreert. Omdat de inspectieput een constante sectie van één vierkante meter heeft, infiltreert er 700 liter water bij een daling in waterstand van 1,30 meter tot 0,60 meter. In Tabel 7 wordt het geïnfiltreerde volume en het bijhorend infiltrerend oppervlak uitgezet. Hiermee kan er een waarde bepaald worden voor het volume dat per vierkante meter geïnfiltreerd dient te worden.

	Geïnfiltreerd volume (l)	Infiltrerend oppervlak (m <sup>2</sup> )	Te infiltreren volume per m <sup>2</sup> (l/m <sup>2</sup> )
Proef 1	700	3,29	212,77
Proef 2	700	55,02	12,72

Tabel 7: Overzicht infiltratievolume per infiltrerend oppervlak

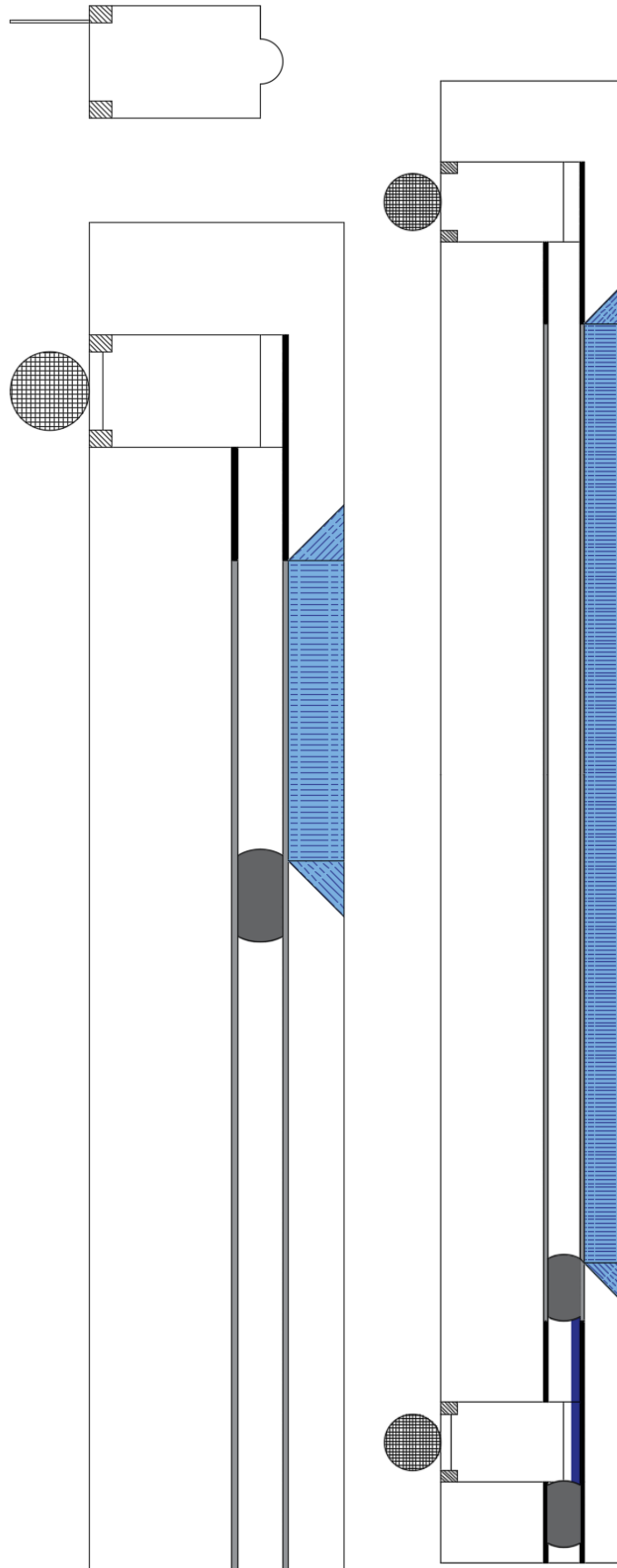
In de eerste proef moet er 212,77 liter per vierkante meter buisoppervlakte infiltreren terwijl dit in de proef op de volledige streng slechts 12,72 liter bedraagt. Vermits er in de tweede proef minder water per vierkante meter moet infiltreren, is het logisch dat de totale infiltratiesnelheid hier hoger zal liggen. Figuur 30 geeft de infiltratiesnelheid per vierkante meter in functie van de waterhoogte.



Figuur 30: Vergelijking infiltratiesnelheid per infiltrerend oppervlak bij meting met extra drukhoogte op korte en volledige streng

De curve van de tweede proef ligt lager dan deze van de eerste proef. Dezelfde hoeveelheid water infiltreert dus minder snel op één vierkante meter in de lange streng dan op dezelfde oppervlakte in de korte streng. Aangezien het water in beide proeven voor dezelfde waterstand dezelfde druk uitoefent moet de oorzaak van dit voorval ergens anders gezocht worden.

Het gedrag kan verklaard worden door de wijze waarop het water de grond infiltreert. Water dat door de poriën van de buis dringt en in de ondergrond terechtkomt, zal niet alleen recht naar beneden zakken maar ook de omliggende ruimte innemen. De infiltratiewijze wordt hieronder met behulp van een schets van het langsprofiel van de riolering voor beide proeven toegelicht.



**Figuur 31: Infiltratiewijze bij korte en lange streng**

Op deze schets is te zien hoe het infiltrerend water een trapeziumvorm in de ondergrond inneemt. Zolang deze ruimte niet in beslag genomen is, is de ondergrond nog niet verzadigd. Het is mogelijk om deze trapeziumvorm op te splitsen in één rechthoek in het midden en twee driehoeken aan de zijkanten. We mogen dus stellen dat enkel het water aan de buitenkanten van de buis schuin infiltreert en het water in het midden recht naar beneden infiltreert.

Aangezien de rechthoekige zone in de lange streng veel groter is, wil dit zeggen dat het grootste gedeelte van het water recht naar beneden zal infiltreren. In de proef op de korte streng daarentegen, is de middelste zone zeer klein. Er zal evenveel water schuin kunnen infiltreren, maar omdat het water dat hier recht naar beneden infiltreert in verhouding veel kleiner is dan bij de tweede proef, kan er besloten worden dat de gemiddelde infiltratiesnelheid per vierkante meter groter is in het geval van een kortere streng. Dit wil echter niet zeggen dat het voordeliger is om strengen te verkorten aangezien de totale infiltratie wel sneller verloopt bij langere strengen.

## 9 Infiltratieproef voor en na reiniging

In de vorige proef zijn er enkel metingen van de waterstanden gebeurd boven het niveau van de buis. Indien het water zich in werkelijkheid op dit niveau bevindt zal het leidingssysteem falen en zal de overstort in werking treden. Om te weten hoe de buis reageert indien de waterhoogte zich bevindt tussen boven en onderkant van de buis worden bijkomende proeven uitgevoerd.

Er is gekozen om proeven op buizen te doen met een ouderdom van 10 jaar. De buizen zijn aangelegd in 2006. Gedurende 10 jaar heeft er zich vuil en slib in de buis vastgezet waardoor de infiltratiecapaciteit van de buis mogelijk is afgenomen. In de volgende proef zal er onderzocht worden of deze infiltratiecapaciteit terug verbeterd kan worden door middel van een reiniging van de buis.

### 9.1 Infiltratieproef voor reiniging

Uit vorige proeven is gebleken dat er beperkte debieten noodzakelijk zijn om een gedeelte van het stelsel volgepompt te krijgen. Voor deze proef kon er dus gezocht worden naar een andere buis die zich niet noodzakelijk bevindt in de buurt van oppervlaktewater. In deze proef wordt de buis gevuld door een tankwagen van de reinigingsdienst. Vervolgens is er gekozen voor een streng die zich bevindt in de Wijshagerstraat in Bree. Deze streng wordt gekozen omwille van de geringe lengte van 36 meter en het vroege bouwjaar. Deze streng behoort tot de eerst geplaatste poreuze buizen waardoor er preciezere conclusies uit de proef getrokken kunnen worden. Door de beperkte lengte van het afgesloten deel is het mogelijk om de buis volledig vol te pompen, zodat er een meting kon gebeuren over de volledige hoogte van de buis. Ook is er gekeken naar de hellingsgraad van de buis. De buis ligt onder een helling van 0,652 millimeter per lopende meter. Dit komt neer op een hoogteverschil van 2,3 centimeter over deze 36 meter. Door het geringe hoogteverschil kan deze verwaarloosd worden in de berekeningen. Omdat er enkel gemeten wordt over de hoogte van de buis is er ditmaal gekozen voor een buis met diameter 600 mm zodat er voldoende meetresultaten kunnen verwerkt worden. De proef wordt uitgevoerd na een droogteperiode van een aantal weken.

#### 9.1.1 Proefopstelling

De proefopstelling is weergegeven in Figuur 33. De meting van de waterstand gebeurt in de afwaarts gelegen inspectieput van de streng. Voorafgaand aan de infiltratieproef wordt de diepte van de put gemeten. Vervolgens wordt de tank van de reinigingswagen leeggelaten boven de inspectieput. Er loopt 17 kubieke meter water gravitair in de buis. Hierna gaat de proef van start en worden de eerste waterstanden gemeten. De metingen worden uitgevoerd met behulp van een lasermeter aangezien de put te diep is om de waterstanden van de meetbaak af te lezen. De inspectieput heeft een diepte van 2,43 meter en is cirkelvormig, zie bijlage C. De verticale afstand tussen de bovenkant van de

deksel van de inspectieput en het waterniveau wordt gemeten. Hieruit kan vervolgens het waterniveau berekend worden. Het waterniveau wordt bepaald door het verschil te nemen van de diepte van de put met de gemeten afstand van riooldeksel tot wateroppervlak.

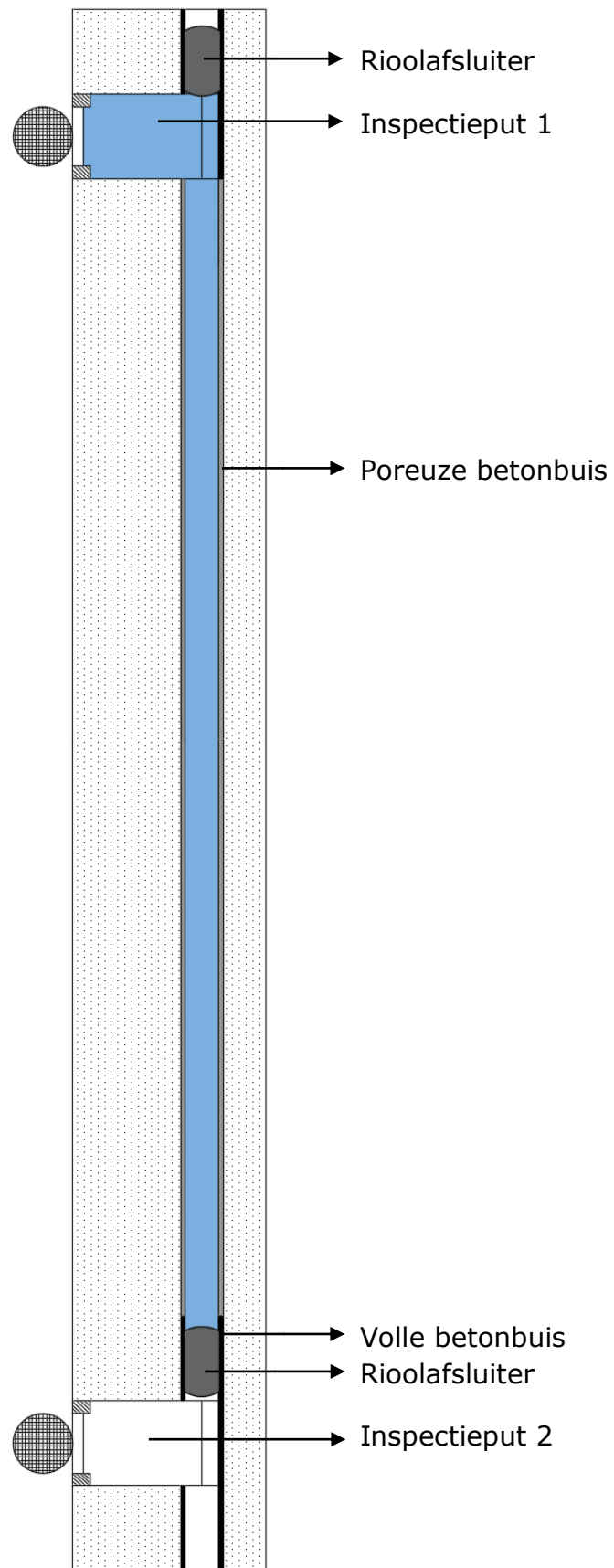
$$H_{\text{water}} = H_{\text{inspectieput}} - H_{\text{gemeten}}$$

Omdat deze lasermeter niet rechtstreeks de afstand kan meten tot op het wateroppervlak wordt er gebruik gemaakt van een isomo-plaatje waar de laserstraal op gericht wordt. Door de stroming van het water zal dit plaatje mee de buis in vloeien. Om dit te voorkomen wordt er een opening voorzien in het plaatje waar vervolgens een meetbaak in aangebracht wordt. De meetbaak zorgt ervoor de plaat niet de buis invloeit en dat het plaatje op een stabiele plaats blijft liggen. Hierdoor kan een nauwkeurige meting uitgevoerd worden. De meetopstelling wordt weergegeven in Figuur 32.



**Figuur 32: Proefopstelling infiltratieproef in Bree**

Ook in deze proef wordt er gebruik gemaakt van rioolafsluiters. Er wordt een rioolafsluiter geplaatst in de buis die afwaarts gelegen is ten opzichte van de inspectieput waarin de meting gebeurt. Eveneens wordt er een afsluiter geplaatst in de buis die afwaarts gelegen is ten opzichte van de tweede inspectieput. Op de inspectieputten worden telkens gewone betonbuizen aangesloten waarna er wordt overgaan op de poreuze betonbuizen. De rioolafsluiter bevindt zich dus in de gewone betonbuis waardoor een goede afsluiting van de streng gegarandeerd kan worden.



**Figuur 33: Proefopstelling infiltratieproef voor en na reiniging**

## 9.1.2 Resultaten

Bij aanvang van de proef wordt de tank van de reinigingswagen leeggelaten in de buis. Er vloeit 17 kubieke meter in de buis. Het duurt 10 minuten alvorens de tank is leeggelopen. Eens de vrachtwagen zich niet meer boven de putopening bevindt worden de metingen aangevat. Dit gebeurt 10 min en 58 seconde na de start van het vullen van de buis. In de eerste meting wordt een waterhoogte van 0,558 m gemeten. Aan de hand van deze gegevens kan er bepaald worden welke volume bijna rechtstreeks in de grond infiltreert.

$$V_{0,infiltratie} = V_{0,vulling} - V_{0,aanwezig}$$

Het volume aanwezig kan vervolgens bepaald worden uit de som van het volume aanwezig in de buis en in de inspectieput. Het volume in de buis kan bepaald worden aan de hand van volgende formule

$$V_{0,aanwezig,buis} = \left( \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) * r^2 - (r-h) * \sqrt{r^2 - (r-h)^2} \right) * l_{buis}$$

$$V_{0,aanwezig,buis} = \left( \cos^{-1} \left( \frac{0,3 - 0,558}{0,3} \right) * 0,3^2 - (0,3 - 0,558) * \sqrt{0,3^2 - (0,3 - 0,558)^2} \right) * 36$$

$$V_{0,aanwezig,buis} = 9,866 \text{ m}^3$$

De inspectieput is rond met diameter één meter en is onderaan opgebouwd uit een stroomprofiel tot op halve hoogte van de buis. Het volume aan water in de put kan dus bepaald worden aan de hand van volgende formule:

$$V_{0,aanwezig,put} = \frac{\pi * r_{buis}^2}{2} * d_{inspectieput} + (h_{water} - r_{buis}) * \pi * r_{inspectieput}^2$$

$$V_{0,aanwezig,put} = \frac{\pi * 0,3^2}{2} * 1 + (0,558 - 0,3) * \pi * 0,5^2$$

$$V_{0,aanwezig,put} = 0,344 \text{ m}^3$$

Het totale volume van het aanwezige water kan op zijn beurt bepaald worden aan de hand van volgende formule

$$V_{0,aanwezig} = V_{0,aanwezig,buis} + V_{0,aanwezig,put}$$

$$V_{0,aanwezig} = 9,866 \text{ m}^3 + 0,344 \text{ m}^3$$

$$V_{0,aanwezig} = 10,21 \text{ m}^3$$

Uiteindelijk bekomen we het rechtstreeks geïnfiltreerde volume door het verschil te nemen van het ingepompte volume met het aanwezige volume:

$$V_{0,infiltratie} = V_{0,vulling} - V_{0,aanwezig}$$

$$V_{0,infiltratie} = 17 \text{ m}^3 - 10,21 \text{ m}^3$$



$$V_{0,infiltatie} = 6,79 \text{ m}^3$$

Er infiltreert dus in de eerste 10 minuten een volume van 6,79 kubieke meter. Dit volume komt neer op iets meer dan de helft van het volume van de buis, namelijk  $10,21 \text{ m}^3$ . We kunnen dus besluiten dat er anderhalve keer zoveel regen mag vallen als het volume van de buis alvorens het systeem zal falen.

De gemeten dieptes worden schematisch weergegeven in onderstaande tabel.

In de metingen wordt gebruik gemaakt van een isomo-plaatje met een dikte van vier centimeter. De diepte van de put bedraagt 2,43 meter. Vervolgens kunnen we de waterhoogte bepalen door het verschil te nemen van de diepte van de put met de gemeten hoogte en de dikte van het isomo-plaatje.

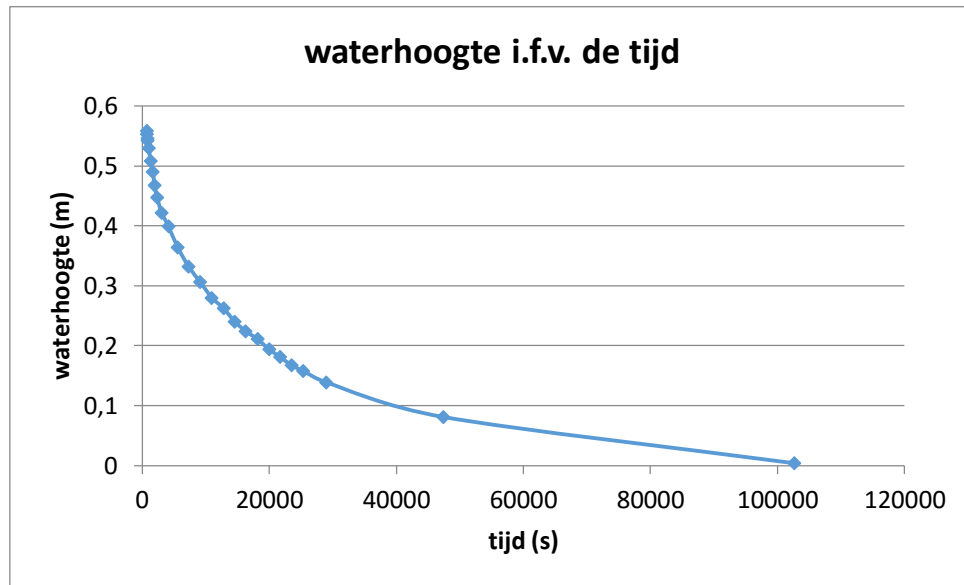
$$H_{water} = H_{inspectieput} - H_{gemeten} - H_{isimo}$$

Uiteindelijk worden de verschillende waterhoogtes bekomen, welke worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tijd (U:M:S)	Tijd (sec)	diepte (mm)	Waterhoogte (mm)
0:10:58	658	1,872	0,558
0:11:45	705	1,877	0,553
0:12:41	761	1,884	0,546
0:13:35	815	1,888	0,542
0:16:27	987	1,901	0,529
0:20:20	1220	1,922	0,508
0:26:23	1583	1,94	0,49
0:31:38	1898	1,963	0,467
0:38:01	2281	1,983	0,447
0:49:35	2975	2,008	0,422
1:07:35	4055	2,031	0,399
1:31:51	5511	2,066	0,364
2:00:26	7226	2,098	0,332
2:31:03	9063	2,124	0,306
3:01:29	10889	2,15	0,28
3:32:19	12739	2,168	0,262
4:01:41	14501	2,19	0,24
4:30:24	16224	2,206	0,224
5:01:11	18071	2,219	0,211
5:31:27	19887	2,236	0,194
6:01:07	21667	2,249	0,181
6:31:24	23484	2,263	0,167
7:01:06	25266	2,272	0,158
8:01:09	28869	2,291	0,139
13:09:41	47381	2,349	0,081
28:29:24	102564	2,426	0,004

Tabel 8: Berekende Waterhoogtes

De waterhoogte kan grafisch weergegeven worden in functie van de tijd. Deze grafiek wordt in onderstaande figuur weergegeven.



**Figuur 34: Waterhoogtes bij meting voor reiniging**

Uit de grafiek kan afgeleid worden dat het waterniveau sterk daalt als de buis bijna volledig gevuld is. Naarmate het water in de buis lager staat zal het water minder snel dalen.

Analoog aan de berekening van het beginvolume van het water dat aanwezig is, kan het volume water nu voor elke stap bepaald worden.

$$V_{0, \text{aanwezig, buis}} = \left( \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) * r^2 - (r-h) * \sqrt{r^2 - (r-h)^2} \right) * l_{\text{buis}}$$

$$V_{\text{aanwezig, put}} = \frac{\pi * r_{\text{buis}}^2}{2} * d_{\text{inspectieput}} + (h_{\text{water}} - r_{\text{buis}}) * \pi * r_{\text{inspectieput}}^2$$

*geldig voor: 300 mm ≤ h<sub>water</sub> ≤ 600 mm*

$$V_{\text{aanwezig, put}} = \left( \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) * r^2 - (r-h) * \sqrt{r^2 - (r-h)^2} \right) * d_{\text{inspectieput}}$$

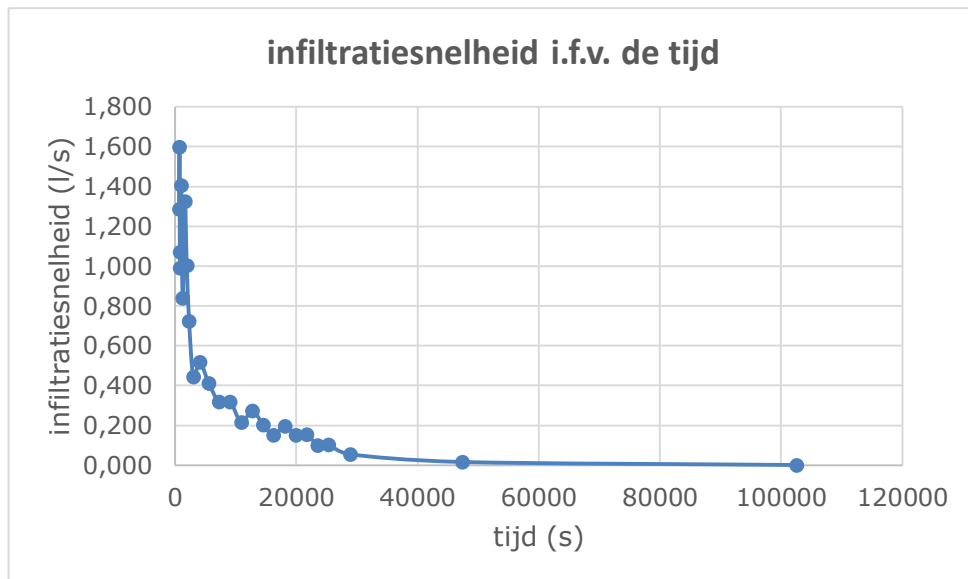
*geldig voor: h<sub>water</sub> ≤ 300 mm*

De berekende volumes worden schematisch weergegeven in onderstaande tabel.

Tijd (U:M:S)	Tijd (sec)	Volume (m <sup>3</sup> )	Infiltratiesnelheid (l/s)
0:10:58	658	10,210	1,288
0:11:45	705	10,149	1,597
0:12:41	761	10,060	0,989
0:13:35	815	10,006	1,070
0:16:27	987	9,822	1,404
0:20:20	1220	9,495	0,840
0:26:23	1583	9,190	1,324
0:31:38	1898	8,773	1,002
0:38:01	2281	8,389	0,723
0:49:35	2975	7,887	0,444
1:07:35	4055	7,407	0,518
1:31:51	5511	6,653	0,412
2:00:26	7226	5,946	0,316
2:31:03	9063	5,365	0,317
3:01:29	10889	4,787	0,215
3:32:19	12739	4,389	0,273
4:01:41	14501	3,908	0,201
4:30:24	16224	3,562	0,150
5:01:11	18071	3,284	0,197
5:31:27	19887	2,927	0,150
6:01:07	21667	2,660	0,155
6:31:24	23484	2,378	0,100
7:01:06	25266	2,200	0,101
8:01:09	28869	1,836	0,054
13:09:41	47381	0,844	0,015
28:29:24	102564	0,010	0,000

**Tabel 9: Infiltratiesnelheid voor reiniging**

Nu kan de infiltratiesnelheid op elk tijdstip bepaald worden. De infiltratiesnelheid wordt bekomen door het volumeververschil over elk tijdsinterval te delen door het overeenkomstig tijdsverschil. De infiltratiesnelheid in functie van de tijd wordt weergegeven in onderstaande grafiek.



**Figuur 35: Infiltratiesnelheid bij meting voor reiniging**

We zien dat de infiltratiesnelheid in het begin van de meting 1,6 l/s seconde bedraagt. De infiltratiesnelheid neemt vervolgens zeer snel af tot 0,2 l/s. Het afnemen van de infiltratiesnelheid kan verklaard worden door de daling van de waterhoogte waardoor er minder druk op het water staat en er dus ook minder water door de poriën van de buis zal vloeien. Ook zal de grond in eerste instantie zeer goed infiltreren omdat deze relatief droog is. Na verloop van tijd zal de grond meer en meer verzadigd geraken en zal er steeds minder water kunnen infiltreren.

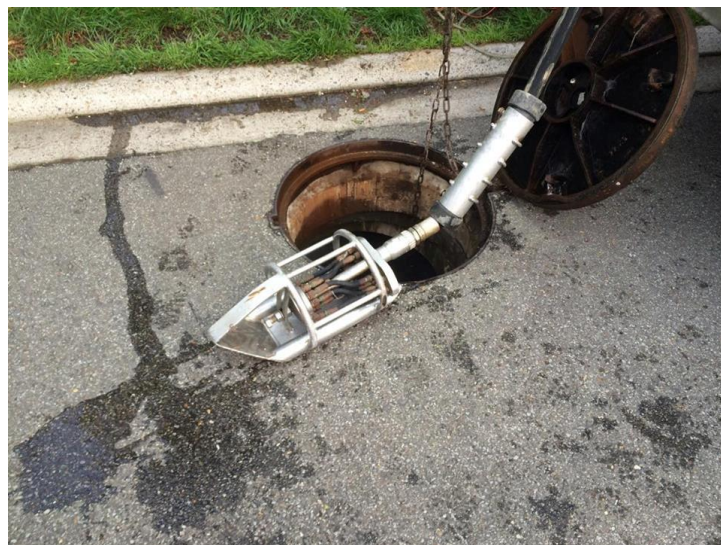
## 9.2 Reiniging

Er wordt een reiniging uitgevoerd op de streng waarop de metingen in de vorige proef plaats vonden. Er wordt gebruik gemaakt van 2 vrachtwagens. De reinigingswagen bevat een spuitkop om het slib uit de buis te spuiten. In Figuur 36 is deze vrachtwagen zichtbaar aan de rechterkant. De gele vrachtwagen zal het losgekomen slib oppompen en in de tank verzamelen.



**Figuur 36: Reinigingsopstelling**

Vermits het hier om een regenwaterleiding gaat zal de mate van vervuiling relatief beperkt zijn. Indien er sprake is van vervuiling zal dit vooral plaatsvinden op de bodem van de buis. Er wordt gebruik gemaakt van een reinigingskop waarvan de waterstralen zich vooral richten op de bodem waardoor er efficiënter gereinigd wordt. De gebruikte reinigingskop wordt weergegeven in de volgende figuur.



**Figuur 37: Reinigingskop**

Enmaal de reiniging afgelopen is kunnen de metingen opnieuw aangevat worden.

## 9.3 Infiltratieproef na reiniging

Deze proef wordt drie dagen later uitgevoerd dan de voorgaande proef. Er wordt getest onder dezelfde weersomstandigheden om zo een vergelijkbaar resultaat te bekomen. De rioolafsluiters worden in de tussentijd op hun plaats gelaten zodat de grootte van het afgesloten deel voor beide proeven hetzelfde is. Ook hier laat de reinigingsdienst 17 kubieke meter in de streng vloeien.

### 9.3.1 Resultaten

De waterhoogte wordt direct na de vulling gemeten, dit eveneens op 10 minuten en 58 seconde na vulling van de buis. Er wordt een waterhoogte gemeten van 0,587 meter. Hieruit kan eveneens het rechtstreeks geïnfilterde volume berekend worden.

$$V_{0,infiltratie} = V_{0,vulling} - V_{0,aanwezig}$$

Het volume aanwezig kan vervolgens bepaald worden uit de som van het volume aanwezig in de buis en in de inspectieput. Het volume in de buis kan bepaald worden aan de hand van volgende formule:

$$V_{0,aanwezig,buis} = (\cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) * r^2 - (r-h) * \sqrt{r^2 - (r-h)^2}) * l_{buis}$$

$$V_{0,aanwezig,buis} = (\cos^{-1} \left( \frac{0,3 - 0,587}{0,3} \right) * 0,3^2 - (0,3 - 0,587) * \sqrt{0,3^2 - (0,3 - 0,587)^2}) * 36$$

$$V_{0,aanwezig,buis} = 10,124 \text{ m}^3$$

De inspectieput is rond met diameter één meter en is onderaan opgebouwd uit een stroomprofiel tot op halve hoogte van de buis. Het volume aan water in de put kan dus bepaald worden aan de hand van volgende formule:

$$V_{0,aanwezig,put} = \frac{\pi * r_{buis}^2}{2} * d_{inspectieput} + (h_{water} - r_{buis}) * \pi * r_{inspectieput}^2$$

$$V_{0,aanwezig,put} = \frac{\pi * 0,3^2}{2} * 1 + (0,587 - 0,3) * \pi * 0,5^2$$

$$V_{0,aanwezig,put} = 0,367 \text{ m}^3$$

Het totale volume in de buis kan vervolgens bepaald worden aan de hand van volgende formule

$$V_{0,aanwezig} = V_{0,aanwezig,buis} + V_{0,aanwezig,put}$$

$$V_{0,aanwezig} = 10,124 \text{ m}^3 + 0,367 \text{ m}^3$$

$$V_{0,aanwezig} = 10,491 \text{ m}^3$$

Vervolgens bekomen we het rechtstreeks geïnfilterde volume door het verschil te nemen van het ingepompte volume met het aanwezige volume:

$$V_{0,infiltratie} = V_{0,vulling} - V_{0,aanwezig}$$

$$V_{0,infiltratie} = 17 \text{ m}^3 - 10,49 \text{ m}^3$$

$$V_{0,infiltratie} = 6,51 \text{ m}^3$$

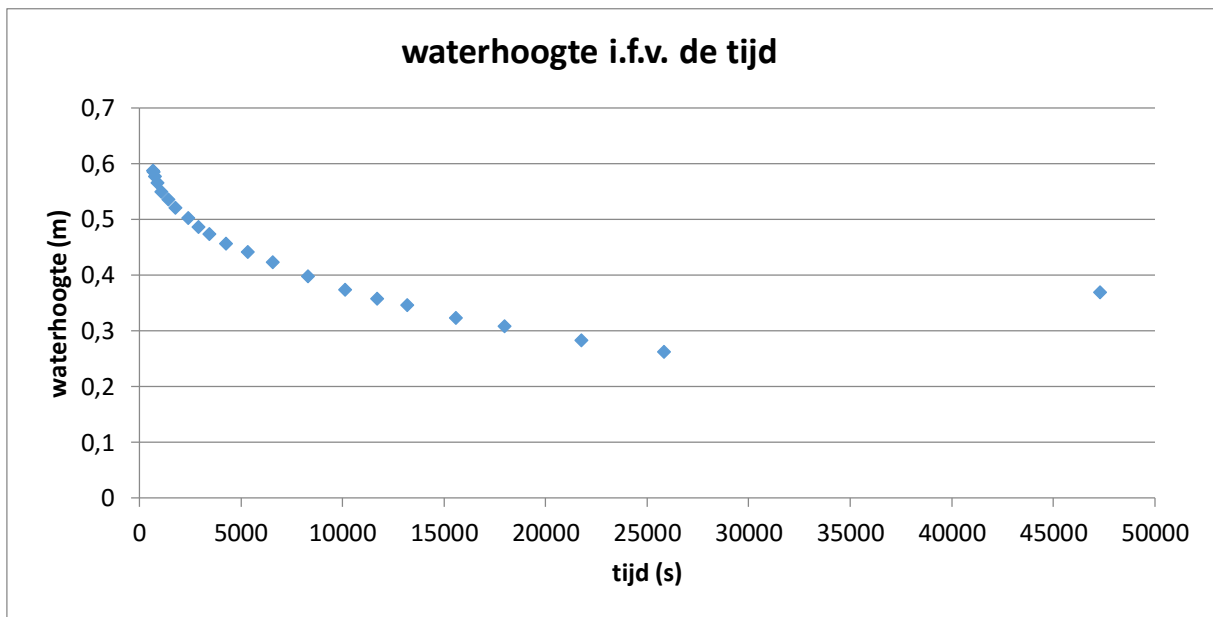
Er infiltreert dus in de eerste 10 minuten een volume van 6,51 kubieke meter. Dit volume komt ongeveer overeen met het volume van de buis zelf. We kunnen dus besluiten dat er bijna dubbel zoveel regen mag vallen als het volume van de buis alvorens het systeem zal falen.

Ook hier worden de metingen per tijdsinterval uitgevoerd. Hierbij wordt er eveneens gebruik gemaakt van het isomo-plaatje en de lasermeter. Op analoge wijze aan vorige metingen kan hieruit de waterhoogte berekend worden. De resultaten worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tijd (U:M:S)	Tijd (s)	Diepte (mm)	Waterhoogte (mm)
0:10:58	658	1,843	0,587
0:11:30	690	1,845	0,585
0:12:44	764	1,853	0,577
0:14:58	898	1,864	0,566
0:18:08	1088	1,88	0,55
0:23:30	1410	1,894	0,536
0:29:41	1781	1,909	0,521
0:39:45	2385	1,928	0,502
0:48:21	2901	1,944	0,486
0:57:30	3450	1,956	0,474
1:10:51	4251	1,973	0,457
1:28:35	5315	1,988	0,442
1:49:09	6549	2,007	0,423
2:18:27	8307	2,032	0,398
2:48:50	10130	2,056	0,374
3:15:00	11700	2,072	0,358
3:39:33	13173	2,084	0,346
4:19:50	15590	2,107	0,323
4:59:25	17965	2,122	0,308
6:02:33	21753	2,147	0,283
7:10:15	25815	2,168	0,262
13:08:20	47300	2,061	0,201

**Tabel 10: Berekende waterhoogtes na reiniging**

De waterhoogte in functie van tijd wordt weergegeven in onderstaande grafiek.



**Figuur 38: Waterhoogte bij meting na reiniging**

Uit de grafiek kan besloten worden dat het water bij aanvang van de proef sterk daalt. Na verloop van tijd zal de waterhoogte minder snel dalen. Op het einde van de grafiek is zichtbaar dat de waterhoogte is toegenomen. Dit kan verklaard worden door de neerslag die er 's avonds onverwacht gevallen is. Om een beeld te krijgen over de werkelijke zakking van het waterniveau is een analyse van de gevallen neerslag noodzakelijk.

Op tijdstip van de laatste meting is gebleken dat er 9,75 mm gevallen is sinds de vorige meting [14]. Om te weten hoeveel water er weldegelijk in de streng terecht is gekomen wordt de aangesloten oppervlakte geanalyseerd. Er zijn twee huizen aangesloten met een horizontaal geprojecteerd dak oppervlak van 80 vierkante meter en 100 vierkante meter. Ook de neerslag van het wegdek zal via de slokkers in de buis terecht komen. Het gedeelte van de rijbaan, dat opwaarts gelegen is ten opzichte van de slokkers heeft een lengte van 34,59 meter. De rijbaan bedraagt 5,5 meter, inclusief boordsteen. De totale afwaterende oppervlakte kan als volgt berekend worden.

$$A_{afwaterend} = A_{daken} + A_{wegdek}$$

$$A_{afwaterend} = 80 \text{ m}^2 + 100 \text{ m}^2 + 5,5 \text{ m} * 34,59 \text{ m}$$

$$A_{afwaterend} = 378 \text{ m}^2$$

Uit de totale afwaterende oppervlakte kan vervolgens het volume neerslag dat in de streng terecht gekomen is worden bepaald.

$$V_{neerslag} = A_{afwaterend} * neerslag$$



$$V_{neerslag} = 378 \text{ m}^2 * 9,75 \text{ mm}$$

$$V_{neerslag} = 3,685 \text{ m}^3$$

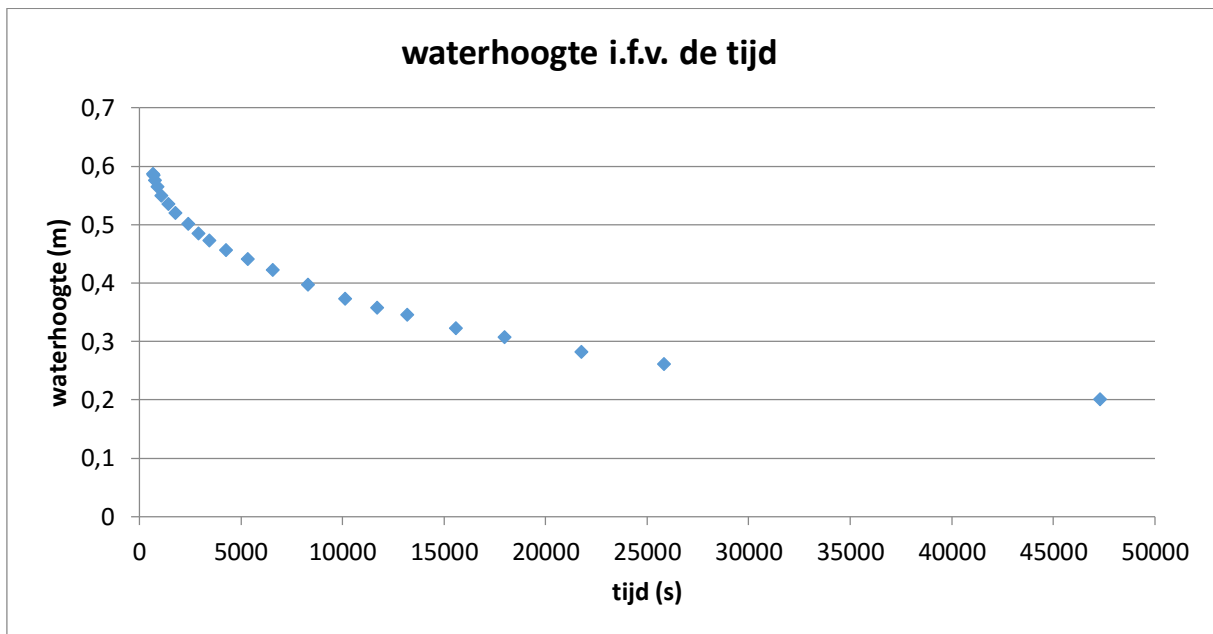
Vervolgens kan het volume water dat zich in de buis zou bevinden indien er geen neerslag gevallen is bepaald worden.

$$V_{zonder\ neerslag} = V_{aanwezig} - V_{neerslag}$$

$$V_{zonder\ neerslag} = 6,749 \text{ m}^3 - 3,685 \text{ m}^3$$

$$V_{zonder\ neerslag} = 3,064 \text{ m}^3$$

Dit volume komt overeen met een waterhoogte van 0,201 meter. Nu deze waarde gekend is kan de waterhoogte gecorrigeerd worden. Het resultaat wordt weergegeven in onderstaande grafiek.



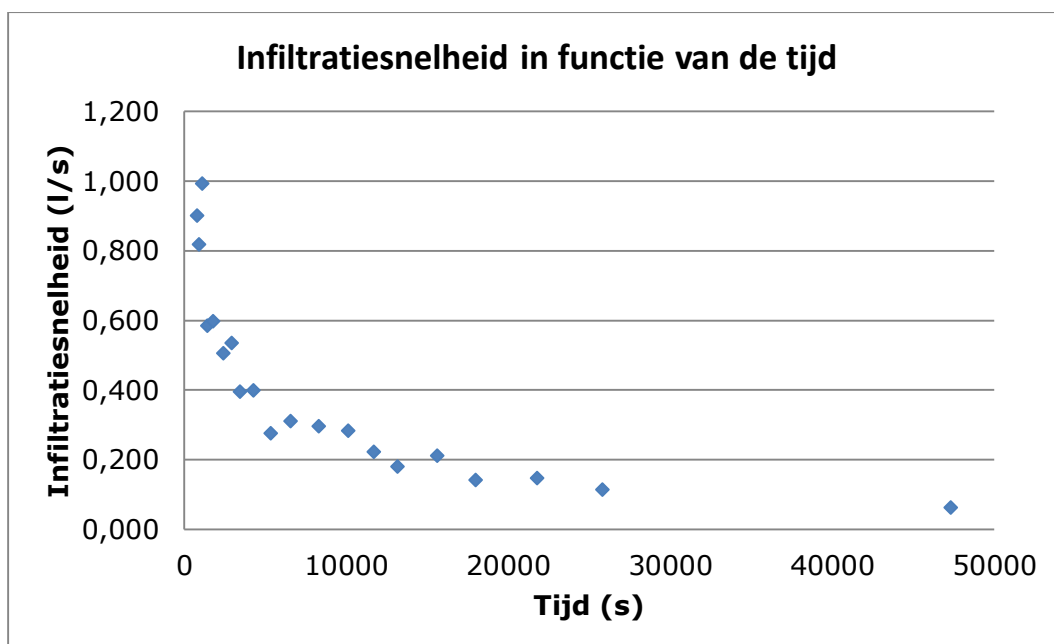
**Figuur 39: Aangepaste waterhoogte bij meting na reiniging**

Uit de waterhoogte kan het volume water dat zich in de buis bevindt berekend worden. Ook hier kan de infiltratiesnelheid weer berekend worden door het verschil in volume over een tijdsinterval te delen door het tijdsinterval zelf. De bekomen waarden worden weergegeven in tabel 11.

Tijd (U:M:S)	Tijd (s)	Volume(m <sup>3</sup> )	Infiltratiesnelheid (l/s)
0:10:58	658	10,491	
0:11:30	690	10,476	
0:12:44	764	10,409	0,901
0:14:58	898	10,300	0,817
0:18:08	1088	10,111	0,993
0:23:30	1410	9,923	0,584
0:29:41	1781	9,702	0,597
0:39:45	2385	9,396	0,506
0:48:21	2901	9,120	0,535
0:57:30	3450	8,903	0,395
1:10:51	4251	8,583	0,399
1:28:35	5315	8,291	0,275
1:49:09	6549	7,908	0,310
2:18:27	8307	7,386	0,297
2:48:50	10130	6,871	0,283
3:15:00	11700	6,521	0,223
3:39:33	13173	6,257	0,180
4:19:50	15590	5,745	0,212
4:59:25	17965	5,410	0,141
6:02:33	21753	4,854	0,147
7:10:15	25815	4,389	0,114
13:08:20	47300	3,064	0,062

Tabel 11: Infiltratiesnelheid op realistische meting na reiniging

Vervolgens kan de infiltratiesnelheid in functie van de tijd grafisch weergegeven worden in onderstaande grafiek.

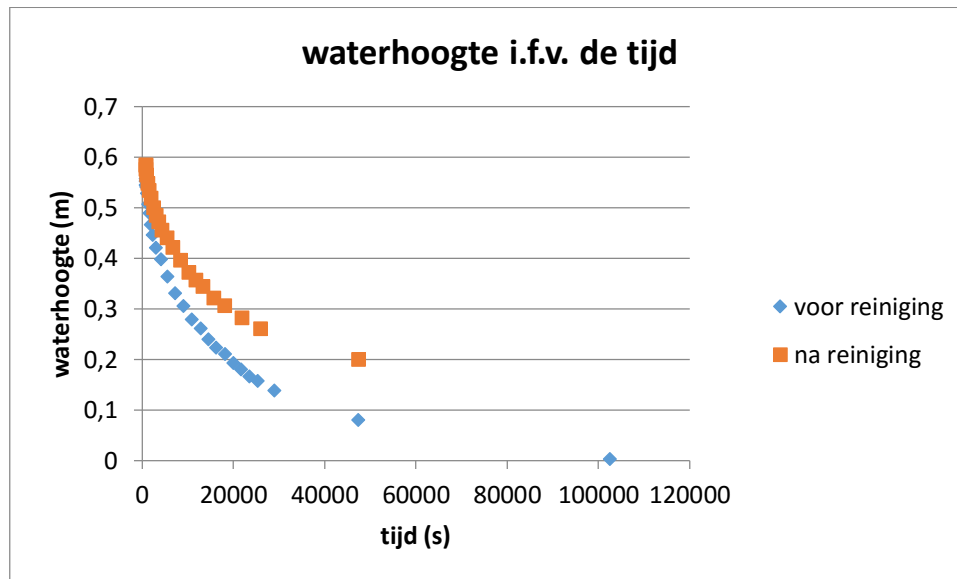


Figuur 40: Infiltratiesnelheid bij meting na reiniging

We zien dat de infiltratie bij aanvang van de proef 1,0 liter per seconde bedraagt. De infiltratiesnelheid neemt vervolgens af tot 0,2 liter per seconde. De verklaring hiervoor is analoog aan deze van de voorgaande proef.

## 9.4 Vergelijking van de proeven

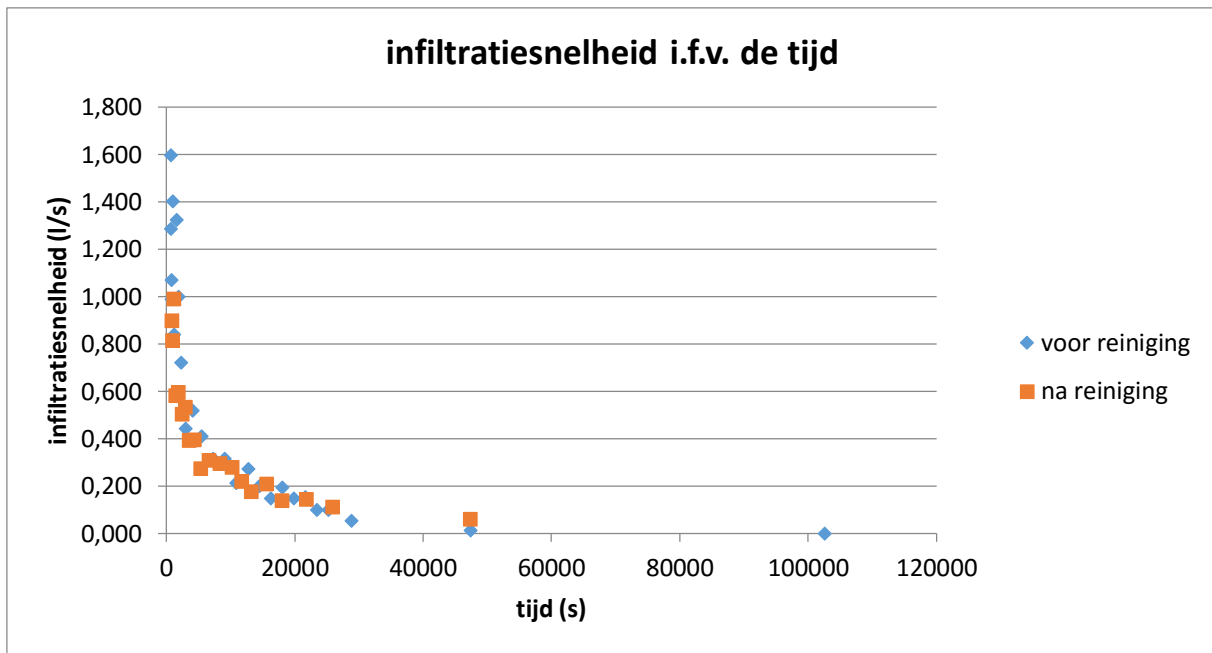
Om een beeld te krijgen van het effect van de reiniging worden de bekomen resultaten van de proeven vergeleken. Als eerste wordt de waterhoogte uit beide metingen vergeleken. De metingen worden grafisch weergegeven in Figuur 41.



**Figuur 41: Vergelijking waterhoogte bij meting voor en na reiniging**

We zien dat de waterhoogte na reiniging minder snel daalt in functie van de tijd. Er zouden zich dus twee situaties kunnen voorgedaan hebben. Als eerste bestaat er de mogelijkheid dat de reiniging ervoor gezorgd heeft dat het slib dat zich in de buis bevond dieper in de poriën gespoten werd waardoor de doorlatendheid van de buis is afgenomen. Een tweede mogelijke verklaring kan de invloed van de verzadiging van de grond zijn. Vermits de tweede meting slechts twee dagen later wordt uitgevoerd, bestaat de mogelijkheid dat de grond nog verzadigd is met water uit de eerste proef.

De vergelijking tussen de verschillende infiltratiesnelheden kan ook gemaakt worden. Het resultaat hiervan wordt weergegeven in Figuur 42.



**Figuur 42: Vergelijking infiltratiesnelheid bij meting voor en na reiniging**

We zien dat de infiltratiesnelheid in het begin van de proef na reiniging beduidend lager is dan deze in de proef voor reiniging. Een mogelijke verklaring kan uit de verzadiging van de grond gehaald worden. Bij aanvang van de eerste proef is de grond nog niet verzadigd waardoor deze beter zal infiltreren. Bij aanvang van de tweede proef is de grond nog deels verzadigd waardoor deze bij aanvang van de proef minder zal infiltreren. Of de verzadiging weldegelijk de oorzaak is wordt bepaald uit een bijkomende proef.

Na verloop van tijd blijkt dat de infiltratiesnelheden relatief overeenkomen. Naar het einde van de proef toe zien we dat de infiltratiesnelheid van de proef na reiniging toch hoger ligt dan deze van de eerste metingen. Aanslibbing van de buis komt vooral voor op de bodem van de buis. Mogelijk heeft de reiniging ervoor gezorgd dat de doorlatendheid van de bodem van de buis toch is toegenomen. Hierdoor is de infiltratie over de bodem van de buis toegenomen.

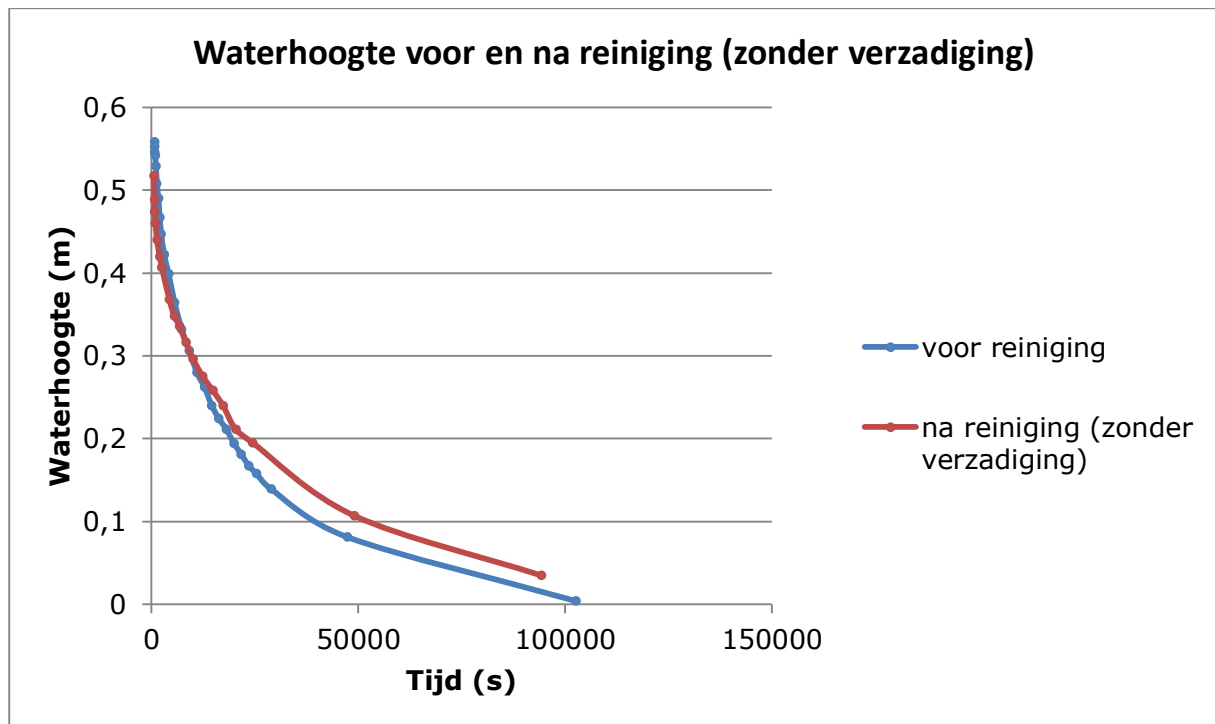
Aangezien er niet met zekerheid gezegd kan worden of de resultaten in deze proef afhankelijk zijn van de reiniging of van de verzadiging wordt de proef twee weken later herhaald. Indien het in de tussentijd lang genoeg droog is gebleven en de verzadiging van de grond dus verdwenen is kunnen we aan de hand van deze proef de werkelijke invloed van een reiniging evalueren.

## 9.5 Infiltratieproef na reiniging met verminderde verzadiging

Na acht dagen van droogte wordt de infiltratieproef op dezelfde wijze herhaald. Er wordt verwacht dat de verzadiging gedeeltelijk is weggetrokken en dat de werkelijke invloed van een reiniging geanalyseerd kan worden.

### 9.5.1 Resultaten

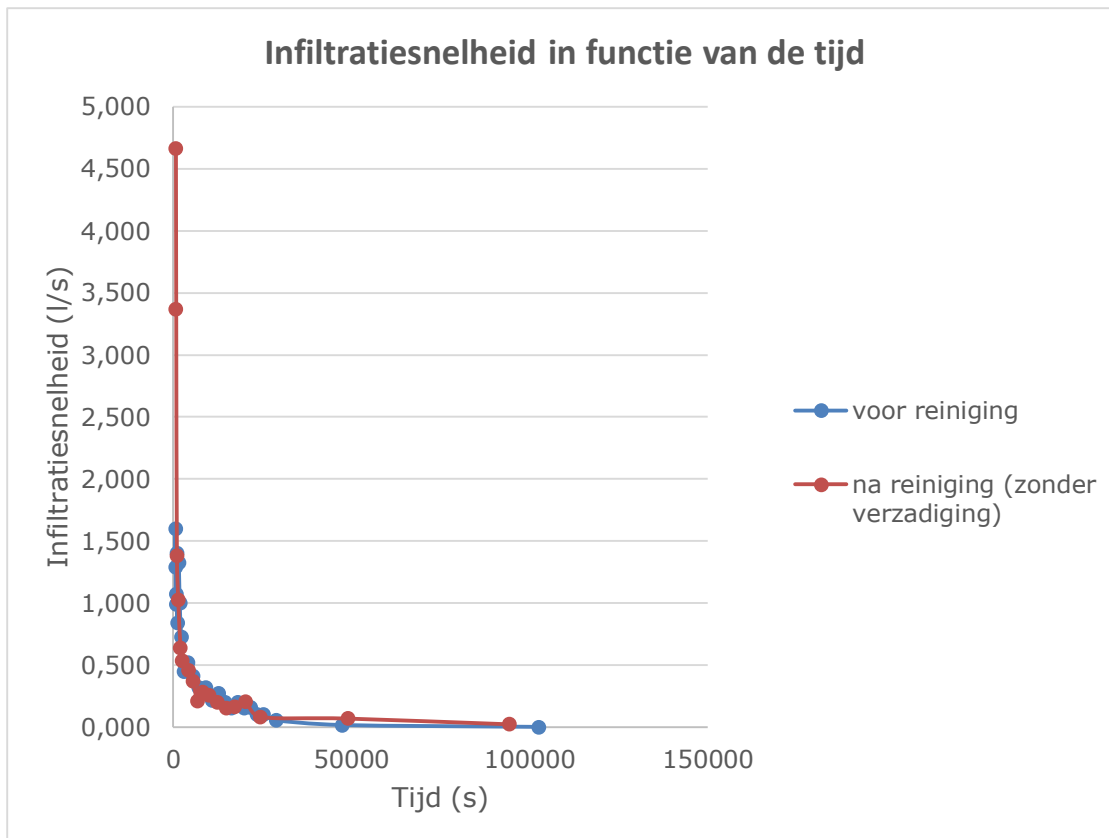
In onderstaande grafiek wordt de daling van de waterhoogte weergegeven in functie van de tijd.



**Figuur 43: Waterhoogte voor en na reiniging (zonder verzadiging)**

Op deze grafiek is te zien dat de oranje curve tot een hoogte van ongeveer 30 centimeter onder de blauwe curve gelegen is. Dit wil zeggen dat de waterstand in het begin van deze proef sneller zakt dan in de proef voor de reiniging. Hieruit kunnen we besluiten dat een reiniging wel degelijk invloed heeft op de infiltratiecapaciteit van een poreuze betonbuis. Aan de andere kant is het opmerkelijk dat de oranje curve boven de blauwe gelegen is voor de onderste 30 centimeter. De reden hiervoor is dat de verzadiging na een droogteperiode van acht dagen nog niet volledig is weggetrokken. Met tot gevolg dat deze restverzadiging zorgt voor een vertraging van de infiltratiesnelheid naarmate de poriën in de ondergrond terug gevuld geraken.

Als we de infiltratiesnelheden van deze twee proeven uitzetten in functie van de tijd wordt volgende grafiek bekomen.



**Figuur 44: Infiltratiesnelheid in functie van de tijd**

Op deze grafiek is te zien dat de infiltratiesnelheid tijdens deze proef in het begin veel hoger gelegen is dan de proef die werd uitgevoerd voor de reiniging. Dit is te wijten aan het effect van de reiniging. In de hierop volgende periode kan de invloed van de resterende verzadiging gezien worden. De oranje curve komt namelijk onder de blauwe te liggen. Dit betekent dat het water in de proef voor de reiniging, na dezelfde tijd, sneller infiltreert dan in deze proef. In het laatste deel van de grafiek is te zien hoe de oranje curve terug van boven komt te liggen. Dit komt doordat de buis voornamelijk in het onderste kwart gewonnen heeft aan infiltratiecapaciteit, aangezien de buis op deze plaats het meest aangeslibd was. Het water op de bodem van de buis zal dus sneller infiltreren na het uitvoeren van een reiniging.

Uit deze drie voorgaande proeven kunnen enkele nieuwe besluiten getrokken worden.

Ten eerste wordt duidelijk dat het reinigen van een poreuze betonbuis wel degelijk nut heeft. Aangezien dit effect op een buis van tien jaren echter nog niet drastisch is kan de vraag gesteld worden om de hoeveel jaren het aan te raden is om een reiniging uit te voeren.

Daarnaast mag de invloed van de verzadiging van de ondergrond niet buiten beschouwing gelaten worden. Uit de eerste twee proeven blijkt dat ze na een korte periode een grote rol speelt en uit de laatste proef kan men concluderen dat deze na acht dagen van droogte nog steeds gedeeltelijk aanwezig is.

## 10 Reinigingsproef onder hoge druk

Bij twijfel over de functionaliteit van poreuze betonbuizen kan een reiniging uitgevoerd worden. Deze reiniging wordt meestal uitgevoerd onder een druk van om en bij de 100 bar. Er wordt voorgeschreven om zeker niet te reinigen met water onder drukken boven de theoretische grenswaarde van 150 bar omdat de vrees bestaat dat er betondeeltjes van de binnenkant van de buis afbrokkelen. Hierdoor zal de buis reduceren in wanddikte waardoor de draagkracht van de buis ook zal afnemen. Dit zou na meerdere reinigingen kunnen leiden tot scheuren in de wand of zelfs tot het volledig bezwijken van de buis.

### 10.1 Doel

Het doel van deze proef is om na te gaan in welke maten beton afbrokkelt in functie van de waterdruk. Indien mogelijk zal de druk worden opgevoerd tot er barsten in de buiswand verschijnen of totdat de buis volledig bezwijkt.

### 10.2 Proefopstelling

De poreuze betonbuis wordt onder een lichte helling op iets meer dan een halve meter van de grond geplaatst. Een zelfontworpen opvangnet, gerealiseerd uit ijzergaas met mazen van één vierkante millimeter, wordt over de buis geschoven en aangespannen. Aan de bovenzijde wordt een uitsparing voorzien waarlangs de darm en spuitkop in de buis gebracht zal worden. Het ijzernet laat water door en kan afgebrokkelde betondeeltjes opvangen zodat er na iedere meting een analyse van de hoeveelheid losgekomen deeltjes gedaan kan worden.

Aangezien de buis een licht-conische vorm heeft wordt de buis zo geplaatst dat het water schuin afloopt richting de mof, het uiteinde met de grootste diameter. Dit opdat de spanriem rond het ijzergaas onder invloed van het water onder hoge druk niet van de buis kan schuiven.

De reinigingswagen wordt langs de buis opgesteld zodat de darm over het ijzernet in de buis gebracht kon worden. De drukregelaar aan de achterzijde van de reinigingswagen ligt parallel langs de buis zodat deze ongestoord bediend kan worden.



Figuur 45: Bevestiging ijzernet

### 10.3 Metingen

De reinigingsproef wordt gestart onder een druk van 100 bar, met deze druk wordt er in de praktijk ook gereinigd. Er wordt een twintigtal seconden gespoten waarna er een korte pauze volgt voor het waarnemen van de hoeveelheid afgebrokkelde betondeeltjes. Bij een reiniging onder deze druk zou er dus geen sprake mogen zijn van loskomende deeltjes. Na een korte evaluatie van de staat van de buis wordt de druk opgevoerd met ongeveer 20 bar en opnieuw 20 seconden gereinigd.

Op deze manier wordt de druk telkens weer verhoogd en wordt de buis gecontroleerd op afgebrokkeld materiaal. De metingen worden gedaan tot de buis volledig bezwijkt of tot de maximumdruk van de reinigingswagen bereikt is.



**Figuur 46: Proefopstelling hogedrukmeting**

De reiniging wordt uitgevoerd door een Mercedes combiwagen (4-asser) van de Vlaamse firma DSSV, zie bijlage B. De combiwagen beschikt over een watertank van 6 m<sup>3</sup> en een slibtank van 14 m<sup>3</sup>. De reinigingswagen zou 182 liter per minuut kunnen pompen aan een druk van 400 bar, in de praktijk kwam dit overeen met een druk van 385 bar.



**Figuur 47: Combiwagen hogedrukreiniging**



## 10.4 Resultaten

Zoals verwacht kwamen er geen deeltjes los bij drukken onder de 150 bar. Ook bij drukken onder de 230 bar bleef de staat van de buis intact. Pas vanaf een druk van 250 bar begonnen de eerste betondeeltjes af te brokkelen. Belangrijk hierbij is om te weten dat deze deeltjes voorheen slijm- of slikhuid waren aan de binnenzijde van de buis. Slikhuid is een verzamelnaam voor uitstekende betondeeltjes die zijn blijven hangen na het verwijderen van de mal en behoort dus niet tot de werkelijke diameter van de buis.

De combiwagen bleef de druk stap voor stap verhogen en enkele kleine deeltjes slikhuid brokkelden af. Zelfs na het bereiken van de maximale druk van 385 bar worden er geen barsten of beschadigingen aan de binnenkant van de buis waargenomen.

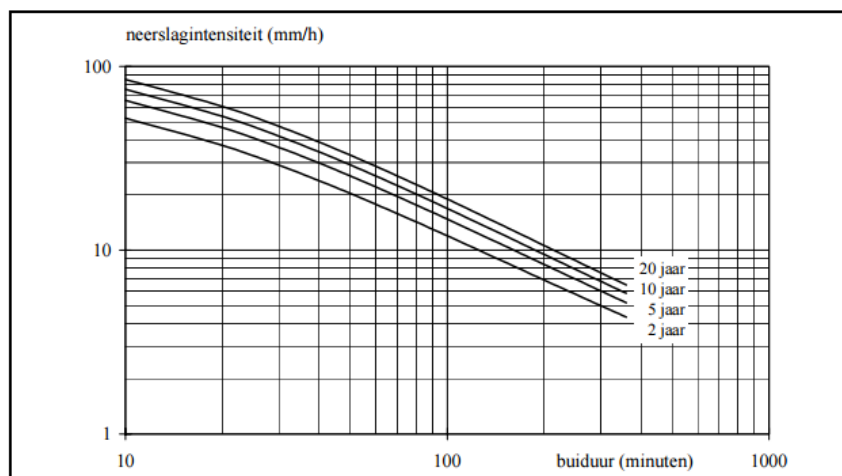
Aangezien het verwijderen van slikhuid geen negatieve invloed heeft op de functionaliteit en de sterkte van de buis mogen we zeggen dat de buis zijn oorspronkelijke toestand heeft behouden. Poreuze betonbuizen die tegenwoordig gemaakt worden kunnen dus zonder problemen gereinigd worden met drukken tot 385 bar. Deze proef is een goede referentie voor de kwaliteit van het beton en laat zien dat de buis een hoge levensverwachting heeft.



## 11 Berekening van de regenwaterafvoer

### 11.1 Ontwerpneerslag

Om een juiste buis te dimensioneren moet er rekening gehouden worden met hoeveel neerslag deze dient te verwerken. Deze hoeveelheid kan geschat worden met behulp van IDF-relaties (intensiteit, duur en frequentie). Deze relaties geven het verband tussen de neerslagintensiteit, de duur waarover deze neerslag valt en de frequentie waarmee de combinatie van deze twee vorige parameters voorkomt. Hieronder is een voorbeeld gegeven van een IDF-curve van metingen tussen 1967 en 1993 in Ukkel.



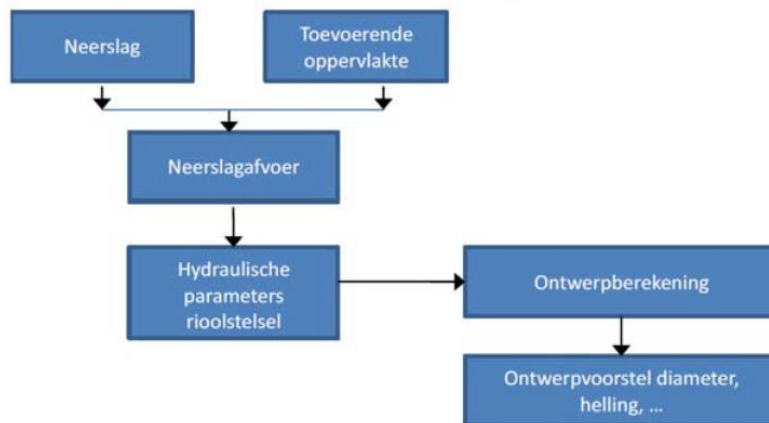
Figuur 48: IDF-relaties (Ukkel, 1967-1993) voor terugkeerperiode van 2, 5, 10 en 20 jaar [1]

Als men de hoeveelheid neerslag schat en men kan de oppervlakte van de weg en het aantal aangesloten daken achterhalen, dan kan men aan de hand van berekeningen de buis dimensioneren.

### 11.2 Type berekening

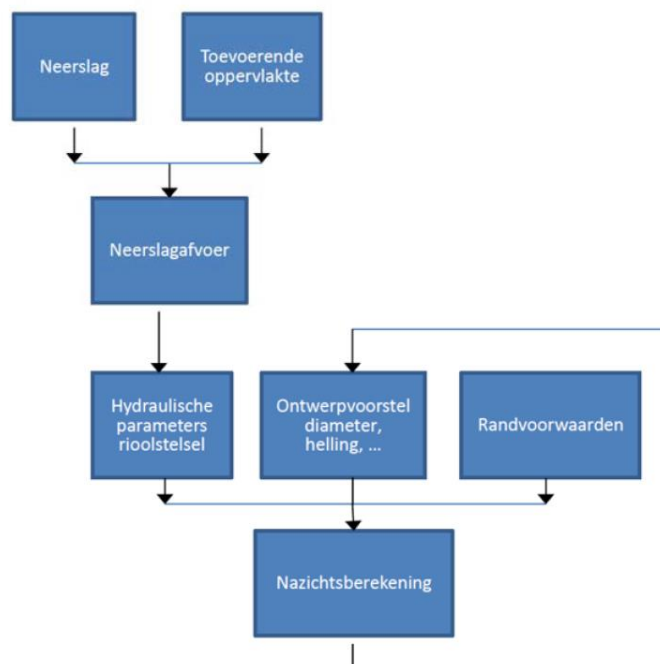
Er worden standaard twee berekeningen uitgevoerd: de ontwerpberekening en de nazichtsberekening.

De ontwerpberekening is een eenvoudige berekening die wordt gemaakt voor een eerste voorstel te doen over welke helling en diameter de betreffende poreuze betonbuis minstens moet hebben. In deze berekening wordt geen rekening gehouden met externe randvoorwaarden. Het principe van de berekening wordt hier schematisch weergegeven.



**Figuur 49: Schema ontwerpberekening [1]**

De berekening die hierop volgt is veel complexer. In de nazichtsberekening wordt, rekening houdend met externe randvoorwaarden, het stelsel in zijn geheel geanalyseerd. Zo wordt er rekening gehouden met de bergingscapaciteit en wordt de robuustheid van het systeem tegen overstroming nagegaan. Hieronder wordt het schema van de nazichtsberekening weergegeven.

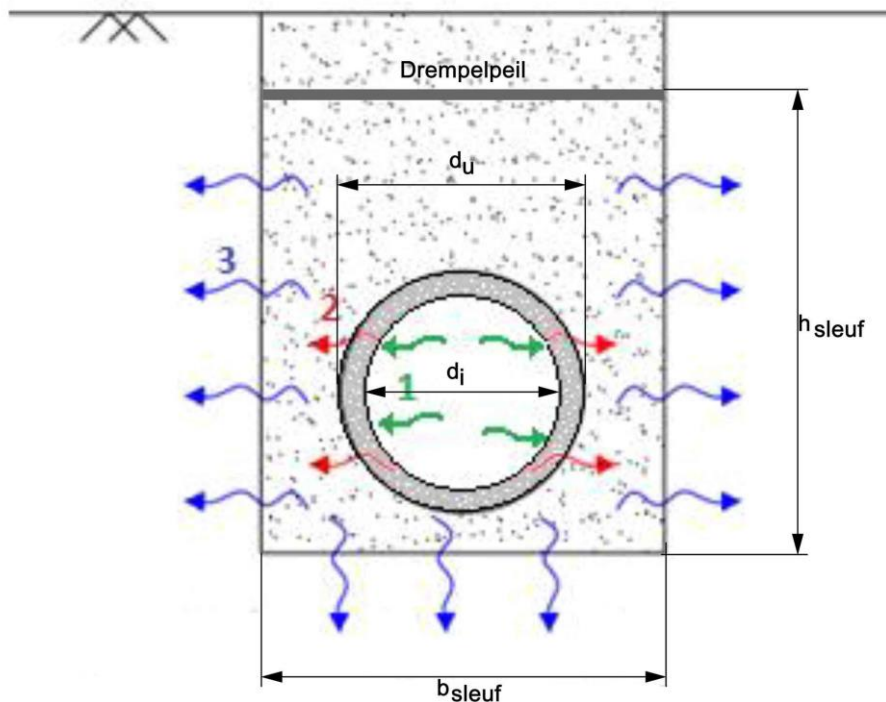


**Figuur 50: Schema nazichtsberekening [1]**

We zien dat enkele elementen in beide schema's terugkomen, namelijk de neerslag, de toevoerende oppervlakte, de neerslagafvoer en de hydraulische parameters van het rioelstelsel. De gegevens worden echter gedetailleerder bepaald voor de nazichtsberekening. Ondanks dat de nazichtsberekening een vollediger beeld geeft over de hydraulische werking van het rioelstelsel, blijft het toch nuttig om de ontwerpberekening uit te voeren. Deze geeft namelijk een eerste ontwerpvoorstel voor de helling en diameter van de buis. [1] [3]

## 12 Berekening poreuze betonbuizen

Alvorens de berekening aangevat kan worden, wordt er een theoretisch model beschouwd. Hier wordt het infiltratiesysteem opgedeeld in drie delen. Er wordt een systeem beschouwd tussen de overgang van de buis naar de wand van de buis. Vervolgens wordt er een tweede systeem beschouwd van de wand van de buis naar de sleuf. Tot slot wordt er een derde systeem beschouwd waarin de infiltratie van de sleuf naar de ondergrond gebeurt. Het theoretisch model wordt weergegeven in Figuur 51.



Figuur 51: Theoretisch model [15]

### 12.1 Systeem buis – wand

In dit systeem zal de buis werken als buffer en wordt er doorheen de buis water geïnfiltreerd in de wand van de buis. De infiltratie kan beschouwd worden als de leegloop. Het leegloopdebiet kan berekend worden overeenkomstig met de formule opgenomen in de Code van goede Praktijk.

$$\text{ledigingsdebiet} = \frac{\text{infiltratiecapaciteit} * \text{infiltratieoppervlak}}{\text{afvoerende verharde oppervlakte}} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Onder het infiltratieoppervlak wordt de wand van de buis beschouwd waardoor weldegelijk infiltratie kan gebeuren. De onderkant van de buis zal na verloop van tijd dichtslibben waardoor de infiltratiecapaciteit van de bodem zal afnemen. Uit veiligheidsoverweging wordt de infiltratiecapaciteit van de bodem niet meegerekend en als niet doorlatend beschouwd.

Uit de metingen is gebleken dat naarmate er meer drukhoogte opgebouwd wordt, de infiltratie beter zal verlopen. Daarom is het ook nuttig om de overstort niet gelijk met de kruin van de buis te plaatsen, maar bij voorkeur zo hoog mogelijk. Door deze zodanig te plaatsen kan er drukhoogte opgebouwd worden en zal er ook infiltratie gebeuren doorheen de bovenkant van de buis. In de berekeningen zal de bovenkant dus wel als infiltrerend beschouwd worden. Er zal dus gerekend worden met een infiltratieoppervlakte dat 75 % van het buisoppervlak aan de binnenkant van de buis bedraagt.

De buizen worden gekeurd volgens het BENOR-merk waarin er voldaan moet worden aan een minimale k-waarde van  $2,5 * 10^{-4}$  m/s.

$$Q_{buis-wand} = \frac{2,5 * 10^{-4} * 0,75 * \pi * d_i * l}{A_v}$$

Met:

- $d_i$  = diameter van de binnenkant van de buis
- $A_v$  = Afvoerende verharde oppervlakte
- $Q_{buis-wand}$  = ledigingsdebiet bij de overgang van de binnenkant van de buis naar de wand van de buis
- $l$  = lengte van het systeem

Het ledigingsdebiet is afhankelijk van de oppervlakte van de binnenkant van de buis. Infiltratie zal enkel gebeuren doorheen de wand waar zich ook effectief water in de buis bevindt. Het ledigingsdebiet bij aanvang van de regen blijft dus beperkt tot de oppervlakte die zich onder het water bevindt. Om een berekening kunnen uit te voeren zal deze dus softwarematig moeten gebeuren en dit over infinitesimale tijdsintervallen waarin telkens rekening gehouden wordt met dit verschillende oppervlak. In deze berekening wordt er gebruik gemaakt van de tabel lineaire lediging, welke hiervoor een goede benadering is.

Het buffervolume in dit systeem bedraagt de binnenkant van de buis.

$$V_{buffer,1} = \frac{\frac{\pi * d_i^2}{4} * l}{A_v}$$

Met:

- $d_i$  = diameter van de binnenkant van de buis
- $V_{buffer,1}$  = buffervolume van het eerste systeem
- $l$  = lengte van het systeem
- $A_v$  = Afvoerende verharde oppervlakte

## 12.2 Systeem wand – sleuf

Bij de infiltratie van de wand naar de sleuf zal gekeken worden welke k-waarde bepalend is. Er zal gerekend worden met de laagste infiltratiecapaciteit. Ook hier zal gerekend worden met het deel van de wand waardoor infiltratie kan gebeuren. Het infiltratieoppervlak zal hier dus 75% van het buisoppervlak aan de buitenkant van de buis bedragen.

Indien:  $k_{buis} \geq k_{sleuf}$

$$Q_{wand-sleuf} = \frac{k_{sleuf} * \pi * d_u * l}{A_v}$$

Indien:  $k_{buis} \leq k_{sleuf}$

$$Q_{wand-sleuf} = \frac{k_{buis} * \pi * d_u * l}{A_v}$$

Met:

- $k_{buis}$  = infiltratiecapaciteit van de buis
- $k_{sleuf}$  = infiltratiecapaciteit van de sleuf
- $d_u$  = diameter van de binnenkant van de buis
- $A_v$  = Afvoerende verharde oppervlakte
- $Q_{wand-sleuf}$  = ledigingsdebiet bij de overgang van de binnenkant van de buis naar de wand van de buis
- $l$  = lengte van het systeem

Het buffervolume in dit systeem bedraagt de binnenkant van de buis en het poriënvolume van de wand van de buis.

$$V_{buffer,2} = \frac{\left( \frac{\pi * d_i^2}{4} + \left( \frac{\pi * d_u^2}{4} - \frac{\pi * d_i^2}{4} \right) * n_{buiswand} \right) * l}{A_v}$$

Met:

- $d_i$  = diameter van de binnenkant van de buis
- $d_u$  = diameter van de buitenkant van de buis
- $n_{buiswand}$  = percentage poriënvolume van de buiswand
- $V_{buffer,2}$  = buffervolume van het tweede systeem
- $l$  = lengte van het systeem
- $A_v$  = Afvoerende verharde oppervlakte

### 12.3 Systeem sleuf-ondergrond

De infiltratiecapaciteit van de ondergrond kan bepaald worden aan de hand van een infiltratiemeting die terplaatse van het project zal gebeuren. Afhankelijk van het aantal metingen zal hierop een bijkomende veiligheid genomen worden. Indien er minder dan 5 metingen gebeurd zijn zal er verder gerekend worden met een veiligheid van 2 op de meting met de laagste doorlatendheid.

Als infiltratieoppervlak wordt de zijkant en de onderkant van de sleuf beschouwd. De onderkant kan hierin wel meegerekend worden doordat hier geen aanslibbing optreedt. Er dient hierbij wel gekeken te worden of de grondwaterstand zich niet ter hoogte van de bodem van de sleuf bevindt. Indien dit het geval is zal enkel de zijwand van de sleuf, die zich boven de grondwaterstand bevindt, meegerekend kunnen worden.

Indien:  $k_{sleuf} \geq k_{ondergrond}$

$$Q_{wand-sleuf} = \frac{k_{ondergrond} * (2 * h_{sleuf} + b_{sleuf})}{A_v} * l$$

Indien:  $k_{sleuf} \leq k_{ondergrond}$

$$Q_{wand-sleuf} = \frac{k_{sleuf} * (2 * h_{sleuf} + b_{sleuf})}{A_v} * l$$

Met:

- $k_{ondergrond}$  = infiltratiecapaciteit van de ondergrond
- $k_{sleuf}$  = infiltratiecapaciteit van de sleuf
- $b_{sleuf}$  = breedte van de sleuf
- $h_{sleuf}$  = hoogte van de sleuf tot aan het drempelpeil
- $Q_{sleuf-ondergrond}$  = ledigingsdebiet bij de overgang van de binnenkant van de buis naar de wand van de buis
- $l$  = lengte van het systeem

Het buffervolume in dit systeem bedraagt de binnenkant van de buis, het poriënvolume van de wand van de buis en het poriënvolume in de sleuf.

$$V_{buffer,3} = \frac{\frac{\pi * d_i^2}{4} + \left( \frac{\pi * d_u^2}{4} - \frac{\pi * d_i^2}{4} \right) * n_{buiswand} + \left( b_{sleuf} * h_{sleuf} - \frac{\pi * d_u^2}{4} \right) * n_{sleuf}}{A_v} * l$$

Met:

- $d_i$  = diameter van de binnenkant van de buis
- $d_u$  = diameter van de buitenkant van de buis



- $n_{buiswand}$  = percentage poriënvolume van de buiswand
- $b_{sleuf}$  = breedte van de sleuf
- $h_{sleuf}$  = hoogte van de sleuf tot aan het drempelpeil
- $n_{sleuf}$  = percentage poriënvolume van de sleuf
- $V_{buffer,3}$  = buffervolume van het derde systeem
- $l$  = lengte van het systeem
- $A_v$  = Afvoerende verharde oppervlakte

Ter controle van deze berekening wordt het buffervolume in de proeven berekend aan de hand van de hoger opgestelde theorie. Vervolgens wordt deze vergeleken met de werkelijk bekomen waarde in de metingen.

## 12.4 Controle buffervolume

Ter controle wordt het systeem gecontroleerd bij de eerste meting. De eerste meting is gebeurd nadat er 17 kubieke meter water in de buizen is gelopen. De berekening gebeurt op basis van de meetresultaten van de proef voor reiniging. Het volume dat zich in de buis en in de put bevindt werd reeds berekend in paragraaf 9.1.2. Dit volume bedraagt 10,21 kubieke meter. Er bevindt zich dus 6,79 kubieke meter in de wand van de buis en in de sleuf rond de buis.

Hieruit wordt duidelijk dat het buffervolume van een systeem zich niet enkel binnen de buis bevindt maar dat er zich ook grote volumes water in de sleuf en in de wand van de buis bevinden.

Het volume water dat zich in de wand van de buis bevindt kan als volgt berekend worden.

$$V_{buis+wand} = ((\cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) * r^2 - (r-h) * \sqrt{r^2 - (r-h)^2}) * l_{buis})$$

$$V_{buis+wand} = (\cos^{-1}\left(\frac{0,4 - 0,558 - 0,1}{0,4}\right) * 0,4^2 - (0,4 - 0,558 - 0,1) * \sqrt{0,4^2 - (0,4 - 0,558 - 0,1)^2}) * 36$$

$$V_{buiswand} = 15,925 \text{ m}^3$$

$$V_{water \text{ in buiswand}} = (V_{buis+wand} - V_{buis}) * n_{buis}$$

$$V_{water \text{ in buiswand}} = (15,925 - 10,21) * 0,08$$

$$V_{water \text{ in buiswand}} = 0,457 \text{ m}^3$$

Vervolgens kan het water in de sleuf bepaald worden.

$$V_{water \text{ in sleuf}} = (b_{sleuf} * h_{sleuf} * l - V_{buis+wand}) * n_{sleuf}$$

$$V_{water\ in\ sleuf} = (1,4 * 0,858 * 36 - 15,925) * 0,3$$

$$V_{water\ in\ buiswand} = 8,19\ m^3$$

Er kan dus besloten worden dat er zich theoretisch 8,647 kubieke meter water kan bevinden in de wand van de buis en de sleuf. In de praktijk zien we dat er na 10 minuten zich hier al 6,79 kubieke meter water in bevindt. Op deze 10 minuten is de sleuf nog niet volledig kunnen vollopen dit kan verklaard worden aan de hand van de infiltratiecapaciteit van het materiaal dat zich in de sleuf bevindt.

$$V_{water\ in\ sleuf} = k_{sleuf} * A_{buiswand} * tijd$$

$$V_{water\ in\ sleuf} = 1,16 * 10^{-4} * \pi * 0,8 * 36 * (10 * 60 + 58)$$

$$V_{water\ in\ sleuf} = 5,17\ m^3$$

We zien dus dat er in de praktijk meer water in de sleuf is geraakt dan dat er theoretisch verwacht wordt. Er kan dus besloten worden dat deze berekening een veilige aanname geeft. In de uiteindelijke berekeningen zal er nog een extra veiligheid van 2 toegepast worden op deze infiltratiecapaciteit waardoor er met zekerheid kan gezegd worden dat het systeem niet zal falen. [15]

## 13 Voorbeeldberekening

Een verkaveling met een afwaterende oppervlakte van 0,75 hectare dient voorzien te worden van poreuze betonbuizen. Er dient gerekend te worden met een terugkeerperiode van vijf jaar. Er zullen buizen geplaatst worden met een binnendiameter van 600 mm. De buizen hebben een wanddikte van 110 mm. De k-waarde van de sleuf bedraagt 10 meter per dag. De k-waarde van de ondergrond bedraagt 0,68 meter per dag. De porositeit van de buis bedraagt 8 procent en deze van de sleuf bedraagt 40 procent. De sleuf heeft aan elke kant van de buis een overbreedte van 50 centimeter. Aan de boven en de onderkant wordt er 30 centimeter aanvulling voorzien. De lengte van de riolering bedraagt 350 meter.

### 13.1 Stelsel buis – wand

#### Ledigingsdebiet:

$$Q_{buis-wand} = \frac{k_{buis} * 0,75 * \pi * d_i * l}{A_v}$$

$$Q_{buis-wand} = \frac{2,5 * 10^{-4} * 0,75 * \pi * 0,6 * 350}{0,75}$$

$$Q_{buis-wand} = 0,165 \frac{m^3}{s * ha} = 165 \frac{l}{s * ha}$$

#### Buffervolume:

$$V_{buffer,1} = \frac{\frac{\pi * d_i^2}{4} * l}{A_v}$$

$$V_{buffer,1} = \frac{\frac{\pi * 0,6^2}{4} * 350}{0,75}$$

$$V_{buffer,1} = 131,9 m^3/ha$$

Vervolgens kan de overeenkomstige terugkeerperiode gecontroleerd worden in Tabel 12. Het ledigingsdebiet van de buis is dermate hoog dat deze waarden niet zijn opgenomen in de tabel. Door interpolatie kan er besloten worden dat dit systeem een terugkeerperiode van meer dan vijf jaar zal hebben.

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

Tabel 12: Nodige buffervolumes in functie van het maximaal doorvoerdebiet en de terugkeerperiode van de overlaat voor een constante en lineaire doorvoerrelatie bij een concentratietijd van 10 minuten [Vaes & Berlamont, 2004] [1]

## 13.2 Systeem wand – sleuf

### Ledigingsdebiet

$$k_{\text{buis}} \geq k_{\text{sleuf}}$$

Er wordt een veiligheid van 2 genomen op de infiltratiecapaciteit van de sleuf.

$$k_{\text{sleuf}} = \frac{10}{2} = 5 \frac{m}{\text{dag}} = 5,787 * 10^{-5} m/s$$

$$Q_{\text{wand-sleuf}} = \frac{k_{\text{sleuf}} * \pi * d_u * l}{A_v}$$

$$Q_{\text{wand-sleuf}} = \frac{5,787 * 10^{-5} * \pi * 0,82 * 350}{0,75}$$

$$Q_{\text{wand-sleuf}} = 0,0696 \frac{m^3}{s * ha} = 69,6 \frac{l}{s * ha}$$

### Buffervolume

$$V_{\text{buffer},2} = \frac{\frac{\pi * d_i^2}{4} * l + \left( \frac{\pi * d_u^2}{4} - \frac{\pi * d_i^2}{4} \right) * n_{\text{buiswand}} * l}{A_v}$$

$$V_{\text{buffer},2} = \frac{\frac{\pi * 0,6^2}{4} * 350 + \left( \frac{\pi * 0,82^2}{4} - \frac{\pi * 0,6^2}{4} \right) * 0,08 * 350}{0,75}$$

$$V_{\text{buffer},2} = 141,1 \frac{m^3}{ha}$$

Vervolgens kan de overeenkomstige terugkeerperiode gecontroleerd worden in Tabel 12. Ook hier kan er besloten worden dat het ledigingsdebiet van de buis zich niet in de tabel bevindt. Ook zien we dat het buffervolume sterk in de buurt komt van de waarde in de tabel bij een lager ledigingsdebiet. We kunnen dus besluiten dat ook dit systeem zal voldoen aan een terugkeerperiode van 5 jaar.

## 13.3 Systeem sleuf – ondergrond

### Ledigingsdebiet

Er wordt een veiligheid van 2 genomen op de infiltratiecapaciteit bekomen uit infiltratieproeven die ter plaatse van het project zullen gebeuren.

$$k_{\text{ondergrond}} = \frac{0,68}{2} = 0,34 \frac{m}{\text{dag}} = 3,935 * 10^{-6} m/s$$

$k_{sleuf} \geq k_{ondergrond}$

$$Q_{wand-sleuf} = \frac{k_{ondergrond} * (2 * h_{sleuf} + b_{sleuf}) * l}{A_v}$$

$$Q_{wand-sleuf} = \frac{3,935 * 10^{-6} * (2 * 1,41 + 1,41) * 350}{0,75}$$

$$Q_{wand-sleuf} = 0,007823 \frac{m^3}{s * ha} = 7,823 \frac{l}{s * ha}$$

### Buffervolume

$$V_{buffer,3} = \frac{\frac{\pi * d_i^2}{4} + \left( \frac{\pi * d_u^2}{4} - \frac{\pi * d_i^2}{4} \right) * n_{buiswand} + \left( b_{sleuf} * h_{sleuf} - \frac{\pi * d_u^2}{4} \right) * n_{sleuf}}{A_v} * l$$

$$V_{buffer,3} = \frac{\frac{\pi * 0,6^2}{4} + \left( \frac{\pi * 0,82^2}{4} - \frac{\pi * 0,6^2}{4} \right) * 0,08 + \left( 1,42 * 1,42 - \frac{\pi * 0,82^2}{4} \right) * 0,4}{0,75} * 350$$

$$V_{buffer,3} = 349,5 m^3/ha$$

Vervolgens kan de overeenkomstige terugkeerperiode gecontroleerd worden in Tabel 12. Het ledigingsdebiet is terug te vinden tussen 5 l/s/ha en 10 l/s/ha. Ook het buffervolume is groter dan de overeenkomstige minimale buffervolumes voor een terugkeerperiode van vijf jaar. We kunnen dus besluiten dat ook dit systeem zal voldoen aan een terugkeerperiode van vijf jaar.

## 14 Besluit

Uit de camera-inspecties is gebleken dat de buizen die 10 jaar geleden geplaatst werden nog steeds in een goede toestand verkeren. Er wordt geen schade opgemerkt. Ook kan er besloten worden dat de zandinfiltratie in werkelijkheid niet optreedt. De buizen worden na 10 jaar zeer proper bevonden.

Uit de infiltratieproef met extra drukhoogte is gebleken dat de drukhoogte een belangrijke rol speelt. Naarmate er meer druk kan opgebouwd worden zal de infiltratiesnelheid sterk toenemen. In de toekomst kan het dus voordelig zijn om de overstorten hoger te plaatsen zodat er mogelijkheid is tot drukopbouw in de buizen.

Uit de daaropvolgende infiltratieproeven is gebleken dat de infiltratiesnelheid zeker niet verloren is na 10 jaar. Er wordt eveneens opgemerkt dat de reiniging in dit stadium zeer weinig invloed heeft door de beperkte vervuiling van de buis. Een reiniging heeft dus wel een positief effect, maar deze is na 10 jaar nog niet noodzakelijk.

Uit de reiniging onder hoge druk kan besloten worden dat de buizen bestand zijn tegen zeer grote waterdrukken. Een reiniging onder een druk van 150 bar, zoals in de norm beschreven, zal dus geen nadelige invloed hebben op de duurzaamheid van de buis.

Uit de berekeningen en de vergelijking met de praktijk kan besloten worden dat deze veilig zijn en de werkelijkheid zeer goed benaderen. Er kan ook besloten worden dat het buffervolume zich niet beperkt tot de binnenkant van de buis. De infiltratie dient berekend te worden voor de drie verschillende systemen met ieder hun eigen infiltratiecapaciteit en infiltratieoppervlakte.

In een verdere studie kan de gebruiksvriendelijkheid van de berekening verbeterd worden door het ontwikkelen van een softwareprogramma. Met dit programma kan de werking van een poreuze betonbuis gesimuleerd worden.





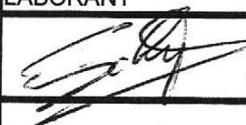
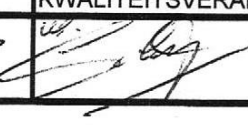
## 15 Literatuurlijst

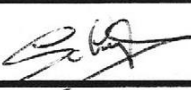
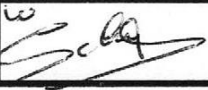
- [1] Vlarem, „Code van Goede Praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringssystemen,“ versie 2012.
- [2] „www.ede.nl,“ [Online]. Available: <https://www.ede.nl/wonen-en-leven/wonen-en-bouwen/water-en-riolering/riolering/rioleringssystemen/>. [Geopend 03 maart 2016].
- [3] „issuu,“ waterwegwijzer, [Online]. Available: <https://issuu.com/vlaanderen-be/docs/49b491b8-eea2-4706-874f-1f69f858a7a0/25?e=8963116/9478173>. [Geopend 05 november 2015].
- [4] „vlaamse milieumaatschappij,“ vmm, [Online]. Available: <https://www.vmm.be/water/bouwen/regenwater/18infiltratieput.bmp/view>. [Geopend 04 16 2016].
- [5] „www.dehamer.nl,“ de hamer, [Online]. Available: <http://www.dehamer.nl/producten/buizen/permeoblokken-r/>. [Geopend 5 maart 2016].
- [6] Probeton, „Technische voorschriften, PTV 104, uitgave 1,“ Belgisch instituut voor normalisatie (BIN), Brussel, 1994.
- [7] Probeton, „Technische voorschriften, PTV 104, Uitgave 1 Add. 1,“ Belgisch instituut voor normalisatie (BIN), Brussel, 2001.
- [8] Probeton, „Technische voorschriften, PTV 104, Uitgave 2,“ Belgisch instituut voor normalisatie (BIN), Brussel, 2004.
- [9] Probeton, „Technische voorschriften, PTV 104, Uitgave 3,“ Belgisch instituut voor normalisatie (BIN), Brussel, 2011.
- [10] Probeton, „Technische voorschriften, PTV 104, Uitgave 4 Ontwerp 3,“ Belgisch instituut voor normalisatie (BIN), Brussel, 2015.
- [11] European committee for standardization, „NBN EN 1916,“ Bureau voor normalisatie, Brussel, 2002.
- [12] „www.Vandervelden.com,“ Vandervelden riooltechniek, [Online]. Available: <http://www.vandervelden.com/diensten/diensten-en-service/infiltratierioleringen-reinigen>. [Geopend 20 april 2016].

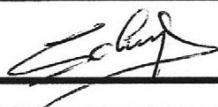

- [13] „hhofstede,” [Online]. Available:  
<http://www.hhofstede.nl/modules/hydrostatisch.htm>. [Geopend 15 maart 2016].
- [14] „buienradar,” RTL Nederland, [Online]. Available:  
<http://www.buienradar.be/>. [Geopend 25 april 2016].
- [15] T. Delvaux en T. Vansaet, „doks.xios.be,” 2008. [Online]. Available:  
<http://doks.xios.be/doks/do/record/Get;jsessionid=0136FD4E17DA8FB58807A406E31A4D38?dispatch=view&recordId=Sxhl8ae57e8c1d2a17f3011daaca2a1a0025&viewType=EtdMS>. [Geopend 25 mei 2016].



## 16 Bijlagen

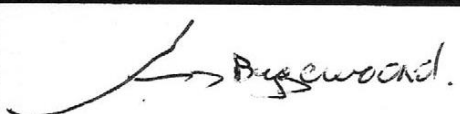
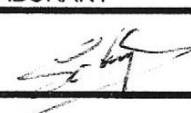
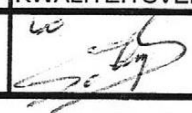
### Bijlage A: Metingen infiltratieproef en verbrijzelingsproef


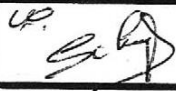
<b>DAGELIJKSE OPMETINGEN</b>						Form: B.Bu.07	
BUIS DIAM.:		400		NR.BUIS:		Dat.Prod.: 10/03/16	
<b>Proeven: Poreuze buizen</b>						Dat.Proef.: 17/03/16	
						Dat.opm.2011-08-09	
						Versie 2 Biz: 1 /400	
<b>GEOMETRISCHE KENMERKEN (mm)</b>							
<b>Diam. mof</b>		<b>Diam. spie</b>		<b>Wandd. mof</b>		<b>Wandd. spie</b>	
Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal
401	401	401	402	108	109	88	89
Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde	
401		401,5		108,5		88,5	
<b>Lengte</b>		<b>Haaksheid</b>				<b>Rechtheid</b>	
Lu 1	Lu 2	S1	S2	R1	R2	Zijde X	Zijde Y
2013	2015	2013	2015	2046	2047	OK	OK
Gemiddelde		ES		EM			
2014		-1,5080685		-0,49193148			
<b>VERBRIJZELINGSPROEF POREUZE BUIS</b>							
<b>Proefbelasting (KN)</b>							
<b>Uiterste breuklast Fu</b>		<b>Resultaat (KN/M)</b>					
196,72		97,68					
<b>BEPALEN WATERDOORLATENDHEID</b>							
<b>lengte nt-poreuze spie</b>	$h_s$	m	0,14				
<b>aantal liter per min.</b>	$Q_1$	l/min	650				
	$Q_2$	l/min	649				
	$Q_3$	l/min	648				
	$Q_{gem}$	l/min	649				
<b>diameter</b>	D	m	0,4	0,4	0,4	0,4	
<b>stationaire hoogte</b>	H	m	1,45				
	k	m/s	0,000932				
<b>Datum</b>	<b>Nr.Buis</b>		<b>Resultaat</b>				
14/03/16	buis van	11/03/16	ok				
<b>RESULTAAT</b>	Deze dagproductie is conform en mag vrijgegeven worden						
<b>HANDTEKENING</b>							
<b>LABORANT</b>		<b>KWALITEITSVERANTW.</b>		<b>CONTROLEORGANISME</b>			
							

<b>DAGELIJKSE OPMETINGEN</b>						Form: B.Bu.07					
						BUIS DIAM.: 400		NR.BUIS:		Dat.Prod.: 22/10/15	
						<i>Proeven: Poreuze buizen</i>		Dat.Proef.: 29/10/15		Dat.opm.2011-08-09	
								Versie 2		Blz: 9/400	
<b>GEOMETRISCHE KENMERKEN (mm)</b>											
<b>Diam. mof</b>		<b>Diam. spie</b>		<b>Wandd. mof</b>		<b>Wandd. spie</b>					
Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal				
401	402	402	402	110	112	90	89				
Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde					
401,5		402		111		89,5					
<b>Lengte</b>		<b>Haaksheid</b>		<b>Rechttheid</b>							
Lu 1	Lu 2	S1	S2	R1	R2	Zijde X	Zijde Y				
2003	2005	2003	2005	2038	2041	OK	OK				
Gemiddelde		ES		EM							
2004		-2,53		0,53							
<b>VERBRIJZELINGSPROEF POREUZE BUIS</b>											
<b>Proefbelasting (KN)</b>		<b>Resultaat (KN/M)</b>									
<b>Uiterste breuklast Fu</b>											
180,31		89,98									
<b>BEPALEN WATERDOORLATENDHEID</b>											
<b>lengte nt-poreuze spie</b>	$h_s$	m	0,11								
<b>aantal liter per min.</b>	$Q_1$	l/min	625								
	$Q_2$	l/min	628								
	$Q_3$	l/min	626								
	$Q_{gem}$	l/min	626								
<b>diameter</b>	D	m	0,4	0,4	0,4	0,4					
<b>stationaire hoogte</b>	H	m	1,43								
	k	m/s	0,000886								
<b>Datum</b>	<b>Nr.Buis</b>		<b>Resultaat</b>								
23/10/15	buis van	22/10/15	ok								
<b>RESULTAAT</b>	Deze dagproductie is conform en mag vrijgegeven worden										
<b>HANDTEKENING</b>											
<b>LABORANT</b>		<b>KWALITEITSVERANTW.</b>		<b>CONTROLEORGANISME</b>							
											

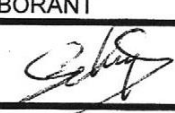
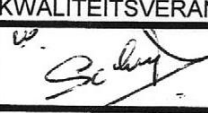
DAGELIJKSE OPMETINGEN						Form: B.Bu.07	
						Dat.Prod.: 13/10/15	
BUIS DIAM.: 400		NR.BUIS:		Dat.Proef.: 20/10/15		Dat.opm.2011-08-09	
Proeven: Poreuze buizen						Versie 2 Blz: 8/400	
<b>GEOMETRISCHE KENMERKEN (mm)</b>							
<b>Diam. mof</b>		<b>Diam. spie</b>		<b>Wandd. mof</b>		<b>Wandd. spie</b>	
Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal
401	403	401	400	115	117	85	87
Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde	
402		400,5		116		86	
<b>Lengte</b>		<b>Haaksheid</b>				<b>Rechtheid</b>	
Lu 1	Lu 2	S1	S2	R1	R2	Zijde X	Zijde Y
2012	2010	2012	2010	2047	2045	OK	OK
Gemiddelde		ES		EM			
2011		2,02		-0,02			
<b>VERBRIJZELINGSPROEF POREUZE BUIS</b>							
<b>Proefbelasting (KN)</b>		<b>Resultaat (KN/M)</b>					
<b>Uiterste breuklast Fu</b>							
198,47		98,69					
<b>BEPALEN WATERDOORLATENDHEID</b>							
<b>lengte nt-poreuze spie</b>	$h_s$	m	0,12				
<b>aantal liter per min.</b>	$Q_1$	l/min	620				
	$Q_2$	l/min	618				
	$Q_3$	l/min	618				
	$Q_{gem}$	l/min	619				
<b>diameter</b>	D	m	0,4	0,4	0,4	0,4	
<b>stationaire hoogte</b>	H	m	1,74				
	k	m/s	0,000599				
<b>Datum</b>	<b>Nr.Buis</b>		<b>Resultaat</b>				
14/10/15	buis van 13/10/15		ok				
<b>RESULTAAT</b>	Deze dagproductie is conform en mag vrijgegeven worden						
<b>HANDTEKENING</b>							
<b>LABORANT</b>		<b>KWALITEITSVERANTW.</b>		<b>CONTROLEORGANISME</b>			
							

DAGELIJKSE OPMETINGEN						Form: B.Bu.07	
						Dat.Prod.: 8/10/15	
BUIS DIAM.: 400		NR.BUIS:				Dat.Proef.: 15/10/15	
<i>Proeven: Poreuze buizen</i>						Dat.opm.2011-08-09	
						Versie 2	
<b>GEOMETRISCHE KENMERKEN (mm)</b>							
<b>Diam. mof</b>		<b>Diam. spie</b>		<b>Wandd. mof</b>		<b>Wandd. spie</b>	
Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal
401	402	402	401	116	118	89	87
Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde	
401,5		401,5		117		88	
<b>Lengte</b>		<b>Haaksheid</b>				<b>Rechtheid</b>	
Lu 1	Lu 2	S1	S2	R1	R2	Zijde X	Zijde Y
2019	2021	2019	2021	2051	2053	OK	OK
Gemiddelde		ES		EM			
2020		-2,0158416		0,015841584			
<b>VERBRIJZELINGSPROEF POREUZE BUIS</b>							
<b>Proefbelasting (KN)</b>							
<b>Uiterste breuklast Fu</b>		<b>Resultaat (KN/M)</b>					
204,54		101,26					
<b>BEPALEN WATERDOORLATENDHEID</b>							
<b>lengte nt-poreuze spie</b>	$h_s$	m	0,13				
<b>aantal liter per min.</b>	$Q_1$	l/min	641				
	$Q_2$	l/min	641				
	$Q_3$	l/min	641				
	$Q_{gem}$	l/min	641				
<b>diameter</b>	D	m	0,4	0,4	0,4	0,4	
<b>stationaire hoogte</b>	H	m	1,39				
	k	m/s	0,000989				
<b>Datum</b>	<b>Nr.Buis</b>		<b>Resultaat</b>				
9/10/15	Buis van 8/10/15		ok				
<b>RESULTAAT</b>	Deze dagproductie is conform en mag vrijgegeven worden						
<b>HANDTEKENING</b>							
<b>LABORANT</b>		<b>KWALITEITSVERANTW.</b>		<b>CONTROLEORGANISME</b>			
							

<b>DAGELIJKSE OPMETINGEN</b>						Form: B.Bu.07	
						Dat.Prod.: 5/10/15	
						Dat.Proef.: 12/10/15	
						Dat.opm.2011-08-09	
BUIS DIAM.: 400 NR.BUIS:				Versie 2 Blz: 6 /400			
<b>Proeven: Poreuze buizen</b>							
<b>GEOMETRISCHE KENMERKEN (mm)</b>							
<b>Diam. mof</b>		<b>Diam. spie</b>		<b>Wandd. mof</b>		<b>Wandd. spie</b>	
Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal
402	402	398	402	117	117	88	87
Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde	
402		400		117		87,5	
<b>Lengte</b>		<b>Haaksheid</b>				<b>Rechtheid</b>	
Lu 1	Lu 2	S1	S2	R1	R2	Zijde X	Zijde Y
1985	1987	1985	1987	2020	2018	OK	OK
Gemiddelde		ES		EM			
1986		0,02		-2,02			
<b>VERBRIJZELINGSPROEF POREUZE BUIS</b>							
<b>Proefbelasting (KN)</b>		<b>Resultaat (KN/M)</b>					
<b>Uiterste breuklast Fu</b>							
207,23		104,35					
<b>BEPALEN WATERDOORLATENDHEID</b>							
<b>lengte nt-poreuze spie</b>	$h_s$	m	0,12	0,12			
<b>aantal liter per min.</b>	$Q_1$	l/min	632	617			
	$Q_2$	l/min	633	619			
	$Q_3$	l/min	633	616			
	$Q_{gem}$	l/min	633	617			
<b>diameter</b>	D	m	0,4	0,4	0,4	0,4	
<b>stationaire hoogte</b>	H	m	1,53	1,46			
	k	m/s	0,000792	0,000850			
<b>Datum</b>	<b>Nr.Buis</b>		<b>Resultaat</b>				
7/10/15	buis van	5/10/15	ok				
12/10/15	buis van	5/10/15	ok				
<b>RESULTAAT</b>	Deze dagproductie is conform en mag vrijgegeven worden						
<b>HANDTEKENING</b>							
<b>LABORANT</b>		<b>KWALITEITSVERANTW.</b>		<b>CONTROLEORGANISME</b>			
							

				DAGELIJKSE OPMETINGEN		Form: B.Bu.07	
BUIS DIAM.:		400		NR.BUIS:		Dat.Prod.: 29/09/15	
<i>Proeven: Poreuze buizen</i>						Dat.Proef.: 6/10/15	
						Dat.opm.2011-08-09	
						Versie 2 Blz: 5 /400	
<b>GEOMETRISCHE KENMERKEN (mm)</b>							
<b>Diam. mof</b>		<b>Diam. spie</b>		<b>Wandd. mof</b>		<b>Wandd. spie</b>	
Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal
402	401	402	402	113	114	86	87
Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde	
401,5		402		113,5		86,5	
<b>Lengte</b>		<b>Haaksheid</b>				<b>Rechtheid</b>	
Lu 1	Lu 2	S1	S2	R1	R2	Zijde X	Zijde Y
2001	2000	2001	2000	2034	2037	OK	OK
Gemiddelde		ES		EM			
2000,5		-1,03		2,03			
<b>VERBRIJZELINGSPROEF POREUZE BUIS</b>							
<b>Proefbelasting (KN)</b>							
<b>Uiterste breuklast Fu</b>		<b>Resultaat (KN/M)</b>					
183,17		91,56					
<b>BEPALEN WATERDOORLATENDHEID</b>							
<b>lengte nt-poreuze spie</b>	$h_s$	m	0,12				
<b>aantal liter per min.</b>	$Q_1$	l/min	612				
	$Q_2$	l/min	611				
	$Q_3$	l/min	612				
	$Q_{gem}$	l/min	612				
<b>diameter</b>	D	m	0,4	0,4	0,4	0,4	
<b>stationaire hoogte</b>	H	m	1,7				
	k	m/s	0,000620				
<b>Datum</b>	<b>Nr.Buis</b>		<b>Resultaat</b>				
30/09/15	buis van	29/09/15	ok				
<b>RESULTAAT</b>	Deze dagproductie is conform en mag vrijgegeven worden						
<b>HANDTEKENING</b>							
<b>LABORANT</b>		<b>KWALITEITSVERANTW.</b>		<b>CONTROLEORGANISME</b>			
							
<i>29/09/15</i>							



						DAGELIJKSE OPMETINGEN		Form: B.Bu.07				
						BUIS DIAM.: 400		NR.BUIS:		Dat.Prod.: 16/12/14		
						<b>Proeven: Poreuze buizen</b>						Dat.Proef.: 5/01/15
												Dat.opm.2011-08-09
<b>GEOMETRISCHE KENMERKEN (mm)</b>												
<b>Diam. mof</b>		<b>Diam. spie</b>		<b>Wandd. mof</b>		<b>Wandd. spie</b>						
Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal					
401	402	401	402	108	110	85	87					
Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde		Gemiddelde						
401,5		401,5		109		86						
<b>Lengte</b>		<b>Haaksheid</b>				<b>Rechtheid</b>						
Lu 1	Lu 2	S1	S2	R1	R2	Zijde X	Zijde Y					
1995	1993	1995	1993	2032	2035	OK	OK					
Gemiddelde		ES		EM								
1994		-0,53		2,53								
<b>VERBRIJZELINGSPROEF POREUZE BUIS</b>												
<b>Proefbelasting (KN)</b>		<b>Resultaat (KN/M)</b>										
<b>Uiterste breuklast Fu</b>												
186,19		93,38										
<b>BEPALEN WATERDOORLATENDHEID</b>												
<b>lengte nt-poreuze spie</b>		$h_s$	m	0,11								
<b>aantal liter per min.</b>		$Q_1$	l/min	632								
		$Q_2$	l/min	635								
		$Q_3$	l/min	635								
		$Q_{gem}$	l/min	634								
<b>diameter</b>		D	m	0,4	0,4	0,4	0,4					
<b>stationaire hoogte</b>		H	m	1,1								
		k	m/s	0,001540								
<b>Datum</b>	<b>Nr.Buis</b>		<b>Resultaat</b>									
18/12/14	buis van 11/12/14		ok									
<b>RESULTAAT</b>		Deze dagproductie is conform en mag vrijgegeven worden										
<b>HANDTEKENING</b>												
<b>LABORANT</b>		<b>KWALITEITSVERANTW.</b>		<b>CONTROLEORGANISME</b>								
												

## Bijlage B: Reinigingswagen reinigingsproef onder hoge druk



### Mercedes, 4- assen met ADR- uitvoering:

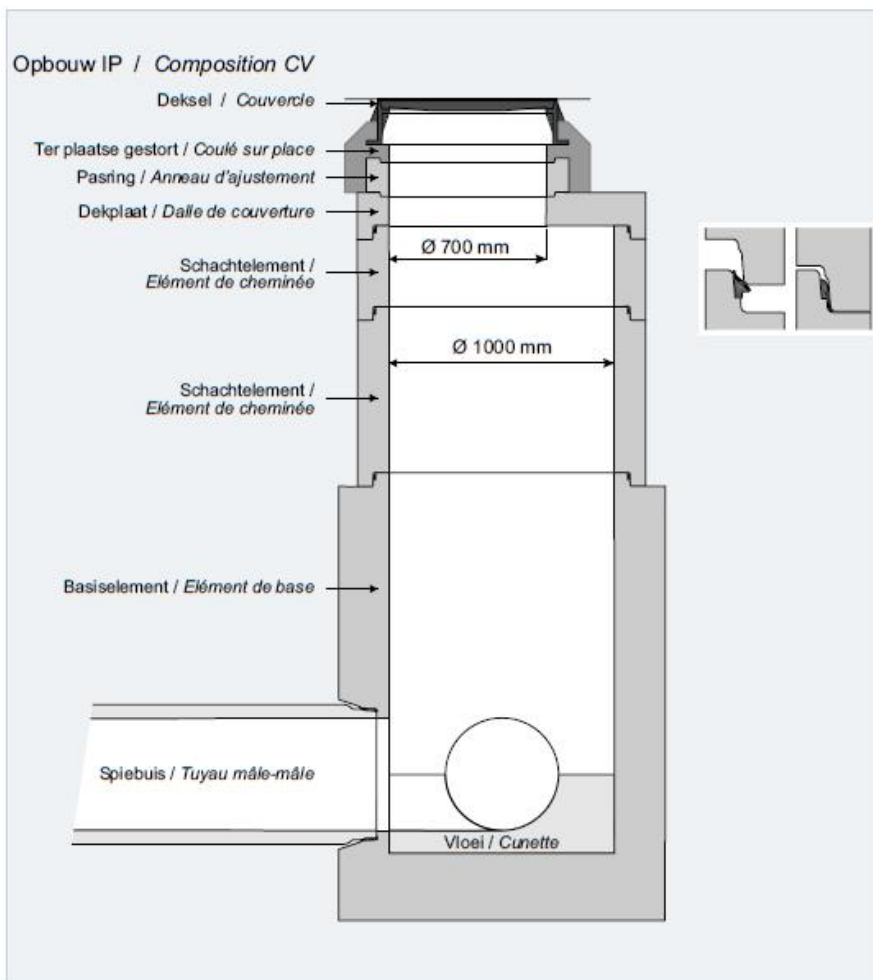
- watertank: 6 m<sup>3</sup>
- slibtank (inox): 14 m<sup>3</sup>
- hogedrukpomp KDU: 182 liter/ min. aan 400 Bar
- wateringspomp SIHI: 2700 m<sup>3</sup>/u
- 50 meter zuigslang
- 60 meter hogedrukslang van 1/2" Duim (rioolwerk)
- 100 meter hogedrukslang van 3/4 Duim (pistool - en klein rioolwerk)
- touwladder van 6 meter

Deze wagen heeft een inhoud van 13 m<sup>3</sup> of 11 ton laadvermogen

# Bijlage C: Opbouw van ronde inspectieput

## 5.2. Opbouw van een IP

## 5.2. Composition d'une CV



## Bijlage D: Opbouw vierkant infiltratieputten



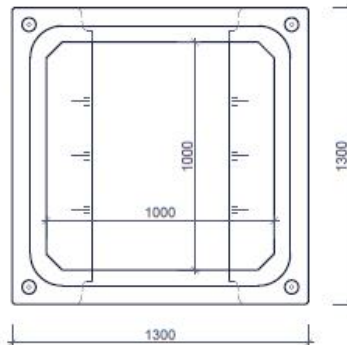
### VIERKANTE INSPECTIEPUT CHAMBRE DE VISITE CARRÉ MB 1000x1000

**Toepassing:**  
Inspectieput met geïntegreerde glijdichting voor betonbuis tot Ø 600mm  
Ook leverbaar met aansluitingen voor kunststofleidingen als pompput of trekput

**Application:**  
Connection avec joint incorporé pour tuyaux en béton max Ø600mm  
Aussi disponible avec connection pour tuyaux en plastique comme puit de pompage ou fosse de tirage

bovenaanzicht  
vue de dessus

4 kogelkopankers 2,5T  
ancres à tête sphérique 4x2,5T



Toebehoren in optie:  
Accessoires en option:



lijmblokken voor hoekverdraaiing  
blocs pour distorsion angulaire



schacht 1000x1000  
margelle carré 1000x1000



opzetstuk 1000x1000  
rehausse 1000x1000

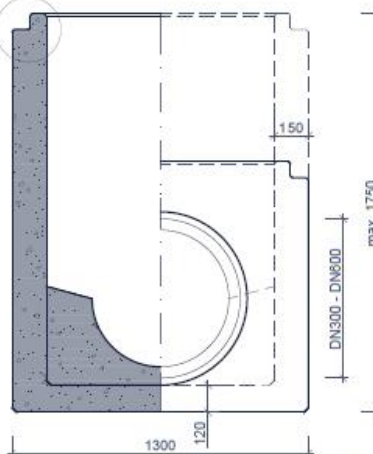


afdekplaat of conus  
plaque de couverture ou rehausse conique

doorsnede & aanzicht  
coupe & vue



met doorstroomprofiel  
avec cunette



Kenmerken		MB 1000x1000			Caractéristiques	
Hoogte (H) Hauteur (H)	geen aansluiting sans raccordement	aansluiting beton			raccordement en béton	
		DN 300	DN 400	DN 500	DN 600	
Min. uitwendig exterieur	600	650	750	910	1010	
Min. werkende de travail	480	470	570	720	820	
Max. werkende de travail	1630	1570	1570	1560	1560	
hoekverdraaiing distorsion angulaire per / par 5°	min. 5° max. 45°	aansluitingen in PVC: Ø 70 - Ø 630mm raccordement en PVC: Ø 70 - Ø 630mm				

afmetingen in mm - wijzigingen voorbehouden  
dimensions en mm - sous réserve de modifications

STRADUS AQUA NV | Transportieaan 1 | B-3600 Genk | T: (+32) (0)89 30 79 79 | F: (+32) (0)89 30 79 80 | info@stradus-aqua.be | www.stradus-aqua.be  
BTW BE0428352295 | RPR Tongeren | IBAN BE38 5645 1384 2672 | SWIFT-BIC: GKCCB333

Alle rechten voorbehouden. Reproductie verboden zonder voorafgaande toestemming.

Tous droits réservés. Reproduction interdite sans autorisation.

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**Duurzaamheid van poreuze betonbuizen als infiltratievoorziening**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**  
Jaar: **2016**

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,

**Hendrix, Dries**

**Wathion, Kevin**

Datum: **6/06/2016**