



Rioolmodelleringsstudie Kontich

**Rigt Venema
s1005677**

Studiebureau Antea Group Belgium, Gent

5 mei 2013 – 12 juli 2013

Inhoud

Titel	Hydronautstudie Kontich
Ondertitel	Een onderzoek naar de bestaande rioolssystemen in Kontich
Betreffende	Uitwerking van de Bacheloreindopdracht
Datum	Rapport van het onderzoek en de resultaten door Rigt Venema juli 2013

Betrokkenen

Student	Rigt Venema
Studentnummer	s1005677
Adres	Rietmolenstraat 64
Postcode en plaats	7512XX Enschede
Telefoon	(+31)(0)6 15 477370
E-mailadres	r.venema@student.utwente.nl

Externe organisatie	Antea group Belgium
Afdeling	BU Water
Adres	Poortakkerstraat 41
Postcode en plaats	9051 Gent

Begeleider bij Antea group	Dirk Vandenbussche
Telefoon	(+32)(0)9 261 6341
E-mailadres	dirk.vandenbussche@anteagroup.com

Tweede begeleider bij Antea group	Bart De Clerck
Telefoon	(+31)(0)9 261 6358
E-mailadres	bart.declerck@anteagroup.com

Universiteit	Universiteit Twente
Adres	Drienerlolaan 5
Postcode en plaats	7500 AE Enschede
Faculteit	Construerende technische wetenschappen
Opleiding	Bachelor Civiele Techniek

Begeleidend docent	Dr. K.M. Wijnberg
Telefoon	(+31)(0)53 489 4701
E-mailadres	k.m.wijnberg@utwente.nl



UNIVERSITEIT
TWENTE.

Voorwoord

De aanleiding van het verslag dat nu voor u ligt is de bacheloreindopdracht van de bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Deze stage heb ik gelopen bij de Antea Group in Gent (Belgie), in de periode van 6 mei tot 12 juli (10 weken), waar ik onderzoek gedaan heb naar het bestaande rioolstelsel van het dorp Kontich (onder de rook van Antwerpen). Het model dat opgebouwd is, is onderdeel van een grotere studie naar het aanleggen van een gescheiden rioolstelsel in de gemeente Kontich. Het model van de bestaande toestand van het riool wordt gebruikt als basis voor het later te modelleren gescheiden stelsel.

Antea Group is een advies en ingenieursbureau dat internationaal opereert in waterbouw, infrastructuur, kustbouw, vastgoed, stedelijke inrichtingen, milieu, veiligheid en projectmanagement. De Antea Group heeft meer dan 3000 medewerkers in ruim 100 kantoren in 15 verschillende landen. In Nederland is zij bekend onder de naam Oranjewoud en werd in het jaar 2005 overgenomen door het bedrijf Centric. De naam Antea Group wordt pas sinds 2011 gebruikt voor de activiteiten die Oranjewoud in het buitenland uitvoert.

Tijdens deze stage heb ik ervaring opgedaan in het werken met diverse programma's, waaronder ArcGIS en Infoworks, en heb ik mogen proeven van de sfeer binnen een studiebureau. Hiervoor wil ik mijn collega's van de bedrijfsunit Water bedanken en speciaal de collega's binnen de afdeling Hydonaut voor het beantwoorden van mijn vragen en de hulp bij mijn opdracht.

Speciale dank gaat uit naar mijn begeleiders van Antea; Bart De Clerck die mij inhoudelijk beoordeelde over het werk dat ik aanleverde. Hij gaf mij tips en feedback over hoe ik iets sneller en beter kon aanpakken. En ik wil mijn begeleider Dirk Vandenbussche bedanken die mij als persoon op kantoor beoordeelde en zorgde dat het eindresultaat naar behoren was.

Vanuit de Universiteit Twente wil ik graag mevrouw Wijnberg bedanken voor haar begeleiding op het inhoudelijk gedeelte van mijn verslag en de tweede begeleider, de heer Bijleveld, voor het beoordelen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	4
1. Samenvatting.....	7
2. Inleiding	9
2.1 Aanleiding.....	9
2.2 Het riool.....	10
2.1 Probleemstelling.....	10
2.2 Doelstelling.....	11
2.3 Aanpak.....	11
2.4 Leeswijzer	11
3. Rioleringsysteem	13
3.1 Gemengd rioolstelsel.....	13
3.2 Gescheiden rioolsysteem	14
4. Methodiek	16
4.1 Stroomgebiedsbenadering	16
4.2 Knoop	17
4.3 Kamers.....	17
4.4 Verharding van het gebied	18
4.4.1 Verhard oppervlak.....	18
4.4.2 Onverhard oppervlak.....	19
4.5 Toekenning afvoeren aan putten	19
5. Implementatie structuren	22
5.1 Leidingen	22
5.2 Pompen	22
5.2.1 Vijzelpompen.....	22
5.2.2 Centrifugaalpompen.....	24
5.3 Overstorten	25
5.4 Overige structuren	26
5.4.1 Terugslagkleppen	26
5.4.2 Reservoirs	27
5.4.3 Inlaatroosters	27
6. Randvoorwaarden aan het model.....	28
7. Uitkomsten	31
8. Mogelijke oplossingen voor knelpunten	37

9.	Discussie	40
10.	Conclusie en aanbevelingen	41
	Conclusie	41
	Aanbevelingen.....	41
11.	Bronnenlijst	42
12.	Bijlagen	43
	Bijlage A: Kaarten ArcMAP	44
	Bijlage B: Kaarten Infonet.....	47
	Bijlage C: Bevraging bedrijven	48
	Bijlage D: Soorten leidingen	51
	Bijlage E: Hydrodynamica	52
	Bijlage F: Berekening werkingspunt centrifugaalpomp	54
	Bijlage G: Debietbegrenzers	58
	G.1 Wervelventielen.....	58
	G.2 knijpopeningen en schuiven	59
	Bijlage H: Modelruns	60

1. Samenvatting

In Vlaanderen is op rioolgebied van alles aan de hand. Veel stelsels worden vernieuwd en nieuwe stelsels worden aangelegd. De rioolbeheerder van het bovengemeentelijk riool in Vlaanderen (Aquafin) heeft als wens dat het regenwater gescheiden afgevoert gaat worden van het vuilwater. Het regenwater zorgt namelijk voor een verdunning van het afvalwater wat een bemoeilijking van het zuiveringsproces geeft. In het studiegebied van dit rapport, de gemeente Kontich, heeft dit als gevolg dat daar onderzoek gedaan wordt naar het aanleggen van een gescheiden stelsel. Een dergelijk onderzoek kent een aantal fasen, waaronder het maken van een model van de bestaande toestand en daarna een model van de te plannen toestand.

Het doel van deze opdracht is het maken van een model die de bestaande toestand weergeeft en laat zien waar de knelpunten in het systeem zitten. Dit model wordt gemaakt in het programma Infoworks met als ondersteunende programma's ArcMAP en Infonet.

In een riool zijn er twee soorten afvoerstromen; Afvalwater en regenwater. Afvalwater is water uit het dagelijks gebruik van een huishouden (wc, douche etc.). Het afvalwater is een redelijk constante stroom en kan berekend worden door het aantal inwoners dat aangesloten zit op een riool te tellen. Naast afvalwater stroomt er ook regenwater door het riool. Regenwater is geen constante stroom maar heeft een piekafvoer. Om te modelleren hoeveel regenwater er door het riool zal gaan stromen, is onderzocht wat de verharding van het gebied is. Dit houdt in dat gekeken is naar percentages daken en wegen waarvoor aangenomen wordt dat het overgrote gedeelte van het regenwater afgevoert zal worden via het riool. Daarnaast zijn er nog de onverharde oppervlakten in het gebied. Hiervan zal maar een klein percentage afstromen en in het riool terecht komen. Dit percentage hangt af van de helling van het terrein, de grondsoort en de beplanting op het terrein.

Van beide neerslagen is het regenwater dus maatgevend voor de dimensies van het riool, omdat de regenwaterafvoer tijdens de pieken hoger is dan de constante afwaterstroom.

Het riool wordt niet gemodelleerd op de maximale neerslag die er kan vallen. De reden hiervoor is dat het riool dan het grootste gedeelte van de tijd ver overgedimensioneerd is. Om dit te voorkomen zijn er ontwerpneerslagen opgesteld waaraan het riool moet voldoen. Het riool moet ontworpen worden op een bui die eens in de twintig jaar voorkomt. Bij deze neerslag mag er geen overlast zijn op straat.

Om te zorgen dat het riool werkt bij de afvoeren die gegeven zijn, zijn er een aantal constructies in het riool toegevoegd om te zorgen er geen problemen ontstaan. Er zijn structuren die zorgen dat het water sneller afgevoerd wordt, zoals pompen; structuren die juist zorgen dat het water gebufferd wordt, zoals reservoirs; en er zijn structuren die zorgen dat het systeem verlicht wordt, zoals overstorten. Deze zijn zo gedimensioneerd dat het riool bij de maatgevende afvoer van een bui die eens in de twintig jaar voorkomt dus geen overlast geeft.

Het doel van deze opdracht was ook het zoeken naar knelpunten van het systeem. Als de afvoeren en de constructies berekend en geïmplementeerd zijn, dan kan er gekeken worden of het rioleringssysteem van Kontich een bui die eens in de twintig jaar voorkomt aankan.

Uit het model volgt dat bij een bui $T = 20$, er veel overlast is. Het water komt vooral in de industrie zones boven het maaiveld, wat opvallend is omdat hier al een gescheiden stelsel ligt. Deze is dan wellicht ondergedimensioneerd. Een verklaring hiervoor kan zijn dat er veel verharde oppervlakten, van de grote panden in het gebied, aangesloten zitten op het stelsel. Als deze afgekoppeld kunnen worden en aan kunnen sluiten op een aanliggende sloot of beek, kan dit al verlichting geven in het stelsel. Doordat de industriezones bovenstrooms in het stelsel liggen geeft dit problemen benedenstrooms, aangezien het stelsel al verzadigd is van het water uit de industriezones.

Ook ontstaan er problemen op plaatsen waar veel rioolbuizen samenkomen. Bijvoorbeeld in een wijk waar op een kruispunt van drie kanten leidingen bijeenkomen om dan in een uitgaande leiding door te stromen.

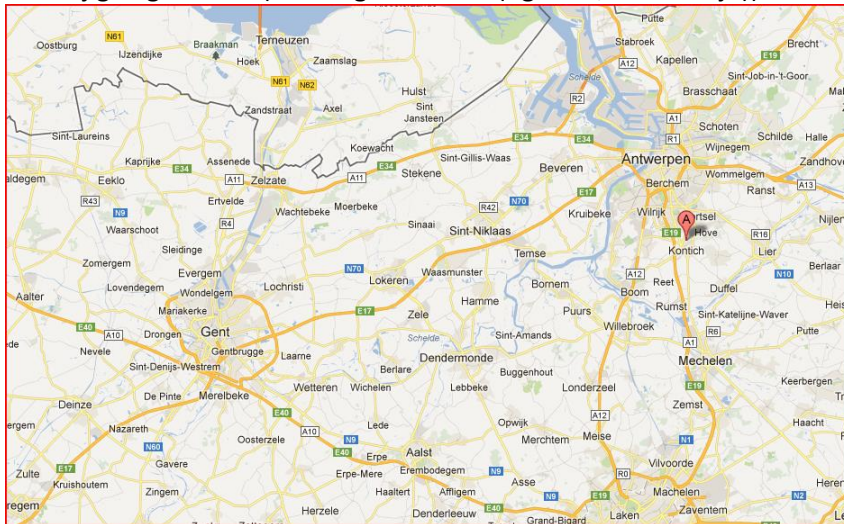
Er zijn een aantal oplossingen voor de problematiek te geven. Waaronder het aanleggen van structuren die zorgen dat er water gebufferd of overgestort wordt. Hierdoor wordt er op die plekken verlichting gecreeerd in het stelsel en kan het na deze structuren beter doorstromen. Anderzijds kunnen de grote bedrijven afgekoppeld worden van het systeem. Deze zullen dan in eigen afwatering moeten voorzien en dit kan door het water te lozen op een sloot of het aanleggen van een buffervijver.

2. Inleiding

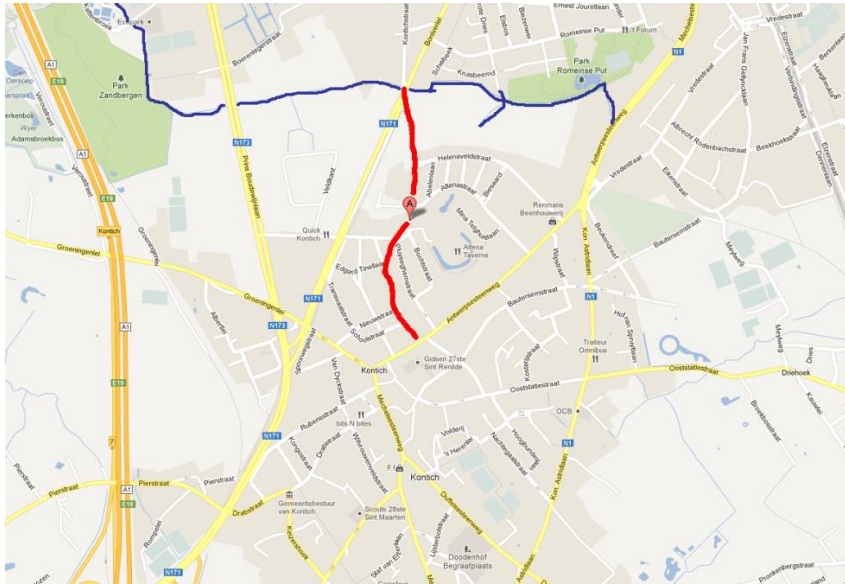
2.1 Aanleiding

De organisatie die de rioolwaterzuiveringsinstallaties en bovengemeentelijke rioleringsystemen van Vlaanderen beheert (Aquafin) heeft gesteld dat de rioolssystemen in Vlaanderen aangepast moeten worden, omdat het zuiveren van het water te veel geld en moeite kost. Regenwater zorgt namelijk voor een verdunning van het rioolwater en om het afvalwater zo efficiënt mogelijk te zuiveren, moet het geconcentreerd zijn zodat de vervuiling optimaal kan worden afgebroken (Rioolstelsel, n.d.). Een van de oplossingen voor dit probleem die Aquafin voorgelegd heeft aan de minister van Leefmilieu, Natuur en Cultuur van Vlaanderen, is het aanleggen van gescheiden rioolstelsels, waarin regenwater apart afgevoerd wordt van het afvalwater. Het regenwater moet dan plaatselijk geïnfiltreerd worden in de grond, of kan worden geloosd op een sloot of beek. Een bijkomend voordeel van een gescheiden riool is de infiltratie van het water in de natuur. Hierdoor voorkomt men ook overlast door overstromende riolen en het gaat een daling van de grondwaterstand tegen.

Dit plan is inmiddels goedgekeurd door de minister van LNC van Vlaanderen en zal dus uitgevoerd worden (Verslag van de milieuraad van 15 maart 2012, 2012). Dat is ook meteen de aanleiding voor het project dat uitgevoerd wordt in de gemeente Kontich, net ten zuiden van Antwerpen (figuur 1). Hier hebben de plannen van de minister, tot gevolg dat daar een gescheiden riool aangelegd gaat worden. In eerste instantie zal er één leiding aangelegd worden door de Edegemsesteenweg (zie figuur 2; rode lijn) om dan later uitgebreid te worden met de overige straten van de gemeente. Doordat er al bekend is dat er in de toekomst een uitbreiding zal plaatsvinden van het gescheiden stelsel in Kontich zal de leiding gedimensioneerd worden op een afvoer vanuit een zo groot mogelijk gebied en dit gebied is het stroomgebied van het rioolstelsel, de gehele gemeente Kontich (ca. 15.000 inwoners) (Profiel Kontich). Deze leiding wordt dan de afvoer van het regenwater uit de gemeente Kontich naar een dichtbij gelegen beek (De Edegemsebeek (figuur 2; blauwe lijn)).



Figuur 1 Locatie Kontich (google maps)



Figuur 2 Edegemsesteenweg (rode lijn) en Edegemsebeek (blauwe lijn) (google maps)

2.2 Het riool

Er zijn twee soorten afvoer stromen door het riool; afvalwater en regenwater. Afvalwater is water uit het gebruik van een huishouden (wc, douche etc.). Dit is een redelijk constante stroom en kan berekend worden door het aantal inwoners dat aangesloten zit op een riool te tellen. Per knoop of constructie worden dan het aantal inwoners toegekend die bovenstrooms van deze constructie wonen en hierdoor is bekend wat de afvoer van het afvalwater door een bepaalde constructie is. De tweede stroom water is het regenwater. Regenwater is geen constante stroom maar heeft een piekafvoer. Om te modelleren hoeveel regenwater er door het riool zal gaan stromen, is onderzocht wat de verharding van het gebied is. Dit houdt in dat gekeken is naar percentages daken en wegen. Aangenomen wordt dat het overgrote gedeelte van het regenwater dat op een verhard oppervlak valt afgevoert zal worden via het riool. Daarnaast zijn er nog de onverharde oppervlakten in het gebied. Van neerslag op deze oppervlakten zal maar een klein percentage afstromen en in het riool terecht komen. Dit percentage hangt af van de helling van het terrein, de grondsoort en de beplanting op het terrein.

Van beide afvoerstromen is het regenwater maatgevend voor de dimensies van het riool, omdat de regenwaterafvoer tijdens de pieken hoger is dan de constante afwaterstroom.

Het riool wordt niet gemodelleerd op de maximale neerslag die er kan vallen. De reden hiervoor is dat het riool dan het grootste gedeelte van de tijd ver overgedimensioneerd is. Om dit te voorkomen zijn er ontwerpneerslagen opgesteld waaraan het riool moet voldoen. Het riool moet ontworpen worden op een bui die eens in de twintig jaar voorkomt. Bij deze neerslag mag er geen overlast zijn op straat.

2.1 Probleemstelling

Naar aanleiding van het onderzoek van Aquafin zal een gescheiden rioleringsstelsel in Kortrijk gerealiseerd moeten gaan worden. In eerste instantie gebeurt dit maar in één straat, maar er moet rekening gehouden worden met dat in de toekomst het centrum van de gemeente (het dorp Kortrijk), op deze leiding kan aansluiten. Dit zal echter pas in de loop van tijd gebeuren. Een gescheiden stelsel is niet zomaar aangelegd. Er zullen bijvoorbeeld voorstudies gedaan moeten worden naar het toekomstig gebruik, verwachte neerslagen en vervuiling van het water. Ook zeer belangrijk in dit geheel is het kijken naar de huidige situatie. Deze zal eerst in kaart gebracht moeten worden om zo de huidige knelpunten te ontdekken.

2.2 Doelstelling

De doelstelling van deze studie is: Een operationeel model van de huidige situatie van het rioolstelsel in Kontich in InfoWorks-CS te maken, als basis voor verder onderzoek naar de aanleg van een gescheiden stelsel. Hierbij dient ook een analyse gemaakt te worden van de werking van het stelsel, de knelpunten in het huidige stelsel en aanzet van oplossingen hiervoor.

Bij de doelstelling valt de volgende hoofdvraag te definiëren.

Hoofdvraag:

Waar zitten de knelpunten in het huidige rioolstelsel van Kontich en wat zijn hiervoor de oplossingen?

Met deze hoofdvraag kunnen er een aantal deelvragen geformuleerd worden die leiden tot beantwoording van de hoofdvraag:

- *Hoe werkt het rioolstelsel?*
- *Wat is het grondgebruik in het studiegebied?*
- *Hoeveel water stroomt er door het riool?*
- *Wat zijn de knelpunten in het systeem?*
- *Welke oplossingen kunnen geformuleerd worden voor deze knelpunten?*

2.3 Aanpak

Om deze deelvragen, en daarmee de hoofdvraag, te beantwoorden, wordt gewerkt met het programma 'Infoworks'. Dit is een programma dat specifiek ontwikkeld is voor modelleringstudies naar rioolstelsels. Het is speciaal ontworpen om waterstromen in buizen te modelleren.

Echter, voordat hiermee gewerkt gaat worden zal in ArcMap het grondgebruik in het gebied onderzocht worden. Hiermee zullen dan de percentages afstromend water berekend worden. Deze kunnen later in Infoworks geïmplementeerd worden om zo de afvoer van het regenwater te modelleren. ArcMap is een programma dat voornamelijk gebruikt wordt voor het analyseren van ruimtelijke bestanden, zoals topografische kaarten.

De grootste en eerste stap van het maken van deze bestanden is het bepalen van de verharding in het gebied. Dit houdt in dat de hoeveelheid bebouwd en bestraat oppervlak bekeken moet worden. Al deze gegevens zijn met het programma ArcMAP tot een bestand samengevoegd.

Vervolgens is dit bestand in Infoworks geladen om het daadwerkelijke model op te bouwen. Onder andere de minimum en maximum peilen en de gegevens van de verschillende structuren in het systeem zijn toegevoegd. Daarnaast is contact opgenomen met de beheerders van grotere gebouwen (kantoren, loodsen, fabrieken etc.) en hen is gevraagd of het regenwater dat op hun perceel valt, meteen afgevoerd wordt naar het riool of op een andere manier afgevoerd wordt (voorbeeld e-mail is toegevoegd in bijlage C). Dit leidde uiteindelijk tot een model dat gebruikt wordt om de bestaande situatie te representeren.

In Infoworks zitten een aantal functies om het gedrag van het stelsel te bekijken bij een regenbui van een bepaald kaliber. Hiermee kunnen de knelpunten in het systeem gevonden worden. Door te beginnen met een 'kleine' bui en daarna steeds zwaardere buien, kan het gedrag van het stelsel nauwkeurig bepaald worden.

Als laatste wordt gekeken naar de oplossingen voor knelpunten. Dit wordt gedaan door te kijken naar eerder uitgevoerde, vergelijkbare projecten om te zoeken naar oplossingen.

2.4 Leeswijzer

Om te begrijpen hoe het model tot stand komt en daarmee het antwoord op de onderzoeksvraag, zal in de volgende hoofdstukken stap voor stap uitgelegd worden wat de belangrijkste input is voor

Infoworks. Allereerst wordt er in hoofdstuk 3 uitgelegd hoe een rioolstelsel werkt met daarna de hoe dit schematisch gezien kan worden. Na het introduceren van enkele begrippen voor het model, wordt er uitgelegd wat de input is van infoworks met de implementatie van de verschillende structuren. Hoofdstuk 6 beschrijft de eisen die door de opdrachtgever gesteld zijn aan het model. Hierna volgen de uitkomsten en de oplossingen voor de problemen.

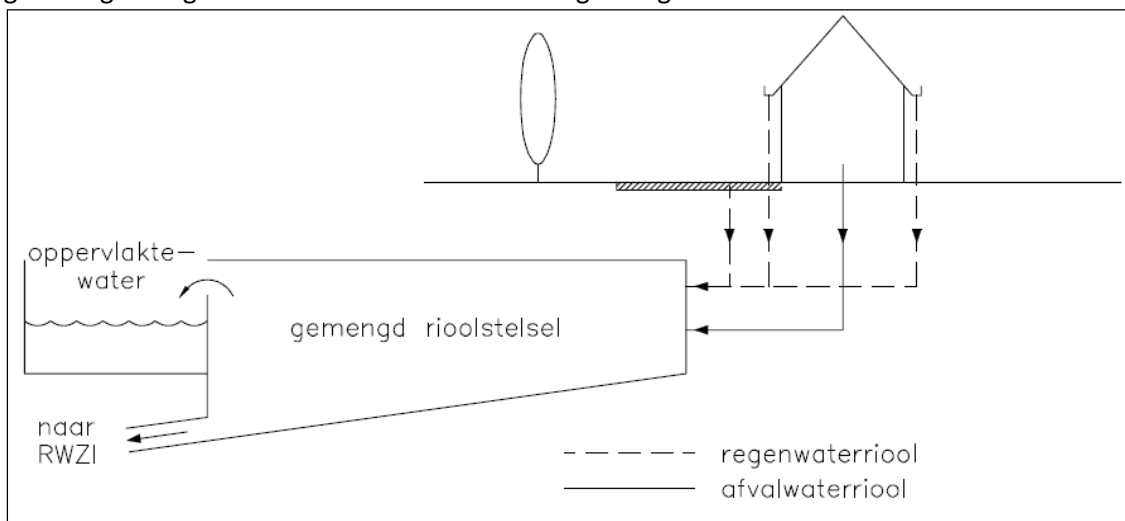
3. Rioleringsysteem

Een rioolstelsel dient ervoor om het afvalwater en regenwater af te voeren naar een plek waar het behandeld kan worden om daarna op het oppervlakte water geloosd te worden. Het is vaak een ondergrondse infrastructuur bestaande uit buizen, putten, pompen die zorgen dat het water op een veilige manier afgevoerd wordt. In Nederland is 99 procent van alle huizen aangesloten op het rioolstelsel (België 86%) (RioNED, 2011).

Tegenwoordig zijn er twee soorten systemen die het afvalwater en regenwater afvoeren. Namelijk een gemengd systeem en een gescheiden systeem. Het verschil is dat bij een gescheiden systeem het regenwater apart afgevoerd wordt van het afvalwater. Dit gebeurt in een gemengd riool door dezelfde buizen.

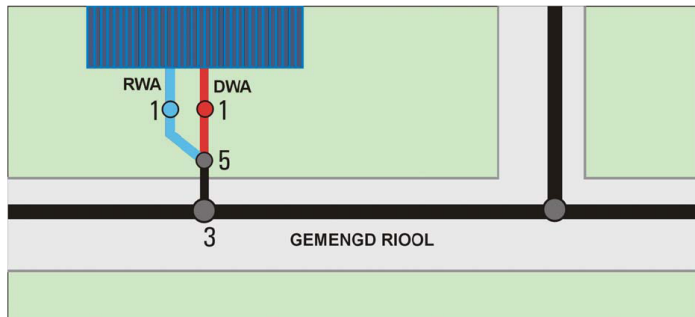
3.1 Gemengd rioolstelsel

Bij een gemengd stelsel wordt zowel het vuil water (wc, douche, wasmachine etc) als het regenwater geloosd in de zelfde leiding. Het voordeel van dit systeem is dat het door het regenwater eens in de zoveel tijd schoongespoeld wordt. Het nadeel van dit systeem is dat gemengde stelsels niet gedimensioneerd zijn op de maximaal te verwerken afvoer, maar op een waarde daaronder (zie hoofdstuk 6). Er is dus een kans dat de riolen overlopen of dat er gebruik gemaakt moet worden van overstorten op het oppervlakte water. Dit water raakt dan vervuild, wat een aantasting van de ecologie geeft. Figuur 3 geeft schematisch weer hoe een gemengd stelsel eruit ziet.



Figuur 3 Gemengd stelsel (Berlamont, 1997)

Figuur 4 toont de situatie bij de meeste huizen in de gemeent Kontich. Deze hebben namelijk vaak wel twee leidingen, een voor het regenwater (RWA) en een voor het vuilwater (DWA - DroogWeerAfvoer). Deze komen bijelkaar en stromen dan het riool in. Dit maakt het eenvoudiger om later de huizen aan te sluiten bij het eventueel aanleggen van een gescheiden rioolstelsel.



Figuur 9 : Gemengd stelsel met ombouwmogelijkheid tot gescheiden stelsel (bovenaanzicht) [VMM, 2000].

Figuur 4 Gemengd riool met ombouwmogelijkheid (VMM, 2010)

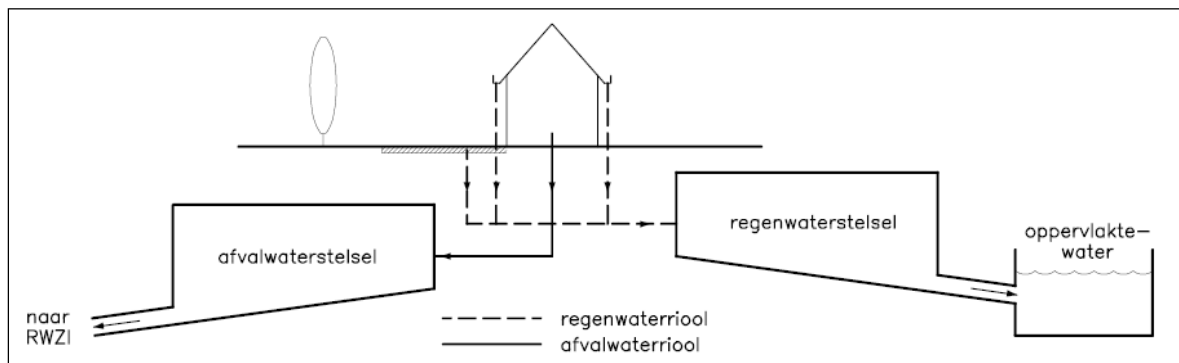
3.2 Gescheiden rioolsysteem

Gescheiden rioolstelsels zijn ontworpen om de problemen van de gemengde stelsels op te lossen. In gemengde stelsels is 90 procent van de afvoer door het riool relatief schoon water, wat geen zuivering nodig heeft. Regenwater wordt in dit geval als schoon ervaren.

Gescheiden stelsels ondervangen het probleem van het storten van vuilwater op het oppervlakte water, doordat zij het relatief schone regenwater in aparte stelsels afvoeren naar sloten en beken en daardoor de rioolwaterzuiveringsinstallaties verlichten. Ook deze stelsels zijn geconstrueerd op een maatgevende afvoer (zie hoofdstuk 6). Echter, als een regenwaterleiding overstroomt, heeft dit minder ecologische gevolgen aangezien het water relatief schoon is. Een nadeel van het direct lozen op het oppervlakte water is dat er vervuiling van straten en daken mee komt. De nieuwere systemen ondervangen dit probleem door met een terugslagklep te werken. Deze terugslagklep zorgt er dan voor dat het begin van een regenbui eerst naar de zuiveringsinstallatie gestuurd wordt. De terugslagklep slaat bij een hoger debiet in het riool (door de regenbui) dicht. De piek van de bui (60-70%) wordt hierdoor afgevoerd naar het oppervlakte water en het begin van de bui, met het vuile water, komt bij de R.W.Z.I. terecht.

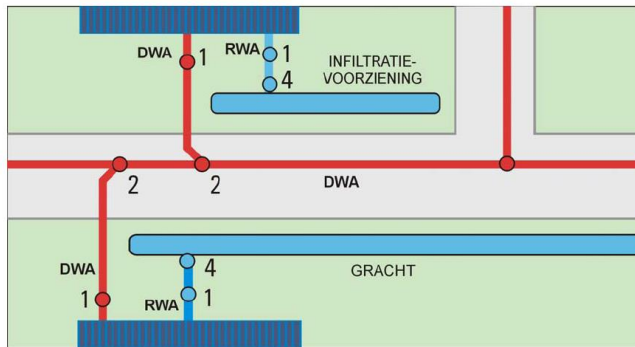
Een nadeel van dit systeem is dat het vuilwaterstelsel niet regelmatig meer wordt schoongespoeld, waardoor er op bepaalde plekken een ophoping kan komen van afval.

Figuur 5 toont een gescheiden rioolstelsel.



Figuur 5 Gescheiden stelsel (Berlamont, 1997)

Figuur 6 geeft de situatie van bovenaf weer. Het DWA wordt afgevoerd en het RWA wordt rechtstreeks op de gracht (sloot) geloosd. Ook kan het zijn dat huizen hun eigen infiltratie voorziening hebben, zoals een vijver, of dat ze een buffer zoals een regenwaterton hebben.



*Figuur 7 : Gescheiden stelsel met volledige afkoppeling :
vuilwaterafvoer (DWA) naar riool en afvoer van het regenwater (RWA)
naar bijvoorbeeld een gracht of een infiltratievoorziening (bovenaanzicht) [VMM, 2000].*

Figuur 6 Gescheiden rioolstelsel (VMM, 2010)

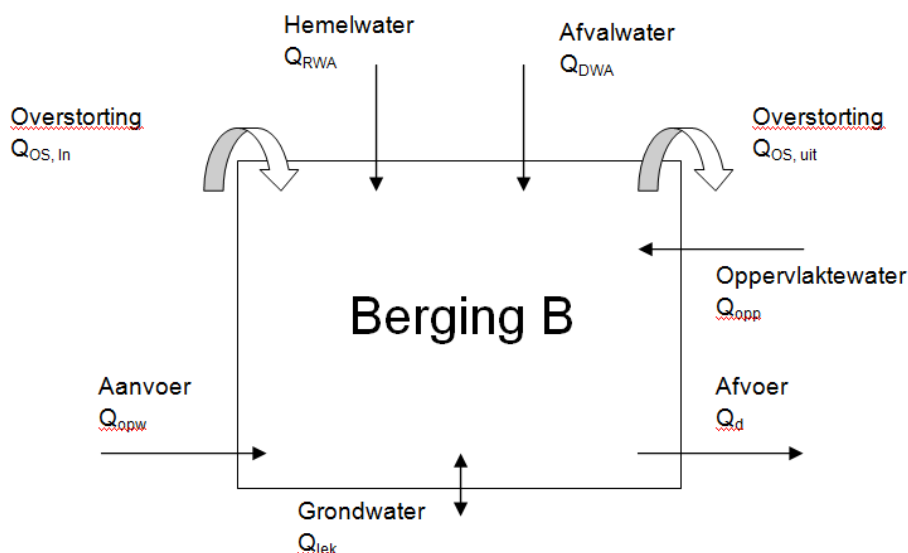
4. Methodiek

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het rioolstelsel schematisch opgebouwd kan worden. Allereerst wordt het algemene model gegeven dat gebruikt wordt (dat in de meeste watermodelleringssudies gebruikt wordt) besproken, daarna wordt de input van het model van het rioolstelsel van Kontich beschreven en hoe aan deze input gekomen is.

4.1 Stroomgebiedsbenadering

Allereerst wordt het hydraulische model geschetst om het latere gedrag te kunnen bepalen van het systeem. Om het globale gedrag van een rioolstelsel vereenvoudigd voor te stellen, grijpen we terug naar een riooldeelbekkenbenadering (Hydronautprocedure versie 6.5, 2013). Het riooldeelbekken, ook wel eens 'overstortbak' genoemd, is een vereenvoudigde voorstellingswijze die toelaat om de voor het model mindere belangrijke details van het stelsel weg te filteren. Een rioolstelsel zal steeds kunnen voorgesteld worden als een aaneenschakeling van riooldeelbekkens die gekenmerkt worden door een aantal parameters:

- Afvoer Q_d ;
- Aanvoer vanuit opwaartse riooldeelbekkens, Q_{opw} ;
- Aanvoer van afvalwater uit huizen, Q_{DWA} ;
- Aanvoer van hemelwater vanaf verharde en onverharde oppervlakten, Q_{RWA} ;
- Instroming van oppervlaktewater (sloten, beken), Q_{opp} ;
- Instroming van grondwater (via lekken), Q_{lek} ;
- Overstorting uit het stroomgebied, $Q_{OS,;}$;
- Overstorting vanuit andere stroomgebieden naar het betreffende stroomgebied,;
 $Q_{OS,in;}$;
- Een bergingsvolume, B



Figuur 7 Waterbalans

Aan de hand van deze voorstelling kan voor elk riooldeelbekken een waterbalans (figuur 7) opgesteld worden voor verschillende situaties, nl. droogweerafvoer, regenweerafvoer zonder overstortwerking, regenweerafvoer met overstortwerking. In elke van deze situaties zullen meer of minder parameters een rol gaan spelen. Zoals bij de situatie van droogweerafvoer, dan zullen de afvalwaterstroom en de aanvoer van bovenstrooms de significante water zijn. Tijdens een regenbui, zal dit deze afvoer het grootste zijn. Waterbalansen stellen in staat om het globale hydraulische gedrag van de

doorvoerconstructies te valideren en om een aantal belangrijke basisparameters af te toetsen zoals aangesloten vuilvracht en aangesloten oppervlakten. Het bepalen en valideren van deze parameters via waterbalansen zal dus centraal staan in de validatie van modellen.

Dit hydraulische model wordt later weer gebruikt om de indeling van het model te verklaren alsook de opgestelde schematische voorstelling (hoofdstuk 5.3).

4.2 Knoop

Om de waterbalans toe te passen op het riool wordt het begrip 'knoop' geïntroduceerd. De knoop kan op het kleinste niveau van de balans gezien worden als een deelbekken. Tevens is het een van de invoermogelijkheden in het model (zowel Inforworks als Infonet en ArcMAP). Een knoop in een rioolsysteem is een inspectieput (of ondergrondse verbinding) die deel uitmaakt van het rioleringstelsel waarin zich minstens een van de volgende wijzigingen voordoet:

- Samenkomen van verschillende inkomende leidingen
- Afsplitsing van verschillende uitgaande leidingen
- Inkomende en uitgaande leidingen hebben verschillende afmetingen of vormen
- Een significant bodemverval tussen de inkomende en uitgaande leiding. Als vuistregel wordt hier door de landmeters vaak een halve leidinghoogte voor aangenomen
- Een significant hellingsverschil

Daarnaast vallen onder het begrip knoop ook inspectieputten waar meetinstrumenten ten behoeve van validatie van het model geplaatst zijn, een inlaat (aansluitingspunt van oppervlaktewater op riool) of een uitlaat (aansluitingspunt van riool op oppervlakte water) van het riool, en elke inspectieput in een lokale terreindepressie als blijkt dat in het model de rioolleidingen boven het maaiveld uitkomen.

De definitie knoop is niet alleen van toepassing op rioolstelsels, maar kan ook toegepast worden op waterlopen en sloten in het gebied. Deze zijn echter meer gevarieerd in afmeting en vorm, waardoor de opmeting minder nauwkeurig gebeurt dan bij ondergrondse stelsels. De opmeting hiervan gebeurt daarom bij de Antea Group altijd in overleg met de opdrachtgever. Ook is de knoop niet ter hoogte van een inspectieput, omdat die simpelweg niet aanwezig zijn bij open waterlopen. De knoop zal daarom bij een verandering van de loop gemeten worden.

Bijzondere knopen zijn de hydraulische stucturen. Dit zijn kunstwerken die de afvoerstromen in het riool beïnvloeden. Zij zorgen ervoor dat het water of sneller afgevoerd wordt of juist eerst geborgen wordt voor het doorgezet wordt. Deze kunstwerken zijn pompstations, knijpconstructies (beperkt doorvoer), overstorten en reservoirs. Deze zaken zijn opgemeten op het terrein om deze goed te implementeren in het model. De implementatie in Infoworks wordt uitgelegd in hoofdstuk 5.

4.3 Kamers

Naast knopen kunnen er in rioolstelsels ook 'kamers' gedefinieerd worden. Ook deze kunnen gezien worden als een eigen deelbekken. Met een 'kamer' wordt een ondergronds compartiment bedoeld dat van de overige rioleringsinfrastructuur is afgesloten door middel van drempels, leidingen, afsluiters, pompen, terugslagkleppen en roosters. Tussen de kamers van het stelsel is geen vrije watercirculatie mogelijk over de bodem van de put. Deze kamers worden aangelegd voor de buffering van water of dienen als een vertraagde doorvoer van het afvalwater.

4.4 Verharding van het gebied

Om de instroom van het hemelwater in de waterbalans te berekenen moet er gekeken worden naar de percentages verhard en onverhard oppervlak in het doelgebied. Er is met verschillende programma's (google streetview) en datasets (kadastrakaarten) gekeken naar het doelgebied om zo deze gegevens te verkrijgen. Verharding is belangrijk omdat er van uit gegaan wordt dat het merendeel van het verhard oppervlak afwatert op het riool. Van niet verhard oppervlak zal maar een klein gedeelte afstromen. Hoe dit bepaald wordt volgt later in dit hoofdstuk.

4.4.1 Verhard oppervlak

Vanuit de opdrachtgever (Aquafin) heeft de Antea Group een databank ontvangen met daarin de verharding in het gebied. Dit houdt in dat bekend is waar gebouwen staan, waar wegen lopen en parkeerterreinen en opslagplekken zijn. Deze dataset is echter al enkele jaren geleden opgesteld en is dus niet meer up to date. Het kan zijn dat er nieuwe gebouwen geplaatst of juist verwijderd zijn. Om dit te onderzoeken is gebruik gemaakt van recente luchtfoto's (maart 2013). Hiermee wordt de databank vergeleken en bij een discrepantie is de databank aangepast. Dit gebeurt allemaal in het programma ArcMAP waaruit eenvoudig ge-exporteerd kan worden naar het programma Infoworks.

Omdat het model van het rioolstelsel ook op de toekomst gebouwd moet worden, zal er dus nu al rekening gehouden moeten worden met eventuele bouwplannen. Grotere bouwplannen, zoals het aanleggen van nieuwe wijken, zijn niet het probleem. Hiervan zal dan in een later stadium apart een model gemaakt worden die dan gekoppeld wordt aan het model van het rioolstelsel van Kontich. Een probleem vormen echter de lege percelen in bestaande bebouwde gebieden. Dit zijn percelen die vroeger bebouwd waren, maar waarvan de gebouwen gesloopt zijn. Er is een mogelijkheid dat er in de toekomst op deze percelen wel weer gebouwd gaat worden. Dit is niet zeker, maar aangezien er wel een kans bestaat dat er gebouwd gaat worden, moet hier rekening mee gehouden worden. Als hier geen rekening mee gehouden wordt in het huidige model, kan het zijn dat de ontworpen leidingen dus ondergedimensioneerd worden, wat kan leiden tot problemen met water op straat. Om dit te voorkomen worden op lege percelen al van te voren gebouwen ingetekend met een aangenomen grote. Vanuit het Grootschalige ReferentieBestand (GRB) wordt een inventarisatie gemaakt van onbebouwde percelen. Dit wordt alleen gedaan in de gebieden die door de gemeente/provincie zijn aangewezen als gebieden waarin gebouwd mag worden. Dit volgt dan uit de bestemmingsplannen (in België 'gewestplannen' genaamd). Het GRB wordt beheerd door het Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen welke onderdeel van de Vlaamse Overheid en zorgt voor alle zaken aangaande alle geografische informatie.

Naast het gebruik van kaarten voor de aanvulling van de dataset is er ook contact gezocht met bedrijven/instellingen die grote verharde oppervlaktes op hun terrein hebben. Dit kunnen enerzijds parkeerplaatsen zijn of anderszijds grote dakoppervlaktes. Om duidelijkheid te krijgen over de manier van afvoer van deze bedrijven is er een mail (bijlage C) verstuurd naar betreffende bedrijven in hoop op meer duidelijkheid. Bedrijven kunnen alles afvoeren op het riool, wat op een bepaald punt een piek belasting geeft, of dat bedrijven zelf een oplossing bedacht hebben voor de regenwaterafvoer, zoals een buffervijver. Bij geen reactie is er telefonisch contact gezocht, aangezien het wel van belang is dat bekend is waar de grotere verharde oppervlaktes op afwateren omdat deze een belangrijke impact betekenen voor het rioleringsstelsel. Als er dan nog geen duidelijkheid is, is de aanname gedaan dat het dezelfde afvoeren heeft als het dichtstbijzijnde bedrijf waar wel gegevens van bekend zijn.

4.4.2 Onverhard oppervlak

Vervolgens wordt de dataset aangevuld met bovengrondse waterstromen. De waterstromen zijn voor de onverharde oppervlakten belangrijk, omdat de onverharde oppervlakten meestal meteen op een sloot of beek afwateren in plaats van het riool. Als de waterlopen bekend zijn kan aan het eind gekeken worden welke onverharde oppervlakten van belang zijn voor het riool. De waterstromen zijn al opgetekend in de dataset, maar ook hier zijn er gaten die opgevuld dienen te worden. De grotere waterlopen en sloten zijn eenvoudig terug te vinden op de luchtfoto's, maar bij een onduidelijke situatie is gebruik gemaakt van Google Streetview om te onderzoeken of er een waterloop aanwezig is. Als dan nog niet duidelijk gekregen kan worden waar de waterlopen stromen, worden deze op het terrein bezocht om zo het model compleet te krijgen. Bij de waterlopen is het ook belangrijk dat er aangegeven wordt wat de stroomrichting is van het water. Door middel van hoogte kaarten in het programma ArcMAP te laden, kan gezien worden naar welke kant het water hoort te stromen.

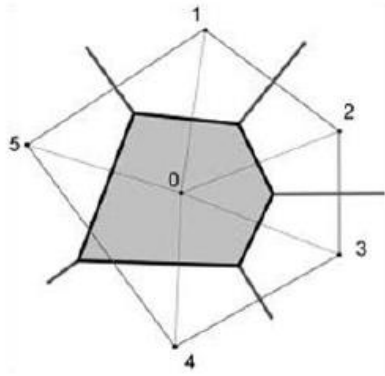
Vanaf onverharde oppervlaktes stroomt maar een bepaald percentage water af en de rest zal infiltreren in de grond of zal opgenomen worden door beplanting. Om te berekenen welk percentage afstroomt, is van het gebied een kaart gemaakt met daarop alle onverharde gebieden. Deze zijn weer opgedeeld in substroomgebiedjes om te zien naar welke knoop of waterloop het water afstroomt. Dit gebeurt met behulp van de hoogte kaart (Bijlage A). Er is op deze kaart gekeken wat de hoogste punten zijn van het gebied en waar de ruggen van de heuvels liggen. Water stroomt van hoog naar laag en daarop is gekeken hoe het in het gebied rond Kontich stroomt.

Per gebied is vervolgens bepaald wat de grondsoort (Bijlage A) en het grondgebruik is. Dit is gedaan op basis van luchtfoto's om vast te stellen of het akkerland, grasland of braakliggend terrein is. Hiermee kan dan bepaald worden hoeveel water er infiltreert en hoeveel er opgenomen wordt door vegetatie. Ook wordt bekeken wat de helling in het terrein is (Bijlage A). Dit telt mee, aangezien een steilere helling zorgt voor een hogere afvoer naar het riool omdat het water niet de tijd krijgt om te infiltreren of om opgenomen te worden.

4.5 Toekenning afvoeren aan putten

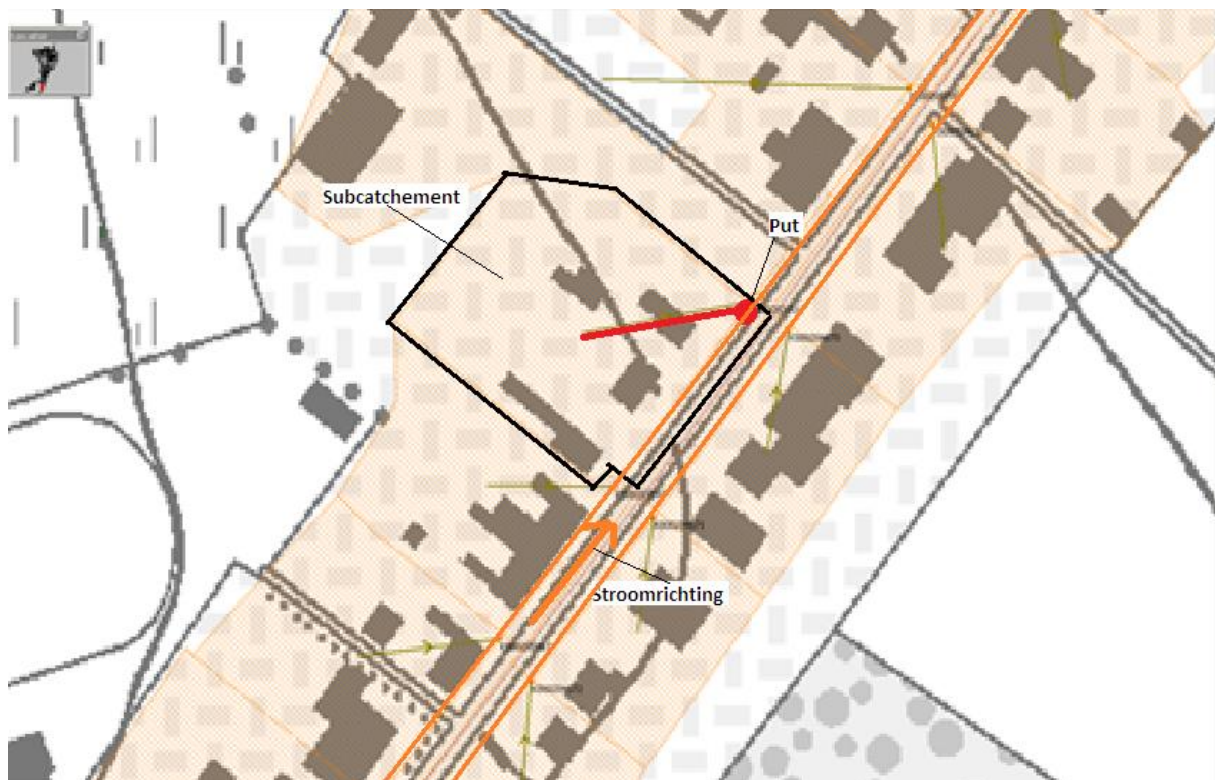
Nu berekend is hoeveel verhard en onverhard oppervlak in het doelgebied ligt, zijn deze toegekend aan de putten. Dit gebeurt aan de hand van het intekenen van subcatchments, dit zijn alle oppervlakten die afwateren naar een bepaalde put. Het intekenen van de subcatchments gebeurt aan de hand van de zo genoemde Thiessenpolygonen (figuur 8). Dit is een pragmatische methode om eenvoudig de neerslagen toe te kennen aan de verschillende putten in het gebied en ook zo dat elke put een subcatchement heeft.

In de praktijk watert het RWA/DWA via straatkolken direct in de pijpleiding, echter Infoworks kent het toe aan de benedenstroomse put van die leiding (zie figuur 9) om zo de meest nadelige situatie te krijgen en daar mee te rekenen. Als centrum van de Thiessenpolygoon wordt dus genomen een rioolbuis tussen twee putten, inclusief de benedenstroomse put.



Figuur 8 Thiessenpolygoon (Wikipedia, n.d.)

In het programma Infoworks komt dat er dan als volgt uit te zien (figuur 9). Elke put heeft zijn eigen subcatchement met enkele huizen en de tuinen. In het programma ArcMAP zijn de verhardingen ingetekend (donker) die dan in Infoworks geïmplementeerd worden als volledig afstromend.



Figuur 9 Toekennen subcatchements bovenstroomse put

Vervolgens zijn de eigenschappen per subcatchement toegekend. Sommige subcatchments bevatten bos of akkerland die elk hun eigen afstromingscoëfficiënt hebben en ook in stedelijk gebied zijn er verschillen (zoals beschreven in de vorige paragraaf 'Onverhard oppervlak'). In stedelijke gebieden kunnen rijhuizen namelijk maar voor de helft afgekoppeld worden, omdat de achterkant van de woning niet naar de straat toe afgewatert kan worden. De kosten hiervan wegen namelijk niet op tegen de baten, aangezien er een leiding onder het huis door gelegd zou moeten worden.

Als laatste worden er voor het bepalen van de droogweerafvoer de bewoners verdeeld over het aantal putten. Dit is gedaan met een intern programma van de Antea Group, waarin per straat het aantal inwoners toegekend zijn. De inwoners worden per straat evenredig over de subcatchements verdeeld aan de hand van de oppervlaktes. De grootste subcatchement krijgt ook de meeste bewoners toegewezen en de kleinste de minste. Uiteraard is in ruraal gebied het aantal bewoners minder en de subcatchements groter, maar aangezien er per straat gekeken wordt, is dit al ingecalculeerd.

5. Implementatie structuren

Zoals eerder uitgelegd in hoofdstuk 2 zijn er verschillende structuren in Infoworks die elk hun eigen functie hebben. Al deze structuren moeten in Infoworks aangepast worden naar de juiste dimensies. Met verschillende zaken moet rekening gehouden worden, zoals leidingen, pompen en overstorten.

5.1 Leidingen

Het grootste gedeelte van het stelsel bestaat uit leidingen. Deze zorgen ervoor dat het water van a naar b komt en moeten dus met zorg gemodelleerd worden. Naast de diameter kan ook de vorm en materiaal van de leiding variëren. De meest gangbare vorm leiding die in het studiegebied van Kontich ligt, is rond en gemaakt van beton. De materiaalsoort van de leiding heeft effect op de doorstroming, aangezien een gladde kunststof leiding een kleinere ruwheid en dus een lagere wrijving heeft dan een gemetselde. Er zijn meerdere types die elk hun eigen eigenschappen hebben (zie bijlage D) Daarnaast wordt het debiet en de ruwheid ingegeven door de formules van de hydrodynamica (zie bijlage E). In Infoworks zijn ook de diepte van de leidingen en de diameters ingegeven. Hieraan kan dan Infoworks het verhang berekenen en dus het maximale debiet.

5.2 Pompen

In vlakke rioolstelsels zijn pompen de belangrijkste hydraulische structuren, en hun correcte modellering is van het grootste belang voor de kwaliteit en de betrouwbaarheid van het hydrodynamisch model. Dit omdat in vlakke rioolstelsels het water over langere afstanden vaak verpompt moet worden.

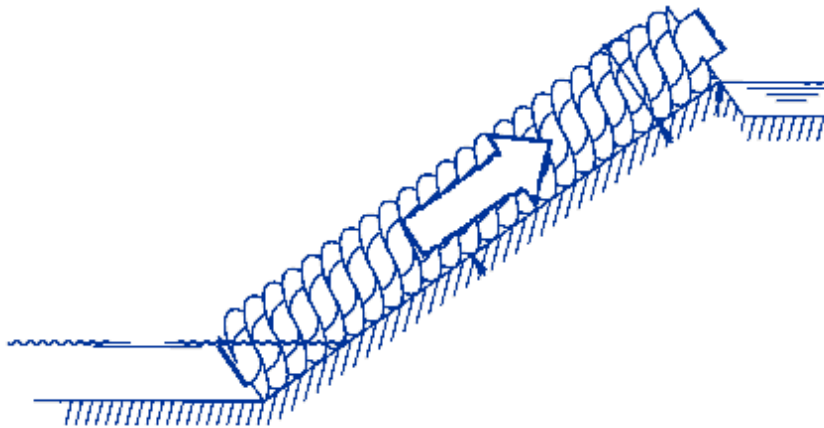
Tijdens de modellering is er gewerkt met twee soorten pompen. De vijzelpomp en centrifugaalpomp. De centrifugaalpomp is weer onder te verdelen in pompen met persleiding en zonder persleiding en pompen die in frequentie gestuurd kunnen worden.

Voor alle pompstations is het belangrijk om het volume van de pompenkelder zo realistisch mogelijk weer te geven door middel van de 'manhole parameters'. Als er geen gegevens ingevoerd worden, dan voert Infoworks zelf waarden in op basis van de leiding parameters. Deze geven echter, vooral bij lage debieten, onrealistische waarden voor de pompstations.

5.2.1 Vijzelpompen

Een vijzelpomp, ookwel Archimedes pomp genoemd, schroeft het water van laag naar hoog (Figuur 10). Het is een gesloten systeem waarin de vijzel ronddraait. De vijzel wordt in Infoworks gekarakteriseerd door de volgende parameters:

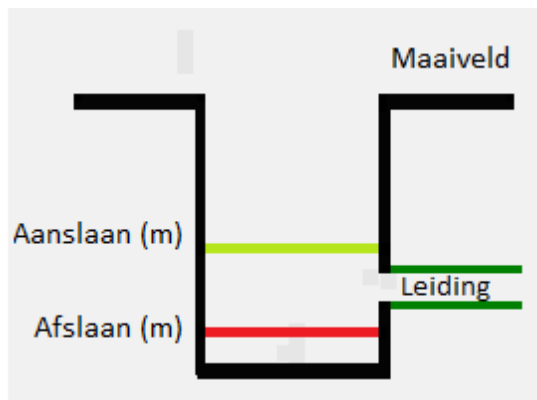
- Aan- en afslagpeil
- Referentieniveau
- Karakteristiek



Figuur 10 Vijzelpomp (Babcock, 2010)

Aan- en afslagpeilen

Dit zijn de peilen waarop de pomp in werking moet treden of juis af moet slaan (figuur 11). Een vijzelpomp is namelijk niet constant aan het pompen, maar alleen tijdens hevige neerslag (al is dit instelbaar).



Figuur 11 Schematisatie aan/afslagpeil vijzelpomp (De Groen, 2013)

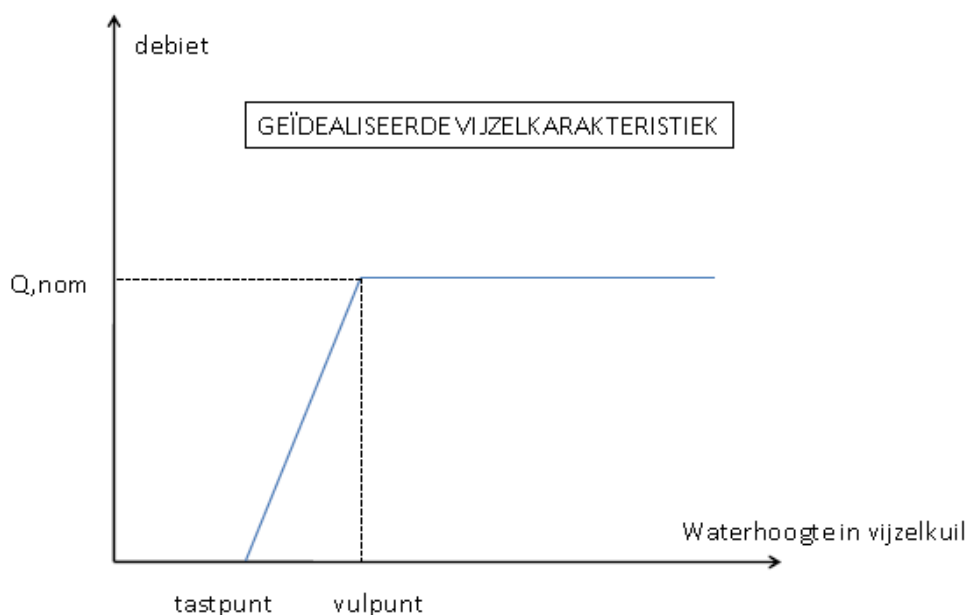
Indien wel gewenst is dat de vijzelpomp continu draait, dit is dan voornamelijk voor DWA-debieten, dan worden voor de aan- en afslagpeilen waarden gekozen zodanig dat deze buiten het bereik van de normale waarden zal liggen.

Referentieniveau

Het referentieniveau is het niveau waarop de pomp gemodelleerd wordt. Het af/aanslagpeil is dan plus of min dit peil. Standaard wordt hiervoor de bodem van de vijzelkuil voor genomen. Het referentieniveau heeft een effect op de ingave van de vijzelkarakteristiek.

Karakteristiek

De karakteristiek wordt gedefinieerd als een reeks van debietwaarden in functie van de (toenemende) waterhoogte ten opzichte van het referentieniveau. Met andere woorden, de karakteristiek is het debiet over de tijd en kan worden weer gegeven als een grafiek (zie figuur 12). Omdat de debietwaarden buiten het opgegeven bereik van waterhoogten bepaald worden door extrapolatie van de karakteristiek (doordat deze niet in de praktijk gemeten zijn), is het belangrijk dat aan het einde van de tabel minimaal twee hoogten met nominale debietwaarden worden opgegeven. Aan het begin van de tabel wordt foutieve extrapolatie vermeden doordat er met het referentienulpunt (punt waarop debiet en waterhoogte 0 zijn) en het tastpunt (aanslagpunt van de pomp) altijd minimum twee nulwaarden voorhanden zijn.



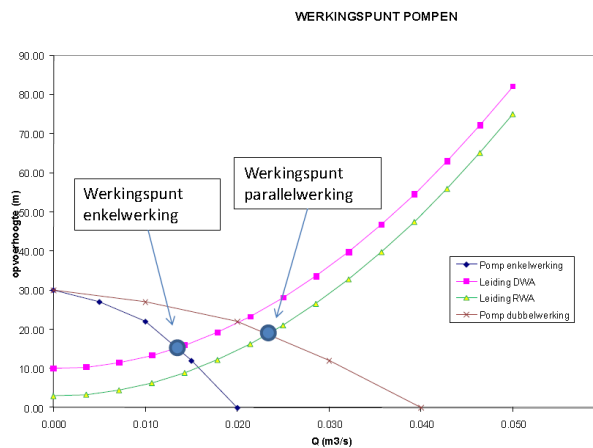
Figuur 12 Vijzelkarakteristiek (Hydronautprocedure versie 6.5, 2013)

5.2.2 Centrifugaalpomp

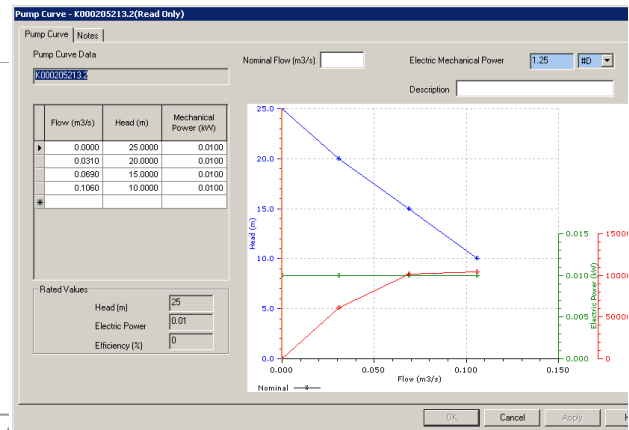
Centrifugaalpomp werken met behulp van de centrifugaalkrachten. Het water wordt door middel van schoepen op een rad, naar buiten gedrukt en krijgt daarmee snelheid. Het water wordt dan door een persleiding gevoerd en komt zo bij de RWZI.

De hydraulische werking van centrifugaalpomp wordt bepaald door twee zaken: de pompkarakteristiek en de karakteristiek van de persleiding die er op aangesloten is. Het punt waar beide grafieken elkaar snijden, is het zogenoemd 'werkingspunt' en bepaalt het debiet en de opvoerhoogte van de pomp.

In theorie worden deze pompen ontworpen op een vast werkingspunt per bedrijfsvoering; in de praktijk kunnen deze werkingspunten nogal variabel zijn. Zo varieert het waterpeil bij enkel droogweerafvoer tussen aan- en afslagpeil, en bij regenweerafvoer tussen afslagpeil en overstortpeil. Door deze variatie in werkingpunt, varieert de opvoerhoogte dus ook. In figuur 13 zijn beide situaties geschematiseerd. De berekening tot deze grafiek is te vinden in bijlage F. 'Werkingspunt enkelwerking' is het punt waar bij de pomp werkt als er alleen DWA afgevoerd wordt, en 'Werkingspunt parallelwerking' is het punt waar ook regenwater afgevoerd moet worden. Figuur 14 geeft weer hoe het in Infoworks geschematiseerd is. Doordat de grafieken elkaar hier niet snijden kan aangenomen worden dat de optimale werking nog niet bereikt is (de tijd waarover deze grafiek genomen is, is te klein).



Figuur 13 Werkingpunten centrifugaalpomp (Hydronautprocedure versie 6.5, 2013)



Figuur 14 Centrifugaalpomp karakteristiek Infoworks enkelwerking

Door te variëren met de parameters kan er gezorgd worden dat een andere parameter laag/hoog blijft. Bijvoorbeeld: Als de frequentie van de pomp verhoogt wordt dan wordt er dus meer water verpompt en blijft het peil in de pompkelder laag. Hierdoor wordt voorkomen dat een tweede pomp bijgeschakeld moet te worden.

5.3 Overstorten

Met overstorten worden alle constructies bedoeld die een of meerdere drempels bevatten, waarover bij stijgend waterpeil een deel van het debiet wordt over gestort naar een lozingspunt of een ander deel van het stelsel. Dit gebeurt voornamelijk bij hevige neerslag om het stelsel te ontlasten. Vaak is het zo dat bij een pomp ook een overstort gelegen is. Als er het afvoerdebiet namelijk hoger is dan het pompdebiet dan moet dat water ergens heen en dan wordt dan via een overstort geloosd op het oppervlakte water.

De overstorten worden modelmatig ook nog gebruikt als einde van een substroomgebied. In hoofdstuk 4.1 is de stroombekkenbenadering geïntroduceerd en deze komt hier nu terug. De overstort representeert een substroombekken in dit schema. Ook worden hier de subcatchments uit hoofdstuk 4.5 aan gekoppeld om zo het totale oppervlakte plus neerslag te bepalen; aan deze subcatchments is ook het aantal inwoners per gebied gekoppeld en er kan dus ook de DWA bepaald worden. Dit alles leidt tot het totale debiet door de overstort.

De berekening van overstortdebieten is gebaseerd op formules voor stroming over overlaten die allemaal min of meer voldoen aan volgende formule (Fox, McDonald, & Prichard, 2004)

$$Q = \frac{2}{3} C_d B \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}}$$

Waarbij:

- C_d Debietcoëfficiënt
- B Breedte van de drempel
- g Gravatieversnelling
- h Dikte van de overstortende laag

Deze formules zijn echter niet toepasbaar op alle overstorten. Alleen overstorten die voldoen aan de volgende criteria kunnen worden berekend:

- De overstort is een rechthoekige (d.w.z. horizontale) overlaat, uitgevoerd in een dunne wand (bij overstorten gaat het meestal om betonnen of metselwerk drempels die soms een aanzienlijke dikte kunnen hebben)
- De overstort is loodrecht op het kanaal waar opgestort wordt (vandaar dat traditioneel over de breedte van de overlaatsdrempel wordt gesproken, terwijl men bij rioloverstorten meestal over de drempellengte spreekt).
- Er is geen zijdelingse contractie met het kanaal waarin overgestort wordt (in overstorten bevindt de drempel zich meestal niet in de leiding waarin overgestort wordt)
- Er wordt uitgegaan van permanente stroming (is op het moment van overstorting in rioolstelsels zeker niet het geval)
- De overlaat evacueert het volledig aanstromend debiet (bij rioloverstorten is er meestal een doorvoerleiding onderaan de drempel).

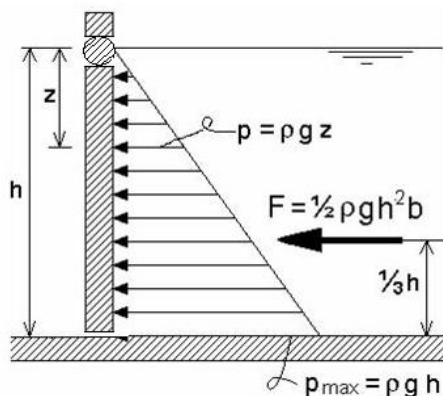
In het studiegebied Kontich vielen alle overstorten binnen de gestelde grenzen en er dienden dus geen extra formules bijgehaald te worden.

5.4 Overige structuren

Naast alle bovenstaande structuren die voornamelijk het debiet beperken of verhogen zijn er nog andere structuren die in infoworks gemodelleerd kunnen worden. Dit zijn: Terugslagkleppen, reservoirs, en inlaatroosters.

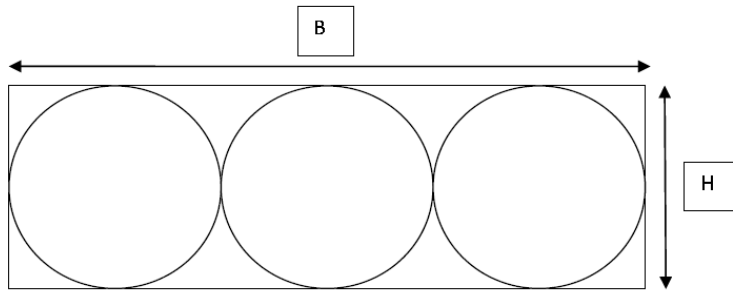
5.4.1 Terugslagkleppen

Terugslagkleppen zijn structuren die zorgen dat water door een bepaalde opening maar een kant op kan stromen. Ze worden vaak gemonteerd bij lozingspunten en tussen de verschillende compartimenten van bepaalde structuren. De klep gaat pas open als het water achter de opening een bepaalde hoogte en dus druk opgebouwd heeft (zie figuur 15).



Figuur 15 Hydrostatische druk (Nipius, 2013)

Het nadeel in Infoworks is dat kleppen daar standaard als cirkelvorming beschouwd worden. Dit betekent dat er bij een rechthoekige klep dus een equivalente diameter berekend moet worden. De vraag is echter of dit wel de moeite waard is, aangezien de formules die aan de basis liggen van de berekening in InfoWorks dit niet toelaten. Daarom kan een rechthoekige klep het beste voorgesteld worden als een aantal cirkelvormige kleppen met als diameter de hoogte van de rechthoekige klep (zie figuur 16).



Figuur 16 Voorstelling rechthoekige klep in Infoworks (Hydronautprocedure versie 6.5, 2013)

5.4.2 Reservoirs

Een reservoir heeft als doel het bufferen van water en dit vast te houden zolang de piek van de afvoer aanhoudt. Daarna kan het reservoir weer langzaam leeglopen. Een reservoir kan verschillen vormen aannemen en daaraan is de buffercapaciteit gebonden. Door de verschillende vormen kan niet echt een schematisatie met formules gegeven worden.

5.4.3 Inlaatroosters

Inlaatroosters zijn een bovengrondse inlaatconstructie en bevinden zich vooral waar een sloot het riool instroomt. Een inlaatrooster dient ervoor om het riool niet verstopt te laten raken, het houdt de grootste takken en zaken tegen. In Infoworks kan dit niet als zodanig gemodelleerd worden en het heeft daarom geen zin om er uitgebreid op in te gaan.

6. Randvoorwaarden aan het model

Tijdens het opstellen van het model zijn er enkele zaken waaraan het model moet voldoen en waaraan het model getest moet worden. Een voorbeeld hiervan is dat het model getest moet worden met een neerslag die eens in de zoveel jaar voorkomt. Er zullen bij de opmaak van het model aannames gedaan moeten worden voor waarden van verschillende parameters, zoals diameters van buizen, maaiveldpeil etc. Deze waarden zijn meestal berekend door de formules uit hoofdstuk 5 of door het extrapoleren van de waarden van de dichtstbijzijnde putten waarvan de waarden wel bekend zijn. Het is daarom belangrijk dat de uitkomst van het model door middel van metingen uit de praktijk getoets wordt en waar mogelijk, bijgestuurd (modelverificatie).

Vanuit de opdrachtgever is gesteld dat het model na validatie aan de volgende zaken moet voldoen:

- Ter plaatse van belangrijke debietbeperkende constructies (pompstations, knijpopeningen, etc) de orde van grootte van de DWA correct te voorspellen
- Belangrijke opstuwingen ten gevolge van hydraulische constructies zo correct mogelijk te simuleren
- Afvoerdebieten in zones, niet onderhevig aan afwaartse randvoorwaarden zo goed mogelijk te voorspellen
- Pompdebieten, afwaarts van pompstations, correct te simuleren voor de verschillende werkingsregimes (pompsnelheden)
- De oorzaak van significante, lokale afwijkingen in het hydraulische gedrag weer te geven

Voor de verificatie van het model biedt Infoworks zelf een tool aan. Infoworks controleert dan zelf of alle waarden juist zijn ingevuld en of ze realistisch zijn. Daarnaast is er nog vergeleken met hoogtekarten (bijlage A) om te kijken of de waarden van het maaiveldpeil overeenkomen.

Na de verificatie kan doorgegaan worden met de evaluatie van de bestaande toestand. Dit gebeurt door de onderstaande ontwerpneerslagen te genereren in het programma. Het belang hiervan is na te gaan waar zich problemen voordoen en bij welke neerslag die problemen ontstaan en wat de oorzaken zijn van deze problemen. Daarnaast kan aan de hand hiervan nagegaan worden of het voorgestelde, nieuwe ontwerp geen nieuwe problemen creëert.

De ontwerp neerslagen waar mee gerekend dient te worden zijn (opgesteld door Aquafin):

- Een regenbui met terugkeerperiode van eens in de 2 jaar
- Een regenbui met terugkeerperiode van eens in de 5, 10 en 20 jaar
- Een regenbui met terugkeerperiode van eens in de 1/7 en 1/10 jaar

De regenbui die eens in de 2 jaar terug komt is de ontwerpneerslag. De leidingen worden op deze neerslag gedimensioneerd en met deze neerslag mag het vrijboord niet kleiner zijn dan 0,5 meter onder het maaiveld. Het vrijboord is het grondwaterpeil vanaf het maaiveldpeil gemeten. Dit betekent dus dat het rioolsysteem met deze neerslag vrijelijk moet kunnen stromen zonder ergens problemen te veroorzaken.

Een bui die een hogere terugkeer periode heeft, is een maat voor het gehele systeem. Het gehele systeem moet er op berekend zijn dat het een bui van eens in de 20 jaar aan zou moeten kunnen. Er mag dan geen water op straat zijn bij deze bui. De eigenlijke maat die gesteld wordt is een bui van eens in de 5 jaar, echter moet er ook naar de toekomst gekeken worden omdat een rioleringsysteem ongeveer 100 jaar mee zou gaan. De aanname is gedaan dat aan het eind van de eeuw een bui die nu

eens in de 20 voor komt, dan eens in de 5 jaar gaat voorkomen. Er wordt dus gerekend met een bui van eens in de 20 jaar.

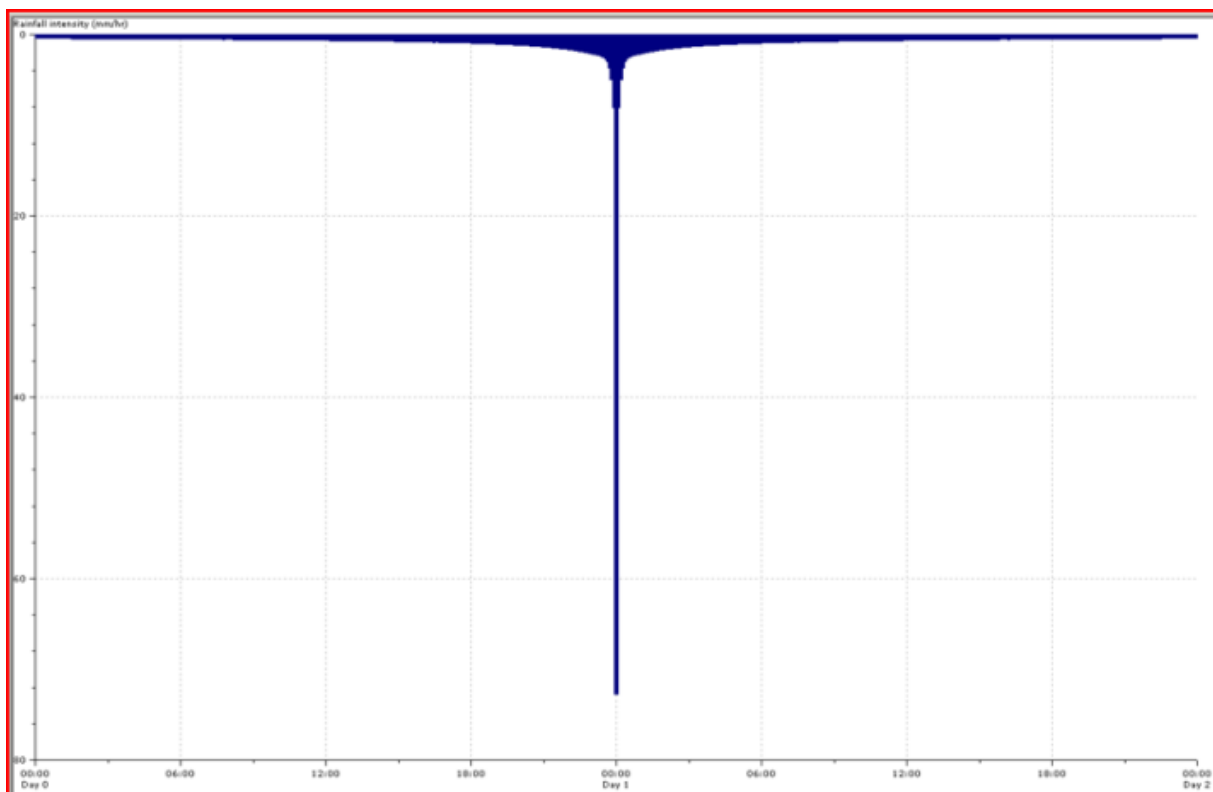
Een bui die een hogere frequentie heeft wordt gebruikt om te zien waar eventueel overgestort wordt op het oppervlakte water. Dit is nog geen overlast, maar de geloosde volumes zullen aangeven in welke mate het rioleringsstelsel dient te worden geoptimaliseerd om de vuiluitworp te verminderen/op te heffen.

De tijd waarmee gerekend wordt is 72 uur. De bui zelf is gemodelleerd dat deze 36 uur duurt, maar om de reactie van het stelsel op de bui goed te voorspellen wordt er 72 uur aangehouden. Er wordt vanuit gegaan dat na 72 uur al het water van die bui geïnfiltreerd en afgestroomd is.

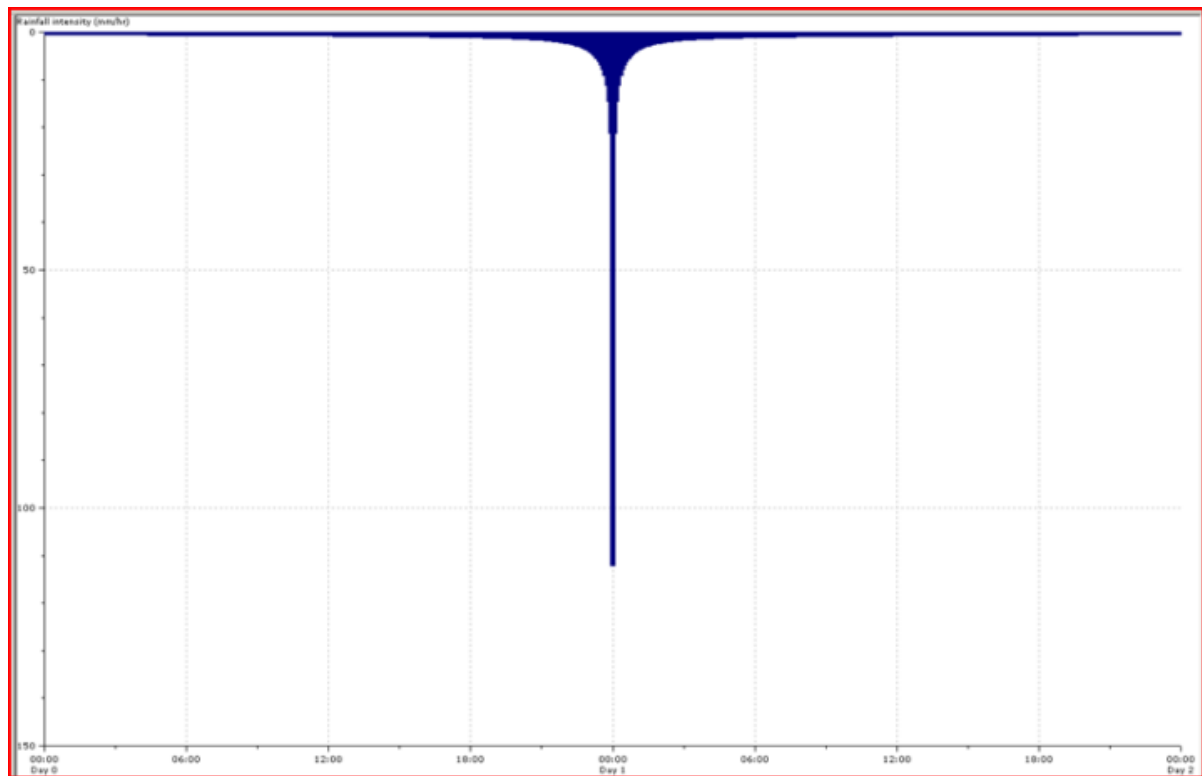
De piekafvoeren en hun bijbehorenden maxima staan in tabel 1. Figuren 17 en 18 geven de grafieken van de buien die eens in de 2 en 20 jaar terug komen. Op de assen staat horizontaal de tijd in uren en verticaal de neerslag in mm per uur van boven naar beneden.

Tabel 1 Ontwerpneerslagen

Ontwerpbui	piek afvoer in mm/uur	Tijdsduur in uur
T = 2	75	36
T = 5	88	36
T = 10	100	36
T = 20	115	36
T = 1/7	25	36
T = 1/10	19	36



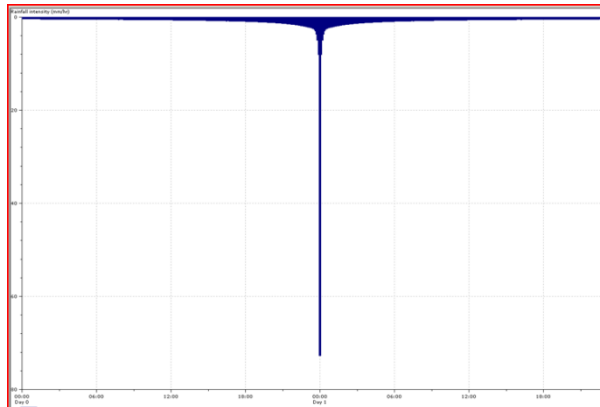
Figuur 17 Grafiek regenbui T = 2



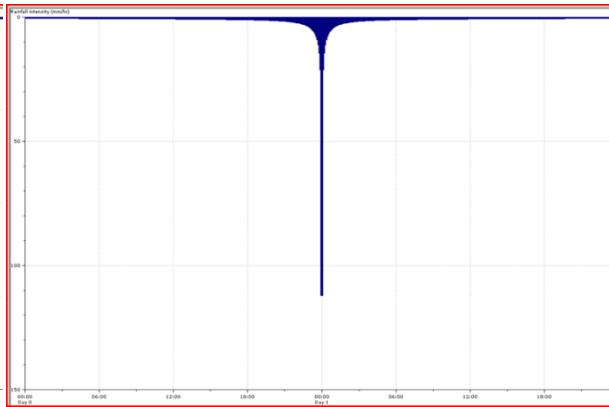
Figuur 18 Grafiek regenbui T = 20

7. Uitkomsten

Nu alle input bekend en geïmplementeerd is kunnen de runs in het programma Infoworks gedaan worden. Er zijn enkele runs gedaan met de vier verschillende herhalingstijden die uitgelegd zijn in hoofdstuk 3: $T = 2$, $T = 5$, $T = 10$ en $T = 20$.

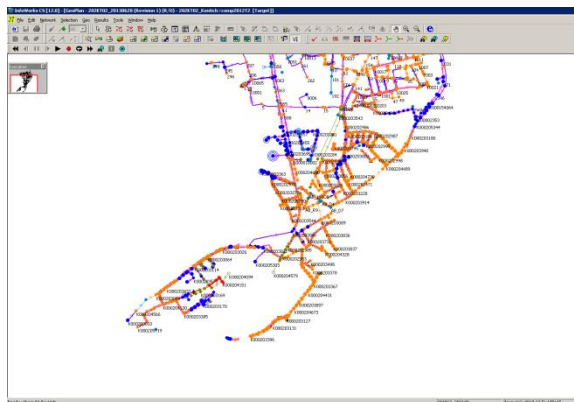


Figuur 19 Grafiek regenbui $T = 2$

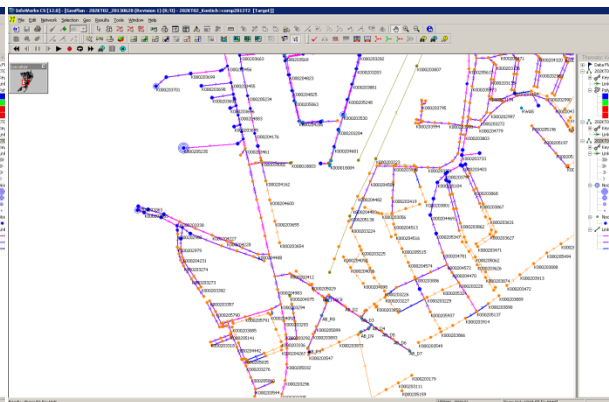


Figuur 20 Grafiek regenbui $T = 20$

Tijdens de bui van eens in de twee jaar is de piek afvoer 75 mm per uur (figuur 19) en bij een bui die eens in de twintig jaar voorkomt geeft de piek een afvoer van 115 mm per uur (figuur 20). Wederom staat horizontaal de tijd in uren en verticaal de neerslag in mm per uur. Dit geeft in het stelsel de volgende resultaten.



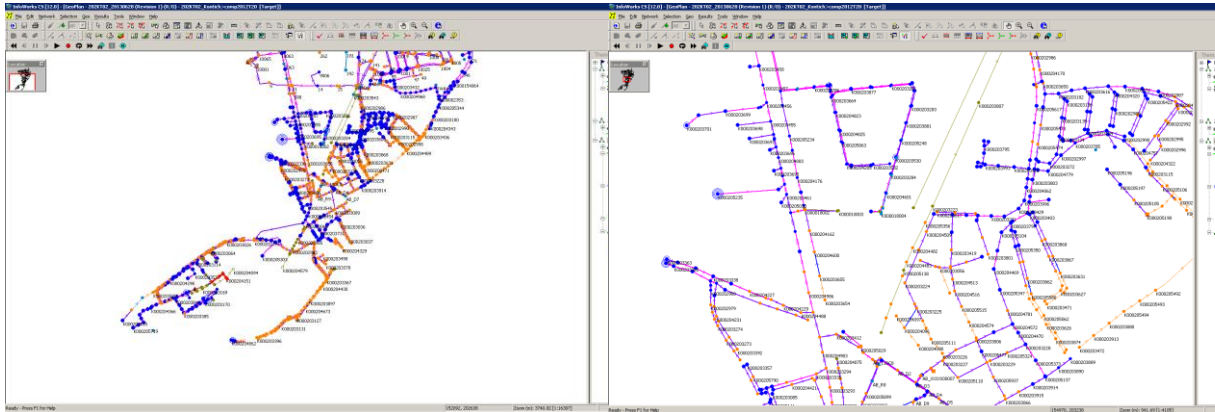
Figuur 21: Belasting van het rioolstelsel met een bui $T = 2$
jaar: oranje = geen problemen; lila = leiding staat onder druk; blauw = water boven het maaiveld.



Figuur 22: Detailkaart van figuur 21

De oranje/rode kleur geeft aan dat er geen problemen zijn. Dit betekent dat het maximale debiet van de leiding niet overschreden wordt. Lila geeft aan dat de leiding onder druk komt te staan, wat inhoudt dat de maximale capaciteit van de leidingen overschreden wordt, maar dat het stelsel genoeg buffer heeft om te zorgen dat er geen overlast optreedt (lees: water op straat). Blauw betekent dat het water boven het maaiveldpeil komt en dit geeft dus overlast op straat. De buffering in het systeem zelf is dan dus onvoldoende en de overstorten plus uitlaten zijn te klein.

Wat opvalt, is dat bij een bui die eens in de twee jaar (figuur 21 en 22) voor komt al water op straat aanwezig is. Dit is voornamelijk in de industriezones van het doelgebied en het meest opmerkelijke is dat in deze gebieden al een gescheiden stelsel ligt. Volgens eisen van de ontwerpneerslagen mag er geen wateroverlast zijn op straat.

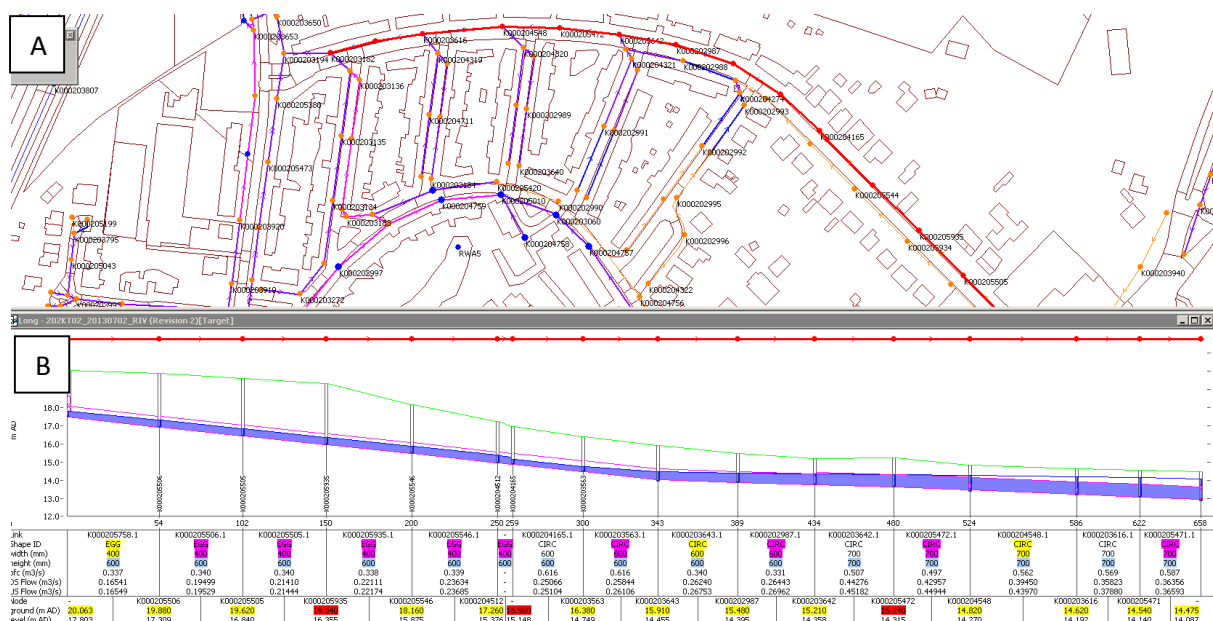


Figuur 23: : Belasting van het rioolstelsel met een bui T = 20 jaar: oranje = geen problemen; lila = leiding staat onder druk; blauw = water boven het maaiveld.

Figuur 24: Detailkaart van figuur 23

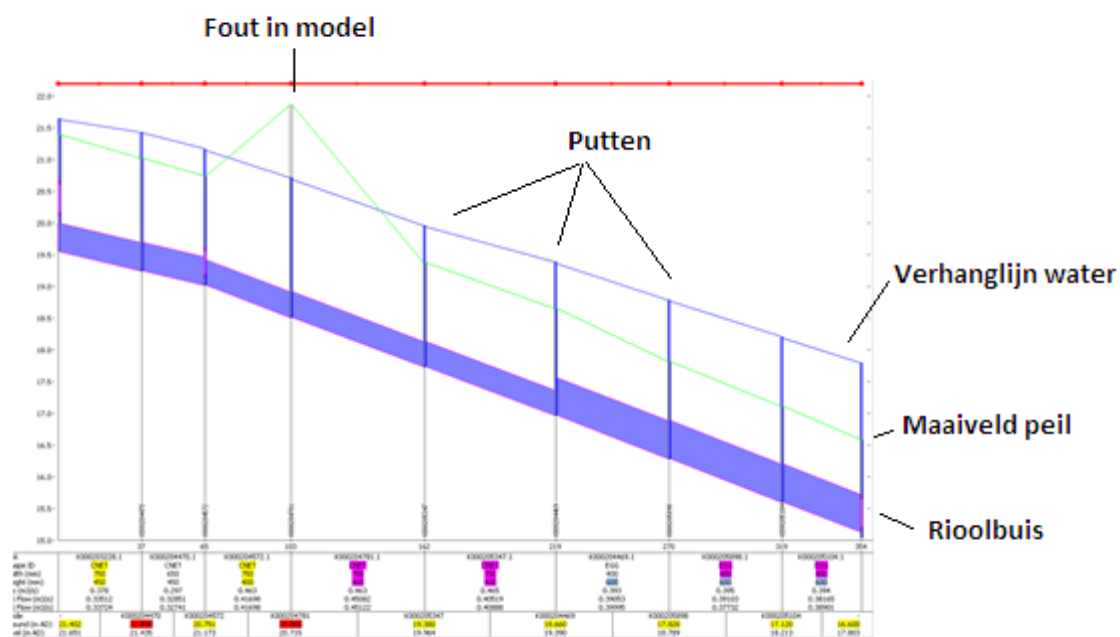
Bij een bui die eens in de 20 jaar voorkomt, is de situatie (figuur 23 en 24) logischerwijs verergerd. Er zijn meer blauwe strengen en de stukken die al overlast veroorzaakten bij een bui eens in de twee jaar, zijn verhevigd. Dit is te zien aan het aantal cirkels om de putten. Toch blijven er strengen die een oranje kleur behouden. Deze strengen zijn overgedimensioneerd en kunnen de debieten eenvoudig afvoeren. De blauwe leidingen in figuur 22 tot en met 25 geven dus aan dat het water boven het maaiveld uit komt (Deze staan groter afgebeeld in bijlage F). Dit heeft te maken dat de afvoer van buis kleiner is dan het debiet dat afgevoerd moet worden.

In figuur 25 is weergegeven hoe dit er in verticale richting uitziet. De dwarsdoorsnede is een gedeelte van de afvoer uit de noordelijke wijk van Kontich (figuur 25A) en heeft in het begin geen moeite om het water af te voeren. Dit is terug te zien in het figuur doordat de buizen links in het figuur (25B) nog niet volledig gevuld zijn met water. Verder stroomafwaarts komen hier echter zijstraten bij wat leidt tot het onder druk komen van de leidingen. In dit gedeelte komt de verhanglijn van het water (blauwe lijn) niet boven de verhanglijn van het maaiveldpeil (groene lijn) wat betekent dat er geen water op straat staat bij een bui die eens in de twee jaar voorkomt.



Figuur 25 Doorsnede rioolstelsel

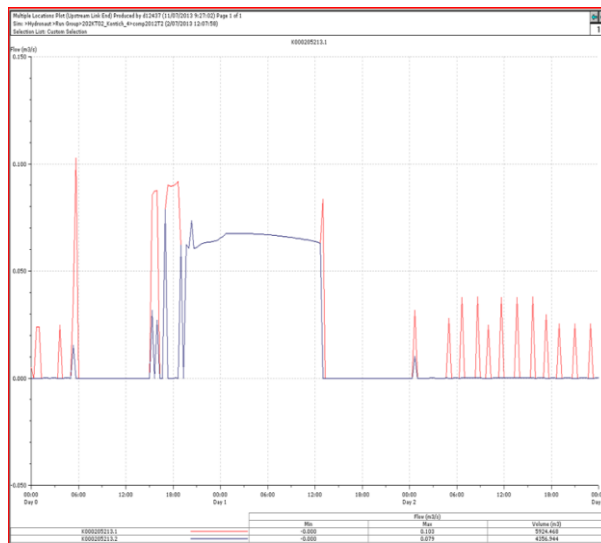
Mocht de verhanglijn van de blauwe lijn wel boven het maaiveldpeil komen dan houdt dat in dat er water uit de putten de straat opstroomt, zoals het geval in figuur 26.



Figuur 26 Verhanglijnen

Bij een bui die eens in de twee jaar voorkomt mag geen overlast op straat zijn, zoals uitgelegd in hoofdstuk 2. De structuren in het stelsel moeten dan ook hun werk doen, zoals te zien in figuur 27 en 28. Aangezien Infoworks niet het totaal laat zien van het overgestorte water, is hier een voorbeeld

pomp genomen die van een specifiek gedeelte van Kontich laat zien hoeveel er geloosd wordt op het oppervlakte water.



Figuur 27 Werking pompen T = 2

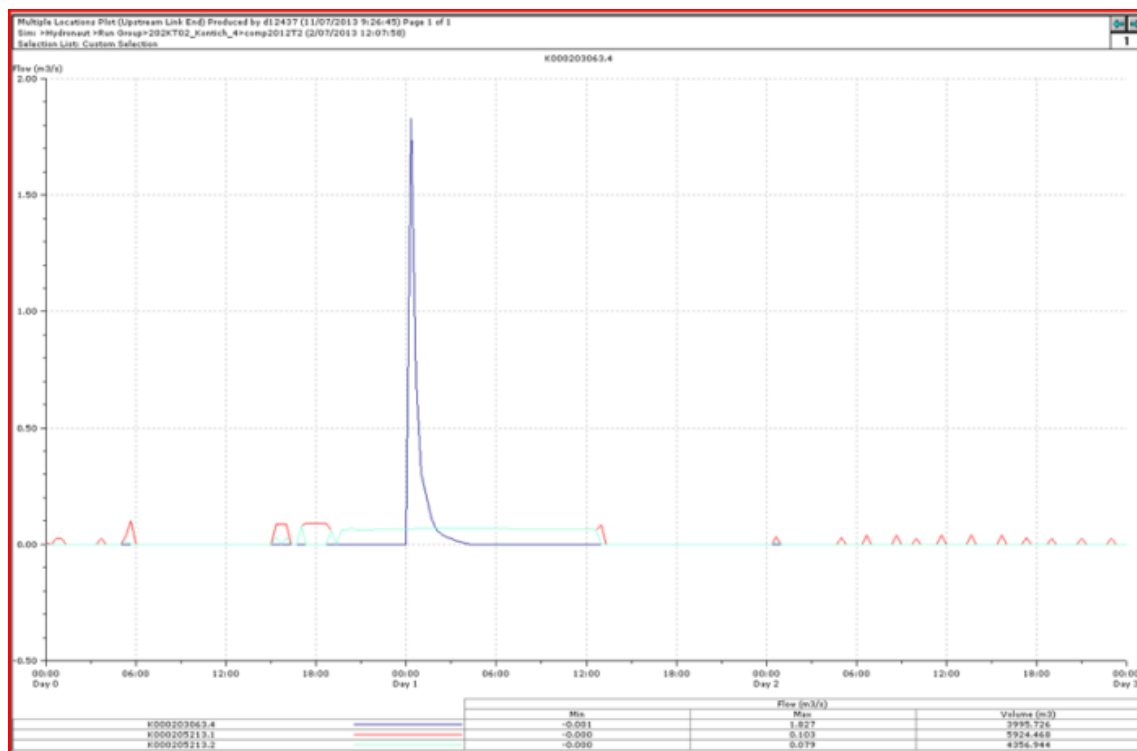


Figuur 28 Werking pompen T = 20

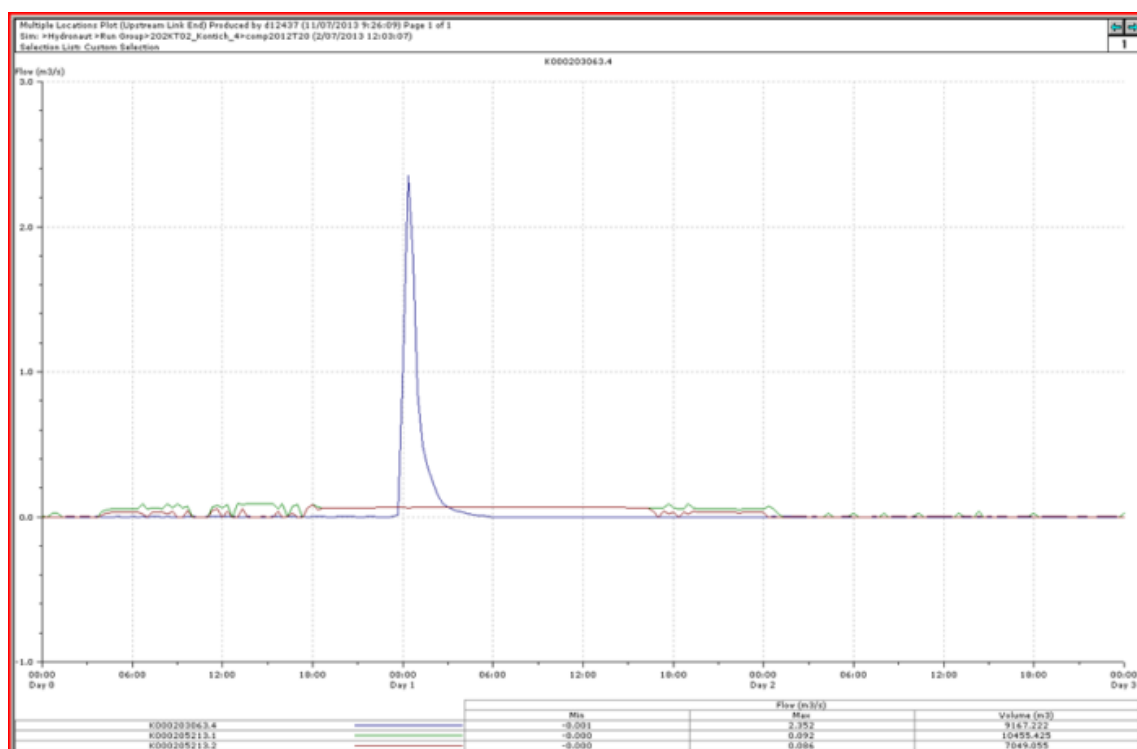
In de figuren zijn twee grafieken te zien. Deze stellen twee pompen voor die in een pompkelder liggen. Te zien is dat de pompen af en toe aan slaan en meteen weer afslaan (pieken in grafiek), maar ook dat de pompen een langere tijd werken. Dit is tijdens de piek van de bui waar de pompen het meeste water moeten verpompen. Beide pompen verpompen over een periode van 72 uur (standaard tijd waarmee gemodelleerd wordt) iets meer dan 10.000 m³.

Bij een bui die eens in de 20 jaar voorkomt werken de pompen langer en verpompen over de tijd meer debiet. Over de 72 uur dat er gemeten wordt, verpompen de pompen bijna 20.000 m³.

Indicatiever voor de situatie in Kontich echter is de om de waarden van de pompen uit te zetten tegenover de stroming door de overstort (zie figuur 29 en 30). Elke pomp heeft namelijk een overstort bovenstrooms voor het geval de pomp niet hard genoeg kan pompen. De grafieken laten zien hoeveel er tijdens de piek geloosd wordt op het oppervlakte water.



Figuur 29 Strooming door overstort afgezet tegen pompen, T = 2



Figuur 30 Strooming door overstort afgezet tegen pompen, T = 20

Tijdens $T = 2$ wordt er in totaal 4000 m^3 afvalwater geloosd op het oppervlakte water op dit specifieke punt. Het maximum debiet dat er op het hoogst van de piek door de overstort gaat is $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit is vergeleken met de $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ van de pompen relatief veel.

Bij een bui van eens in de twintig jaar is dat nog iets erger. Totaal wordt er dan 10.000 m^3 water overgestort en het debiet op tijdens de piek is $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$. De pomp debieten blijven hetzelfde.

De conclusie kan getrokken worden dat de pompen veruit ontoereikend zijn om de piek van de bui te verpompen. Dit kan te maken hebben met de pompcapaciteit of met de het debiet dat maximaal door de leiding benedenstrooms van de pompen kan stromen. Vaak is het een combinatie van beiden.

8. Mogelijke oplossingen voor knelpunten

Uit de verschillende runs met verschillende hevigheden in neerslag is gebleken dat er op bepaalde plaatsen veel water overlast is. Uit navraag bij verschillende partijen (bewoners, bedrijven en gemeente) is gebleken dat er inderdaad water op straat voor komt. Binnen de gegeven tijd van de studie was er geen tijd meer om daadwerkelijk met het programma Infoworks oplossingen uit te werken. Wel worden hier enkele oplossingen aangeboden die normaal toegepast zouden worden.

Er zijn twee soorten maatregelen die overlast verminderen. Enerzijds kan de capaciteit van het stelsel vergroot worden en anderzijds kan het debiet dat door het stelsel afgevoerd moet worden verkleind worden.

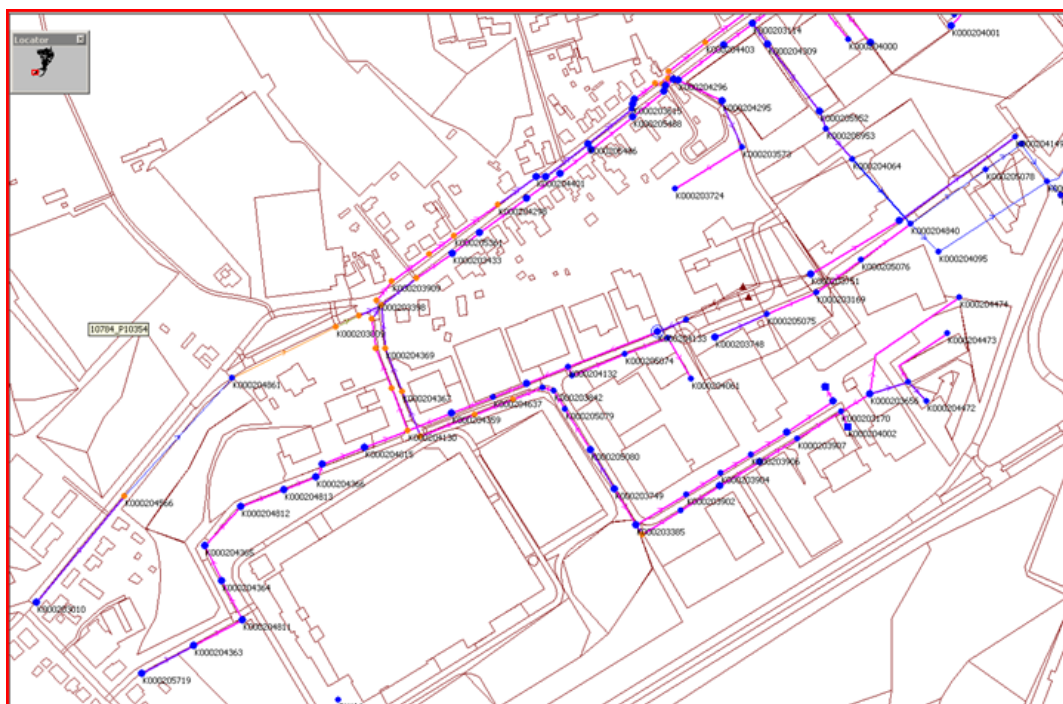
- Vergroten leidingen
- Gescheiden stelsel aanleggen
- Extra buffer/bovenstrooms opvangen dmv debietbeperkers
- Extra overstort
- Grote bedrijven afkoppelen

Een aantal situaties wordt hier onder gegeven en er wordt gekeken welke oplossingen er eventueel van toepassing zullen zijn.



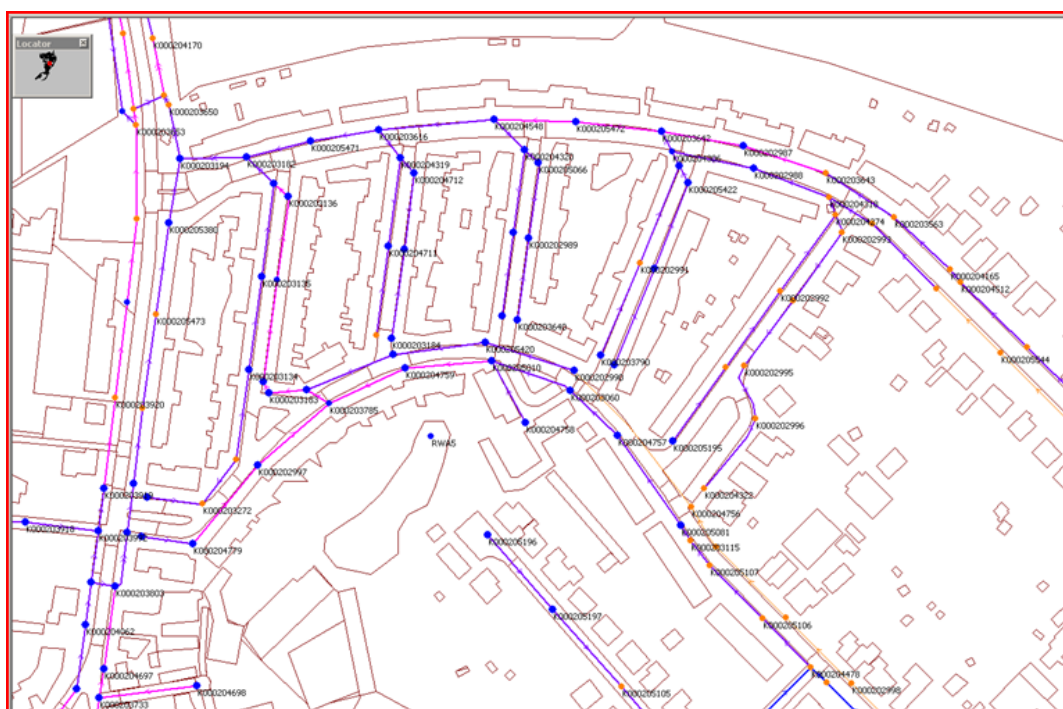
Figuur 31 Voorbeeld van een plaats waar de oplossing een overstort kan zijn

Bijvoorbeeld in figuur 31: Hier is er overlast links boven in het stelsel. Te zien aan de kringen om de putten. Bovenstrooms zijn er geen problemen met overlast, te zien aan de oranje putten. Doordat er problemen ontstaan linksboven wordt het water opgestuwd en zorgt het verder bovenstrooms voor problemen. Als er gezorgd wordt dat het water linksboven weg kan, met behulp van een overstort, zou het stelsel een stuk verlicht worden. Zoals uitgelegd in hoofdstuk 6, bevinden overstorten zich vooral in landelijke gebieden en dat zou hier het geval zijn. Er loopt ook een sloot langs, dus een overstort lijkt hier de beste oplossing.



Figuur 32 Afkoppelen grote panden

In figuur 32 is een van de industriezones weergegeven nabij het dorp Kontich. Zoals te zien zijn er veel grote panden, waarvan er maar enkele hebben aangegeven in eigen afvoer te voorzien. Er ligt hier een gescheiden rioolstelsel, maar deze dekt niet de hele industriezone. Door deze wel door te trekken over het hele gebied en te zorgen dat de bedrijven hierop aansluiten of te zorgen dat bedrijven een eigen afvoer naar een sloot of buffervijver aanleggen, kan het stelsel verlicht worden. Deze industriezone ligt ook bovenstrooms aan het stelsel, dus door hier te zorgen dat het stelsel verlicht wordt, kan het benedenstrooms problemen oplossen.



Figuur 33 Gescheiden stelsel of vergroten leidingen

Figuur 33 is een voorbeeld waarin veel leidingen aansluiten op een te kleine leiding. Dit is een woonwijk in Kontich en zoals te zien aan de blauwe kleur van de leidingen, zijn de leidingen te klein. Door hier de diameters van de leidingen te vergroten en dus meer capaciteit door de leidingen te laten gaan, kunnen de problemen al opgelost worden. Dit is echter een tijdrovend en intensief proces, omdat de straten opengebroke moeten worden en alle leidingen vervangen moeten worden door grotere. Als dan toch de straten open gebroke worden dan is het beter om RWA leidingen aan te leggen. Dit is even intensief als het vervangen van de bestaande leidingen, maar het is, met het oog op de toekomst, verstandiger.

9. Discussie

Er dient benadrukt te worden dat een model een benadering is van de werkelijkheid. Een model zal nooit exact kunnen nagaan wat er in de werkelijkheid gebeurt. Met dit in het achterhoofd is het model opgebouwd.

Bij het opstellen van het model zijn er een aantal aannames en benaderingen gedaan om de gegevens aan te vullen in het model. Bij enkele knopen waren niet alle gegevens bekend; vaak waren deze echter wel nodig om een uitkomst te krijgen. Hier is met behulp van een hoogtekaart een benadering gedaan. Echter, ook deze hoogtekaart heeft een bepaalde onnauwkeurigheid. Daarnaast zijn ook bij enkele putten de waarden van de dichtstbijzijnde putten of van de aanliggende leidingen over genomen. De foutmarge is hier klein, maar deze zaken dienen wel nog opgemeten te worden door een landmeter.

Bij de bevraging van bedrijven heeft ongeveer de helft van de aangeschreven personen gereageert. Vaak zijn de gegevens verkregen van huurders van het pand, die een inschatting hebben gedaan van de situatie. Deze inschatting heeft dan betrekking op de oppervlakte van het perceel; de afvoer; en bijvoorbeeld de grote van de buffer. Van de bedrijven die niet gereageert hebben, is wederom een aanname gedaan. De aanname is gedaan dat van een bepaald gebied, alle bedrijven op dezelfde manier de afvoer van het water geregeld hebben. Dus als er van 1 bedrijf in dat gebied gegevens zijn verkregen dan is dit toegepast bij alle bedrijven die niet gereageerd hebben.

Al deze aannames en onnauwkeurigheden kunnen leiden tot een overdimensionering of juist een onderschatting van de praktijk. Dit leidt er dan toe dat het model een ergere situatie voorschrijft of juist een meer rooskleurig beeld schetst van de praktijk. In het geval van het model van Kontich lijkt het eerste het geval. Er wordt veel water op straat voorspeld bij een bui die eens in de 2 jaar voor komt. De oorzaak hiervan is dat veel bedrijven met grote verharde oppervlakten aangesloten zijn op het riool. Het zou kunnen zijn dat deze bedrijven zelf een buffer hebben of dat ze op een sloot lozen. Echter doordat er van deze bedrijven dan geen reactie is ontvangen, is dus de bovenstaande aanname gedaan.

Naast de fouten zijn er ook nog beperkingen in het programma Infoworks. Infoworks werkt als een black box, waarin niet duidelijk is hoe het precies werkt. Van de losse structuren is bekend op welke formules ze gebaseerd zijn, maar het is niet duidelijk hoe Infoworks alles aan elkaar koppelt om er vervolgens een uitdraai van te geven. Zo is het niet eenvoudig te zien hoeveel water er geborgen is, hoeveel er afgevoerd wordt en hoeveel er op straat terecht komt. Hierdoor kunnen enkele van de deelvragen niet beantwoord worden.

Tijdens de uitvoer van de opdracht is er geen validatie geweest van het model. Dit was niet mogelijk door ontbrekende gegevens en werd door het stagebedrijf als niet nodig geacht. Er werd al jaren gewerkt met dit programma en ook de opdrachtgever werkt hiermee. De validatie van de uitkomsten werden vooral gedaan op basis van ervaring; door de uitkomsten te bekijken en te beoordelen of de orde van grote goed is.

10. Conclusie en aanbevelingen

Conclusie

De doelstelling was: Een operationeel model van de huidige situatie van het rioolstelsel in Kontich in InfoWorks-CS te maken, als basis voor verder onderzoek naar de aanleg van een gescheiden stelsel. Hierbij dient ook een analyse gemaakt te worden van de werking van het stelsel, de knelpunten in het huidige stelsel en aanzet van oplossingen hiervoor.

De conclusie die getrokken kan worden na het opstellen en runnen van het model is dat uit het model volgt dat het rioolstelsel in Kontich in de huidige situatie niet voldoet aan de eisen die gesteld zijn. Uit de huidige eisen volgt namelijk dat er bij een bui die eens in de twintig jaar voorkomt geen overlast mag zijn. Echter, uit de uitkomsten blijkt dat bij de verschillende gemodelleerde buien het stelsel onder druk komt te staan en op verschillende plaatsen is er overlast van water op straat. Deze overlast komt vooral voor in de industriezones van het studiegebied, aangezien hier veel grote verharde oppervlaktes aangesloten zijn op het stelsel. Dit leidt dan vervolgens ook benedenstrooms van dat gebied tot problemen, omdat het systeem al verzadigd is met het water uit de industriezones. Ook op plekken waar veel buizen bij elkaar komen, aan het eind van een wijk bijvoorbeeld, ontstaan problemen.

De oplossingen voor deze problemen zullen voornamelijk liggen in het bovenstrooms bufferen van het water, doordat de problemen ontstaan doordat bovenstrooms te veel water in het riool geleid wordt. Daarnaast zal het stelsel een stuk verlicht worden als de grote bedrijven in de industriezones zorgen voor een gescheiden afvoer. Dit houdt in dat het regenwater niet naar het riool afgevoerd wordt, maar naar een aanliggende sloot of een eventuele vijver op eigen terrein. Als minst preferabele oplossing kunnen er extra overstorten aangelegd worden op plaatsen waar deze geen tot weinig overlast zullen geven, dit zal dat in landelijk gebied zijn.

Aanbevelingen

De knelpunten die in dit rapport staan zijn gedeeltelijk geverifieerd aan gegevens uit de praktijk (antwoord van bedrijven) alleen niet alle knelpunten zijn gecheckt of het ook daadwerkelijk overlast geeft. Dit is een aanbeveling om te onderzoeken. Als de overlast minder blijkt te zijn dan dat er gemodelleerd is dient het model aangepast te worden.

De oplossingen die in dit rapport gegeven zijn, zijn niet getoetst in het model. De aanbeveling voor het vervolg op dit onderzoek is dus het uitzoeken van welke oplossingen nodig zijn om de problematiek op te lossen. Dit onderzoek is dan wel onderdeel van een groter geheel met als doel het realiseren van een gescheiden rioolstelsel. Echter, het loont om te kijken wat er gedaan moet worden om de huidige problematiek op te lossen. Dit geeft een duidelijker beeld van het stelsel in de huidige toestand.

11. Bronnenlijst

- Babcock, S. (2010). *Snelle selectie van vijzelpompen*. Opgeroepen op 7 12, 2013, van Babcock: http://www.spaansbabcock.com/nl/producten_en_toepassingen/vijzelpompen/snelle_selectie.aspx
- Berlamont, J. (1997). *Rioleringen*. Leuven: Acco.
- De Groen, B. (2013). *Rioolsystemen*. Rotterdam: Tauw.
- Fox, R. W., McDonald, A. T., & Prichard, P. J. (2004). *Introduction in fluid mechanics*. John Wiley and sons.
- (2013). *Hydronautprocedure versie 6.5*. Antwerpen: Aquafin.
- Nipius, F. (2013). *Waterspanning*. Opgeroepen op 7 12, 2013, van Infrawiki.
- Profiel Kontich*. (sd). Opgeroepen op juni 16, 2013, van Kontich: www.kontich.be
- RioNED, S. (2011). *Riool in cijfers 2009 - 2010*. Ede.
- Rioolstelsel*. (sd). Opgeroepen op 4 29, 2013, van Aquafin.be: <http://www.aquafin.be/nl/indexb.php?n=9&e=43&s=47>
- Verslag van de milieuraad van 15 maart 2012*. (2012, maart 15). Opgeroepen op mei 1, 2013, van Milieuraad: <http://www.milieuraad.be/uploads/6448vslg%202012-03-15.pdf>
- VMM. (2010). *Zuiveringsinfrastructuur*. Opgeroepen op 6 28, 2013, van Vlaamse Milieu Maatschappij: <http://www.vmm.be/water/zuiveringsinfrastructuur>
- Wikipedia. (sd). *Thiessen Polygon*. Opgeroepen op 6 28, 2013, van wikipedia.

12. Bijlagen

Bijlage A: Gebruikte kaarten in ArcMAP

Bijlage B: Uitvoer Infonet met aantal knopen in studiegebied en soort afvoer

Bijlage C: Bevraging bedrijven

Bijlage D: Soorten leidingen

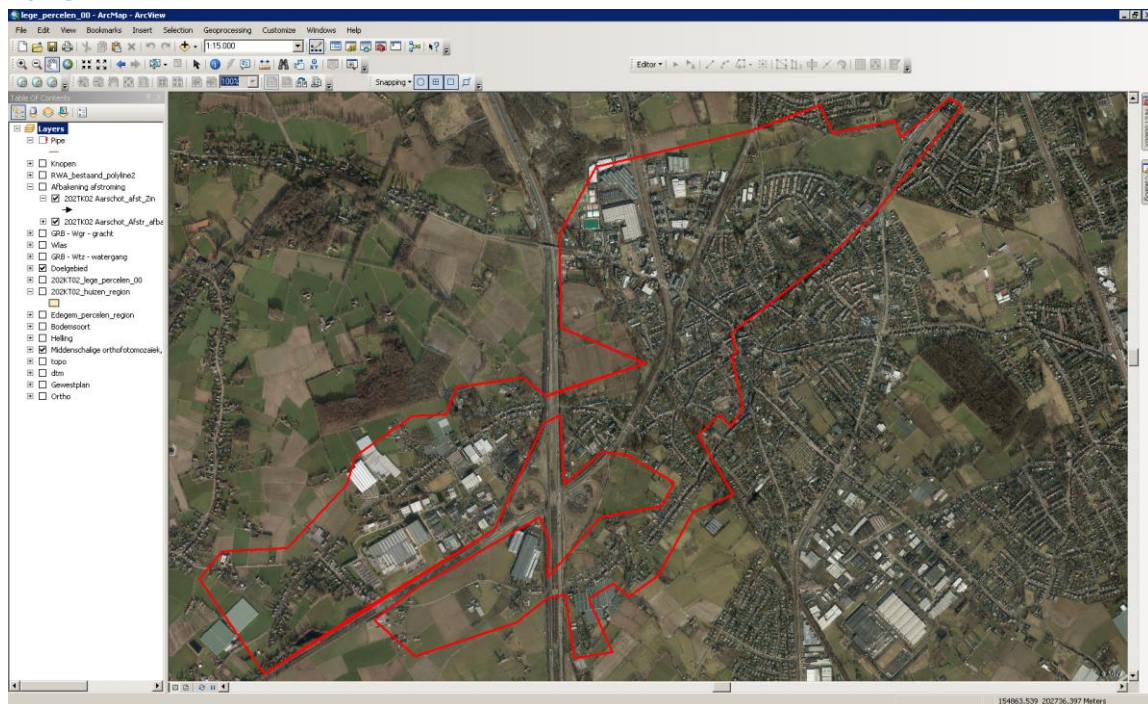
Bijlage E: Hydrodynamica

Bijlage F: Berekening werkingpunt centrifugaalpomp

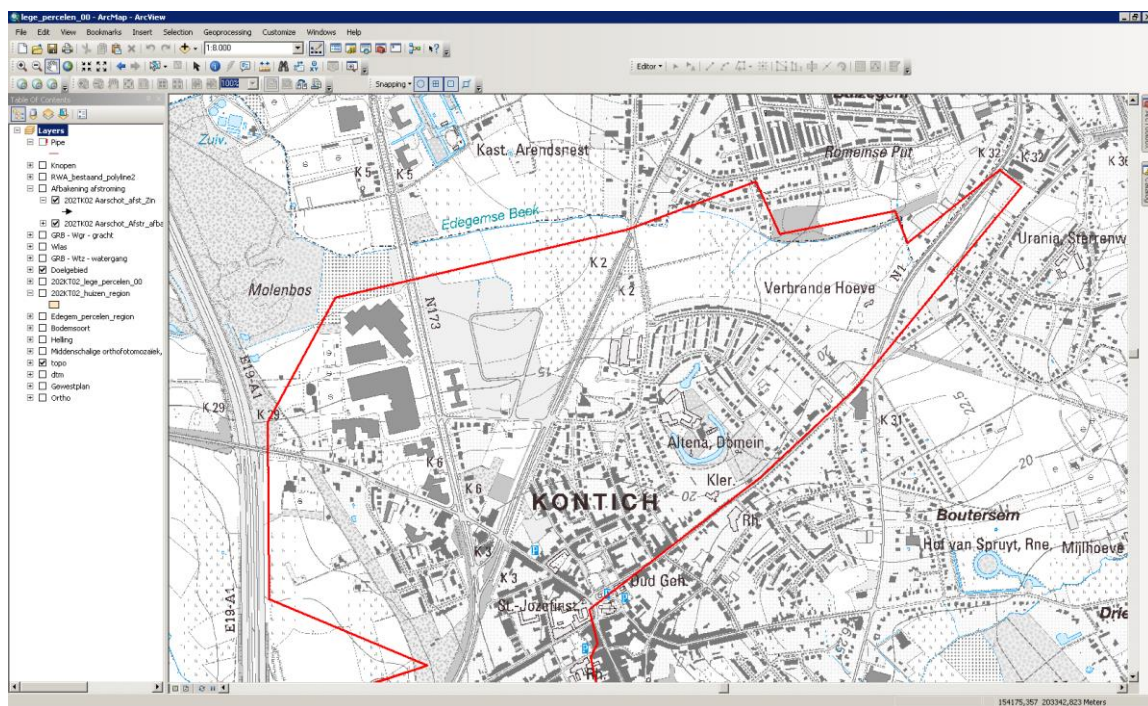
Bijlage G: Debietbegrenzers

Bijlage H: Modelruns

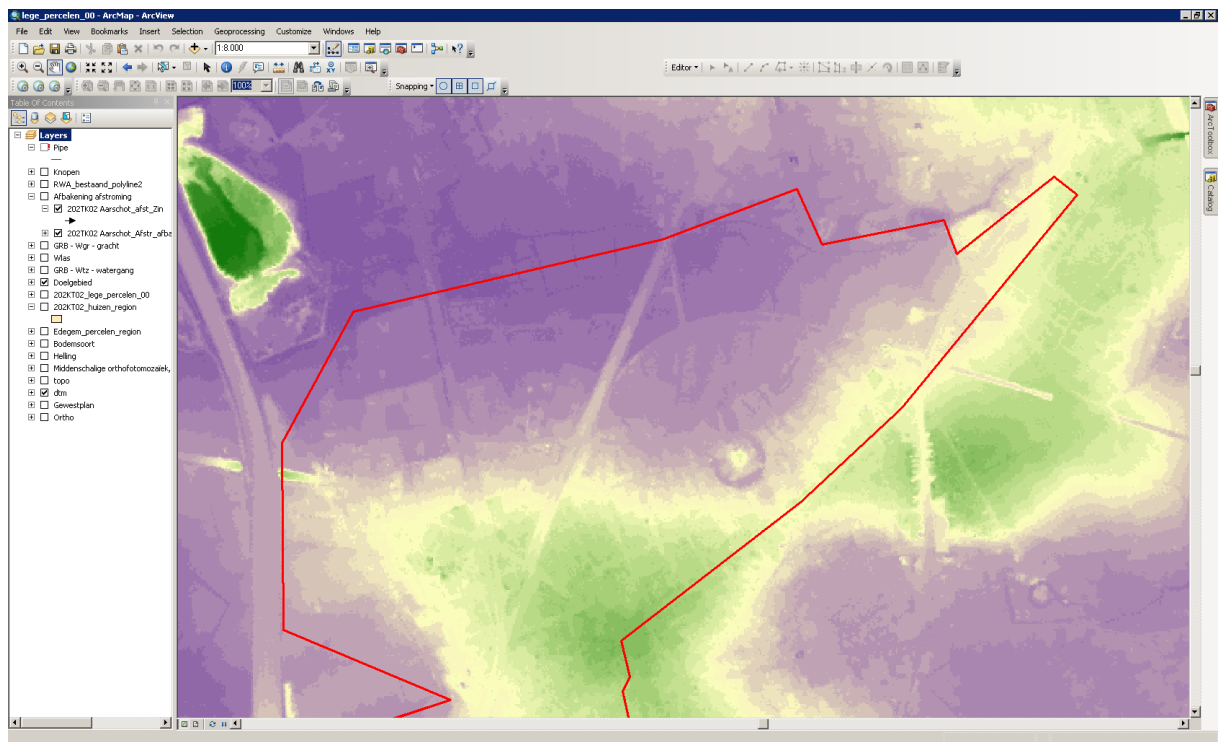
Bijlage A: Kaarten ArcMAP



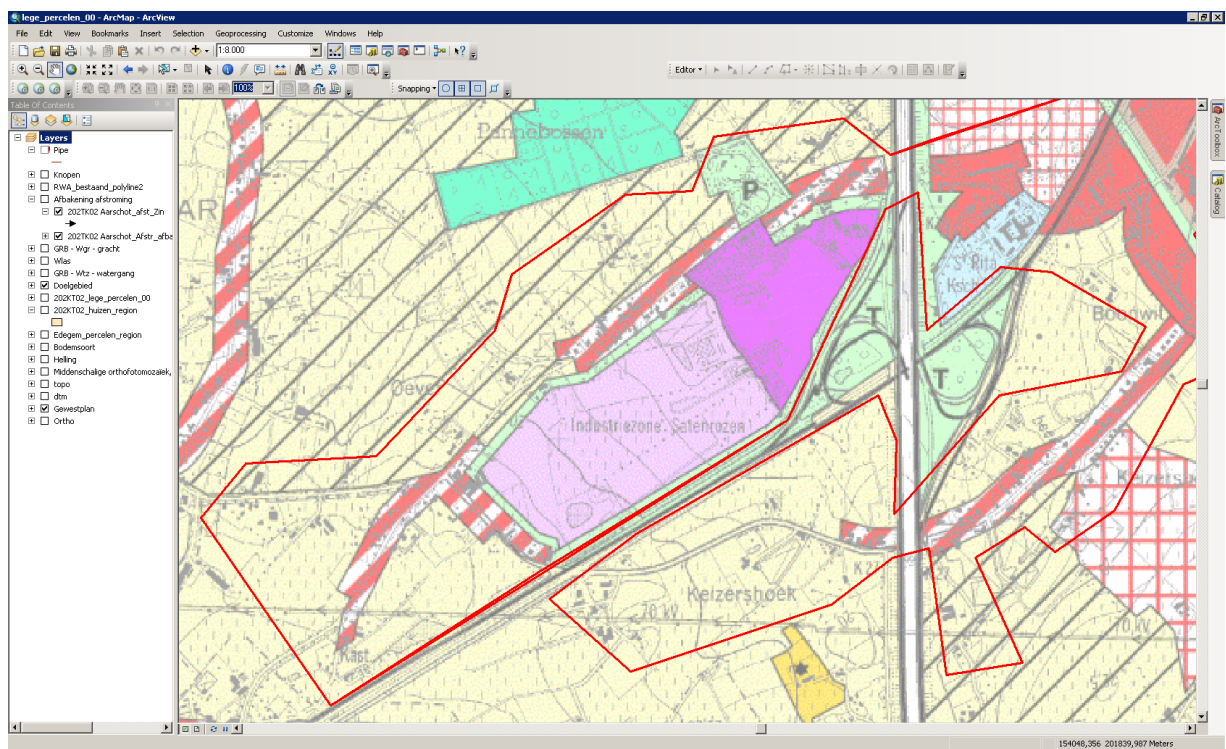
Figuur 34 Overzicht doelgebied met luchtfoto



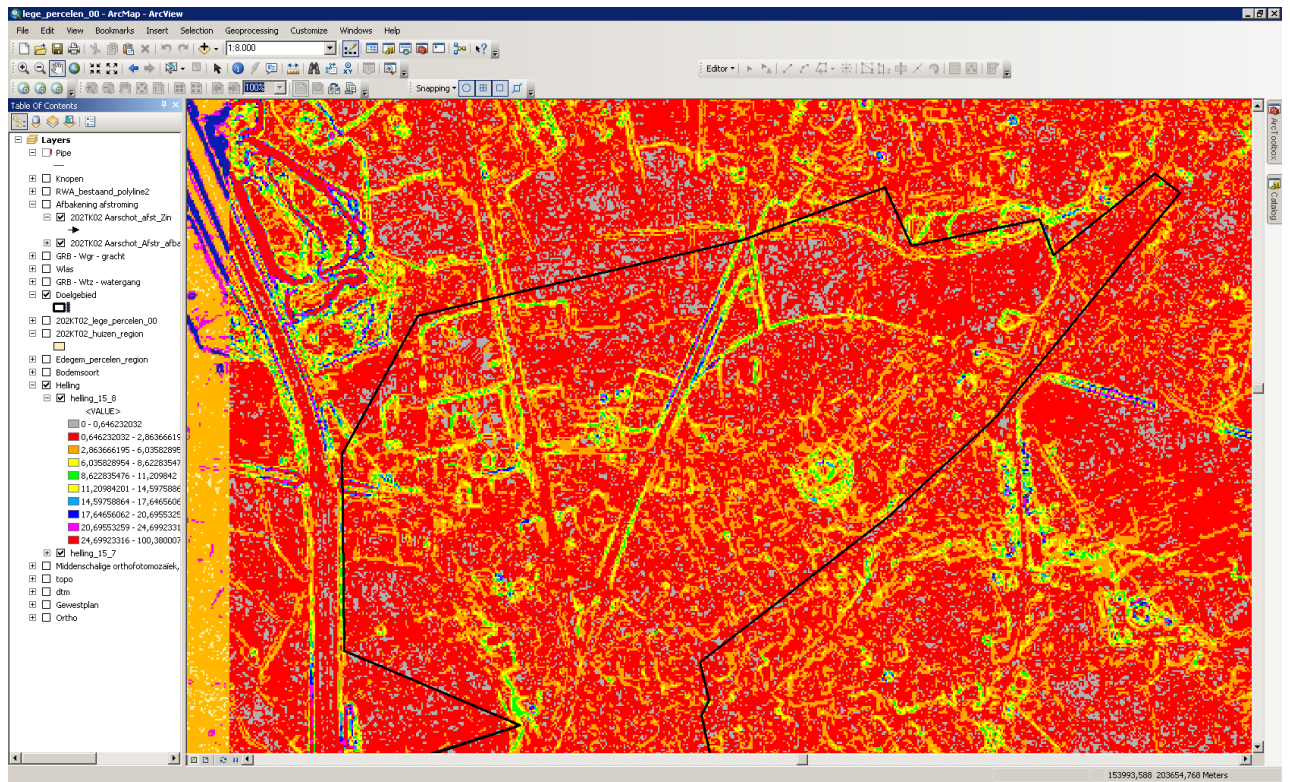
Figuur 35 Overzicht met hoogtelijnen en waterlopen



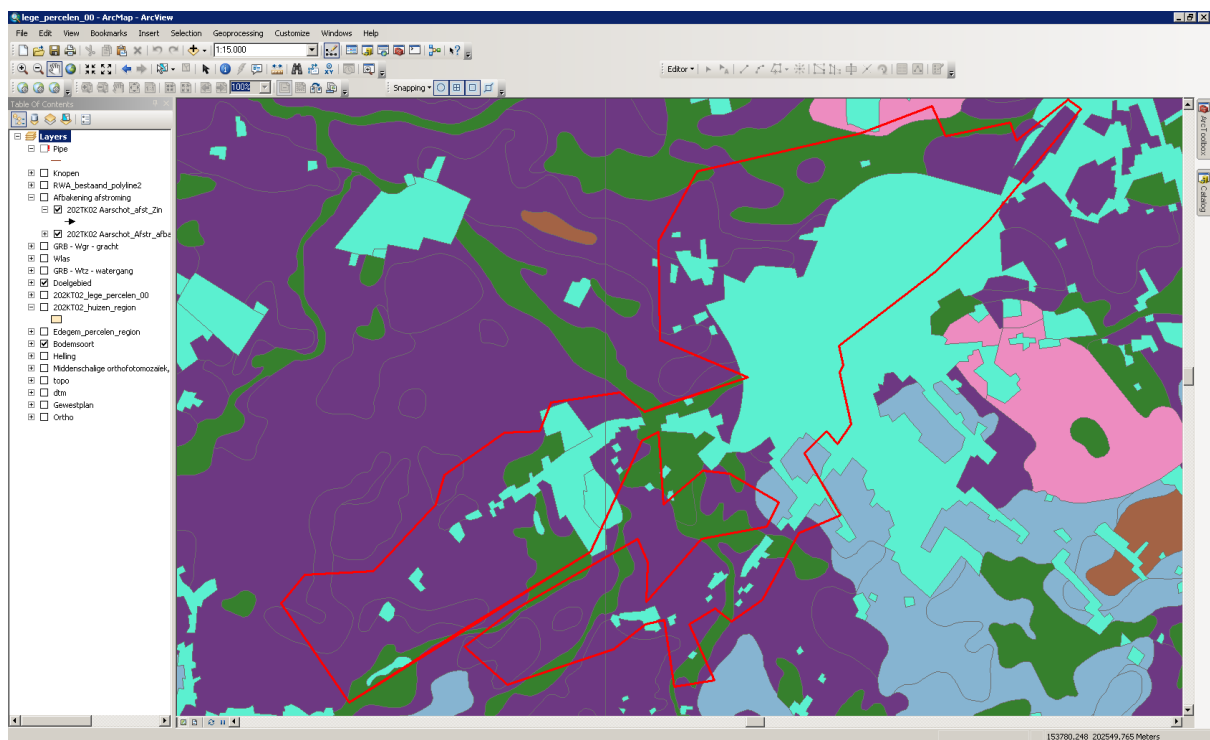
Figuur 36 Digitale hoogtekaart (DHM, Agiv)



Figuur 37 Gewestplan met rood wit de gebieden wat bebouwd mag worden

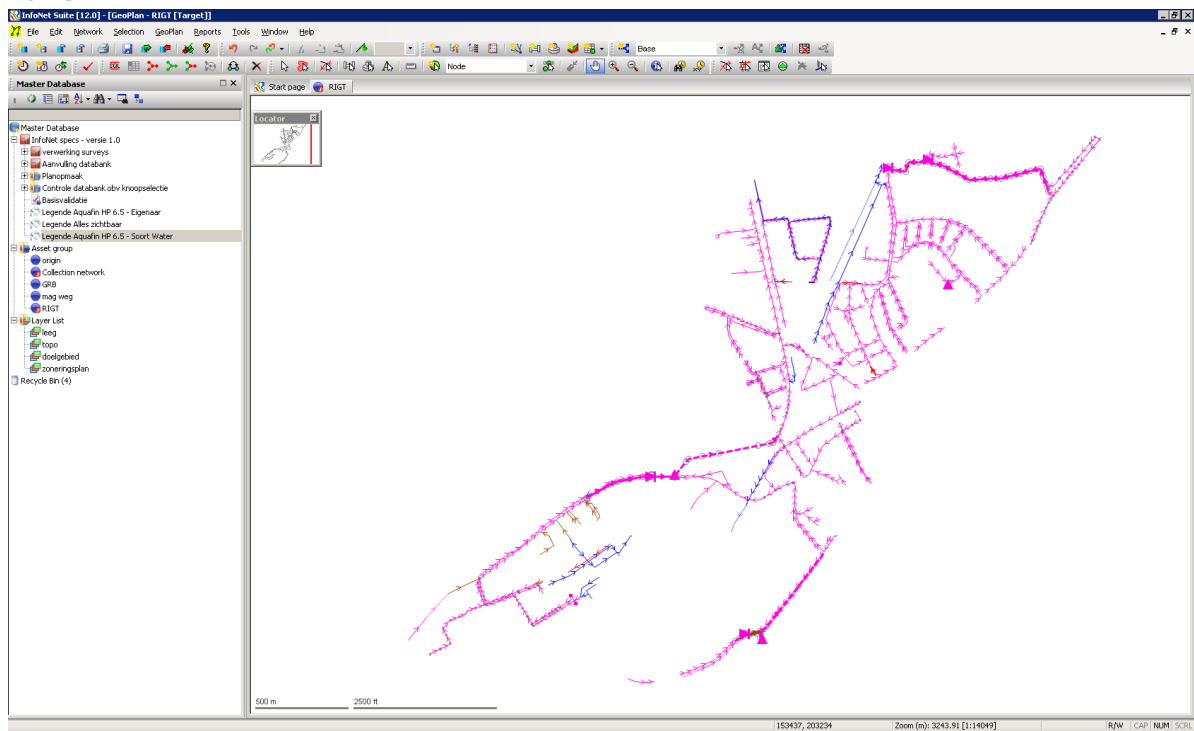


Figuur 38 Hellingkaart

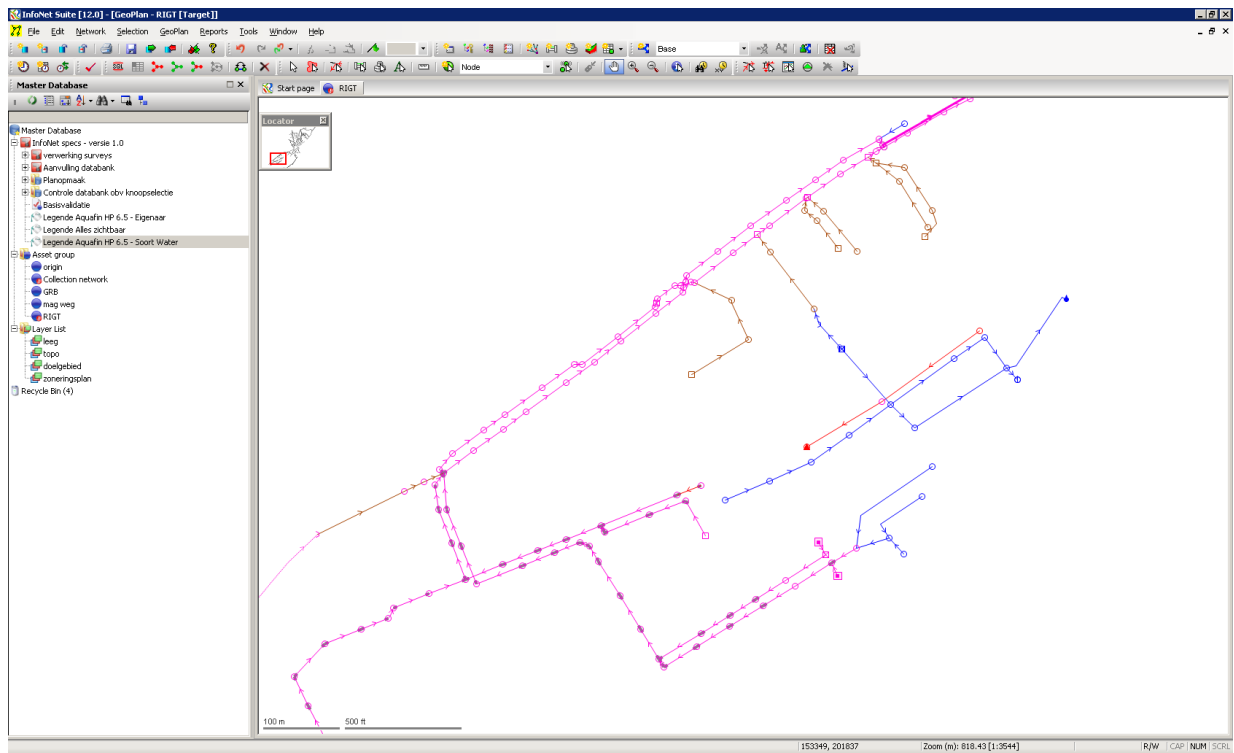


Figuur 39 Grondsoortenkaart studie studiegebied

Bijlage B: Kaarten Infonet



Figuur 40 Overzicht knopen in studiegebied



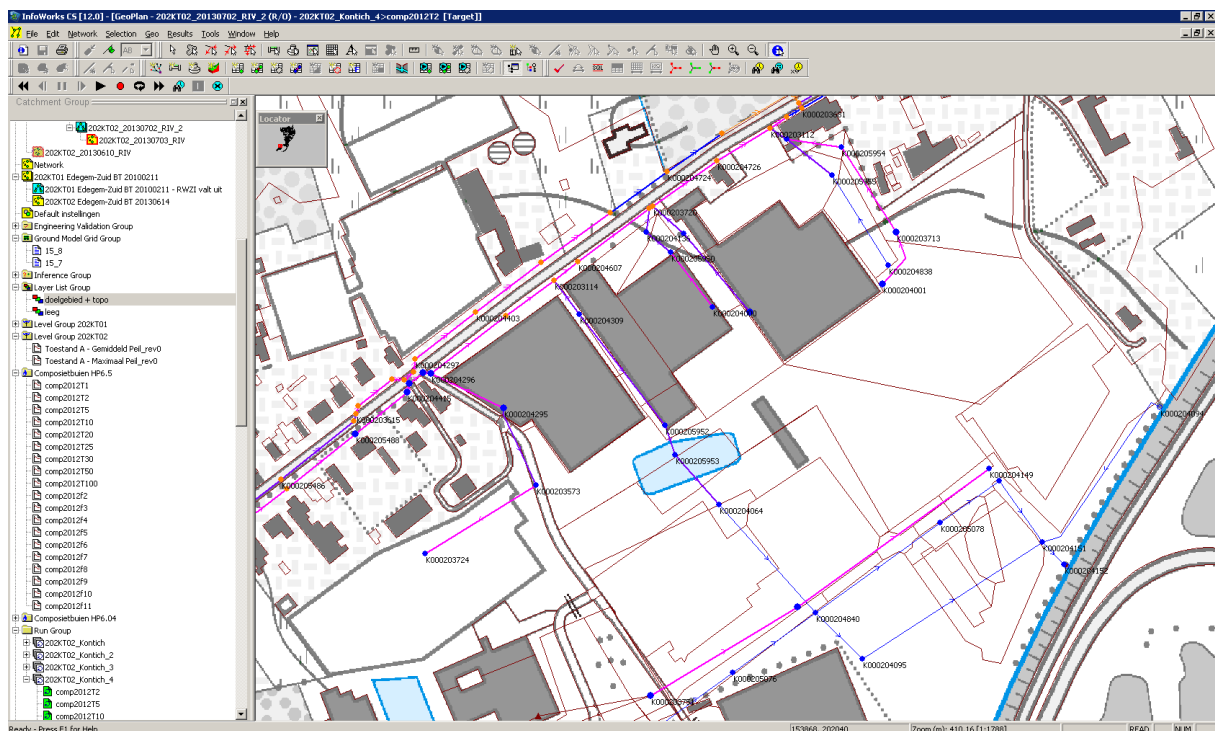
Figuur 41 Detailkaart van knopen met paars = gemengd, blauw = regenwater, rood = onbekend

Bijlage C: Bevraging bedrijven

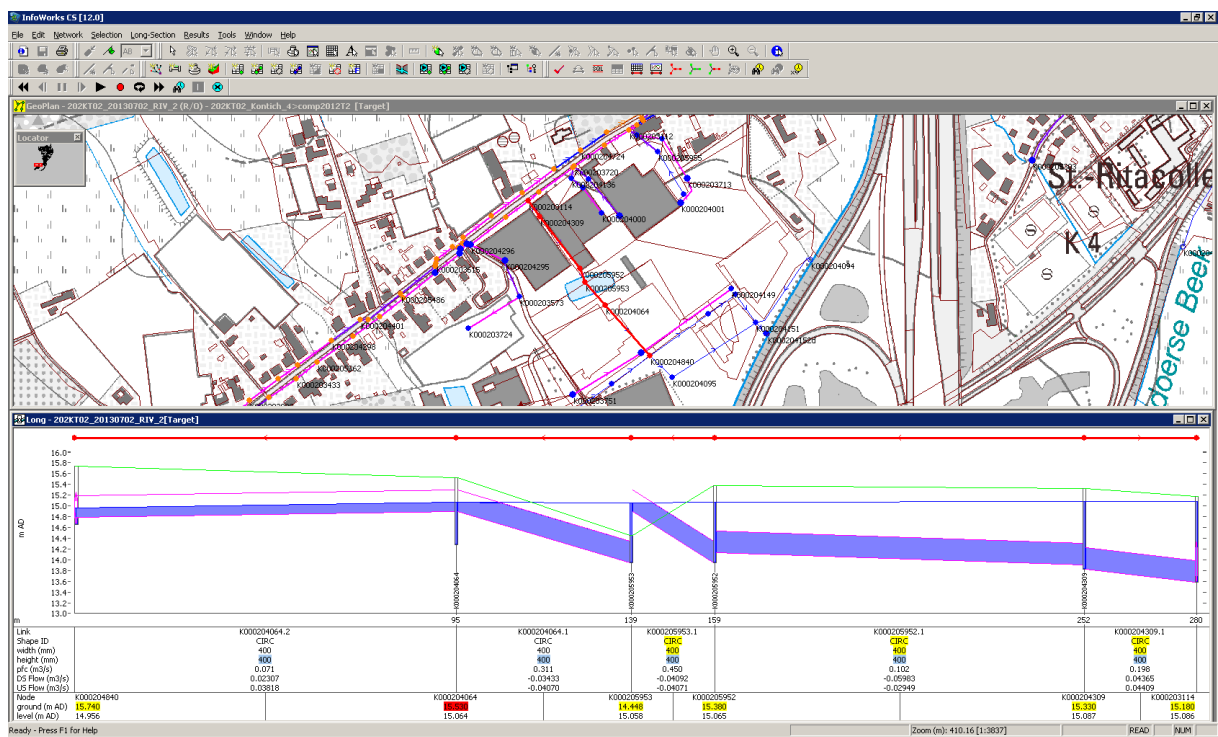
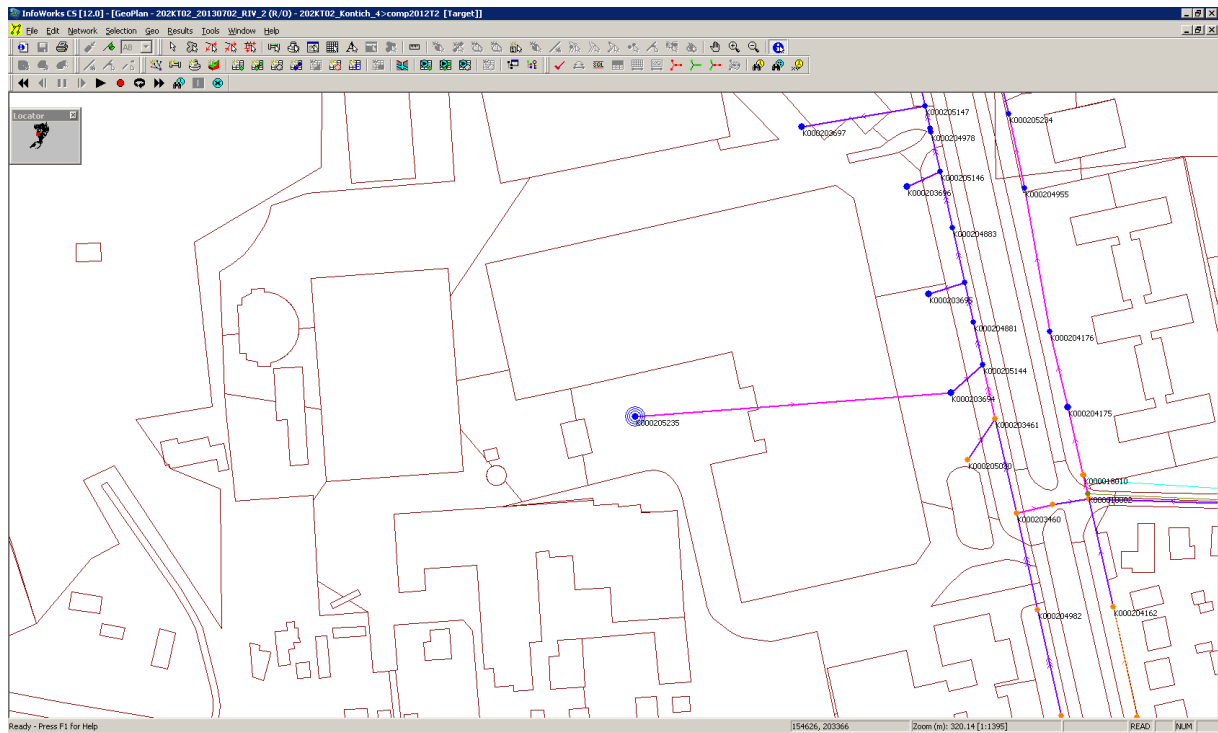
In Kontich liggen twee bedrijventerreinen en verspreid over het studiegebied een aantal kassen en scholen. Vaak zijn deze bedrijven gevestigd in panden die een stuk groter zijn dan een gemiddeld woonhuis. Ook hebben bedrijven vaak een groot verhard terrein voor opslag- of parkeerruimte. Grote bedrijven hebben dus een significant aandeel in de afvoer van het water bij een regenbui. Daarom is het van belang om in beeld te krijgen wat de afvoer van de bedrijven is, of er wellicht gescheiden afgevoerd wordt, of er een buffer op het terrein geplaatst is etc.

Om hier inzicht in te krijgen is er een mail gestuurd naar alle bedrijven/scholen/kassenhouders die minstens vier keer de oppervlakte hebben van een gemiddeld woonhuis. In totaal zijn dit er rond de 70 bedrijven geweest die aangemaild zijn met de onderstaande mail.

Niet van alle bedrijven is hierop reactie ontvangen, echter dit was ook niet de verwachting. Van ongeveer de helft is een reactie ontvangen en van de overige helft is de aanname gedaan, dat het op dezelfde manier aangesloten zit op het riool als het dichtstbijzijnde bedrijf dat wel gereageerd heeft. Alleen bij de grotere panden, of als uit data blijkt dat er iets aan de hand is, dan is er extra navraag gedaan. Dit laatste kan bijvoorbeeld een aanwezige vijver zijn die als buffer zou kunnen fungeren (figuur 42); of als blijkt dat er veel wateroverlast blijkt te zijn na het runnen van het model (figuur 43); of als blijkt dat er een vreemde constructie in de databank blijkt te zitten en dat zou kunnen dat hier plannen van kunnen bestaan (figuur 44).



Figuur 42 Aanwezige vijver



Geachte,

In opdracht van Aquafin zijn wij, het studiebureau AnteaGroup, bezig met een studie ter optimalisatie van een deel van het rioleringsnet van Kontich.

Graag hadden wij van U volgende info bekomen:

- *Wordt het water gescheiden (regenwater – afvalwater) afgevoerd? Waar sluiten ze aan op de riolering?*
- *Hoe gebeurt de afwatering van de wegenis/parking?*
- *Wordt er water gebufferd?*
 - *Wat is de inhoud van de buffer (en/of regenwaterput)?*
 - *Wat is de oppervlakte van de buffer?*
 - *Hoe groot is de diameter van de knijpleiding onder de buffer?*
 - *Op welke diepte ligt de onderkant van de leiding (de binnenzijde)?*
 - *Op welk peil ligt de overloop van de buffer? Langs waar wordt die afgevoerd?*
 - *Wordt de buffer ook nog door anderen gebruikt? B.v. als bluswater? En wat is het volume dat daar voor is voorzien?*
- *Hoeveel werknemers (arbeider en bedienden) zijn er in het bedrijf?*

Als het mogelijk is, zouden we bij voorkeur graag een afwateringsplan ontvangen waarop duidelijk is hoe het (afval)water wordt afgevoerd.

In bijlage vindt U alvast zowel een luchtfoto als een uittreksel uit de rioleringsdatabank ten behoeve van de te maken aanduidingen.

Graag hadden wij deze info, zo spoedig als mogelijk, bekomen,

Me contacteren kan steeds via onderstaande coördinaten,

Dank bij voorbaat,

met vriendelijke groet,

Bart De Clerck | Adviseur

Antea Group

+32 (0)9 261 63 58 | +32 (0)475 95 05 57

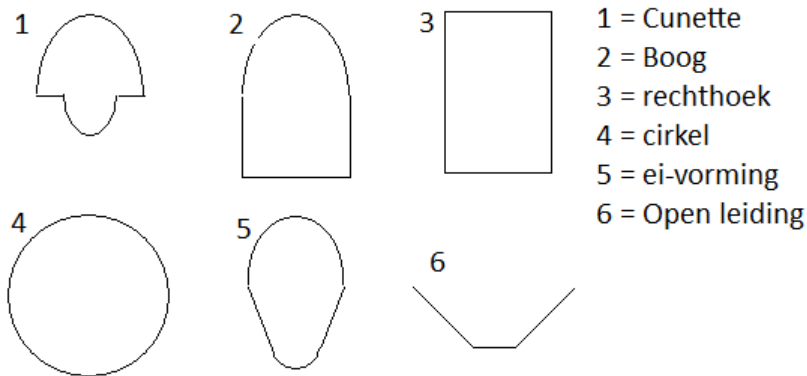
Bart.DeClerck@anteagroup.com

www.anteagroup.be



Bijlage D: Soorten leidingen

In een rioleringsstelsel zijn verschillende soorten buizen aanwezig. Tegenwoordig wordt vooral gebruik gemaakt van ronde leidingen die van beton of kunststof zijn. Echter in het doelgebied van Kontich liggen ook vierkante leidingen, ovale en cunette vormige leidingen.



Figuur 45 soorten leidingen – Bron Infoworks

Daarnaast is de materiaalsoort waarvan de buis gemaakt is belangrijk voor de doorstroming van het water. Hoe gladder de buis, des te beter het water doorstroomt. Aan elk materiaal soort wordt dus een ruwheidscoëfficiënt toegevoegd. Deze wordt berekend in Infoworks door de hydronamische stromingsvergelijkingen (de-Saint-Venant) toe te passen. Door de black box die Infoworks is, kan niet gezegd worden met welke waarden er precies gerekend is.

Bijlage E: Hydrodynamica

De hydrodynamische stroming in rioleringen, die wordt gebruikt door het programma Infoworks en anders modelleringsstudies, wordt beschreven door de 1-dimensionale vergelijkingen van de Saint-Venant (Fox, McDonald, & Prichard, 2004), waarbij de continuïteitsvergelijking en bewegingsvergelijking er als volgt uitzien:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0$$

$$\sqrt{1-S_0^2} \frac{\partial h}{\partial s} + \alpha \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial s} + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} = S_0 - S_f$$

waarbij

A: natte oppervlakte van sectie 's' (m²) → volgt dus uit de soort van de buis

Q: debiet in sectie 's' (m³/s)

S₀: bodemhelling van het riool (-)

h: waterhoogte in sectie 's' (m)

α: coëfficiënt die rekening houdt met het niet eenparig verdeeld zijn van de snelheid over de sectie (-)

U: gemiddelde snelheid in sectie 's' (m/s)

g: valversnelling (m/s²)

S_f: hydraulisch verhang (-)

Het hydraulisch verhang S_f wordt op zijn beurt uitgedrukt als:

$$S_f = f \frac{U^2}{8gR}$$

waarbij

f: wrijvingscoëfficiënt van Darcy-Weissbach (-)

R: hydraulische straal (m)

f wordt door een iteratief proces bepaald uit de formule van White-Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.03 \log_{10} \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{k_s}{14.8 R} \right]$$

waarbij

Re: Reynoldsgetal (-)

K_s: zandkorrelruwheid (mm) → de standaard waarde die hiervoor gebruikt wordt in hydronautstudies is 1,5 mm.

Re tenslotte wordt gedefinieerd als:

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$$

waarbij

D: diameter van de leiding in sectie 's' (m)

ν: viscositeit (=10⁻⁶ m²/s)

Als alternatief voor de formule van White-Colebrook werd vroeger vaak de formule van Manning gebruikt:

$$U = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_0^{1/2}$$

waarbij

n: Manning-ruwheidscoëfficiënt (m/s^{1/3})

en men uitgaat van eenparige stroming ($S_0 = S_f$)

Voor de modellering van sloten dient de ruwheid van de slootsegmenten te worden bepaald aan de hand van de begroeiing, die kan variëren met de seizoenen. Enkele richtwaarden zijn:

- vlakke aarden wand: 20 mm
- grasbegroeiing: 100 - 300 mm
- sterke begroeiing: 300 - 600 mm

Indien in uitzonderlijke gevallen toch met de formule van Manning zou worden gerekend, dan geldt $n = 0.013$ als equivalente waarde voor $k_s = 1,5$ mm. Manning is echter niet gebruikt in de studie bij de Antea Group, maar voor de volledigheid staat het hier genoemd.

Bijlage F: Berekening werkpunt centrifugaalpomp

De berekening van de grafiek voor de leiding bestaat uit twee delen:

- Enerzijds de algemene wandruwheidsverliezen
- Anderzijds de bijzondere lokale verliezen ter hoogte van bochten, afsluiters e.d.

De algemene wandruwheidsverliezen zijn van de vorm:

$$\Delta H_{\text{alg}} = K \cdot Q_{\text{PL}}^2 \cdot L_{\text{PL}}$$

Waarbij: Q_{PL} het debiet door de persleiding
 L_{PL} de lengte van de persleiding

De waarde van K wordt berekend door de formules van Darcy-Weisbach en White-Colebrook. Zoals beschreven in bijlage E. Aangezien persleidingen vaak cirkelvormig zijn en (aannemend dat er geen verschil in diameters zijn) het hydraulisch verhang gelijk is aan $\Delta H / L_{\text{PL}}$, kunnen de algemene formules herleden worden tot:

$$K = \frac{8 \cdot f}{g \cdot \pi^2 D^5}$$

En

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.03 \log_{10} \left[\frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} + \frac{k_s}{3.7D} \right]$$

Belangrijk hierbij is dat voor D de interne diameter van de persleiding genomen moet worden. De waarde van de equivalente zandkorrelruwheid k_s van de persleiding is afhankelijk van het materiaal en of de persleiding in gebruik is. Dit laatste volgt, aangezien een ingebruik zijnde leiding ruwer wordt door slijtage (zie onderstaande tabel). In de praktijk wordt gerekend met de ruwheid voor in gebruik zijnde leidingen (zowel voor bestaande als nog te ontwerpen persleidingen)

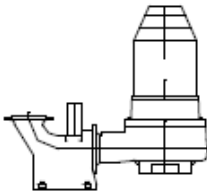
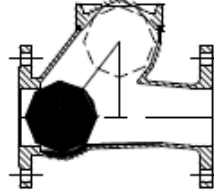
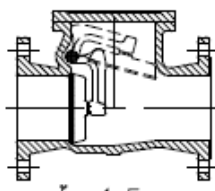
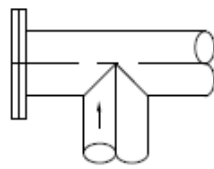
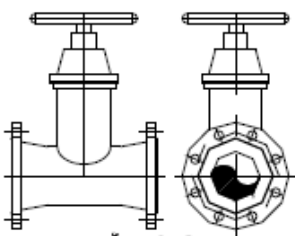
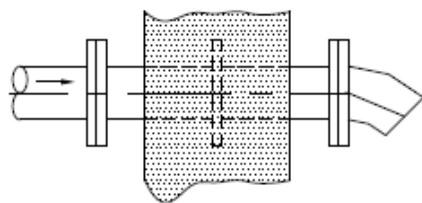
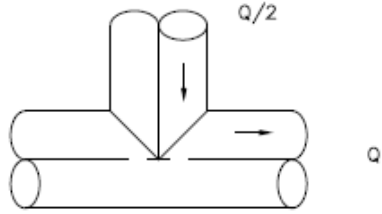
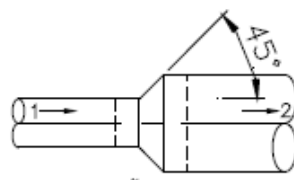
	k_s nieuw [mm]	k_s in gebruik [mm]
HDPE (polyetheen)	0,1	0,5
GVP (Glasvezel versterkt polyester)	0,1	1
Asbest	0,1	1
Gietijzer/Staal	0,25	1

De lokale verliezen ter hoogte van bochten etc. moeten elk afzonderlijk berekend worden:

$$\Delta H_{\text{lok}} = \xi \cdot K' \cdot Q_{\text{PL}}^2 \quad \text{of} \quad \Delta H_{\text{lok}} = \xi \cdot v_{\text{PL}}^2 / 2g$$

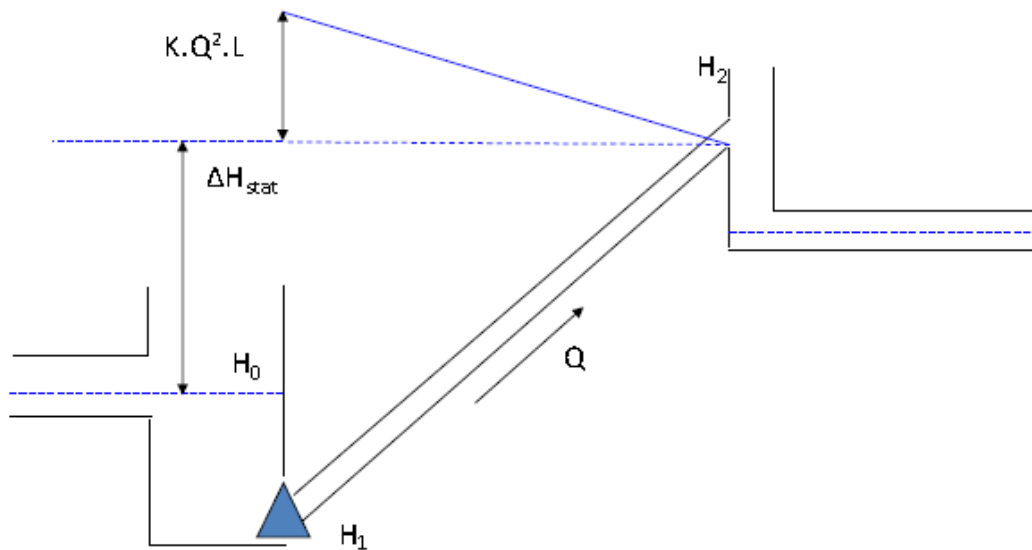
met v_{PL} de stroomsnelheid in de persleiding, overeenkomend met Q_{PL} (en berekend op basis van de interne diameter).

ξ is de constante die per materiaal en soort bocht verschilt. Deze is vaak terug te vinden in de literatuur of in specificaties van leveranciers. Figuur 47 geeft een aantal waarden voor de meest voorkomende lokale verliezen (Hydronautprocedure versie 6.5, 2013).

Bocht 45°  $\xi = 0.1$	Bocht 90°  $\xi = 0.2(\text{buigstraal } 1.5D)$
Voetbocht pomp  $\xi = 1.0(\text{buigstraal} = D)$	Balkeerklep  $\xi = 1.0$
Scharnierende klep  $\xi = 1.5$	Kniestuk  $\xi = 2.5$
Schuifafsluiter  $\xi = 0.2$	Uitstroomverliezen  $\xi = 1.0$
T-stuk langsroom  $\xi = 1.0$	Verwijdering van diameter  $\xi = 1.0$

Figuur 46 Voorbeelden lokale verliezen

De werkingpunt van een pomp+persleiding kan worden bepaald door de totale energiehogte in een punt net stroomafwaarts van de pomp te bepalen (H_1 in Figuur 48). Bij het opstellen van de formules, worden voor het gemak de lokale verliezen vereenvoudigd. Deze kunnen later worden gecorrigeerd.



Figuur 47 Bepaling werkingpunt

De statische opvoerhoogte ΔH_{st} is het verschil in stijghoogte tussen de pompkelder en de uitstroom van de persleiding ($= H_2 - H_0$). H_2 is bij een bepaald debiet Q door de persleiding dus gelijk aan $H_0 + \Delta H_{st,1}$. Vanuit de verliezen in de persleiding kan men H_1 berekenen als

$$H_1 = H_2 + K \cdot Q^2 \cdot L$$

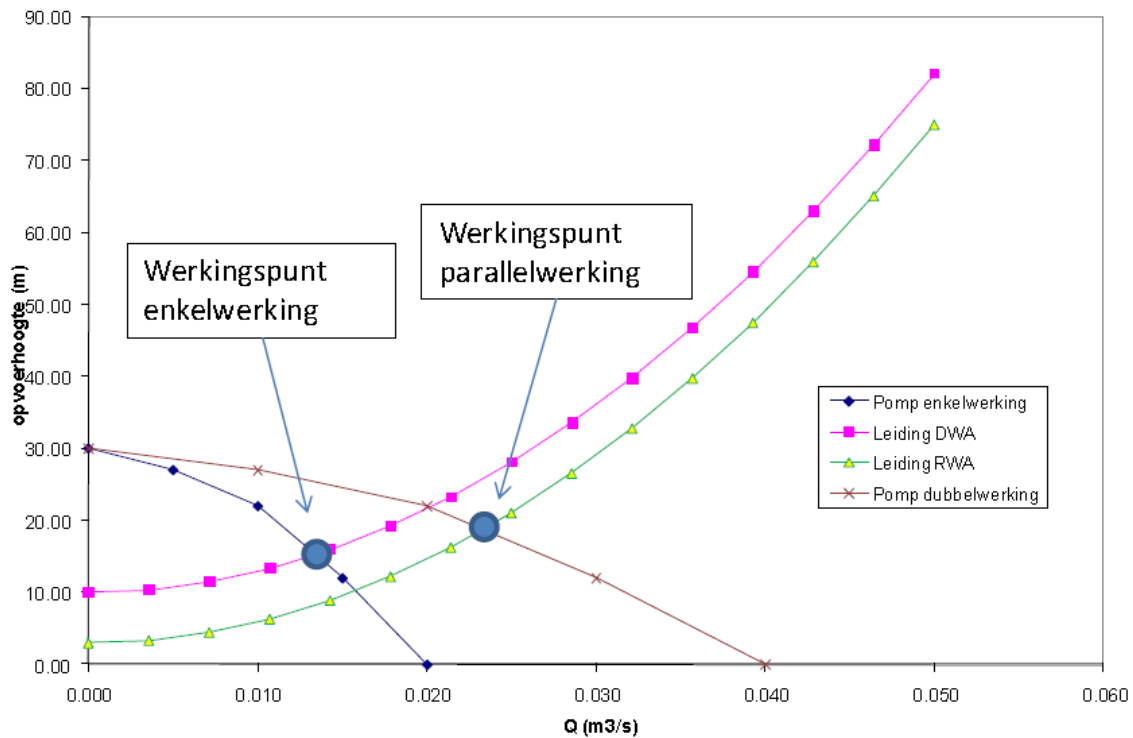
Substitutie van beide bovenstaande formules levert dan:

$$H_1 - H_0 = \Delta H_{st} + K \cdot Q^2 \cdot L$$

Anderzijds geldt ook dat $H_1 - H_0$ de toename van energiehogte is die door de pomp geleverd wordt bij een debiet Q (volgens de pompkarakteristiek). Er zijn dus twee verschillende verbanden tussen ΔH en Q . Het werkingpunt is dan wanneer beide verbanden dezelfde waarde opleveren. In $(\Delta H, Q)$ -grafiek uitgezet betekent dit dat het werkingpunt het snijpunt is tussen de pompkarakteristiek en de leidingkarakteristiek. Dit geldt dan voor een pomp met enkelwerking, oftewel met een pomp die alleen bij droogweerafvoer werkt.

Dit geeft dan de volgende grafiek (figuur 49):

WERKINGSPUNT POMPEN



Figuur 48 Werkingspunt centrifugaalpomp

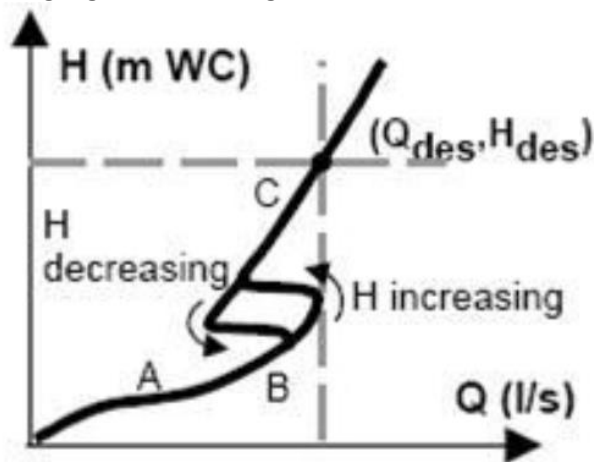
Om het werkingpunt bij parallelwerking (bij regenwaterafvoer) te bepalen, worden de debieten van elke pomp met gelijke ΔH bij elkaar opgeteld. Omdat er hydraulisch evenwicht is tussen de verschillende pompen is ΔH hetzelfde voor elke aparte pomp, en dus ook voor het geheel van de pompen. Men moet er dan wel rekening mee houden dat bij parallelwerking normaal gezien een kleinere statische opvoerhoogte zal zijn dan bij enkelwerking.

Bijlage G: Debietbegrenzers

Debietbegrenzers zijn structuren in een rioolstelsel die moeten zorgen dat niet te veel water in een keer afgevoerd wordt naar benedenstrooms. Structuren die hier onder vallen zijn: Wervelventielen, knijpopeningen en schuiven. Aangezien deze niet in het studiegebied van Kontich voorkomen en dus niet van belang zijn voor dit onderzoek worden deze hier besproken.

G.1 Wervelventielen

Wervelventielen zijn bijzondere types van debietbegrenzers, die erop gericht zijn om vanaf relatief kleine waterhoogten het debiet zo constant mogelijk te begrenzen. Bij wervelventielen gebeurt de debietbeperking door het genereren van cycloonvormige stromingspatronen in een soort van conus in het ventiel. Dit heeft een typische grafiek tot gevolg zoals weergegeven in Figuur 17, waarbij onmiddellijk de opvalt dat de grafiek twee stabiele toestanden heeft (hysteresiszone). Dit is de overgang in de stroming van voor en nadat de werveling optreedt.



Figuur 49 Grafiek wervelventiel (Hydronautprocedure versie 6.5, 2013)

Bij wervelventielen is het in de praktijk lastig aan te geven hoe ze precies werken. De bovenstaande grafiek is theorie. Wanneer het in de praktijk getest wordt dan blijkt deze toch niet helemaal te kloppen.

Op basis van laboratoriumtesten kan namelijk gesteld worden dat (Hydronautprocedure versie 6.5, 2013):

- De hysteresiszone geen stabiele toestand is en dat het ventiel in de praktijk vrij snel van de lagere naar de hogere curve zal overslaan. Op welke plaats dit precies gebeurt, is echter niet te voorspellen.
- Het debiet niet wezenlijk beïnvloed wordt door het al dan niet aanwezig zijn van een afwaarts waterpeil, zolang de stroming door het ventiel ten minste positief is (de H in de grafiek geldt dus evenzeer als ΔH).
- De wervelende werking verdwijnt bij omgekeerde stroming door het ventiel; in dat geval blijft alleen de knijpende werking van de in- en uitlaatconstructie behouden.
- Het alsnog niet helemaal duidelijk is wat precies de invloed is op de debietkarakteristiek van het al dan niet belucht zijn van het ventiel

G.2 knijpopeningen en schuiven

Knijpopeningen en schuiven zijn twee verschillende soorten structuren. Waar een knijpopening een vaste opening heeft kan de opening onder de schuif vergroot of verkleind worden. Echter, aangezien de schuif zelf niet interessant is (hydraulisch gezien), maar alleen de opening onder de schuif, kunnen deze twee structuren wel samen besproken worden.

De formules voor het berekenen van debieten door knijpopeningen zien er als volgt uit en lijkt op de formule van de overstort:

$$Q = C_d A \sqrt{2g H}$$

Waarbij:

C_d	Debietcoëfficiënt
A	Oppervlakte van de knijpopening
g	Gravitatieconstante
H	Waterhoogte t.o.v. (het zwaartepunt van) de knijpopening of het verschil in waterhoogte op- en afwaarts de knijpopening

Hierbij worden volgende aannamen gedaan:

- De opening is uitgevoerd in een dunne wand (in rioleringen gaat het meestal om openingen in betonnen of metselwerk constructies die soms een aanzienlijke dikte kunnen hebben)
- De opening bevindt zich in een oneindig groot reservoir (of tussen twee oneindig grote reservoirs), waarvan het waterpeil niet beïnvloed wordt door de stroming door de opening. Dit kan voor gewone inspectieputten en kleine constructies zeker niet zonder meer worden aangenomen.
- Er wordt uitgegaan van permanente stroming (is in rioolstelsels zeker niet altijd het geval)

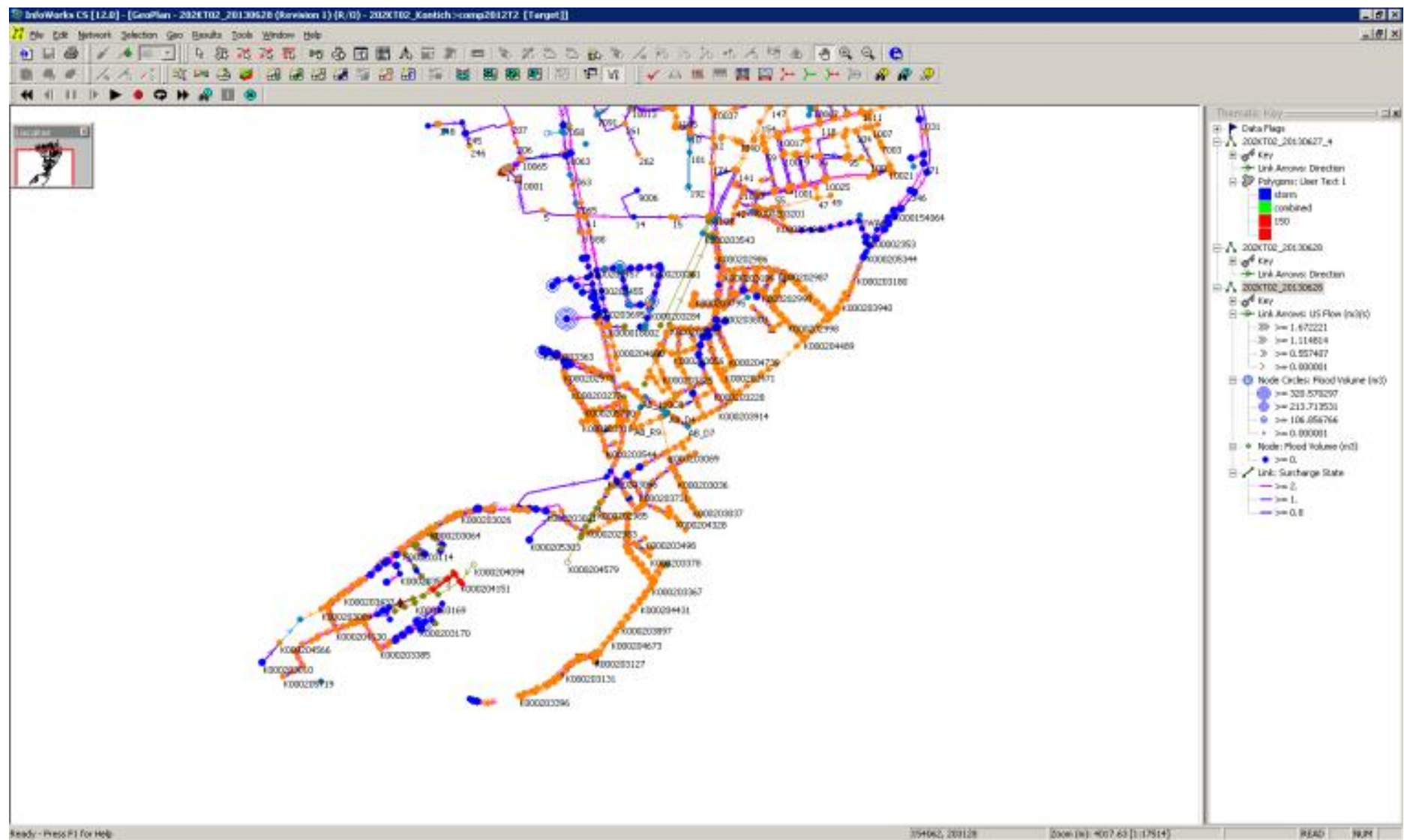
Doordat er nogal wat vraagtekens gezet kunnen worden bij of de aannamens van toepassing zijn op alle onderdelen van het stelsel zal er dus goed gekeken moeten worden wanneer de formule gebruikt kan worden. Deze formule zal dus in de praktijk vooral min of meer van toepassing zijn voor traag leeglopende bergingsvolumes. De afwijkingen worden uiteraard opgevangen door de waarde van de debietcoëfficiënt, maar ook hier geldt dat deze in de praktijk moeilijk te bepalen zal zijn. Theoretisch is dan bepaald dat voor C_d de waarde '0.6' gebruikt kan worden.

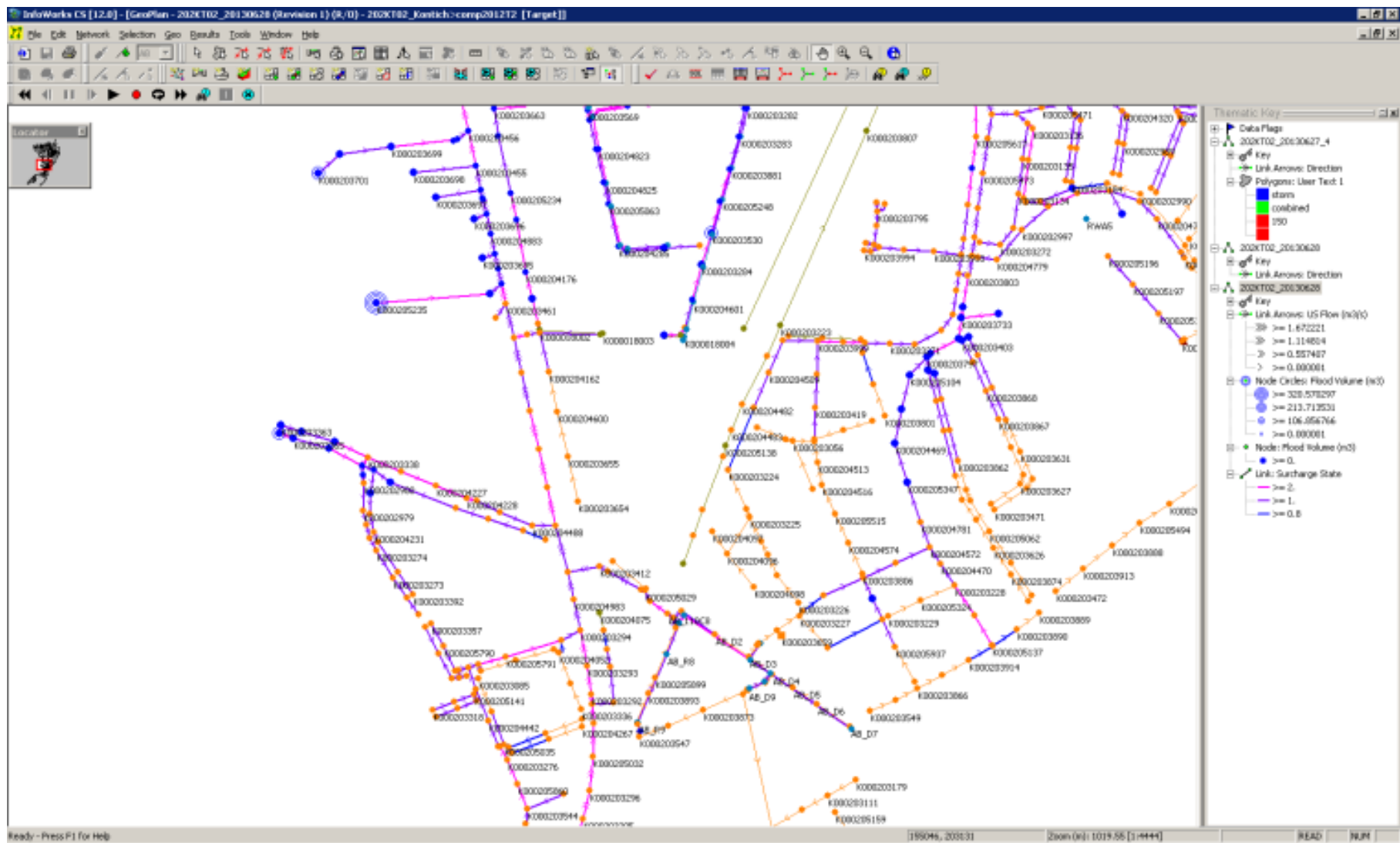
Bijlage H: Modelruns

In de onderstaande figuren zijn de uitkomsten van de runs met de verschillende buien weergegeven, beginnend bij een bui van eens in de 2 jaar en als laatste een bui van eens in de 20 jaar. Telkens is het doelgebied weergegeven met daarna een close-up van een gebied binnen het doelgebied waarin het duidelijk zichtbaar is hoe het stelsel meer onder druk komt te staan naar mate de buien heviger worden.

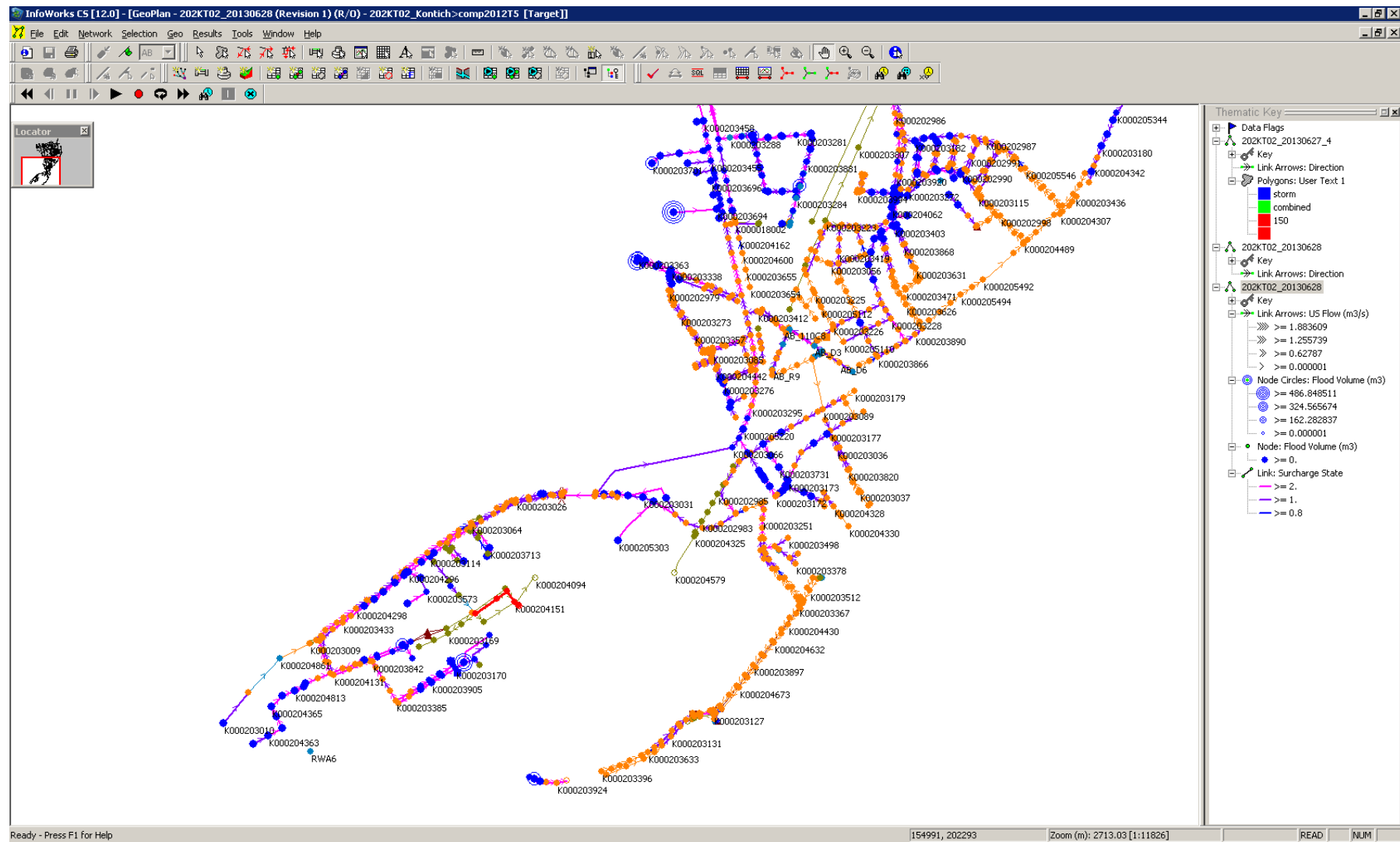
In de legenda links van de figuren neemt steeds het getal bij de meeste blauwe cirkels toe. Dit geeft aan dat er steeds meer water afgevoerd moet worden.

T = 2 jaar

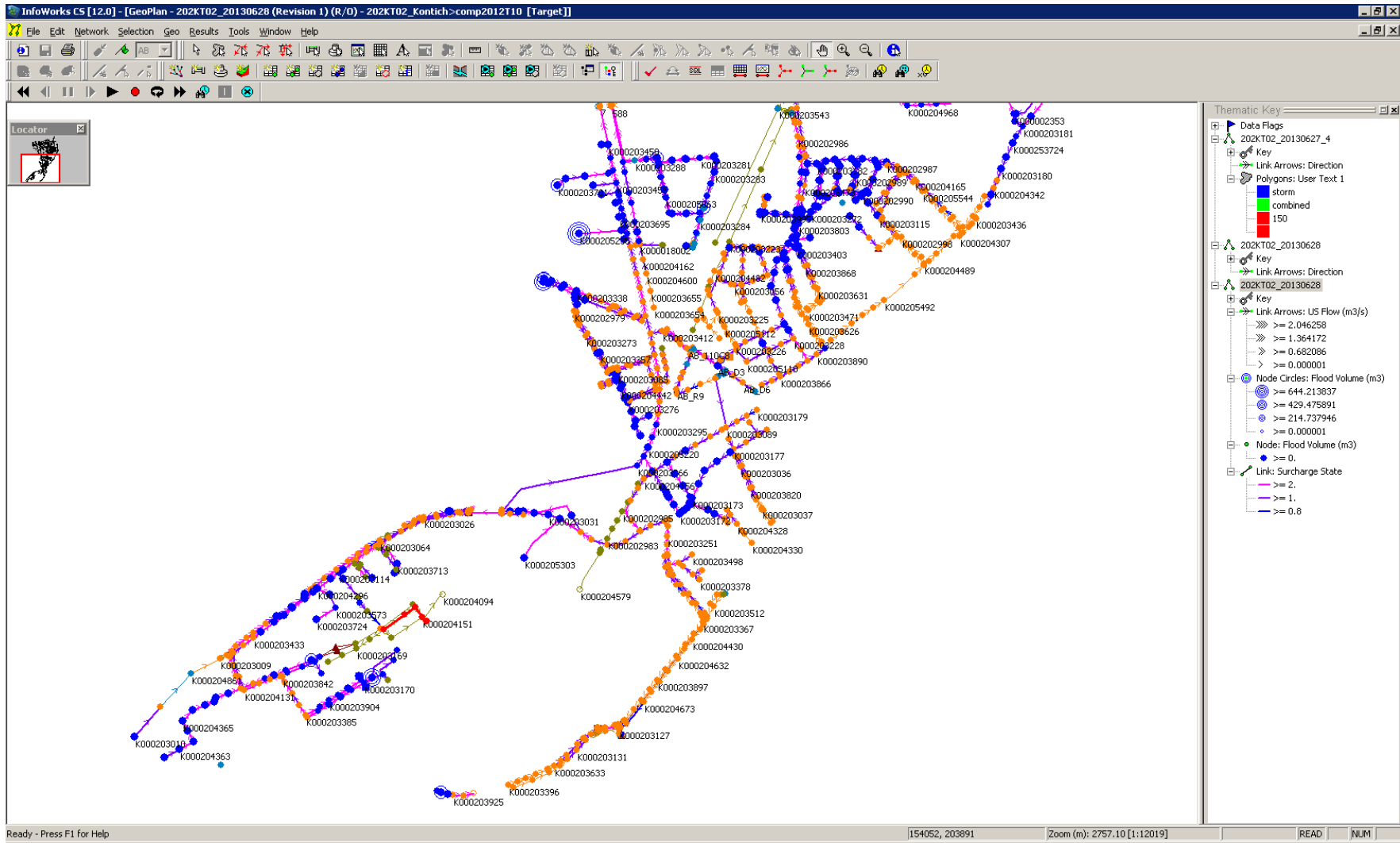




T = 5 jaar



$T = 10$ jaar



T = 20 jaar

