

Departement  
Industriële Wetenschappen

**Lessius**  
MECHELEN  
*Campus De Nayer*

Master in de industriële wetenschappen: Bouwkunde

# Studie naar afzetting van sedimenten bij afkoppeling van het rioolsysteem van Oud- Turnhout

Masterproef voorgedragen tot  
het behalen van de beroepstitel  
van industrieel ingenieur.

Academiejaar 2010-2011

Door:

Promotor hogeschool:

Promotor bedrijf:

Vanderghote Steven  
Weyers Sven  
Dr. Ir. T. De Mulder

Ir. G. Sterk









Departement  
Industriële Wetenschappen

**Lessius**  
MECHELEN  
*Campus De Nayer*

Master in de industriële wetenschappen: Bouwkunde

# Studie naar afzetting van sedimenten bij afkoppeling van het rioolsysteem van Oud- Turnhout

Masterproef voorgedragen tot  
het behalen van de beroepstitel  
van industrieel ingenieur.

Academiejaar 2010-2011

Door:

Promotor hogeschool:

Promotor bedrijf:

Vanderghote Steven  
Weyers Sven  
Dr. Ir. T. De Mulder

Ir. G. Sterk





## Voorwoord

Het onderzoek in deze masterproef was voor ons beide een zeer leerrijke en boeiende ervaring. Hiermee maken we een mooi einde aan ons masterjaar in de Industriële Wetenschappen Bouwkunde. We bedanken graag alle mensen die het uiteindelijke resultaat mee mogelijk hebben gemaakt.

Eerst en vooral danken we Ir. G. Sterk van de KU Leuven (labo Hydraulica) voor het aanreiken van het onderwerp en het kritisch evalueren van de resultaten. Eveneens bedanken we onze interne promotor dr. Ir. T. De Mulder voor de nodige begeleiding en nuttige opmerkingen gedurende het jaar. We bedanken tevens de K.U. Leuven voor het ter beschikking stellen van de software InfoWorks CS.

Daarnaast willen we Ir. G. Drooghmans, hoofd van de technische dienst van Oud-Turnhout, bedanken voor het mee nadenken over de gestelde doelstellingen en meezoeken naar oplossingen. We zijn hem tevens dankbaar voor het onderzoek dat we met hem in situ mochten uitvoeren in het rioolsysteem van Oud-Turnhout.

Verder richten we het dankwoord tot de Afdeling Milieu van de Groep Infrabo en in het bijzonder ing. Lic. I. Verlaeckt voor de hulp bij de omzetting van het netwerk naar InfoWorks CS.

Dr. Ir. G. Vaes van Hydrosan NV bedanken we voor het verkrijgen van de nodige neerslaggegevens en eerder uitgevoerd onderzoek. We bedanken Dr. Ir. T. Goormans en Prof. Dr. Ir. P. Willems van de K.U. Leuven voor de hulp bij het ingeven van neerslaggegevens in InfoWorks en onze vragen hierbij.

Ook bedanken we Aquafin NV dat we dit onderzoek mochten uitvoeren met gegevens afkomstig van hen.

Tot slot bedanken we onze ouders en familie voor hun steun en omdat ze ons de mogelijkheid hebben gegeven tot het volgen van deze opleiding.

Steven Vanderghote  
Sven Weyers

*“Deze scriptie vormt een onderdeel van een examen. De tijdens de masterproefverdediging geformuleerde opmerkingen zijn niet opgenomen in deze tekst.*

*De auteur geeft de toelating deze tekst op papier en digitaal voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor eigen gebruik. Elk ander gebruik valt onder de strikte beperking van het auteursrecht. In het bijzonder wordt gewezen op de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van tekstdelen.”*





## **Abstract**

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van het meest optimale afkoppelingsscenario voor een deel van het rioleringsnetwerk van Oud-Turnhout. Rekening houdend met de Code van Goede Praktijk, die een aantal voorwaarden rond overstortdagen vastlegt, en met zowel onderhouds-, milieu- als bouwkosten, werden verschillende afkoppelingsscenario's gedefinieerd.

De afkoppelingsscenario's zijn gebaseerd op een combinatie van het afkoppelen van het straatoppervlak en de daken van particuliere woningen van een deel van het rioleringsstelsel van Oud-Turnhout. Aan de hand van regenval data en het InfoWorks CS programma werden simulaties op de verschillende scenario's gemaakt. De resultaten van de simulaties werden vergeleken met praktijkmetingen van overstortfrequenties om het model te toetsen aan de bestaande toestand.

Hierna werd een aanpassing gedaan aan het model om het zo correct mogelijk aan de bestaande toestand aan te passen.

Verdere simulaties gaven een aantal scenario's die voldoen aan de Code van Goede Praktijk. Voor Oud-Turnhout stelt deze Code een gemiddelde van zeven overstortdagen per jaar. Twee van de geteste scenario's beperken de overstortfrequentie tot nul dagen per jaar.

De onderhoudskosten worden in rekening gebracht door te kijken naar het risico van afzetting van sedimenten in het rioleringsstelsel. Het risico op afzetting wordt bepaald door de stroomsnelheid in de leidingen. In de kostenanalyse van de verschillende afkoppelingsscenario's werd eveneens rekening gehouden met eventuele subsidies van de Vlaamse overheid. Uit de kostenanalyse blijkt dat het afkoppelingsscenario waarbij het straatoppervlak volledig en de voorste helft van het dak afgekoppeld worden, het meest rendabel zijn.

*Trefwoorden:*

*Rioleringsstelsel*

*Afkoppelingsscenario*

*Overstortfrequentie*

*Kostenanalyse*



## **Abstract**

The main purpose of this research is to obtain the most optimal decouplingscenario for a part of the sewerage system of Oud-Turnhout. By taking the Code van Goede Praktijk, which sets the conditions for overflow frequencies, and maintenance, environmental as well as construction costs into consideration, different decoupling scenarios were defined.

The decoupling scenarios are based on a combination of decoupling the road surface and roof surfaces from a part of the sewerage system of Oud-Turnhout. On the basis of rainfall data and the InfoWorks CS program, simulations on the different scenarios were made. The results of these simulations were compared with measurements of overflow frequencies taken in the field.

Further simulations resulted in various scenarios that meet the standards of the Code van Goede Praktijk. For Oud-Turnhout the Code sets the standard at an average of overflow days at seven days a year. Two of the tested scenarios even limited the overflow frequency to zero days a year.

The maintenance costs are partly determined by the sedimentation in the sewerage system. This risk of sedimentation is determined by the velocity of the water that runs through the system. The cost analysis of the different decouplingscenarios also took into consideration possible grants that may be provided by the Flemish government. The analysis shows that the decouplingscenario, where the road surface is decoupled in full and the decoupling of the front half of the roof surfaces, is the most cost-efficient.

*Keywords:*

*Sewerage systems*

*Decouplingscenario*

*Overflow frequency*

*Cost analysis*



## Summary

### **Investigation on deposition of sediments with *decoupling the sewerage system* in Oud-Turnhout.**

This thesis was created with the purpose to investigate whether the combined sewerage system could be transitioned to a separate sewerage system causing the least inconvenience to the inhabitants of the municipality and whether a larger area could be transitioned. The financial and environmental aspects (overflows) as well as the deposition of sediments were of importance for this research. This thesis searches the method that optimizes the environmental effects and the impact on the inhabitants.

The stated problem was looked into by means of simulations in order to modulate and evaluate the behavior of the sewerage system.

To understand this behaviour, only a part of the sewerage system in Oud-Turnhout is considered. To achieve the different purposes of this thesis, it is recommended to use customized software, InfoWorks CS. The initial model was checked to make sure it sufficiently and accurately matched reality. For this check, InfoWorks CS was used.

This model was initially reviewed on the basis of the reports of Group Infrabo, which were made in 1995 and they already studied this subject. The results of these reports and our model were in agreement. The minor differences that occurred were due to the more recent used software.

After this check, a comparison was made with the current sewerage system. The current sewerage system is monitored by the VMM. This government based company has gathered the overflow data over the years. This information was obtained with the help of the technical department of Oud-Turnhout.

The data contained information about the duration of overflow and the overflow volume. The VMM also monitors rainfall data in the surroundings of Oud-Turnhout, particularly in Herentals and Loenhout. This rainfall data is registered by pluviographs and the data is available on the internet. These data were used to make simulations of overflow in our InfoWorks CS model. The results of these simulations were compared with the overflow data from the current sewerage system.

A first simulation showed that the current model didn't correspond well with the measurements. The model was adapted by setting the parameter of the runoff coefficient of unpaved surfaces to 15% in order to match the current overflow data as close as possible. This 15% is calculated by running simulations of the runoff coefficient. The reason for this adaption was that in the initial model, the rain on unpaved surfaces that flows to road surfaces was not taken into consideration.

After adjusting the runoff coefficient to 15%, there was decided that there is a match between the model and the current situation. It was agreed to use this model further on. The Adjusted Model now had to investigate the effects of overflow frequencies in several scenarios of decoupling the sewerage system.

To test this model, statistically representative rainfall data was necessary. A study of the literature indicated that for the calculations of overflow frequencies, continuous long-term rainfall data was necessary. This gives the most accurate and statistically representative results. Continuous long-term rainfall data from 1967 to 1993 in Ukkel was used in the various simulations.

Following scenarios are simulated:

- Adjusted Model: the current situation after adjustment of the runoff coefficient
- Scenario  $S_{100}D_0$ : completely decoupled road surface
- Scenario  $S_0D_{50}$ : 50% decoupled roof surface
- Scenario  $S_{100}D_{50}$ : completely decoupled road surface and 50% decoupled roof surface
- Scenario  $S_{100}D_{100}$ : completely decoupled road surface and completely decoupled roof surface
- Scenario  $S_0D_{100}$ : completely decoupled roof surface

Simulations show that scenario  $S_{100}D_{50}$  as well as scenario  $S_{100}D_{100}$  give the same average overflow frequency and overflow volume both equal to zero. The simulations of the other scenarios all resulted in higher overflow frequencies.

Scenarios  $S_0D_{50}$  and  $S_0D_{100}$  are used in further simulations but are not applicable for Oud-Turnhout as a wastewater discharge conduit will be constructed and the road surface is immediately decoupled from the sewerage system. After these simulations the financial aspect was looked at.

The maintenance, environmental and construction costs of the different simulations were examined. The maintenance cost was based on velocities. These velocities give an indication of where sedimentation is to be expected.

Simulations of the velocities in InfoWorks CS indicate that the risk of sedimentation is expected to be the highest in the most upstream conduits. The theoretical risk of sedimentation corresponds well with taken measurements of sedimentation.

The different scenarios give similar results, as expected. As more surfaces are decoupled, the velocities will decrease. All their velocities vary linear with an increasing disconnection rate. Except for scenario  $S_{100}D_{100}$ , which has a steep decline in velocity when it reaches full disconnection. This can result in a greater risk of sedimentation and therefore a higher maintenance cost when it reaches full disconnection.

When considering environmental aspects, the most optimal scenario should have no overflows. As this limits wastewater overflowing to the rivers. Scenario's complying with this condition are  $S_{100} D_{100}$  and  $S_{100} D_{50}$ .

Construction costs of all scenarios are compared with taking a maximum overflow frequency of seven calendar days a year into consideration and an overflow frequency of zero calendar days a year. Even though not all scenarios are applicable at the considered sewerage system, they may be in other parts of the country.

Another issue to taken into consideration is that, in principal, the VMM gives grants to local governments when they apply scenario  $S_{100} D_{100}$ .

Despite the possibility of a grant for scenario  $S_{100} D_{100}$ , scenario  $S_{100} D_{50}$  remains the scenario with the lowest construction cost when a maximum overflow frequency of seven calendar days is applied.

An overflow frequency of zero calendar days a year can only be achieved with scenarios  $S_{100} D_{100}$  and  $S_{100} D_{50}$ . Of these two scenarios, scenario  $S_{100} D_{50}$  is the most cost efficient when scenario  $S_{100} D_{100}$  doesn't receive grants. When scenario  $S_{100} D_{100}$  gets grants, it is slightly more cost efficient than scenario  $S_{100} D_{50}$ .





# Inhoudsopgave

Voorwoord.....	i
Abstract .....	ii
Abstract .....	iii
Summary.....	iv
Inhoudsopgave .....	vii
Lijst met gebruikte afkortingen .....	xi
Lijst met gebruikte symbolen .....	xii
Lijst met Figuren .....	xiii
Lijst met Tabellen .....	xv
Lijst met vergelijkingen.....	xvi
1. Inleiding .....	1
1.1. Situering en probleemstelling .....	1
1.2. Doelstellingen.....	1
1.3. Verloop van de Masterproef .....	2
2. Literatuurstudie en situering.....	3
2.1. Samenvatting.....	3
2.2. Gedrag van sedimenten in riolen .....	3
2.2.1. Inleiding .....	3
2.2.2. Oorsprong van rioolsedimenten .....	4
2.2.3. Transport en afzetting in riolen.....	5
2.2.4. Zelfreinigende aspecten van rioolstelsels .....	8
2.2.5. Studies – verschillende modellen.....	10
2.2.6. Conclusie.....	11
2.3. Afkoppeling.....	12
2.3.1. Afkoppelen .....	12
2.3.2. De droog weer afvoer (DWA) .....	13
2.3.3. Soorten stelsels.....	13
2.3.4. Hoe wordt er afgekoppeld?.....	16
2.3.5. Het actieplan van de overheid .....	17
2.3.6. Waarop letten bij afkoppelen?.....	17

2.3.7. Invloed van afkoppelen op RWZI .....	19
2.3.8. Conclusie .....	20
2.4. Ontwerp van het rioolstelsel.....	21
2.4.1. Algemeen .....	21
2.4.2. Ontwerpneerslag of maatgevende neerslag .....	22
2.4.3. Bepaling van de overstortfrequentie .....	22
2.4.4. Gebruik van buien om overstortfrequentie te bepalen .....	23
2.4.5. Aanbevelingen voor de aanpak van de overstortproblematiek.....	23
2.5. Gemeente Oud-Turnhout .....	24
2.6. InfoWorks CS.....	25
3. Controle rekenmodel .....	26
3.1. Algemeen .....	26
3.2. Rioleringsstelsel Oud-Turnhout .....	26
3.3. Gebied pompstation Neerstraat .....	27
3.4. Hydraulisch gedrag van het rioolstelsel volgens model Infrabo.....	29
3.5. Rioleringsstelsel in Infoworks CS.....	30
3.5.1. Complexiteit stelsel.....	30
3.5.2. Gegevens overstort Neerstraat .....	30
3.5.3. Gegevens pompstation Neerstraat.....	33
3.5.4. (Vrije) uitlaat .....	36
3.5.5. Modelleringsstelsel in Infoworks CS.....	36
3.5.6. Ingeven DWA.....	39
3.5.7. Ledigingstijd van het rioolstelsel.....	40
3.5.8. Impactstudie door Groep Infrabo .....	41
3.6. Controle model met rapport Groep Infrabo .....	41
3.6.1. Algemeen .....	41
3.6.2. Controle overstort Neerstraat .....	42
3.6.3. Controle pompen Neerstraat.....	44
3.6.4. Controle vrije uitlaat .....	46
3.6.5. Vergelijking model InfoWorks CS met rapport Groep Infrabo .....	46
3.7. Aangepast model .....	47
3.7.1. Algemeen .....	47

3.7.2. Aanpassing oppervlaktecoëfficiënt onverhard oppervlak .....	47
3.7.3. Impactstudie aangepast model .....	48
3.8. Controle regenbui VMM.....	49
3.8.1. Algemeen.....	49
3.8.2. Digitale meting overstort Neerstraat. ....	49
3.8.3. Neerslagbui VMM.....	50
3.8.4. Vergelijking overstortgegevens september 2010 .....	50
3.8.5. Vergelijking overstortgegevens neerslagreeks 6 jaar.....	54
3.8.6. Mogelijke oorzaken afwijkingen.....	55
3.9. Conclusie.....	58
4. Afkoppeling.....	59
4.1. Algemeen.....	59
4.2. Neerslaginvoer bij modellering in InfoWorks CS.....	60
4.2.1. Neerslag.....	60
4.2.2. Neerslag in functie van de toepassing.....	60
4.3. Aanmaken verschillende versies .....	62
4.3.1. Kwetsbaarheidsklassen .....	62
4.3.2. Gemiddeld perceel .....	64
4.4. Resultaten van de simulaties.....	67
4.4.1. Aangepast model.....	67
4.4.2. Afkoppelingsscenario S100 D <sub>0</sub> .....	67
4.4.3. Afkoppelingsscenario S <sub>0</sub> D50.....	66
4.4.4. Afkoppelingsscenario S100 D50 .....	67
4.4.5. Afkoppelingsscenario S100 D100 .....	67
4.4.6. Afkoppelingsscenario S <sub>0</sub> D <sub>100</sub> .....	70
4.4.7. Overstortvolume .....	70
4.5. Bespreking verschillende afkoppelingsscenario's. ....	70
4.6. Besluit .....	71
5. Kostprijsanalyse en risico op afzetting van sediment .....	73
5.1. Algemeen.....	73
5.2. Snelheidsonderzoek .....	74
5.2.1. Algemeen.....	74

5.2.2. Snelheden uit InfoWorks CS met composietbui (T=2jaar).....	75
5.3. Vergelijking theoretische risico op afzetting met in situ opgemeten afzetting .....	80
5.4. Afzettingen bij afgekoppelde scenario's.....	82
5.4.1. Volledige aanpassing van het rioolsysteem.....	83
5.4.2. Vergelijking afzetting bij afgekoppelde scenario's netwerk.....	84
5.5. Erosie in het rioleringsstelsel .....	88
5.6. Gedrag van overstortffrequentie bij afkoppeling van het rioolsysteem .....	88
5.6.1. Algemeen .....	88
5.6.2. Afkoppelingsscenario $S_{100}D_0$ .....	92
5.6.3. Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{50}$ .....	94
5.6.4. Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ .....	96
5.6.5. Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$ .....	100
5.7. Vergelijking van de afkoppelingsscenario's .....	102
5.7.1. Risico op afzetting .....	102
5.7.2. Kostprijsanalyse .....	103
6. Algemeen besluit en aanbevelingen.....	105
6.1. Algemeen besluit .....	105
6.2 Aanbevelingen.....	109
Referenties.....	110

## **Lijst met gebruikte afkortingen**

ASCE	: American Society of Civil Engineers
CVGP	: Code van goede praktijk
DWA	: Droog weer afvoer
IDF	: Intensiteit-duur-frequentie
RWZI	: Riolwaterzuiveringsinstallatie
RWA	: Regenwater afvoer
TAW	: Tweede Algemene Waterpassing
VLAREM	: Vlaams reglement betreffende de milieuvergunning
VMM	: Vlaamse Milieu Maatschappij

## Lijst met gebruikte Symbolen

$\tau$	: schuifspanning [N/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	: dichtheid van water = 1000 kg/m <sup>3</sup>
$g$	: valversnelling = 9,81 m/s <sup>2</sup>
$R$	: de hydraulische straal [m]
$S_f$	: verhang (meestal gelijk aan $S_0$ = de helling van het riool) [-]
$T$	: terugkeerperiode van een composietbui
$N$	: de verzadigingsbevolking
$p$	: de piekfactor = 1,2 tot 2,4
$B$	: breedte van de overstort [m]
$C_d$	: debietscoëfficiënt [-]
$Q$	: Debiet [m <sup>3</sup> /s]
$\varphi$	: oppervlakteafvloeiingscoëfficiënt
$A$	: oppervlakte [m <sup>2</sup> ]
$t$	: tijd [min]
$S$	: term die het straatoppervlak voorstelt
$D$	: term die het dakoppervlak voorstelt
$p_{RS}$	: percentage van het rioolsysteem dat afgekoppeld wordt (afkoppelingsgraad)
$k_{straat}$	: kostprijs(per lopende meter) voor de gemiddelde bovenbouw van een straat indien de verharding ongeveer 5 m breed is inclusief goot en boordsteen en zonder voetpad.
$k_{RWA}$	: kostprijs(per lopende meter) voor het aanleggen van een RWA systeem.
$k_{DV}$	: kostprijs(per lopende meter) voor het afkoppelen van de eerste helft van het dak.
$k_{DA}$	: kostprijs(per lopende meter) voor het afkoppelen van de 2 <sup>de</sup> helft van het dak.
$k_{tot}$	: kostprijs(per lopende meter) van het scenario om een bepaald percentage van het rioolsysteem af te koppelen.
$L_{tot}$	: totale lengte ( in meter) van het rioolsysteem dat bekeken wordt.
$\phi$	: diameter rioolbuis. [mm]

## Lijst met Figuren

Figuur 1: Diagram van Hjulström [8] .....	7
Figuur 2: Gemengd rioleringsstelsel CVGP [12].....	14
Figuur 3: Gescheiden rioleringsstelsel [12] .....	15
Figuur 4: Verbeterd gescheiden rioleringsstelsel [12] .....	15
Figuur 5: Plan situering Oud-Turnhout [13] .....	24
Figuur 6: Schets hoofdstrengen netwerk Oud - Turnhout .....	27
Figuur 7: Situering opwaarts netwerk pompstation Neerstraat .....	29
Figuur 8: Achterwaartse overstort [4] .....	30
Figuur 9: Uitlaat overstort in Pikloop .....	31
Figuur 10: Schutbalkjes in overstort.....	32
Figuur 11: Overstorten Neerstraat met leidingnummer .....	32
Figuur 12: Overstort 1 InfoWorks CS .....	33
Figuur 13: Vlotter.....	33
Figuur 14: Pompen Neerstraat met leidingnummer .....	34
Figuur 15: Pomp 1 InfoWorks CS .....	34
Figuur 16: Pomp 2 InfoWorks CS .....	35
Figuur 17: Grafiek debiet-opvoerhoogte pomp Flygt, type 3102.180 .....	35
Figuur 18: Ingegeven waarde afvalwater InfoWorks CS .....	40
Figuur 19: Ontwerpbui T2t60 .....	42
Figuur 20: Ontwerpbui T5t60 .....	42
Figuur 21: Ontwerpbui T2t120 .....	44
Figuur 22: Ontwerpbui T5t120 .....	45
Figuur 23: Digitale meting overstort .....	49
Figuur 24: Simulatie september 2010 in InfoWorks CS.....	51
Figuur 25: Grafiek 7 September 2010 .....	52
Figuur 26: Grafiek 9 September 2010 .....	52
Figuur 27: Grafiek 23 September 2010 .....	53
Figuur 28: Kalibratiecurve van een kantelbakpluviograaf [6] .....	57
Figuur 29: Composietbui T2.....	61
Figuur 30: Continue-lange-termijn neerslagreeks Ukkel 27 jaar.....	60
Figuur 31: Kwetsbaarheidskaart [25] .....	61
Figuur 32: Gemiddeld perceel Driedostraat te Oud-Turnhout .....	62
Figuur 33: Indeling gemiddelde perceel .....	63
Figuur 34: Runoff Areas .....	64
Figuur 35: Simulatie aangepast model .....	65
Figuur 36: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_0$ .....	66
Figuur 37: Afkoppelingsscenario $S_0 D_{50}$ .....	66
Figuur 38: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{50}$ .....	67
Figuur 39: Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$ .....	70

Figuur 40: Overstortvolumes .....	71
Figuur 41: Composietbui voor een terugkeerperiode van 2 jaar .....	75
Figuur 42: Simulatie aangepast model met composietbui $T=2j$ , maximale waterhoogtes ....	76
Figuur 43: Schets afzetting sedimenten bij aangepast model .....	80
Figuur 44: Sedimenten in meest stroomopwaartse put.....	82
Figuur 45: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_{100} D_0$ .....	85
Figuur 46: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_{100} D_{50}$ .....	86
Figuur 47: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_{100} D_{100}$ .....	87
Figuur 48: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_0 D_{100}$ .....	88
Figuur 49: Scenario $S_{100} D_0$ gedrag overstorten .....	92
Figuur 50: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_0$ , Kostprijs en gedrag overstortfrequentie. ....	93
Figuur 51: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{50}$ gedrag overstortfrequentie .....	94
Figuur 52: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{50}$ ,Kostprijs en gedrag van overstortfrequentie.....	95
Figuur 53: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ , gedrag overstortfrequentie .....	96
Figuur 54: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ , Kostprijsberekening en gedrag van overstortfrequentie met subsidies .....	97
Figuur 55: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ , Kostprijsberekening en gedrag van overstorten zonder subsidies.....	100
Figuur 56: Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$ , gedrag overstorten .....	100
Figuur 57: Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$ , Kostprijsberekening en gedrag van overstorten....	101
Figuur 58: Vergelijking van het risico op afzetting bij de verschillende scenario's .....	102



## Lijst met Tabellen

Tabel 1: Parameters verkregen bij omzetting .....	38
Tabel 2: Aangepaste parameters model .....	38
Tabel 3: Totaal aangesloten oppervlakte .....	39
Tabel 4: Overstortvolume bij neerslagbui $T=1/7j.$ & $T = 1/10j.$ .....	41
Tabel 5: Gegevens rapport Groep Infrabo, overstort Neerstraat .....	43
Tabel 6: Gegevens rapport Groep Infrabo, pompen Neerstraat.....	45
Tabel 7: Gegevens rapport Groep Infrabo, vrije uitlaat Neerstraat.....	46
Tabel 8: Overstortvolume aangepast model bij neerslagbui $T=1/7j.$ & $T = 1/10j.$ .....	48
Tabel 9: Gegevens digitale meting september 2010 [5] .....	50
Tabel 10: Simulatie september 2010.....	53
Tabel 11: Simulatie overstorten 6 jarige neerslagreeks.....	54
Tabel 12: Afzettingen sedimenten bij aangepast model.....	78
Tabel 13: Vergelijking theoretische met opgemeten afzetting sedimenten .....	81
Tabel 14: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_{100} D_0$ .....	85
Tabel 15: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_0 D_{50}$ .....	85
Tabel 16: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_{100}D_{50}$ .....	86
Tabel 17: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_{100}D_{100}$ .....	86
Tabel 18: Maximum snelheid in leiding 273 bij $S_0 D_{100}$ .....	87
Tabel 19: Scenario $S_{100}D_0$ gedrag overstorten .....	92
Tabel 20: Kostprijsberekening Afkoppelingsscenario $S_{100}D_0$ .....	93
Tabel 21: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{50}$ , gedrag overstortfrequentie .....	94
Tabel 22: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{50}$ , Kostprijsberekening zonder subsidies .....	95
Tabel 23: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ , gedrag overstortfrequentie .....	96
Tabel 24: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ ,Kostprijs berekening met subsidies .....	98
Tabel 25: Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ ,Kostprijsberekening zonder subsidies .....	100
Tabel 26: Afkoppelingsscenario $S_0D_{100}$ ,gedrag overstortfrequentie .....	100
Tabel 27: Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$ ,Kostprijsberekening.....	101
Tabel 28: Vergelijking kostprijzen bij scenario's volgens de huidige regelgeving.....	103
Tabel 29: Vergelijking van kostprijzen van verschillende scenario's zonder subsidies.....	103
Tabel 30: Vergelijking kostprijzen bij overstortfrequentie 0 mits toekenning van subsidies volgens huidige regelgeving .....	104
Tabel 31: Vergelijking kostprijzen bij overstortfrequentie gelijk aan nul zonder toekenning subsidies .....	104

## Lijst met Vergelijkingen

Vergelijking 1: Schuifspanning [8].....	7
Vergelijking 2: Berekening DWA [l/u] [12].....	13
Vergelijking 3: Berekening DWA [ m <sup>3</sup> /s] [12].....	13
Vergelijking 4: Kostprijsberekening .....	91

# **1. Inleiding**

## **1.1. Situering en probleemstelling**

Deze masterproef situeert zich in het kader van de milieuriichtlijnen voor water. Eén van de belangrijkste richtlijnen voor het waterbeleid is de Europese Kaderrichtlijn Water. Deze richtlijn dient er voor te zorgen dat de kwaliteit van het Europese oppervlakte- en grondwater in 2015 in orde is. De Europese Kaderrichtlijn Water verplicht de lidstaten om duurzaam met water om te springen.

Hiervoor moeten beheerplannen opgesteld worden per stroomgebied. Deze kaderrichtlijn werd in Vlaanderen vertaald in het decreet Integraal Waterbeleid. De Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM) is de motor achter het Integraal Waterbeleid. De VMM zorgt voor de Gemeentelijke investeringsprogramma's. Aangezien de uitbouw van de bovengemeentelijke waterzuiveringsinfrastructuur maar het gewenste resultaat oplevert als de gemeentelijke uitbouw gelijke tred houdt.

De gemeente Oud-Turnhout is bezig met het uitbreiden van de gemeentelijke saneringsinfrastructuur. Hiervoor moet het bestaande gemengde rioleringsstelsel omgebouwd worden naar een gescheiden stelsel. Om af te koppelen moet de gemeente dus de inwoners verplichten om al het hemelwater af te koppelen. Enkel in dat geval wordt er 100% van de rioleringswerken gesubsidieerd door het Vlaams Gewest.

De bedoeling van deze masterproef is om na te gaan of er met dezelfde middelen op een andere manier afgekoppeld kan worden waardoor er minder overlast is voor de inwoners van de gemeente en er meer gebied afgekoppeld kan worden. Hierbij wordt niet enkel gekeken naar het financiële aspect, maar ook naar het milieu aspect (overstorten) en de afzetting van sedimenten die in de toekomst kunnen plaatsvinden in het aangepaste rioleringsstelsel. Op basis hiervan wordt een weloverwogen manier gezocht om de milieueffecten en de haalbaarheid voor de inwoners te optimaliseren.

## **1.2. Doelstellingen.**

Het gesteld probleem zal onderzocht worden m.b.v. simulaties, dit is het modelleren en beoordelen van het gedrag van een rioleringsnetwerk. Om een beter beeld te krijgen van gedrag van het rioleringsstelsel wordt in deze masterproef enkel een deel van het rioleringsstelsel van Oud-Turnhout beschouwd. In vervolgonderzoek dient later geëvalueerd te worden in welke mate de in deze masterproef opgedane inzichten veralgemeend kunnen worden naar het volledige rioleringsstelsel van Oud-Turnhout en naar de rioolstelsels van gelijkaardige gemeenten. Voor het bereiken van de verschillende doelstellingen van deze masterproef is het nodig om met de software InfoWorks CS te werken.

### 1.3. Verloop van de Masterproef

Na dit inleidend hoofdstuk volgt in hoofdstuk 2 de literatuurstudie. Hierin staat alle informatie die nuttig kan zijn voor het verdere verloop van deze masterproef. Zo worden de afzetting van sedimenten, afkoppeling en het ontwerp van een rioolstelsel behandeld. Er wordt ook informatie gegeven over de gemeente Oud-Turnhout en het programma waarmee de simulaties worden uitgevoerd, namelijk InfoWorks CS.

In hoofdstuk 3 wordt nagegaan of het model nog voldoet aan de werkelijkheid. Na het situeren van het stelsel worden simulaties uitgevoerd om de resultaten hiervan te vergelijken met bestaande metingen. Dit gebeurt via neerslaggegevens van het gebied die verkregen werden. Het model wordt doorgerekend met de neerslaggegevens. Het model wordt verder aangepast zodat het model het best overeenkomt met de realiteit.

De overstortfrequentie van het model wordt vergeleken met de in situ gemeten overstortfrequentie.

In hoofdstuk 4 worden verschillende (5) scenario's opgesteld die oppervlakken of combinaties van oppervlakken afkoppelen. Voor elk scenario worden simulaties uitgevoerd om te kijken naar het gemiddeld aantal overstorten. Deze aantallen worden vergeleken met de voorgeschreven waarden uit de Code van Goede Praktijk. Hieruit volgen de scenario's die voldoen en waarmee verder gerekend kan worden. Er wordt ook gezocht naar het afkoppelingspercentage waarbij de overstort niet meer in werking zal treden.

Dit gebeurt in hoofdstuk 5 waar het gedrag van de overstorten in functie van de afkoppelingsgraad van het rioleringsstelsel nader worden bekeken. Samenhangend met de afkoppelingsgraad wordt een kostprijsberekening uitgevoerd, rekening houdend met mogelijke subsidies.

Daarnaast wordt het gedrag van sedimenten bij het optimale afkoppelingspercentage bekeken. Er wordt gekeken naar de snelheden om zo afzettingen te kunnen voorspellen. Dit is van belang om tot een goed besluit betreffende de manier van afkoppelen te komen, aangezien meer sedimentatie meer onderhoud vereist. De plaatsen waar de afzettingen van de sedimenten optreden in het hedendaags model worden vergeleken met waarnemingen op het terrein. Dit wordt onderzocht door inspectieputten te openen en de laagdikte van sedimenten op te meten. Het onderzoek wordt verricht naar de stroomsnelheden om de eventuele afzettingen in de verschillende scenario's te vergelijken en samen met de kostprijs een optimale afkoppeling te bekomen. Er wordt nagegaan of de mate van afkoppeling een effect heeft op de stroomsnelheid. Het laatste hoofdstuk is het besluit. Hierin worden alle belangrijke conclusies die in de verschillende hoofdstukken terug te vinden zijn herhaald. Verder worden er aanbevelingen voor verder onderzoek gegeven.

## **2. Literatuurstudie en situering**

### **2.1. Samenvatting**

Deze literatuurstudie omvat vijf onderwerpen die zorgen voor voldoende achtergrondkennis bij de masterproef.

In deel 1 van de studie: “gedrag van sedimenten in riolen” wordt onderzocht wat er al gedaan werd en gekend is omtrent het gedrag van sedimenten in riolen. In een eerste hoofdstuk wordt de oorsprong en natuur van rioolsedimenten beschreven. Dit is om een idee te krijgen van waar sedimenten komen en welke eigenschappen ze hebben.

Het tweede hoofdstuk gaat over het transport en afzetting van sedimenten in riolen. In het derde hoofdstuk worden de zelfreinigende aspecten van rioolstelsels behandeld. Vervolgens wordt in het vierde hoofdstuk de studie van de modellen besproken. Tot slot volgt er een conclusie over het gedrag van sedimenten in riolen en het onderzoek hiernaar.

In deel 2 van de studie wordt afkoppeling verder bestudeerd.

Eerst wordt gekeken wat afkoppelen juist is en welke verschillen er zijn tussen rioleringsstelsel. Hoe er afgekoppeld wordt, wordt besproken in het tweede hoofdstuk. Daarna volgt een hoofdstuk met aandachtspunten waar men moet opletten bij het afkoppelen. Het laatste hoofdstuk gaat over de invloed van afkoppelen op een RWZI. Ten slotte volgt de conclusie.

In deel 3 van de studie wordt dieper ingegaan op hoe het ontwerp van een rioleringsstelsel gebeurt. Enkele ontwerpparameters worden besproken. De ontwerpneerslag die ingevoerd wordt voor een simulatie bij een nazichtsberekening wordt verder uitgelegd, alsook neerslagbuien voor het bestuderen van overstortfrequenties. Vervolgens volgt een woordje toelichting over de gemeente Oud-Turnhout.

Tot slot volgt nog informatie over het programma waarmee de simulaties in de masterproef werden uitgevoerd, namelijk InfoWorks CS.

### **2.2. Gedrag van sedimenten in riolen**

#### **2.2.1. Inleiding**

Sinds 1960 doet men aan sedimentonderzoek voor riolen. Rond deze tijd kwam men tot inzicht dat rioleringen en RWZI's (rioolwaterzuiveringsinstallaties) een noodzaak zijn om de grote vervuiling in stedelijk gebied tegen te gaan. De kwaliteit van het geloosde water van de overstorten was immers erg slecht.

Er was er nog niet veel gekend over sedimenten. Bij de opmaak van rioleringsmodellen werd er dan ook geen rekening gehouden met sedimentafzettingen. Stilaan vond hierover wel meer en meer onderzoek plaats, waardoor de kennis over sedimenten uitbreidde.

Deze kennis wordt inmiddels meegerekend in de computersoftware voor studies. Enkele wetenschappers zijn van oordeel dat de algemene kennis om rioleringen te ontwerpen nu voldoende aanwezig is. Toch worden er op veel vlakken nog veronderstellingen gemaakt die niet steeds correct blijken te zijn. Extra onderzoek blijft bijgevolg nodig. [1], [4]

### **2.2.2. Oorsprong van rioolsedimenten**

Rioolsedimenten zijn deeltjes die verschillende oorsprongen hebben.

De sedimenten kunnen in 3 categorieën worden onderverdeeld:

- sanitaire,
- fijne regenwatersedimenten,
- steengruis (en zand van bouwprojecten).

De deeltjes, afkomstig van oppervlakken, komen los door de impact van regendruppels en stromen naar de riolen. De weggespoelde deeltjes komen in het rioolsysteem door de rioolkolken aan de kant van de weg en op parkings. Deze kolken hebben een capaciteit van een tiental liters. Sedimenten zullen hier ophopen tot de ophoping te groot is en verder in het rioleringsstelsel erodeert. [7]

Rioolsedimenten worden meestal meegevoerd met neerslagbuizen die via rioolkolken en drainage van eigendommen, sanitaire, commerciële en industriële installaties in het rioolstelsel terechtkomen. [2] De rol van rioolkolken voor het vasthouden van sedimenten en verontreinigde stoffen is van cruciaal belang.

De afbraak van de sedimenten en de interactie tussen de verschillende soorten sedimenten in riolen zijn nauwelijks bestudeerd.

In afvalwaterriolen zijn sedimenten meestal samenhangend door de oorsprong van hun deeltjes en komen voor met de aanwezigheid van vetten en biologische 'modder'.

In regenwaterriolen zijn sedimenten voor het grootste deel niet-organisch en hangen niet sterk samen. Toch kunnen sommige sedimenten cementgebonden zijn. Deze kunnen na enige tijd permanente afzettingen in de riolering vormen.

In een regenwaterriool zijn dat fijne regenwatersedimenten en steengruis. Bij een afvalwaterriool zijn het meestal organische sedimenten. De meeste riolen in Europa zijn echter gemengde rioolsystemen, dus de sedimenten bestaan uit een mix van deze drie, afhankelijk van de plaats in het systeem.

Veel van de bestaande gecombineerde rioolssystemen hebben flauwe hellingen en zullen een grote verscheidenheid aan hydraulische condities ondergaan. Als een initiële propere riool gedeeltelijk volloopt, is het onderworpen aan een stroming met sedimenten. Hier zijn de condities niet ideaal om bezinking te voorkomen. Deze bezinking zal een bedding veroorzaken die de beddingweerstand vergroot. De waterhoogte in de rioolbuis stijgt en de snelheid erin daalt.

Wanneer een sedimentbezinksel aanwezig is in de buis dan zal de algemene weerstand bestaan uit 2 componenten: één bepaald door de ruwheid van de buiswand, de ander bepaald door de ruwheid van het sedimentbezinksel.

In de bovenste stroomregimes komen er antidunnen en golven voor. Dit geldt voor open kanalen maar in een enkele rioolbuis kunnen alle vormen van stroomregimes voorkomen dus ook alle bijhorende beddingsvormen. In een cirkelvormige doorsnede zullen de losse sedimenten reageren met de buiswanden. De invloed van sedimentneerslag op de hydraulische prestatie is dus groot en daarom cruciaal.[3]

De drie belangrijkste karakteristieken van rioolsedimenten die gebruikt worden in basisvergelijkingen van sedimenttransport zijn:

- de korrelgrootte
- de specifieke zwaartekracht
- de bezinkingsnelheden.

De ophoping van sedimenten is meestal lineair of exponentieel met de tijd. De ophopingen van sedimenten kunnen vermeden worden door spoeling. Hier spelen veel parameters een rol in: regenintensiteit, regenvalhoogte, duur, wegspoelpieken, topografie van het gebied.[7] Eenmaal de structuur van een samenhangend bed verstoord is, zullen de deeltjes verwijderd en vervoerd worden op een soortgelijke manier als niet-cohesieve sedimenten. [4] De eigenschappen van kleine fracties niet-cohesieve sedimenten zijn gelijkaardig aan deze van klei. Ze hebben een belangrijke invloed op de afzetting van hun omgeving. Het zou nodig zijn om cohesie in rekening te brengen met sommige karakteristieken zoals bij erosie; de drempelwaarde van afschuivingskracht, de initiële stijfheid, consolidatie van de sedimenten en het percentage van de organische stoffen. Deze relaties werden nog niet geverifieerd of toegevoegd aan modellen. [7]

### **2.2.3. Transport en afzetting in riolen**

#### ***2.2.3.1. Transport***

In rioolstromen is er een continu proces van deeltjes die verwisselen tussen suspensie, de bedding en juist boven de bedding. De vergelijkingen die gelden voor rivieren kunnen niet zonder kritiek worden gebruikt voor het ontwerp van rioleringen.

De voorwaarden in leidingen zijn anders dan in rivieren. Buizen hebben vaste grenzen en duidelijk gedefinieerde doorsneden. Riolsedimenten zijn een complexe mengsel van cohesieve (organische) en niet-cohesieve materialen, dit vaak nog in verschillende lagen. [2]

Als afvalwater over een sedimentafzetting in een riool stroomt, zullen er hydrodynamische lift- en sleepkrachten aangrijpen op de sedimentafzetting. Als de resultante van deze krachten groter is dan het gewicht van de deeltjes gaat het deeltje in suspensie. Zijn deze krachten kleiner dan gaan de sedimentdeeltjes rollen of bezinken. [4]

Fijner, lichter materiaal heeft de neiging om te zweven in suspensie. Zwaardere materiaal zal al rollend of glijdend bewegen. Dit type van beweging wordt beïnvloed door de plaatselijke snelheidsverdeling. Deze snelheden langs wand zijn aanzienlijk lager dan de gemiddelde snelheid van de stroom.

De dominante deeltjes in suspensie tijdens droog en nat weer zijn ongeveer 40µm en zijn voor een groot deel afkomstig van sanitaire sedimenten. In alle stromen hebben de sedimenten in suspensie een lage bezinkingsnelheid. [2]

### ***2.2.3.2. Afzetting***

Als de stroomsnelheid of turbulentie daalt, zal er een netto afname gebeuren van de sedimenthoeveelheid die in suspensie is. Het materiaal verzameld bij de bedding kan vervoerd blijven als een stroom van deeltjes zonder afzetting. Als de stroomsnelheid te laag is zal het sediment niet meer getransporteerd kunnen worden. De stroomsnelheden waarbij afzetting optreedt zijn dus lager dan degene die vereist zijn om de deeltjes in suspensie mee te voeren.

Studies van bodemtransport in verschillende riolen tonen aan dat de meeste korrelige deeltjes (2 -10mm) verzameld worden in knikken in steilere rioolsecties. Bij de minder steile secties zullen de deeltjes meer gelijken op deeltjes in suspensie. In regenwaterriolen is de aanwezigheid van verschillende beddingsvormen in de grotere korrelige afzettingen de bepalende invloed op de weerstand tegen stromen. De effectieve duinruwheid kan tot 10% van de buisdiameter innemen. [2]

Bij DWA kunnen sedimentdeeltjes een sterk geconcentreerde laag vormen net boven het bed. Als een aanvankelijk propere riolering onderworpen is aan een sediment geladen stroming en de omstandigheden zijn niet voldoende om het ontstaan van een vast bed tegen te gaan dan zal er zich een afzetting ontwikkelen in de riool. Het zal ervoor zorgen dat de afzettingweerstand verloren gaat waardoor de hoogte van de verhanglijn verhoogt en de snelheid verlaagt. Intuïtief kan men zeggen dat een vermindering van de snelheid een vermindering van sedimenttransport zal veroorzaken en tot verdere afzetting zal leiden. De toegenomen bedding en de capaciteit van het toegenomen sedimenttransport zal schommelen met de inkomende sedimentlading en zal verdere afzetting voorkomen.



Een kleine hoeveelheid afzetting zal een voordeel hebben voor de beweging van de sedimenten. Dat komt omdat de graad van sedimenttransport samenhangt met de breedte van de bedding, welke groter kan zijn bij een aanwezige beddingsvorm dan bij de smalle sedimentstroom die aanwezig is bij een leiding vrij van afzettingen. Dit geldt evenwel alleen voor niet volledig gevulde buizen. [4]

### 2.2.3.3. Erosie

Het al dan niet in beweging komen of blijven van vaste deeltjes wordt eigenlijk bepaald door de grootte van de "schuifspanning"  $\tau$ .

De schuifspanning wordt berekend als volgt:

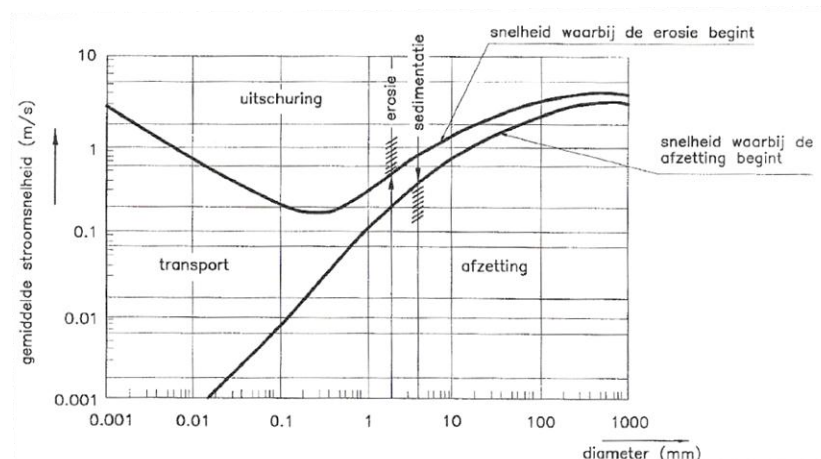
$$\tau = \rho g R S_f \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Vergelijking 1: Schuifspanning [8]

Hierin is:  $\rho$ : dichtheid van water =  $1000 \text{ kg/m}^3$ .  
 $g$ : valversnelling =  $9,81 \text{ m/s}^2$   
 $R$ : de hydraulische straal [m]  
 $S_f$ : verhang (meestal gelijk aan  $S_0$ = de helling van het riool) [-]

De schuifspanning en de snelheid in een gedeeltelijk vollopende rioolbuis wordt hoofdzakelijk bepaald door de helling, in mindere mate door het debiet en haast niet door de diameter. Erosie treedt op bij veel hogere snelheden dan de snelheid die nodig is om een deeltje in beweging te houden. De gemiddelde snelheid geeft daarom een beter beeld van wanneer de deeltjes zullen bezinken. Een algemene snelheid waarbij deeltjes terug zullen eroderen is moeilijk te bepalen. Aangezien de sleepkracht die de wrijvingskracht moet overwinnen afhankelijk is van de dichtheid van het deeltje. [8]

Deze conclusies volgen duidelijk uit het diagram van Hjulström (figuur 1).



Figuur 1: Diagram van Hjulström [8]

## **2.2.4. Zelfreinigende aspecten van rioelstelsels**

### **2.2.4.1. Definitie zelfreinigende rioel**

Een efficiënt zelfreinigend rioel is er een met een sedimenttransportcapaciteit die voldoende is om een evenwicht tussen erosie en afzetting te handhaven. Dit met een diepte van sedimentafzetting die de kosten van de constructie, het onderhoud en het voorkomen minimaliseert. Het belangrijkste aspect van deze definitie is dat de riolen niet noodzakelijk ontworpen worden om volledig vrij van sedimentafzettingen te werken.

De meest economische oplossing wordt steeds gezocht en daar kan enige afzetting mee gepaard gaan.[4]

Het debiet in een rioel is uiteraard veranderlijk in de tijd en de waterdiepte, de gemiddelde snelheid en de sleepspanning veranderen ook. Indien een rioel zodanig ontworpen wordt dat de gemiddelde snelheid voldoende groot is opdat het rioel zelfreinigend zou zijn voor een bepaald ontwerpdebiet (dit is het maximum debiet dat verwacht wordt tegen het einde van de ontwerpperiode) betekent dit niet noodzakelijk dat het rioel ook voor kleinere debieten zelfreinigend zal zijn.

Een behoorlijk ontworpen afvalwaterriool zou, niet alleen tegen het einde van de ontwerpperiode zelfreinigend moeten zijn maar ook voor het gemiddeld debiet, of tenminste voor het maximum debiet dat verwacht wordt bij het begin van de ontwerpperiode.

Het minimum debiet in regenwaterriolen zal wel nagenoeg 0 zijn. Maar een regenwaterriool zou ook zelfreinigend moeten zijn tijdens matige buien (bv. T=1 maand), wanneer het debiet significant kleiner is dan het debiet waarvoor het rioel ontworpen werd.

Het is zelden mogelijk gemengde riolen zo te ontwerpen dat ze zelfreinigend zijn bij minimum DWA, vermits ze voldoende ruim gedimensioneerd moeten zijn om regenwater af te voeren. Gemengde riolen zullen daarom aanslibben in perioden van droogweer en zijn afhankelijk van regenval voor de spoeling. Een oplossing kan zijn om voor een eivormige doorsnede te kiezen. Dit is als het ware een afvalwaterriool onder een regenwaterriool. In plaats van een cirkelvormige doorsnede kan men de stroomsnelheid en dus het zelfreinigend vermogen enigszins verbeteren bij geringe debieten. [8]

### **2.2.4.2. Ontwerpmethoden**

Conventioneel werd een minimale zelfreinigende stroomsnelheid opgegeven, die bereikt moet worden op een bepaalde diepte van de stroming of die met een bepaalde frequentie voorkomt. Deze aanpak was blijkbaar succesvol in veel gevallen, hoewel het geen verband hield met de kenmerken en de concentratie van het sediment of andere aspecten van het hydraulisch gedrag van de rioel.[4]

De meeste riolen worden ontworpen zodat ze zelfreinigend zijn. Om dit te verkrijgen moeten er grotere hellingen gebruikt worden en hogere stroomsnelheden.

De diameter van de leidingen is dan ook een belangrijke factor. Voor een gegeven sedimentgrootte, concentratie en ontwerpdebiet zullen smallere riolen steilere hellingen vereisen dan de bredere. Aan de andere kant tonen studies aan dat het ontwerpen met een beperkte bezinking kan leiden tot economische oplossingen.

Een doeltreffend zelfreinigend riool is dus een riool waarbij de capaciteit van het sedimenttransport voldoende is zodat er een balans is tussen de hoeveelheden van erosie en bezinking. Dit met een ontwerp dat de kosten van constructie en onderhoud beperkt. [6]

#### **2.2.4.3. Bewegingscriteria**

Uit de resultaten van veld- en laboratoriumonderzoek blijkt dat om de zelfreinigende prestaties te bereiken riolen moeten beantwoorden aan vereisten van;

- vervoer van een minimale concentratie van fijnkorrelige deeltjes in suspensie,
- vervoer van grover korrelig materiaal als bodemtransport,
- eroderen van cohesieve deeltjes uit een beddingafzetting.

Een ontwerp is afhankelijk van het type riool, de diameter van de buis, de kenmerken van de sedimenten en de concentraties die vervoerd moeten worden.[6]

Voor de ontwerpdebietsnelheid moet de schuifspanning (of de gemiddelde stroomsnelheid) een minimale waarde overschrijden om te bekomen dat de riool zelfreinigend is en dus geen sedimentatie moet gevreesd worden. Dit is ook zeer belangrijk met het oog op het vermijden van spoeffecten (first flush).

Daarom kiest men de helling zodanig dat gemiddelde schuifspanning bij het ontwerpdebiet groter is dan  $3 \text{ N/m}^2$  of dat de snelheid in de leiding bij het ontwerpdebiet groter is dan  $0,6 \text{ m/s}$ , liefst  $0,7 \text{ m/s}$ . Om erosie te vermijden moet de snelheid kleiner zijn dan  $3 \text{ m/s}$  voor gemengde riolen en  $6 \text{ m/s}$  voor hemelwaterriolen. Met ontwerpdebiet wordt hier het maximale debiet bedoeld dat zich voordoet bij een simulatie met de ontwerpdebietsnelheid voor een terugkeerperiode van 2 jaar. [12]

De eigenschappen die een invloed hebben op de minimum snelheid zijn: zwevende deeltjes in grote riolen, sediment concentratie, deeltjesgrootte en het soortelijk gewicht. Het minimum snelheidscriteria in riolen groter dan 500 mm diameter legt strenge voorwaarden op aan rioleringsontwerpen. Er worden grote hellingen en stroomsnelheden vereist, maar die blijken niet rendabel. Daarom worden riolen ontworpen met een toegelaten kleine beddingafzettingen, dit lijkt in praktijk een zinvoller alternatief. [6]

Indien het (om economische reden) onmogelijk is de minimale snelheden te realiseren, moet de rioolbeheerder de nodige maatregelen treffen voor het regelmatig ruimen van de riolen. [12]

#### **2.2.4.4. Ontwerpprocedures**

De voorgestelde ontwerpprocedure kan worden beschouwd als bestaande uit twee onderling afhankelijke onderdelen, namelijk:

- de hydraulische eigenschappen nodig om de vereiste sedimentbeweging te verkrijgen
- de effecten van de sedimenten op de hydraulische prestaties. [4]

#### **2.2.4.5. Zelfreinigende voorwaarden**

De grootte van het steengruis dat vervoerd moet worden is belangrijk. In huishoudelijke riolen is de grootste diameter van dat steengruis meestal tussen 1 en 5mm. Het materiaal in afvalwater kan geclassificeerd worden volgens grootte, staat van bezinking, suspensie en oplossing. [5]

Het concept van zelfreinigende riolering is gedefinieerd als een criterium van minimum afzetting of geen afzetting. Het concept veronderstelt dat sedimenten van 1 à 2 mm in beweging gehouden worden zonder permanente afzetting. [6]

#### **2.2.5. Studies – verschillende modellen**

Op het einde van de 20<sup>ste</sup> eeuw werden verschillende programma's ontworpen in vele landen voor het bestuderen van rioleringen. De sedimenten die voorkomen in de verschillende landen zijn soms deels biologisch, wat betekent dat zij nog kunnen veranderen gedurende het proces en dat zo de bedding in de rioleringen ook kan veranderen. Er is een grote verscheidenheid van stromingen in rioleringen, hierdoor zal de bedding dikwijls verstoord geraken.

Gecontroleerde laboratorium experimenten kunnen soms leiden tot het beter begrijpen van de sedimentenafzettingen in de verschillende secties van de riolering. Door in praktijk nazicht te doen en via laboratoria kan men de erosie ten gevolge van de sedimenten ook in kaart brengen. De controle van de sedimenten is erg belangrijk om de ontwikkeling van nieuwe, goede rioleringen en waterzuiveringsinstallaties te ondersteunen. Echter veel sedimentstudies zijn erg plaatsgebonden, de resultaten in een gemeenschappelijke samenvatting bundelen is niet quasi onmogelijk.

Een voorspelling maken van hoeveel rioolafval bezinkt, is dus moeilijk. Het is makkelijker om te voorspellen hoeveel sanitaire sedimenten een bevolking produceert door een paar lokale metingen uit te voeren. Deze kunnen dan onderling vergeleken worden ten opzichte van het gemiddelde van de metingen. Maar dan bepaalt nog niet hoe de sedimenten zich gedragen. De dichtheid, de cohesie en de snelheid blijven onbekend.

Het is erg belangrijk dat degenen die instaan voor het ontwerp van de riolering weten dat de kennis die ze gebruiken nog niet volledig op punt staat. Hiervoor is er immers een beter onderzoek nodig naar sedimenten in rioleringen. [1]

### **2.2.6. Conclusie**

Rioolsedimenten zijn een belangrijke factor in de alom vertegenwoordigde afvalwater- en regenwatersystemen. Er wordt getracht om de rioolsystemen meer economisch te gebruiken, daarom moedigen onderzoekers en mensen ‘in de praktijk’ aan om onderzoek te doen naar het gedrag van rioolsedimenten. Terwijl de meeste sedimenten niet organisch zijn en afkomstig zijn van verharde oppervlakken zijn er over het algemeen complexe mixen met grote organische tot zeer fijne kleideeltjes, die zich samenhangend gedragen onder sommige omstandigheden. In riolen is de toevoer van sedimenten bepaald bij droog weer door huiselijke inputs waaronder veel organische sedimenten. Bij nat weer komen de sedimenten van oppervlakken of van eerdere afzettingen.

De kennis van de sedimenten is sterk verbeterd zodat er nieuwe modellen ontwikkeld zijn voor de voorspelling van transport, afzetting en erosie. De nieuwe modellen voor sedimenttransport zowel in suspensie als aan de bedding vertrouwen op een aantal fundamentele wetten afkomstig van laboratorium studies terwijl er een groot verschil is met de rioolstroom in situ.

In de toekomst zullen er minder overstorten mogen plaatsvinden. Daarom zal het nodig zijn om de volumes regenwater te reduceren door afkoppeling waardoor ook de mogelijkheid om de sedimenten te transporteren zal afnemen. Het doel hierbij is een ontwerp te realiseren waarbij de riool zichzelf schoonmaakt op de pieken van de dagelijkse afvoer. [2]

Het onderzoek van sedimenten over de laatste 20 jaar heeft veel onthuld over hun gedrag, hun natuur, de effecten en hoe ze beter beheerd kunnen worden. Toch zijn er nog steeds veel gebieden waarvan de kennis gelimiteerd is. Bijzondere bekommernis is vooral het gebrek aan vertrouwen in de kwaliteit en de fysische processen van sedimentbeddingen, waar ze voorkomen en hoe ze terug kunnen eroderen. Verder onderzoek is dus nodig naar sedimentafzettingen in rioleringen. De kennis is nog niet voldoende om rioleringen perfect te ontwerpen. [1]

## 2.3. Afkoppeling

### 2.3.1. Afkoppelen

Het water dat toekomt op een zuiveringsinstallatie bestaat uit 3 delen, nl.:

- afvalwater (huishoudelijk & industrieel),
- regenwater,
- parasitair debiet.

Parasitair debiet is aangesloten oppervlaktewater en infiltratiewater dat in de riool sijpelt. Dit kan zijn door permanente drainage, infiltratie van grondwater, opgevangen bronnen, afgeleid oppervlaktewater, ...

Proper water dat in de riolering zit verdunt het afvalwater dat op de zuiveringsinstallaties toekomt. Door dit extra debiet gaan bovendien de overstorten van het rioleringsstelsel vaker werken waardoor de efficiëntie ervan afneemt. Zo komt er sneller ongezuiverd water in onze waterlopen terecht.

In de verschillende rioolstelsels van Europese landen zijn belangrijke hoeveelheden parasitair water opgemeten aan de inputzijde van zuiveringsinstallaties. Afhankelijk van de situatie kan dit gaan van 30 tot zelfs 50% van het totale jaarlijkse debiet. Om dit te vermijden of te beperken moet er afgekoppeld worden.

Hierbij wordt er voor gezorgd dat het parasitair debiet en het regenwater niet meer met het afvalwater vermengd wordt. De parasitaire debieten moeten opgespoord en in principe afgekoppeld worden. [9]

Volgens de Code van goede praktijk is het verboden hemelwater te lozen in de openbare riolering wanneer het technisch mogelijk of noodzakelijk is dit hemelwater gescheiden van het afvalwater te lozen in een oppervlaktewater of een kunstmatige afvoerweg voor hemelwater. Er is dus een absolute verplichting om huishoudelijk afvalwater te lozen in de openbare riolering wanneer die aanwezig is en om hemelwater uit de openbare riolering te houden wanneer het technisch mogelijk of noodzakelijk is. De aansluitingsplicht op riolering is ook absoluut en direct afdwingbaar. [12]

Er wordt gesteld worden dat het afkoppelen van verharde oppervlakten, (hiermee wordt bedoeld afkoppelen van hemelwater) op de diverse terreinen dient doorgevoerd te worden: -afkoppelen van hemelwater op het niveau van de woningen (daken en opritten), -afkoppelen van afstromend hemelwater van wegen, -afkoppelen van niet - verontreinigd hemelwater van ingedeelde inrichtingen (bedrijfsgebouwen, parkings, ...). [12]

### 2.3.2. De droog weer afvoer (DWA)

Dit is het huishoudelijk afvalwater dat afgevoerd wordt. Als ontwerpparameter wordt gerekend met een (gemiddelde) dagelijkse productie van huishoudelijk afvalwater van 150 l/inwoner. Het afvalwater wordt niet gelijkmatig over 24 uur geloosd.

Men heeft:

$$DWA_{MAX} = \frac{p(150 \times N)}{24} [l/u]$$

Vergelijking 2: Berekening DWA [l/u] [12]

Of:

$$DWA_{MAX} = \frac{p(0,150 \times N)}{24} [m^3/u]$$

Vergelijking 3: Berekening DWA [ m<sup>3</sup>/s ] [12]

Waarin:

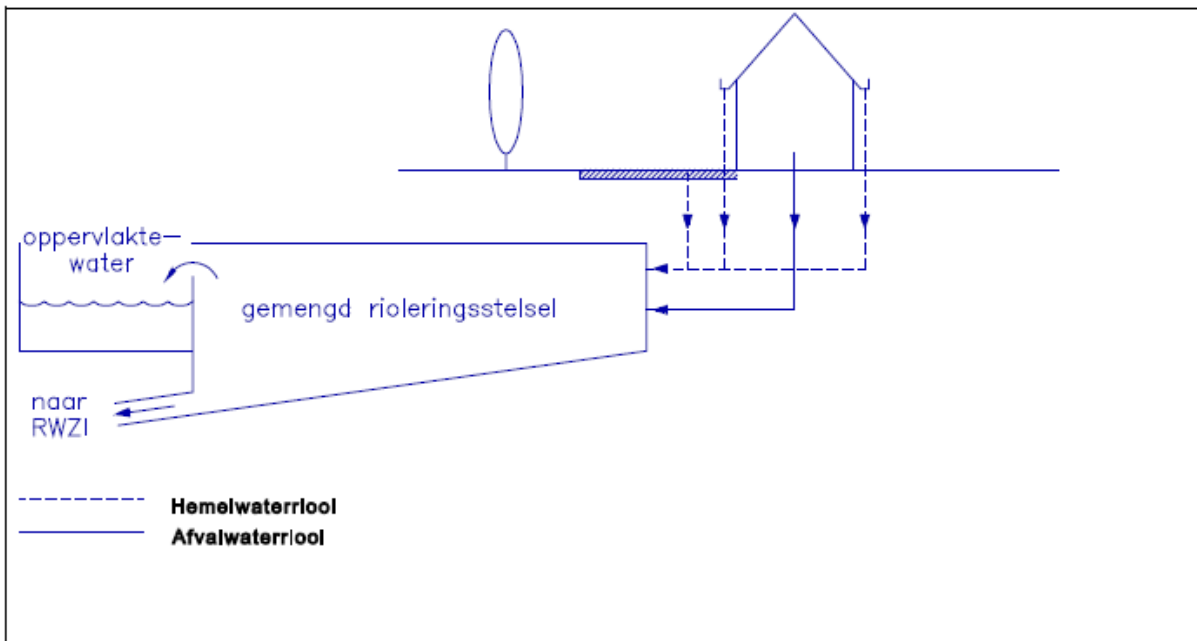
- N = de verzadigingsbevolking
- p de piekfactor = 1,2 tot 2,4
- p = 1,2 tot 2,4 komt neer op de aanname dat de DWA geloosd wordt in respectievelijk 20 en 10 uur (DWA<sub>20</sub> en DWA<sub>10</sub>).

De grootste waarde van p heeft betrekking op relatief kleine gebieden, waar alle gebouwen dezelfde functie hebben. De kleinste waarde is typisch voor een grootstad, waar niet alleen woonhuizen, maar ook hotels, scholen, kazernes, bedrijven, ... staan.

Voor Vlaanderen wordt gemiddeld p = 1,7 genomen (DWA<sub>14</sub>). [12]

### 2.3.3. Soorten stelsels

In Vlaanderen worden nu enkel "gescheiden rioolstelsels" aangelegd, ook voor industrieterreinen en uitbreidingen van bestaande rioolstelsels wordt dit opgelegd en aanbevolen. Om historische redenen zijn de meeste rioolstelsels in onze gemeenten "gemengde stelsels": afvalwater en hemelwater worden samen afgevoerd. Bij hevige neerslag wordt de transportcapaciteit van de collector (die het mengsel van afvalwater en hemelwater naar de RWZI brengt) overschreden. Het met afvalwater gemengd hemelwater dat noch naar de RWZI afgevoerd wordt, noch tijdelijk in het stelsel geborgen kan worden, komt dan via de "overstorten" rechtstreeks in het oppervlaktewater terecht (zie figuur2). [12]



Figuur 2: Gemengd rioleringsstelsel CVGP [12]

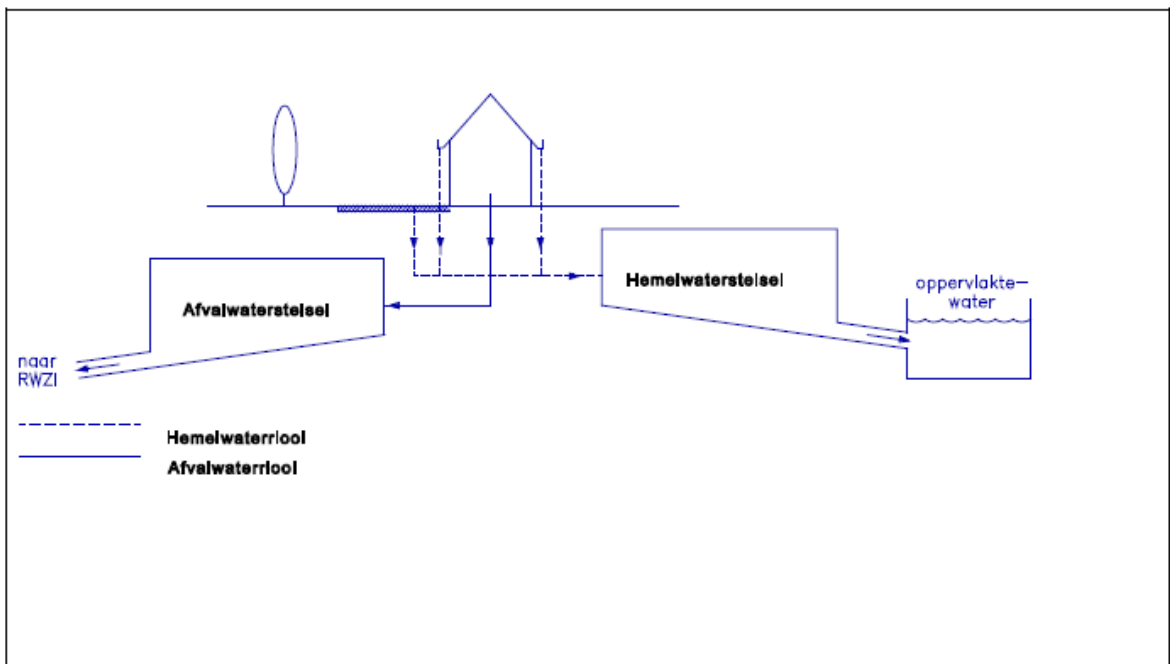
Een gemengd rioleringsstelsel dat nooit of hoogst zelden een overstorting veroorzaakt (bijvoorbeeld één keer in 5 jaar), noemt men een absoluut of een semi-absoluut gemengd rioleringsstelsel.

Aan gemengde stelsels is een dubbel nadeel verbonden:

- De grootte van het overstortdebiet of het overstortend volume kunnen problemen veroorzaken voor de waterhuishouding van de ontvangende waterloop (kwantitatief effect).
- De hoge concentraties aan polluenten aanwezig in het overstortwater of de totale vuilvracht erin kunnen de kwaliteit van het ontvangende water nadelig beïnvloeden, zodat de waterloop (tijdelijk) niet meer aan de gestelde kwaliteitseisen voldoet (kwalitatief effect).

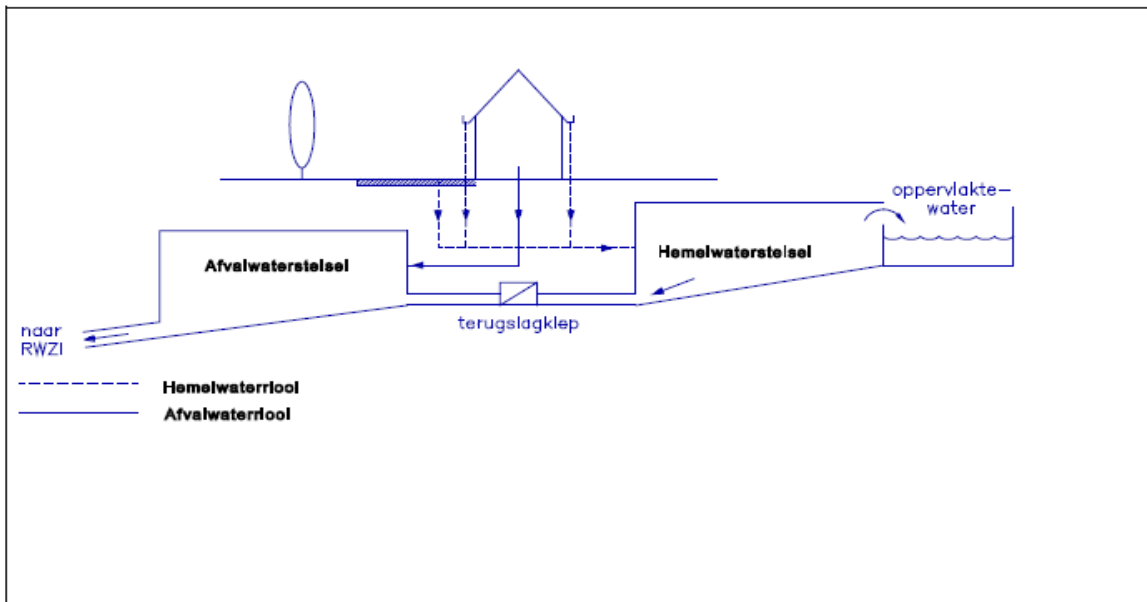
De beste manier om nadelige effecten van gemengde rioolstelsels te vermijden, bestaat er vanzelfsprekend in gemengde rioolstelsels zelf te vermijden. Wanneer aan zuivering van het afvalwater gedacht wordt, is het inderdaad niet logisch eerst het afvalwater met relatief schoon hemelwater te mengen, om dan in de RWZI de polluenten uit het sterk verdund mengsel te moeten verwijderen en toch een niet onaanzienlijk gedeelte van de verontreiniging via de overstorten rechtstreeks op het oppervlaktewater te moeten lozen. Het is dan logisch voor een "gescheiden" stelsel te kiezen, zodat alleen het afvalwater naar de RWZI gebracht wordt en het relatief zuivere hemelwater rechtstreeks op het oppervlaktewater geloosd wordt (zie figuur 3). [12]





**Figuur 3: Gescheiden rioleringsstelsel [12]**

Een volledige scheiding is echter niet altijd mogelijk of technisch uitvoerbaar en om de verontreiniging die in perioden van relatief geringe neerslag met het hemelwater van de verharde oppervlakten afgespoeld wordt toch naar de RWZI te brengen, wordt voor uitbreidingen van bestaande gemengde rioolstelsels de voorkeur gegeven aan zogenaamde verbeterd gescheiden rioolstelsels. Deze stelsels werken als een gemengd stelsels voor neerslagintensiteiten tot bijvoorbeeld 5 keer DWA en als gescheiden stelsels voor meer intense neerslag (zie figuur 4). [12]



**Figuur 4: Verbeterd gescheiden rioleringsstelsel [12]**

Het is dus eigenlijk een gemengd stelsel waar afkoppeling van verharde oppervlakte maximaal is doorgevoerd. Er is ook een extra berging of randvoorziening toegevoegd met het oog op een vermindering van de vuilvrachtemissie. [12]

#### **2.3.4. Hoe wordt er afgekoppeld?**

Aquaflin NV bouwt en beheert de infrastructuur voor de zuivering van rioolwater in Vlaanderen.

Bij het aanleggen van rioolstelsels legt Aquaflin NV op zijn minst gedeeltelijk gescheiden stelsels aan. Bij een gedeeltelijk gescheiden rioleringsstelsel wordt regenwater afkomstig van publieke domeinen (straten, parkings,...) naar het nabijgelegen oppervlak afgevoerd. Dit gebeurt via straatgoten, grachten of regenwaterriolen. Ook voor privé-domeinen kunnen deze afkoppelingen van de verharde gebieden worden doorgevoerd. In Vlaanderen is deze wijze van rioleren aanbevolen voor vernieuwingen of uitbreidingen van bestaande (gemengde) rioleringsstelsels.

Proper oppervlaktewater en regenwater infiltreert het best ter plaatse in de bodem. Het kan ook naar een gracht (oppervlaktewater of kunstmatige gracht) afgevoerd worden waar het verder kan infiltreren. [9]

Dit staat ook in de Code van de goede praktijk vermeld; er wordt getracht om progressief te werken aan een afkoppelingsbeleid van hemelwater door enerzijds het hemelwater vertraagd te kunnen afvoeren via geherwaardeerde grachtenstelsels en anderzijds het hergebruik ervan te stimuleren. Het niet verontreinigd hemelwater hoort thuis in beken en grachten en niet in het rioleringsstelsel. [12]

Infiltratiedebieten kunnen ook het best aangepakt worden aangezien deze het afvalwater verdunnen en de debieten in rioleren verhogen, wat tot ondercapaciteit kan leiden. De infiltratiedebieten komen de riool in via lekkende rioleringen of via aangesloten drainages. Pas sinds de jaren '80 worden er rubberringen gebruikt om de verbindingen tussen de rioolbuizen waterdicht te maken. Aangezien het grootste deel van het rioolstelsel in Vlaanderen vóór die tijd gebouwd werd, is daar vaak sprake van infiltratiedebieten. Het gevolg is dat er grondwater in de riolen lekt, als ze lager liggen dan de grondwaterstand. In gebieden met een hoge grondwaterstand leggen particulieren vaak drains aan om hun kruipkelders droog te houden. Ook dat water sijpelt dan de riolering in. Aangezien deze infiltratiedebieten verspreid voorkomen is het niet toe te wijzen aan een bepaalde plaats. Het vermijden hiervan is in praktijk moeilijk.[9]

### **2.3.5. Het actieplan van de overheid**

Volgende voorstellen worden door de overheid geformuleerd:

- Via een gerichte inventarisatie moet de afkoppeling van verharde oppervlakten in gebiedsgerichte acties uitgewerkt worden. Daarbij zal prioritaire aandacht gaan naar zuiveringszones waar zich problemen stellen ten aanzien van overstorten.
- De verschillende wegenbeheerders moeten verplicht worden om progressief het afvloeiend hemelwater af te koppelen van de rioleringen. Deze aanpak moet bij vernieuwing van wegen of aanleg van nieuwe wegen opgelegd worden, tenzij het technisch niet mogelijk is of tot onredelijke kosten zou leiden.

Een grote verantwoordelijkheid voor het al dan niet aankoppelen van verharde oppervlakte en aan te sluiten debieten, ligt bij de gemeenten. Bij het afleveren van bouwvergunningen en/of milieuvergunningen dienen eisen te worden gesteld. [12]

### **2.3.6. Waarop letten bij afkoppelen?**

Indien het bestaande rioolstelsel omgebouwd dient te worden naar een gedeeltelijk gescheiden rioolstelsel kan dit best door toepassing van volgende drie maatregelen:

1. Industrierreinen moeten van een gescheiden rioolstelsel voorzien worden. Het afvalwater moet ter plaatse (voor)behandeld worden naar gelang de specifieke omstandigheden.

Het niet-verontreinigd hemelwater dient rechtstreeks op het oppervlaktewater of in een kunstmatige afvoerweg voor hemelwater geloosd te worden. Het lozen van verontreinigd hemelwater moet natuurlijk aan de VLAREM-eisen voldoen, waardoor het bijvoorbeeld nodig kan zijn koolwaterstofafscieder voor het hemelwater dat van parkings afvloeit of een afscheiding van bezinkbare stoffen te voorzien.

2. Hetzelfde geldt voor alle grote verharde oppervlakken (vb. van grootwarenhuizen of parkings). Het hemelwater dient afgekoppeld te worden van het rioleringsstelsel. Er dient eveneens aan de VLAREM-eisen voldaan te worden, wanneer eventuele voorbehandeling nodig is. Indien afkoppeling onmogelijk is, moet ter plaatse de nodige berging voorzien worden om het in het riool geloosde debiet te beperken.

3. Wegen en kunstwerken dienen maximaal afgekoppeld te worden. Het hemelwater dat erop valt moet naar een geherwaardeerd grachtenstelsel afgevoerd worden, eventueel na een bezinkingsbekken en/of een koolwaterstofafscieder doorstroomd te hebben. Dit betekent de plaatselijke invoering van een gedeeltelijk gescheiden stelsel. Deze oplossing moet fysisch mogelijk en economisch haalbaar zijn. Er kan van de afkoppeling afgeweken worden, indien het gaat om oppervlakken waarvoor het risico op zware vervuiling groot is.

Buiten de bebouwde zones zijn open grachten aangewezen, binnen de bebouwde zones dienen alternatieven onderzocht (o.a. infiltratiegrachten). Het gebufferde hemelwater bij industrieterreinen en grote verharde oppervlakten dient maximaal hergebruikt te worden. [12]

Tijdens de kleine buien en bij het begin van grote buien wordt het hemelwater via het rioolstelsel afgevoerd en wanneer het hemelwaterdebiet te groot wordt, wordt dit naar het oppervlaktewater afgevoerd. Een eventueel spoeleffect (first flush) kan op die manier worden opgevangen. [12]

Met afkoppelen van verhard oppervlak zal het grondwater stijgen door het infiltreren van het hemelwater en het oppervlaktewater. Er gaat minder regenwater naar de RWZI waardoor het te verpompen debiet daalt. Hierdoor vermindert het energieverbruik en wordt er bespaard op investeringen en de emissiereductie. [12]

In de riolering wordt niet enkel afvalwater en hemelwater afgevoerd, ook wordt vaak onbewust en ongewild grondwater (via lekke buizen), drainagewater (al dan niet met toestemming aangesloten), oppervlaktewater (negatieve riooloverstorten) en bronnerings- en koelwater via het riool afgevoerd. Dit kan belangrijk zijn omdat zo het afvalwater verdund wordt en het debiet naar de RWZI toeneemt.

Door afkoppelen van het hemelwater stijgt het oppervlaktewaterpeil. Als dit stijgt tot boven de overstortdrempel kan dit een negatieve overstort veroorzaken waardoor er oppervlaktewater in het rioolstelsel terecht komt.

Bij afkoppelen door infiltreren vult het hemelwater het grondwater aan en het grondwater kan zo in grote hoeveelheden als rioolvreemd water het riool binnendringen als de riolen lekken. Dit is niet erg bij extreme neerslag, want dan is er zelfs een extra route waarlangs het water kan afgevoerd worden. Maar als dit bij veel buien gebeurt, kan er worden geconstateerd dat de investeringen in afkoppelen weggegooid geld zijn geweest. Dit heeft ook enkele gevolgen. [10] De aanvulling van het grondwater vindt slechts tijdelijk plaats omdat een deel van het grondwater door infiltratie terug in de riolering stroomt. Door infiltratie zal de reductie van de aanvoer van het regenwater naar de RWZI veel minder groot zijn dan gedacht. Het doel om meer geconcentreerd afvalwater in de RWZI te krijgen wordt deels teniet gedaan doordat het meeste regenwater en oppervlaktewater vertraagd naar de RWZI stroomt.

Afkoppelmaatregelen leiden dus niet altijd tot het behalen van de afkoppeldoelen. Daarom is het best dat er eerst onderzocht wordt of afkoppelen tot een peilstijging in het ontvangende water en tot negatieve overstorten kan leiden. Verder is het belangrijk dat er ook gekeken wordt of er sprake is van rioolvreemd water. Pas dan kan er een afweging gemaakt worden voor het al dan niet afkoppelen of anderszins verbeteren. [10]

## **2.3.7. Invloed van afkoppelen op RWZI**

### **2.3.7.1. Studie**

Voor de invloed van het afkoppelen op een RWZI is er een studie uitgevoerd in Nederland waarbij als referentiesysteem de gemiddelde huidige Nederlandse situatie voor het aanvoerstelsel gehanteerd werd.

Er werden een aantal aanvoerpatronen opgesteld om zo het effect op de lozingsvrachten te bepalen.

De verschillende aanvoerpatronen zijn:

- 20% afkoppelen (afstromend) regenwater,
- 50% afkoppelen (afstromend) regenwater,
- 50% reductie rioolvreemd water,
- 100% reductie rioolvreemd water.

### **2.3.7.2. Resultaten**

Afkoppelen heeft nauwelijks invloed op de stikstofconcentratie van het RWZI effluent. De stikstof effluentvracht neemt wel af met 5 -15% bij de aanvoerpatronen van 20 en 50% afgekoppeld regenwater.

Reductie van de hoeveelheid rioolvreemd water leidt tot een sterke verhoging van de N- totaal concentratie en het influent van de RWZI en daarmee uiteindelijk ook in het effluent van de RWZI. De Emissievracht daalt met 13% bij een aanvoerpatroon van 100% reductie rioolvreemd water.

Het effect op de werking van de RWZI als gevolg van veranderende effluentconcentraties is evenredig met het veranderende aanvoervolume.

Beide aanvoerpatronen laten een daling van de vracht zien, terwijl de effluentconcentratie niet daalt. Bij afkoppelen neemt de emissie via de RWZI af ten opzichte van de huidige situatie, bij reductie van rioolvreemd water geldt dit ook.

In het onderzochte afkoppelbereik van 20-50% neemt de zware-metalenemissie via de RWZI af in de orde van 5-20%. De reductie van rioolvreemd water laat vergelijkbare percentages zien.

De trend is duidelijk dalend als functie van de beide typen maatregelen. Afkoppelen leidt tot een significante vermindering van de zware-metalenvracht, net zoals de reductie van rioolvreemd water.

Vermindering van de aanvoer van water naar de RWZI leidt tot een afname van beschikbaar water waarin zware metalen vanuit het slib kunnen worden opgenomen. De effecten van afkoppelen voor de vrachtemissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen wijken sterk af van de emissie via de RWZI.

Van groot belang is dat de concentratie van zware metalen in regenwater en effluent sterk kunnen verschillen. Voor een aantal stoffen is afkoppelen altijd voordelig (bijvoorbeeld cadmium of kwik): de emissie via de RWZI en via de overstorten neemt af en de emissie via het rechtstreeks geloosde regenwater neemt in verhouding minder toe door de lage concentraties in afstromend regenwater.

Voor stoffen die wel significant in afstromend regenwater zitten wordt het positieve effect van afkoppelen bij RWZI en overstort teniet gedaan en neemt bij hoge afkoppelpercentages de emissie zelfs toe (lood, zink).

Een gemiddeld beeld voor alle zware metalen is dat het totale effect van afkoppelen op de emissie van de afvalwaterketen neutraal is. Bij afkoppelen van onbehandeld afstromend regenwater worden echter meer zware metalen lokaal op het oppervlaktewater geloosd. [11]

### **2.3.8. Conclusie**

De nieuwe wetgeving, Kaderrichtlijn water, eist van de rioolssystemen steeds minder vervuilende lozingen en minder overstortingen op oppervlaktewater. Eén van de oplossingen hiervoor is afkoppelen. Hiermee wordt het relatief zuiver regenwater gescheiden van het afvalwater waardoor de concentratie van afvalwater stijgt. Hierdoor wordt verwacht dat de RWZI efficiënter zal werken.

Bij afkoppelen moet er echter met verschillende zaken rekening gehouden worden voor er besloten kan worden dat afkoppelen effect zal hebben. Zo zijn er steeds infiltratiedebieten waarmee rekening gehouden moet worden. Als deze te groot zijn is afkoppelen niet de oplossing aangezien het afgekoppelde water zo terug in de rioleringsbuizen stroomt.

Wanneer er gekeken wordt naar het effect van afkoppelen op het grondwater en het oppervlaktewater in een gebied kan er besloten worden dat voor een aantal stoffen het voordeliger is om af te koppelen zodat deze efficiënter gezuiverd worden en er minder emissie zal zijn. Anderzijds zijn er stoffen die significant aanwezig zijn in regenwater waardoor het positieve effect van afkoppelen bij een RWZI tenietgedaan wordt.

## 2.4. Ontwerp van het rioolstelsel

### 2.4.1. Algemeen

Bij het ontwerp van een rioolstelsel begint men met de algemene lay-out van het net vast te leggen. Hierbij dient in de eerste plaats geopteerd te worden voor een gescheiden stelsel of een (verbeterd) gedeeltelijk gescheiden stelsel en slechts voor een gemengd stelsel wanneer dit niet anders mogelijk is. De bepaling van de plaats van de overstorten is een belangrijk gegeven. Men dient er voor te zorgen geen overstorten te voorzien op ecologisch kwetsbare oppervlaktewateren. In ieder geval moet het rioleringsstelsel voldoen aan de voorwaarden van Vlare II. [12]

Bij het ontwerp van een rioolstelsel houdt men rekening met:

- een minimale diameter van 400 mm voor hemelwaterriolen of gemengde riolen, 250 mm voor afvalwaterriolen en voor knijpleidingen.
- een minimale gronddekking van 0,8 m, omwille van mechanische bovenbelasting en vorstgevaar.

In vlakke gebieden kunnen de relatief grote hellingen die nodig zijn om de minimale snelheden te realiseren leiden tot diepe riolen. Dit kan het voorzien van pompstations nodig maken. In bepaalde gevallen kunnen pompinstallaties een beter alternatief zijn (zowel economisch als ecologisch) als diepe uitgravingen voor rioolbuizen. De exploitatiekosten stijgen, maar vaak zullen de aanlegkosten dalen.

Tenzij de gebrekkige en/of oude toestand van riolering dit uitsluit, wordt toegelaten dat rioleringen bij het ontwerpdebiet onder druk stromen. De piëzometrische lijn moet altijd en overall 0,5 m onder het maaiveld blijven voor de ontwerpdebiet met een terugkeerperiode van 2 jaar (uitzonderlijk 5 jaar).

Aan de overstorten moeten maatregelen genomen worden om drijvend vuil te beletten over te storten. De overstort moet zo ontworpen worden dat het grootste deel van het vaste afval naar de RWZI gaat (verbeterde overstort).

Na de dimensionering van een rioleringsstelsel met behulp van een vereenvoudigde methode (rationele methode, hydrogrammethode, WALLRUS, ...) moet een nazichtsberekening uitgevoerd worden met een simulatiemodel. Met enkele fenomenen werd immers geen rekening gehouden in de vereenvoudigde methoden, zoals opstuwings-effecten, vertraging, lokaal onder druk komen, ... Aan de hand van de simulaties kan ook op een correcte manier met de berging rekening gehouden worden.

De nazichtsberekening gebeurt met een computerprogramma dat een volledige dynamische simulatie uitvoert (SWMM, HYSTEM-EXTRAN, RIO, MOUSE, SPIDA, HYDROWORKS, ...).

Deze berekeningen gebeuren met de composietbui met de vereiste terugkeerperiode. De berekeningen dienen verder te gebeuren volgens de principes van de Hydronaut-procedure.

Als afgeweken wordt van deze ontwerpregels, zal dat tot gevolg hebben dat de riolen minder zelfreinigend zullen zijn en dat bijgevolg het onderhoud zal moeten worden opgevoerd. [12]

### **2.4.2. Ontwerpneerslag of maatgevende neerslag**

De gemiddelde ontwerpneerslag volgt uit de IDF-curven (intensiteit-duur-frequentie-curven) voor Ukkel. Voor hemelwaterriolen wordt een terugkeerperiode gekozen van 1 jaar, uitzonderlijk 2 jaar. Voor gemengde riolen kiest men best een terugkeerperiode T van 2 jaar, uitzonderlijk 5 jaar voor stedelijke probleemgebieden. Uit onderzoek is gebleken dat de terugkeerperiode van wateroverlast dan ruwweg 5 tot 10 jaar bedraagt, wat aannemelijk lijkt.

Terugkeerperiode van de ontwerpstorm:

- Leidingen niet onder druk:
  - 1 jaar in landelijke gebieden
  - 2 jaar in residentiële wijken
  - 2 of 5 jaar in steden of commerciële of industriële zones
  - 10 jaar voor tunnels
- Geen overstromingsgevaar:
  - 10 jaar in landelijke gebieden
  - 20 jaar in residentiële wijken
  - 30 jaar in steden of commerciële of industriële zones
  - 50 jaar voor tunnels

Dat rioolbuizen niet onder druk komen, is niet realistisch in vlakke gebieden zoals Vlaanderen. [12]

### **2.4.3. Bepaling van de overstortfrequentie**

Men moet zich realiseren dat ten gevolge van het stochastisch karakter van de neerslag, de kwantitatieve en kwalitatieve emissiekenmerken in het algemeen, en de overstortfrequentie in het bijzonder, statistische grootheden zijn. In principe zou men dus een lange tijdreeks moeten simuleren met een dynamisch model (SPIDA, MOUSE, RIO, ...) om de hydraulische emissieparameters te kunnen begroten. Afgezien van het feit dat met een deterministische input en een deterministisch model geen informatie kan verkregen worden over het statistisch karakter van die outputs, zijn de thans beschikbare transportmodellen (Mosquito, MouseTrap, ...) zonder ijking niet in staat betrouwbare uitspraken te doen.



Dit omwille van de ingewikkeldheid van de fysische processen en de onzekerheid over de input. Dynamische transportmodellen vereisen een nog veel grotere rekentijd dan hydraulische modellen. Daarenboven zijn deze modellen ingewikkeld en dienen met voorzichtigheid te worden toegepast. Met de huidige generatie modellen en computers kan men geen lange tijdreeksen simuleren met een hydrodynamisch en/of transportmodel. Men kan wel een benaderende schatting voor de (kwantitatieve en kwalitatieve) emissieparameters bekomen door ofwel gedetailleerde informatie over de neerslag te verwerken, maar het net sterk te vereenvoudigen voor de simulatie, ofwel door het net in zijn volledige complexiteit (dynamisch) te simuleren, maar de regeninput sterk te schematiseren of te reduceren. [12]

#### **2.4.4. Gebruik van buien om overstortfrequentie te bepalen**

Het gebruik van synthetische buien met hoge frequentie (bijvoorbeeld 7 of 10 keer per jaar) om via een dynamische simulatie model de overstortfrequentie te bepalen kan niet een juiste schatting van de (hydraulische) emissieparameters opleveren. Dit omdat de terugkeerperiode van de emissies (onder andere de overstortfrequentie) slechts gelijk is aan de terugkeerperiode van de input voor een lineair systeem en omdat onze rioleringsstelsels zich hydraulisch alles behalve lineair gedragen. Het gebruik van deze buien houdt ook onvoldoende rekening met het eventueel reeds gedeeltelijk gevuld zijn van de rioolbuizen ten gevolge van een voorafgaande bui, waardoor gewoonlijk een onderschatting van de (gemiddelde) overstortfrequentie bekomen wordt. Deze methode laat ook niet toe om een idee te krijgen van de spreiding op de gemiddelde emissieparameters.

Een betere methode is het invoeren van lange tijdreeksen van neerslaggegevens. Deze bevatten alle statistische informatie over de te verwachten neerslag. Ze kunnen dus toelaten zo juist mogelijke informatie te verkrijgen over de emissieparameters (bijvoorbeeld gemiddelde overstortfrequentie). Dit gaat echter gepaard met langere rekkentijden. [12]

#### **2.4.5. Aanbevelingen voor de aanpak van de overstortproblematiek**

In het algemeen wordt in volgorde van toepassing aanbevolen:

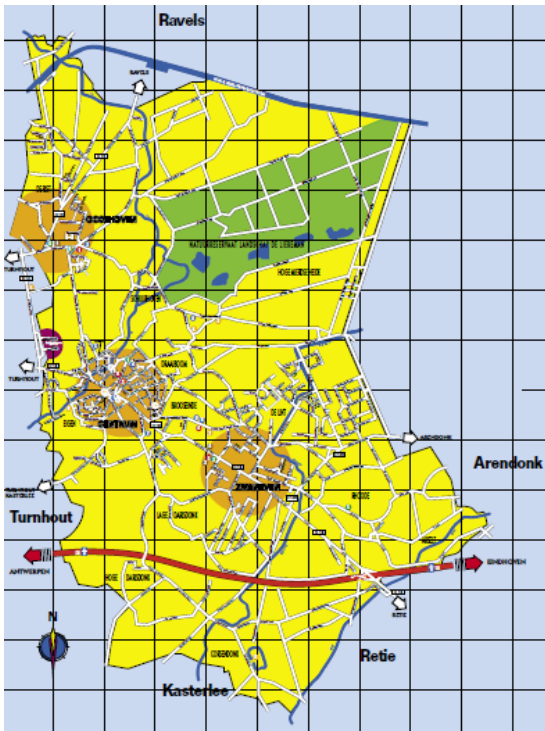
- Alle uitbreidingen van, en aanpassingen aan gemengde rioolstelsels of nieuwe rioleringsprojecten uit te voeren als (indien mogelijk) een gescheiden stelsel. Indien dit niet mogelijk is, minstens een gedeeltelijk gescheiden stelsel aan te leggen door maximale afkoppeling van hemelwater.
- Alle nodige maatregelen te treffen om de toevoer van hemelwater en de meegevoerde hemelwaterpolluenten naar de riolering te minimaliseren. Dit kan onder andere door alle potentiële berging buiten (opwaarts van) het rioolstelsel te mobiliseren.
- Alle potentiële berging te mobiliseren binnen het rioolstelsel.

- Alle extra benodigde berging te realiseren onder de vorm van bergbezinkingsbekkens, tenzij voor een spoeeffect (first flush) gevreesd wordt. Dan moet een bergings- of een combinatiebekken worden overwogen.
  - Alle overstorten zodanig te ontwerpen dat ze zo goed mogelijk de sedimenten van het overstortende water scheiden en zodoende als "verbeterde overstorten" werken.
- [12]

## 2.5. Gemeente Oud-Turnhout

De gemeente Oud-Turnhout is gelegen in het Noordoosten van de Antwerpse Kempen. De burenen van Oud-Turnhout zijn:

- In het Noorden: Ravels
- In het Oosten: Retie
- In het Westen: Turnhout
- In het Zuiden: Kasterlee



Figuur 5: Plan situering Oud-Turnhout [13]

De gemeente heeft 3 woonkernen:

- Centrum/Sint-Bavo
- Oosthoven/Sint-Antonius-Abt
- Zwaneven/Onbevlekt Hart van Maria

Op een oppervlakte van 3.986 ha wonen 12.864 mensen (officieel cijfer 01/01/2010) Oud-Turnhout is van een hoofdzakelijk agrarische gemeente geëvolueerd naar een volwaardige residentiële gemeente.

Doordat zij op een geringe afstand van de stad Turnhout ligt, is men voor een aantal sectoren op die centrumgemeente aangewezen.[13]

## **2.6. InfoWorks CS**

In de masterproef worden simulaties uitgevoerd met InfoWorks CS 11.0. Infoworks CS biedt ingenieurs en planners de mogelijkheid om nauwkeurig een simulatie te maken van de stroming van het rioleringswater door een netwerk. Deze software biedt een snelle en nauwkeurige hydraulische modellering van het volledig ingegeven stedelijk netwerk. Dit kan gaan van een modellering van opstuwende effecten en tegenstroming, open kanalen, complexe verbindingen en aanverwante structuren. Er kan een voorspelling worden gemaakt van stedelijke overstromingen en de impact van het ontvangen van waterstroming in de riolering. Er kan ook een voorspelling gemaakt worden van de waterkwaliteit en het sedimenttransport. Het is een realtime controle simulatie.

De simulatie kan grafisch weergegeven worden, alsook aan de hand van animaties. Gebruikers kunnen een simulatie uitvoeren die tot 100.000 knopen gaat, met het vertrouwen dat de resultaten even nauwkeurig zullen zijn als bij kleinere modellen.

Toepassingen van het programma zijn onder andere:

- Stedelijke overstromingen en de vervuiling voorspellen. Er kan ook een modellering gebeuren van de waterkwaliteit en het sedimenttransport in het gehele netwerk.
- De impact van de klimaatverandering op de rioleringen onderzoeken.
- De effecten van duurzame stedelijke afwatering kunnen bekijken.
- Het zoeken van oplossingen voor de lozingen aan de rioolstelsels.
- Overstromingen en vervuiling voorspellen.
- Modellering van sedimenttransport en de bijbehorende kwaliteit van het water.
- Evaluatie van secundaire drainage en regenwater in de steden.
- Beheer en beoordeling van de infiltratie van water in rioleringen.
- Controle van de afvoer van regenwater bij aangelegde drainage en zo een controle en beoordeling uitvoeren.
- Kwaliteitsbeoordelingen opmaken van het stedelijk regenwater en bestrijding van de verontreiniging.
- Analyse van een gecombineerd systeem, dit verder ontwerpen.

[14]



## **3. Controle rekenmodel**

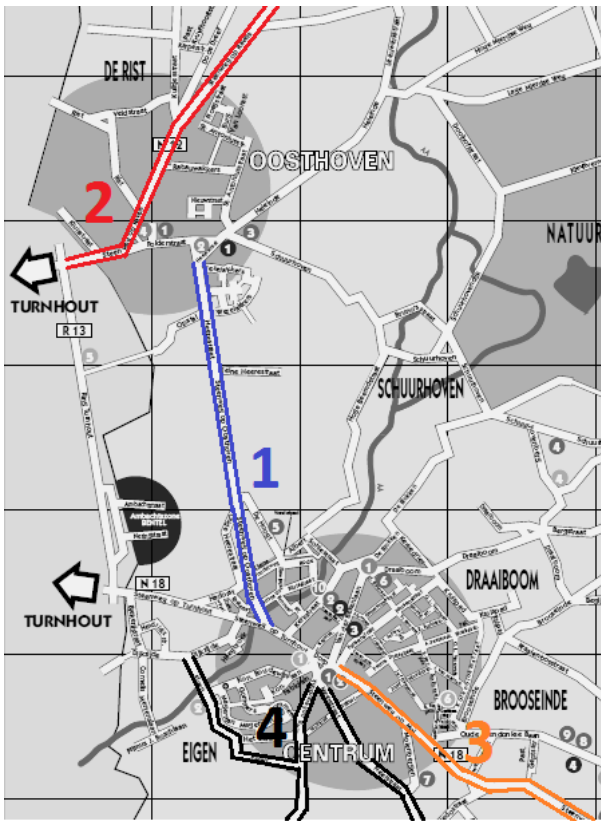
### **3.1. Algemeen**

Voor deze masterproef wordt informatie over het rioleringsstelsel van Oud-Turnhout verzameld. Het gaat om twee soorten data. Enerzijds is er de hydronautstudie, die in opdracht van Aquafin NV door Groep Infrabo werd gemaakt. Deze wordt verkregen bij Groep Infrabo, die in 1995 deze studie uitgevoerd heeft. Anderzijds zijn er de in situ meetgegevens die verkregen worden bij de technische dienst van de gemeente Oud-Turnhout.

Dit zijn overstortgegevens, meer bepaald de overstortduur en het overstortvolume. Er wordt in eerste instantie nagegaan of het model nog overeenstemt met de werkelijkheid, ook in overleg met de gemeente Oud-Turnhout en met Groep Infrabo. De controle van het model gebeurt via neerslaggegevens van het gebied. Het model wordt gesimuleerd met deze neerslaggegevens. De overstortfrequentie van het model, voorspeld door InfoWorks CS, wordt vergeleken met de werkelijke overstortfrequentie zoals afgeleid uit de in situ meetgegevens. Zo kan de nauwkeurigheid van het model bepaald worden, dat aan de actualiteit moet voldoen. Gegevens betreffende het rioleringsstelsel en de ingave van het model in Infoworks CS werden uit de rapporten van Groep Infrabo gehaald. (Zie referenties [15], [16] en [17]).

### **3.2. Rioleringsstelsel Oud-Turnhout**

Het volledige netwerk van Oud-Turnhout bestaat uit 4 lange hoofdstrengen. In het Noorden is de zeer lange streng naar Oosthoven **(1)** en de Steenweg op Ravels **(2)**. Naar het Oosten is er een streng via de Steenweg op Mol **(3)** die grote delen van het centrum vergaart. Aan de Zuidelijke kant is er een streng via Eigen, Sevendonk en Neerstraat **(4)**. (Zie figuur 6)



Figuur 6: Schets hoofdstrengen netwerk Oud - Turnhout

Op enkele plaatsen in het rioleringsstelsel wordt niet voldaan aan de ontwerpvoorschriften, zoals te grote overstortvolumes, leidingen onder druk bij ontwerp bui van 2 jaar.

De aanpassingen aan het bestaande net zouden zo ingrijpend zijn dat deze moeilijk economisch te verantwoorden zijn. Volgens het rapport van Groep Infrabo voldoet het netwerk, ondanks problemen in sommige buizen.

### 3.3. Gebied pompstation Neerstraat

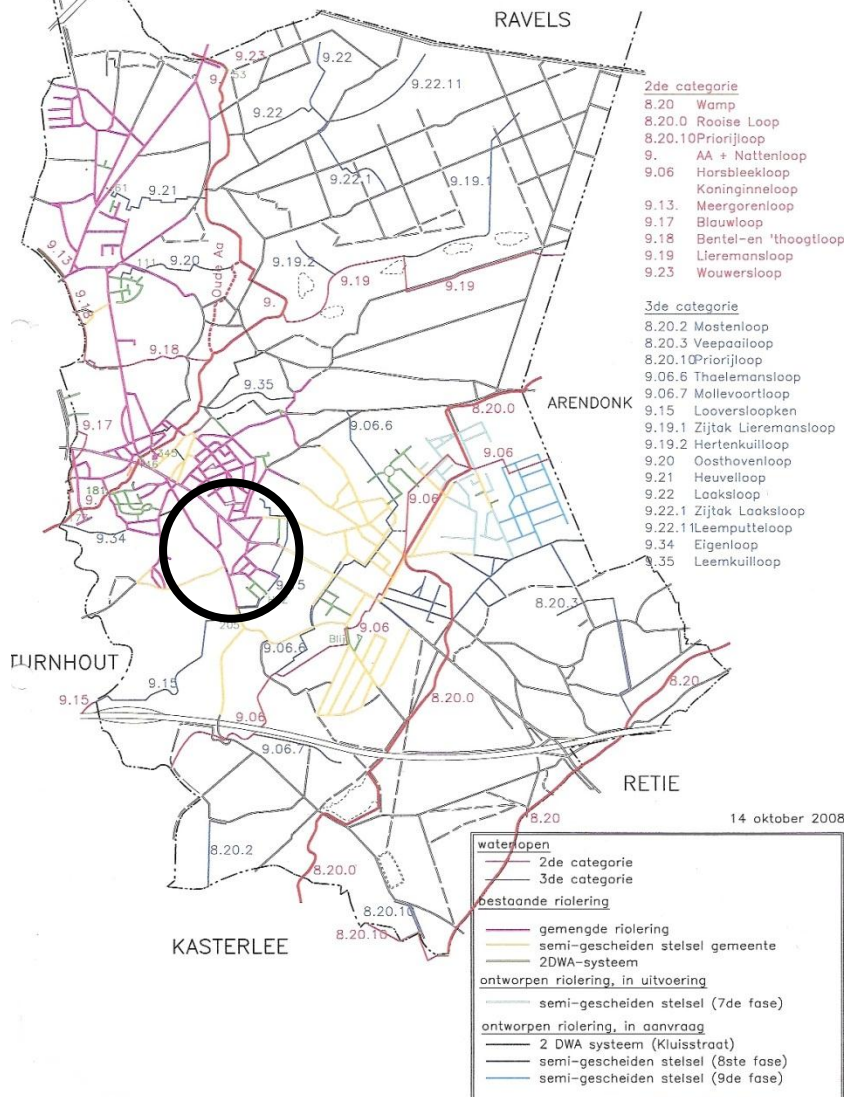
De gegevens van het rioleringsstelsel van Oud-Turnhout werden verkregen via Aquafin NV. De gegevens bevatten deel A van rioleringsnetwerk & Deel B van rioleringsnetwerk. Deze twee delen vormen het volledige rioleringsstelsel van Oud-Turnhout, dat in 1995 gedimensioneerd werd. De hoofdleidingen van het netwerk werden in een eerste fase in 1972 aangelegd, dit nadat het rioleringsplan goedgekeurd werd op 21 februari 1972 door de gemeente Oud-Turnhout. Het rioleringsstelsel werd in 1995 gemodelleerd met de software Spida. Deze software kon maximaal 400 knopen aan per stelsel, daarom werd het stelsel in twee delen gesplitst (A en B). In de masterproef wordt enkel deel A verder bekeken via het programma InfoWorks CS. Deel A is gelegen in de hoofdstreng aan de zuidelijke kant van Oud-Turnhout (1).

Het rioolbekken is gelegen in een vlak gebied. Om deze reden zijn enkele stroomopwaarts gelegen delen aangesloten via kleine pompstations. Door de kleine hellingen zullen opstuwingeffecten en mogelijke terugstroming over grote afstanden invloed kunnen uitoefenen. Er werd een woonuitbreidingsgebied gerealiseerd, nl. verkaveling “Leege Darisdonck” (tussen de Neerstraat, Augustijnenstraat en de Pikloop). Deze verkaveling heeft een gescheiden stelsel. Het regenwater wordt geloosd in de Pikloop en het DWA wordt opgepompt naar de bestaande riolering in de Hendrik van Zellestraat. Verkavelingen die pas na de opmaak van het rapport in 1995 werden gerealiseerd, worden in de bestaande toestand beschouwd als niet bestaand. Het deelbekken dat voor het eindwerk bekeken wordt is Deelbekken 3: Neerstraat. Dit is het opwaartse gedeelte van het pompstation aan de Neerstraat. Het is een gemengd rioleringsstelsel.

In de Neerstraat staat een pompstation, waarop een vrij groot gebied aangesloten is (zie figuur 7, omcirkeld gebied). Het betreft een gebied met ongeveer 51 takken. Het gebied heeft één gravitaire overstortmogelijkheid. Het gebied behoort tot het zuiveringsgebied “RWZI Oud-Turnhout”. Het afvalwater van het gehele gemodelleerde gebied wordt via de bestaande gemeentelijke riolering afgevoerd naar het zuiveringsstation van Oud-Turnhout. Het gebied werd uitgekozen omdat hier een overstort is die gecontroleerd kan worden met overstortgegevens die ter beschikking waren.

*Een gedetailleerd rioleringsplan ligt ter inzage bij de technische dienst van de Gemeente Oud-Turnhout.*

# GEMEENTE OUD-TURNHOUT



Figuur 7: Situering opwaarts netwerk pompstation Neerstraat

## 3.4. Hydraulisch gedrag van het rioolstelsel volgens model Infrabo

Alle knopen in dit netwerk voldoen aan de criteria voor de ontwerpbuizen die ingevoerd werden in de studie van Infrabo. Er treedt geen wateroverlast op, dit wil zeggen dat de verhanglijn voldoende ver onder het maaiveld blijft in het netwerk. Uit een vergelijking volgt dat de maximaal optredende debieten voor ongeveer alle leidingen kleiner zijn dan de afvoercapaciteit van de leidingen. In het netwerk kan daardoor geen druklijn (de piëzometrische verhanglijn is steiler dan de helling van de leiding) opgebouwd worden. Volgens het rapport met de dataverificatie is het rioleringsnetwerk dus correct gemodelleerd en voldoet het aan alle eisen betreffende de overstortfrequentie en druk in leidingen.



## 3.5. Rioleringsstelsel in Infoworks CS

### 3.5.1. Complexiteit stelsel

Het deelbekken A is in 1995 gemodelleerd met Spida als '96OT2A'. De indeling in deelbekkens gebeurde in 1995 in overleg met Aquafin NV, volgens de numerieke beperkingen van Spida (deze worden besproken in paragraaf 3.5.5.6.)

Model '96OT2A' omvat:

- \* Zwanevenstraat
- \* Neerstraat

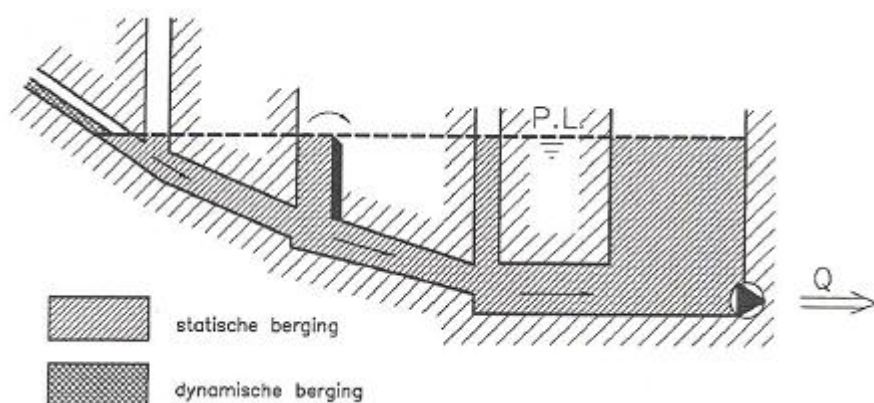
Dit bekken bestaat in principe uit twee afzonderlijk toevoerende deelgebieden: Neerstraat en Zwaneven (zie figuur 7, omcirkelde gebied).

Voor de verdere studie van de masterproef wordt enkel het opwaartse gedeelte dat aangesloten is op het pompstation van de Neerstraat bekeken. Het pompstation bevindt zich onderaan het netwerk.

### 3.5.2. Gegevens overstort Neerstraat

In het netwerk is een opwaarts gelegen overstort aanwezig (een zogenaamde 'achterwaartse' overstort). (Fig.8)

Om de berging zo groot mogelijk te maken worden de overstorten vaak zover mogelijk opwaarts in het rioleringsnet voorzien. Enkel deze leiding naar de overstort zal dan wel praktisch volledig onder druk stromen.



Figuur 8: Achterwaartse overstort [4]

Volgens een gepland rapport van 6 oktober 1995 werden de bestaande overstort en het bestaande pompstation een laatste keer aangepast.

Deze overstort werd in het verleden meerdere keren aangepast. Dit omwille van de hoge waterstanden van de beek waar de overstort in zal lozen, dit is de Pikloop.

Daarom werden er drie drempels in serie achter elkaar geschakeld. Er staan 3 overstorten (1 overstort en 2 ingemetselde schildmuurtjes) met een verschillend drempelpeil achter elkaar.

In het model werden de twee schildmuurtjes ook voorzien. De overstortende debieten en volumes van de overstortjes zijn ongeveer gelijk. De 'echte' overstort heeft een drempel van 2.02 m breedte. In 2010 werd de overstort aangepast, de schildmuurtjes werden verwijderd. Volgens de technische dienst van de gemeente Oud-Turnhout werd de overstort niet voldoende nauwkeurig uitgevoerd, er werden geen schutbalken geplaatst om het overstortpeil tot een voldoende grote hoogte aan te passen. Hierdoor liep bij hoge waterstanden water van de nabij gelegen beek binnen in de rioleringsbuis.



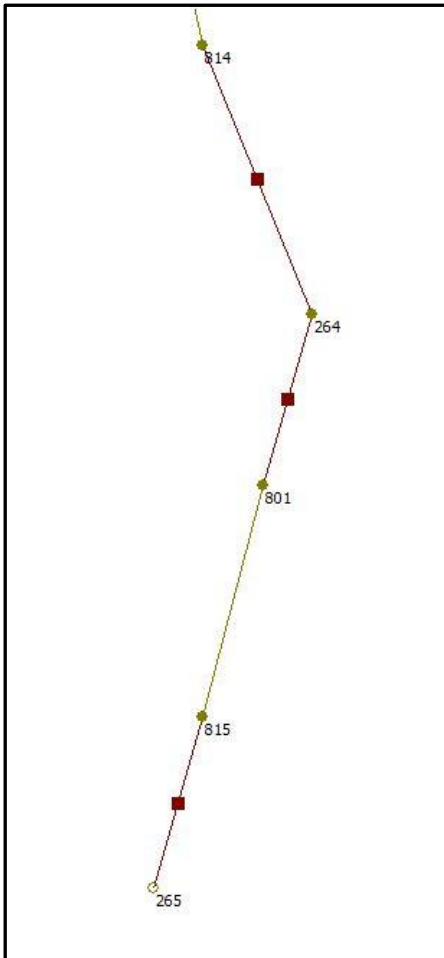
**Figuur 9: Uitlaat overstort in Pikloop**

In 2010 werden er schutbalken aangebracht aan de overstort, het overstortpeil ligt dan op de berekende hoogte volgens het rioleringsplan van Aquafin NV (zie figuur 10). De schildmuurtjes werden verwijderd. Er werden geen problemen gemeld met inlopend water aan de overstort.



Figuur 10: Schutbalkjes in overstort

In InfoWorks CS werden de schildmuurtjes zoals eerder vermeld wel gedimensioneerd. Voor het berekenen van de overstorting hebben de schildmuurtjes geen effect, aangezien een schildmuurtje enkel gebouwd werd om te vermijden dat er oppervlaktewater in de rioolbuis kan stromen. Op figuur 10 wordt weergegeven hoe de overstorten in InfoWorks CS werden ingevoerd. In werkelijkheid zal enkel overstort 264 aanwezig zijn.



Figuur 11: Overstorten Neerstraat met leidingnummer

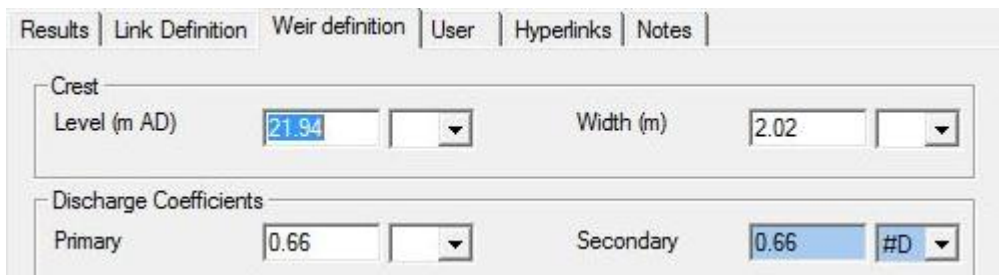
**Gegevens uit InfoWorks CS en rapport Groep Infrabo:**

### Overstort:

De breedte van de overstort werd afgelezen uit de plannen en ook besproken in het rapport van Groep Infrabo.[15],[16]

$$B = 2,02m$$

In InfoWorks CS werden deze gegevens ook ingegeven.



Results	Link Definition	Weir definition	User	Hyperlinks	Notes
Crest					
Level (m AD)		21.94		Width (m)	2.02
Discharge Coefficients					
Primary		0.66		Secondary	0.66 #D

**Figuur 12: Overstort 1 InfoWorks CS**

De debietcoëfficiënt  $C_d$  (Eng: 'Discharge coefficient') heeft te maken met de vorm van de leiding. Standaard wordt deze op 0,66 gezet, voor rioleringen is deze aanname correct verondersteld. De coëfficiënt verandert aanzienlijk met verandering van oppervlakten en het Reynolds getal.[18]

### **3.5.3. Gegevens pompstation Neerstraat**

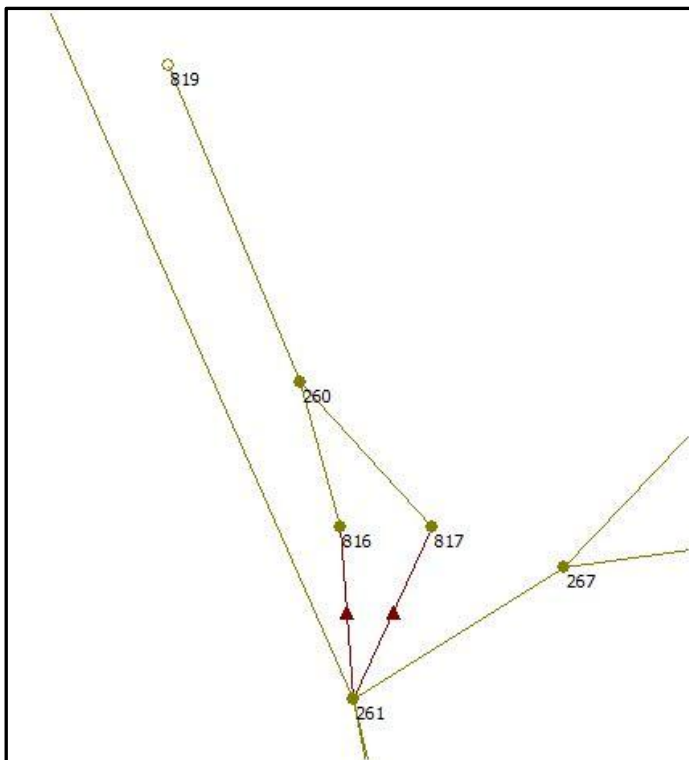
Via het pompstation wordt het rioolwater van een relatief groot deelnet overgepompt naar het centrale netwerk. Het pompstation heeft 2 pompen. Wanneer het rioolstelsel door een regenbui wordt belast, zal een eerste pomp in werking treden. Wanneer nog meer water moet worden afgevoerd zal de tweede pomp aanslaan. Wanneer het waterniveau echter verder blijft stijgen, zal het water worden afgevoerd via de rioolbuis naar de overstort. Bij het bereiken van het stoppeil worden de pompen automatisch overgeschakeld naar een andere startvolgorde.

Beide zijn dompelpompen waardoor het noodzakelijk is om regelmatig onderhoudswerken uit te voeren en na te gaan of de vlotters nog voldoende functioneren.



**Figuur 13: Vlotter**

In 1995 bestond het pompstation aan de Neerstraat uit 2 verschillende pompen. Eén pomp was enkel voorzien voor DWA-debiet en de andere trad enkel in werking bij RWA-debiet. Zo is dit ook in InfoWorks CS ingevoerd.



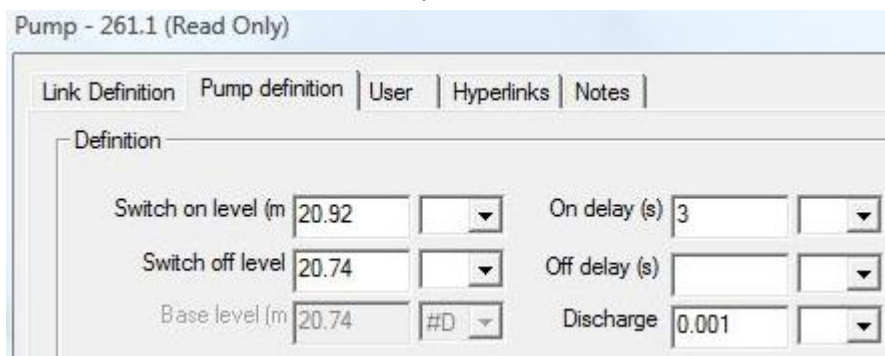
Figuur 14: Pompen Neerstraat met leidingnummer

De pompen worden voorgesteld met een constant debiet.

Aantal pompen: 2

Pomp 1 (DWA):

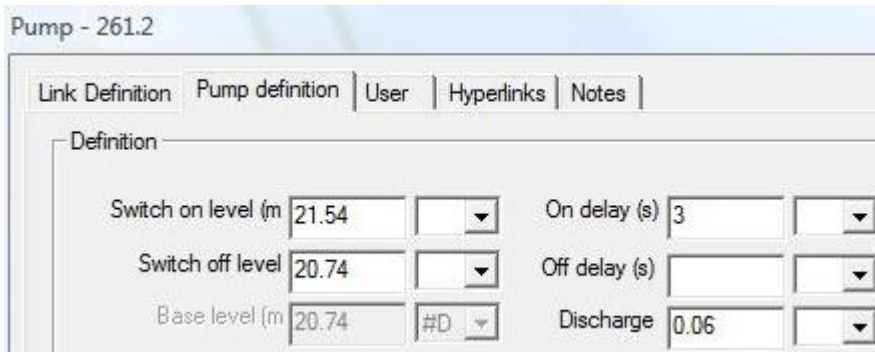
Leidingnummer :261.1  
Aanslagpeil : 20.92 m TAW  
Afslagpeil : 20.74 m TAW  
Debiet : 0.001 m<sup>3</sup>/s



Figuur 15: Pomp 1 InfoWorks CS

Pomp 2 (RWA):

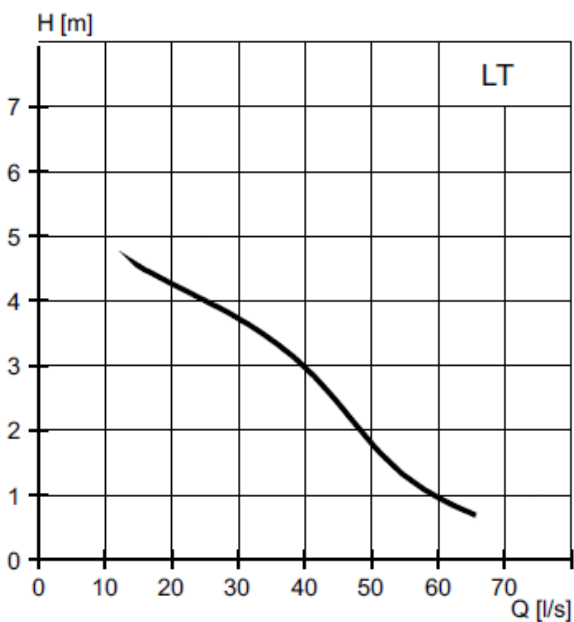
Leidingnummer : 261.2  
Aanslagpeil : 21.54 m TAW  
Afslagpeil : 20.74 m TAW  
Debiet : 0.060 m<sup>3</sup>/s



**Figuur 16: Pomp 2 InfoWorks CS**

Eind 1995 zijn er aanpassingen doorgevoerd aan het pompstation. De pompen werden vervangen. Er werd voor een opstelling met twee identieke pompen gekozen bij de technische uitwerking van dit pompstation. De pompen zijn van het merk Flygt, type 3102.180.

In figuur 17 kan het debiet van de pomp afgelezen worden.[19]



**Figuur 17: Grafiek debiet-opvoerhoogte pomp Flygt, type 3102.180**

De pompput heeft een diepte van 3,5 m. Uit figuur 17 kan afgelezen worden dat het debiet van de pomp ongeveer 35 l/s bedraagt. Er werden 2 pompen geplaatst dus het totale debiet dat verpompt kan worden bedraagt 70 l/s. In InfoWorks CS kunnen beide pompen ook ditzelfde debiet verpompen wanneer ze beiden aanslaan.

Zelfs bij droog weer kan de het pompstation soms kortstondig werken, indien door fluctuaties in DWA-debiet meer dan gemiddeld wordt aangevoerd.

Om rekeninstabiliteiten op te heffen werd de oppervlakte van de pompkamer in het model vergroot van 4,38 m<sup>2</sup> tot 15,00 m<sup>2</sup> door Groep Infrabo.[15],[16] De werkelijke oppervlakte bedraagt 4,38 m<sup>2</sup>. Door deze aanpassing kunnen mogelijke verschillen tussen model en werkelijkheid eventueel worden verklaard. Rekeninstabiliteit kan ervoor zorgen dat een simulatie vroegtijdig beëindigd wordt, en dus niet alle resultaten beschikbaar zijn.

#### **3.5.4. (Vrije) uitlaat**

In de Neerstraat is een uitlaat aanwezig die rioolwater via het pompstation naar het RWZI zal voeren. Deze leiding heeft als leidingnummer 260.1. Deze uitlaat verzamelt de persleidingen van het pompstation in de Neerstraat.

#### **3.5.5. Modelleringsstelsel in Infoworks CS**

Uit het rapport blijkt dat in samenspraak met Aquafin NV werd beslist om het rioolstelsel met zo weinig mogelijk vereenvoudigingen te modelleren. Dit is belangrijk want zo kan de controle van de praktijk met de modelresultaten nauwkeuriger en eenvoudiger gebeuren.

##### ***3.5.5.1. Toevoerende oppervlakten***

De toevoerende oppervlakten, de verharde oppervlakten van huizen en de verharde oppervlakten van straten en parkings, worden in InfoWorks CS toegekend via polygonen. In InfoWorks CS is er de mogelijkheid om deze polygonen visueel beschikbaar te stellen, maar deze gegevens werden niet ingegeven door Groep Infrabo. De polygonen in dit stelsel kunnen dus enkel beoordeeld worden op basis van getallen.

##### ***3.5.5.2. Verharde oppervlakten***

Het volledige oppervlak werd ingedeeld met polygonen. Er werden geen hoogtelijnen gebruikt voor de afbakening van de polygonen, vermits de hellingen van het terrein in het bekken gering zijn. Met behulp van middellijnen en bissectrices werd de oppervlakte aan de verschillende leidingen toegekend aan de knopen. De breedte van de polygonen werd in principe beperkt tot op 50 m van het straatriool. Voor afbakening van de uiterste grens van de polygonen werden de woonzones en zones bestemd voor woonuitbreiding op het

gewestplan gevolgd.

De bekomen polygonen werden gedigitaliseerd en in het systeem gebracht. De verharde oppervlakte van de polygonen werd toegekend aan de stroomopwaarts gelegen knoop.

### **3.5.5.3. Verharde oppervlakten van de huizen**

Voor elke woning werd de lengte en breedte (oppervlakten) opgemeten a.d.h.v. de meest recente kadasterplannen die in 1995 beschikbaar waren. Per knoop werd het totaal toevoerend dakoppervlak berekend.

Bij de opbouw van het model werden voor de Neerstraat alle percelen bebouwd verondersteld, zo worden de verharde oppervlakten van niet bebouwde percelen mee ingerekend.

### **3.5.5.4. Verharde oppervlakten van straten en parkings**

De wegbreedtes (rijweg en verharde zijstroken) werden overgenomen uit de opgemaakte uitvoeringsplannen. Voor enkele straten waren geen uitvoeringsplannen beschikbaar. Hier werd de wegbreedte gelijk genomen met nabijgelegen woningen met eenzelfde karakter. Voor opritten werd 30 m<sup>2</sup> per woning in rekening gebracht. Dit is een op ervaring steunend gegeven van vroegere projecten bij Groep Infrabo.

### **3.5.5.5. Overzicht van uitgevoerde aanpassingen aan het model door Groep Infrabo**

Om de regeltechnische stabiliteit van het basismodel in InfoWorks CS te garanderen bleken een aantal aanpassingen noodzakelijk volgens het rapport van Groep Infrabo. Deze aanpassingen werden aangepast in vergelijking met het model en bestaande toestand. De aanpassingen gebeurden in 1995 in het programma Spida.

Volgende aanpassingen werden uitgevoerd aan het stelsel:

- Er werd een knoopoppervlak (volume) toegekend aan knopen 816 en 817 (2 m<sup>2</sup> per knoop). Dit zijn twee fictieve knopen achter de pompen met vast debiet in de Neerstraat. De pompen zelf worden beschouwd als meest stroomafwaarts gelegen element van deelnet Neerstraat.
- De persleiding 817.1 van pomp 261.1 werd vergroot tot diameter 600 mm. De pomp heeft een constant debiet van 60 l/s en wordt beschouwd als meest stroomafwaarts element. In werkelijkheid hebben werden beide pompen vervangen, zoals eerder besproken, en hebben ze elk een debiet van 35 l/s.
- De pompput 261 werd vergroot van 4.38 m<sup>2</sup> tot 15.00 m<sup>2</sup>. Deze aanpassing heeft invloed op de statische berging in dit deelnet. Ze was echter noodzakelijk omdat het waterpeil in de kleine pompput zeer snel varieerde bij het aanslaan van de RWA-pomp. Tevens werd het deksel van deze knoop afgesloten. In werkelijkheid is er geen probleem gemeld met de grote van de berging in de pompput.



- Oppervlakte vijzelput RWZI Nr. 820 vergroot tot 30 m<sup>2</sup>.

Van de doorgevoerde aanpassingen hebben enkel de laatste twee uit bovenstaande lijst een invloed op het hydraulisch gedrag van het model. Dit wordt verder besproken in de conclusie in paragraaf 3.8.6.

### 3.5.5.6. Overzicht aanpassingen model bij omzetting naar InfoWorks CS

Zoals eerder vermeld werd het model in 1995 opgemaakt door Groep Infrabo met het programma Spida. Voor de verdere uitvoering van de masterproef dient het model te worden omgezet naar InfoWorks CS. Bij de omzetting worden een aantal parameters aangepast. Deze worden handmatig aangepast, om ervoor te zorgen dat het stelsel in het model zo nauw mogelijk aan de werkelijkheid aansluit. Door de omzetting werden de oppervlakteaflowingscoëfficiënten (*Eng.: Runoff Surface coefficients*) aangepast.

In tabel 1 staan de parameters die verkregen werden door de omzetting van Spida naar InfoWorks CS.

Oppervlakteaflowingscoëfficiënten	Runoff Volume Type	Fixed Runoff Coefficient
10	Wallingford	/
20	Wallingford	/
21	Wallingford	/

Tabel 1: Parameters verkregen bij omzetting

De Runoff Volume type parameters werden door InfoWorks CS ingesteld op het Wallingford model. Dit wordt handmatig aangepast, naar 'Fixed'.

De Fixed Runoff coëfficiënten worden ingevuld volgens de ontwerpregels uit België, die beschreven staan in de Code van goede praktijk.(zie Tabel 2)

Runoff Surface '10' is de parameter van het totale straatoppervlak;  $\varphi = 0,8$ .

Runoff Surface '20' is de parameter van het totale dakoppervlak;  $\varphi = 0,8$ .

Runoff Surface '21' is de parameter van het totale onverharde oppervlak;  $\varphi = 0$ .

Het verhard oppervlak wordt verminderd met 20% om het effectief verhard oppervlak te bekomen (dit is de verantwoording voor de factor 0,8). Dit vanwege verdamping en initiële verliezen. In onderstaande tabel wordt weergegeven welke gegevens aangepast werden.

Oppervlakteaflowingscoëfficiënten	Runoff Volume Type	Fixed Runoff Coefficient
10	Fixed	0,8
20	Fixed	0,8
21	Fixed	0

Tabel 2: Aangepaste parameters model

Het ontwerpdebiet kan worden bepaald volgens de rationele methode;  $Q = (\sum \varphi_i A_i) i$ . [8]

Deze berekeningen worden via InfoWorks CS automatisch uitgevoerd.

### 3.5.6. Ingeven DWA

De DWA kan ingevoerd worden als modelleringsparameter in InfoWorks CS. Volgens het rapport van Groep Infrabo in 1995 werd een berekening gemaakt van een globale waarde die ingegeven werd als DWA. De globale DWA voor het deelbekken Neerstraat - Zwaneven in de laatste toestand kan bepaald worden. Hiervoor moet de totaal aangesloten oppervlakte gekend zijn. Deze kan opgezocht worden in InfoWorks CS.

Runoff Area 1 is de totale straatoppervlakte.

Runoff Area 2 is de totale dakoppervlakte.

Runoff Area 3 is het totale onverharde oppervlakte.

Wanneer deze worden opgeteld wordt het totaal aangesloten oppervlakte bepaald.

	Runoff Area Absolute [ha]
Area 1	2,863
Area 2	3,245
Area 3	22,400

Tabel 3: Totaal aangesloten oppervlakte

De totaal aangesloten oppervlakte:  $2,863+3,245+22,400 = 28,508$  ha of  $0,29$  km<sup>2</sup>.

Het totaal aan te sluiten inwoners is volgens kleine berekening en schatting 882 inwoners in het gebied van de Neerstraat.

Berekening van de globale DWA (zie par.2.3.2.):

$$DWA_{MAX} = \frac{p(0,150 \times N)}{24} [m^3/u]$$

Vergelijking 2: Berekening DWA [ m<sup>3</sup>/s]

$$Q = \frac{882 \times 0,150}{14} = 9,45 \text{ m}^3/h$$

$$Q = \frac{9,45}{3600} = 0,0026 \text{ m}^3/s$$

$$Q = \frac{0,0026}{0,29} = \frac{0,0090 \text{ m}^3}{s \text{ km}^2}$$

De globale DWA die in het gebied van de Neerstraat verrekend dient te worden is:  $0,009 \text{ m}^3/s/\text{km}^2$ .

Het totale aantal inwoners in Oud-Turnhout bedraagt 12 864 personen. Hiervan is 92% aangesloten op een rioleringsstelsel. Dit betekent dat ongeveer 11 680 inwoners van Oud-Turnhout aangesloten zijn op de RWZI.

Het aantal inwoners van het gebied van de Neerstraat bedraagt ongeveer 8 procent ten opzichte van het aantal inwoners van Oud-Turnhout dat is aangesloten aan de riolering.

In België bedraagt het drinkwaterverbruik voor huishoudelijke doeleinden gemiddeld 80 à 150 l/dag.inwoner.

Gezien de toenemende urbanisatie en de verbetering van de levensstandaard is het aangewezen om te rekenen op 150 a 200 l/dag.inwoner, wat overeenkomt met een afvalwaterproductie van 100 a 180 l/dag.inwoner. Vaak rekent men met 150 l/dag.inwoner, dit aantal wordt in InfoWorks CS ook als afvalwater ingevoerd (zie figuur 17). Het is in dit geval vrij nauwkeurig om het totaal aantal inwoners gemiddeld te spreiden, aangezien de straten allemaal van hetzelfde type zijn (open bebouwing). [8]

Parameter	Value
Description	1 DWA
(Profile = 1)	
Flow	
Per Capita Flow (l/day)	150.000
Sediment	
Sediment fraction 1 (mg/l)	300.000
Timesteps	
Calibration profiles	01:00
Design profiles	01:00
Pollutant	
Dissolved (mg/l)	
BOD	0.000
COD	0.000
TKN	0.000
NH4	0.000
TPH	0.000
PL1	0.000
PL2	0.000
PL3	0.000
PL4	0.000
Title	User defined WWG item

Figuur 18: Ingegeven waarde afvalwater InfoWorks CS

### 3.5.7. Ledigingstijd van het rioolstelsel

De ledigingstijd van een rioolstelsel is bepaald als de tijd nodig om het volledig gevuld netwerk te ledigen. De ledigingstijd is belangrijk i.v.m. de beschikbaarheid van de berging voor een eventuele volgende bui. Indien de ledigingstijd te groot is bestaat een verhoogde kans op wateroverlast omdat het netwerk mogelijk nog niet geheel geledigd is na een eerste bui. Een bijkomende reden is om anaerobe condities met geurhinder en kans op aantasting van het beton te voorkomen. Aquafin NV streefde in 1995 naar ledigingstijden van 13 uur of minder. De werkingsduur van het pompstation bedraagt 3 uur en 23 minuten. De werkelijke ledigingstijd is korter dan de pompduur omdat gerekend mag worden vanaf het einde van de laatste overstorting. Dit resulteert in een ledigingstijd van slechts 1 uur en 8 minuten. [15]

### 3.5.8. Impactstudie door Groep Infrabo

Uit het rapport van Groep Infrabo blijkt dat de overstortfrequentie zeer beperkt is. Enkel de overstort in de Neerstraat naar de Pikloop zal volgens de studie door Groep Infrabo ongeveer 7 keer per jaar in werking treden. De impactberekening voor een composietbui met T 1/10 werd enkel uitgevoerd voor t=120 min. Daaruit mag besloten worden dat geen van de overstorten in werking zal komen voor buien met T=1/10. De overstorten zullen dus volgens Groep Infrabo en Aquafin NV niet de grens van gemiddeld 7 overstortingen per jaar overtreden (zie tabel 4). Bijgevolg voldoen de overstorten bij dit model. De berekeningen werden uitgevoerd in de laatst geplande toestand.

Overstort	Neerstraat 264.1	
	Toestand D	
	T = 1/7j. (m <sup>3</sup> )	T = 1/10j. (m <sup>3</sup> )
Overstortvolume	4.88	--

Tabel 4: Overstortvolume bij neerslagbui T=1/7j. & T = 1/10j.

Deze regenbuien worden ook ingegeven in het model dat aangepast wordt voor het verdere onderzoek. Dit staat beschreven in paragraaf 3.7.3..

## 3.6. Controle model met rapport Groep Infrabo

### 3.6.1. Algemeen

Een controle van het model werd uitgevoerd. Dit is noodzakelijk om correctheid van de conclusies na te streven en simulaties te garanderen die tot voldoende nauwkeurige gegevens leiden. Het model werd in 1995 ontworpen en gecontroleerd door Groep Infrabo. Groep Infrabo heeft bij de controle van het model simulaties uitgevoerd met eigen ontwerpbuien, aan de hand van het programma Spida. Deze ontwerpbuien waren de voorlopers van de composietbuien die nu steeds gebruikt worden bij simulaties. Er werd vroeger bestudeerd welke ontwerpbui het meest nadelig was voor een bepaald deel van het stelsel (pomp, overstort, leidingen). Vandaag de dag wordt enkel de composietbui ingegeven met een terugkeerperiode van 2, 5, 10 of 20 jaar om ontwerpberekeningen te maken over het hele stelsel.

Ontwerpbuizen die in 1995 werden ingevoerd bij simulaties werden nu ook in InfoWorks CS ingegeven om een vergelijking te maken. Er wordt gekeken of de waarden uit de studie van Groep Infrabo nog overeenkomen met de waarde die bekomen worden bij de huidige simulatie. Wanneer hieraan voldaan werd, is de omzetting van het model in InfoWorks CS correct verlopen en is het stelsel hetzelfde opgebouwd als in 1995.

Alle netwerken werden belast met ontwerpbuizen T=2 jaar en T=5 jaar met duurtijden van 15, 30, 60 en 120 minuten.

Voor het bepalen van de kritische buiduur werd volgend principe gebruikt:

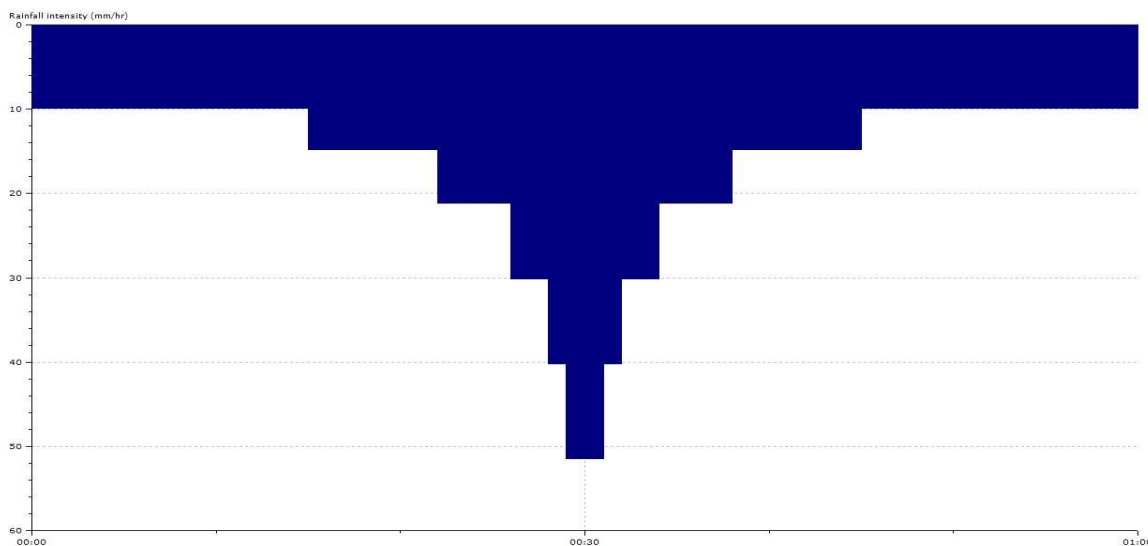
- voor pompstations werd gesteld dat de kritische buiduur deze is die het grootste volume vertegenwoordigd.
- andere hydraulische structuren zoals leidingen hebben een kritische buiduur die het grootste debiet veroorzaakt.

Er kan een kleine verandering in waarden zijn aangezien de 'Wastewater Inflow' parameter zelf te bepalen was. De ingegeven waarde van DWA is eerder besproken in paragraaf 3.5.6.

### 3.6.2. Controle overstort Neerstraat

Gebruikte neerslagbuizen: Voor de overstort werd waargenomen dat een kortere, meer intensieve neerslagbui het meest belastend zal zijn. Daarom worden voor een controle van de pompen volgende neerslagbuizen gesimuleerd in het stelsel:

#### T2t60:

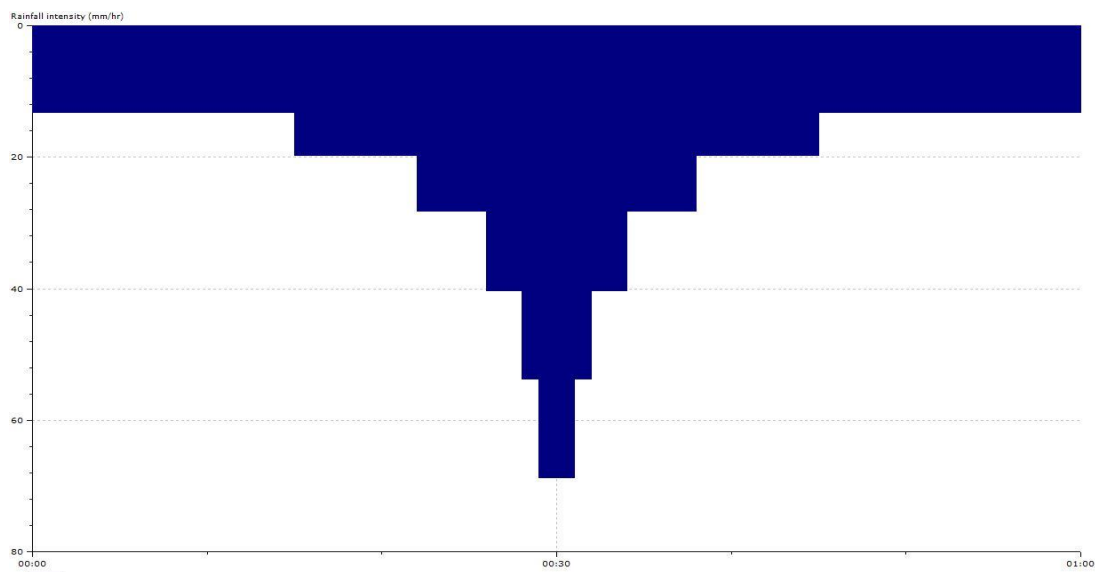


Figuur 19: Ontwerpbui T2t60

De ontwerpbui heeft een neerslagpiek van 51,43 mm/uur en een totale duur van 60 minuten.

<i>Infoworks CS</i> :	overstortvolume : 290.8m <sup>3</sup>	overstortduur : 69min
<i>Groep Infrabo</i> :	overstortvolume : 272.2m <sup>3</sup>	overstortduur : 79min

### T5t60:



**Figuur 20: Ontwerp bui T5t60**

De ontwerp bui heeft een neerslagpiek van 68,69 mm/uur en een totale duur van 60 minuten.

*Infoworks CS* :            overstortvolume: 508.22m<sup>3</sup>            overstortduur        :        1u26min  
*Groep Infrabo* :            overstortvolume : 473.88m<sup>3</sup>            overstortduur        :        1u40min

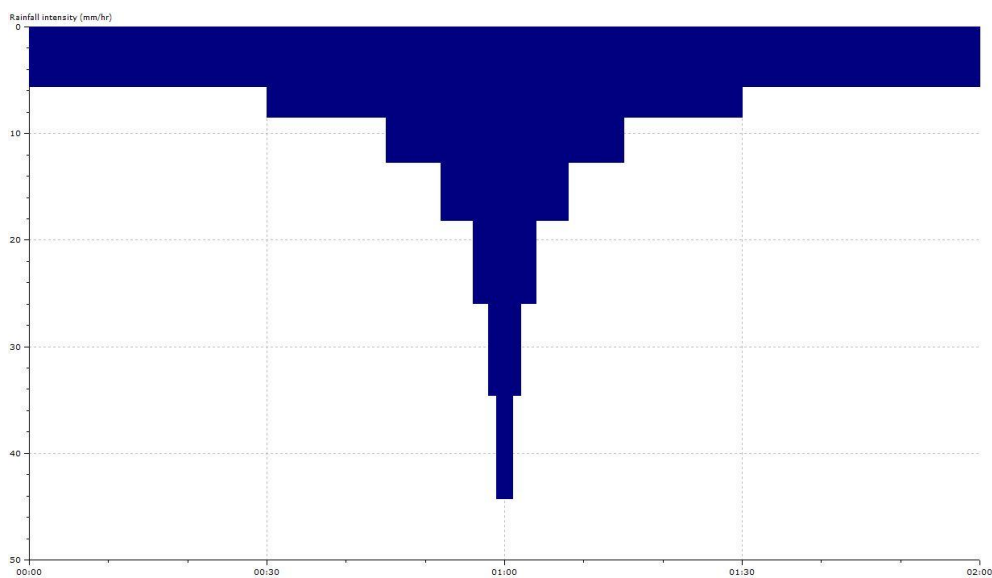
	T = 2 jaar	T = 5 jaar
Leiding- nummer 264.1		
Overstortdebiet [m <sup>3</sup> /s]	0.082	0.112
Overstortvolume [m <sup>3</sup> ]	272.33	473.88
Doorvoerdebiet [m <sup>3</sup> /s]	Niet gedefinieerd	Niet gedefinieerd
Dikte overstortende laag [m]	0.334	0.552
Overstortduur [u.]	1.32	1.67

**Tabel 5: Gegevens rapport Groep Infrabo, overstort Neerstraat**

### 3.6.3. Controle pompen Neerstraat

Voor de pompen werd waargenomen dat een langere neerslagbui het meest belastend is. Daarom worden voor een controle van de pompen volgende composietbuien gesimuleerd in het stelsel:

#### T2t120:



**Figuur 21: Ontwerp bui T2t120**

De ontwerp bui heeft een neerslagpiek van 44,23 mm/uur en een totale duur van 120 minuten.

#### Pomp 1:

*Infoworks CS :* Pompduur: 3u18min

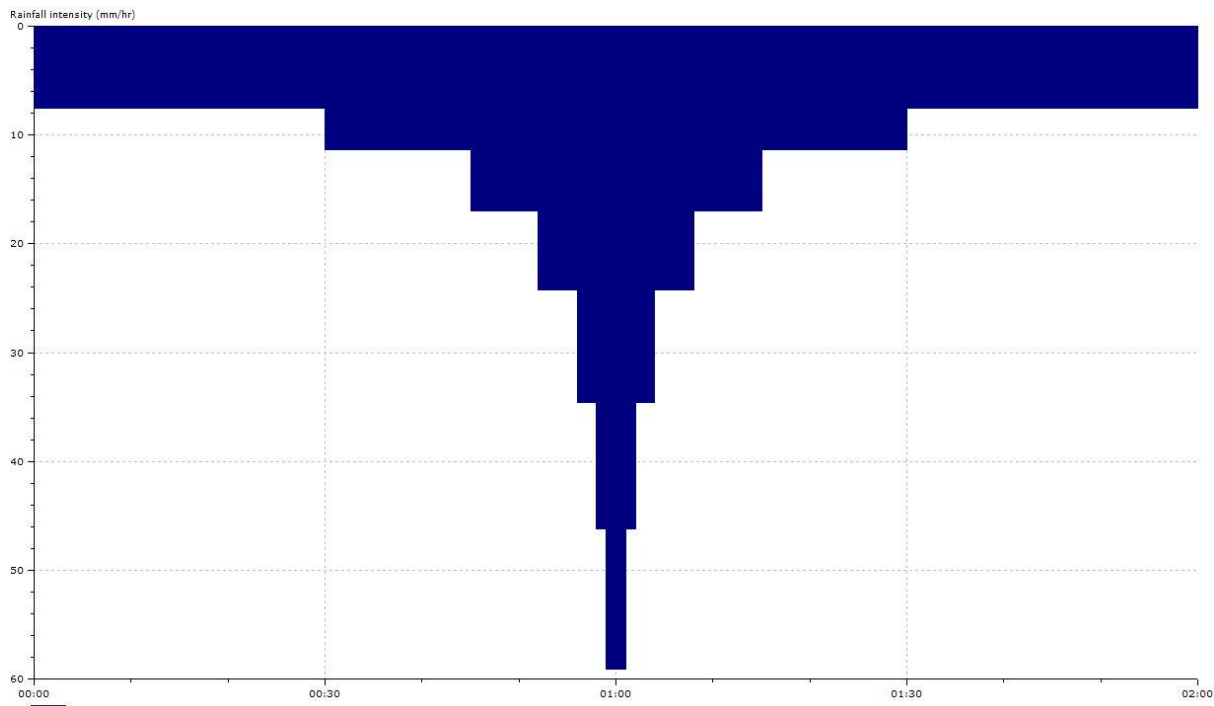
*Groep Infrabo :* Pompduur : 3u20min

#### Pomp 2 :

*Infoworks CS :* Pompduur : 3u03min

*Groep Infrabo :* Pompduur : 3u05min

### T5t120:



**Figuur 22: Ontwerpbeurt T5t120**

De ontwerpbeurt heeft een neerslagpiek van 59,07 mm/uur en een totale duur van 120 minuten.

#### Pomp 1 :

*Infoworks CS :* Pompduur: 3u29min

*Groep Infrabo :* Pompduur: 3u36min

#### Pomp 2 :

*Infoworks CS :* Pompduur: 3u16min

*Groep Infrabo :* Pompduur: 3u23min

		SPIDA- leiding-nummer	T = 2 jaar	T = 5 jaar
Pompduur (u.)	DWA-Pomp	261.1	3.34	3.60
	RWA-Pomp	261.2	3.08	3.38

**Tabel 6: Gegevens rapport Groep Infrabo, pompen Neerstraat**



### 3.6.4. Controle vrije uitlaat

Voor de vrije uitlaat die rechtstreeks aangesloten is op de RWZI werd waargenomen dat een langere neerslagbui het meest belastend is. Het afvalwater van de pompstations wordt naar de vrije uitlaat gebracht. Daarom worden voor een controle van de vrije uitlaat dezelfde composietbuizen als bij een controle van de pompen gesimuleerd in het stelsel (zie tabel 7).

SPIDA-knoopnummer	SPIDA-leidingnummer	kritische buiduur (min.)	T = 2 jaar		T = 5 jaar	
			Debiet (m <sup>3</sup> /s)	Volume (m <sup>3</sup> )	Debiet (m <sup>3</sup> /s)	Volume (m <sup>3</sup> )
819	260.1	120	0.061	685.88	0.061	755.23

Tabel 7: Gegevens rapport Groep Infrabo, vrije uitlaat Neerstraat

#### Vrije uitlaat, leidingnummer: 260.1

T=2 jaar

*InfoWorks CS* :            Debiet : 0,062 m<sup>3</sup>/s            Volume: 665,73 m<sup>3</sup>

*Groep Infrabo* :            Debiet : 0,061 m<sup>3</sup>/s            Volume: 685,88 m<sup>3</sup>

T=5 jaar

*InfoWorks CS* :            Debiet : 0,062 m<sup>3</sup>/s            Volume: 712,82m<sup>3</sup>

*Groep Infrabo* :            Debiet: 0,061 m<sup>3</sup>/s            Volume :755,23 m<sup>3</sup>

### 3.6.5. Vergelijking model InfoWorks CS met rapport Groep Infrabo

De resultaten van het rapport van Groep Infrabo en de gegevens die uit InfoWorks CS gehaald worden liggen vrij dicht bij elkaar. De software die nu gebruikt wordt (InfoWorks CS) is veel recenter dan de software die gebruikt werd in 1995. De berekening van leidingen onder druk gebeurt via een zogenaamd Preismannslot. Vroeger was de opwaartse spleet van dit slot zeker breder dan tegenwoordig. Hoe smaller dit slot, hoe juister de simulaties, maar hoe rekentechnisch onstabiel het stelsel zal worden.

Met de verschillende versies van rekensoftware (Spida, HydroWorks, InfoWorks CS) is dit slot steeds smaller geworden. Bij een breder slot zit een bepaald volume rioolwater in de simulaties 'boven' de kruin van de buis. Afhankelijk of deze buis met de kruin boven of onder de overstortdrempel zit, kan dat 'slotvolume' een invloed hebben op het overstortvolume.

Het actuele resultaat uit InfoWorks CS zal dus in principe numeriek juister zijn dan dat van vroeger.

Het gecombineerd effect van simulatiesoftware en neerslaginvoer leidt tot de vaststelling dat rioolstelsels die vóór 1996 hydrodynamisch werden gesimuleerd, een lagere ontwerpveiligheid hebben. Sinds 1996 is de technologie en de ontwerpmethodologie echter gestabiliseerd. [20]

### **3.7. Aangepast model**

#### **3.7.1. Algemeen**

Het model van Groep Infrabo, dat bestudeerd werd in opdracht van Aquafin NV wordt nog verder aan de werkelijkheid getoetst. Dit gebeurt door een werkelijke regenbui, verkregen bij de VMM, te vergelijken met overstortgegevens die verkregen worden bij de gemeente Oud-Turnhout. Wanneer simulaties met het model uitgevoerd worden zal een te lage overstortfrequentie verkregen worden dan verwacht werd uit metingen van de VMM. Een aanpassing blijkt noodzakelijk om het model van de Neerstraat zo nauwkeurig mogelijk overeen te laten komen met de werkelijkheid.

#### **3.7.2. Aanpassing oppervlaktecoëfficiënt onverhard oppervlak**

Een mogelijke oplossing om het model nauwkeuriger te maken is het aanpassen van de oppervlaktecoëfficiënten. Volgens de "Manual of engineering practice van de ASCE" heeft men volgende gemiddelde waarden voor de oppervlaktecoëfficiënt bij verschillende materialen:

##### **Straatoppervlak:**

banen met asfaltbedekking: 0,70 a 0,95

banen met betonverharding: 0,80 a 0,95

grindwegen: 0,15 a 0,30

Geplaveide oppervlakken (voetpaden, speelpleinen): 0,85 a 0,95

**Daken:** 0,75 a 0,95

##### **Onverhard oppervlak:**

Wouden: 0,05 a 0,10

Landbouwgrond: 0,10 a 0,30

Lanen, parken en tuinen: 0,10 a 0,25

[8]

De oppervlaktecoëfficiënten van het onverhard oppervlak werd aangepast. Volgens de ontwerpregels zou deze bij onverharde oppervlakken op  $\varphi = 0$  staan. Dit is niet echt realistisch, want bij langdurige regenbuien zal op een deel van het onverhard oppervlak wel regenwater afvloeien naar het rioleringsstelsel. Dit komt omdat na een langere regenbui de onverharde oppervlakte (vb. grond) verzadigd geraakt.

In Oud-Turnhout nabij het rioleringsstelsel van de Neerstraat bestaat de wegverharding uit betonverharding en klinkers. Voor totale straatoppervlakken is de factor 0,8 van toepassing. De onverharde oppervlakken zullen bestaan uit tuinen. Via trial-and-error wordt de afvloeiingscoëfficiënt aangepast, in vergelijking met de in situ meetresultaten van de overstort. Hiervoor wordt verder aangenomen dat 15 % van de onverharde oppervlakken afvloeit naar de riolen. De afvloeiingscoëfficiënt van onverhard oppervlak nemen we dus gelijk aan 0,15,  $\varphi = 0,15$ . Door dit te doen merken we dat bij een simulatie van september 2010 onze overstort en pomp nauwkeuriger overeen komen met de metingen ter plaatse. Er wordt besloten dat een deel van het onverharde oppervlak wel meegerekend moet worden om een correct beeld te krijgen van het stelsel.

### 3.7.3. Impactstudie aangepast model

De impactstudie van de overstort in de Neerstraat werd reeds in par. 3.5.8. besproken. Uit het rapport van Groep Infrabo blijkt dat de overstortfrequentie van de overstort zeer beperkt is. Volgens de studie door Groep Infrabo zal de overstort in de Neerstraat naar de Pikloop ongeveer 7 keer per jaar in werking treden. Geen van de overstorten zou in werking treden voor buien met  $T=1/10$ . De overstorten zullen dus volgens Groep Infrabo en Aquafin NV niet de grens van gemiddeld 7 overstortingen per jaar overtreden, bijgevolg voldoen de overstorten bij dit model.

Er werd een impactstudie uitgevoerd op het aangepast model, dat nauwkeuriger bij de werkelijkheid aanleunt. Volgende gegevens werden uit InfoWorks CS verkregen:

Overstort	Neerstraat 264.1	
	Aangepast model	
	T = 1/7j. (m <sup>3</sup> )	T = 1/10j. (m <sup>3</sup> )
Overstortvolume	111,59	41,23

Tabel 8: Overstortvolume aangepast model bij neerslagbui  $T=1/7j.$  &  $T = 1/10j.$

Bij ingeven van dezelfde regenbui in het aangepast stelsel wordt toch een overstorting bekomen van 41,23 m<sup>3</sup> bij een simulatie met een composietbui T=1/10j.(zie tabel 8). Dit komt omdat het onverharde oppervlak met een vrij grote factor werd meegerekend wat veel meer belastend zal zijn op de overstort. Volgens dit model zal de overstort dus niet voldoen aan de Code van goede praktijk aangezien er meer overstortendagen per jaar worden verwacht dan de opgelegde norm van 7 overstortdagen.

### **3.8. Controle regenbui VMM**

#### **3.8.1. Algemeen**

Het gemodelleerde rioleringsstelsel wordt gecontroleerd met de in situ meetgegevens van de overstort. Een simulatie wordt gemaakt in InfoWorks CS met beschikbare gegevens van dezelfde neerslagbui als waarop de in situ overstortgegevens betrekking hebben. Na het invoeren van deze buien wordt gecontroleerd of de overstortfrequentie in werkelijkheid overeenkomt met overstortgegevens die verkregen werden uit InfoWorks CS.

#### **3.8.2. Digitale meting overstort Neerstraat.**

Gegevens van de overstort worden digitaal gemeten. De overstortgegevens zijn verkrijgbaar bij de VMM; deze houdt bij hoeveel overstortingen er jaarlijks plaatsvinden. De overstortgegevens worden geregistreerd via een vlotter.(zie figuur 23) Wanneer het waterniveau stijgt tot aan het overstortpeil zal de vlotter een signaal geven. Er zal een alarmsignaal naar een GSM (van de technische dienst van Oud-Turnhout) worden verstuurd, omdat de overstort in werking is getreden.



**Figuur 23: Digitale meting overstort**

### 3.8.3. Neerslagbui VMM

Gegevens van neerslag in Vlaanderen worden verzameld door de VMM. De data van de neerslag van de voorbije 6 jaar is online toegankelijk via de site 'www.hydronet.be'. De site geeft toegang tot alle actuele en historische meetgegevens die geregistreerd werden door de verschillende oppervlakte meetnetten voor het operationeel waterbeheer van de VMM. Deze gegevens zijn vrij te raadplegen. Er liggen 2 meetstations in de buurt van Oud-Turnhout, namelijk Herentals en Loenhout.

*Zie plan bijlage 1.*

De gegevens van beide meetstations zijn dezelfde, de afstand tussen de meetstations is ongeveer 40 km en neerslagverschillen zijn gelijk aan nul. De gegevens van het meetstation van Herentals werden verder ingevoerd. De gegevens in de databank betreffen een neerslagintensiteit, in mm/kwartier. In InfoWorks CS wordt de neerslagintensiteit gerekend in mm/uur. Daardoor dienen de neerslaggegevens uit de databank steeds vermenigvuldigd te worden met een factor 4. Infoworks CS kent aan iedere leiding een zeker (klein) debiet toe. Dit omdat de stap van droge leiding naar gevulde leiding numeriek complex is en door een constant debiet in te zetten wordt deze stap opgevangen. Het gevolg hiervan is dat een simulatie, uitgevoerd zonder regenbui of inflow, toch leidt tot een zeer klein debiet.

### 3.8.4. Vergelijking overstortgegevens september 2010

In InfoWorks CS wordt een simulatie gemaakt van de volledige maand september 2010. Van deze maand waren er voldoende nauwkeurige meetgegevens van de overstort beschikbaar om hiermee het model te controleren.

De neerslagbui van september 2010 wordt via de geregistreerde meetgegevens van de VMM verkregen. Er worden neerslaggegevens ingegeven van 1 september 2010 tot en met 30 september 2010.

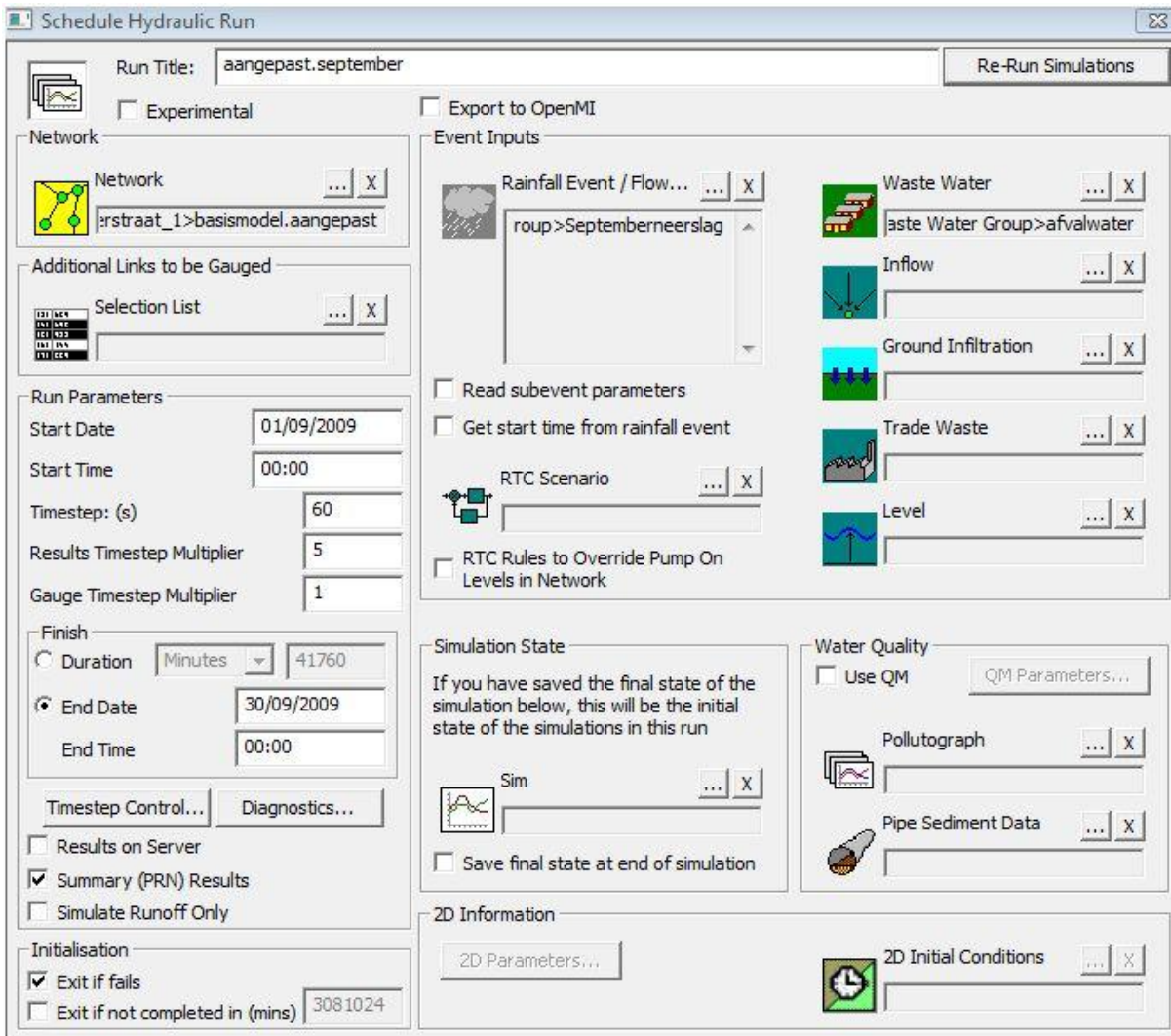
Dit zijn de gegevens uit de overstort meting van september 2010:

Meetpaalnr	Station	Begin overstort	Einde overstort	Duur [min]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Jaar	Maand
162	OUDTURNHOUT NEER	7/09/2010	7/09/2010	126	586	2010	9
162	OUDTURNHOUT NEER	9/09/2010	16/09/2010	92	764	2010	9
162	OUDTURNHOUT NEER	23/09/2010	23/09/2010	109	1017	2010	9

Tabel 9: Gegevens digitale meting september 2010 [5]

In figuur 24 wordt weergegeven hoe een simulatie in InfoWorks CS ingevoerd wordt. Het netwerk dat geselecteerd wordt is het aangepaste model, met de aangepaste oppervlaktecoëfficiënten.

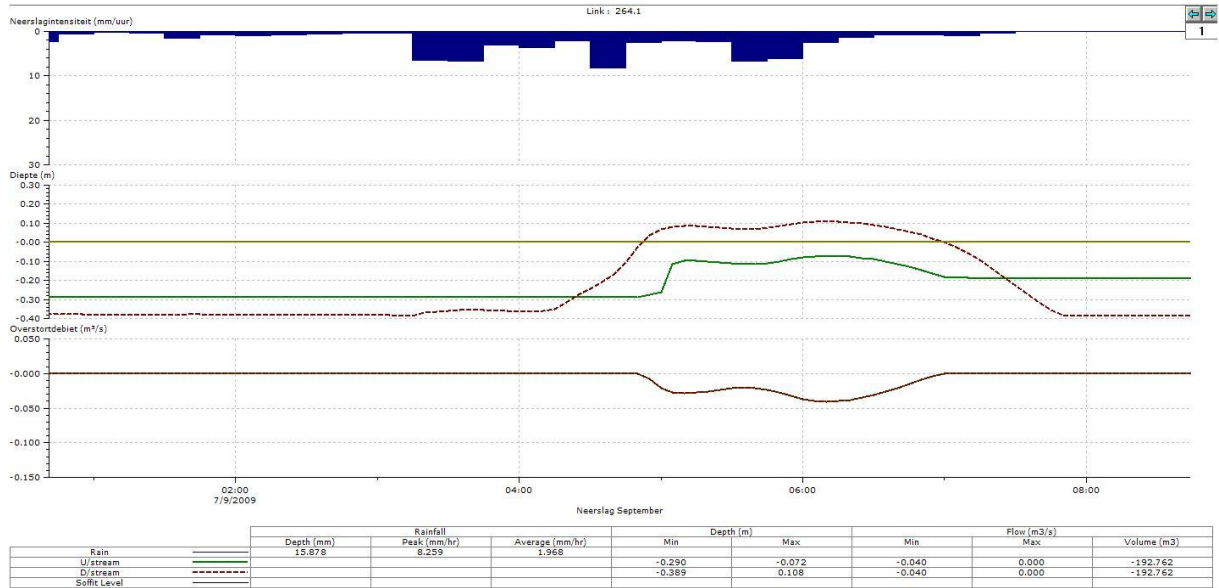
De start- en einddatum van de simulatie kan gespecificeerd worden. Als tijdstap wordt gekozen voor 60 seconden, dit bepaald de nauwkeurigheid (maar ook de rekestijd) van de simulatie. De neerslagreeks van september 2010 wordt ingeven, samen met het afvalwater. De bepaling van het afvalwater (DWA) werd reeds besproken in paragraaf 3.5.6..



Figuur 24: Simulatie september 2010 in InfoWorks CS

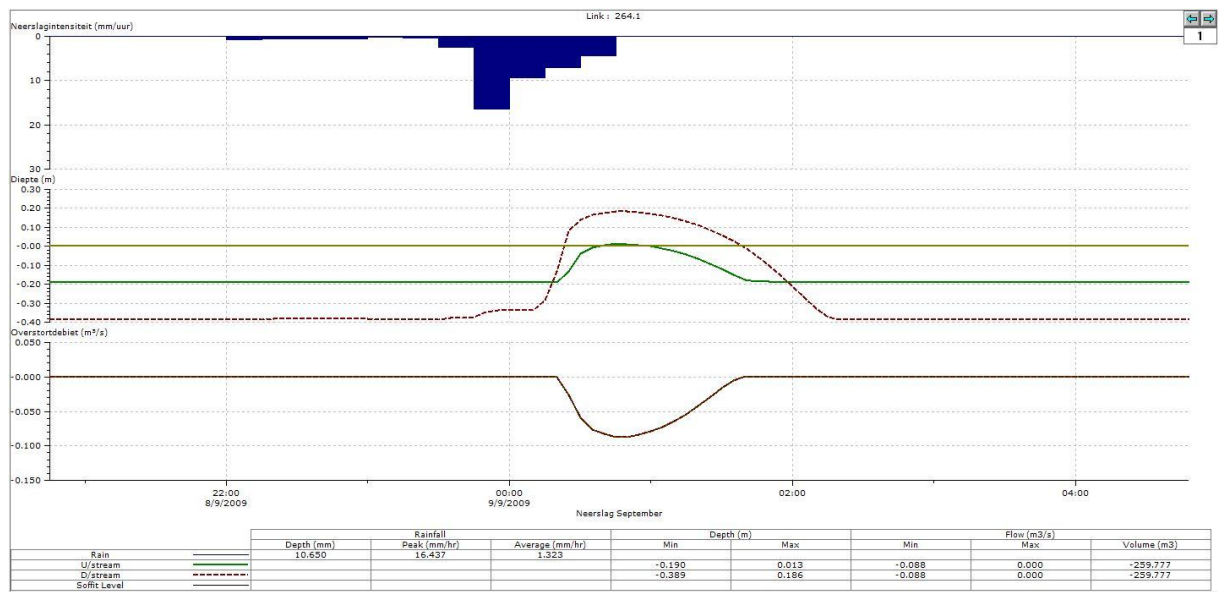
Uit de simulaties kunnen grafieken van de verschillende overstortevnets verkregen worden (zie figuur 24,25 &26).

**Overstort 07/09/2010. Maximum intensiteit neerslag is 8,3 mm/uur.**



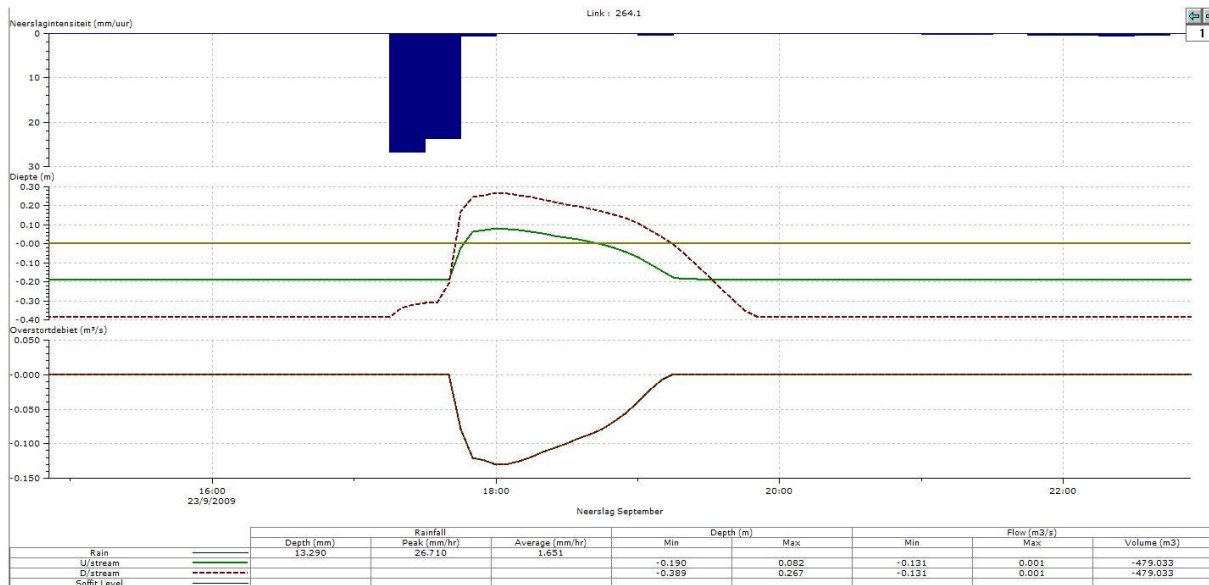
**Figuur 25: Grafiek 7 September 2010**

**Overstort 09/09/2010. Maximum intensiteit neerslag is 16,4 mm/uur.**



**Figuur 26: Grafiek 9 September 2010**

## Overstort 23/09/2010. Maximum intensiteit neerslag is 26,7 mm/uur.



Figuur 27: Grafiek 23 September 2010

*Soffit Level (op nulpeil): overstortpeil = de drempel van de overstort*

*Upstream (stippellijn): opwaarts waterpeil = het opwaarts waterpeil richting overstort*

*Downstream (onder nulpeil): afwaarts waterpeil = het afwaarts waterpeil richting overstort*

Het overstortpeil ('Soffit level') is gelegen op 0m, dit is de referentie. Alles wat boven het 'Soffit Level' (overstortpeil) komt is de overstorting, wanneer het waterniveau hoger staat vindt de overstorting plaats. Zo kan de overstorthoogte, overstortduur en tijd van start/einde overstorting uit de grafiek worden gehaald. Het overstortvolume wordt afgelezen in de tabel onder de grafiek. Uit de onderste grafiek volgt dat het debiet in de leiding zal dalen wanneer de overstorting plaatsvindt. Dit is normaal want een groot debiet van het afvalwater wordt op dit ogenblik afgevoerd naar het oppervlaktewater. Het debiet in de rioolbuis zal dan tijdelijk afnemen.

### Analyse simulaties InfoWorks CS, september 2010

Volgens de praktijkdata zijn er op 3 overstortingen.

De volgende gegevens worden afgelezen uit Infoworks CS:

Begin overstort	Einde overstort	Duur [minuten]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Jaar	Maand
7/09/2010	7/09/2010	130	193	2010	09
9/09/2010	9/09/2010	90	260	2010	09
23/09/2010	23/09/2010	100	479	2010	09

Tabel 10: Simulatie september 2010



Uit de simulatie volgt dat er een overstort plaatsvindt op 7, 9 en 23 september 2010. De overstortduur in het model en in praktijk is gelijkaardig. Het overstortvolume komt niet overeen. In Infoworks CS is het overstortvolume veel kleiner dan in werkelijkheid. Een mogelijke oorzaak is de onnauwkeurigheid van de vlotter en de onderschatting van de neerslagreeksen afkomstig van meetstations van de VMM. Het overstortdebiet heeft een negatief teken (in m<sup>3</sup>). Het minteken wijst hier op het feit dat het water omhoog stroomt naar de overstort toe; de leiding daalt van de overstort naar het pompstation toe. Bij het overstorten loopt het afvalwater omhoog en dus in tegengestelde richting. In praktijk stort er immers een debiet over naar de ontvangende waterloop (Pikloop). De debieten wijken in het model ongeveer een factor 2 à 3 af van de werkelijke volumes.

### 3.8.5. Vergelijking overstortgegevens neerslagreeks 6 jaar

Als verdere controle werd een tweede simulatie uitgevoerd, met een langere neerslagreeks. Er werden neerslaggegevens ingevoerd van 28/04/2005 tot 21/04/2010. Deze werden bekomen via de VMM ('www.hydronet.be'). Bij deze simulatie werd de jaarlijkse overstortingfrequentie vergeleken met de metingen ter plaatse. De meetgegevens werden verkregen via de technische dienst van Oud-Turnhout.

De gegevens werden opgemeten door de VMM.

Jaar	Aantal overstorten in InfoWorks CS	Aantal overstorten opgemeten door VMM
2005*	16	15
2006	6	7
2007	17	11
2008	11	10
2009	14	16
2010*	1	12

Tabel 11: Simulatie overstorten 6 jarige neerslagreeks

\*: Niet heel het jaar werd ingerekend, enkel de periode waarvan neerslaggegevens beschikbaar waren.

#### Analyse simulaties InfoWorks CS, neerslagreeks 6 jaar

De overstortfrequenties in InfoWorks CS komen voldoende nauwkeurig overeen met deze opgemeten door de VMM. In 2010 zien we dat de waarden helemaal niet overeenkomen. Dit heeft te maken met de foute metingen die er van dat jaar zijn. De waarden opgemeten door de VMM zijn zeer hoog, terwijl de regeninvoer geen aanleiding geeft voor zulke extreme waarden. Er is bijvoorbeeld een overstort gemeten van 14 dagen, terwijl dat heel onwaarschijnlijk is. Er wordt gekeken of de pomp niet uitgevallen was zodat deze overstort verklaard kan worden.

De technische dienst van Oud-Turnhout meldde dat in die periode een probleem was met één van de vlotters van de pompen in het pompstation. Daardoor was de overstort volgens de meting een tiental dagen bezig.

Dit probleem doet zich niet voor in Infoworks CS; de data van 2010 kan onmogelijk vergeleken worden. De andere jaren waarbij de overstorten gemeten zijn door de VMM ligt de overstortfrequentie rond de bekomen overstorten uit Infoworks CS. Kleine verschillen zijn vermoedelijk te wijten aan de overstortmeting die niet altijd volledig functioneel was. Verdere mogelijke foutenoorzaken worden hierna besproken.

### **3.8.6. Mogelijke oorzaken afwijkingen**

Mogelijke oorzaken van het verschil tussen modelresultaten en in situ meetgegevens:

- Onnauwkeurige meetgegevens meetstation
- Zeer complexe oppervlakteafstroming op korte tijdsbasis
- Ongunstige verdeling van de verharde oppervlakten
- Sedimentatie in sommige takken
- Onvoldoende nauwkeurige gegevens neerslagreeks
- Vereenvoudigingen door software
- De keuze van  $\phi=0,15$  voor onverharde oppervlaktes

#### ***3.8.6.1. Onnauwkeurige meetgegevens meetstation***

Zoals eerder besproken zijn de meetgegevens die verkregen werden bij de VMM niet helemaal correct. Oorzaak hiervan kan het uitvallen van de pomp zijn, hierdoor zal de overstort immers zeer snel werken. De vlotters kunnen ook op een iets andere hoogte hangen dan deze van het overstortpeil. Het kan ook voorkomen dat de vlotter niet goed functioneert (zie 2010), of andere defecten aan het meettoestel. Dit kan leiden tot een over- of onderschatting van de in situ meetgegevens. Dit zal de belangrijkste oorzaak voor de afwijking van de resultaten zijn in de masterproef.

#### ***3.8.6.2. Zeer complexe waterafstroming***

De stromen uit de simulaties hebben een zeer kortstondig maximum. Dit veroorzaakt een uitermate complexe oppervlakteafstroming. De afwijkingen in maximale debieten tussen InfoWorks CS en realiteit kunnen groot zijn. Mits aanpassen van het afvoermodel in InfoWorks CS, zou het afvoermodel verbeterd kunnen worden. Dit kan leiden tot een over- of onderschatting van de modelresultaten.

### ***3.8.6.3. Verharde oppervlakten***

Een derde foutoorzaak ligt in de toewijzing van de verharde oppervlakte. In het basismodel werd deze (conform de hydronautprocedure) toegewezen aan de stroomopwaartse knoop van elke leiding. In werkelijkheid worden de debieten min of meer uniform over de ganse leiding toegevoerd.

In het geverifieerde model in Spida werden de verharde oppervlakten evenredig met de aangesloten buislengten verdeeld over de knopen in de leiding (meestal 50% opwaarts en 50% afwaarts). Er werd getracht om de foutoorzaak in te rekenen. Dit door aanpassingen aan het model door te voeren, nl. de verharde oppervlakte van de polygonen werd toegekend aan opwaartse en afwaartse knopen.

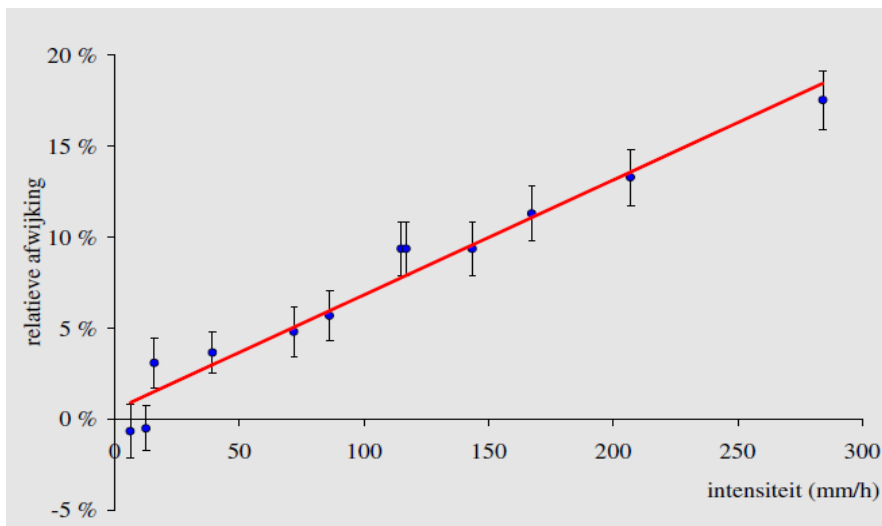
Een verdere mogelijke fout in de oppervlakten kan ontstaan zijn door aanleg van verharding die nog niet aanwezig was in 1995. De oppervlakten zijn opgebouwd op basis van kadasterplannen, wanneer de bebouwing nog niet werd ingetekend is deze ook niet in InfoWorks CS ingegeven. Tuinhuizen en veranda's worden zo ook niet ingerekend. Dit kan leiden tot een onderschatting van modelresultaten.

### ***3.8.6.4. Sedimentatie***

In InfoWorks CS werd geen sedimentatie ingegeven in de leidingen. In praktijk zal er wel sedimentatie verwacht worden (zie ook Hfdst. 5, Sedimentatie). Deze sedimentatie werd ook verwacht door de snelheden in InfoWorks CS te bestuderen bij simulaties. Door de aanwezigheid van sedimentatie kan de overstort sneller in werking treden, aangezien het volume van de leidingen verkleint. De berging in de riolering wordt dus ook kleiner. Sedimentatieproblemen zijn niet direct merkbaar aan de oppervlakte. Dit kan leiden tot een onderschatting van modelresultaten.

### ***3.8.6.5. Onvoldoende nauwkeurige meetgegevens neerslagbui***

Er werden neerslagreeksen ingegeven die geregistreerd waren door de VMM. Bij neerslagmetingen is de kans op onderschatting van de neerslag groot. De moderne pluviografen zijn meestal van het kantelbaktype. Deze pluviografen geven systematisch een onderschatting van de neerslag, welke lineair toeneemt met de neerslagintensiteit omdat water verloren gaat tijdens het kantelen (zie figuur 28). Een positieve afwijking is een onderschatting van de neerslag. Dit kan leiden tot een onderschatting van modelresultaten.



**Figuur 28:** Kalibratiecurve van een kantelbakpluviograaf [6]

Dit betekent dat elke pluviograaf gekalibreerd dient te worden en dat deze kalibratiecurves moeten worden gebruikt om de meting om te zetten naar werkelijke neerslag. Een andere bron van fouten bij de neerslagmeting is de wind. Ook windeffecten zorgen voor een systematische onderschatting van de neerslag. Deze onderschatting is min of meer evenredig met de windsnelheid en kan geschat worden op 1 % onderschatting per m/s windsnelheid. De windsnelheid en turbulentie rond de pluviometer worden ook bepaald door omgevingsfactoren zoals bomen en huizen in de buurt en door de plaatsing van het toestel in de hoogte. [20]

### **3.8.6.6. Vereenvoudigingen door software**

In deze simulatiepakketten zitten toch nog heel wat vereenvoudigingen, bijvoorbeeld de linearisatie van het verband tussen waterhoogte en debiet in het bovenste gedeelte van cirkelvormige leidingen, de benadering voor superkritische stroming, het niet beschouwen van de stroming over de oppervlakte bij 'water op straat' (d.i. de situatie waarbij het riool het afstromende water niet meer kan slikken of er terugstroming uit het riool op straatniveau ontstaat). In het netwerk van de Neerstraat zal geen superkritische stroming aanwezig zijn, de hellingen in de leidingen zijn klein. De andere parameters zullen wel invloed hebben op het model. Bij het vergelijken van simulaties met metingen moet dus rekening gehouden worden met de beperkingen van de software. Dit kan leiden tot een over- of onderschatting van modelresultaten.

### ***3.8.6.7. Keuze oppervlaktecoëfficiënt***

Er wordt getracht de foutoorzaak in te rekenen door het percentage onverharde oppervlakten te verhogen tot 15% bij een aanpassing van het model van 1995. Deze parameter wordt via trial-and-error gevonden. De aanpassing van de parameter heeft een grote invloed op de modelresultaten.

## **3.9. Conclusie**

De controle van het model in InfoWorks CS wordt uitgevoerd. Eerst wordt bepaald welk deel van het rioolstelsel van Oud-Turnhout verder besproken wordt. Daarna wordt verdergegaan met enkel het deel dat aangesloten is op de overstort aan de Neerstraat, die rechtstreeks in het oppervlaktewater van de Pikloop zal overstorten. Een vergelijking van het model met het rapport van Groep Infrabo wordt uitgevoerd. De gegevens komen goed overeen, de fouten die gevonden werden zouden ten gevolge van nieuwere software zijn. Het model wordt verder aangepast om zo nauwkeurig mogelijk aan de werkelijkheid te voldoen. De nauwkeurigheid is belangrijk voor verdere besprekingen van overstortfrequenties van het model. Enkele parameters worden aangepast. De afvloeiingscoëfficiënt van onverhard wordt op 0,15 gezet. Wanneer dit gebeurt, voldoet het model. De theorie en de praktijk van het rioleringsstelsel wordt vergeleken door werkelijke neerslagbuien in te voeren. Mogelijke oorzaken van fouten worden besproken. De overstortgegevens van het model komen voor 90% overeen met de bestaande opgemeten overstorten, er kan dan besloten worden dat er verder gerekend kan worden met het aangepast model.



## 4. Afkoppeling

### 4.1. Algemeen

Water dat toekomt op een zuiveringsinstallatie bestaat uit 3 delen nl.: afvalwater, regenwater en parasitair debiet. Parasitair debiet is aangesloten oppervlaktewater en infiltratiewater dat in de riolering sijpelt. De Europese wetgeving, Kaderrichtlijn Water, eist van de rioolssystemen steeds minder vervuilende lozingen en minder overstorten in de waterlopen.[21]

Regenwater dat door de riolering stroomt, verdunt het afvalwater dat op de zuiveringsinstallaties toekomt, met als gevolg dat de RWZI's minder efficiënt werken. Door dit extra debiet gaan bovendien de overstorten van het rioleringsstelsel vaker werken zodat er sneller ongezuiverd water in de waterlopen terecht komt. Een ander gevolg zijn hogere energiekosten van pompstations en RWZI's.

Aquafin NV bouwt en beheert de infrastructuur voor de zuivering van rioolwater in Vlaanderen. Bij het aanleggen van een nieuwe rioolstelsel legt Aquafin NV op zijn minst gedeeltelijk gescheiden stelsels aan. Op deze manier probeert Aquafin NV de instroom van regenwater in het rioolstelsel te beperken zodat er minder vervuild water in de waterlopen terecht kan komen en de waterzuiveringsinstallaties efficiënter kunnen werken. Er wordt getracht om het verhard oppervlak af te koppelen en zo het oppervlaktewater en regenwater zo veel mogelijk ter plaatse te infiltreren in de bodem. Het kan via een gracht afgevoerd worden waar het verder kan infiltreren. Hierdoor wordt het rioolstelsel minder vaak overbelast.[9]De Vlaamse Milieu Maatschappij geeft subsidies aan gemeenten wanneer deze straten afkoppelen. De VMM gebruikt de term " optimale afkoppeling". Dit betekent dat bij de aanleg of heraanleg van riolen het hemelwater van de particuliere woningen langsheen het tracé van de werken optimaal dient afgekoppeld te worden van de DWA-leiding.

Bijgevolg dient bij open of halfopen bebouwing alle hemelwater gescheiden van het afvalwater afgevoerd te worden, tenzij anders bepaald wordt in het uitvoeringsplan. Tot de algemene gebiedsdekkende uitvoeringsplannen hier uitsluitel over geven wordt het voorontwerp als uitvoeringsplan beschouwd. Bij gesloten bebouwing dient het hemelwater gescheiden van het afvalwater afgevoerd te worden, behalve indien hiervoor leidingen door of onder de woning dienen aangelegd te worden.

Uiteindelijk is de kwaliteit van het oppervlaktewater van belang en niet zozeer de aard van de lozing. De gecombineerde optimalisatie van riolen (overstorten) en waterzuivering (effluentlozing) is dus van groot belang. In dit hoofdstuk wordt dieper in gegaan op afkoppeling van het rioleringsstelsel opwaarts van het pompstation aan de Neerstraat. [22]

## **4.2. Neerslaginvoer bij modellering in InfoWorks CS**

### **4.2.1. Neerslag**

Om het afkoppelen van het rioolsysteem te modelleren worden de verschillende soorten neerslaggegevens bekeken. Er wordt getracht een maatgevende neerslagreeks te nemen waardoor de resultaten uit de simulaties representatief en nauwkeurig zijn voor de berekening van overstortfrequenties. Een goede keuze van de neerslag is dus van groot belang.

Neerslag is een grote oorzaak van hydraulische problemen. Daarom is een grondige kennis van de neerslag nodig. Door de grote variabiliteit van de neerslag in tijd en ruimte is het niet eenvoudig om een goede keuze te maken van de neerslaginvoer voor ontwerpberekeningen en modellering. Een slechte keuze van de neerslaginvoer kan leiden tot verkeerde inschattingen van risico's, met soms verstrekkende gevolgen. Meestal wordt er gebruik gemaakt van puntneerslagmetingen, opgemeten met pluviografen.

Deze geven een systematische onderschatting van de neerslag bij hoge intensiteiten. Eind jaren '90 werd de digitalisatie van een neerslagreeks van 100 jaar (1898-1997) opgemeten met eenzelfde pluviograaf van het KMI te Ukkel afgerond. Op deze unieke tijdreeks werd een trendanalyse uitgevoerd, voor een brede variatie aan neerslag van kortstondige buien (10 minuten) tot seizoensneerslag (per 3 maanden). Uit deze analyse bleek een licht dalende tendens voor de kortstondige (zomer)neerslag en een licht stijgende tendens voor de meer langdurige (winter)neerslag. [23]

### **4.2.2. Neerslag in functie van de toepassing**

De neerslaginvoer is afhankelijk van de toepassing waarvoor deze gebruikt wordt. Er worden twee categorieën onderscheiden waarbij het vereiste type neerslag verschillend is. De eerste is voor de kalibratie/verificatie voor historische gebeurtenissen, hier is de neerslag vereist op de betreffende plaats en op het betreffende tijdstip. De tweede is voor de ontwerp toepassingen, hier is statistisch representatieve neerslag vereist. Deze twee categorieën hebben dus specifieke vereisten met betrekking tot de benodigde neerslag. In theorie worden er voor ontwerp toepassingen best continue simulaties met lange-termijn-tijdreeksen gebruikt, maar omwille van de beperking in rekentijd is dit vaak niet haalbaar bij complexe hydraulische berekeningen.

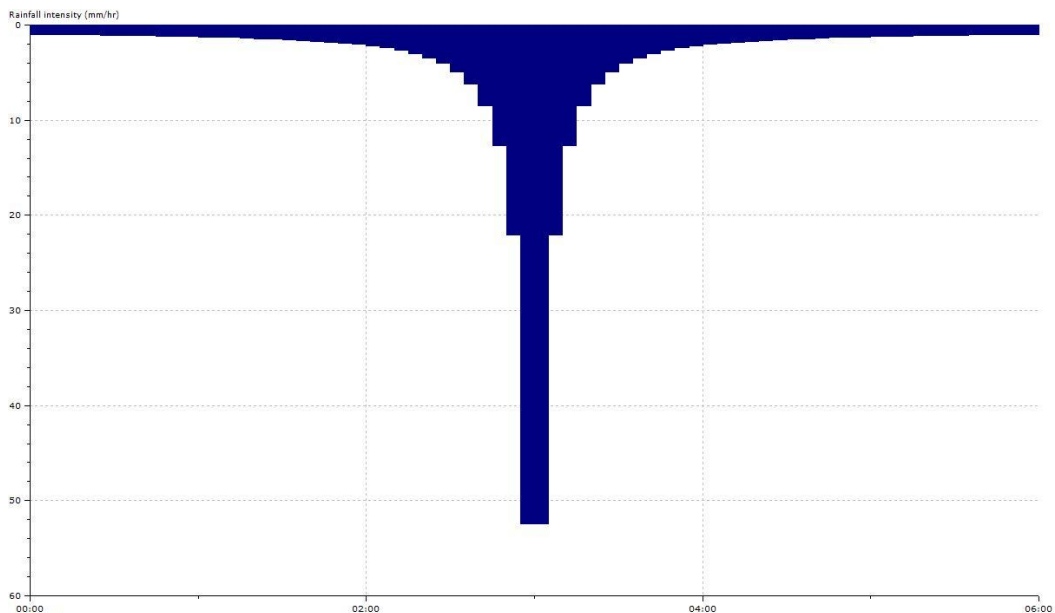
Daarom is de neerslag statistisch verwerkt en wordt er met een in duur beperkte representatieve neerslag gerekend. Deze statistische regenbuien zijn beter bekend als ontwerp buien. De voorverwerking van de neerslag leidt tot minder goede resultaten wanneer de te modelleren systemen niet-lineair zijn. Riool systemen zijn niet-lineair als er geen eenduidige relatie is tussen de invoer en uitvoer.



De kans op vóórkomen van een gesimuleerd effect is immers niet noodzakelijk gelijk aan de kans op voorkomen van de neerslag die dit effect veroorzaakt. In deze gevallen bepaalt het gedrag van het gemodelleerde afwateringssysteem dus mee de nauwkeurigheid van het resultaat.

Een goede keuze van de soort te gebruiken neerslag in functie van de toepassing en het te modelleren watersysteem is dan ook van cruciaal belang. Voor rioolmodellen zijn er 3 soorten berekeningen met elk hun specifieke neerslaginvoer[23] :

- **Ontwerpberekeningen:**  
Omdat bij extreme buien waarvoor de ontwerpberekeningen worden gemaakt, de overstorten in werking treden wordt het systeemgedrag bij benadering lineair en kunnen zogenaamde ontwerpbuien (composietbuien) met voldoende nauwkeurigheid worden toegepast.  
Een bijkomende verbetering van de nauwkeurigheid kan worden bekomen door het gebruik van geselecteerde korte reeksen.

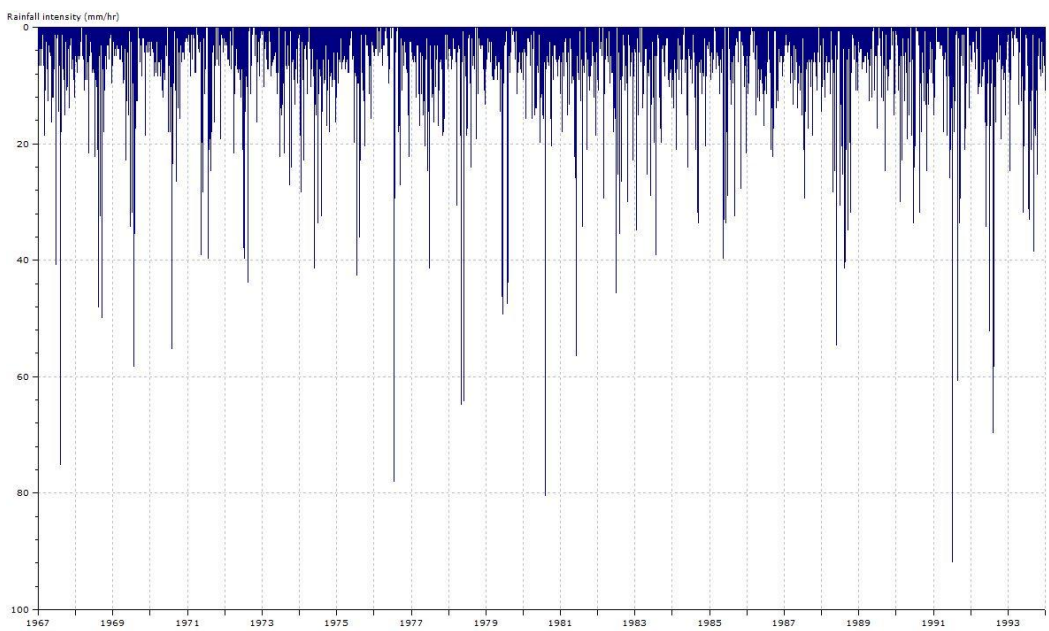


**Figuur 29: Composietbui T2**

- **Berekening overstortemissies:**  
Door de niet - lineariteit van het systeem geeft het gebruik van continue lange - termijn simulaties met vereenvoudigde modellen veel nauwkeurigere resultaten dan het gebruik van ontwerpbuien.
- **Berekening bronmaatregelen:**  
Door de sterke dynamische eigenschappen van het rioolsysteem zijn continue lange-termijn simulaties nodig.

Voor het onderzoek naar de optimale afkoppeling wordt er naar de overstortfrequenties gekeken van het systeem. Hierdoor is het essentieel dat er gebruik gemaakt wordt van continue-lange-termijn-neerslagreeksen om de overstortfrequenties zo nauwkeurig mogelijk in te schatten. Aangezien de neerslag sterk varieert van jaar tot jaar is er gekozen voor een lange neerslagreeks van 27 jaar waarin een representatief beeld van de neerslag variatie zit. Er wordt gekozen om met de neerslagreeks van Ukkel met een termijn van 27 jaar verder te werken [24]. Dit omdat algemeen wordt aanvaard dat de neerslag van Ukkel bruikbaar is voor heel Vlaanderen. (Zie Figuur 29: Continue-lange-termijn-neerslagreeks Ukkel 27 jaar) Om de rekentijd te beperken kan er een vereenvoudiging nodig zijn van het model met als gevolg minder nauwkeurige waarden.

Aangezien het model dat gebruikt wordt maar een deel van het huidige rioolsysteem is, en voldoende compact is en niet te complex kunnen we de simulaties met continue lange neerslagreeksen uitvoeren. Hierdoor kunnen er representatieve en nauwkeurige resultaten bekomen worden.



Figuur 30: Continue-lange-termijn neerslagreeks Ukkel 27 jaar

### 4.3. Aanmaken verschillende versies

Voor deze studie is het belangrijk dat er onderzocht wordt welke delen afgekoppeld moeten worden om te voldoen aan de Code van Goede Praktijk.

Deze zegt dat de overstortfrequentie afhankelijk is van de kwetsbaarheidsklasse van het gebied.

#### 4.3.1. Kwetsbaarheidsklassen

De kwetsbaarheidsklassen zijn terug te vinden op de kwetsbaarheidskaarten van de verschillende provincies opgesteld door Databank ondergrond Vlaanderen. (zie figuur 31)

De verschillende kwetsbaarheidsklassen kunnen als volgt ingedeeld worden:

Ecologisch uiterst kwetsbare waterlopen:

Dit zijn oppervlakte wateren met een zeer hoge ecologische waarde.

Ze zijn rood ingekleurd op de kwetsbaarheidskaart.

Hier worden geen overstorten toegestaan op deze waterlopen.

Ecologisch kwetsbare waterlopen:

Dit zijn oppervlaktewateren met een goede kwaliteit en met een hoge ecologische waarde.

Deze gebieden zijn oranje ingekleurd.

Er wordt maximaal een overstortfrequentie toegelaten van gemiddeld 7 overstortdagen per jaar.

Ecologisch strategisch belangrijk oppervlaktewateren:

Dit zijn oppervlaktewateren die geen hoge actuele waterkwaliteit bezitten, maar beschermd dienen te worden.

Deze gebieden zijn geel ingekleurd op de kwetsbaarheidskaart.

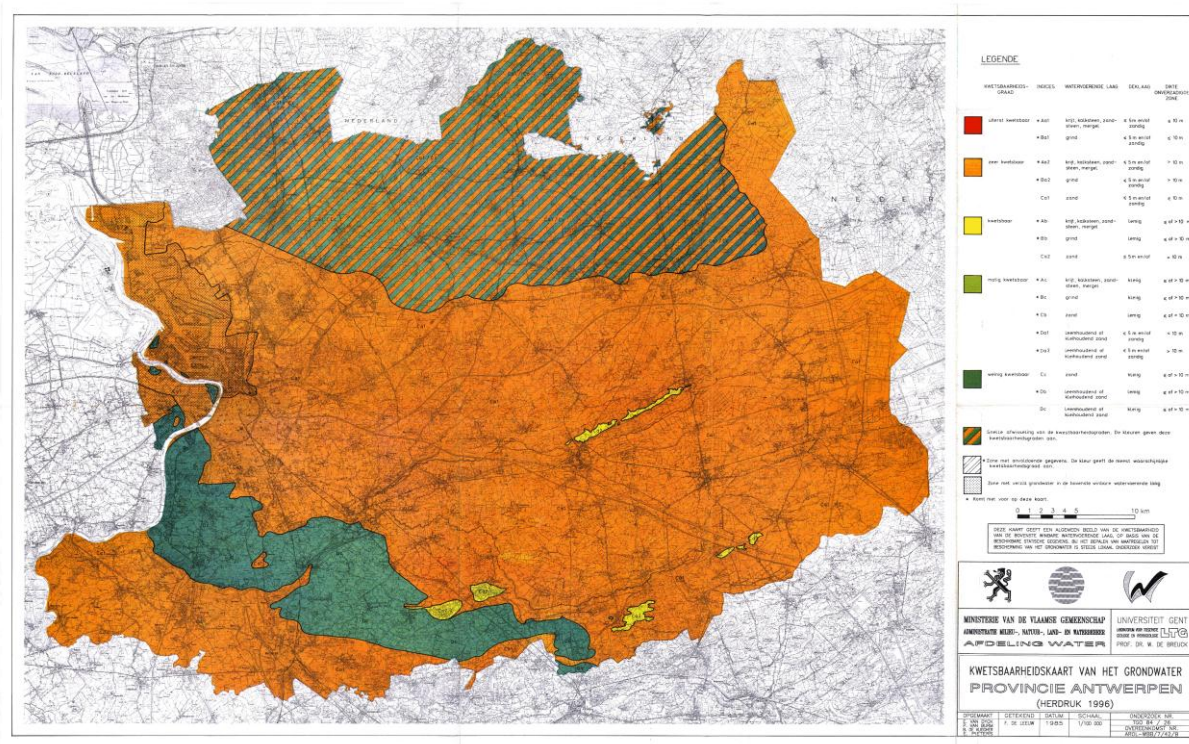
Er wordt maximaal gemiddeld 7 overstortdagen per jaar toegelaten.

Overige oppervlaktewateren:

Dit zijn oppervlaktewateren waar niet expliciet een ecologische kwaliteit aan is toegekend.

Deze oppervlaktewateren zijn dan ook niet ingekleurd op de kwetsbaarheidskaart.

Er wordt maximaal gemiddeld 10 overstortdagen per jaar toegelaten.



Figuur 31: Kwetsbaarheidskaart [25]

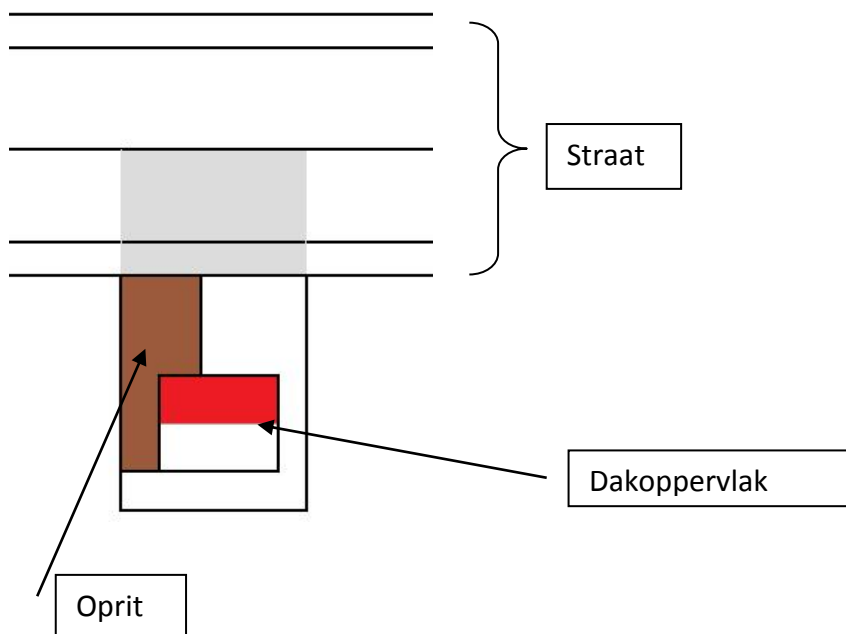
De Pikloop waar de overstort overtollig water in afvoert is gelegen in het oranje gekleurd gebied. Dit wil zeggen dat het gebied bij de ecologisch kwetsbare waterlopen behoort. Hierbij mogen er dan maximaal 7 overstortdagen per jaar zijn.[25]

#### 4.3.2. Gemiddeld perceel

Om te kunnen bepalen welke delen van een gemiddeld perceel afgekoppeld moeten worden is het noodzakelijk om verschillende afkoppelingsscenario's op te stellen en hiermee simulaties uit te voeren. De uiteindelijke bedoeling is te bepalen welke scenario's het gewenste resultaat bekomen en welke hiervan het makkelijkste (dus met de minste inspanning en kosten) gerealiseerd kunnen worden vanuit het standpunt van de gemeente. Aangezien bepaalde delen makkelijker en dus goedkoper af te koppelen zijn dan andere delen is het belangrijk die opdeling in verschillende versies te maken. Bij gesloten bebouwing maakt de VMM al een onderscheid. Zo moet bij een gesloten bebouwing al het hemelwater afgevoerd worden tenzij er voor de aanleg hiervan door of onder de woningen leidingen aangelegd dienen te worden. De achterkant van het dak is namelijk het moeilijkste deel voor de particulier om af te koppelen.



Figuur 32: Gemiddeld perceel Driedostraat te Oud-Turnhout



**Figuur 33: Indeling gemiddelde perceel**

Er wordt gerekend met een gemiddeld perceel qua oppervlakte van de gemeente Oud-Turnhout op de plaatsen waar nog afgekoppeld moet worden (zie figuur 32 en 33). De bovenbouw van de straat bestaat uit ongeveer 5 meter brede verharding met een goot en boordsteen maar zonder een voetpad. In de gemeente Oud-Turnhout zullen de bestaande rioolleidingen behouden worden voor de DWA- afvoer. Bij afkoppeling zal er een nieuwe RWA-leiding aangelegd worden.

De 5 verschillende scenario's die gesimuleerd worden verschillen van elkaar door de parameters van straatoppervlak, dakoppervlak en onverharde oppervlakken te wijzigen ten opzichte van elkaar (zie figuur 34).

De onverharde oppervlakken worden ook mee afgekoppeld met de straatoppervlakken. In hoofdstuk Controle Model wordt er gesproken over hoe het model aangepast wordt door de onverharde oppervlakken voor 15 % mee te rekenen zodat het model overeenkomt met de werkelijkheid. Een deel van het hemelwater dat op onverharde oppervlakken valt infiltreert niet in de bodem maar stroomt af op de straatoppervlakken. Zo komt dit water terecht in de riolen waardoor er bij afkoppeling van de straat ook het afgestroomde hemelwater van de onverharde oppervlakken mee in rekening gebracht wordt.

Subcatchment ID	Total Area (ha)	Runoff Area 1 Absolute (ha)	Runoff Area 2 Absolute (ha)	Runoff Area 3 Absolute (ha)
259	0.500	0.050	0.020	0.430
262	1.090	0.050	0.168	0.780
266	0.250	0.141	0.014	0.190
267	0.050	0.039	0.000	0.040
272	0.210	0.007	0.085	0.020
273	1.500	0.106	0.166	1.100
274	0.570	0.233	0.105	0.310
275	0.040	0.158	0.010	0.010
277	0.570	0.015	0.000	0.500
278	0.410	0.062	0.057	0.300
279	0.800	0.056	0.046	0.630
280	0.360	0.128	0.054	0.260

Figuur 34: Runoff Areas

Runoff Area 1 = Straatoppervlakken.

Runoff Area 2 = Dakoppervlakken.

Runoff Area 3 = Onverharde oppervlakken.

De verschillende scenario's die opgesteld worden, zijn hieronder weergegeven met hun afkorting.

**Aangepast model:**

Dit is de versie waar er nog niet afgekoppeld is. Het geeft de bestaande toestand weer.

**Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>0</sub>:**

Het straatoppervlak wordt volledig afgekoppeld.

**Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>50</sub>:**

Het dakoppervlak wordt voor 50% afgekoppeld.

**Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub> :**

Het straatoppervlak wordt volledig afgekoppeld en het dakoppervlak voor 50%.

**Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>:**

Het straatoppervlak en het dakoppervlak worden volledig afgekoppeld.

**Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>100</sub>:**

Het dakoppervlak wordt volledig afgekoppeld.

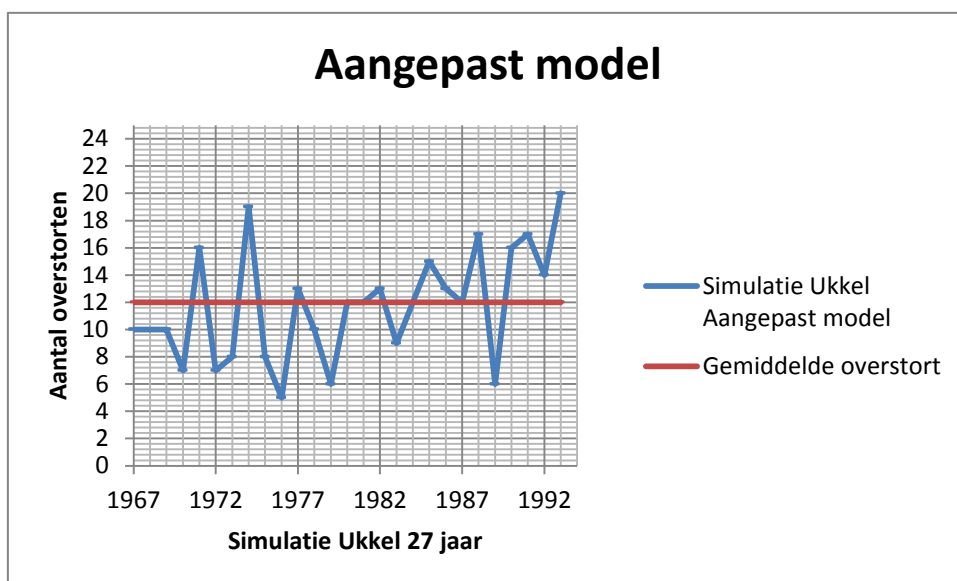
Eerst wordt de simulatie uitgevoerd met het aangepast model. Dit is het scenario die met de actuele toestand overeenkomt.

Uit deze simulatie worden het aantal overstorten en het gemiddeld aantal overstorten per jaar gehaald. De resultaten van simulaties van de verschillende versies kunnen dan met deze versie vergeleken worden.

#### 4.4. Resultaten van de simulaties

##### 4.4.1. Aangepast model

Er wordt gestart met het aangepast model. Dit is het model zonder afkoppeling. Deze versie geeft de huidige toestand van het rioolsysteem weer.

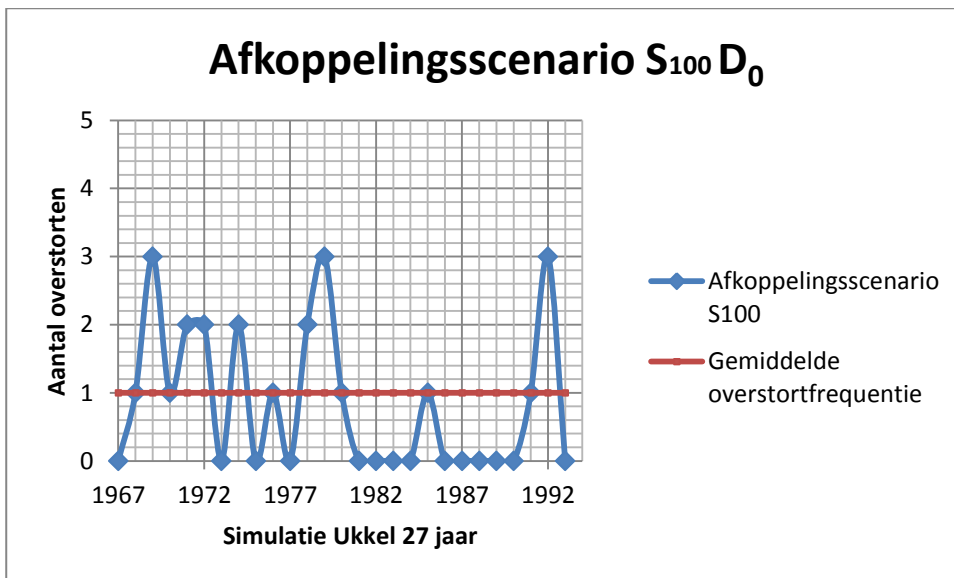


Figuur 35: Simulatie aangepast model

De grafiek geeft aan dat het aantal overstorten zeer tijdsafhankelijk zijn. Dit is ook de reden waarom een continue lange termijn neerslagreeks gebruikt wordt, om de variatie in de tijd op te vangen. Gemiddeld vinden er 12 overstortdagen per jaar plaats. Bij volgende scenario's wordt er afgekoppeld en worden er minder overstortdagen verwacht.

##### 4.4.2. Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>0</sub>

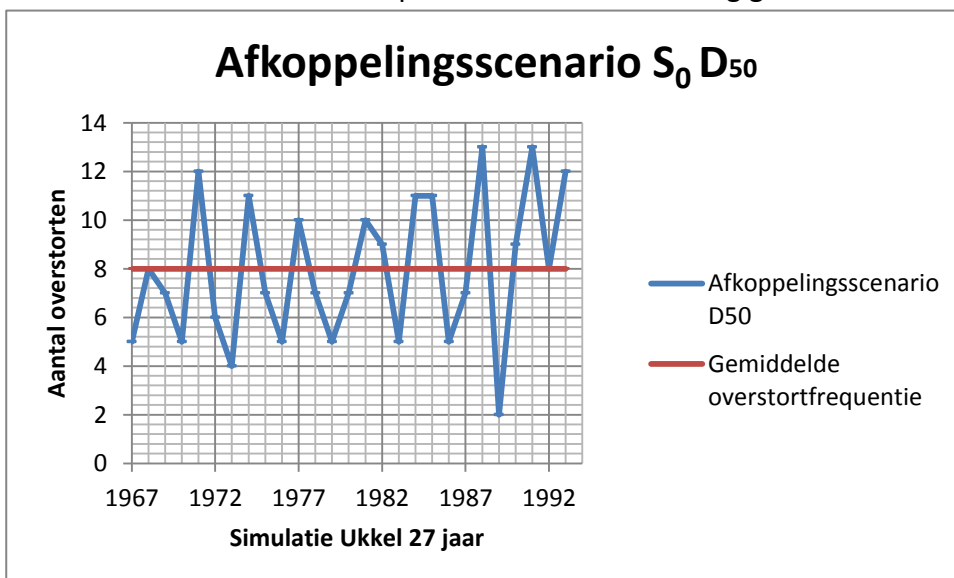
Bij het afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>0</sub> wordt het straatoppervlak en het bijhorende onverhard oppervlak volledig afgekoppeld. Er wordt afgekoppeld voor het totale stelsel dat er bekeken wordt. Dit geeft een reductie van de overstortfrequentie. De gemiddelde overstortfrequentie daalt van 12 naar 1 overstortgebeurtenis. Dit resultaat ligt onder de vastgelegde waarde van 7 overstortdagen per jaar. Wanneer heel het rioolsysteem afgekoppeld wordt op basis van dit scenario, worden de richtlijnen behaald.



Figuur 36: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>0</sub>

#### 4.4.3. Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>50</sub>

Bij het afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>50</sub> wordt enkel 1 kant van het dak afgekoppeld. Er wordt gerekend met 50 % van het dakoppervlak dat afgekoppeld wordt. Dat is een aanzienlijk kleinere oppervlakte dat afgekoppeld wordt in vergelijking met het straatoppervlak dat volledig afgekoppeld wordt. Dit levert een overstortfrequentie op die hoger ligt dan bij het eerste afkoppelingsscenario en natuurlijk wel minder is dan bij het aangepast model aangezien er toch een deel wordt afgekoppeld. De gemiddelde overstort bedraagt nu 8 overstortevnets per jaar. Dit ligt boven de gemiddeld zeven overstortdagen per jaar. Deze versie voldoet dus niet om minder dan gemiddeld zeven overstortdagen per jaar te behalen. Hierdoor zal er in deze masterproef niet verder rekening gehouden worden met dit scenario.

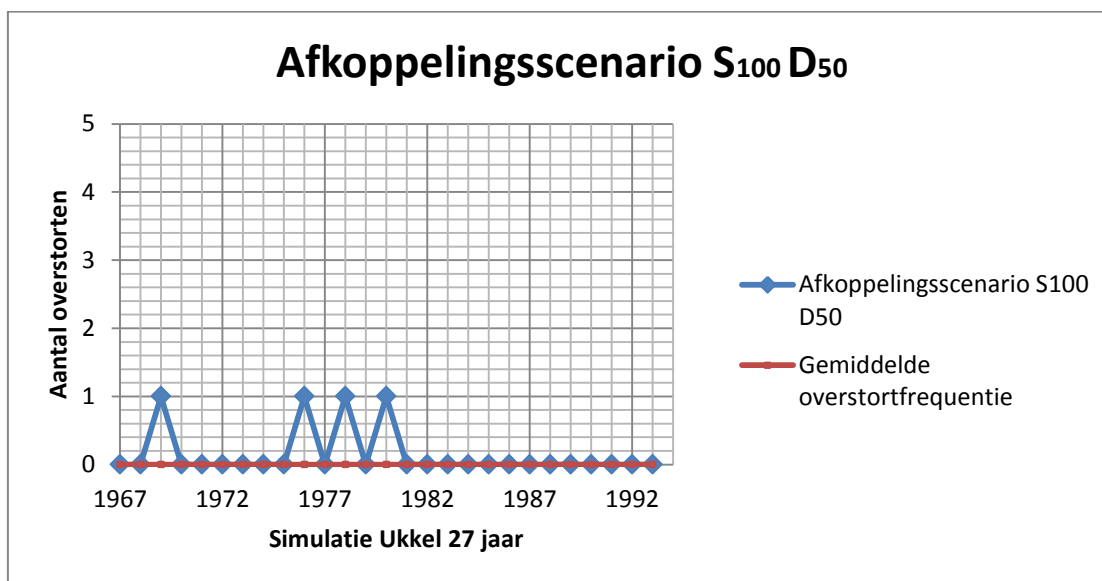


Figuur 37: Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>50</sub>



#### 4.4.4. Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub>

Dit afkoppelingsscenario is een combinatie van de vorige 2 scenario's. Het straatoppervlak wordt volledig afgekoppeld en het dakoppervlak wordt voor de helft afgekoppeld. De afgekoppelde oppervlakte is groter dan de vorige 2 scenario's dus het gemiddelde aantal overstorten per jaar zal ook lager liggen. Er is een daling van de oorspronkelijke 12 overstortdagen per jaar naar gemiddeld 0 overstortdagen per jaar. Wanneer heel het systeem afgekoppeld wordt op deze wijze zullen er in een gemiddeld jaar geen overstorten plaatsvinden.



Figuur 38: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub>

#### 4.4.5. Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>

Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub> houdt in dat het dakoppervlak en het straatoppervlak volledig afgekoppeld worden. Er is dus volledige afkoppeling waardoor de volumes hemelwater zeer klein zijn in het rioolstelsel. Dit scenario verstaat VMM onder optimale afkoppeling voor open of halfopen bebouwing.

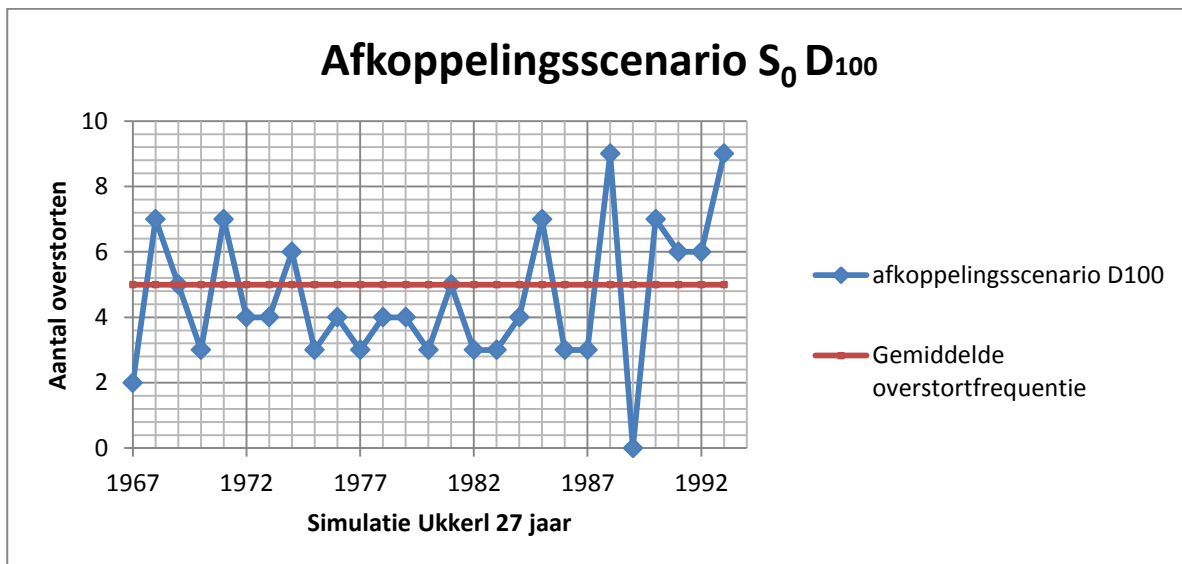
Er wordt een overstortfrequentie van gemiddeld 0 overstortdagen per jaar bekomen. Dit is te verwachten aangezien er geen regenwater meer in de DWA- leiding zal stromen. Aangezien de DWA- afvoer niet neerslag afhankelijk is zal er ook geen variatie in de overstorten zijn en is er in ieder jaar van de simulatie geen overstort.

#### 4.4.6. Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$

Het laatste afkoppelingsscenario is het scenario waar enkel het dakoppervlak volledig wordt afgekoppeld.

De overstortfrequentie zal hierbij dus lager zijn dan bij afkoppelingsscenario  $S_0 D_{50}$  aangezien nu het volledige dak afgekoppeld is. Deze bedraagt hier gemiddeld 5 overstortdagen per jaar.

Er wordt wel een kanttekening gemaakt bij dit scenario en bij afkoppelingsscenario  $S_0 D_{50}$ . In gebieden en straten zonder grachten zal een regenwaterriool aangelegd moeten worden. Hierbij zal de straat opengeboken wordt bijgevolg de straat mee afgekoppeld. Hierdoor zullen deze 2 scenario's altijd samen gaan met het afkoppelen van het straatoppervlak in deze gebieden. In gebieden waar grachten zijn langs de weg is het natuurlijk wel mogelijk om deze 2 scenario's toe te passen. Zo kan daar het hemelwater van het dak infiltreren in de gracht. De resultaten geven wel een indicatie hoe de verhouding tussen de invloed van de straat en de invloed van het dak op de overstortfrequentie is.

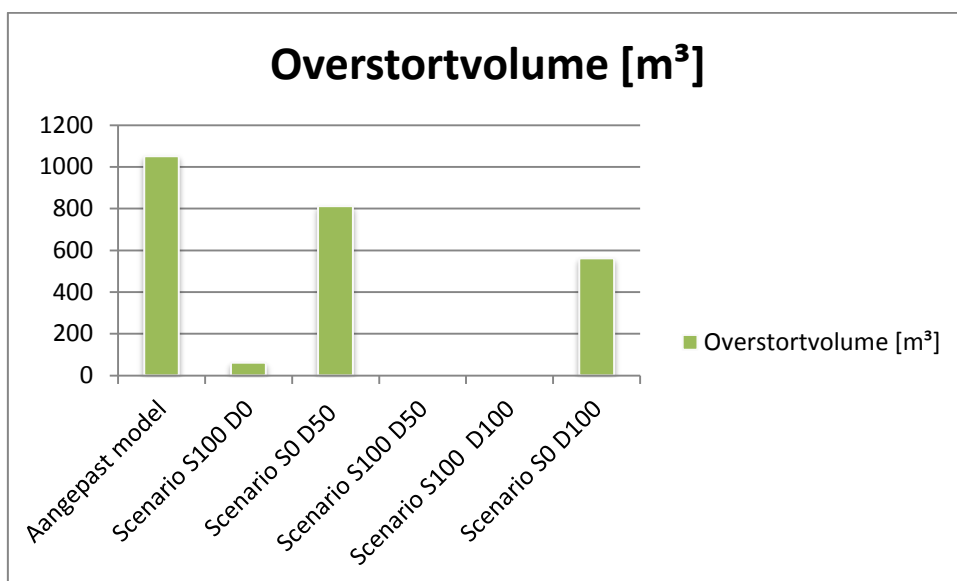


Figuur 39: Afkoppelingsscenario  $S_0 D_{100}$

#### 4.4.7. Overstortvolume

Naast de overstortfrequentie wordt er ook gekeken naar het overstortvolume. Hiervoor zijn er van deze 5 scenario's simulaties gebeurd met een composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar. Uit deze resultaten wordt het overstortvolume bekeken. (zie figuur 40) Dit geeft het volume water weer dat in de waterloop terecht komt. Er wordt getracht om dit volume zo klein mogelijk te houden zodat de vervuiling van de waterlopen beperkt blijft.

In de volgende grafiek zijn de overstortvolumes te zien van de verschillende afkoppelingsscenario's.



Figuur 40: Overstortvolumes

Scenario  $S_{100} D_0$  geeft een zeer klein overstortvolume. Aangezien de straat samen met een deel van het onverharde oppervlaken afgekoppeld wordt en veel regenwater niet meer door de leidingen stroomt. De simulatie toont echter aan dat bij deze versie een overstort plaatsvindt en de waterloop dus vervuild wordt bij een composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar

Bij scenario  $S_0 D_{50}$  is er nog een groot volume dat, bij een composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar, overstort. Er wordt namelijk maar een heel klein deel van het regenwater naar de RWA- leiding afgevoerd.

Bij scenario  $S_{100} D_{50}$  wordt er gemiddeld ook geen overstort bekomen, waardoor het overstortvolume ook 0 zal zijn. Dit scenario is vergelijkbaar met afkoppelingsscenario  $S_{100} D_{100}$ , het enige verschil is dat 50% van het dak niet wordt afgekoppeld bij scenario  $S_{100} D_0$ .

Bij volledige afkoppeling (afkoppelingsscenario  $S_{100} D_{100}$ ) is er geen overstortvolume meer. Er is dus geen vervuiling meer in de waterlopen. Dit is te verwachten aangezien het regenwater niet meer in de leidingen met afvalwater komen. De droog weer afvoer is niet afhankelijk van de neerslag.

Afkoppelingsscenario  $S_0 D_{100}$  geeft nog een groot overstortvolume. Dit is het scenario waar alleen het dak afgekoppeld wordt. Uit de resultaten van de continue lange termijn neerslagreeks werd een gemiddelde overstortfrequentie van 5 overstortdagen per jaar bekomen. Hierdoor kan besloten worden dat nog veel hemelwater mee afgevoerd wordt in de riolering, waardoor er bij pieken van de neerslag ook een behoorlijk volume overstort.

Wanneer de verschillende scenario's vergeleken worden, blijkt dat de overstortvolumes sterk gereduceerd worden bij afkoppeling. Waardoor afkoppeling een positief effect heeft op de vervuiling van de waterloop, als er vanuit gegaan wordt dat het regenwater dat afgekoppeld is niet verontreinigd is. Uit de literatuurstudie (par.2.3.6.) blijkt echter dat in afstromend regenwater stoffen zitten die de waterlopen vervuilen. Hierdoor wordt het positieve effect van afkoppelen bij een RWZI en overstort teniet gedaan en neemt bij hoge afkoppelpercentages de emissie van bv. lood en zink zelfs toe. Een gemiddeld beeld voor alle zware metalen is dat het totale effect van afkoppelen op de emissie van de afvalwaterketen neutraal is. Bij afkoppelen van onbehandeld afstromend regenwater worden echter meer zware metalen lokaal op het oppervlaktewater geloosd.

De Code van Goede Praktijk beschouwt echter al het afvloeiend hemelwater van daken, wegen en verharde oppervlakten, dat via de daartoe bestemde kunstmatige afvoerwegen voor hemelwater of de gewone oppervlaktewateren moet afgevoerd worden, als niet verontreinigd hemelwater.[11]

#### **4.5. Bespreking verschillende afkoppelingsscenario's.**

Hoe optimaal de versie is, is afhankelijk vanuit welk standpunt er naar afkoppeling gekeken wordt. De VMM wil dat er uiteindelijk geen overstorten meer plaatsvinden en dat er geen vuilvracht in de waterlopen terecht komt. Gemeentes en particulieren kijken naar wat afkoppeling kost en hoeveel moeite er ingestoken moet worden. Voor de gemeente is het belangrijk om te weten met welke versie er zo snel en goedkoop mogelijk voldaan wordt aan de Code van Goede Praktijk die zegt dat er niet meer dan 7 overstortdagen mogen plaatsvinden.

Er gaat dus gekeken worden naar de verschillende versies en hoe de gemiddeld aantal overstorten verlopen als er meer en meer van het stelsel afgekoppeld worden. Zo krijgen we een beeld van hoe snel de overstortfrequentie in een scenario daalt. Dit is belangrijk voor de gemeente aangezien de gemeente moet voldoen aan de Code van Goede Praktijk zodat de Krachtrichtlijn Water gehaald kan worden.

Het is de verwachting dat er op een termijn van 30 jaar voor ieder perceel een bouwvergunning aangevraagd zal worden voor een verbouwing of bebouwing. Bij dergelijke aanvraag kan de gemeente de particulier makkelijk verplichten om af te koppelen. Hierdoor kan op termijn heel het stelsel volledig afgekoppeld worden. De vuilvrachten naar de waterlopen worden zo ook gereduceerd. Daarna wordt er gekeken naar het verschil in kostprijs bij de verschillende scenario's om te voldoen aan de Code van goede praktijk. Er wordt ook gekeken naar het theoretisch risico op sediment afzettingen bij de verschillende scenario's. Zo kunnen we aan de hand van het ontwerpcriterium voor de snelheid bekijken waar en wanneer er afzetting kan plaatsvinden. Dit kan een doorslaggevende factor zijn in de keuze naar een optimale versie. Aangezien meer afzettingen ook meer onderhoud vragen.

Bij de keuze wordt dus gekeken naar wat voor de particulier en de gemeente voor het minste overlast zorgt en het goedkoopste is. De berekening naar de kostprijs en het effect van afkoppeling op de sediment afzettingen gebeurt in hoofdstuk 5.

#### **4.6. Besluit**

Voor de impact van overstorten op het ontvangende oppervlaktewater gaat het om het effect van de emissies. Uiteindelijk is immers de kwaliteit van het oppervlaktewater van belang en niet zozeer de aard van de lozing. Hierbij mag echter de combinatie met andere lozingen niet uit het oog worden verloren. De gecombineerde optimalisatie van riolering (overstorten) en waterzuivering is dus van groot belang. Om een goede optimalisatie te creëren van het model en de overstortfrequenties is het van belang om een passende neerslagreeks te gebruiken. De continue lange – termijn- neerslagreeks van Ukkel van 1967 tot 1993 wordt gebruikt voor de gepaste simulaties. Dit geeft representatieve en zeer nauwkeurige resultaten.

Om te kunnen bepalen welke delen van een gemiddeld perceel afgekoppeld moeten worden zijn verschillende scenario's opgesteld om hiermee simulaties uit te voeren. Na simulatie van de verschillende versies worden de resultaten vergeleken met de basisversie. Hieruit blijkt dat bij afkoppelingsscenario  $S_{100}D_{50}$  de gemiddelde overstortfrequentie en het overstortvolume gelijk zijn aan 0. Scenario  $S_{100}D_0$  verschilt van afkoppelingsscenario  $S_{100}D_{50}$  met een halve dakoppervlakte waardoor de gemiddelde overstortfrequentie 1 is en het overstortvolume zeer klein blijft bij een composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar. Bij scenario  $S_0 D_{50}$  en scenario  $S_0 D_{100}$  wordt de straat en dus ook het onverhard niet mee afgekoppeld waardoor er gemiddeld meer overstorten zijn, hierdoor is het overstort volume hoger. Deze 2 scenario's zullen in Oud-Turnhout niet van toepassing zijn aangezien er overal een RWA leiding aangelegd wordt en hierdoor de straat onmiddellijk mee aangesloten wordt waardoor die ook afgekoppeld wordt.



## 5. Kostprijsanalyse en risico op afzetting van sediment

### 5.1. Algemeen

Wanneer een deel van het rioolstelsel afgekoppeld wordt zullen lagere snelheden optreden in DWA- leidingen, omdat er een debietvermindering is en omdat het DWA-leidingen niet meer wordt gespoeld door een regenbui. Dit kan leiden tot sedimentafzettingen. Reeds in de literatuurstudie (par. 2.2) werd besproken dat rioolsedimenten in gemengde rioleringen bestaan uit een mengsel van organische sedimenten, fijne regenwatersedimenten en steengruis. In een gescheiden regenwaterriool zijn dat eerder fijne regenwatersedimenten en steengruis. Bij een gescheiden afvalwaterriool zijn het meestal organische sedimenten. [7] Het is moeilijk om juist te bepalen welk soort sedimenten en welke hoeveelheid en concentratie er verwacht wordt; dit is verschillend per gebied. Het transportmechanisme kan ook verschillen: fijner materiaal heeft de neiging om te zweven in suspensie, in tegenstelling tot zwaarder materiaal dat rollend of glijdend zal bewegen.[2] Het type van beweging wordt ook beïnvloed door de plaatselijke snelheidsverdeling. De ophoping van sedimenten is meestal lineair of exponentieel met de tijd. De ophopingen van sedimenten kunnen vermeden worden door spoeling. Dit door een efficiënt zelfreinigend rioolstelsel te ontwerpen. [7]

Een doeltreffend zelfreinigend riool is een riool waarbij de capaciteit van het sedimenttransport voldoende is zodat er een balans is tussen de hoeveelheden van erosie en bezinking.[4] Dit met een ontwerp dat de kosten van constructie en onderhoud beperkt, aangezien meer afzettingen van sedimenten meer onderhoud tot gevolg hebben. Daarom worden de risico's op afzettingen bij de verschillende afkoppelingsscenario's onderzocht in dit hoofdstuk.

Verder in dit hoofdstuk worden de vijf afkoppelingsscenario's met elkaar vergeleken. Dit gebeurt door te bestuderen hoe de overstortfrequentie zich gaat gedragen bij meer en meer afkoppeling van het stelsel bij de verschillende scenario's. Hierna wordt gekeken naar het financiële aspect.

De vraag wordt gesteld welk scenario het snelste en voordeligste de overstortfrequentie onder de zeven overstortdagen per jaar brengt, dit omdat het rioleringsstelsel dan voldoet aan de Code van Goede Praktijk. Er wordt ook een kanttekening gemaakt naar de praktische aspecten van het afkoppelen bij de verschillende scenario's.

## 5.2. Snelheidsonderzoek

### 5.2.1. Algemeen

Het risico op afzetting van sedimenten kan onderzocht worden aan de hand van de stroomsnelheden die verkregen worden in de verschillende leidingen in het rioleringsstelsel. De schuifspanning moet bij het ontwerpdebiet groter zijn dan  $3 \text{ N/m}^2$  of de snelheid over de doorsnede van de leiding bij het ontwerpdebiet moet groter zijn dan  $0,6 \text{ m/s}$  en kleiner dan  $3 \text{ m/s}$  voor gemengde riolen. Met ontwerpdebiet wordt hier het maximale debiet bedoeld dat zich voordoet bij een simulatie met de ontwerpbui voor een terugkeerperiode van twee jaar.

In een gescheiden afvalwaterriool bevinden zich hoofdzakelijk organische materialen, kleine snelheden zijn theoretisch voldoende om organisch materiaal te transporteren. Daardoor zullen er doorgaans nauwelijks problemen zijn in verband met afzetting van organisch materiaal. Aan de andere kant zijn organische materialen zeer cohesief waardoor ze een dicht geheel vormen wanneer ze afzetten. De snelheden om de organische materialen terug in suspensie te brengen zullen dan ook veel hoger liggen. De sedimenten die voorkomen in de verschillende gebieden zijn meestal deels biologisch, wat betekent dat zij nog kunnen veranderen gedurende het proces en zo de bedding in de rioleringen kunnen veranderen. [1]

Er wordt getracht een efficiënt zelfreinigend riool te ontwerpen, dit is met een sedimenttransportcapaciteit die voldoende is om een evenwicht tussen erosie en afzetting te handhaven. [4]

De meest economische oplossing wordt steeds gezocht en daar kan enige afzetting mee gepaard gaan. Het is zelden mogelijk gemengde riolen zo te ontwerpen dat ze zelfreinigend zijn bij de minimum DWA, vermits ze voldoende ruim gedimensioneerd moeten zijn om regenwater af te voeren. Gemengde riolen zullen daarom aanslibben in perioden van droogweer en zijn afhankelijk van regenval voor de spoeling. [8]

Indien het (om economische redenen) onmogelijk is de minimale snelheden te realiseren, moet de rioolbeheerder de nodige maatregelen treffen voor het regelmatig reinigen van de riolen. [12]

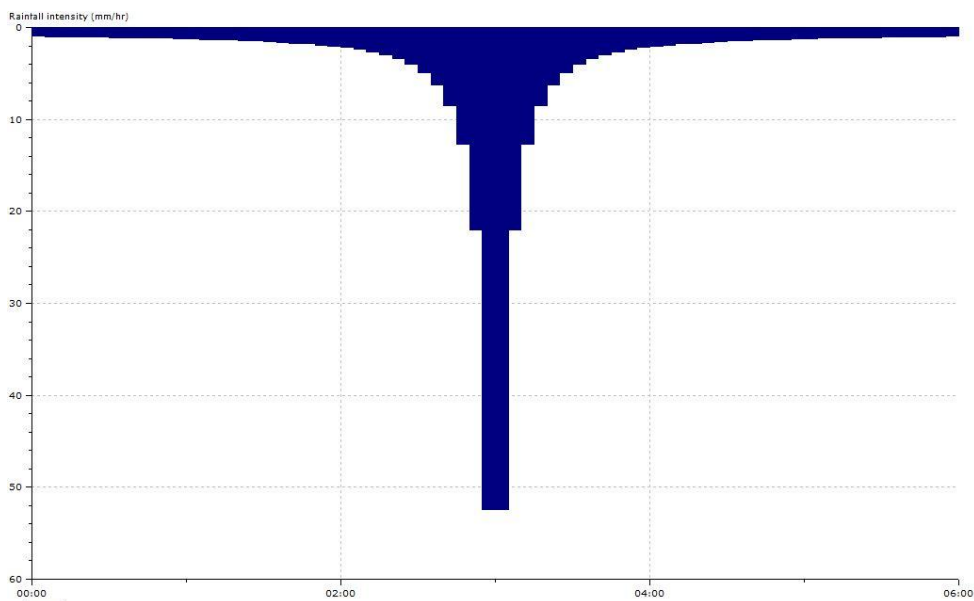
Om te voorkomen dat de riolen regelmatig gereinigd moeten worden is een ontwerp waarbij de riool zichzelf schoonmaakt op de pieken van de dagelijkse stromen noodzakelijk. Hierbij moeten de snelheden hoog genoeg zijn om sedimenten terug in suspensie te brengen wat zeer moeilijk te realiseren is. Dit zal ook moeilijk zijn in de gemeente Oud-Turnhout aangezien bij afkoppeling de huidige leidingen behouden blijven voor DWA (ruime overdimensionering) en een nieuwe RWA leiding aangelegd zal worden.



## 5.2.2. Snelheden uit InfoWorks CS met composietbui (T=2jaar)

Uit InfoWorks CS worden de gegevens van de snelheden in de rioolleidingen van het bestaande systeem verkregen. Dit gebeurt aan de hand van gedane simulaties. De simulaties worden uitgevoerd met een composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar. Dit is ook de maatgevende neerslag waarmee een gemengd rioleringsstelsel wordt ontworpen. (Volgens Code van Goede Praktijk)

De ontwerpneerslag volgt uit IDF-curven voor Ukkel met een terugkeerperiode van 2jaar (zie figuur 41) met een maximale intensiteit van 53mm/u.



Figuur 41: Composietbui voor een terugkeerperiode van 2 jaar

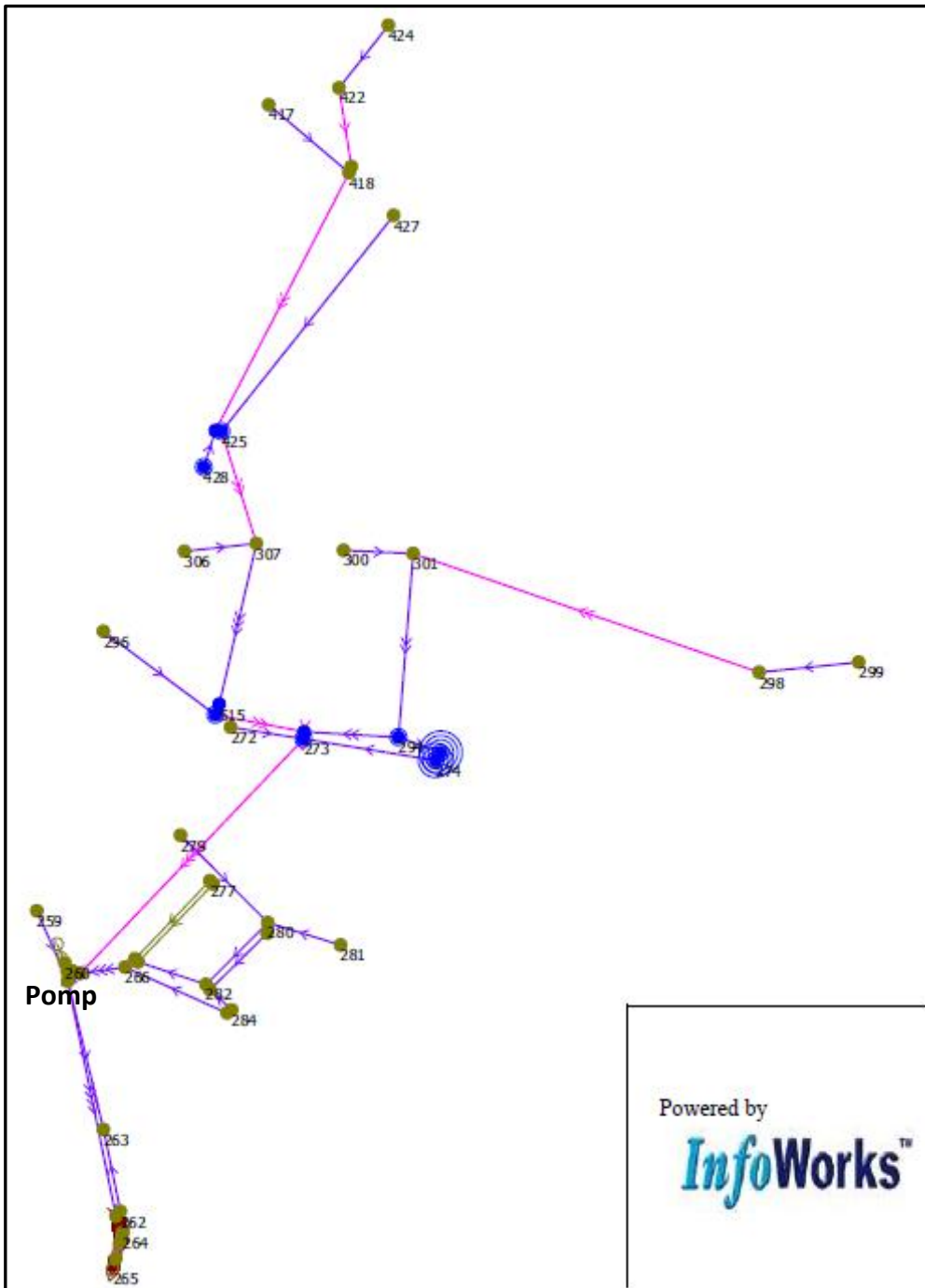
Deze wordt ingegeven in een simulatie in InfoWorks CS (zie figuur 42).

Wanneer een simulatie wordt uitgevoerd met het aangepaste model (zie par.3.5.5) van het netwerk worden volgende gegevens verkregen:

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| <i>De paarse buizen :</i>      | <i>Stroomt onder druk.</i>   |
| <i>De roze buizen:</i>         | <i>Fout gedimensioneerd, de piëzometrische verhanglijn is steiler dan <math>S_0</math> (helling) van de leiding.</i> |
| <i>Blauwe inspectieputten:</i> | <i>Overstroming zal hier optreden (kringen duiden op de hevigheid van de overstroming).</i>                          |

De piëzometrische lijn moet altijd en overal 0,5 m onder het maaiveld blijven voor de ontwerpbui met een terugkeerperiode van 2 jaar, dit is de eis uit de Code van goede praktijk.  
[12]

Schaal = 1:7000



Figuur 42: Simulatie aangepast model met composietbui T=2j , maximale waterhoogtes

Zoals verwacht komen de buizen die gekoppeld zijn aan de overstort (knooppunt 264) onder druk. Dit zijn hier de paarse lijnen. De buizen die gekoppeld zijn aan de pompen (nabij knooppunt 260) zijn blauw gekleurd. Deze komen ook onder druk omdat hier veel buizen zijn aangesloten, dit is de hoofdleiding van het netwerk. De simulatie geeft enkele plaatsen waar er overstromingsgevaar is. InfoWorks CS overschat dit overstromingsgevaar.

De maximale snelheden in het aangepaste model worden uit InfoWorks CS verzameld en op basis van het theoretische criteria van afzetting bij een snelheid lager dan 0,6 m/s wordt een tabel opgesteld (zie tabel 12).

Leidingen	Diameter leiding [mm]	Gemiddelde snelheid [m/s]	Maximum snelheid [m/s]	Afzetting?
259	400	0,078	0,464	Ja
260	600	0,729	0,980	Neen
262	400	0,133	0,568	Ja
263	400	0,140	0,629	Neen
264.1	Overstort	-1,080	-24,267	
264.2	Overstort	0,054	0,215	
266	500	0,272	0,829	Neen
267	500	0,796	1,545	Neen
272	400	0,085	0,537	Ja
273	500	0,534	0,974	Neen
274	400	0,142	0,578	Ja
275	400	0,265	0,746	Neen
276	400	0,194	0,551	Ja
277	400	0,140	0,426	Ja
278	400	0,170	0,563	Ja
279	400	0,242	0,799	Neen
280	400	0,176	0,584	Ja
281	400	0,118	0,508	Ja
282	400	0,236	0,626	Neen
283	400	0,052	0,116	Ja
284	400	0,078	0,519	Ja
285	400	0,213	0,755	Neen
286	400	0,091	0,419	Ja
293	400	0,044	0,152	Ja
294	400	0,385	0,580	Ja
295	500	0,497	0,901	Neen
296	400	0,280	1,038	Neen
297	400	0,300	0,621	Neen
298	400	0,294	0,741	Neen
299	300	0,184	0,533	Ja
300	500	0,107	0,431	Ja
301	500	0,286	0,695	Neen
306	400	0,149	0,593	Ja
307	500	0,506	1,075	Neen
417	400	0,201	0,637	Neen
418	400	0,343	0,812	Neen
421	200	0,146	0,652	Neen
422	200	0,204	0,743	Neen
424	200	0,190	0,579	Ja

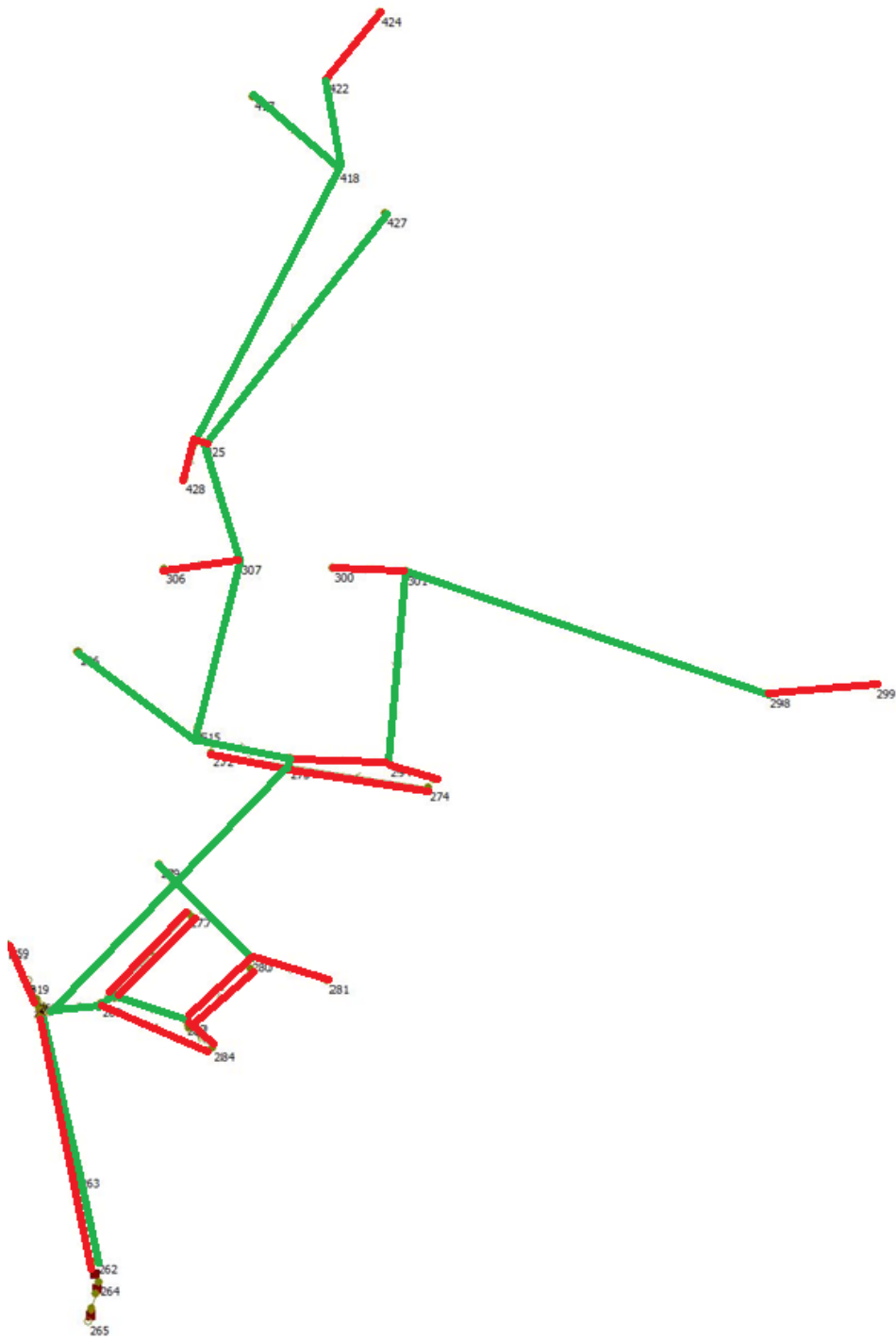
Leidingen	Diameter leiding [mm]	Gemiddelde snelheid [m/s]	Maximum snelheid [m/s]	Afzetting?
425	400	0,344	0,729	Neen
426	500	0,219	0,476	Ja
427	400	0,217	0,639	Neen
428	400	0,060	0,194	Ja
515	400	0,349	0,751	Neen
801	600	0,147	0,774	Neen
814	600	-0,048	-0,714	Neen
815.1	Overstort	0,340	1,226	
816	120	0,440	0,461	Ja
817	600	0,592	0,842	Neen

Tabel 12: Afzettingen sedimenten bij aangepast model

Aantal keer theoretische risico op afzetting in leidingen: 21

Aantal keer theoretisch geen risico op afzetting in leidingen: 25

Bij knoop 264 zal de snelheid negatief zijn aangezien dit de overstort is en het afvalwater uit het netwerk stroomt. Bij overstorting loopt het afvalwater in negatieve richting van de leiding, de buis komt onder druk. Dit komt opdat deze leiding de overloop is van de pompput. Als de pompput vol water loopt zal het water overlopen via deze leiding en overstorten in de Pikloop.



**Figuur 43: Schets afzetting sedimenten bij aangepast model**

Legende: ■ : Theoretisch risico op afzetting  
■ : Theoretisch geen risico op afzetting.

Wanneer het rioleringsstelsel wordt geanalyseerd kan opgemerkt worden dat er vooral sedimentproblemen optreden bij stroomopwaartse putten en de leidingen hierop aangesloten (zie figuur 41). Het debiet is hier lager omdat er een kleiner aantal oppervlakten is op aangesloten. Bij de hoofdleidingen van het stelsel liggen de snelheden wel hoog genoeg om sediment uit te schuren. Volgens de Gemeente Oud-Turnhout treden er geen merkbaar grote sedimentproblemen op in het stelsel. De straatkolken worden jaarlijks schoongemaakt. Leiding 261.1 en 261.2 zijn pompleidingen, deze lopen vol wanneer het pompstation werkt. Er zal geen afzetting verwacht worden in deze leidingen. In de pompput zal grote afzetting verwacht worden, al de sedimenten worden hier immers in verzameld en kunnen enkel weggeraken via de pomp. De pompput zal best op regelmatige basis schoongemaakt worden. Uit de snelheden (leiding 264.1) kan afgelezen worden dat de overstort werkt bij simulatie met een composietbui met een terugkeerperiode van 2jaar.

### **5.3. Vergelijking theoretische risico op afzetting met in situ opgemeten afzetting**

De plaatsen waar de afzettingen van de sedimenten optreden in het model worden vergeleken met opmetingen uitgevoerd in het rioleringsstelsel op 7 maart 2011. Dit was een maand dat er geen overstortingen plaatsvonden.

De opmetingen gebeurden in de inspectieputten. Visueel werd nagegaan of er sediment ophoping was en de laagdikte werd opgemeten. De waterhoogte werd ook opgemeten. Niet alle inspectieputten van het rioolstelsel werden open gemaakt omwille van moeilijk te openen deksels. Andere putten konden niet geopend worden omdat het verkeer anders te hard gehinderd werd.

In Tabel 13 worden de in situ waarnemingen vergeleken met de plaatsen waar er theoretisch risico op afzetting is die via het snelheidsonderzoek uit InfoWorks CS werd afgeleid.

Leidingen	Diameter leiding [mm]	Maximum snelheid [m/s]	Theoretische afzetting?	Opgemeten waarden:	
				Sedimenten [cm]	Waterhoogte [cm]
266	500	0,829	Neen	1	2
273	500	0,974	Neen	0	9
274	400	0,578	Ja	8	1
280	400	0,584	Ja	4	12
293	400	0,152	Ja	5	0
294	400	0,580	Ja	2	9
295	500	0,901	Neen	0	10
300	500	0,431	Ja	2	4
301	500	0,695	Neen	1	12
417	400	0,637	Neen	1	4
418	400	0,812	Neen	6	2
421	200	0,652	Neen	6	2
422	200	0,743	Neen	3	1
424	200	0,579	Ja	2	0
425	400	0,729	Neen	1	2
428	400	0,194	Ja	2	8

Tabel 13: Vergelijking theoretische met opgemeten afzetting sedimenten

In de nabijheid van de inspectieput bij leiding 418, 421 en 422 is geen septische put aanwezig bij een woning in de straat. Hierdoor werden veel organische sedimenten gevonden en was er een ophoping van de sedimenten. In de gemeente Oud-Turnhout is het verplicht om bij elke woning een septische put te voorzien. Hierdoor zullen er geen of minder organische sedimenten problemen vormen in de leidingen. In InfoWorks CS wordt er vanuit gegaan dat elke woning correct een septische put heeft aangesloten. Er is geen hoeveelheid sedimenten ingegeven. Hierdoor kan er een groot verschil zijn tussen de in situ opgemeten gegevens en de theorie.

De overige resultaten komen vrij goed overeen. Wanneer er geen theoretische risico op afzetting verwacht wordt zijn er sedimenthoogten van 0 tot 2 cm gekomen. Wanneer wel risico op afzetting verwacht wordt zijn er ook hogere sedimenthoogten in de leidingen opgemeten, deze gaan van 2 tot 8 cm. Volgens de gemeente Oud-Turnhout zijn er echter momenteel geen problemen met het rioolstelsel; de sedimenten bevinden zich vooral in de meest stroomopwaartse putten (zie figuur 43).



Figuur 44: Sedimenten in meest stroomopwaartse put

#### 5.4. Afzettingen bij afgekoppelde scenario's

Grote hoeveelheden sedimenten kunnen problemen veroorzaken in een rioleringsstelsel. Daarom is het belangrijk om na te gaan in welke mate er sedimentophopingen verwacht worden bij afkoppeling. De afgekoppelde scenario's van het stelsel worden daarom hier vergeleken.

Voor het begrip afkoppelingsgraad van het totale rioolnetwerk wordt een symbool gebruikt.  
 $p_{RS}$  = **percentage van het rioolsysteem dat afgekoppeld wordt (afkoppelingsgraad).**

##### **Aangepast model:**

Dit is de versie waar er nog niet afgekoppeld is. Het geeft de bestaande toestand weer.

##### **Afkoppelingsscenario $S_{100} D_0$ :**

Enkel het straatoppervlak wordt volledig afgekoppeld.

##### **Afkoppelingsscenario $S_0 D_{50}$ :**

Enkel het dakoppervlak wordt voor 50% afgekoppeld.

##### **Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{50}$ :**

Het straatoppervlak wordt volledig afgekoppeld en het dakoppervlak voor 50%.

##### **Afkoppelingsscenario $S_{100} D_{100}$ :**

Het straatoppervlak en het dakoppervlak worden volledig afgekoppeld.

##### **Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$ :**

Enkel het dakoppervlak wordt volledig afgekoppeld.



Alle snelheden in de leidingen van de scenario's staan gegeven in bijlage 2.

*Zie bijlage 2: Tabel: Afzettingen bij afgekoppelde scenario's.*

#### **5.4.1. Volledige aanpassing van het rioolsysteem**

Eerst worden de scenario's besproken waar  $p_{RS} = 100\%$ .

##### ***5.4.1.1. Afzettingen bij scenario $S_{100} D_0$***

De stroomsnelheden in de DWA- leidingen worden iets kleiner dan in de actuele toestand, zonder afkoppeling. Gevolg is dat er meer afzetting zal plaatsvinden.

Aantal keer dat er risico op afzetting verwacht wordt in leidingen: 34.

Aantal keer dat er geen risico op afzetting verwacht wordt in leidingen: 12.

In de grote hoofdleidingen van het netwerk zal geen theoretisch risico op afzetting plaatsvinden. De debieten die hierin verkregen worden zijn nog groot genoeg om een voldoende hoge snelheid te verkrijgen in de leiding. In de kleinere leidingen wordt wel meer afzetting verwacht, dit omdat toch wel een groot deel verhard oppervlak is afgekoppeld. Een overstorting bij een composietbui met een terugkeerperiode van twee jaar zal niet plaatsvinden volgens de gegevens.

##### ***5.4.1.2. Afzettingen bij scenario $S_0 D_{50}$***

De snelheden in de leidingen worden groter dan bij scenario  $S_{100} D_0$ . Dit omdat er in vergelijking met scenario  $S_{100} D_0$  een veel kleiner oppervlak wordt afgekoppeld.

Aantal keer risico op afzetting in leidingen: 26.

Aantal keer geen risico opafzetting in leidingen: 20.

Door de afkoppeling van een dakhelft zullen er weinig afzettingen bijkomen t.o.v. het stelsel zonder afkoppeling. De overstort zal nog werken bij een composietbui met een terugkeerperiode van twee jaar.

##### ***5.4.1.3. Afzettingen bij scenario $S_{100} D_{50}$***

De snelheden worden aanzienlijk kleiner dan bij scenario  $S_{100}$  en scenario  $D_{50}$ . Grotere problemen met afzetting ontstaan in het netwerk. De maximum snelheden in enkele leidingen zijn zeer laag ( $<0,2$  m/s) en hier kunnen grote sedimentproblemen ontstaan.

Aantal keer theoretische risico op afzetting in leidingen: 40.

Aantal keer theoretisch geen risico op afzetting in leidingen: 6.

De buizen die een voldoende grote snelheid hebben, zijn vooral gelegen rond het pompstation. Al het afval- en neerslagwater wordt hiernaar afgevoerd, dus de debieten zullen daar het grootst zijn. Een overstort bij een composietbui met een terugkeerperiode van twee jaar zal niet plaatsvinden.

#### **5.4.1.4. Afkoppeling bij scenario $S_{100}D_{100}$**

Dit is de volledige afkoppeling van het stelsel. Snelheden in het netwerk zijn hier enkel t.g.v. de droogweerafvoer. De DWA is constant ingegeven, de gemiddelde snelheden zullen hier dus even groot zijn als de maximum snelheden. In praktijk zal dit niet zo zijn. De DWA zal fluctueren volgens bepaalde pieken, wanneer veel afvalwater geloosd wordt. De snelheden in het netwerk zijn overal zeer laag. In veel gevallen is de snelheid zelfs lager dan 0,1 m/s. Er ontstaan hier problemen met sedimentophopingen. Dit scenario met volledige afkoppeling is geen goede oplossing om afzettingen van sedimenten in de DWA-leiding te vermijden. De rioleringsbuizen zijn te groot en de hellingen te klein om enkel DWA door het netwerk te kunnen laten gaan. Er vindt geen overstorting plaats, want er loopt geen neerslag in de riolering.

#### **5.4.1.5. Afkoppeling bij scenario $S_0 D_{100}$**

Het dakoppervlak wordt volledig afgekoppeld.

Dit oppervlak is groter dan het straatoppervlak, de snelheden zullen dus iets lager liggen aangezien een iets groter oppervlak afgekoppeld is.

Aantal keer theoretische risico op afzetting in leidingen: 31.

Aantal keer theoretisch geen risico afzetting in leidingen: 15.

Het aantal keer afzetting is vergelijkbaar met scenario  $S_{100} D_0$ . Toch zien we aan de overstortingsnelheid dat er een overstorting plaatsvindt met een composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar.

### **5.4.2. Vergelijking afzetting bij afgekoppelde scenario's netwerk**

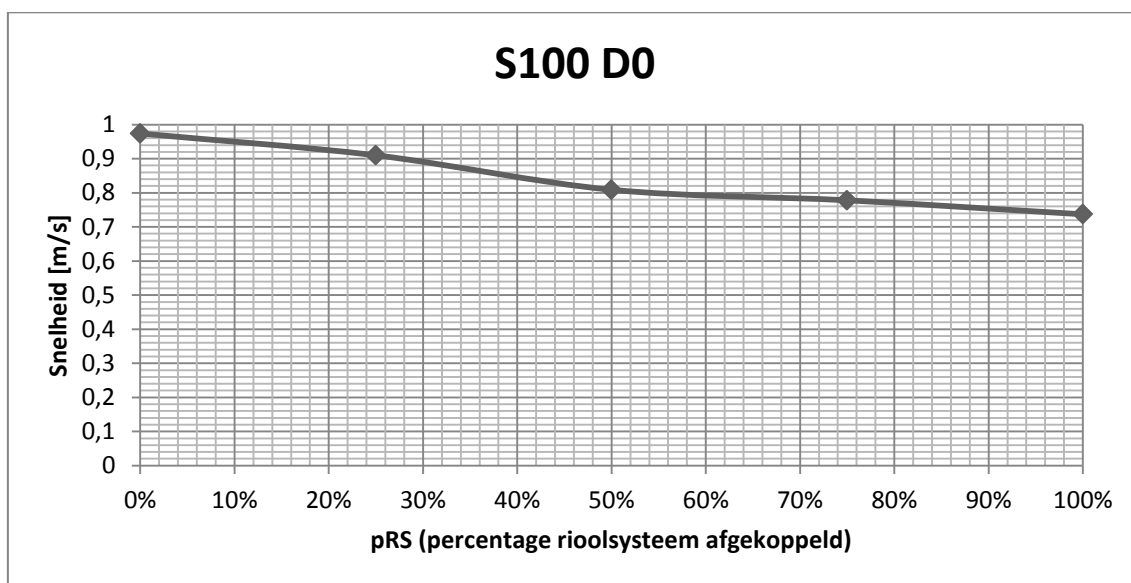
Om een duidelijker beeld van de risico's op afzetting bij de verschillende scenario's te verkrijgen, wordt gekeken naar hoe snel de snelheid in één bepaalde leiding gaat veranderen. Leiding 273 van het stelsel wordt bestudeerd; dit is een hoofdleiding van het netwerk. De diameter van de leiding is 500mm. Deze leiding zal volgens het theoretische afzettingscriterium geen afzetting vertonen in het aangepaste rekenmodel. Uit de in situ uitgevoerde metingen blijkt dit ook. De maximum snelheid in de leiding ligt immers hoger dan 0,6 m/s. Het percentage van het rioolsysteem dat wordt afgekoppeld wordt stapsgewijs verhoogd, namelijk 25%, 50%, 75% en ten slotte 100 %, dit is parameter  $p_{RS}$  (= percentage van het rioolsysteem dat afgekoppeld wordt).

Uit hoofdstuk 4 blijkt dat het gemiddelde aantal overstortdagen bij scenario  $S_0 D_{50}$  groter is dan zeven overstortdagen per jaar. Hierdoor zal dit scenario niet voldoen aan de Code van goede praktijk. Om die reden wordt scenario  $S_0 D_{50}$  in dit hoofdstuk niet verder behandeld.

#### 5.4.2.1. Scenario $S_{100} D_0$

$p_{RS}$	Snelheid [m/s]
0%	0,974
25%	0,910
50%	0,809
75%	0,778
100%	0,737

Tabel 14: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_{100} D_0$



Figuur 45: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_{100} D_0$

Volgens figuur 45 zal de snelheid geleidelijk afnemen. Bij volledige afkoppeling is de maximale snelheid in de leiding nog hoog genoeg om afzetting van sedimenten tegen te gaan.

#### 5.4.2.2. Scenario $S_0 D_{50}$

$p_{RS}$	Snelheid [m/s]
100%	0,873

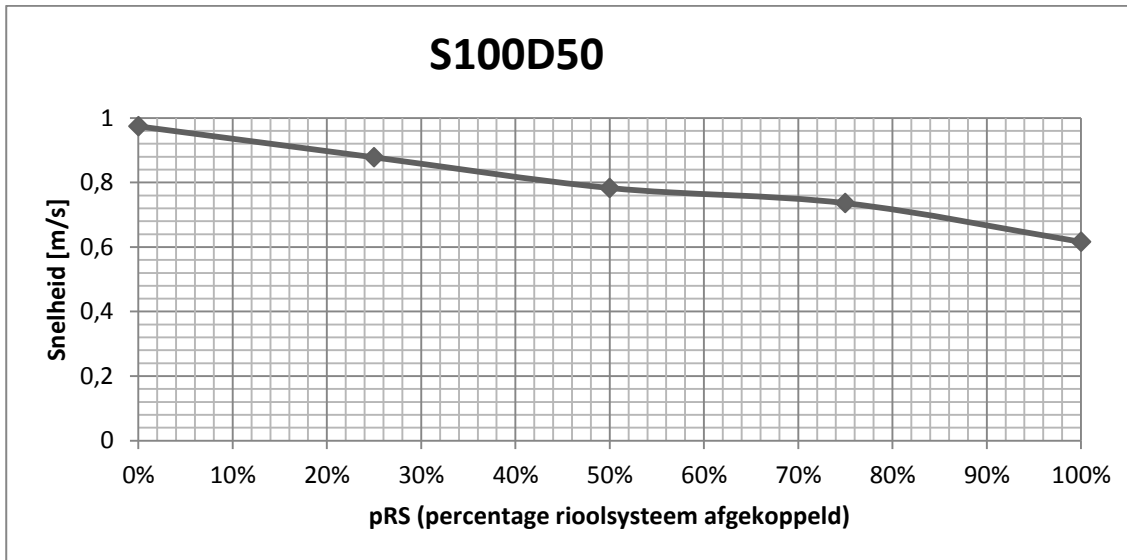
Tabel 15: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_0 D_{50}$

De overstortfrequentie bij scenario  $S_0 D_{50}$  zal zoals eerder besproken (zie par.4.4.3.) niet voldoen aan de Code van de goede praktijk. Daarom wordt dit scenario niet verder uitgewerkt. Het zal niet toegepast mogen worden, want het voldoet niet.

### 5.4.2.3. Scenario $S_{100D50}$

$p_{RS}$	Snelheid [m/s]
0%	0,974
25%	0,878
50%	0,783
75%	0,736
100%	0,616

Tabel 16: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_{100D50}$



Figuur 46: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_{100D50}$

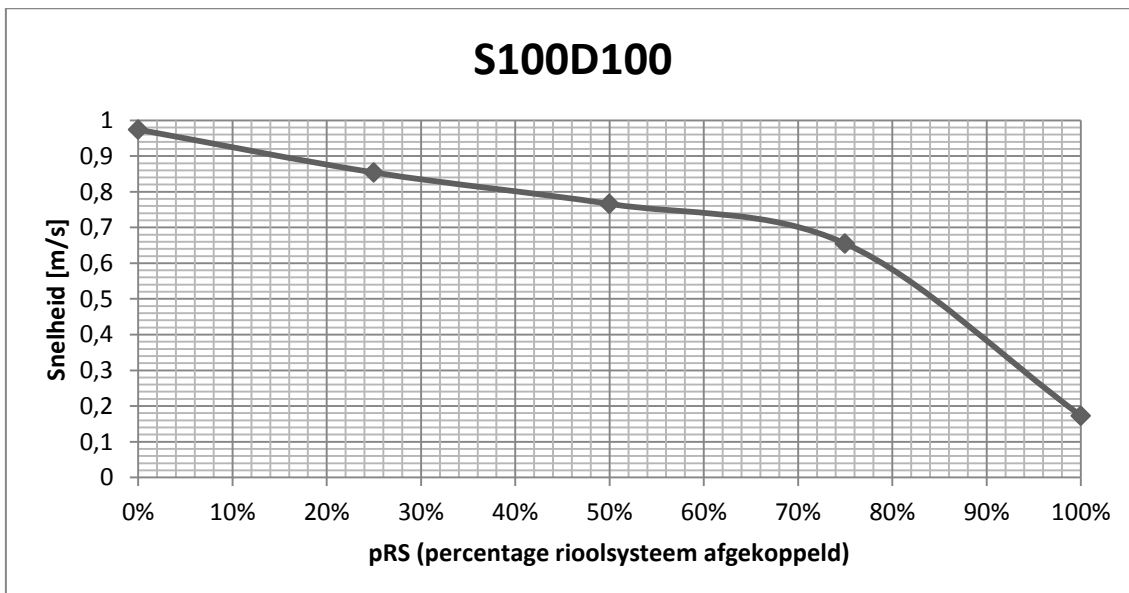
De maximum snelheid verlaagt zoals verwacht bij een hogere graad van afkoppeling. Ze zal in de leiding nog steeds groter zijn dan de theoretische grens van 0,6 m/s. Hierdoor kan besloten worden dat er in de leiding geen afzetting verwacht wordt bij een  $p_{rs} = 100\%$ .

De maximum snelheid zal kleiner zijn bij dit scenario dan bij het scenario waar enkel het volledige straatoppervlak wordt afgekoppeld. Doordat het dak extra afgekoppeld wordt zal er minder neerslag in de riolering terechtkomen, de snelheid verlaagt.

### 5.4.2.4. Scenario $S_{100D100}$

$p_{RS}$	Snelheid [m/s]
0%	0,974
25%	0,854
50%	0,766
75%	0,655
100%	0,173

Tabel 17: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_{100D100}$



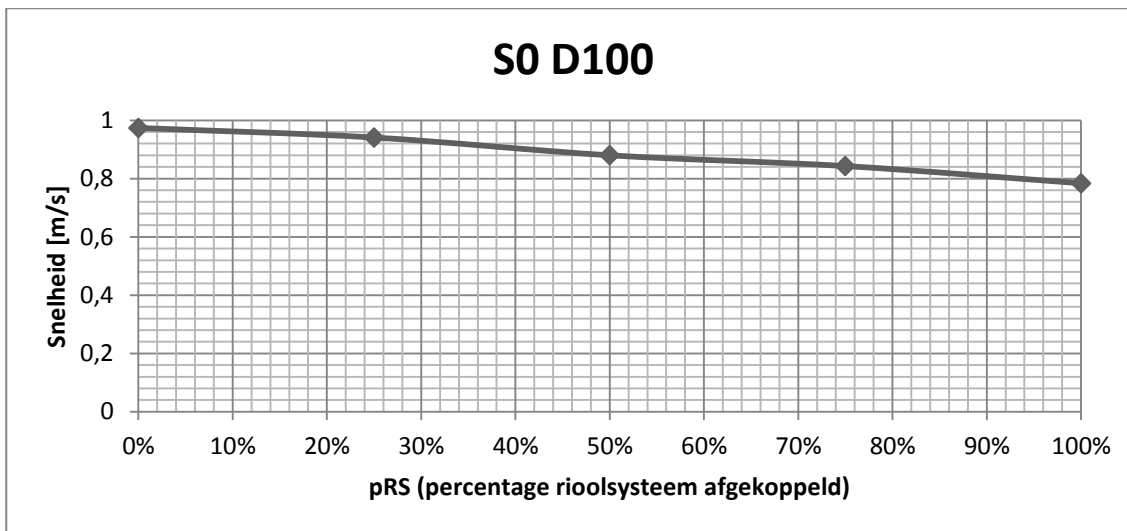
Figuur 47: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_{100}D_{100}$

De maximale snelheden in de leiding verlagen evenredig tot aan 50 % van het volledige rioolsysteem afgekoppeld. Bij 75 % afgekoppeld wordt er al een zichtbaar groter verschil van de maximale snelheid waargenomen. De snelheid in deze leiding zal nog voldoen om geen probleem met afzetting te veroorzaken. Wanneer een groter percentage van het stelsel afgekoppeld wordt zullen problemen optreden. De maximale snelheid zal plots dalen bij een afkoppelingsgraad hoger dan 75 %. Dit komt doordat bij een kleine vullingsgraad van de leidingen, de snelheden ten gevolge van de wandruwheid sterk zullen afnemen. Het theoretische risico op afzetting zeer groot bij een afkoppelingsgraad van 100%; dan zal er enkel DWA door de leiding stromen. De stroomsnelheid hiervan is te laag om sedimentophopingen te voorkomen.

#### 5.4.2.5. Scenario $S_0 D_{100}$

$p_{rs}$	Snelheid [m/s]
0%	0,974
25%	0,941
50%	0,88
75%	0,843
100%	0,784

Tabel 18: Maximum snelheid in leiding 273 bij  $S_0 D_{100}$



Figuur 48: Maximum snelheid in leiding 273 bij S<sub>0</sub> D<sub>100</sub>

Uit de gegevens wordt opgemerkt dat het verlies aan maximale snelheid in de leiding klein zal zijn bij een steeds groter wordende afkoppelingsgraad. De leiding voldoet bij volledige afkoppeling van het stelsel aan het minimum snelheidscriteria van 0,6 m/s; er worden geen problemen met sedimenten verwacht. De snelheidsverliezen in dit scenario zijn het kleinst van alle verschillende scenario's die uitgevoerd mogen worden volgens de Code van Goede Praktijk (overstortfrequentie). Dit is dus het optimale scenario om de kleinste kans op afzetting in de leidingen te bekomen.

## 5.5. Erosie in het rioleringsstelsel

Erosie treedt op bij veel hogere snelheden dan de snelheid die nodig is om een deeltje in beweging te houden. De snelheid van de leiding mag bij het ontwerpdebiet niet groter zijn dan 3 m/s voor gemengde riolen. Dit om erosie in de leiding te vermijden. Nergens in het netwerk zal er zo een hoge snelheid zijn, de maximum snelheid uit de InfoWorks CS gegevens is 1,5 m/s. Er zullen geen problemen zijn met erosie van de buiswanden omdat het rioleringsstelsel in een vrij vlak gebied is uitgevoerd, hierdoor zullen er doorgaans lage hellingen gebruikt worden waardoor geen te hoge snelheden verkregen worden.

## 5.6. Gedrag van overstortfrequentie bij afkoppeling van het riolsysteem

### 5.6.1. Algemeen

Om een duidelijk beeld te krijgen hoe de overstorten zich gaan gedragen bij een groter afkoppelingspercentage van het riolsysteem, zijn er simulaties uitgevoerd van ieder scenario. Er zijn dan simulaties uitgevoerd waarbij 25%, 50%, 75% en 100% van het riolsysteem afgekoppeld wordt. Hieruit wordt voor ieder scenario een curve van de overstortfrequentie verkregen in functie van het afgekoppelde systeem.

Er wordt een duidelijk beeld gecreëerd van hoe snel de overstortfrequentie in een bepaald scenario zal dalen. Dit heeft natuurlijk te maken met hoeveelheid oppervlakte die afgekoppeld wordt. Hoe meer oppervlakte er afgekoppeld wordt hoe kleiner de overstortfrequentie zal zijn. Met dit gedrag van de overstortfrequentie worden de kostprijzen berekend voor verschillende afkoppelingsgraden. Hierdoor wordt een duidelijk beeld gekregen hoe en tot waar de kostprijs zal stijgen bij een toenemende afkoppelingsgraad.

### **5.6.1.1. Berekening van de kostprijs**

Na de simulaties van deze verschillende scenario's, is er gekeken naar de kostprijs. Er zijn via de technische dienst van de gemeente Oud-Turnhout en via het studie bureau Groep Infrabo Groep verschillende prijzen verkregen. Met deze prijzen wordt een curve uitgezet van de kostprijs ten op zichte van het percentage rioolsysteem dat afgekoppeld wordt. Hoe meer er afgekoppeld wordt van het systeem, hoe groter de kostprijs zal zijn. Voor ieder scenario is er een andere berekening van de kostprijs aangezien in ieder scenario andere delen afgekoppeld worden. Hierdoor worden er andere prijzen ingerekend.

Aangezien het richtprijzen zijn en er niet met voldoende zekerheid de exacte prijzen weergegeven kunnen worden, worden er voor iedere berekening nog 2 variaties opgesteld waarbij bij de ene variatie wordt gerekend met een kostprijs die 30% hoger ligt. Bij de andere variatie liggen de prijzen 30% lager dan de richtprijzen. Zo wordt een zone verkregen waarin naar alle waarschijnlijkheid de kostprijs zal liggen. Er wordt ook rekening gehouden met de eventuele subsidies die door de VMM aan de gemeente kunnen toegekend worden.

De parameters van de formule voor de berekening van de kostprijs zijn:

- $k_{\text{straat}}$  = kostprijs(per lopende meter) voor de gemiddelde bovenbouw van een straat indien de verharding ongeveer 5 m breed is inclusief goot en boordsteen en zonder voetpad
- $k_{\text{RWA}}$  = kostprijs(per lopende meter) voor het aanleggen van een RWA systeem.
- $k_{\text{DV}}$  = kostprijs(per lopende meter) voor het afkoppelen van de eerste helft van het dak ( voorzijde gebouw).
- $k_{\text{DA}}$  = kostprijs(per lopende meter) voor het afkoppelen van de 2<sup>de</sup> helft van het dak ( achterzijde gebouw).
- $k_{\text{tot}}$  = kostprijs(per lopende meter) van het scenario om een bepaald percentage van het rioolsysteem af te koppelen
- $p_{\text{RS}}$  = percentage van het rioolsysteem dat afgekoppeld wordt
- $L_{\text{tot}}$  = Totale lengte ( in meter) van het rioolsysteem dat bekeken wordt.

Hierbij worden nog enkele opmerkingen gemaakt. De kostprijzen zullen uitgedrukt worden per lopende meter straat. De gemeente Oud-Turnhout gaat de huidige riolering behouden voor DWA-afvoer. Hierdoor zal er een RWA-leiding aangelegd worden over het volledige stelsel.

De kostprijs voor het aanleggen van een RWA systeem is afhankelijk van de diameter van de buis. Er wordt hiervoor een gemiddelde genomen aangezien in deze studie de RWA-leiding niet ontworpen wordt. De kostprijs voor het aanleggen van het RWA-systeem kan gesubsidieerd worden door de VMM indien het systeem optimaal wordt afgekoppeld. Dit betekent dat bij de aanleg of heraanleg van riolen het hemelwater van de particuliere woningen langsheen het tracé van de werken optimaal dient afgekoppeld te worden van de DWA-leiding.

Bijgevolg dient bij open of halfopen bebouwing alle hemelwater gescheiden van het afvalwater afgevoerd te worden.

Tot de algemene gebiedsdekkende uitvoeringsplannen hier uitsluitend over geven wordt het voorontwerp als uitvoeringsplan beschouwd. Bij gesloten bebouwing dient het hemelwater gescheiden van het afvalwater afgevoerd te worden, behalve wanneer hiervoor leidingen door of onder de woning dienen aangelegd te worden. De subsidie bedraagt standaard 50% van de rioleringkost in een totaal project waarbij meestal naast de riolerings- ook wegenwerken dienen uitgevoerd te worden.[22]

De bijdrage kan verhoogd worden tot 75% voor de aanleg van een gescheiden stelsel en tot 100% voor de aanleg van een afvoersysteem van uitsluitend afvalwater (diameter 2 DWA) waarbij het hemelwater wordt afgevoerd langs hetzelfde traject door middel van een geherwaardeerd grachtenstelsel dat op een milieuverantwoorde wijze in stand wordt gehouden. Als er niet voldaan wordt aan de term optimale afkoppeling volgens VMM komt de gemeente niet in aanmerking voor subsidies. Aangezien het rioolsysteem in deze studie zich nog in de woonkern bevindt is het niet mogelijk om een geherwaardeerd grachtenstelsel aan te leggen. Daardoor zal de subsidie niet meer dan 75% bedragen. Er wordt gekeken naar het percentage van het afgekoppeld systeem wanneer het rioolsysteem voldoet aan de Code van Goede Praktijk. De gemeente wil weten welk scenario het meest economische is. In de verdere toekomst verwacht de gemeente dat binnen een termijn van 30 jaar voor iedere bestaande woning een nieuwe bouwvergunning aangevraagd wordt waarbij de gemeente afkoppeling kan verplichten en dat voor rekening van de aanvrager. Voor nieuwbouwwoningen legt de gemeente optimale afkoppeling op.

Dit heeft als gevolg dat enkel bij scenario S<sub>100</sub>D<sub>100</sub> (volledige afkoppeling) deze RWA-systeem gesubsidieerd worden. Dit heeft een positief gevolg voor de kostprijsberekening. Bij de andere scenario's zal het RWA-systeem niet gesubsidieerd worden waardoor de kostprijs om dit scenario aan te leggen hoger is dan met subsidie. De totale lengte van het rioolsysteem is het aantal meter weg dat afgekoppeld moet worden. Deze lengte is bepaald met behulp van het leidingenplan van de geplande toestand van Oud-Turnhout.



Er wordt altijd met een percentage van de totale leidingslengte gerekend. Hierbij moet men wel de kanttekening maken dat er nooit exact vb. 33% afgekoppeld zal worden. Er zal altijd afgekoppeld worden per gehele straat. Er zal nooit in het midden van een straat of na 2 huizen beslist worden om te stoppen met afkoppelen. De gemeenten stellen hun afkoppelingswerken zo op dat straat per straat afgekoppeld worden.

De algemene formule:  $k_{tot} = \left[ \frac{PRS}{100} \times L_{tot} \right] \times (k_{straat} + k_{RWA} + k_{DV} + k_{DA})$

#### Vergelijking 4: Kostprijsberekening

De verschillende kostprijzen die ingerekend worden zijn afhankelijk van het scenario dat behandeld wordt. De totale lengte van het rioolsysteem dat bekeken wordt is gelijk aan 3962,5m. Dit werd bepaald aan de hand van het leidingsplan van de gemeente Oud-Turnhout.

### 5.6.1.2 Richtprijzen

De richtprijzen zijn afkomstig van de Technische dienst van de Gemeente Oud-Turnhout en van Groep Infrabo.

- $k_{straat} = 300 \text{ €/m}$  ( dit is voor de gemiddelde bovenbouw van een straat met breedte 5m).
- $k_{RWA}$  = is in functie van de diameter van de buizen.
  - $\phi 400 \text{ mm} : 190 \text{ €/m}$
  - $\phi 500 \text{ mm} : 215 \text{ €/m}$
  - $\phi 600 \text{ mm} : 230 \text{ €/m}$
  - $\phi 800 \text{ mm} : 290 \text{ €/m}$
  - $\phi 1000 \text{ mm} : 330 \text{ €/m}$

Aangezien de RWA-leidingen in deze studie niet ontworpen worden, is er gerekend met een gemiddelde diameter van 500 mm. Op sommige plaatsen zal dit echter een overschatting zijn.

$k_{RWA} = 215 \text{ €/m}$

- $k_{DV} = 50 \text{ €/m}$   
Deze prijs is zo laag omdat dit het makkelijkste af te koppelen is en er enkel van de twee hoeken van de woning een leiding naar het RWA- systeem gelegd dient te worden.
- $k_{DA} = 300 \text{ €/m}$   
Dit is voor de afkoppeling van de achterkant van het gebouw. Dit is duurder omdat er van achter het gebouw naar de voorkant moet aangelegd worden. Hierbij moet meestal nog een terras en een oprit opengebrouwen worden om aan de straat te geraken. Dit alles geeft een beduidend hogere prijs.

### 5.6.2. Afkoppelingsscenario S<sub>100D0</sub>

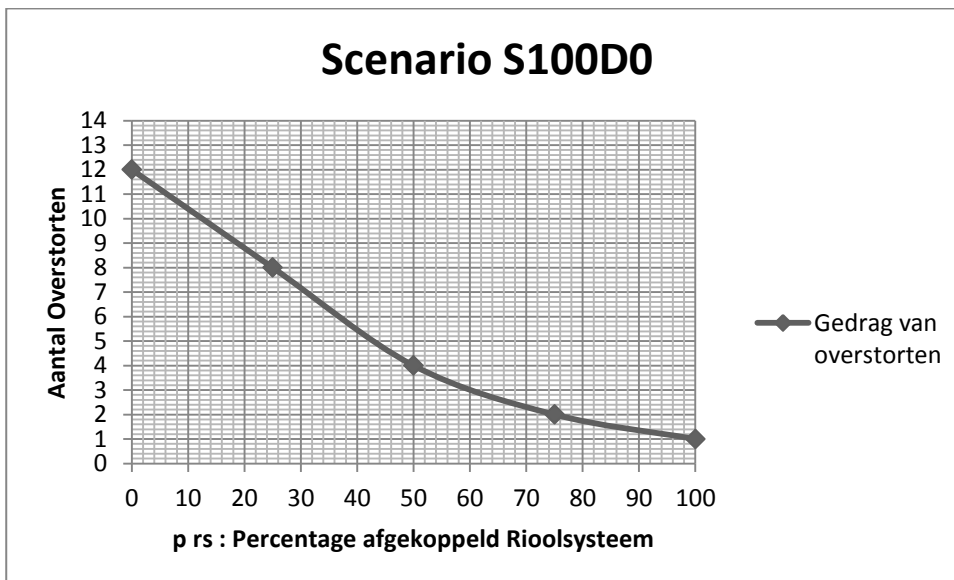
Het eerste afkoppelingsscenario is het scenario waar enkel het straatoppervlakte afgekoppeld wordt.

De simulaties van dit scenario, met de continue-lange-termijnneerslagreeks van 27 jaar van Ukkel, geven een curve van de overstortfrequentie in functie van het percentage van het rioolsysteem dat afgekoppeld wordt.

P <sub>rs</sub> [%]	Overstortfrequentie[%]
0	12
25	8
50	4
75	2
100	1

Tabel 19: Scenario S<sub>100D0</sub> gedrag overstorten

Hieruit wordt volgende curve opgesteld:

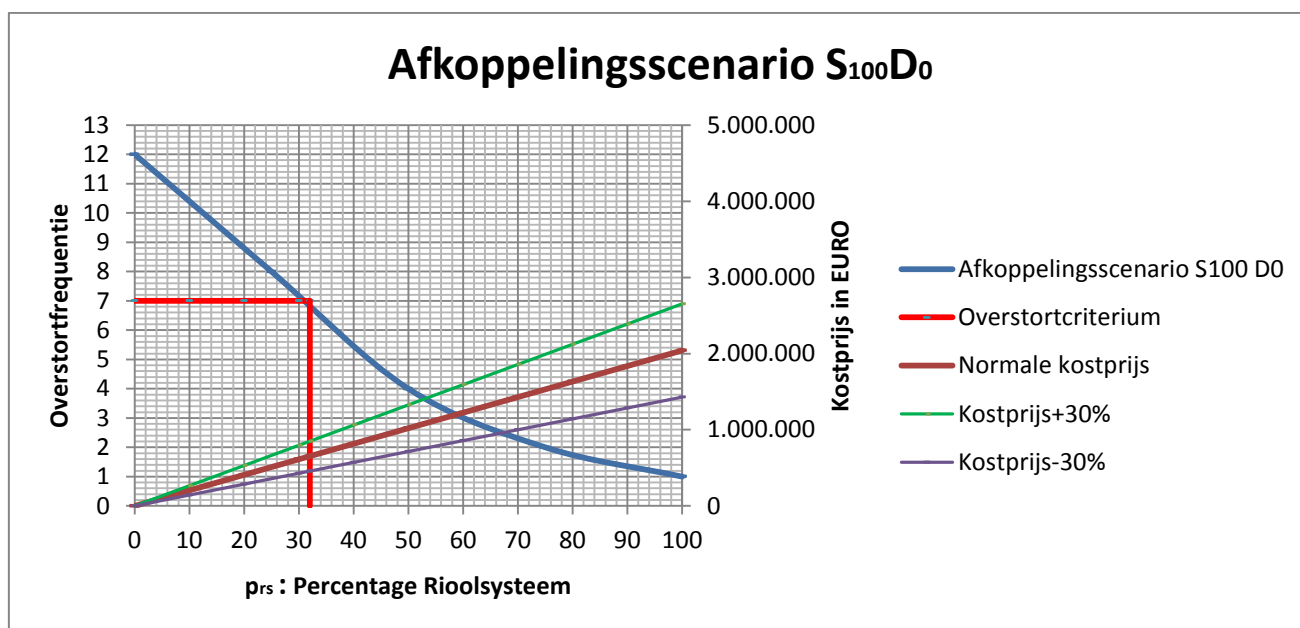


Figuur 49: Scenario S<sub>100D0</sub> gedrag overstorten

Er wordt gekeken naar het percentage van het afgekoppelde rioolsysteem. Wat belangrijk is, is het percentage waarbij het gemiddeld aantal overstorten kleiner of gelijk aan de 7 overstortdagen per jaar is. Dit is het geval bij afkoppeling van 32% van het rioolsysteem. De kostprijs berekening gebeurt aan de hand van vergelijking 4.

k<sub>DV</sub> en k<sub>DA</sub> zijn gelijk aan nul, aangezien er voor dit scenario geen dakoppervlakte afgekoppeld worden. De kostprijs voor de aanleg van het RWA-systeem wordt wel in rekening gebracht aangezien het hier niet gaat over optimale afkoppeling volgens de VMM waardoor er geen subsidies gegeven worden. Deze kostprijs berekening wordt uitgezet samen met de twee variaties waarbij respectievelijk 30% extra wordt bij gerekend en 30% verminderd wordt.

Dit resulteert in volgende grafiek:



Figuur 50: Afkoppelingsscenario  $S_{100}D_0$ , Kostprijs en gedrag overstortfrequentie.

Normale kostprijs : is de normale kostprijs zonder vermeerdering of vermindering. Dit is de middelste lijn van de kostprijzen.

Kostprijs +30% : is de kostprijs waarbij er 30% vermeerderd is. Dit is de bovenste lijn.

Kostprijs -30% : Hierbij wordt de kostprijs verminderd met 30 %.

In volgende tabel zijn de kostprijzen uitgezet in functie van het afgekoppelde rioolsysteem:

prs	-30%	Normale kostprijs	30%
[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
0	0	0	0
10	142.848	204.069	265.289
20	285.696	408.138	530.579
30	428.544	612.206	795.868
32	457.114	653.020	848.926
40	571.393	816.275	1 061.158
50	714.241	1 020.344	1 326.447
60	857.089	1 224.413	1 591.736
70	999.937	1 428.481	1 857.026
80	1 142.785	1 632.550	2 122.315
90	1 285.633	1 836.619	2 387.604
100	1 428.481	2 040.688	2 652.894

Tabel 20: Kostprijsberekening Afkoppelingsscenario  $S_{100}D_0$

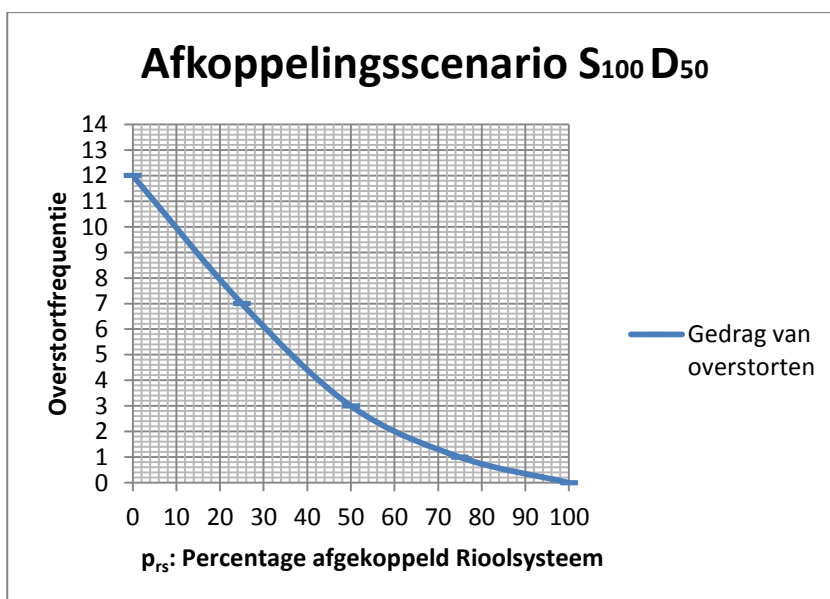
Dit resulteert in een zone van de kostprijs die nodig is om minder dan 7 overstortdagen per jaar te behalen. Deze zone varieert van 457.114 EUR à 848.926 EUR.

### 5.6.3. Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub>

Dit afkoppelingsscenario is het scenario waar het straatoppervlak afgekoppeld wordt en 50% van het dak afgekoppeld wordt. Het gedrag van de overstortfrequentie in functie van het afgekoppelde rioolsysteem zijn duidelijk weergegeven in de volgende tabel en grafiek.

P <sub>rs</sub> [%]	overstortfrequentie
0	12
25	7
50	3
75	1
100	0

Tabel 21: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub>, gedrag overstortfrequentie



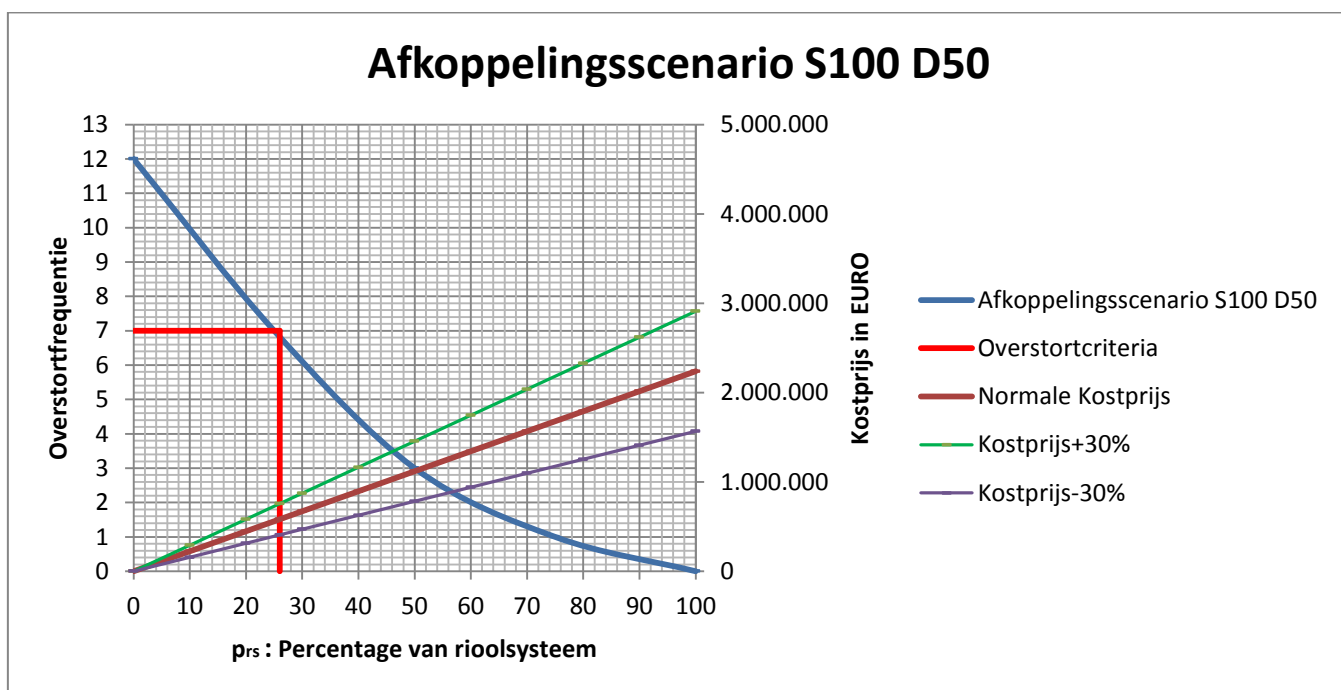
Figuur 51: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub> gedrag overstortfrequentie

Uit de figuur 48 blijkt dat na 26% afkoppeling van het rioolsysteem de overstortfrequentie onder de 7 overstortdagen per jaar is. De overstortfrequentie daalt verder met een stijgend afkoppelingspercentage tot 0 overstorten bij 100%. Bij dit scenario zullen er geen overstorten meer plaatsvinden als het volledige rioolsysteem afgekoppeld wordt. Dit is het uiteindelijke doel van afkoppeling. Namelijk geen vuilozingen in de waterlopen. Bij dit scenario worden er echter geen subsidies gegeven aangezien het scenario niet voldoet aan de door VMM opgestelde voorwaarden van optimale afkoppeling.

Er wordt gekeken naar de kostprijsberekening zoals ze normaal uitgevoerd moet worden. De algemene vergelijking (vergelijking 4) voor de berekening van de kostprijs wordt hiervoor gebruikt. Voor  $k_{DA}$  wordt nul genomen omdat in dit scenario de achterkant van het dak niet mee afgekoppeld wordt.

Bij de berekening wordt er ook weer rekening gehouden met een eventuele variatie op de prijzen vandaar dat er 3 variaties zijn.

Dit resulteert in volgende grafiek:



Figuur 52: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub>, Kostprijs en gedrag van overstortfrequentie.

In volgende tabel zijn de kostprijzen uitgezet in functie van het afgekoppelde rioolsysteem:

prs	-30%	Normale kostprijs	30%
[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
0	0	0	0
10	156.717	223.881	291.046
20	313.434	447.763	582.091
26	407.464	582.091	756.719
30	470.151	671.644	873.137
40	626.868	895.525	1.164.183
50	783.584	1.119.406	1.455.228
60	940.301	1.343.288	1.746.274
70	1.097.018	1.567.169	2.037.319
80	1.253.735	1.791.050	2.328.365
90	1.410.452	2.014.931	2.619.411
100	1.567.169	2.238.813	2.910.456

Tabel 22: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub>, Kostprijsberekening zonder subsidies

Dit resulteert in een zone van de kostprijs die nodig is om minder dan 7 overstortdagen per jaar te behalen: 407.464 EUR à 756.719 EUR. Bij 100% afkoppeling van het rioolsysteem

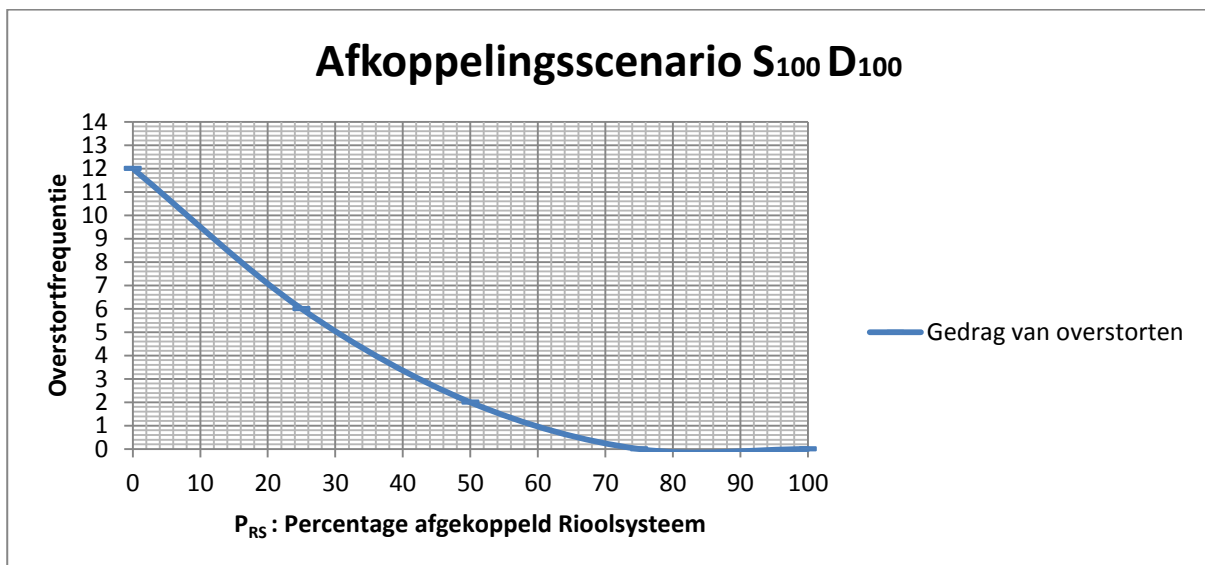
worden er gemiddeld nul overstortdagen per jaar bekomen. Dit resulteert in een zone van 1.567.169 EUR tot 2.910.456 EUR.

#### 5.6.4. Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>

Dit is het scenario dat beschouwd wordt door de VMM als optimale afkoppeling. Hierbij wordt al het niet- verontreinigd hemelwater afgekoppeld van het DWA systeem. Het dakoppervlak en het straatoppervlak worden volledig afgekoppeld. Het gedrag van de overstortfrequentie in functie van het afgekoppelde rioolsysteem zijn duidelijk weergegeven in de volgende tabel en grafiek.

P <sub>rs</sub> [%]	overstortfrequentie
0	12
25	6
50	2
75	0
100	0

Tabel 23: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>, gedrag overstortfrequentie



Figuur 53: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>, gedrag overstortfrequentie

Uit figuur 50 blijkt dat na 22% van het rioolsysteem af te koppelen, het gemiddeld aantal overstortdagen per jaar onder de waarde van zeven zit. Dit percentage is afgerond naar boven. Als dit vergeleken wordt met een ander scenario, is duidelijk dat bij dit scenario het minste gebied afgekoppeld hoeft te worden om onder de zeven overstorten te geraken. Het verschil tussen scenario S<sub>100</sub>D<sub>100</sub> en scenario S<sub>100</sub>D<sub>50</sub> is echter klein.

Het verschil is 4%. Verder wordt duidelijk uit de grafiek dat na afkoppeling van 78% van het stelsel het gemiddeld aantal overstorten al gereduceerd is tot nul. Waaruit volgt dat het voldoende is om 78% van het rioolsysteem af te koppelen om geen vuilozingen in het oppervlakte water te bekomen. Dit verschilt met scenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub> aangezien daar 100%

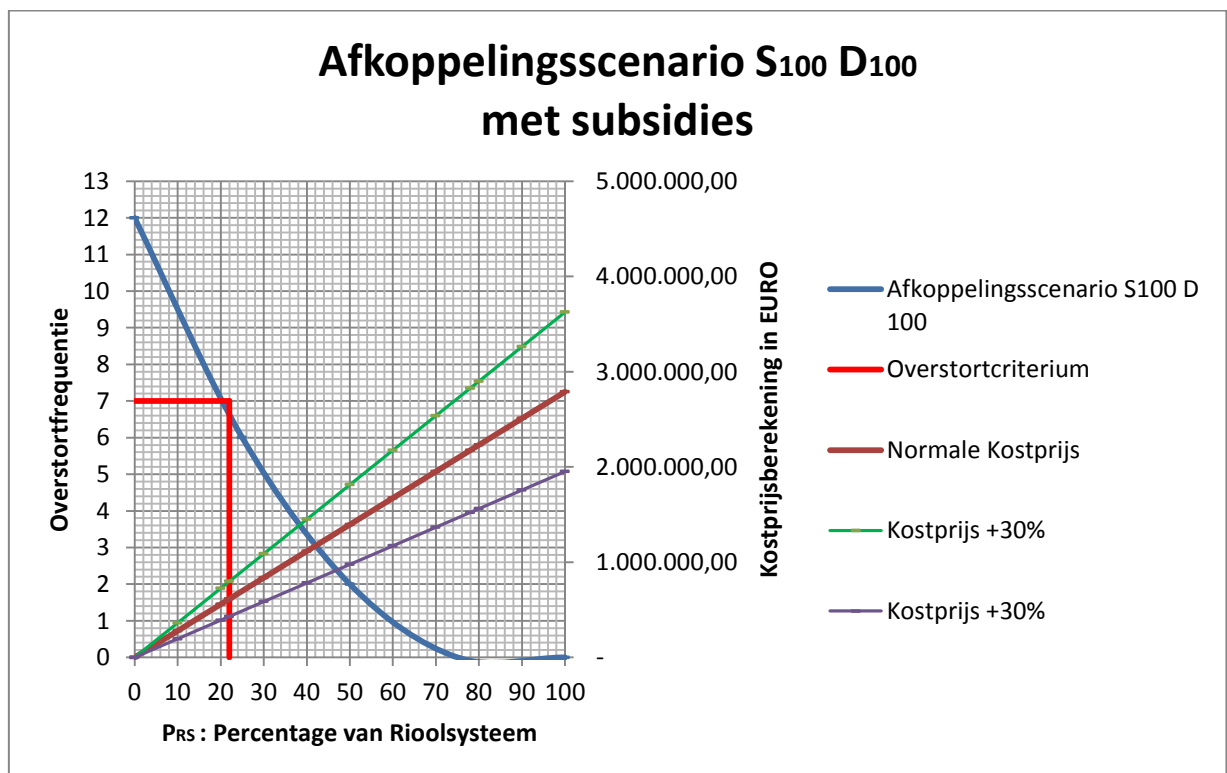
nodig was om de overstortfrequentie te reduceren tot gemiddelde nul overstortdagen per jaar.

Voor de kostprijsberekening wordt er weer een onderverdeling gemaakt tussen met subsidies en zonder subsidies. Dit om ook een duidelijk beeld te verkrijgen als er in de toekomst geen budget meer is voor subsidies. De Europese lidstaten hebben tot 2015 de tijd om de kwaliteit van de waterlopen en grondwater te verbeteren. Hiervoor kunnen ze echter 2 maal 6 jaar uitstel vragen, waardoor het uiteindelijke jaar pas 2027 zal zijn. [21]

#### 5.6.4.1.Scenario met subsidies

Er wordt gekeken naar de kostprijsberekening zoals ze momenteel nog uitgevoerd wordt. Namelijk met subsidies. De algemene vergelijking voor de berekening van de kostprijs wordt hiervoor gebruikt. De term  $K_{RWA}$  wordt met 0,25 vermenigvuldigd aangezien er 75% van de rioleringskost gesubsidieerd wordt bij dit scenario. Bij de berekening wordt er ook weer rekening gehouden met een eventuele variatie op de prijzen vandaar dat er 3 variaties zijn.

Dit resulteert in volgende grafiek:



Figuur 54: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>, Kostprijsberekening en gedrag van overstortfrequentie met subsidies

In volgende tabel zijn de kostprijzen uitgezet in functie van het afgekoppelde rioolsysteem:

Prs	-30%	Normale kostprijs	+30%
[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
0	-	-	-
10	195.203	278.861	362.519
20	390.405	557.722	725.038
22	429.446	613.494	797.542
30	585.608	836.583	1.087.558
40	780.811	1.115.444	1.450.077
50	976.013	1.394.305	1.812.596
60	1.171.216	1.673.166	2.175.115
70	1.366.419	1.952.027	2.537.635
78	1.522.581	2.175.115	2.827.650
80	1.561.621	2.230.888	2.900.154
90	1.756.824	2.509.748	3.262.673
100	1.952.027	2.788.609	3.625.192

**Tabel 24: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>, Kostprijs berekening met subsidies**

Dit resulteert in een zone van de kostprijs die nodig is om minder dan 7 overstortdagen per jaar te behalen. De zone varieert van 429.446 EUR à 797.542 EUR.

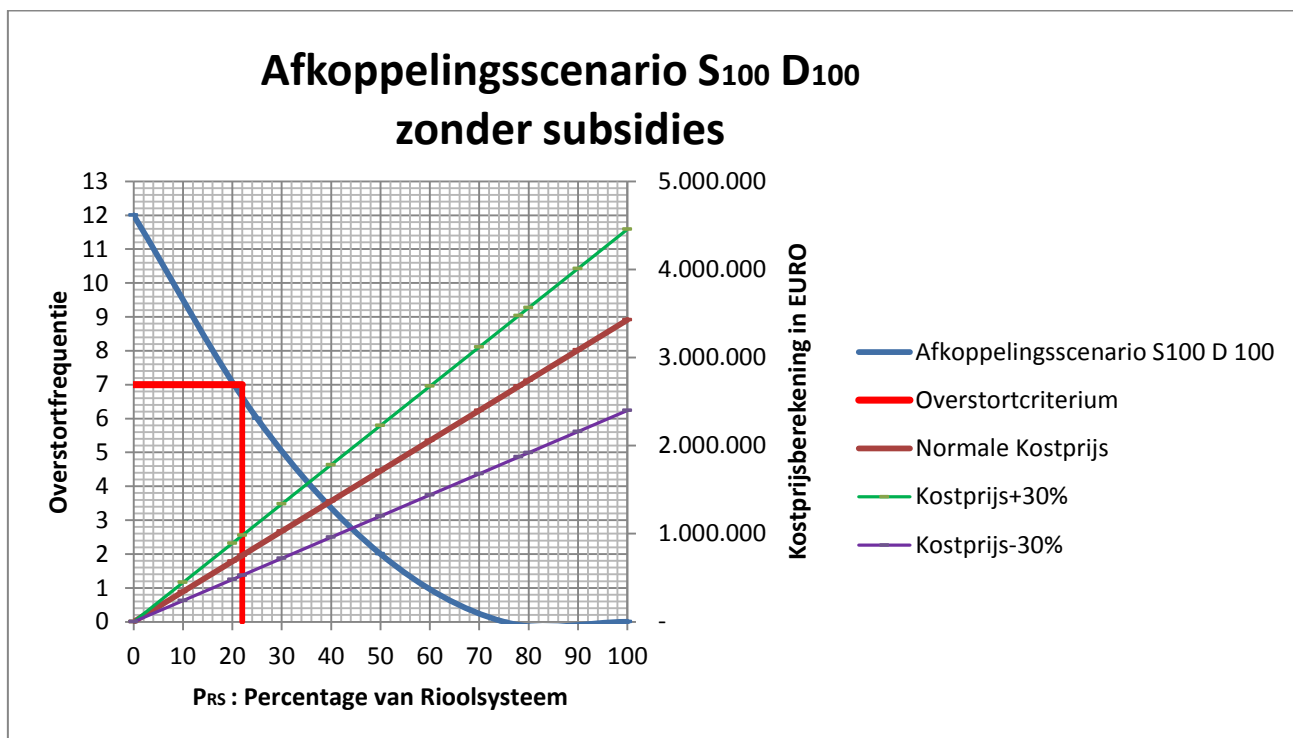
Na 78% zit het gemiddeld aantal overstortdagen per jaar aan nul. Dit varieert in een zone van 1.522.581EUR à 2.827.650 EUR.

#### **5.6.4.2 Scenario zonder subsidies**

Nu wordt er gekeken naar hetzelfde scenario maar er wordt vanuit gegaan dat er geen subsidies meer zijn. Er wordt immers gekeken wat het beste scenario is ongeacht subsidies. De algemene vergelijking voor de berekening van de kostprijs wordt hiervoor gebruikt. Bij de berekening wordt er ook weer rekening gehouden met een eventuele variatie op de prijzen vandaar dat er 3 variaties zijn.



Dit resulteert in volgende grafiek:



Figuur 55: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>, Kostprijsberekening en gedrag van overstorten zonder subsidies

In volgende tabel zijn de kostprijzen uitgezet in functie van het afgekoppelde rioolstelsel:

PRS	-30%	Normale kostprijs	+30%
[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
0	-	-	-
10	239.929	342.756	445.583
20	479.859	685.513	891.166
22	527.845	754.064	980.283
30	719.788	1.028.269	1.336.749
40	959.718	1.371.025	1.782.333
50	1.199.647	1.713.781	2.227.916
60	1.439.576	2.056.538	2.673.499
70	1.679.506	2.399.294	3.119.082
78	1.871.449	2.673.499	3.475.548
80	1.919.435	2.742.050	3.564.665
90	2.159.364	3.084.806	4.010.248
100	2.399.294	3.427.563	4.455.831

Tabel 25: Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>, Kostprijsberekening zonder subsidies

Dit resulteert in een zone van de kostprijs die nodig is om minder dan 7 overstortdagen per jaar te behalen: 527.845EUR à 980.283EUR.

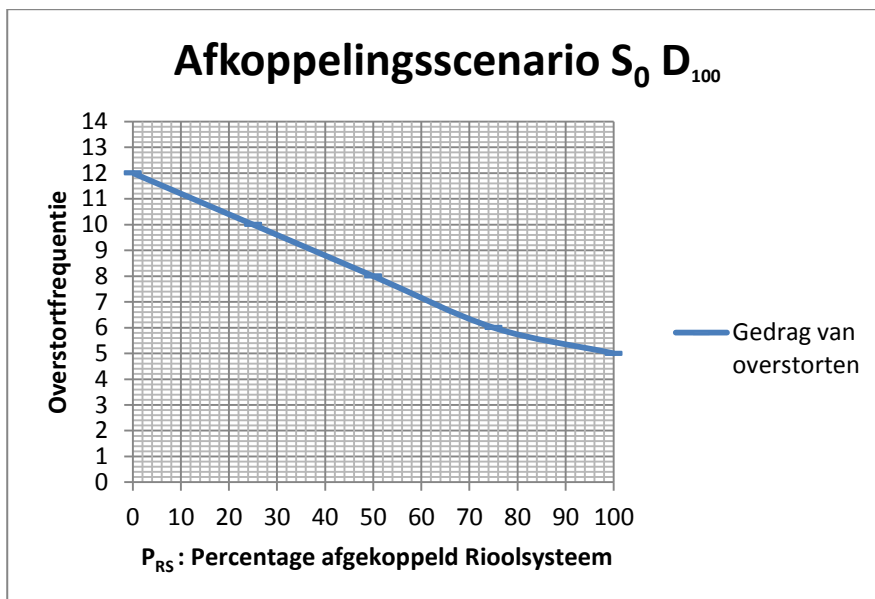
Na 78% zit het gemiddeld aantal overstortdagen per jaar aan nul. Dit varieert in een zone van 1.871.449 EUR à 3.475.548 EUR.

### 5.6.5. Afkoppelingsscenario $S_0 D_{100}$

Bij dit scenario wordt enkel het dakoppervlak afgekoppeld. Dit is enkel mogelijk bij gemeentes waar er naast de wegverharding grachten aanwezig zijn. Bij de gemeente Oud-Turnhout is dit niet het geval, maar om de studie eventueel te veralgemenen wordt dit scenario hier toch behandeld. Het gedrag van de overstortfrequentie in functie van het afgekoppelde rioolsysteem zijn weergegeven in de volgende tabel en grafiek.

$P_{rs}$ [%]	overstortfrequentie
0	12
25	10
50	8
75	6
100	5

Tabel 26: Afkoppelingsscenario  $S_0 D_{100}$  gedrag overstortfrequentie



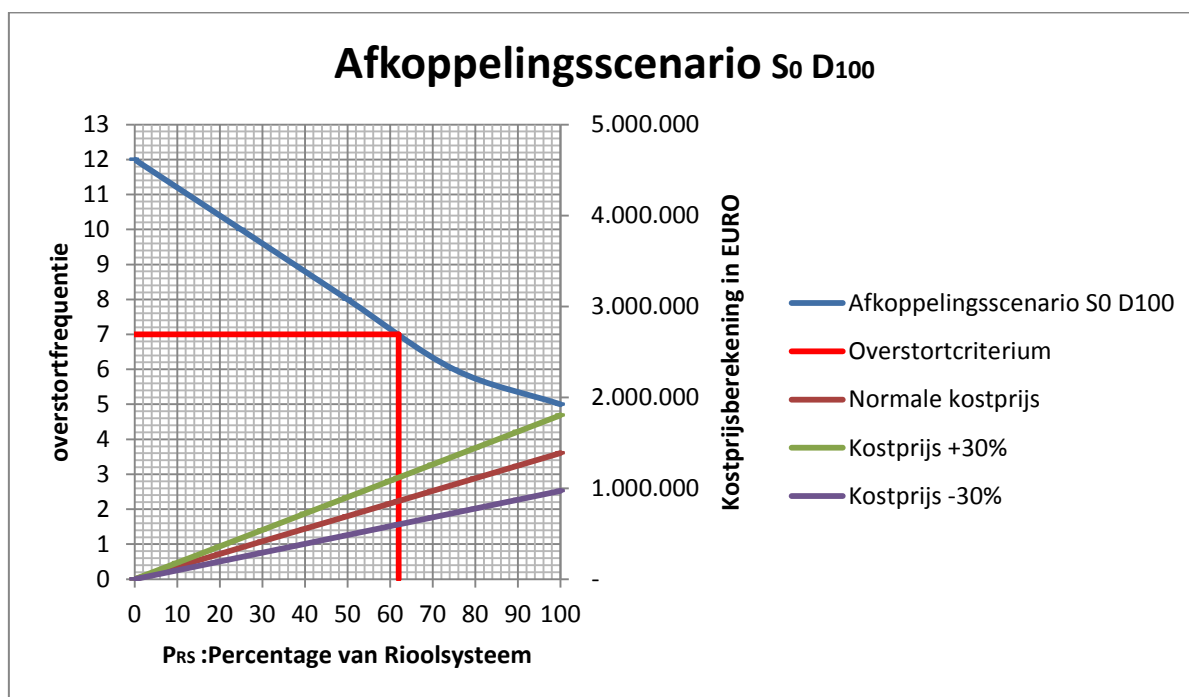
Figuur 56: Afkoppelingsscenario  $S_0 D_{100}$ , gedrag overstorten

Uit de grafiek blijkt dat na 62% afkoppeling het rioolsysteem onder de 7 overstortdagen per jaar zit.

Bij dit scenario wordt het minste oppervlak afgekoppeld, wat resulteert in gemiddeld 5 overstortdagen per jaar. De algemene vergelijking voor de berekening van de kostprijs wordt hiervoor gebruikt. Voor de waarden van  $k_{straat}$  en  $k_{RWA}$  wordt nul genomen aangezien er niets aan de straatverharding gebeurt. Er wordt ook geen RWA-leiding aangelegd aangezien het hemelwater dat afgekoppeld wordt rechtstreeks in de grachten stroomt.

Bij de berekening wordt er ook weer rekening gehouden met een eventuele variatie op de prijzen vandaar dat er 3 variaties zijn.

Dit resulteert in volgende grafiek:



Figuur 57: Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>100</sub>, Kostprijsberekening en gedrag van overstorten

In volgende tabel zijn de kostprijzen uitgezet in functie van het afgekoppelde rioolsysteem:

PRS	-30%	Normale kostprijs	30%
[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
0	-	-	-
10	97.081	138.688	180.294
20	194.163	277.375	360.588
30	291.244	416.063	540.881
40	388.325	554.750	721.175
50	485.406	693.438	901.469
60	582.488	832.125	1.081.763
62	601.904	859.863	1.117.821
70	679.569	970.813	1.262.056
80	776.650	1.109.500	1.442.350
90	873.731	1.248.188	1.622.644
100	970.813	1.386.875	1.802.938

Tabel 27: Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>100</sub>, Kostprijsberekening

Dit resulteert in een zone van de kostprijs die nodig is om minder dan 7 overstortdagen per jaar te behalen: 601.904EUR à 1.117.821EUR.

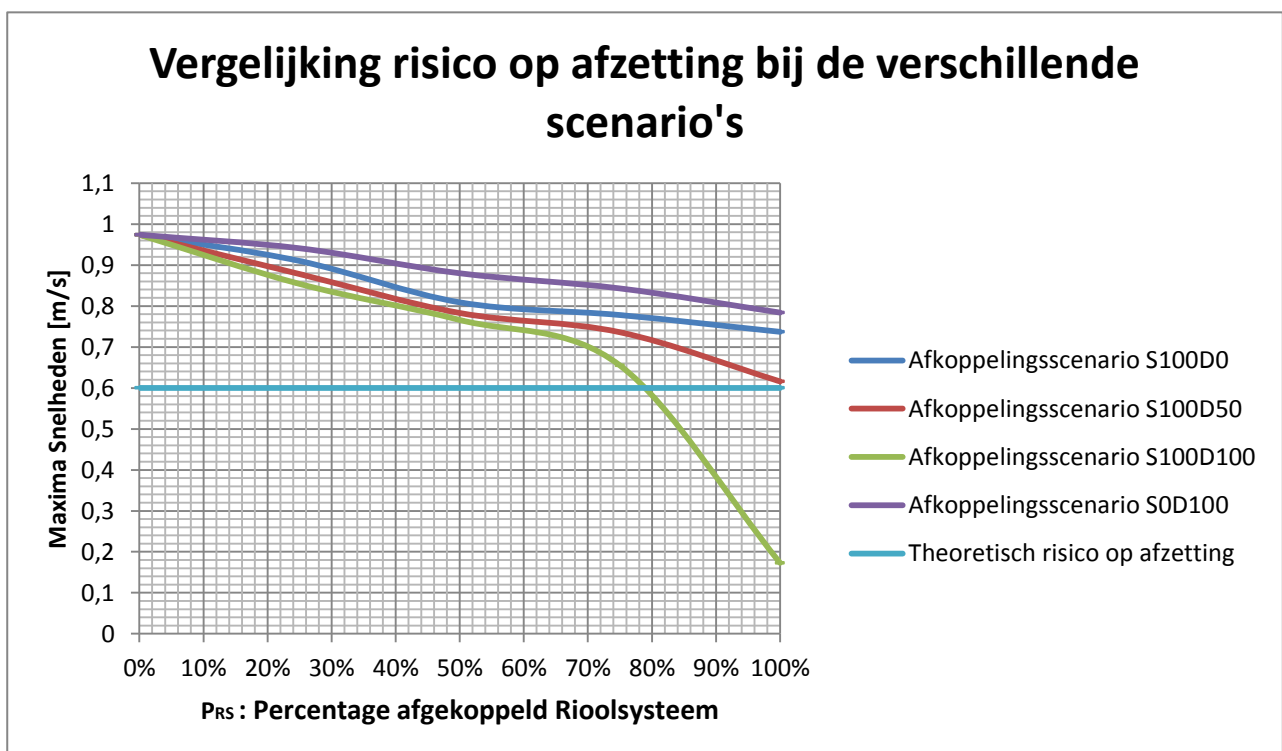
## 5.7. Vergelijking van de afkoppelingsscenario's

Om een duidelijk overzicht te krijgen tussen de verschillende afkoppelingsscenario's worden de resultaten van het voorgaande onderzoek samen in overzichtelijke grafieken en tabellen.

Afkoppelingsscenario  $S_0D_{50}$  (dit is het scenario waarbij enkel de helft van het dak afgekoppeld wordt) wordt niet mee behandeld in de vergelijkingen tussen de verschillende afkoppelingsscenario's aangezien de overstortfrequentie bij dit scenario niet voldoet aan de Code van Goede praktijk. (zie par. 4.4.3)

### 5.7.1. Risico op afzetting

Afkoppelingsscenario  $S_0D_{50}$  (dit is het scenario waarbij enkel de helft van het dak afgekoppeld wordt) wordt niet mee behandeld in de vergelijkingen tussen de verschillende afkoppelingsscenario's aangezien de overstortfrequentie bij dit scenario niet voldoet aan de Code van Goede praktijk. (zie par. 4.4.3) Het risico op afzetting wordt beoordeeld door de maximasnelheden van de hoofdleiding te vergelijken met de theoretische snelheid van 0.6m/s waarbij er risico is op afzetting.



Figuur 58: Vergelijking van het risico op afzetting bij de verschillende scenario's

Hieruit blijkt duidelijk dat bij een afkoppelingsgraad van 100% scenario  $S_{100}D_{100}$  ( waarbij het dak en het straat volledig afgekoppeld worden.) zich onder de theoretische snelheid van 0,6m/s bevindt. Hierdoor is er een risico op afzetting bij dit scenario.

## 5.7.2. Kostprijsanalyse

De kostprijzen van de verschillende scenario's worden vergeleken.

Eerst wordt de kostprijs uitgezet volgens de huidige regelgeving van de VMM waarbij in principe afkoppelingsscenario  $S_{100}D_{100}$  subsidies kan verwerven.

Er wordt telkens een zone weergegeven per scenario die nodig is om het rioolsysteem onder de 7 overstortdagen per jaar te realiseren. Onder deze waarde voldoet het scenario aan de Code van Goede Praktijk. Dit is de waarde  $p_{RS}$  (percentage van afgekoppeld rioolsysteem).

Afkoppelingsscenario	$p_{RS}$	-30%	Normale kostprijs	30%
	[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
Afkoppelingsscenario S0D100	62	601.904	859.863	1.117.821
Afkoppelingsscenario S100D0	32	457.114	653.020	848.926
Afkoppelingsscenario S100D50	26	407.464	582.091	756.719
Afkoppelingsscenario S100D100	22	429.446	613.494	797.542

Tabel 28: Vergelijking kostprijzen bij scenario's volgens de huidige regelgeving

Hieruit blijkt duidelijk dat scenario  $S_{100}D_{50}$  (waarbij de helft van het dak en het straat volledig afgekoppeld worden) het goedkoopst is ondanks de subsidies voor scenario  $S_{100}D_{100}$ . Als er geen subsidies toegekend worden dan zal het verschil in kostprijs nog groter zijn. Dit blijkt uit Fig.28 Vergelijking kostprijzen bij verschillende scenario's zonder subsidie.

Afkoppelingsscenario	$p_{RS}$	-30%	Normale kostprijs	30%
	[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
Afkoppelingsscenario S0D100	62	601.904	859.863	1.117.821
Afkoppelingsscenario S100D0	32	457.114	653.020	848.926
Afkoppelingsscenario S100D50	26	407.464	582.091	756.719
Afkoppelingsscenario S100D100	22	527.845	754.064	980.283

Tabel 29: Vergelijking van kostprijzen van verschillende scenario's zonder subsidies

Hieruit volgt dat in de situatie waarbij er geen subsidies uitgedeeld worden, scenario  $S_{100}D_{50}$  goedkoper is.

Afkoppeling heeft als uiteindelijke doel om de vuilozingen in de oppervlaktewateren te vermijden. Dit gebeurt bij een overstortfrequentie van 0 overstortdagen per jaar.

Uit hoofdstuk 4 blijkt dat enkel scenario  $S_{100}D_{100}$  en  $S_{100}D_{50}$  hieraan voldoen. Hiervoor wordt ook een kostprijsanalyse uitgevoerd. Zo blijkt uit hoofdstuk 4 dat bij scenario  $S_{100}D_{100}$  een overstortfrequentie heeft van 0 bij een afkoppelingsgraad van 78%. Bij scenario  $S_{100}D_{50}$  is dit bij 100%. Deze twee kostprijzen worden in volgende tabel weergegeven.

Afkoppelingsscenario	prs	-30%	Normale kostprijs	30%
	[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
Afkoppelingsscenario S100D50	100	1.567.169	2.238.813	2.910.456
Afkoppelingsscenario S100D100	78	1.522.581	2.175.115	2.827.650

**Tabel 30: Vergelijking kostprijzen bij overstortfrequentie 0 mits toekenning van subsidies volgens huidige regelgeving**

Afkoppelingsscenario	prs	-30%	Normale kostprijs	30%
	[%]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
Afkoppelingsscenario S100D50	100	1.567.169	2.238.813	2.910.456
Afkoppelingsscenario S100D100	78	€ 1.871.449	€ 2.673.499	€ 3.475.548

**Tabel 31: Vergelijking kostprijzen bij overstortfrequentie gelijk aan nul zonder toekenning subsidies**

Hieruit blijkt dat als er subsidies worden toegekend volgens de huidige regelgeving dat scenario  $S_{100} D_{100}$  een kleinere kostprijs dan scenario  $S_{100} D_{50}$ . Zijn er geen subsidies toegekend, dan wordt scenario  $S_{100} D_{50}$  het goedkoopst.

## 6. Algemeen besluit en aanbevelingen

### 6.1. Algemeen besluit

Bij aanvang van de masterproef werd een literatuurstudie uitgevoerd. Dit vormde de basis voor het verdere onderzoek.

Nadat er inzicht werd verworven rondom sedimenten en afkoppeling was het noodzakelijk om te controleren of het model dat beschikbaar gesteld werd door Aquafin NV nog voldoende nauwkeurig overeenkwam met de werkelijkheid. De controle van het model werd in InfoWorks CS uitgevoerd.

Een eerste controle gebeurde met de rapporten van Groep Infrabo, zij hebben in 1995 de hydronautstudie gemaakt en gecontroleerd. Deze gegevens kwamen goed overeen. Enige kleine verschillen waren te wijten aan een nieuwere software. Hierna gebeurde een controle met de bestaande toestand. Van de bestaande toestand zijn er overstortgegevens beschikbaar die opgemeten zijn door de VMM. Dit zijn overstortgegevens, meer bepaald de overstortduur en het overstortvolume. Deze werden door de technische dienst van Oud-Turnhout ter beschikking gesteld. De gegevens van de overstort in de bestaande toestand werden vergeleken met de overstortgegevens die verkregen werden na simulaties in InfoWorks CS. Deze simulaties gebeurden met neerslaggegevens afkomstig van de VMM. Die heeft in de omgeving van Oud-Turnhout, namelijk in Herentals en Loenhout, pluviografen die geregistreerd worden en waarvan de gegevens ter beschikking worden gesteld via [www.hydronet.be](http://www.hydronet.be). Uit een eerste simulatie bleek dat de bestaande toestand niet goed overeenkwam met de metingen. Daarom werd het model aangepast. Dit gebeurde door de parameter van de afvloeiingscoëfficiënt van de onverharde oppervlakken op 15% te zetten. Dit omdat er in het model geen rekening mee werd gehouden dat hemelwater dat op onverharde oppervlakten valt voor een deel afstroomt naar de straatoppervlakken en zo ook in het rioolsysteem terecht komt. De factor 0,15 werd bekomen door verschillende simulaties uit te voeren met verschillende factoren en te kijken wanneer het model het best overeenkomt met de bestaande toestand. Na deze aanpassing werd besloten dat het model overeenkomt met de bestaande toestand. Er werd besloten dat met dit model verder gerekend kan worden.

Na de aanpassing van het model werd er onderzocht wat de effecten zijn van de verschillende afkoppelingsscenario's op de overstortfrequentie. Na het opstellen van de scenario's werd gezocht naar een neerslagreeks die statistisch representatief was. Om een goede optimalisatie te creëren van het model en de overstortfrequenties was het van belang om een passende neerslagreeks te gebruiken. Na het verdiepen in de literatuur werd besloten dat voor een berekening naar overstortfrequenties een continue-lange-termijn-neerslagreeks de meest nauwkeurige en statistisch representatieve waarden geeft.

Hiervoor werd de continue-lange-termijn neerslagreeks van Ukkel van 1967 tot 1993 gebruikt voor de verschillende simulaties.

De verschillende scenario's die opgesteld werden, zijn hieronder weergegeven met hun afkorting.

**Aangepast model:**

Dit is de versie waar er nog niet afgekoppeld is. Het geeft de bestaande toestand weer.

**Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>0</sub>:**

Enkel het straatoppervlak wordt volledig afgekoppeld.

**Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>50</sub>:**

Enkel het dakoppervlak wordt voor 50% afgekoppeld.

**Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub> :**

Het straatoppervlak wordt volledig afgekoppeld en het dakoppervlak voor 50%.

**Afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub>:**

Het straatoppervlak en het dakoppervlak worden volledig afgekoppeld.

**Afkoppelingsscenario S<sub>0</sub> D<sub>100</sub>:**

Enkel het dakoppervlak wordt volledig afgekoppeld.

Na simulaties met de verschillende afkoppelingsscenario's blijkt dat bij afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub> de gemiddelde overstortfrequentie en het overstortvolume gelijk zijn aan 0. Dit werd ook bekomen bij afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>100</sub> aangezien al het hemelwater bij deze versie afgekoppeld werd. Scenario S<sub>100</sub> D<sub>0</sub> verschilt van afkoppelingsscenario S<sub>100</sub> D<sub>50</sub> met een halve dakoppervlakte waardoor de gemiddelde overstortfrequentie 1 is en het overstortvolume zeer klein blijft bij een composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar. Bij scenario S<sub>0</sub> D<sub>50</sub> en scenario S<sub>0</sub> D<sub>100</sub> wordt de straat en dus ook het onverhard niet mee afgekoppeld waardoor er gemiddeld meer overstorten zijn. Hierdoor ligt het overstort volume hoger. Deze 2 scenario's zullen in Oud-Turnhout niet van toepassing zijn aangezien er overall een RWA leiding aangelegd wordt en hierdoor het straatoppervlak onmiddellijk mee aangesloten wordt waardoor dit ook afgekoppeld wordt.

Het simuleren van de verschillende afkoppelingsscenario's was de volgende stap om te kijken welk scenario financieel het voordeligste is. Hiervoor werd gekeken naar de kostprijs voor de aanleg van het scenario en ook naar de onderhoudskost. De onderhoudskost werd bekeken aan de hand van de snelheden. De snelheden tonen aan waar afzetting te verwachten is en of bij het ene scenario meer afzetting te verwachten is dan bij een ander scenario.



Wanneer het rioleringsstelsel werd geanalyseerd met behulp van InfoWorks CS kan opgemerkt worden dat er vooral sedimentproblemen optreden bij eindputten en de leidingen die hier op aangesloten zijn. De vergelijking tussen de afzetting in situ opgemeten en de theoretische afzetting kwam goed overeen. Wanneer de theoretische afzetting niet verwacht werd zijn er sedimenthoogten van 0 tot 2 cm gekomen. Wanneer wel theoretische afzetting verwacht werd zijn hogere sedimenthoogten opgemeten, deze gaan van 2 tot 8 cm.

Als de verschillende scenario's met afkoppeling bekeken werden, kon besloten worden dat bij scenario  $S_{100} D_0$  bij een dalende afkoppelingsgraad de snelheid geleidelijk ging afnemen. Bij volledige afkoppeling is de maximale snelheid in de leiding echter nog hoog genoeg om afzetting van sedimenten tegen te gaan, dit geldt voor de hoofdleidingen van het netwerk. In de kleinere leidingen werd wel meer afzetting verwacht.

Bij scenario  $S_{100} D_{50}$  werden de snelheden aanzienlijk kleiner dan scenario  $S_{100} D_0$  en scenario  $S_0 D_{50}$  maar de snelheden lagen wel hoger dan bij scenario  $S_{100} D_{100}$  wat er op wijst dat de helft van het dak niet afkoppelen een beter resultaat geeft voor de stroomsnelheden. Dit heeft als belangrijk gevolg minder sedimentafzettingen en minder onderhoud. Doordat het dak afgekoppeld wordt zal minder neerslag in de riolering terechtkomen, de snelheid verlaagt iets meer. Grotere problemen met afzetting ontstaan in het netwerk. De maximum snelheden in enkele leidingen zijn zeer laag ( $<0,2$  m/s) en hier kunnen grote sedimentproblemen ontstaan bij 100% afkoppelingsgraad.

Bij scenario  $S_{100} D_{100}$  zijn de snelheden in het netwerk enkel t.g.v. de droogweerafvoer. De maximale snelheden in de leiding verlagen evenredig tot aan 50 % afkoppelingsgraad. Bij 75 % afgekoppeld werd een zichtbaar groter verschil van de maximale snelheid waargenomen, deze snelheid voldeed echter nog om geen problemen met afzetting te veroorzaken in de hoofdleidingen. In de kleinere leidingen ontstaan wel problemen. De maximale snelheid in de leidingen daalde sterk bij een afkoppelingsgraad hoger dan 75 %. In veel gevallen is de snelheid lager dan 0,1 m/s. Er ontstaan grote problemen met sedimentophoping. Dit scenario met volledige afkoppeling is hier geen goede oplossing. Enkel DWA stroomt door de leidingen, het debiet hiervan is te laag om sedimentproblemen te voorkomen.

Bij scenario  $S_0 D_{100}$  zijn de snelheden en het aantal keer afzetting in de leidingen vergelijkbaar met scenario  $S_{100} D_0$ . Het verlies aan maximale snelheid in de hoofdleidingen zal klein zijn bij een steeds groter wordende afkoppelingsgraad. De snelheidsverliezen in dit scenario zijn het kleinst van alle verschillende scenario's. Dit is dus het optimale scenario om de kleinste kans op afzetting in de leidingen te bekomen.

Dit is echter geen goed scenario om vuilvrachten in de waterlopen te vermijden. Als er afgekoppeld wordt voor dit scenario zal er bij 100% afkoppeling van het rioolstelsel nog overstorten plaatsvinden wat minder goed is voor de kwaliteit van de waterlopen.

De keuze gaat dan tussen de scenario's  $S_{100}D_{50}$  en  $S_{100}D_{100}$ , waarbij de voorkeur gaat naar scenario  $S_{100}D_{50}$ . De snelheden bij volledige afkoppeling van het stelsel lagen beduidend hoger liggen dan bij scenario  $S_{100}D_{100}$ .

De kostprijs van alle 5 scenario's om tot een overstortfrequentie van 7 overstorten per jaar te komen werd berekend. Scenario  $S_{100}D_{100}$  heeft de laagste kosten indien er rekening werd gehouden met de subsidies van de VMM. Er zou een afkoppelingsgraad van minstens 22 % toegepast moeten worden op het netwerk. Bij scenario  $S_{100}D_0$  zou een afkoppelingsgraad van minstens 32 % toegepast moeten worden op het netwerk. Scenario  $S_0D_{100}$  heeft geen subsidies en de kostprijs lag hier hoger bij dan bij scenario  $S_{100}D_0$ . De afkoppelingsgraad lag wel gevoelig hoger in dit scenario, namelijk op 62 %. Scenario  $S_{100}D_{50}$  werd berekend met en zonder subsidies, de kostprijs zonder subsidies lag hoger dan deze van scenario  $S_{100}D_{100}$  met subsidies. Hieruit kan besloten worden dat de subsidies beter geïnvesteerd kunnen worden in afkoppelingsscenario  $S_{100}D_{50}$ . Hierdoor wordt de kostprijs voor af te koppelen lager voor de gemeente waardoor er meer budget kan vrijkomen om verdere gebieden af te koppelen. Verder blijkt uit de resultaten van de snelheden dat bij volledige afkoppeling van het stelsel volgens scenario  $S_{100}D_{50}$  de stroomsnelheden hoger zullen liggen dan bij scenario  $S_{100}D_{100}$ . Hierdoor zal minder afzettingen plaatsvinden en dus minder onderhoud nodig zijn.

## 6.2 Aanbevelingen

Tot slot volgen er nog enkele aanbevelingen voor toekomstig onderzoek. De conclusies van dit onderzoek zijn enkel van toepassing op een deel van het rioleringsstelsel in de gemeente Oud-Turnhout. Om te evalueren of de conclusies ook breder geldig zijn, is het nodig om gelijkaardig onderzoek uit te voeren in verschillende (types) woongebieden binnen Vlaanderen.

Het risico op afzetting wordt in dit onderzoek bepaald door te kijken naar de snelheden in de leidingen en deze te vergelijken met een theoretische waarde waarboven geen afzetting verwacht wordt. Voor deze laatste wordt de waarde 0.6m/s gebruikt die in de Code van Goede Praktijk opgelegd wordt als ondergrens bij het dimensioneren van riolen. Bij toekomstig onderzoek kan bij het bepalen van een dergelijke waarde best rekening gehouden worden met de specifieke samenstelling van de rioolsedimenten in een bepaald gebied.

In dit onderzoek werd uitgegaan van de aanname dat bij afkoppeling bij de gemeente Oud-Turnhout de bestaande rioolbuizen behouden worden voor het DWA en er nieuwe RWA-leidingen worden aangelegd. Het verdient aanbeveling ook de omgekeerde aanpak te onderzoeken, namelijk de bestaande leidingen behouden voor RWA en een nieuw 2 DWA systeem aan te leggen voor het afvalwater. Daarbij kan er best ook onderzocht worden wat het (spoelend) effect is van extra regenwater in de 2DWA-leidingen.

## Referenties

- [1] Ashley, R.M., Bertrand-Krajewski, J.-L. & Hvitved-Jacobsen, T. (2005). Sewer solids – 20 years of investigation. *Water Science & Technology*, 52(3), 73-84.
- [2] Ashley R.M. & Verbanck, M. (1996). Mechanics of sewer sediment erosion and transport. *Journal of Hydraulic Research*, 34(6), 753-769.
- [3] Banasiak, R. (2008). Hydraulic performance of sewer pipes with deposited sediments. *Water Science & Technology*, 57(11), 1743-1748.
- [4] Butler, D., May, R. & Ackers, J. (2003). Self-cleansing sewer design based on sediment transport principles. *Journal of Hydraulic Research*, 129(12), 276-282.
- [5] Dias, S.P. & Matos, J.S. (2001). Small diameter gravity sewers: self-cleansing conditions and aspects of wastewater quality. *Water Science & Technology*, 43(5), 111-118.
- [6] Ota, J.J. & Nalluri, C. (2003). Urban storm sewer design: approach in consideration of sediments. *Journal of Hydraulic Research*, 129(4), 291-297.
- [7] Bertrand-Krajewski, J.-L. (2006). Modelling of sewer solids production and transport. *Cours de DEA "Hydrologie Urbaine", INSA de Lyon, partie 9.*
- [8] Berlamont, J. (2004). Rioleringen, Leuven.
- [9] Aquafin. Schoon water afkoppelen.  
<http://www.aquafin.be/nl/indexb.php?n=8&e=28&s=31> geconsulteerd op 14/04/2011.
- [10] Stapel, W. (2010). Virtueel afkoppelen. *Rioleringen (onafhankelijk vakblad voor rioleringszorg en stedelijk watermanagement)*, 16(1), 45.
- [11] Geraats, B. & Langeveld, J. (2008). Effect van afkoppelen van hemelwater op de RWZI, STOWA, p 6-10.
- [12] Vaes, G., Bouteligier, R., Luyckx, G., Willems, P. & Berlamont, J. (2004). Toelichting bij de Code van goede praktijk voor het ontwerp van rioleringsystemen.  
<http://www.watertoets.be/publicaties> geconsulteerd op 20 /05/2011.
- [13] Gemeente Oud Turnhout. Waar ligt Oud-Turnhout? <http://www.oud-turnhout.be> geconsulteerd op 25/05/2011.
- [14] MWH Soft. Software\_catalogue.  
[http://www.innovyze.com/products/infosheets/workgroup\\_management\\_software\\_catalogue\\_2010.pdf](http://www.innovyze.com/products/infosheets/workgroup_management_software_catalogue_2010.pdf) geconsulteerd op 25/06/2011.

- [15] Verlaeckt, I. (1995). Modelling bestaande toestand m.b.v. dataverifikatie. Hydronaut – Rapport opgemaakt door Groep Infrabo, gezien en goedgekeurd door Aquafin NV.
- [16] Verlaeckt, I. (1995). Modelling geplande toestand m.b.v. dataverifikatie. Hydronaut – Rapport opgemaakt door Groep Infrabo, gezien en goedgekeurd door Aquafin NV.
- [17] Verlaeckt, I. (1995). Modelling bestaande toestand m.b.v. ontwerpneerslagen. Hydronaut – Rapport opgemaakt door Groep Infrabo, gezien en goedgekeurd door Aquafin NV.
- [18] The engineering Toolbox, The Bernouilli Equation .  
[http://www.engineeringtoolbox.com/orifice-nozzle-venturi-d\\_590.html](http://www.engineeringtoolbox.com/orifice-nozzle-venturi-d_590.html) ,geconsulteerd op 25/05/2011.
- [19] Flygt, Product catalogue. <http://www.flygt.de/813415.pdf> geconsulteerd op 23/05/2011.
- [20] Vaes, G., Luyckx, G. & Berlamont, J. (2000). Nieuwe tendensen in het rioleringsontwerp. *Water*, 7.
- [21] De Vlaamse Milieumaatschappij, Europese Kaderrichtlijn Water.  
[http://www.vmm.be/water/integraal-waterbeleid/europese\\_kaderrichtlijn\\_water.html](http://www.vmm.be/water/integraal-waterbeleid/europese_kaderrichtlijn_water.html)  
geconsulteerd op 25/05/2011.
- [22] De Vlaamse Milieumaatschappij , Optimale afkoppeling.  
<http://www.vmm.be/water/zuiveringsinfrastructuur/financiering/gemeentelijk/optimale-afkoppeling.html> geconsulteerd op 25/05/2011.
- [23] Vaes G.,Willems P.(2006). Neerslaginvoer voor hydrologische en hydraulische modellen.
- [24] Vaes, G., Bouteligier, R., Luyckx, G., Willems, P. & Berlamont, J.(2004). Toelichting bij de Code van goede praktijk voor het ontwerp van rioleringsystemen. Emissieberekeningen, 283 .<http://www.watertoets.be/publicaties> geconsulteerd op 20 /05/2011.
- [25] De Vlaamse Milieumaatschappij.(1996) . Krachtlijnen voor een geïntegreerd rioleringsbeleid in Vlaanderen ,59-61.