

2021 • 2022

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: chemie

## Masterthesis

Een pinch-analyse van het watergebruik op de site van Chevron  
Phillips Chemicals in Tessenderlo

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Jozefien DE KEYZER

Prof. dr. ir. Leen BRAEKEN

PROMOTOR :

Dhr. Ives MERTENS

Daan Neven

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

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



KU LEUVEN



KU LEUVEN

2021 • 2022

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: chemie

## Masterthesis

Een pinch-analyse van het watergebruik op de site van Chevron  
Phillips Chemicals in Tessenderlo

**PROMOTOR :**

Prof. dr. ir. Jozefien DE KEYZER

Prof. dr. ir. Leen BRAEKEN

**PROMOTOR :**

Dhr. Ives MERTENS

**Daan Neven**

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



**KU LEUVEN**



## Woord vooraf

---

Deze masterproef werd geschreven in het kader van de gezamenlijke opleiding industriële ingenieurswetenschappen aan de KU Leuven en UHasselt. Aangezien ik in mijn opleiding gekozen heb voor de specialisatie procestechnologie, besloot ik een onderwerp te nemen dat hierbij aansloot. Zo heb ik mijn kans gegrepen om het waterhergebruik op de site van Chevron Phillips Chemicals in Tessenderlo te optimaliseren. Binnen het bedrijf heb ik de mogelijkheid gekregen om samen te werken in een professionele omgeving. Bijkomend was het ook interessant om mijn kennis in verband met het onderwerp uit te breiden.

Graag zou ik mijn interne promotoren, Prof. dr. ir. Jozefien De Keyzer en Prof. dr. ir. Leen Braeken, willen bedanken voor de goede begeleiding. De snelle communicatie en feedback zorgden ervoor dat ik mijn masterproef tot een goed einde kon brengen. Ook zou ik graag mijn externe promotoren, ing. Martin Bertram en ir. Ives Mertens, willen bedanken voor de goede samenwerking en leerrijke tips. Verder wil ik de accountmanager van Solenis, Rony Geerts, bedanken voor de uitgevoerde analyses en informatie over het koelsysteem. In het algemeen wil ik alle mensen bedanken waarmee ik in contact ben gekomen op de werkvloer voor hun hulp en voor de aangename werksfeer. Hierdoor kwam ik iedere dag weer met het nodige enthousiasme stage doen.

De laatste personen die ik graag wil vermelden zijn mijn familie, partner en vrienden. Dit zijn de mensen die me altijd weer bijstaan met raad en daad en ook daarvoor wil ik hen hartelijk bedanken.

Daan Neven

Juni 2022



# Inhoudsopgave

---

Woord vooraf.....	1
Lijst van tabellen .....	5
Lijst van figuren.....	7
Verklarende woordenlijst.....	9
Abstract.....	11
Abstract in English.....	13
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>15</b>
1.1 Situering.....	15
1.2 Probleemstelling .....	16
1.3 Doelstelling.....	16
1.4 Methode .....	17
<b>2 Literatuurstudie .....</b>	<b>19</b>
2.1 Blue Deal.....	19
2.2 Huidige procesvoering .....	20
2.3 Wetgeving.....	23
2.4 Koelwater.....	24
2.4.1 Algemene problemen.....	24
2.4.2 Analyse.....	27
2.4.3 Koelwaterbehandeling.....	29
2.5 Zware metalen .....	30
2.5.1 Wat? .....	30
2.5.2 Conventionele zuiveringstechnieken .....	30
2.5.3 Andere zuiveringstechnieken.....	32
2.6 Desinfectie .....	33
2.6.1 Uv-C desinfectie.....	33
2.6.2 Desinfectie o.b.v. chloor.....	34
2.6.3 Elektrochemische desinfectie .....	34
2.6.4 Voor- en nadelen technieken .....	35
2.7 Methodes waterhergebruik.....	35
2.7.1 Pinch-methode met één verontreiniging.....	35
2.7.2 Pinch-methode met meerdere verontreinigingen.....	36

<b>3</b>	<b>Methode .....</b>	<b>39</b>
3.1	Waterbalans.....	39
3.2	Omgevingsvergunning.....	40
3.3	Parameters.....	40
3.3.1	Suppletiewater koeltoren .....	40
3.3.2	Hemelwater- en proceswaterbekken.....	40
3.3.3	Ongefilterd kanaalwater.....	41
3.4	Zuiveringsinstallaties.....	41
3.4.1	Recirculeren hemelwater.....	41
3.4.2	Recirculeren procesafvalwater .....	45
3.5	Opbrengsten.....	45
<b>4</b>	<b>Resultaten &amp; Discussie.....</b>	<b>47</b>
4.1	Waterbalans.....	47
4.2	Omgevingsvergunning.....	48
4.3	Parameters.....	49
4.3.1	Suppletiewater koeltoren .....	49
4.3.2	Hemelwaterbekken .....	50
4.3.3	Proceswaterbekken.....	53
4.3.4	Ongefilterd kanaalwater.....	55
4.4	Recirculeren hemelwater.....	55
4.4.1	Beschikbaarheid.....	57
4.4.2	Indikking, spui en suppletie .....	60
4.4.3	Buffervolume.....	61
4.4.4	Parameters gemengde waterstroom .....	65
4.4.5	Zuiveringstrein .....	67
4.5	Recirculeren procesafvalwater .....	72
4.6	Opbrengsten.....	74
<b>5</b>	<b>Besluit.....</b>	<b>77</b>
5.1	Conclusie .....	77
5.2	Vooruitblik .....	79
	<b>Referentielijst.....</b>	<b>81</b>
	<b>Bijlagen.....</b>	<b>87</b>

## Lijst van tabellen

---

Tabel 1: Algemene voorwaarden voor lozing van bedrijfsafvalwater naar het openbaar riool [9] .....	23
Tabel 2: Sectorale voorwaarden voor lozing op de riolering in de petrochemie [10] .....	24
Tabel 3: Vergelijking desinfectie o.b.v. chloor of uv-licht [46], [55] .....	35
Tabel 4: Opsomming parameters algemene analyse hemelwater- en proceswaterbekken .....	41
Tabel 5: Limieten en gemiddelden suppletiewater koeltoren .....	49
Tabel 6: Parameters algemene analyses hemelwaterbekken .....	50
Tabel 7: Extra parameters hemelwaterbekken .....	51
Tabel 8: Resultaten Langelier Index [23] .....	52
Tabel 9: Parameters algemene analyses proceswaterbekken I .....	53
Tabel 10: Extra parameters proceswaterbekken I .....	54
Tabel 11: Parameters algemene analyse ongefilterd kanaalwater .....	55
Tabel 12: Maandelijks kanaalwatervraag in 2021 o.b.v. facturen en teller op de site .....	56
Tabel 13: Indikking, spui en suppletie voor verschillende percentages aan hemelwater .....	60
Tabel 14: Gemiddelde hoeveelheid neerslagdagen en neerslag tussen 1991-2020 [63] .....	62
Tabel 15: Watervraag teller voor 100% kanaalwater .....	62
Tabel 16: Totale maandelijks watervraag voor X% hemelwater .....	63
Tabel 17: Totale dagelijkse watervraag voor X% hemelwater .....	63
Tabel 18: 10% hemelwater gemengd met 90% ongefilterd kanaalwater .....	65
Tabel 19: 40% hemelwater gemengd met 60% ongefilterd kanaalwater .....	65
Tabel 20: Controle indikking voor 10% hemelwater .....	66
Tabel 21: Controle indikking voor 40% hemelwater .....	66
Tabel 22: Jaarlijkse opbrengsten door het recirculeren van X% hemelwater .....	75
Tabel 23: Maandelijks en jaarlijkse regenval gemeten door meetstation Ransberg [60] .....	89
Tabel 24: Benodigde hoeveelheden hemelwater om 10, 20, 30, 40 of 50% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen .....	89
Tabel 25: Maandelijks beschikbaarheden van hemelwater van de afgelopen zes jaren .....	90
Tabel 26: Maandelijks overschotten/ tekorten als 10% van de huidige kanaalwateraanvoer wordt .....	91
Tabel 27: Maandelijks overschotten/ tekorten als 40% van de huidige kanaalwateraanvoer wordt .....	92
Tabel 28: 20% hemelwater gemengd met 80% ongefilterd kanaalwater .....	94
Tabel 29: 30% hemelwater gemengd met 70% ongefilterd kanaalwater .....	94
Tabel 30: Controle indikking voor 20% hemelwater .....	95
Tabel 31: Controle indikking voor 30% hemelwater .....	95





## Lijst van figuren

---

Figuur 1: Processchema hemelwater.....	21
Figuur 2: Processchema stadswater .....	22
Figuur 3: Processchema demin water.....	22
Figuur 4: Processchema kanaalwater .....	23
Figuur 5: Open recirculerend koelsysteem [14].....	26
Figuur 6: Samenvatting belangrijkste parameters koelwateranalyse .....	27
Figuur 7: Algemene structuur fosfonzuur [25 : p. 698].....	29
Figuur 8: Schematische weergave ionenuitwisseling [37] .....	31
Figuur 9: Verschillende soorten membraanfiltratie met poriegrootte, toegelaten drukken en weehouden stoffen [41].....	32
Figuur 10: Situering uv-C in het elektromagnetisch spectrum [49] .....	34
Figuur 11: Material-recycle pinch diagram voor één verontreiniging [58 : p. 4324] .....	36
Figuur 12: Material-recycle pinch diagram voor meerdere verontreinigingen [59 : p. 7].....	37
Figuur 13: Afstand Chevron Phillips Chemicals tot Ransberg.....	40
Figuur 14: Schematische weergave berekening buffervolume .....	44
Figuur 15: Stappenplan voor het recirculeren van hemelwater .....	45
Figuur 16: Uitzicht staal hemelwaterbekken 09/05 a) Voorkant b) Achterkant.....	52
Figuur 17: Uitzicht staal proceswaterbekken I 09/05 a) Voorkant b) Achterkant .....	54
Figuur 18: Maandelijkse kanaalwatervraag o.b.v. teller en facturen .....	56
Figuur 19: Maandelijkse waterbeschikbaarheid en benodigde hoeveelheid hemelwater om 100% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen [60] .....	57
Figuur 20: Maandelijkse waterbeschikbaarheid en benodigde hoeveelheid hemelwater om 10% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen [60] .....	58
Figuur 21: Maandelijkse overschotten of tekorten als 10% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60].....	58
Figuur 22: Maandelijkse waterbeschikbaarheid en benodigde hoeveelheid hemelwater om 40% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen [60] .....	59
Figuur 23: Maandelijkse overschotten of tekorten als 40% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60].....	59
Figuur 24: Totale kanaalwatervraag op jaarbasis voor verschillende percentages hemelwater.....	61
Figuur 25: Buffervolume worst en best case scenario voor 10, 20, 30 en 40% hemelwater .....	64
Figuur 26: Zuiveringstrein hemelwater.....	67
Figuur 27: Simulatie FluidFlow fire water tank [64] .....	69
Figuur 28: Simulatie FluidFlow waterbuffertank [64] .....	71
Figuur 29: Maandelijkse beschikbaarheid procesafvalwater in het jaar 2021 .....	72
Figuur 30: Toevoerstromen proceswaterbekkens met bijhorende percentages.....	73
Figuur 31: Waterbalans 2021.....	88
Figuur 32: Maandelijkse overschotten of tekorten als 20% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60].....	93
Figuur 33: Maandelijkse overschotten of tekorten als 30% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60].....	93
Figuur 34: Maandelijkse overschotten of tekorten als 50% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60].....	93



## Verklarende woordenlijst

---

Afkortingen, symbolen en vaktermen	Verklaring
BBT	Best Beschikbare Technieken
BFW	Boiler feed water
CWA	Cooling water
FWA	Fire water
GS	Indelingscriterium
HDPE	High density polyethyleen
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut
LSI	Langelier Index
MF	Microfiltration
NF	Nanofiltration
RAW	Raw water
RO	Reverse osmosis
RWZI	Openbare rioolwaterzuiveringsinstallatie
SDR	Standard Dimension Ratio
TDS	Total dissolved solids
THT	Tetrahydrothiofeen
TPC dipslide	Total plate count dipslide
UF	Ultrafiltration
uv	Ultraviolet
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij



## Abstract

---

Chevron Phillips Chemicals in Tessenderlo koopt momenteel kanaalwater aan om te gebruiken als koelwater. Door de toenemende droogteproblematiek, stijgende aankoop- en lozingskosten en strengere regelgeving wil het bedrijf minder afhankelijk worden van kanaalwater. Deze masterproef onderzoekt verschillende mogelijkheden om bestaande waterstromen te recirculeren op de site om zo de afhankelijkheid van kanaalwater te reduceren.

Er wordt eerst een waterbalans opgemaakt, dit geeft een beeld van de waterstromen op de site. Vervolgens worden van de potentieel herbruikbare stromen stalen genomen om de belangrijkste parameters te analyseren. Uit deze parameters volgen zuiveringstreinen om de gekozen stromen koelwaterkwaliteit te geven. Tenslotte worden de opbrengsten van de recirculaties onderzocht.

Het hemel- en procesafvalwater zijn de potentieel herbruikbare waterstromen op de site. Deze stromen zijn onvoldoende groot om aan de volledige watervraag te voldoen. Bijgevolg worden de gerecirculeerde waterstromen gemengd met kanaalwater. De gemengde stroom wordt vervolgens gebruikt als suppletiewater voor de koeltoren. De kwaliteit van het hemelwater is relatief goed en stabiel ten opzichte van de slechte en fluctuerende kwaliteit van het procesafvalwater. De zuivering van hemelwater vereist een afdekzeil, filtratie en desinfectie. Door het gebruik van hemelwater kan het bedrijf tot €11.000 besparen op jaarbasis.



## Abstract in English

---

Chevron Phillips Chemicals in Tessenderlo currently buys canal water to use as cooling water. Due to increasing drought, rising purchase and discharge costs and stricter regulations, the company wants to become less dependent on canal water. This master thesis examines various options for recirculating existing water flows at the site to reduce dependence on canal water.

First, a water balance is drawn up to obtain, an idea of the water flows on the site. Next, samples are taken from the potentially reusable flows to analyze the most important parameters. Based on these parameters, purification steps are defined to give the selected streams the cooling water quality. Finally, the revenues associated with the recirculations are taken into account.

The rainwater and process wastewater are the potentially reusable water streams at the site. However, these flows are insufficient in size to meet the entire water demand. Consequently, the recirculated water streams are mixed with canal water before being used as make-up water for the cooling tower. The quality of the rainwater is relatively good and stable compared to the poor and fluctuating quality of the process wastewater. The treatment of rain water requires only capping, filtration and disinfection. By using rain water, the company can save up to €11,000 on an annual basis.





# 1 Inleiding

---

## 1.1 Situering

De Blue Deal, uitgewerkt door de Vlaamse regering, is een plan om de waterschaarste en droogte aan te pakken en zo de klimaatverandering tegen te gaan. In de tekst van de Blue Deal worden de belangrijkste oorzaken van waterschaarste besproken. Verder zijn ook de maatregelen die de overheid treft opgenomen in de tekst. De overheid verplicht namelijk bedrijven om zich aan de Blue Deal te houden door het verlenen van omgevingsvergunningen en subsidies. Praktisch betekent dit dat bedrijven dienen in te zetten op circulair watergebruik [1].

Bedrijven dienen steeds meer in te zetten op hergebruik, doordat er zich een aantal problemen voordoen. Ten eerste is er in België een hele hoge graad aan waterstress, namelijk 40-80%. Dit betekent dat er veel competitie is voor het aanwezige zoetwater tussen verschillende sectoren. Uiteindelijk leidt deze competitie tot waterschaarste [2]. Bovendien heeft waterschaarste dan weer tot gevolg dat [3]:

- er onvoldoende drinkwater is;
- er een tekort is aan water om gewassen te telen;
- er een economische terugval optreedt.

Ten tweede is voor grootverbruikers de aankoopprijs voor kraanwater variabel en dus afhankelijk van het verbruik. Indien een bedrijf meer dan 500  $m^3$  water verbruikt, zal het dus ook meer moeten betalen [4]. Ten derde worden ook voor het lozen van water kosten aangerekend. Zo moeten grootverbruikers die lozen in de riolering een heffing op de waterverontreiniging betalen [5]. Ook hier is van toepassingen dat hoe meer water het bedrijf loost, hoe meer het zal moeten betalen. Een laatste probleem is dat de reglementering rond waterlozing steeds strenger wordt. Een omgevingsvergunning legt de voorwaarden vast waaraan een bedrijf moet voldoen alvorens het water mag lozen [6]. Een inbreuk tegen deze voorwaarden kan een geldboete opleveren van €2.500 en bij ernstige misdrijven kan er zelfs het tienvoudige geëist worden [7]. Het optimaliseren van het waterhergebruik binnen een bedrijf is dus niet alleen belangrijk om de kosten te verlagen, maar ook om bij te dragen tot een beter milieu.

Chevron Phillips Chemicals, gelegen te Tessenderlo, is gespecialiseerd in de productie van mercaptanen. Het bedrijf werkt met vier soorten water op de site. Het eerste soort water is hemelwater dat op de site valt. Hemelwater wordt voornamelijk afgevoerd naar een aangrenzend natuurgebied. Het tweede soort water is stadswater. Stadswater wordt hoofdzakelijk gebruikt voor drinkwater en sanitair. Het derde soort water is gedemineraliseerd water, wat wordt gebruikt in de stoomketels voor stoomproductie. De laatste watersoort is het kanaalwater (RAW). Het kanaalwater wordt op de site gebruikt als koelwater (CWA) en bluswater (FWA). Iedere soort water heeft dus een eigen functie. Het bedrijf is reeds actief bezig met het hergebruik van water door gebruikt stoom als condensaat te recirculeren. Door de droogteproblematiek is het bedrijf ook op zoek naar oplossingen om de afhankelijkheid van kanaalwater te reduceren. Interessante alternatieven voor kanaalwater zijn hemelwater en procesafvalwater.

## 1.2 Probleemstelling

Chevron Phillips Chemicals wil op de site in Tessenderlo minder afhankelijk worden van de aanvoer van kanaalwater. Het is door de toenemende droogte in België namelijk moeilijker om aan kanaalwater te geraken. Het bedrijf is daarom een studie begonnen naar de mogelijkheden van waterhergebruik op de site.

Een eerste probleem dat zich stelt is dat er vier verschillende waterstromen gebruikt worden op de site. Iedere waterstroom heeft andere parameters en dus kan niet iedere stroom hergebruikt worden voor eender welke toepassing. Een tweede probleem is dat nog onvoldoende onderzocht is of de huidige omgevingsvergunning het wettelijk toelaat om stromen te hergebruiken. Ten derde vallen de parameters van de gerecirculeerde stroom mogelijks buiten de grenzen van de beoogde toepassing. Om een afvalstroom te kunnen recirculeren is dan een bijkomende zuivering nodig, wat meteen leidt tot het vierde probleem. Het bedrijf heeft namelijk nog geen operationele waterzuiveringsinstallatie, waardoor een extra investering nodig zal zijn. Bovendien is het ook nog onduidelijk of er voldoende plaats is op de site om een bijkomende installatie te bouwen.

## 1.3 Doelstelling

De hoofddoelstelling van deze studie is de optimalisatie van het waterhergebruik bij Chevron Phillips Chemicals te Tessenderlo. Hierbij wordt er door het bedrijf specifiek gevraagd om de afhankelijkheid van de toevoer van kanaalwater te reduceren. Om het hoofddoel te bereiken, kunnen een aantal deeldoelstellingen geformuleerd worden.

- 1) Er is een duidelijk overzicht van de reeds bestaande waterstromen binnen het bedrijf, inclusief bijhorende debieten. De parameters van de grootste waterstromen zijn ook gekend.
- 2) Er is onderzocht of het praktisch mogelijk is om “afvalstromen” te recirculeren door een vergelijking te maken tussen de parameters van de afvalstromen en de parameters van het aangekocht kanaalwater.
- 3) Er is een duidelijk beeld van de wetgeving omtrent het recirculeren van afvalstromen. Als het door de wet verboden is om een bepaalde afvalstroom te recirculeren, dan wordt de mogelijkheid tot het hergebruik van een andere waterstroom onderzocht.
- 4) Er is minstens één concreet voorstel gedaan om een waterstroom te hergebruiken. Hierbij zijn ook zuiveringstechnieken voorgesteld waarmee de parameters van de afvalstroom binnen de grenzen van de beoogde toepassing gebracht kunnen worden. Daarnaast zijn er pompen gedimensioneerd om het water naar de toepassing te pompen.
- 5) De jaarlijkse opbrengsten, als gevolg van het waterhergebruik, zijn berekend.

Indien aan alle doelstellingen voldaan is, opent dit kansen voor Chevron Phillips Chemicals om duurzamer te produceren en om kosten te reduceren.

## 1.4 Methode

Eerst wordt een waterbalans opgesteld om het huidige traject en de grootte van iedere waterstroom doorheen het bedrijf te achterhalen. De waterbalans geeft weer:

- hoe het water de site binnenkomt;
- voor welke toepassingen het water gebruikt wordt;
- langs welke weg het water de site verlaat.

Informatie over de grootte van de belangrijkste waterstromen is te vinden in aankoopfacturen en kan afgelezen worden van meetsystemen. De debieten die dan nog missen kunnen rechtstreeks berekend worden uit een massabalans. Daarna wordt van de grootste waterstromen, die een eerste functie vervuld hebben, een recent staal opgezocht in de databank van het bedrijf (LIMS) of wordt een nieuw staal genomen. Het staal wordt vervolgens geanalyseerd, zodat de precieze parameters van de waterstroom bekend zijn. Van het kanaalwater worden wekelijks stalen genomen. Uit de bijhorende analyses kan dan het jaarlijks gemiddelde van iedere parameter berekend worden. Nadien wordt gekeken in de omgevingsvergunningen of het wettelijk mogelijk is om bepaalde afvalstromen te recirculeren. De omgevingsvergunningen worden ter beschikking gesteld door het bedrijf. De wetgeving kan ook online geraadpleegd worden in het Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning (VLAREM) [8].

Vanaf dit moment is het mogelijk om enkele voorstellen uit te werken, waarmee het bedrijf aan de slag kan om minstens één waterstroom te hergebruiken. Eerst dienen de parameters van zowel de afvalstroom als die van het kanaalwater met elkaar te worden vergeleken. Indien de parameters van de afvalstroom binnen de grenzen vallen die voor het kanaalwater vereist zijn, kan onderzocht worden of het afvalwater rechtstreeks gerecirculeerd kan worden. Als de parameters van de afvalstroom niet binnen de grenzen liggen die voor de nieuwe toepassing noodzakelijk zijn, dan moet er naar bijkomende zuiveringsstappen gezocht worden. Indien de bijkomende zuiveringsstappen vastliggen, kan gezocht worden naar de gepaste installaties. Uiteindelijk kunnen dan de opbrengsten van het project berekend worden.



## 2 Literatuurstudie

---

In de literatuurstudie wordt besproken wat de Blue Deal inhoudt en in welke mate bedrijven hiermee rekening moeten houden. Vervolgens wordt de huidige waterhuishouding van het bedrijf Chevron Phillips Chemicals behandeld. Verder komt de wetgeving rond het lozen van bedrijfsafvalwater aan bod, alsook de huidige problematiek rond koelwater en afvalwater. Tenslotte geeft deze studie een overzicht van de Best Beschikbare Technieken (BBT) voor het recirculeren van water.

### 2.1 Blue Deal

Om de huidige problematiek rond waterschaarste en droogte aan te pakken, heeft de Vlaamse regering de Blue Deal opgenomen in het regeerakkoord. Er zijn verschillende oorzaken die leiden tot waterschaarste. Ten eerste is er een lage waterbeschikbaarheid door een hoge bevolkingsdichtheid. In Vlaanderen wonen namelijk veel mensen op een kleine oppervlakte. Hierdoor moet al het beschikbare water, zoals grondwater en hemelwater, verdeeld worden over alle bewoners van deze oppervlakte. Ten tweede worden oppervlaktes ook steeds meer verhard en het hemelwater wordt gewoon afgevoerd naar de riolering i.p.v. het te laten infiltreren. Zo worden ongeveer de helft van de kosten van de riolering veroorzaakt door het afvoeren van regenwater. Door de aanzienlijke hoeveelheid regenwater moeten rioleringsstelsels namelijk groter gedimensioneerd worden en moeten voldoende sterke pompen voorzien worden. Bovendien wordt er door de bevolking ook intensief water gebruikt, waardoor het water in de grondlagen niet de tijd krijgt om aangevuld te worden. Ten derde wordt door de populatie ook te snel gebruik gemaakt van drinkwater voor toepassingen zoals poetsen of voor sanitaire doeleinden. Ten vierde dragen ook de weersomstandigheden in België bij tot de waterschaarste. Zo was de regenval de afgelopen zomers zeer beperkt. Ten laatste bevat het beschikbare water soms ook verontreinigingen zoals pesticiden. De waterschaarste heeft een invloed op verschillende sectoren: landbouw, transport, drinkwatervoorziening et cetera [1].

De overheid zorgt ervoor dat bedrijven rekening houden met de Blue Deal door het opstellen van een milieuvergunning. In elke milieuvergunning wordt rekening gehouden met een aantal kritische punten. Een vergunning wordt opgesteld met de nodige aandacht voor gevaarlijke stoffen. Bij lozing van waterstromen in oppervlaktewater, mag de geloosde stroom geen negatieve impact hebben op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Hetzelfde is van toepassing bij lozing naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI), hier mag de geloosde stroom de werking van de installatie niet beïnvloeden. Verder wordt in de vergunning ook onderscheid gemaakt tussen gecontamineerd en niet-gecontamineerd hemelwater. Niet-gecontamineerd hemelwater is bijvoorbeeld water dat op verharde oppervlakten valt buiten het procesgebied. Dit hemelwater kan ofwel hergebruikt worden op de site ofwel in de grond infiltreren. Gecontamineerd hemelwater daarentegen is water dat mogelijk verontreinigingen bevat, dit water is afkomstig van bijvoorbeeld tankparken. Het gecontamineerd hemelwater dient eerst gezuiverd te worden vooraleer het geloosd kan worden [1], [6].

In het kader van circulair watergebruik is het voor grootgebruikers verplicht om een waterscan te laten uitvoeren tegen 2022. Tijdens zo een waterscan wordt er onderzocht wat de waterbehoefte is van een bedrijf. Vervolgens wordt onderzocht of er duurzamere waterstromen gebruikt kunnen worden, waardoor de factuur van de bedrijven ook verder afneemt. Volgens de coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid heeft hemelwater heel veel potentieel om als alternatieve waterbron gebruikt te worden binnen een bedrijf [1].

## 2.2 Huidige procesvoering

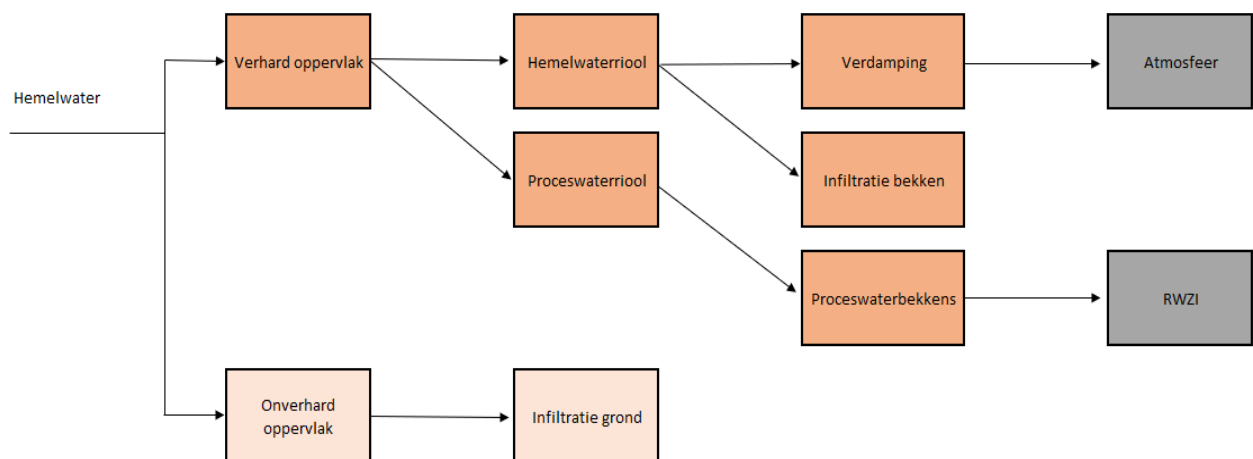
Chevron Phillips Chemicals heeft, op de site in Tessenderlo, vier soorten water. Hemelwater is de eerste watersoort. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen hemelwater dat op verharde oppervlakken valt en hemelwater dat op onverharde oppervlakken valt. Hemelwater dat op een onverhard oppervlak valt infiltreert in de grond. Daarnaast wordt hemelwater dat op een verhard oppervlak valt geïncolteerd en afgevoerd naar het hemelwaterriool of naar het proceswaterriool. Water dat naar het hemelwaterriool wordt afgevoerd, is niet-gecontamineerd water. Een voorbeeld van niet-gecontamineerd water is water dat valt op daken van gebouwen. Het hemelwater zal nadien worden afgevoerd naar een infiltratiebekken. Het infiltratiebekken is onderdeel van een bufferzone, waar een natuurgebied ontstaan is. Onderweg zal een gedeelte van het hemelwater ook verdampen en in de atmosfeer terecht komen. Het water dat in het proceswaterriool terechtkomt is potentieel gecontamineerd. Een voorbeeld van potentieel gecontamineerd hemelwater is water dat valt op wegen en terreinen in het procesgebied. Het water stroomt via het proceswaterriool naar de proceswaterbekkens, waaruit het geloosd wordt naar een RWZI. De weg die het hemelwater aflegt doorheen de site wordt schematisch weergegeven in Figuur 1.

De tweede watersoort is stadswater, dit wordt voorlopig aangekocht van een leverancier. De voornaamste toepassingen waarvoor stadswater gebruikt wordt zijn sanitair en drinkwater. Voor sanitaire doeleinden wordt alleen nog stadswater gebruikt in de oudere gebouwen op de site. In het nieuwe technische gebouw wordt reeds hemelwater gebruikt voor het sanitair. Bijkomstig wordt stadswater ook gebruikt voor nooddouches en voor watergebruik tijdens *shut down*. Indien het water zijn functie heeft vervuld, wordt het opgevangen in twee proceswaterbekkens en vervolgens geloosd op het openbaar riool naar een RWZI. Het sanitair water stroomt rechtstreeks naar de RWZI, zonder eerst de proceswaterbekkens te passeren. Het traject dat stadswater aflegt op de site wordt weergegeven in Figuur 2.

Het derde soort water is gedemineraliseerd water, dat geleverd wordt door een naburig bedrijf. Het gedemineraliseerd water wordt na behandeling vooral gebruikt in de stoomketels voor stoomproductie. Een deel van het demin water verdampt en komt in de atmosfeer terecht. Een ander deel wordt gespuid en afgevoerd naar de proceswaterbekkens, waaruit geloosd wordt naar de RWZI. Het bedrijf sluit de waterkringloop door 90% van de stoom via het condensaat te recirculeren naar de ketel. Verder wordt water voor de spoelingen deels afgevoerd als slop. Het slop is een vloeibare afvalstroom die zwavelproducten bevat. Het slop wordt opgeslagen in tanks en extern verwerkt. Een schematische weergave van het proces is terug te vinden in Figuur 3.

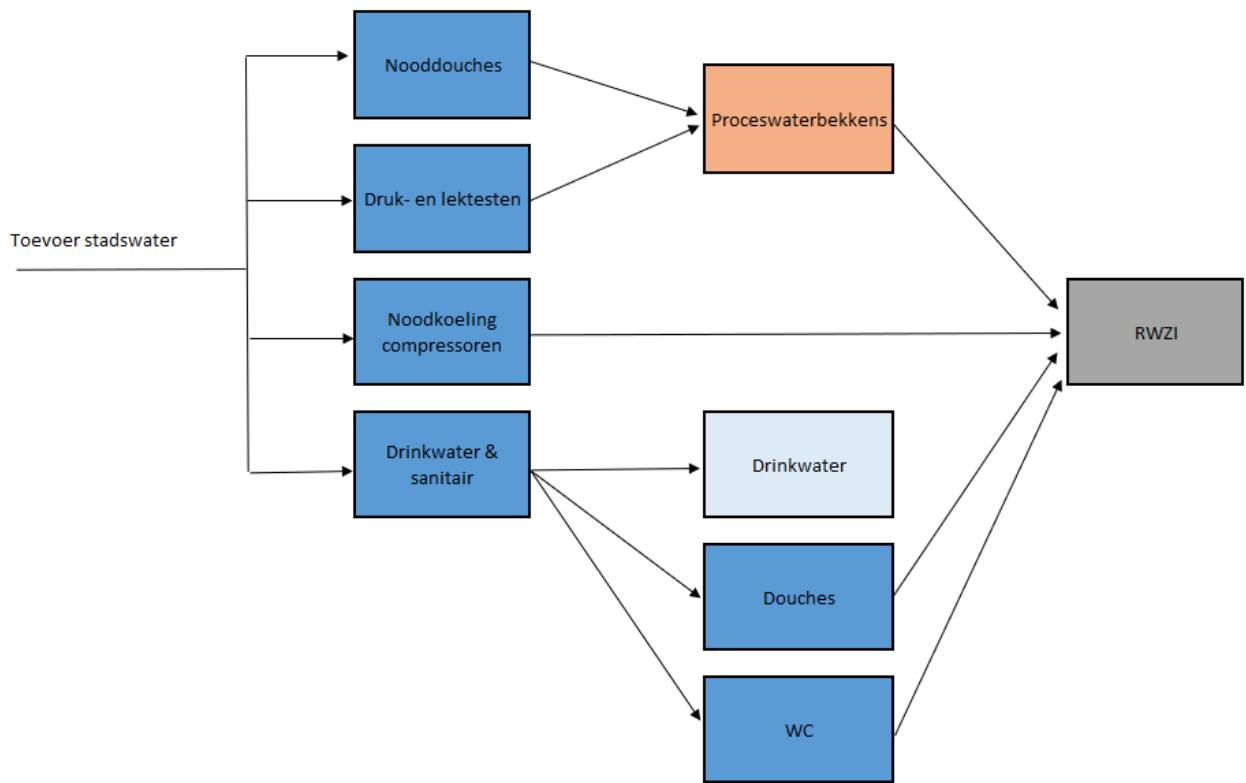
De vierde en laatste watersoort is kanaalwater uit het Albertkanaal. Het water wordt, net zoals het demin water, geleverd door een naburig bedrijf. Tot het kanaalwater op de site van Chevron Phillips Chemicals binnenkomt, heeft het nog geen behandelingen doorlopen. Het kanaalwater kent twee toepassingen, namelijk koelen en blussen. Het koelwatersysteem is een open recirculerend systeem waardoor verliezen optreden. Zo worden waterdruppels in de koeltoren meegesleurd door de stijgende lucht naar de atmosfeer. Deze verliezen worden gecompenseerd door kanaalwater als suppletie te gebruiken. Het koelwater uit het koelwaterbekken wordt regelmatig naar een zijstroomfilter gestuurd om deeltjes te verwijderen. Deze zijstroomfilter dient ook regelmatig gereinigd te worden door een terugspoeling of *backwash*, hiervoor wordt koelwater verbruikt. Om accumulatie van zouten en mineralen te voorkomen wordt er gespuid. Indien dit niet gebeurt treedt er kalkzetting en bacteriologische vervuiling op. Het kanaalwater dat wordt gebruikt als blus- en koelwater wordt eerst door een zandfilter gestuurd. Ook deze filter dient gereinigd te worden met een terugspoeling waarvoor kanaalwater wordt gebruikt. Het bluswater wordt daarna rondgepompt in het bluswatercircuit. Uiteindelijk wordt het water voor het terugspoelen van de filters en het water van de spui, naar de proceswaterbekkens afgevoerd. Van hieruit wordt er geloosd op het openbaar riool naar de RWZI. Het blokschema van kanaalwater wordt getoond in Figuur 4.

Tijdens de productieprocessen van organische zwavelverbindingen op de site in Tessenderlo wordt geen water verbruikt. Verder komt enkel tijdens de productie van tetrahydrothiofeen (THT) water vrij. Het vrijgekomen water uit het productieproces wordt afgevoerd naar de spoelstook waar het verdampt en terechtkomt in de atmosfeer. De spoelstook is opgenomen in Figuur 3.

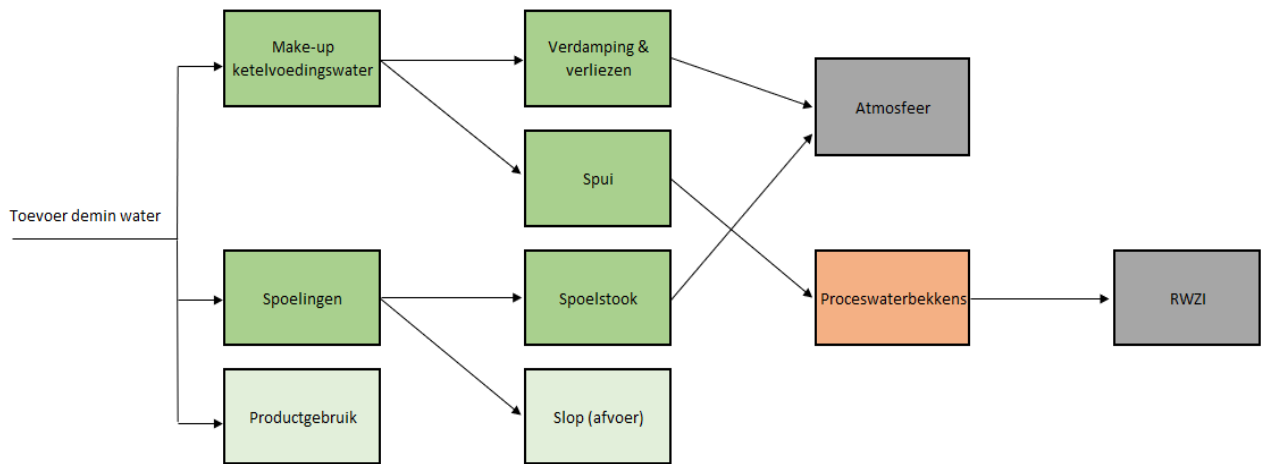


Figuur 1: Processchema hemelwater

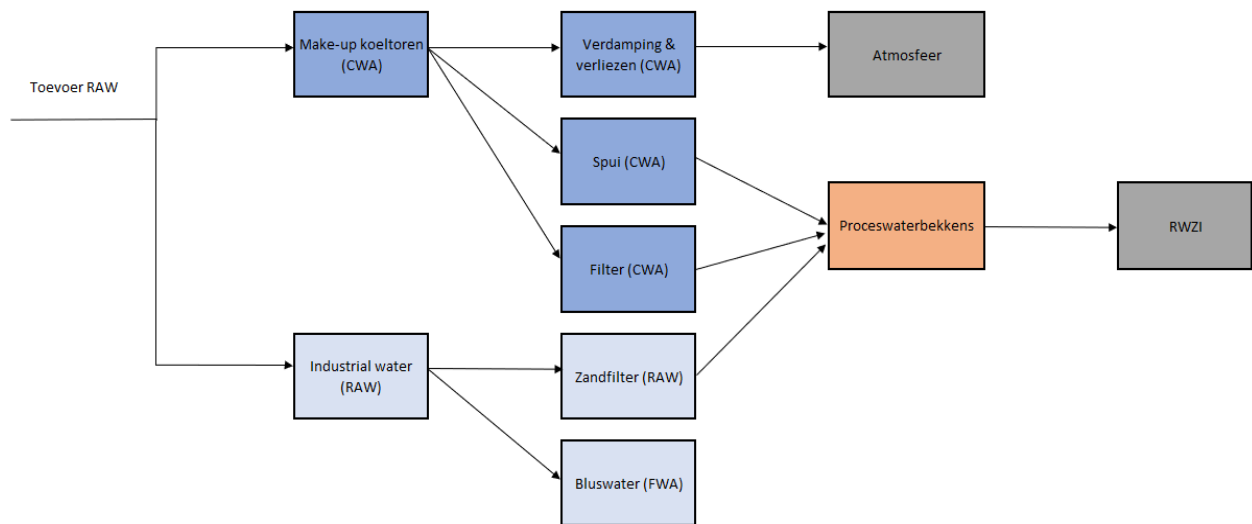




Figuur 2: Processchema stadswater



Figuur 3: Processchema demin water



Figuur 4: Processchema kanaalwater

## 2.3 Wetgeving

Zoals reeds vermeld, verleent de overheid omgevingsvergunningen aan bedrijven zodat ze rekening moeten houden met de Blue Deal. Vooral de lozingsvoorwaarden zijn belangrijk. Ten eerste zijn er algemene voorwaarden voor lozing naar de RWZI van bedrijfsafvalwater dat een gevaarlijke stof bevat. De algemene voorwaarden worden overgenomen uit het VLAREM II en staan in deze studie weergegeven in Tabel 1 [9].

Tabel 1: Algemene voorwaarden voor lozing van bedrijfsafvalwater naar het openbaar riool [9]

Parameters	Algemene voorwaarden
pH	6 – 9,5
Temperatuur geloosd afvalwater	maximaal 45°C
Afmeting zwevende stoffen	maximaal 1 cm
Zwevende stoffen	maximaal 1 g/l
Stoffen extraheerbaar met petroleumether	maximaal 0,5 g/l
Gassen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• niet opgelost</li> <li>• niet ontvlambaar</li> <li>• niet ontplofbaar</li> <li>• geen producten die afscheiding van deze gassen kunnen veroorzaken</li> <li>• geen verspreiding van uitwaseming naar milieu</li> </ul>
Vergunning vereist voor stoffen die:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• een gevaar vormen voor personeel, riolering en installaties</li> <li>• leidingen beschadigen/ verstoppem</li> <li>• werking pomp- en zuiveringsinstallaties verhinderen</li> <li>• het openbaar riool/ oppervlaktewater verontreinigen</li> </ul>

Verder bestaan er ook nog sectorale voorwaarden voor het lozen van afvalwater en koelwater. Chevron Phillips Chemicals produceert mercaptanen en dit valt onder de sector petrochemie. In de bijlagen van VLAREM II kunnen de sectorale voorwaarden voor lozing naar het riool geraadpleegd worden. De voorwaarden zijn overgenomen uit de bijlagen van VLAREM II en staan weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Sectorale voorwaarden voor lozing op de riolering in de petrochemie [10]

Parameters	Sectorale voorwaarden
Ondergrens pH	6,0
Bovengrens pH	9,5
Temperatuur	45,0°C
Afmeting zwevende stoffen	10,0 mm
Zwevende stoffen	1000,0 mg/l
Petroleumether extraheerbare stoffen	500,0 mg/l
Fenol en derivaten	250,0 mg/l

De algemene en sectorale voorwaarden hebben enkele parameters gemeenschappelijk. Het bedrijf dient zich aan de strengste voorwaarden te houden. Echter is er nog nood aan een derde soort voorwaarden aangezien de algemene en sectorale voorwaarden geen emissiegrenswaarden opleggen. De emissiegrenswaarden zijn de concentraties van stoffen die maximaal aanwezig mogen zijn in het water voor lozing. De stoffen en emissiegrenswaarden worden in tabelvorm weergegeven in bijlage 2.3.1. van VLAREM II artikel 3. De tabel is zeer uitgebreid en wordt om die reden ook niet opgenomen in deze studie. Voor iedere beschreven parameter in de tabel is er een indelingscriterium (GS). Indien het indelingscriterium overschreden wordt, dan wordt het water gezien als bedrijfsafvalwater. In dit geval dient een emissiegrenswaarde voor deze parameter opgenomen te worden in de omgevingsvergunning. De omgevingsvergunning is een document waarin het bedrijf een aanvraag doet om bijvoorbeeld een grotere hoeveelheid water te lozen op het openbaar riool. Vervolgens wordt dan door de provincie beslist om de omgevingsvergunning al dan niet te verlenen. Als een emissiegrenswaarde is opgenomen in een verleende omgevingsvergunning, dan is dit een bijzondere voorwaarde waaraan het bedrijf zich moet houden [9], [10].

## 2.4 Koelwater

### 2.4.1 Algemene problemen

Verschillende stoffen in het suppletiewater van een koeltoren kunnen zorgen voor problemen. De problemen die kunnen optreden zijn:

- kalkvorming,
- corrosie,
- biologische groei,
- vervuiling.

Stoffen die deze problemen veroorzaken zijn zouten, opgeloste gassen en metaalionen. Enkele veel voorkomende zouten zijn chloriden, sulfaten en carbonaten [11].

Indien de oplosbaarheidsgrens van de zouten overschreden wordt gaan ze zich afzetten op oppervlakken die contact maken met het water. De afzettingen zorgen in koelsystemen voor een lagere efficiëntie van de warmteoverdracht. Voorbeelden van afzettingen die kunnen optreden zijn calciumsulfaat en calciumcarbonaat. Het afzetten van zouten kan vermeden worden door de concentraties aan zouten laag te houden of door aan het koelwater chemische stoffen toe te voegen. Een stof die toegevoegd kan worden is een inhibitor. Een inhibitor adsorbeert aan de ontstane afzettingen, op die manier worden de groeiplaatsen opgevuld. Uiteindelijk lost de neerslag terug op en komt de inhibitor weer vrij, zo kan het proces terug herhaald worden. Veel gebruikte inhibitoren zijn acrylaatpolymeren en organische fosforverbindingen of fosfonaten [12].

Een ander probleem dat zich voordoet in een koelsysteem is vervuiling. Vervuiling treedt op wanneer onoplosbare partikels gaan interageren met elkaar en zo grotere agglomeraten vormen. Vervolgens gaan deze agglomeraten onder invloed van de zwaartekracht afzetten op de installaties. Ijzer en aluminium verergeren de vervuiling doordat ze coagulatie veroorzaken. Bijkomend vormen ze samen met toegevoegde chemicaliën, zoals orthofosfaat, een onoplosbare verbinding die neerslaat [12].

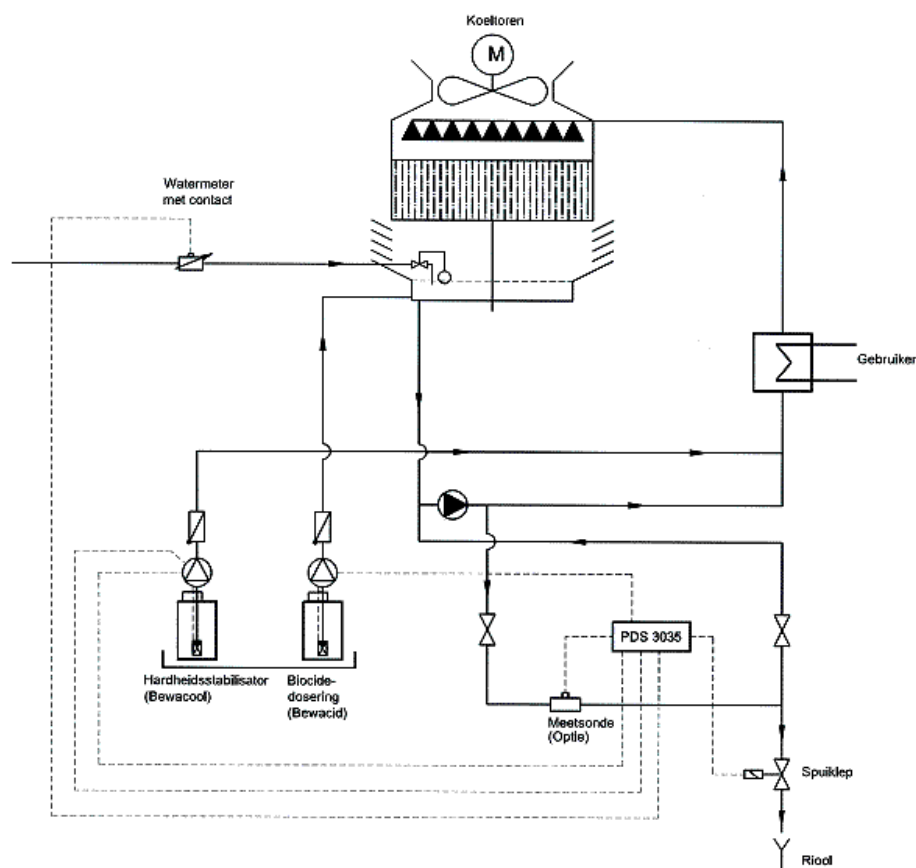
Een derde probleem dat optreedt in een koelsysteem is corrosie. Er zijn verschillende oorzaken voor corrosie: onzuiverheden in het metaal, omgevingsfactoren, lokale spanningen et cetera. Doordat er verschillende oorzaken zijn, bestaan er ook verschillende soorten corrosie. Er zijn drie manieren om de corrosie te beperken:

- metaal beschermen met een beschermende laag van calciumcarbonaat;
- verwijderen van zuurstof uit het water;
- toevoegen van corrosie inhibitoren [12].

Een laatste probleem is biologische vervuiling. Micro-organismen gaan zich hechten aan bijvoorbeeld warmtewisselaars en vormen zo een slijmerige film aan het oppervlak. Door de biofilm neemt de efficiëntie van de warmteoverdracht af. Bijkomend kan dit ook zorgen voor een toename van de corrosiesnelheid. Micro-organismen in de film gaan namelijk zuurstof verbruiken waardoor verder in het proces een tekort aan zuurstof is. Door het tekort aan zuurstof schakelen de micro-organismen over naar fermentatieprocessen en worden bijgevolg fermentatieproducten gevormd. De fermentatieproducten zijn vaak zuren waardoor de pH lokaal verlaagd wordt en de corrosiesnelheid verhoogt. In koeltorens komt regelmatig de legionellabacterie voor. Deze bacterie groeit voornamelijk in water bij temperaturen van 30 tot 50°C. De legionellabacterie kan ziekte veroorzaken bij de mens en moet dus onder controle gehouden worden. In koeltorens worden lucht en water in tegenstroom gestuurd. Hierbij gaat een deel van het water verdampen en meegevoerd worden door de lucht. Indien de legionellabacterie niet onder controle wordt gehouden, wordt deze met het verdampte water de koeltoren uitgeblazen. Op die manier kunnen mensen in de omgeving ziek worden. Er zijn drie manieren om de groei van de bacteriën te remmen:

- ontsmetting,
- filtersysteem,
- warmtebehandeling [11], [13].

Zoals reeds eerder vermeld, treden er verdampingsverliezen op in een open recirculerend koelsysteem. Verdampingsverliezen hebben als gevolg dat er een opconcentrering gebeurt van opgeloste en zwevende stoffen, dit wordt indikking genoemd. In de praktijk wordt het niveau van indikking gemeten met behulp van een geleidbaarheidsmeter. De geleidbaarheid van water neemt toe naarmate er meer zouten aanwezig zijn. Bij een automatische spuiregeling wordt op basis van de geleidbaarheidsmeting de spui-klep aangestuurd. De mate van indikking wordt aangegeven door een indikkingsfactor, dit is de verhouding van de zoutgehalten van koeltorenwater en suppletiewater. Een lage indikkingsfactor impliceert dat er veel gespuid wordt en dat er veel suppletiewater toegevoegd moet worden. Met andere woorden gaat een lage indikkingsfactor dus gepaard met een lage geleidbaarheid en een hoog waterverbruik. Een hoge indikkingsfactor betekent daarentegen een hoge geleidbaarheid en een relatief laag waterverbruik. Om het waterverbruik te reduceren is dus een zo hoog mogelijke indikking vereist. Echter verergert een hoge indikking de reeds besproken problemen in een koelsysteem. Typisch liggen de waarden voor een indikkingsfactor in de industrie tussen 2 en 5. Er moet dus een goede balans gevonden worden tussen spui, suppletie en verdamping [14]–[16]. Figuur 5 is een schematische weergave van een open recirculerend koelsysteem.

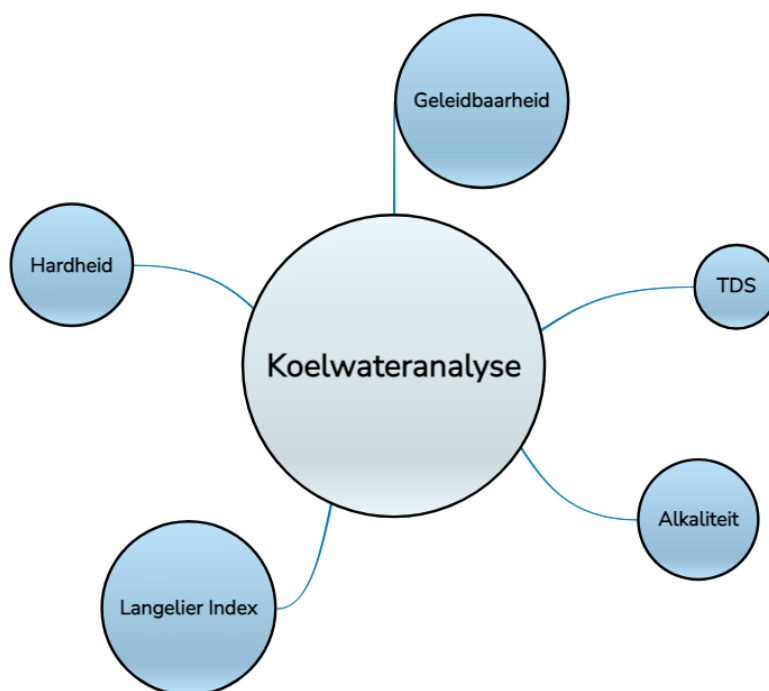


Figuur 5: Open recirculerend koelsysteem [14]

Bovenaan in Figuur 5 is de koeltoren zichtbaar. Aan de onderkant van de koeltoren bevindt zich het koelwaterbekken. Hieruit wordt water gepompt naar de warmtewisselaars of gebruikers. Het koelwater gaat door de gebruikers opwarmen en dit warm water wordt bovenaan de koeltoren ingebracht door sproeiers. Het water zal onder invloed van de zwaartekracht verticaal naar beneden vallen. In tegenstroom met het water, wordt onderaan de toren lucht ingeblazen. In een open koeltoren is er dus direct contact tussen de lucht en het water. De warmteoverdracht gebeurt enerzijds door warmte-uitwisseling tussen de twee fluïda en anderzijds door een gedeeltelijke verdamping van het water. De verdamping van water zorgt hierbij voor de meeste koeling. Het gekoelde water komt terug terecht in het koelwaterbekken en kan in een volgende koelcyclus opnieuw gebruikt worden. Het verdampte water wordt door de lucht meegesleurd in de atmosfeer. Rechtsonder op de figuur is er een spuikelep aanwezig om de indikking te regelen. Als er gespuid wordt, dan wordt automatisch ook suppletiewater aangevoerd naar het koelwaterbekken. Verder worden er ook nog biociden en hardheidsstabilisatoren gedoseerd aan het koelwaterbekken om de reeds besproken problemen te voorkomen [17].

#### 2.4.2 Analyse

Een goede en regelmatige analyse van koelwater is noodzakelijk om de reeds besproken problemen in koelwatersystemen te voorkomen. De belangrijkste parameters in koelwatersystemen dienen eerst goed begrepen te zijn. Figuur 6 geeft een samenvatting van de parameters die in volgende alinea's verklaard worden.



*Figuur 6: Samenvatting belangrijkste parameters koelwateranalyse*

Een eerste parameter die wordt gemeten tijdens een analyse van het koelwater is de geleidbaarheid. De geleidbaarheid wordt gedefinieerd als het vermogen van water om een elektrische stroom te geleiden. De geleidbaarheid neemt toe naarmate de concentratie aan zouten, of in het algemeen aan opgeloste ionen, toeneemt in het water [18].

Een parameter die de hoeveelheid aan opgeloste ionen aangeeft in water, is de totale hoeveelheid aan opgeloste deeltjes of *total dissolved solids* (TDS). De meest voorkomende opgeloste deeltjes zijn: calcium, magnesium, kalium, sulfaat, chloride, silica et cetera. De voornaamste bronnen van zouten in water zijn:

- contact met rotsen;
- contact met de bodem;
- contact met andere natuurlijke materialen [19].

Een hoge geleidbaarheid wijst dus op een hoge concentratie aan opgeloste deeltjes. De hoge concentratie aan opgeloste deeltjes kan dan weer wijzen op andere problemen, zoals verhoogde concentraties aan calcium en magnesium. Dergelijke aardalkalimetalen kunnen ongewenste afzettingen vormen in leidingen en installaties [19].

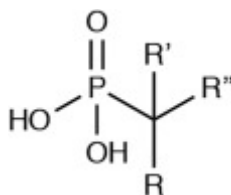
Een tweede belangrijke parameter is de alkaliteit. De alkaliteit geeft het bufferend vermogen van het water aan. Het is dus eigenlijk het vermogen van het water om zuren te neutraliseren en zo de pH constant te houden. De belangrijkste componenten die bijdragen tot de alkaliteit van water zijn: carbonaat, bicarbonaat en hydroxide. Het nadeel is dat deze verbindingen slecht oplosbare verbindingen vormen met kationen zoals calcium en magnesium [20], [21]. De alkaliteit wordt verder onderverdeeld in M- en P-alkaliteit. De P-alkaliteit wordt getest door een titratie tot pH 8,3 met als indicator fenolftaleïne. De M-alkaliteit wordt ook gemeten door een titratie, maar met eindpunt pH 4,3. Als indicator wordt hier gebruik gemaakt van methyloranje. De M-alkaliteit is de som van de concentraties van de drie componenten. De P-alkaliteit bedraagt de volledige alkaliteit als gevolg van hydroxide en de helft van de alkaliteit veroorzaakt door carbonaat [22].

De derde chemische parameter die geanalyseerd wordt in koelwater is de hardheid. De hardheid wordt gedefinieerd als de concentratie aan meervoudig geladen metaalionen. Voorbeelden van dergelijke metalen zijn: calcium, magnesium, mangaan, ijzer et cetera. Indien er oververzadiging optreedt in het water dan vormen deze kationen, samen met anionen uit het water, een neerslag. De hardheid wordt in de analyses uit deze studie uitgedrukt als carbonaathardheid [20].

De volgende belangrijke parameter is de Langelier Index (LSI). De Langelier Index geeft aan of een waterstroom corrosief is of dat er de mogelijkheid is tot het vormen van afzettingen. Indien de index groter is dan +0,5 dan is er de mogelijkheid tot het vormen van afzettingen. Als de index kleiner is dan -0,5 dan is het water corrosief. Er is een online tool beschikbaar om de Langelier Index te berekenen [23]. De parameters waaruit de Langelier Index kan worden berekend zijn: pH, geleidbaarheid, calciumhardheid, alkaliteit en watertemperatuur. De index is een belangrijke parameter om rekening mee te houden bij het uitkiezen van leidingen, pompen, zuiveringsinstallaties enzovoort [24].

### 2.4.3 Koelwaterbehandeling

Zoals eerder vermeld, worden fosfonaten gedoseerd als aanslag en corrosie inhibitoren. Fosfonaten kunnen in water meervoudig geladen zijn, dit is afhankelijk van de pH. Door de hoge lading zijn deze verbindingen in staat om ionen te complexeren. Verder zijn deze organische moleculen ook chemisch en thermisch stabiel. Een nadeel is dan weer dat fosfonaten bijdragen tot de hoeveelheid nutriënten in water wat kan leiden tot ongewenste algengroei. Bacteriën spelen hierin een belangrijke rol aangezien ze door evolutie in staat zijn om de C-P binding te verbreken. Bijgevolg kunnen fosfonaten gebruikt worden als fosforbron voor verdere groei. Fosfonaten kunnen voorkomen als kleine moleculen of als grote structuren zoals polymeren [25]. De algemene structuur van fosfonzuren wordt weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: Algemene structuur fosfonzuur [25 : p. 698]

De R-groepen in Figuur 7 kunnen nog vervangen worden door fosfonaatgroepen. Er bestaan dan ook verschillende soorten van deze verbinding. De organische verbindingen kunnen zowel protoneren als deprotoneren, afhankelijk van de pH. Gedeprotoneerde fosfonaten hebben een betere werking tegen het vormen van kristallen en daarom is het belangrijk om het water op hogere pH te conditioneren. Fosfonaten hebben typisch de beste werking in een pH-range van 6 – 10 [25].

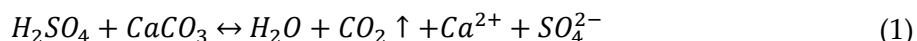
De vorming van calciumcarbonaat of kalk is ongewenst in leidingen, aangezien het kan zorgen voor barsten. Osorio-Celestino et al. toont aan dat calciumcarbonaatafzettingen bijdragen tot de corrosiesnelheid van koolstofstaal en aluminiumlegeringen. De afzettingen hebben daarentegen weinig effect op de corrosiesnelheid van roestvast staal. Er bestaan ook nog andere, ongewenste afzettingen in koelwater zoals calciumsulfaat. Fosfonaten kunnen gebruikt worden als drempelinhibitoren, dit wil zeggen dat de concentraties van de verbindingen zich in de  $\mu\text{m}$ - range bevinden. De inhibitoren gaan adsorberen aan het oppervlak van ontstane nucleï, waardoor de energie aan het grensvlak toeneemt. Door de toename in energie neemt de snelheid van kiemvorming af [25], [26].

Daarnaast kunnen fosfonaten met een hydrofobe staart het best gebruikt worden als corrosie inhibitoren. De hydrofobe staart zal interageren met de oplossing terwijl het chelaterend vermogen van het fosfonaatmolecule gebruikt wordt om te adsorberen aan het metaaloppervlak. Hierdoor wordt het contact tussen water en het metaaloppervlak verhinderd en bijgevolg wordt de corrosie beperkt [25].

Er zijn verschillende methodes om fosfonaten te analyseren. De meest gebruikte methode is het toepassen van ionenuitwisselingschromatografie gevolgd door een reactie met Fe(III). Vervolgens worden de gevormde Fe(III)-complexen gedetecteerd bij 300 – 330 nm. Bij andere methodes gebeurt er na de ionenuitwisselingschromatografie een oxidatie van fosfonaat naar fosfaat. De detectie van fosfaten gebeurt dan met de molybdeenblauw-methode [27].



Naast fosfonaten speelt het doseren van zwavelzuur ook een belangrijke rol in een koelwaterbehandeling. Bij hoge pH komen er twee vormen alkaliteit voor, namelijk carbonaat en bicarbonaat. Carbonaatverbindingen vormen in combinatie met calcium en magnesium slecht oplosbare verbindingen. Calciumcarbonaat zorgt in het water voor een verhoging van de pH. Door een reactie van carbonaat of bicarbonaat met zwavelzuur wordt er koolzuur of  $H_2CO_3$  gevormd en wordt de pH terug verlaagd. Daarna ontbindt koolzuur tot  $CO_2$ , wat het water verlaat en in de atmosfeer terecht komt. Het gevolg is dat de carbonaten en bicarbonaten worden verwijderd uit het water waardoor de vorming van afzettingen wordt vermeden. De reactievergelijking wordt weergegeven als vergelijking (1) [28].



## 2.5 Zware metalen

### 2.5.1 Wat?

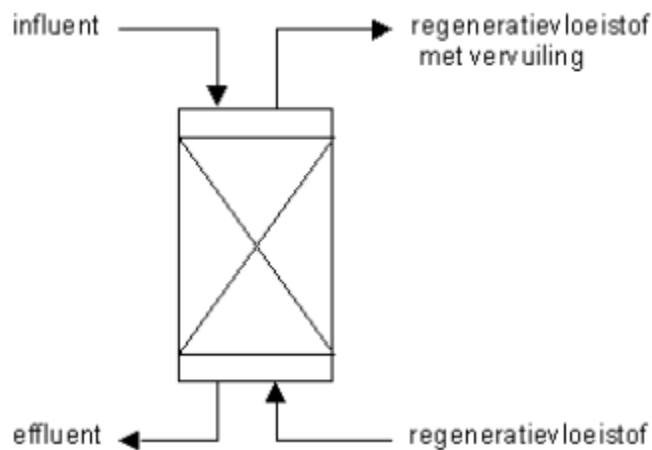
Zware metalen komen voor in de natuur. Zo kunnen zware metalen bijvoorbeeld worden teruggevonden in gesteenten of bij vulkaanuitbarstingen. Verder komen zware metalen als kleine stofdeeltjes vrij in de natuur bij transport en het verbranden van fossiele brandstoffen in de industrie. Veel voorkomende zware metalen zijn: cadmium, koper, lood, zink, ijzer, nikkel, kwik et cetera. Dergelijke zware metalen zijn toxisch, ze kunnen de oorzaak zijn van kanker, orgaanschade en nog veel meer [29]–[31].

Zware metalen, komen vrij als stofdeeltjes in industriegebieden en dwarrelen neer. De stofdeeltjes komen terecht in water, waar ze zich opstapelen [32]. Zo zijn, nabij de industriezone in Tessenderlo, verhoogde concentraties kwik opgemeten in de lucht in 2016 t.o.v. de achtergrondlocatie [33]. Zware metalen komen in water voor als positief geladen ionen. Zoals eerder vermeld, worden er aan koelwater corrosie- en neerslaginhibitoren toegevoegd, vaak in de vorm van polymeren. De polymeren komen in water voor als negatief geladen deeltjes. Indien water gerecirculeerd wordt als suppletie voor het koelwater zullen metalen gaan interageren met de toegevoegde polymeren en wordt een neerslag gevormd. Hierdoor wordt de werking van de inhibitoren dus geremd. Een oplossing is om de zware metalen te verwijderen uit het water alvorens het als suppletiewater wordt gebruikt. Er zijn verschillende manieren om de zware metalen uit water te verwijderen, de verschillende technieken worden beschreven in de volgende paragrafen [12].

### 2.5.2 Conventionele zuiveringstechnieken

Een eerste techniek die veel wordt toegepast is precipitatie. Bij deze techniek wordt een precipiterend reagens toegevoegd dat gaat reageren met de metaalionen tot een slecht oplosbare verbinding. De slecht oplosbare verbinding slaat vervolgens neer en kan via filtratie, flotatie of bezinking worden verwijderd uit de oplossing. Het probleem met deze methode is dat het erg afhankelijk is van de pH. Een tweede probleem is dat het reagens 1 op 1 reageert met de opgeloste stof, dus is er een aanzienlijke hoeveelheid nodig van dit dure reagens. Verder wordt er een hoeveelheid slib gevormd dat gevaarlijke stoffen bevat, dit resulteert in hoge verwerkingskosten. Een voordeel is dat de techniek zeer eenvoudig en selectief is [34], [35].

Een tweede techniek die regelmatig gebruikt wordt om metaalionen te verwijderen is ionenuitwisseling. Bij deze techniek worden er kationen uitgewisseld tussen de waterige oplossing en een organisch hars. Sterk zure kationwisselaars hebben sulfongroepen in het hars zitten. Aan de sulfongroepen zijn natrium- of waterstofionen gebonden. De affiniteit van het hars voor de zware metalen is groter dan voor de natrium- en waterstofionen, waardoor uitwisseling plaatsvindt. De zware metalen worden dus aan het hars gebonden en de natrium- en waterstofionen gaan in oplossing. Er zijn echter maar een beperkt aantal plaatsen waar de zware metalen gebonden kunnen worden. Als deze plaatsen allemaal volzet zijn, moet het hars geregenereerd worden met sterke zuren zoals zwavel- en zoutzuur. Verder bestaan er ook nog zwak zure kationwisselaars, waarvan het hars een carboxygroep bevat. Een nadeel is dat deze methode niet gebruikt kan worden bij erg geconcentreerde oplossingen, aangezien het hars dan te veel vervuild wordt. Verder is ionenuitwisseling erg afhankelijk van de pH. Door de dure regeneratievloeistoffen heeft deze techniek relatief hoge operationele kosten. Nadien is de regeneratievloeistof ook een bijkomende afvalstroom die verwerkt dient te worden. Een voordeel van ionenuitwisseling is de goede selectiviteit door het gebruik van ion-specifieke harsen. Uiteindelijk kan daardoor een rendement bekomen worden van 80 – 99%. Een bijkomend voordeel is dat deze techniek makkelijk automatiseerbaar is [31], [36], [37]. Figuur 8 toont een schematisch weergave van ionenuitwisseling.



*Figuur 8: Schematische weergave ionenuitwisseling [37]*

Een laatste conventionele techniek is elektro-winning. Bij deze techniek bevinden zich twee elektroden in een oplossing die metaalionen bevat. De metaalionen gaan zich, door het aanleggen van een stroom, hechten aan de negatief geladen kathode. De afzetting van metalen kan vervolgens van de elektroden worden gehaald en worden hergebruikt. Het nadeel van deze techniek is dat corrosie ervoor zorgt dat de elektroden vaak moeten worden vervangen. Elektrolyse kan het best worden toegepast als er slechts één metaalverontreiniging aanwezig is en wordt dus vooral gebruikt in de metaalindustrie [31], [38].

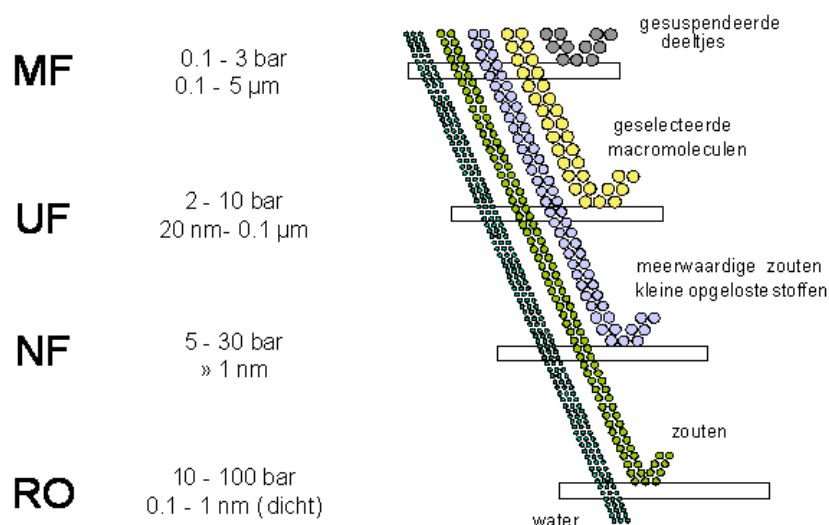
### 2.5.3 Andere zuiveringstechnieken

Naast de besproken conventionele technieken, zijn er ook andere veelbelovende technieken. Een eerste techniek die besproken wordt is adsorptie. Bij adsorptie gebeurt er massa-overdracht van een bepaalde stof van een vloeistof naar een vaste stof. De massa-overdracht gebeurt in drie stappen:

- 1) transport van bulk naar adsorbens;
- 2) adsorptie aan vast oppervlak;
- 3) transport binnen vast deeltje.

Een veelgebruikt adsorbens is actieve kool, dit bestaat uit hout, steenkool en kokos. Een industriële installatie bestaat meestal uit twee adsorptiekolommen in serie. Indien de kolommen verzadigd zijn, worden ze thermisch geregenereerd. Een selectief adsorbens om zware metalen mee te verwijderen zijn zeolieten. Adsorptietechnieken worden vooral gebruikt voor het wegwerken van niet afbreekbare organische verbindingen in verschillende soorten water. Voordelen van deze techniek zijn de relatief lage kosten doordat het adsorbens vaak een bijproduct is van een ander proces. Het adsorptieproces waarbij actieve kool gebruikt wordt als adsorbens is eenvoudig en heeft een grote betrouwbaarheid. Verder zijn de adsorptiekolommen vaak volumineus en is er een grote hoeveelheid adsorbens nodig, wat resulteert in hoge investerings- en werkingskosten [31], [39].

Een tweede veelbelovende techniek is membraanfiltratie. Deze techniek is niet enkel geschikt om zware metalen te verwijderen, maar ook om andere stoffen te verwijderen. Van deze techniek bestaan er verschillende soorten zoals: microfiltratie (MF), ultrafiltratie (UF), nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO). De verschillende soorten membraanfiltraties worden getoond in Figuur 9. Er zijn twee soorten uitvoeringen, namelijk *dead-end* en *cross flow*. Bij de *dead-end* uitvoering wordt de voeding loodrecht door het membraan gestuurd. Bij de *cross-flow* uitvoering wordt het fluïdum langsheen het membraan gestuurd. Het algemeen principe is dat de deeltjes met een grotere diameter dan de poriegrootte van het membraan worden weerhouden. Een nadeel van membraanfiltratie is dat door *fouling* de werking van het membraan wordt beïnvloed. Het resultaat hiervan zijn hoge operationele kosten [31], [40].



Figuur 9: Verschillende soorten membraanfiltratie met poriegrootte, toegelaten drukken en weerhouden stoffen [41]

## 2.6 Desinfectie

Desinfectie is het verminderen van de concentratie aan bacteriën, virussen en fungi tot een aanvaardbare waarde [42]. Micro-organismen zorgen namelijk voor problemen indien ze voorkomen in waterstromen.

Er zijn een aantal factoren die algen nodig hebben om te groeien. Deze factoren zijn:

- licht,
- CO<sub>2</sub>,
- nutriënten (nitraten en fosfor),
- warmte.

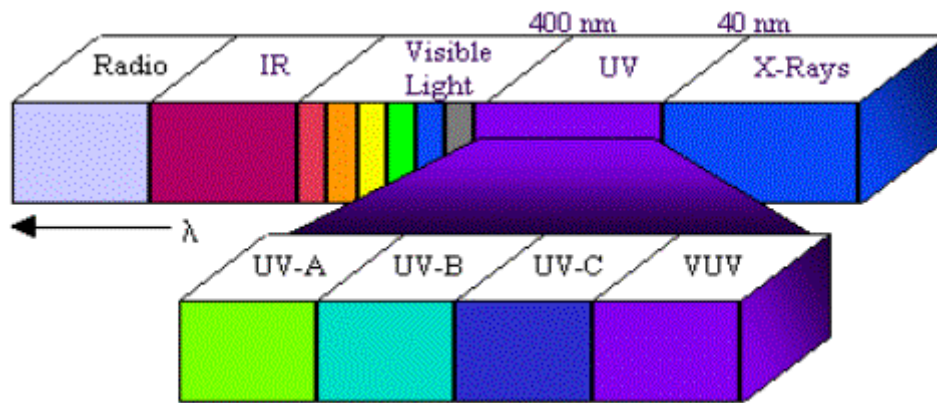
Chevron Phillips Chemicals heeft op de site een open hemelwaterbekken, dat voldoet aan de vier voorwaarden voor algengroei. Daarnaast zijn de vier bronnen voor algengroei ook aanwezig in het koelwaterbekken. Bijgevolg zorgen algen in beide systemen voor problemen. Algen kunnen door veelvuldig groeien terecht komen in de leidingen en daar zorgen voor verstoppingen. Ook veroorzaken algen problemen bij het desinfecteren van water. Vermoedelijk worden bacteriën door algen afgeschermd voor het ultraviolet licht. Deeltjesaggregatie rond de bacterie absorbeert, verstrooit en blokkeert namelijk het licht. Als laatste hebben algen een pH-stijging tot gevolg, waardoor het water meer alkalisch wordt [43]–[45].

Zoals eerder vermeld, kunnen bacteriën terecht komen in de warmtewisselaars waar ze zich hechten aan de oppervlakken waar warmteoverdracht gebeurt. Hierdoor vermindert enerzijds de efficiëntie van de warmtewisselaar en anderzijds wordt de doorstroming van water gehinderd. Daarnaast neemt de corrosiesnelheid van metalen onderdelen ook toe door de aanwezigheid van bacteriën [43].

Er bestaan verschillende manieren om water te desinfecteren en zo bacteriën en virussen te verwijderen. De twee meest gebruikte technieken voor de desinfectie van hemelwater zijn het bestralen met uv-licht of het doseren van chloorverbindingen [46]–[48]. Deze technieken worden verder in detail besproken. Verder wordt ook het werkingsmechanisme van een elektrochemische desinfectie opgenomen, omdat dit een veelbelovende techniek is.

### 2.6.1 Uv-C desinfectie

Ultraviolet licht kan bacteriën doden en kan dus gecatalogeerd worden als desinfectietechniek. Echter moet het licht wel een specifieke golflengte hebben tussen 240 en 280 *nm*, met een piek bij 265 *nm*. Deze golflengtes liggen binnen het uv C-spectrum, dat een range heeft van 190 – 290 *nm* [49]. Figuur 10 toont de situering van uv-C in het elektromagnetisch spectrum.



Figuur 10: Situering uv-C in het elektromagnetisch spectrum [49]

Door micro-organismen te bestralen met uv C-licht wordt het DNA van de organismen veranderd. De stralen met een golflengte van  $265\text{ nm}$  worden geabsorbeerd door de basen: thymine, adenine, cytosine en guanine. Door de straling kunnen er *crosslinks* gevormd worden tussen twee moleculen thymine en hierdoor ontstaat een thymine-dimeer. Het dimeer verhindert replicatie en inactieveert op die manier virussen en bacteriën. Verder kunnen er ook *crosslinks* gevormd worden tussen de basen guanine en cytosine, maar aangezien er drie waterstofbruggen zijn tussen deze moleculen kost het meer energie. Echter kunnen bacteriën zichzelf herstellen na het bestralen met uv-licht en dit mechanisme wordt *photorepair* genoemd. Door dit fenomeen kan er herbesmetting van het medium plaatsvinden [50].

### 2.6.2 Desinfectie o.b.v. chloor

Chloor is een veel gebruikt desinfectiemiddel dat bacteriën en virussen doodt door bindingen in de moleculen te verbreken. Er gebeurt een uitwisseling van atomen tussen de chloorverbindingen en andere verbindingen. Als chloorverbindingen in contact komen met enzymen dan worden één of meerdere waterstofatomen vervangen door chlooratomen. Hierdoor verandert de samenstelling en vorm van het enzym waardoor het uit elkaar valt. Door het verdwijnen van enzymen wordt de werking van cellen verstoord en zullen deze afsterven. Uiteindelijk zal de bacterie sterven [51].

Door chloor in water te brengen ontstaat waterstofhypochloriet ( $\text{HOCl}$ ). Afhankelijk van de pH kan deze verbinding worden omgezet naar hypochloriet ( $\text{OCl}^-$ ). Beide verbindingen worden samen "vrij chloor" genoemd. Het gebruik van waterstofhypochloriet resulteert in een betere desinfectie dan hypochloriet. Het neutrale molecuul kan beter door de negatief geladen celwand van de bacterie dringen, dan het negatief geladen hypochloriet [51].

### 2.6.3 Elektrochemische desinfectie

Een andere veelbelovende desinfectietechniek is elektrochemische desinfectie. Deze techniek maakt zelf een oxidans uit stoffen die reeds aanwezig zijn in het water. Dit oxidans wordt gemaakt door redoxreacties die plaatsvinden aan het oppervlak van een elektrode. Vervolgens diffundeert het oxidans naar de bulk van de oplossing waar het de micro-organismen inactieveert. Verschillende oxidantia zijn:  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SO}_4^-$  en het OH-radicaal. Elektrochemische desinfectie heeft een aantal voordelen:

- betrouwbaar;
- geen transport en opslag van chemicaliën nodig;
- nawerking.

Een nadeel is dat de desinfectiemiddelen kunnen reageren met aanwezige stoffen in het water, waardoor gevaarlijke bijproducten worden gevormd. Een elektrochemische desinfectie is reeds toegepast in een koelsysteem in Duitsland. De installatie kan 1  $m^3/h$  verwerken. Het water heeft een pH van 8,3, geleidbaarheid van 1900  $\mu S/cm$  en een chlorideconcentratie van 280  $ppm$ . Voorlopig is er voor deze techniek nog een gebrek aan specialisten en kennis [52]–[54].

#### 2.6.4 Voor- en nadelen technieken

De voor- en nadelen van een desinfectie met chloor en uv-licht worden ten opzichte van elkaar uitgezet in Tabel 3.

Tabel 3: Vergelijking desinfectie o.b.v. chloor of uv-licht [46], [55]

	uv-licht	Chloor
<b>Voordelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geen invloed op waterkwaliteit</li> <li>• Veilig en gecontroleerd</li> <li>• Beperkte plaatsinname</li> <li>• Milieuvriendelijk</li> <li>• Geen chemicaliën nodig</li> <li>• Geen bijproducten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eenvoudige installatie</li> <li>• Flexibele dosering</li> <li>• Blijvende desinfectie</li> <li>• Relatief goedkoop</li> </ul>
<b>Nadelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geen blijvende desinfectie</li> <li>• Enkel mogelijk bij helder water</li> <li>• Vervuiling van lampen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale dosering moeilijk te bepalen</li> <li>• Vorming gevaarlijke nevenproducten</li> </ul>

## 2.7 Methodes waterhergebruik

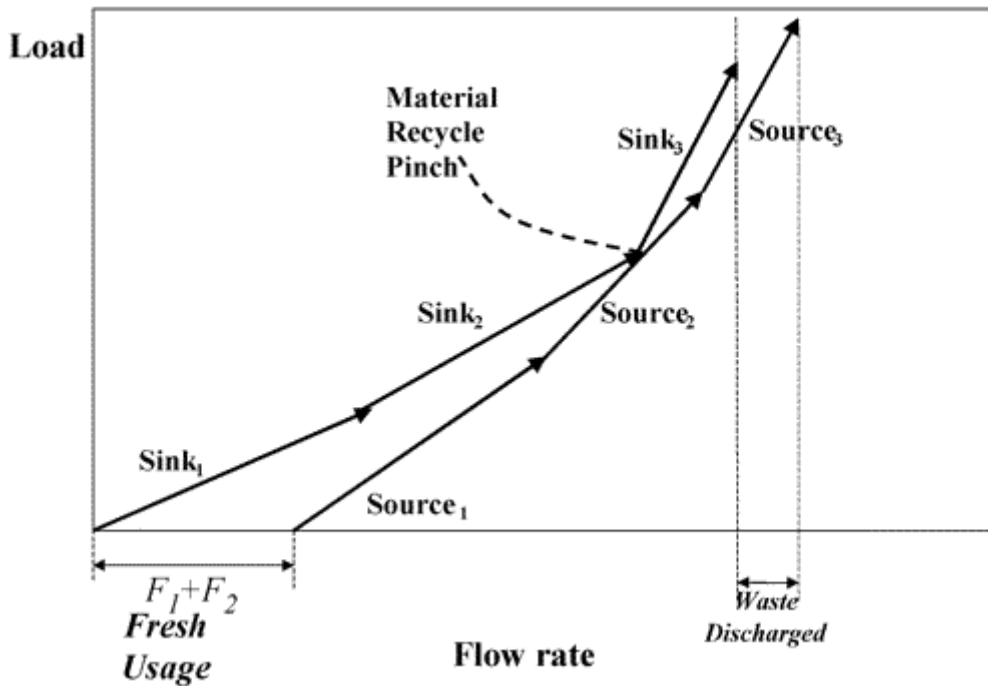
### 2.7.1 Pinch-methode met één verontreiniging

Een methode om waterhergebruik te optimaliseren is de pinch-methode. Binnen een bedrijf worden processen opgedeeld in twee soorten, namelijk waterverbruikende processen (*sinks*) en processen die water genereren (*sources*). Verder zijn van de verschillende waterstromen de debieten en de concentraties van bepaalde verontreinigingen bekend. Het doel van deze methode is om een proces te zoeken waarnaar gemengd afvalwater kan gerecirculeerd worden, door toevoeging van een minimale hoeveelheid zoetwater [56].

De pinch-methode kan grafisch voorgesteld worden in een *material-recycle pinch diagram*, dit diagram is geldig voor één verontreiniging. Op de y-as wordt de concentratie aan onzuiverheden uitgezet en op de x-as wordt het debiet uitgezet. De stappen die doorlopen moeten worden om het diagram te tekenen zijn reeds beschreven door El-Halwagi en worden voor de volledigheid ook opgenomen in deze studie [57].

Eerst dienen de *sinks* gerangschikt te worden volgens toenemende toelaatbare concentratie aan onzuiverheden. Vervolgens wordt voor de *sources* hetzelfde gedaan. Nadien wordt de eerste *sink*, diegene die de laagste concentratie aan onzuiverheden eist, uitgezet in het

*material-recycle pinch diagram*. Daarna worden de overige *sinks*, in volgorde, cumulatief opgeteld. Hierdoor ontstaat de *sink composite curve*. Hetzelfde wordt herhaald voor de *sources* en dit wordt de *source composite curve* genoemd. Ten slotte wordt de *source composite curve* horizontaal verschoven totdat het onder de *sink composite curve* ligt en het één punt gemeenschappelijk heeft met deze curve. Een algemene weergave van een *material-recycle pinch diagram* is terug te vinden in Figuur 11 [57].

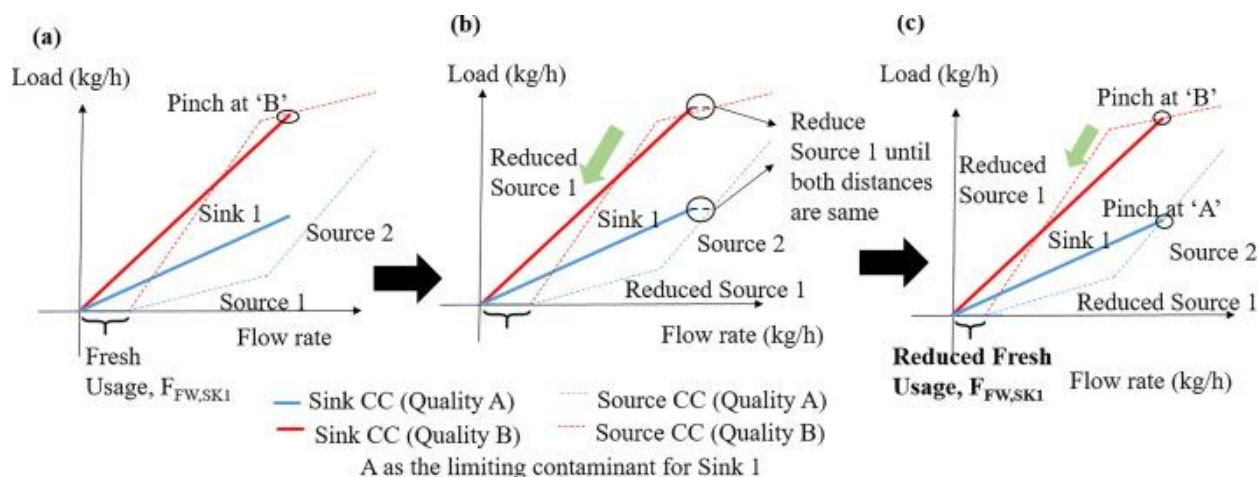


Figuur 11: Material-recycle pinch diagram voor één verontreiniging [58 : p. 4324]

Figuur 11 toont dat er één punt gemeenschappelijk is tussen de twee *composite curves*, dit punt wordt het *material reuse pinch point* genoemd. In de *pinch* is de belasting van de hergebruikte stromen gelijk aan die van de waterverbruiker. Links of onder de *pinch* moet zuiver water, zonder contaminant, worden toegevoegd om een stroom te kunnen recirculeren naar een waterverbruiker. Rechts of boven de *pinch* wordt het ongebruikte proceswater geloosd. Figuur 11 toont ook dat slechts een deel van *source 1* kan worden toegewezen aan *sink 1*, dit kan afgeleid worden uit de debieten. Zo wordt het overige deel van *source 1* in combinatie met een deel van *source 2* toegewezen aan *sink 2*. Tenslotte wordt dan nog het overige deel van *source 2* en een deel van *source 3* toegewezen aan *sink 3*. Uiteindelijk blijft er nog een bepaald debiet van *source 3* over waarvoor geen bestemming meer is, dit debiet wordt geloosd [58], [59].

### 2.7.2 Pinch-methode met meerdere verontreinigingen

Meestal bevat een processtroom meerdere onzuiverheden en om dan het waterverbruik te optimaliseren is een uitbreiding van de pinch-methode in 2.7.1. nodig. De uitbreiding van de pinch-methode wordt uitgelegd aan de hand van Figuur 12.



Figuur 12: Material-recycle pinch diagram voor meerdere verontreinigingen [59 : p. 7]

Figuur 12 toont twee soorten verontreinigingen, namelijk A en B. In Figuur 12a zijn de *sources* gerangschikt volgens toenemende toegelaten concentratie van A. Het gevolg is dat er enkel een *pinch* ontstaat voor verontreiniging B en niet voor A. Er is dus geen optimaal watergebruik, want dit wordt enkel bereikt indien alle limieten voor alle verontreinigingen bereikt zijn. Figuur 12b toont de oplossing voor dit probleem. Het debiet van *source 1* wordt verlaagd, zodanig dat de afstanden van de *sink composite curves* tot de *source composite curves* gelijk worden. Figuur 12c toont het resultaat, waarbij voor beide verontreinigingen een *pinch* kan worden gevonden. Wat opvalt is dat de hoeveelheid zuiver water gereduceerd is door het toepassen van deze methode, er is dus optimaal waterhergebruik. Het is enkel mogelijk om op deze manier de hoeveelheid zuiver water te reduceren, als er een *pinch* wordt gevonden voor de niet-limiterende verontreiniging [59].

Een voordeel van de pinch-methode is dat het gebruikt kan worden om het waterhergebruik te optimaliseren. Zoals reeds besproken, gebeurt dit door de minimale hoeveelheid vers water te zoeken dat moet worden toegevoegd om een afvalstroom te kunnen recirculeren. Een ander voordeel van deze techniek is dat de toewijzing van *sources* aan *sinks* grafisch kan worden voorgesteld met behulp van het *material-recycle pinch diagram*. Een nadeel van deze methode is dat het geen rekening houdt met de interacties tussen verontreinigingen in *sources* en *sinks*. Verder wordt er ook enkel rekening gehouden met de maximum concentraties van verontreinigingen in de *sinks*. Indien deze maximum concentraties niet bereikt worden, heeft dit ook zijn invloed op de concentraties van de *sources*. Het gevolg is dat de hoeveelheid zuiver water, dat toegevoegd dient te worden om te kunnen recirculeren, verder verminderd kan worden [59].

Deze methode zal waarschijnlijk niet gebruikt worden voor de optimalisatie van het waterhergebruik op de site van Chevron Phillips Chemicals in Tessenderlo. De reden is dat er in de waterstromen interacties kunnen optreden tussen verontreinigingen en hier houdt de pinch-methode geen rekening mee. Verder lijkt de methode ook iets te uitgebreid om toe te passen. In het bedrijf is er slechts één *sink*, namelijk *make-up* van het koelwater. Verder zijn er ook maar drie mogelijke *sources*: hemelwater, procesafvalwater en kanaalwater.





## 3 Methode

---

### 3.1 Waterbalans

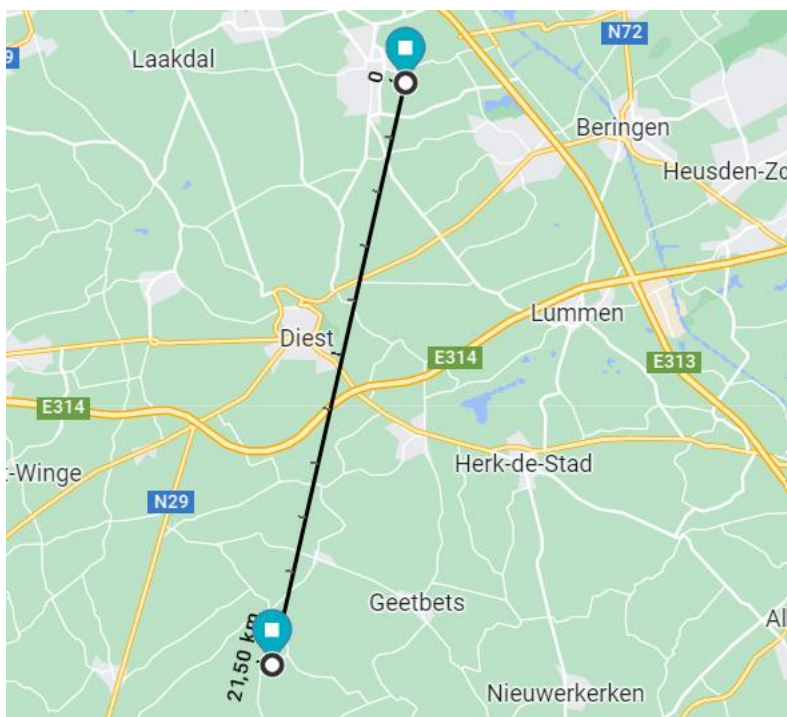
Om inzicht te krijgen in het watergebruik van Chevron Phillips Chemicals in Tessenderlo wordt er eerst een overzicht gemaakt van de bestaande waterstromen op de site in het jaar 2021. Tijdens het vervolg van deze studie wordt naar dit overzicht gerefereerd als “de waterbalans”. De waterbalans is een groot blokschema waarin duidelijk getoond wordt welk traject iedere waterstroom doorloopt. Bijkomend wordt ook de grootte van de stromen weergegeven.

De waterbalans is reeds in 2019 gemaakt tijdens een eerdere waterstudie op het bedrijf en wordt dus enkel geactualiseerd voor het jaar 2021. Dit houdt in dat enkel de grootte van iedere stroom nagekeken moet worden. Eerst worden de groottes van de toevoerstromen opgezocht in de aankoopfacturen van het bedrijf. Op de aankoopfacturen staan telkens de aangekochte volumes water vermeld, samen met de prijs per  $m^3$ . Verder worden de debieten van een aantal belangrijke waterstromen zelf gemeten door het bedrijf met behulp van debietmetingen. Dergelijke stromen zijn:

- CWA suppletie;
- CWA spui;
- water dat geloosd wordt;
- BFW suppletie.

De gemeten debieten worden door het bedrijf ter beschikking gesteld in een Excel-document. Uit de verkregen debieten wordt het jaarlijkse totaal berekend. Vervolgens worden de debieten van enkele kleinere waterstromen geschat. Deze schattingen worden overgenomen van de studie uit 2019, omdat er ten opzichte van toen weinig veranderd is.

De hoeveelheid regenwater dat in het proces- en hemelwaterriool terechtkomt wordt geschat op basis van de jaarlijkse regenval, gemeten door weerstation Ransberg [60]. De afstand tussen het bedrijf en Ransberg bedraagt 21,5 *km* en wordt weergegeven in Figuur 13. De oppervlaktes van de verharde oppervlakken worden teruggevonden in de studie van 2019. Door de verharde oppervlaktes te vermenigvuldigen met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid wordt de jaarlijkse hoeveelheid neerslag per riool berekend. De ontbrekende debieten van de overige waterstromen worden berekend door massabalansen op te stellen over de verschillende processen.



Figuur 13: Afstand Chevron Phillips Chemicals tot Ransberg

## 3.2 Omgevingsvergunning

In samenwerking met de milieucoördinator wordt in het document “Beheersing van afvalwater lozingen” de algemene, sectorale en bijzondere voorwaarden voor afvalwater opgezocht. Dit resulteert in een overzicht van alle emissiegrenswaarden van de lozingsparameters. Bijkomend dient de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) aan te leveren hoeveel de minimale hemelwaterhoeveelheid voor het infiltratiebekken bedraagt. De overige hoeveelheid is namelijk potentieel herbruikbaar als suppletiewater voor de koeltoren.

## 3.3 Parameters

De parameters van het hemelwater- en proceswaterbekken worden geanalyseerd, omdat dit de waterstromen zijn die potentieel hergebruikt kunnen worden op de site. Verder worden ook de parameters van het ongefilterd kanaalwater geanalyseerd. Als laatste worden de parameters van het suppletiewater van de koeltoren geanalyseerd, omdat deze waterstroom de parameters heeft die voor de nieuwe stroom ook vereist zijn.

### 3.3.1 Suppletiewater koeltoren

Van het suppletiewater worden wekelijks stalen genomen. Op deze stalen worden bijgevolg ook wekelijks algemene analyses uitgevoerd. Met behulp van deze data wordt daarna van iedere parameter apart het jaarlijks gemiddelde berekend. Verder worden ook de limieten waarbinnen de parameter moet blijven opgevraagd bij de beheerder van de koeltoren.

### 3.3.2 Hemelwater- en proceswaterbekken

De waterstalen van beide bekken worden genomen door het labo van Chevron Phillips Chemicals zelf. Daarna worden deze stalen in afgesloten potten gedaan van 250 ml en meegegeven aan een extern bedrijf. Op beide stalen worden algemene analyses uitgevoerd. De parameters die geanalyseerd worden in een algemene analyse, worden weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Opsomming parameters algemene analyse hemelwater- en proceswaterbekken

Parameters algemene analyse	
pH	Magnesium als $\text{CaCO}_3$
P-alkaliteit als $\text{CaCO}_3$	Totale hoeveelheid ijzer als Fe
M-alkaliteit als $\text{CaCO}_3$	Totale hoeveelheid fosfaten
Geleidbaarheid bij 25°C	Orthofosfaten
Totale hardheid als $\text{CaCO}_3$	Chloride als Cl
Calcium als $\text{CaCO}_3$	Sulfaten als $\text{SO}_4$

In de algemene analyse ontbreken nog een aantal belangrijke parameters zoals het kiemgetal, zwevende stoffen en zware metalen. Dergelijke parameters worden onderzocht bij een tweede en derde staalname van de bekkens.

Verder is de Langelier Index ook een belangrijke parameter. Deze parameter wordt voor ieder staal van het hemelwater berekend met behulp van een online tool [23].

### 3.3.3 Ongefilterd kanaalwater

Net zoals bij het hemelwater- en proceswaterbekken, wordt een algemene analyse uitgevoerd van het ongefilterd kanaalwater. Opnieuw worden de stalen genomen door het labo van Chevron Phillips Chemicals en elders geanalyseerd. De parameters die geanalyseerd worden, staan opgelijst in Tabel 4. Echter worden bij het ongefilterd kanaalwater ook meteen de zwevende stoffen geanalyseerd.

## 3.4 Zuiveringsinstallaties

De volgende stap is het zoeken naar gepaste zuiveringsinstallaties om een waterstroom te recirculeren. Zoals eerder vermeld, worden er twee mogelijkheden van waterhergebruik onderzocht. De verschillende mogelijkheden zijn:

- het recirculeren van hemelwater;
- het recirculeren van procesafvalwater.

Het kiezen van zuiveringen is casespecifiek, dit wil zeggen dat voor iedere *case* apart gezocht moet worden naar de meest gunstige zuiveringstrein voor het bedrijf.

### 3.4.1 Recirculeren hemelwater

Bij het recirculeren van hemelwater dient eerst de maandelijkse watervraag gekend te zijn. Er zijn twee mogelijke manieren om de maandelijkse watervraag te achterhalen. Enerzijds wordt de maandelijkse vraag opgezocht in de aankoopfacturen, zoals reeds gebeurd is in de waterbalans. Anderzijds wordt de data opgevraagd van een teller op de site die de inkomende hoeveelheid kanaalwater meet. Deze teller wordt tijdens de nachtschift afgelezen, genoteerd en ingegeven in een rapport.

Een probleem van hemelwater is de fluctuerende beschikbaarheid. Soms zijn er hele natte periodes waar veel hemelwater op overschot is en soms zijn er heel droge periodes waarbij watertekorten optreden. Daarom wordt in deze studie de beschikbaarheid van hemelwater onderzocht. Bij het bepalen van de beschikbaarheid wordt nog geen rekening gehouden met een buffercapaciteit, dit komt later in de studie wel aan bod. Eerst, wordt onderzocht of er

voldoende hemelwater beschikbaar is om de volledige hoeveelheid kanaalwater te vervangen. De beschikbaarheid van het hemelwater wordt achterhaald door de maandelijkse neerslag, gemeten door weerstation Ransberg, te vermenigvuldigen met de oppervlakte waarvan hemelwater wordt afgevoerd naar het hemelwaterriool [60]. De nodige hoeveelheid hemelwater om de volledige hoeveelheid kanaalwater te vervangen, wordt gelijkgesteld aan de waarden uit de aankoopfacturen. In de gevallen waar slechts een percentage van het kanaalwater wordt vervangen door hemelwater, wordt de nodige hoeveelheid berekend door het percentage te vermenigvuldigen met de maandelijkse kanaalwatervraag uit 2021. De beschikbaarheid van hemelwater blijft echter hetzelfde, dit is namelijk onafhankelijk van het percentage dat gerecirculeerd wordt. Het beschikbare hemelwater wordt bestudeerd over de afgelopen zes jaren, de reden hiervoor is dat 2021 gecatalogeerd staat als een nat jaar [61]. Indien enkel op basis van dit jaar conclusies gemaakt worden over de waterbeschikbaarheid, kan het bedrijf in toekomstige droge jaren in de problemen komen.

Door het mengen van hemelwater met kanaalwater verandert de mogelijke indikking in het koelwaterbekken. In een volgende stap wordt dus de verandering in indikking  $C$  berekend. De verandering in indikking wordt berekend met behulp van de calciumhardheid. De formule om de indikking te berekenen wordt weergegeven als formule (2) [62].

$$C = \frac{\text{calciumhardheid koeltoren}}{\text{calciumhardheid suppletie}} \quad (2)$$

Een verandering in indikking heeft tot gevolg dat de suppletie M.U. en spui BD veranderen. De spuihoeveelheid wordt berekend met behulp van formule (3) [62].

$$BD = \frac{E}{C - 1} - W \quad (3)$$

In formule (3) staat  $E$  voor de verdamping van het water in de koeltorens en  $W$  voor de spatverliezen die er optreden. Als laatste parameter wordt dan de verandering in suppletiehoeveelheid berekend met behulp van formule (4) [62].

$$M.U. = E + BD + W \quad (4)$$

De verdamping  $E$  wordt opgezocht in de waterbalans en wordt doorheen de berekeningen constant verondersteld. Een verklaring hiervoor wordt gegeven met behulp van vuistregel (5) [62].

$$E = 1\% \text{ van } Q \text{ per } 5,5^\circ C \Delta T \quad (5)$$

Het circulatiedebiet  $Q$  doorheen het koelsysteem is constant en bedraagt  $1550 \text{ m}^3/\text{h}$ . Het water komt met een temperatuur van  $\pm 26^\circ C$  binnen in de koeltoren. De gewenste temperatuur voor het gekoeld water is periode afhankelijk. In de winter wordt er gekoeld tot  $\pm 24^\circ C$  en in de zomer tot  $\pm 22^\circ C$ . Over een heel jaar kan  $\Delta T$  dus ook constant beschouwd worden. Omdat zowel  $Q$  als  $\Delta T$  constant blijven, blijft  $E$  dus ook constant. Daarnaast is  $\Delta T$  maximaal  $4^\circ C$ , bijgevolg verdampt er tijdens iedere circulatie minder dan 1% van  $Q$ . De spatverliezen  $W$  zijn impliciet opgenomen in  $E$ , bijgevolg worden de spatverliezen voor de berekeningen gelijk genomen aan nul.

Zoals eerder vermeld, wordt het kanaalwater op de site van Chevron Phillips Chemicals gebruikt als suppletiewater voor de koeltoren en als *industrial water*. Er wordt aangenomen dat de hoeveelheid *industrial water* constant blijft over de jaren, dit water wordt namelijk enkel gebruikt voor terugspoeling van de zandfilter en als bluswater. Uit de suppletie wordt dan de totale kanaalwatervraag berekend door hierbij de constante hoeveelheid *industrial water* op te tellen.

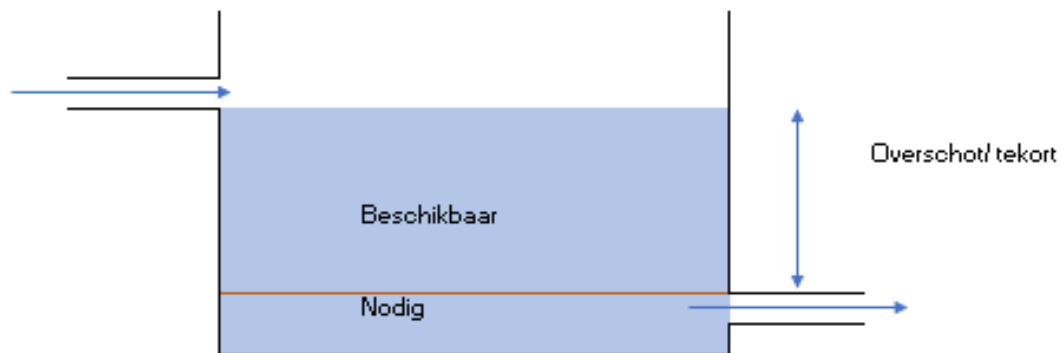
Om een bepaald percentage van de totale kanaalwatervraag te vervangen door hemelwater, dient het benodigde buffervolume berekend te worden. Er is reeds een open bufferbekken aangelegd op de site met een volume van  $750 \text{ m}^3$ .

Ten eerste, worden het gemiddeld aantal regendagen en de gemiddelde neerslaghoeveelheid per maand tussen 1991 en 2020 opgezocht bij het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) [63]. Vervolgens wordt de maandelijkse neerslaghoeveelheid gedeeld door het aantal regendagen. Er wordt dus met andere woorden aangenomen dat er binnen één maand tijdens elke regendag evenveel regen valt. Daarna wordt de neerslaghoeveelheid per dag vermenigvuldigd met de afwateringsoppervlakte van hemelwater.

Ten tweede wordt de maandelijkse kanaalwatervraag berekend. De maandelijkse kanaalwatervraag wordt berekend op basis van de teller op de site. Uit Tabel 12 volgt dat de gemeten waarden hoger zijn dan op de factuur. Dit wil zeggen dat als er voldoende buffering is om aan de watervraag uit de teller te voldoen, dan is er automatisch genoeg buffering om aan de watervraag van de factuur te voldoen. Om fluctuaties in de watervraag af te vlakken, wordt het gemiddelde berekend over drie jaar. Vervolgens wordt voor ieder percentage hemelwater, dat gemengd wordt met kanaalwater, de nieuwe jaarlijkse watervraag berekend met de methode uit 4.4.2. Er wordt aangenomen dat de verhouding van de maandelijkse watervraag tot het jaarlijks totaal hetzelfde blijft. Het gevolg is dat met deze verhouding en de nieuwe jaarlijkse watervraag, de maandelijkse watervraag berekend kan worden. Verder wordt er ook aangenomen dat de dagelijkse watervraag constant is voor een volledige maand. Dit wil zeggen dat de maandelijkse watervraag gedeeld wordt door het aantal dagen in de maand, om zo de dagelijkse watervraag te bekomen.

Ten derde, worden twee *cases* opgesteld om het benodigde buffervolume te berekenen, een *worst case* en een *best case* scenario. In het *worst case* scenario wordt er aangenomen dat de regendagen elkaar opvolgen. In het *best case* scenario wordt er vanuit gegaan dat de regendagen verspreid zijn over de maand. Tussen de opeenvolgende regendagen zitten er bij deze *case* maximaal 3 dagen. De optimale grootte van het bufferbekken zal zich in werkelijkheid ergens tussen de twee scenario's bevinden. De nodige hoeveelheid hemelwater per dag wordt berekend door het percentage hemelwater te vermenigvuldigen met de dagelijkse kanaalwatervraag. De dagelijkse beschikbaarheid op regendagen wordt berekend door de som te nemen van de regenval en de hoeveelheid in het bufferbekken. Op droge dagen wordt de beschikbaarheid van hemelwater gelijk genomen aan de hoeveelheid water in het bufferbekken. Tenslotte wordt de overschot of het tekort berekend door het verschil te nemen tussen het beschikbaar hemelwater en de nodige hoeveelheid. Bij deze laatste berekening dient er rekening gehouden te worden met de capaciteit van het bufferbekken, hier kan namelijk niet boven gegaan worden. Het overschot of tekort is dan

ook niets anders dan de verwachte hoeveelheid water in het bufferbekken. De methode wordt schematisch weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14: Schematische weergave berekening buffervolume

Het buffervolume wordt in beide scenario's steeds aangepast totdat er in geen enkele maand nog tekorten zijn. Een belangrijke opmerking is, dat er in januari gestart wordt met een leeg bufferbekken. Daarna wordt het volume in het bufferbekken, op de laatste dag van iedere maand, gewoon meegenomen naar de volgende maand.

Nadien worden de parameters van de gemengde waterstroom berekend. De gemengde stroom bestaat uit een combinatie van hemelwater en kanaalwater, die in een bepaalde verhouding worden gemengd. Alle parameters van de gemengde waterstroom worden berekend met behulp van een verdunningsregel behalve de pH, deze wordt berekend door een template. De parameters van het kanaalwater worden overgenomen uit Tabel 11 en deze worden gecombineerd met de parameters van de drie hemelwaterstalen. De parameters van de gemengde waterstroom worden dan vervolgens vergeleken met de limieten voor het suppletiewater. Indien bepaalde parameters buiten de limieten vallen, dan dient deze waterstroom in een eerder stadium gezuiverd te worden. Bij het kiezen van de zuiveringstechnieken is het de bedoeling dat specifiek de parameters die buiten de limieten van het suppletiewater vallen worden aangepakt. De zuiveringstechnieken kunnen worden toegepast op de herbruikbare stroom alleen of op de gemengde stroom.

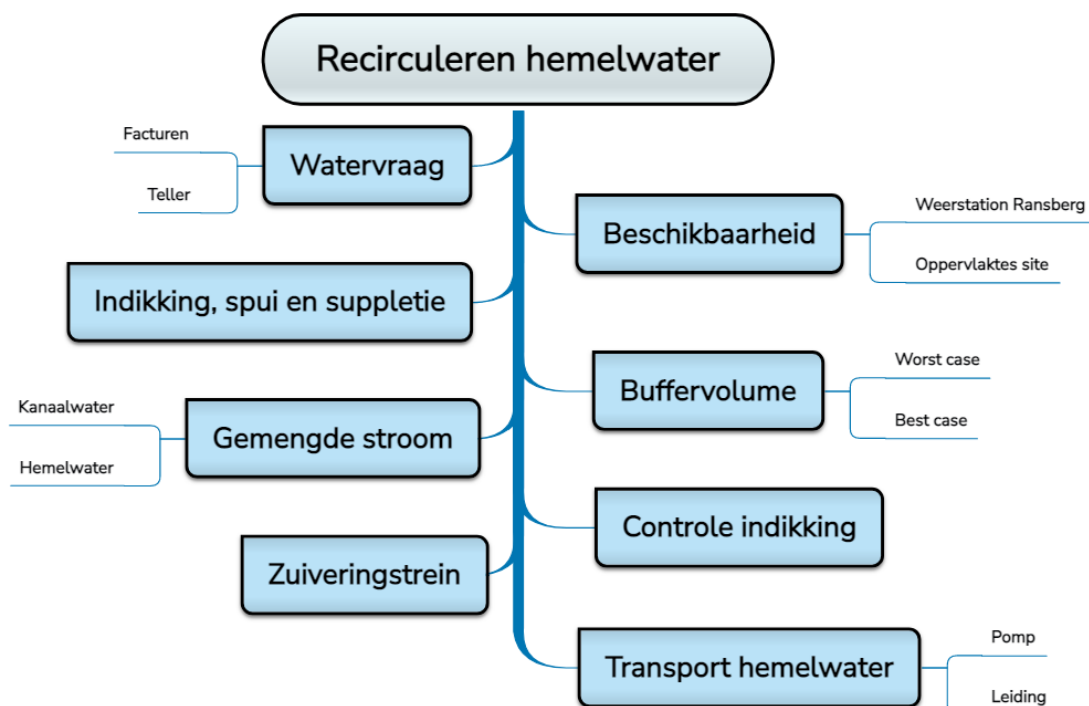
Verder wordt er voor ieder percentage hemelwater nagekeken of de indikking voor problemen zorgt in het koelwatersysteem. Dit wordt gedaan door de gemengde stroom met de hoogste geleidbaarheid en calciumhardheid te vermenigvuldigen met de indikking die bij het percentage hemelwater hoort. Vervolgens worden de berekende waarden vergeleken met de limieten die voor het koelwaterbekken vereist zijn.

Het opstellen van een mogelijke zuiveringstrein voor hemelwater gebeurt op basis van technische besprekingen. Daarnaast zijn er ook pompen en leidingen nodig om het water tot op de gewenste bestemming te brengen. Het bedrijf heeft reeds een leiding voor het hergebruik van hemelwater aangelegd richting het koelsysteem. Het type en de exacte ligging van deze leiding, worden onderzocht in deze studie. De lengte van de reeds aanwezige leiding wordt afgeleid uit het grondplan van de site. De overige afstand tot het koelsysteem wordt opgemeten via het grondplan, hierbij wordt er rondom bestaande installaties gemeten. Daarnaast zijn er voor het recirculeren van water ook pompen nodig.

Twee belangrijke parameters voor een pomp zijn het debiet  $Q$  en de opvoerhoogte  $H$ . Het benodigde debiet wordt geschat op basis van de hoogste, dagelijkse hemelwatervraag. Vervolgens kan de benodigde pompdruk gesimuleerd worden met het programma FluidFlow, versie 3.32 [64]. De drukval over de filters wordt hierbij in rekening gebracht. De drukval over een uv-systeem wordt buiten beschouwing gelaten. FluidFlow berekent de pompdruk in *bar*. Het verband tussen druk en opvoerhoogte wordt gegeven door formule (6) [65].

$$H (m) = P (bar) * 10,1972 \quad (6)$$

Figuur 15 toont een schematische weergave van de doorlopen stappen voor het recirculeren van hemelwater.



Figuur 15: Stappenplan voor het recirculeren van hemelwater

### 3.4.2 Recirculeren procesafvalwater

Voor het recirculeren van procesafvalwater wordt bijna alles op dezelfde manier gedaan als bij het hemelwater, er is echter wel een belangrijk verschil. De beschikbaarheid van het procesafvalwater wordt gemeten door het bedrijf en dus dienen deze waarden enkel opgevraagd te worden. In tegenstelling tot bij het hemelwater komt er hier dus geen berekening aan te pas. Daarnaast wordt ook de ont koppeling van het rioleringsstelsel voor potentieel herbruikbare waterstromen onderzocht.

## 3.5 Opbrengsten

In deze studie worden de opbrengsten in verband met de recirculatie van hemelwater berekend. Zowel de besparing op de aankoop- als op de lozingskosten van kanaalwater worden getoond.





## 4 Resultaten & Discussie

---

### 4.1 Waterbalans

De waterbalans is opgenomen in de bijlagen als bijlage A. Uit de waterbalans volgt dat het bedrijf momenteel erg afhankelijk is van de aanvoer van kanaalwater. Er werd in het jaar 2021,  $83.236 \text{ m}^3$  kanaalwater aangekocht van een naburig bedrijf. Eerder in deze studie is een open recirculerend koelsysteem uitgelegd aan de hand van Figuur 5. In zo een systeem treden heel wat verliezen op en dit wordt ook bevestigd door de waterbalans. Ongeveer 70% van het suppletiewater gaat verloren en komt terecht in de atmosfeer door verdamping of spatverliezen. Om accumulatie van verontreinigingen in het koelwaterbekken te voorkomen, dient regelmatig gespuid te worden. De gespuide waterstroom wordt omwille van de aanwezige verontreinigingen afgevoerd naar één van de proceswaterbekkens.

De tweede waterstroom die Chevron Phillips Chemicals in Tessenderlo aankoopt is gedemineraliseerd water. De aangekochte hoeveelheid is opgezocht in de facturen van het bedrijf en bedraagt  $19.869 \text{ m}^3$ , dit is slechts 24% van de hoeveelheid aangekocht kanaalwater. Het gedemineraliseerd water wordt hoofdzakelijk gebruikt als suppletie voor het ketelvoedingswater. Eerder is reeds geschreven dat 90% van het gebruikt stoom gerecirculeerd wordt als condensaat. De gerecirculeerde stroom is niet zichtbaar in de waterbalans, daarom wordt hier nog eens expliciet naar verwezen. Het meeste water gaat, net zoals bij het kanaalwater, verloren en komt ook terecht in de atmosfeer. Het demin water is zo zuiver dat er slechts een kleine hoeveelheid dient gespuid te worden, het gaat hier om 0,2% van het suppletiewater voor de stoomketel.

De derde waterstroom, het hemelwater, kan gezien worden als gratis water. Het hemelwater dat op een verhard oppervlak valt wordt door het bedrijf gecollecteerd in twee gescheiden rioleringsstelsels, namelijk het proces- en hemelwaterriool. Ongeveer 67% van het water dat op verharde oppervlakken valt wordt afgevoerd naar het hemelwaterriool. Het water stroomt door het rioleringsstelsel naar het hemelwaterbekken, dit is een bufferbekken van waaruit geloosd wordt naar een infiltratiebekken. Aangezien het bufferbekken wordt blootgesteld aan de atmosfeer, verdampt een deel van het water dat binnenkomt. De hoeveelheid water dat verdampt is moeilijk te berekenen, omdat dit afhangt van periode afhankelijke parameters. De verdamping wordt namelijk berekend met behulp van:

- windsnelheid,
- buitentemperatuur,
- luchtvochtigheid,
- aantal zonuren per dag [66].

De verdamping wordt in deze studie verder buiten beschouwing gelaten. Het water dat wordt gecollecteerd in het proceswaterriool komt terecht in de proceswaterbekkens van waaruit geloosd wordt naar de openbare riolering. Ook de verdamping in de proceswaterbekkens wordt buiten beschouwing gelaten. Verder is de site in Tessenderlo niet volledig verhard en bijgevolg valt er ook water op onverharde oppervlakken. Met deze waterstroom wordt niets gedaan door het bedrijf en het water kan dus zonder problemen infiltreren in de bodem.

Het stadswater is slechts een kleine hoeveelheid vergeleken met de andere drie waterstromen. Het aangekochte stadswater wordt bijna volledig gebruikt als drinkwater en voor sanitaire doeleinden.

In de waterbalans lijkt het alsof er een fout is opgenomen. De hoeveelheid water die geloosd wordt via de meetgoot naar het gemeentelijk riool is groter dan de hoeveelheid water dat binnenkomt in de proceswaterbekkens. Het verschil tussen deze waarden bedraagt 16.008  $m^3$ , dit is 29,5% ten opzichte van de gemeten 54.174  $m^3$ . Een reden hiervoor is dat een aantal waterstromen in de waterbalans slechts schattingen zijn. Geschatte waterstromen zijn:

- terugspoeling zandfilter;
- terugspoeling *side stream filter*;
- spui stoomketels;
- nooddouches;
- druk- en lektsten.

Op deze schattingen zitten natuurlijk fouten ten opzichte van de werkelijkheid. Aangezien de hoeveelheid in het proceswaterbekken berekend is als de som van alle inkomende stromen, is er ook een optelsom gemaakt van de fouten op voorgaande berekeningen. De hoeveelheid water die geloosd wordt via een meetgoot, is daarentegen gemeten door een debietmeter. Bijgevolg dient bij deze waterstroom enkel rekening gehouden te worden met een eventuele meetfout. In het vervolg van deze studie wordt gewerkt met de gemeten waarden, omdat wordt aangenomen dat deze het meest nauwkeurig zijn.

Het aangekocht kanaalwater is de grootste waterstroom op de site, bijgevolg zal het recirculeren van een kleine waterstroom het gebruik van kanaalwater nauwelijks reduceren. Een eerste eigenschap dat een potentieel herbruikbare stroom moet bezitten, is dat het een voldoende grote waterstroom moet zijn. Er wordt voor gekozen om geen aandacht te schenken aan stromen kleiner dan 30.000  $m^3$ . Er blijven dan nog drie potentieel herbruikbare waterstromen over:

- water in proceswaterbekkens;
- water in hemelwaterbekken;
- regenwater dat op onverharde oppervlakken valt.

Het water dat op onverharde oppervlakken valt, wordt door het bedrijf niet opgevangen en is dus bijgevolg ook onbruikbaar. Er blijven dus nog twee waterstromen over waarvoor de mogelijkheid tot hergebruik verder onderzocht wordt in deze studie.

## 4.2 Omgevingsvergunning

De bijzondere voorwaarden van het bedrijf zijn teruggevonden in de huidige omgevingsvergunning. Hier dient vooral rekening mee gehouden te worden indien zuiveringstechnieken gekozen worden die een extra afvalstroom creëren zoals bijvoorbeeld een membraanfiltratie. Dergelijke technieken zorgen namelijk voor een opconcentratie van onzuiverheden, die teruggestuurd worden naar de proceswaterbekkens.

Daarnaast is er ook telefonisch contact opgenomen met de VMM in verband met het infiltratiebekken. In de omgevingsvergunning staat geen minimum hoeveelheid water vermeld, dat naar het infiltratiebekken moet worden afgevoerd. De regelgeving bepaalt

namelijk dat hergebruik van water binnen het bedrijf een hogere prioriteit heeft dan infiltratie. Uit wettelijk standpunt mag dus al het opgevangen hemelwater hergebruikt worden als suppletiewater voor de koeltoren.

### 4.3 Parameters

Zoals in de methode vermeld, zijn er slechts drie stalen genomen van het hemel- en procesafvalwater. Van het ongefilterd kanaalwater is er slechts één staal genomen. Bijgevolg zijn de resultaten die volgen uit de algemene analyses van deze waterstromen slechts momentopnames.

#### 4.3.1 Suppletiewater koeltoren

De gemiddelde, berekende waarden voor de parameters van het suppletiewater van de koeltoren worden weergegeven in Tabel 5. Voorlopig wordt er op de site kanaalwater gebruikt als suppletiewater voor de koeltoren. Het gevolg is dat de parameters in de tabel, gemiddelde waarden zijn voor de kanaalwaterkwaliteit. De limieten uit Tabel 5 werden samen met de analyseverslagen bezorgd door de koeltorenbeheerder.

Tabel 5: Limieten en gemiddelden suppletiewater koeltoren

Parameters	Eenheden	Limieten	Gemiddelde	Standaarddeviatie
pH	-	7,5 - 8,5	8,1	0,1
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	0	0
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	80 - 200	141	20
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	<700	473	49
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	202	28
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	100 - 200	171	25
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	31,8	6
Koper (als Cu)	ppm	<0,3	<0,01	-
Ijzer (als Fe)	ppm	<1,0	0,8	1,4
Ijzer, opgelost (als Fe)	ppm	<0,5	<0,02	-
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	<1	-	-
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	-	0,286	0,087
Chloride (als Cl)	mg/L	<100	40	10
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	<75	-	-

Elke waterstroom die als suppletiewater het koelsysteem binnenkomt moet voldoen aan de limieten uit Tabel 5. Dit is essentieel, omdat de installaties uit het koelsysteem dan het best beschermd zijn tegen een aantal fenomenen die reeds besproken zijn in de literatuurstudie.

De pH van het koelwater is liefst licht alkalisch, omdat er dan minder corrosie optreedt dan bij een lagere pH. Een tweede reden hiervoor is dat de hoeveelheid zwavelzuur die gedoseerd wordt, beperkt blijft bij een hogere pH. Een laatste voordeel is dat de pH hier beter gecontroleerd kan worden. Een belangrijk nadeel van het werken bij hogere pH is dat er sneller afzettingen gevormd worden. Dit probleem kan op zijn beurt weer opgelost worden door een geschikt behandelingsprogramma toe te passen op het koelwater. Het bedrijf doseert daarom polymeren en fosfonaten als inhibitoren tegen afzettingen en corrosie.

Een ander probleem dat zich stelt is biologische groei, dit wordt in de hand gewerkt door het gebruik van een open recirculerend koelsysteem. Biologische groei verstoort de werking van de inhibitoren, daarom doet het bedrijf bijkomend nog een desinfectie in het koelwaterbekken [67].

Verder dient ook de hardheid beperkt te worden, omdat anders de kans op afzettingen vergroot. Het is dus zaak om de geleidbaarheid, meer specifiek de concentraties aan calcium en magnesium, laag te houden omdat deze stoffen slecht oplosbare verbindingen vormen in water met carbonaten, sulfaten et cetera [67].

De verbindingen die geen afzettingen vormen, zoals ijzer en koper, hebben een andere storende werking. Deze vaste deeltjes kunnen gaan bezinken indien de stroomsnelheid van het water te laag is. Het bezinksel vermindert het rendement van bijvoorbeeld warmtewisselaars [67].

Tenslotte moet de concentraties aan chlorides en sulfaten laag gehouden worden. Hoge chlorideconcentraties verhogen de corrosiesnelheid en verlagen bijgevolg de levensduur van installaties. Sulfaten vormen daarentegen calciumsulfaat. Deze verbinding is slecht oplosbaar in water en kan zich gaan afzetten in leidingen of installaties, waardoor opnieuw rendementsverlies optreedt [67].

#### 4.3.2 Hemelwaterbekken

De waarden die volgen uit de algemene analyses van het hemelwaterbekken worden getoond in Tabel 6. De limieten in Tabel 6 zijn opnieuw opgegeven door de koeltorenbeheerder. De limieten gelden na filtratie en desinfectie van het hemelwater.

Tabel 6: Parameters algemene analyses hemelwaterbekken

Parameters	Eenheden	Limieten	Waarden 28/03	Waarden 19/04	Waarden 09/05
pH	-	7,0 - 8,5	8,4	7,6	7,5
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	1	0	0
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	50 - 200	97	71	107
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	<700	359	319	307
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	124	79,7	98,3
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	50 - 200	114	71,2	90,6
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	10,4	8,52	7,7
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	<1,0	0,32	0,28	0,89
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	<1,0	0,21	0,159	0,509
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	<0,2	<0,03	<0,03	0,138
Chloride (als Cl)	mg/L	<50	28	25	18
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	<75	47	32	23

Voor het eerste staal is de pH van het hemelwater licht hoger dan die van de twee andere stalen. Dit is in conflict met de normale regenwaterkwaliteit, de pH van regenwater is in normale gevallen namelijk licht zuur. André et al. schrijft over een gemiddelde pH van 5,2 gemeten in een landelijke omgeving dichtbij Chimay. Daarnaast is het regenwater in 25% van de gevallen alkalisch, wat wil zeggen dat de pH > 5,8 [68].

De alkaliteit blijft min of meer constant over de stalen heen. Het eerste staal heeft wel een verhoogde geleidbaarheid ten opzichte van de overige stalen. Dit wil zeggen dat er meer opgeloste ionen in het water van het eerste staal aanwezig waren [19]. Over het algemeen heeft hemelwater een lage geleidbaarheid. Regenwater is in theorie ook niets anders dan verdampt water uit oppervlaktewateren en kan daardoor vergeleken worden met gedestilleerd water. Het verdampt water condenseert in de lucht tot wolken en wordt door de atmosfeer landinwaarts gestuurd. Vervolgens verliezen wolken door de zwaartekracht water, dit water wordt regen genoemd. Neerslag zorgt voor een verlaging van geleidbaarheid en zoutgehalte indien het terecht komt in oppervlaktewateren [69], [70].

Het eerste staal heeft de hoogste waarde voor de hardheid, een verklaring hiervoor is dat dit water de hoogste concentratie aan meervoudig geladen metaalionen bevatte. Deze conclusie wordt bevestigd doordat de concentraties voor magnesium en calcium in het eerste staal inderdaad het hoogste waren [20].

De chemische parameters van het hemelwater vallen allemaal binnen de opgegeven limieten. Dit betekent dat er geen zuiveringstechnieken voorzien moeten worden om bepaalde parameters binnen de limieten te brengen.

Bij de twee laatste stalen zijn nog een aantal extra parameters geanalyseerd, deze worden weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Extra parameters hemelwaterbekken

Parameters	Eenheden	Limieten	Waarden 19/04	Waarden 09/05
COD, totaal	ppm	<50	32	31
Koper, totaal (als Cu)	ppm	<0,3	<0,01	<0,01
Mangaan, totaal (als Mn)	ppm	-	0,05	0,24
Kalium, totaal (als K)	ppm	-	9,82	7,1
Siliciumdioxide (als SiO <sub>2</sub> )	ppm	<5	1,45	2,46
Natrium, totaal (als Na)	ppm	-	22,8	14,3
Zink, totaal (als Zn)	ppm	<0,1	0,03	0,06
Ijzer, opgelost (als Fe)	ppm	<0,5	<0,02	<0,02
Totale zwevende deeltjes	ppm	<10	57	16
TPC dipslide	CFU/mL	<1000	10000	-

Over het algemeen zijn de waarden voor de verschillende parameters acceptabel voor het koelwatersysteem. Enkel de laatste twee parameters vallen buiten de opgegeven limieten, waardoor ze later in het koelsysteem voor problemen kunnen zorgen. De concentratie aan zwevende deeltjes is hoog en deze kunnen later in het koelwatersysteem gaan bezinken. Bijgevolg dienen deze deeltjes verwijderd te worden in een zuiveringsstap.

De *total plate count* (TPC) *dipslide* geeft de limietwaarde voor koelwatersystemen aan, namelijk 10.000 CFU/ml. Dit wil niet meteen zeggen dat er een hoge microbiële activiteit is, maar wel dat er effectief micro-organismen aanwezig zijn. Ook dit is dus een parameter om rekening mee te houden bij het kiezen van zuiveringstechnieken voor hemelwater. Figuur 16 toont de helderheid van het hemelwater.



Figuur 16: Uitzicht staal hemelwaterbekken 09/05 a) Voorkant b) Achterkant

Ten opzichte van de gemiddelde parameters van het kanaalwater, in Tabel 5, heeft hemelwater een lage geleidbaarheid, M-alkaliteit en hardheid. De lage waarden voor de alkaliteit en hardheid impliceren dat regenwater corrosieve eigenschappen heeft [71]. De analyses van het hemelwaterbekken zijn reeds opgenomen in deze studie in Tabel 6 en Tabel 7. Of het hemelwater al dan niet corrosief is, is onderzocht door de Langelier Index te berekenen. De resultaten worden weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8: Resultaten Langelier Index [23]

	LSI
Staal 1	+0,52
Staal 2	-0,62
Staal 3	-0,43

De drie stalen van het hemelwaterbekken leveren verschillende resultaten op voor de Langelier Index. Uit staal 1 blijkt dat het hemelwater afzettingen kan vormen, doordat de LSI +0,52 bedraagt. Uit de overige twee stalen blijkt dat het hemelwater eerder corrosief is door een negatieve LSI. Echter ligt de waarde voor het laatste staal nog tussen de aanvaardbare grenzen van -0,5 en +0,5 [24]. Door de tegenstrijdige resultaten kan Chevron Phillips Chemicals beter nog een aantal stalen laten nemen van het hemelwaterbekken. Op basis van meer stalen, kan een duidelijke conclusie getrokken worden over de al dan niet corrosieve eigenschappen van hemelwater.

### 4.3.3 Proceswaterbekken

De resultaten die volgen uit de algemene analyse van proceswaterbekken I worden weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Parameters algemene analyses proceswaterbekken I

Parameters	Eenheden	Waarden 28/03	Waarden 19/04	Waarden 09/05
pH	-	7,3	8,6	7,7
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	0	32	0
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	191	312	166
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	666	1330	1040
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	256	364	375
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	222	305	322
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	34,1	58,9	53,1
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	2,18	0,78	0,55
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	2,36	2,39	2,35
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,203	<0,03	0,631
Chloride (als Cl)	mg/L	82	67,7	64
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	62	215	227

De parameters, die gemeten zijn in het proceswaterbekken, fluctueren heel erg. Een verklaring hiervoor is dat er zeven verschillende waterstromen met verschillende samenstellingen worden afgevoerd naar het bekken. Deze waterstromen zijn vaak erg geconcentreerd, zo bevat het bekken gespuid water en reinigingswater van de filters. Indien dergelijke stromen in een andere verhouding in het proceswaterbekken terechtkomen, verandert de volledige samenstelling van het water. De parameters van het tweede staal verschillen van de andere twee stalen doordat in die week een spoeling plaatsvond van een apparaat met alkalisch absorptiemiddel. In normale omstandigheden wordt deze afvalstroom nooit verkregen en bijgevolg ook niet geloosd.

Er is een groot verschil tussen de opgemeten pH-waarden in het bekken. Er kan dus geconcludeerd worden dat de waterkwaliteit op enkele weken tijd veranderd is. Verder heeft het procesafvalwater een hoge geleidbaarheid, dat wijst op de aanwezigheid van opgeloste vaste stoffen. Ook zijn er hoge, totale fosfaatconcentraties opgemeten in combinatie met lage concentraties aan orthofosfaat. Een verklaring hiervoor is dat er in het koelwaterbekken fosfonaten worden gedoseerd als inhibitoren. Deze verbindingen zijn ook fosforhoudend. De fosfonaten komen via de spui van het koelwaterbekken terecht in het proceswaterbekken. Als laatste bevinden zich in het bekken ook hoge concentraties aan ijzer. Een mogelijke verklaring hiervoor is het zandstralen van stalen pijpcomponenten. In de zomer kan dit twee tot drie keer per week gebeuren om de roest te verwijderen. Meestal wordt het afval opgeruimd, tenzij veel pijpen in dezelfde omgeving worden gezandstraald. In dat geval blijft het afval enkele dagen liggen. Hierdoor kan regenwater op de site ijzerdeeltjes meesleuren bij de afwatering naar het proceswaterbekken. Voor het tweede staal zijn er lage ijzerconcentraties opgemeten, dit bewijst nog maar eens dat kwaliteit van het bekken erg wisselvallig is.



Ook hier zijn er extra analyses gebeurd tijdens de tweede en derde staalname, de parameters en waarden worden weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Extra parameters proceswaterbekken I

Parameters	Eenheden	Waarden 19/04	Waarden 09/05
COD, totaal	ppm	205	39,2
Koper, totaal (als Cu)	ppm	0,01	<0,01
Mangaan, totaal (als Mn)	ppm	0,04	0,09
Kalium, totaal (als K)	ppm	122	9,44
Siliciumdioxide (als SiO <sub>2</sub> )	ppm	11,8	5,75
Natrium, totaal (als Na)	ppm	61,9	52,6
Zink, totaal (als Zn)	ppm	0,12	0,36
Ijzer, opgelost (als Fe)	ppm	0,08	0,057
Totale zwevende deeltjes	ppm	130	16
TPC dipslide	CFU/mL	10000	-

In het proceswaterbekken worden hoge COD-waarden opgemeten. Verder zijn de hoge concentraties voor natrium en kalium, in het staal van 19/04, te verklaren doordat deze veelvuldig aanwezig waren in de afvalstroom die toen geloosd is. Ook wordt in het proceswaterbekken een hoge concentratie aan zwevende deeltjes gemeten. De reden hiervoor is dat het water dat gebruikt wordt voor het terugspoelen van de filters, alle opgevangen zwevende stoffen meebrengt tot in het bekken. Figuur 17 toont de helderheid van het procesafvalwater.



Figuur 17: Uitzicht staal proceswaterbekken I 09/05 a) Voorkant b) Achterkant

#### 4.3.4 Ongefilterd kanaalwater

Tabel 11 toont de resultaten die voortkomen uit de algemene analyse van het ongefilterd kanaalwater.

Tabel 11: Parameters algemene analyse ongefilterd kanaalwater

Parameters	Eenheden	Waarden 11/04
pH	-	8,2
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	0
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	180
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	517
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	233
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	203
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	30,2
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,63
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,24
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,176
Chloride (als Cl)	mg/L	31
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	43
Totale zwevende deeltjes	ppm	8

De pH van het ongefilterd kanaalwater is licht alkalisch, maar blijft binnen de limieten die voor het suppletiewater van de koeltoren vereist zijn. Enkel de calciumhardheid is aan de hoge kant en valt nipt buiten de limieten. Een verklaring is dat de kwaliteit van het kanaalwater erg fluctueert doorheen het jaar en dit staal is slechts een momentopname. De kwaliteit van het suppletiewater daarentegen is berekend door van de wekelijkse analyses het gemiddelde te nemen voor iedere parameter. Door de vele waarden waarmee gerekend wordt, hebben uitschieters weinig invloed op het gemiddelde. Van het ongefilterd kanaalwater is een analyse van het zwevend materiaal en een kiemgetal bepaling niet meer nodig, aangezien de parameters van deze stroom reeds goed gekend zijn. Het kanaalwater wordt namelijk momenteel gebruikt als suppletiewater van de koeltoren.

#### 4.4 Recirculeren hemelwater

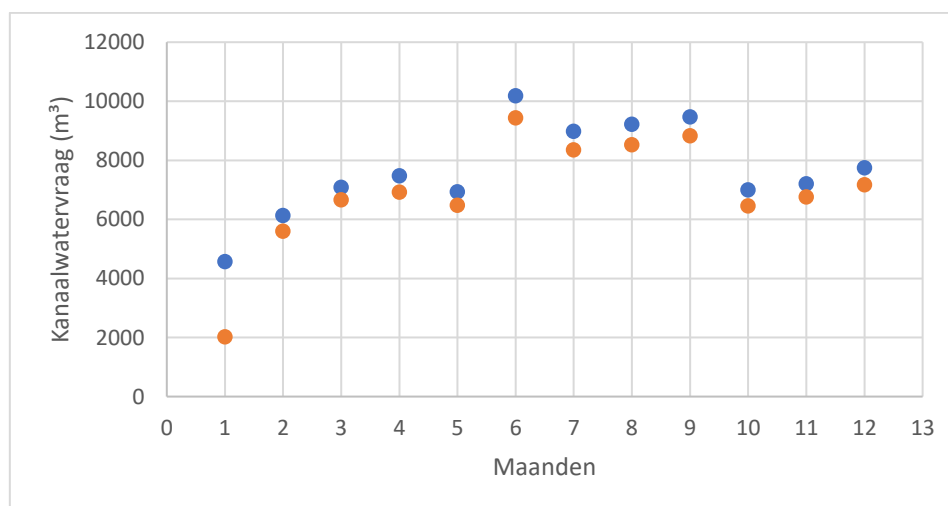
Zoals eerder vermeld, vormt de wet geen beperking bij het recirculeren van hemelwater aangezien hergebruik hoger in de rangorde staat dan infiltratie. In theorie zou het bedrijf dus de volledige waterhoeveelheid, die momenteel wordt geïnfiltreerd in de bufferzone, kunnen hergebruiken. Een hoofddoel van het bedrijf is echter om op een duurzamere manier om te gaan met het water op de site, dit is ook de reden dat een onderzoek is gestart naar mogelijk waterhergebruik. Het droogleggen van het natuurgebied is dus wat tegenstrijdig met het beoogde doel. Ook kan het verdwijnen van dit natuurgebied mogelijks negatieve reacties uitlokken bij omwonenden. Om die reden wordt hier alvast aangeraden om in conversatie te gaan met de betrokken natuurorganisaties om zo een minimumhoeveelheid af te spreken dat van het hemelwater geïnfiltreerd moet worden.

Een belangrijk gegeven dat eerst opgezocht is, is de huidige kanaalwatervraag. De maandelijkse kanaalwatervraag volgt uit facturen en een teller op de site. De watervraag wordt weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: Maandelijkse kanaalwatervraag in 2021 o.b.v. facturen en teller op de site

Maanden	Eenheden	Factuur	Teller
januari	m <sup>3</sup>	2027	4569
februari	m <sup>3</sup>	5601	6128
maart	m <sup>3</sup>	6659	7083
april	m <sup>3</sup>	6926	7479
mei	m <sup>3</sup>	6476	6930
juni	m <sup>3</sup>	9438	10187
juli	m <sup>3</sup>	8353	8982
augustus	m <sup>3</sup>	8530	9222
september	m <sup>3</sup>	8832	9474
oktober	m <sup>3</sup>	6457	6995
november	m <sup>3</sup>	6761	7208
december	m <sup>3</sup>	7176	7744
jaartotaal	m <sup>3</sup>	83236	92001

De waterhoeveelheden op de factuur wijken af van de gemeten waarden door de teller. Vooral in januari is er een groot verschil van ongeveer 2.500 m<sup>3</sup>, voor de andere maanden bedraagt de afwijking ± 500 m<sup>3</sup>. Een mogelijke verklaring kan zijn dat één van de tellers, die van het naburig bedrijf of die van Chevron Phillips Chemicals, opnieuw gekalibreerd moet worden. De waarden worden ook nog eens in grafiekvorm weergegeven in Figuur 18 om de leesbaarheid te verhogen.

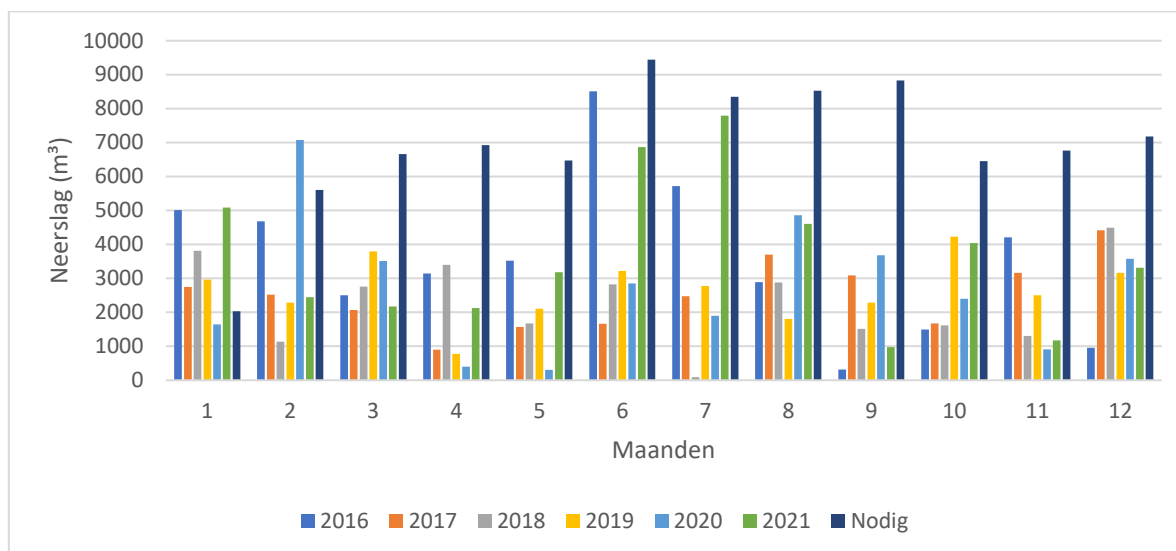


Figuur 18: Maandelijkse kanaalwatervraag o.b.v. teller en facturen

Uit Figuur 18 volgt dat er in de zomermaanden meer koelwater vereist is dan in de wintermaanden. Dit komt omdat in de zomermaanden de buitentemperatuur hoger is, waardoor er meer gekoeld moet worden.

#### 4.4.1 Beschikbaarheid

Figuur 19 toont de beschikbaarheid van hemelwater vanaf 2016 tot en met 2021, uitgedrukt in  $m^3$ , op de y-as. Op de x-as staan de verschillende maanden uitgezet. De donkerblauwe balkjes geven de hoeveelheid hemelwater weer dat nodig is om 100% van de aanvoer van kanaalwater uit 2021 te vervangen.

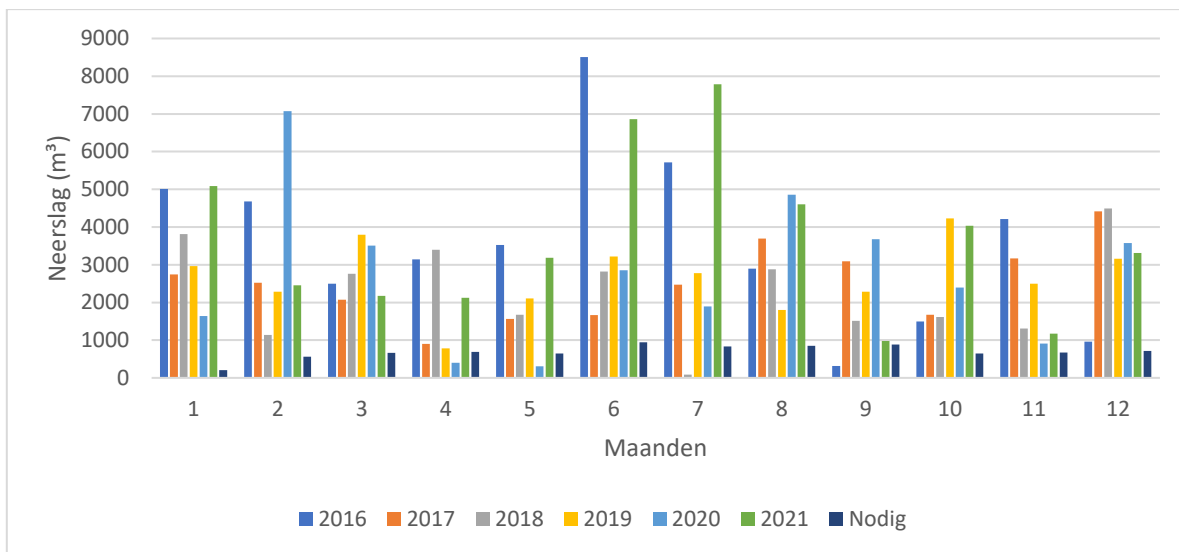


Figuur 19: Maandelijkse waterbeschikbaarheid en benodigde hoeveelheid hemelwater om 100% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen [60]

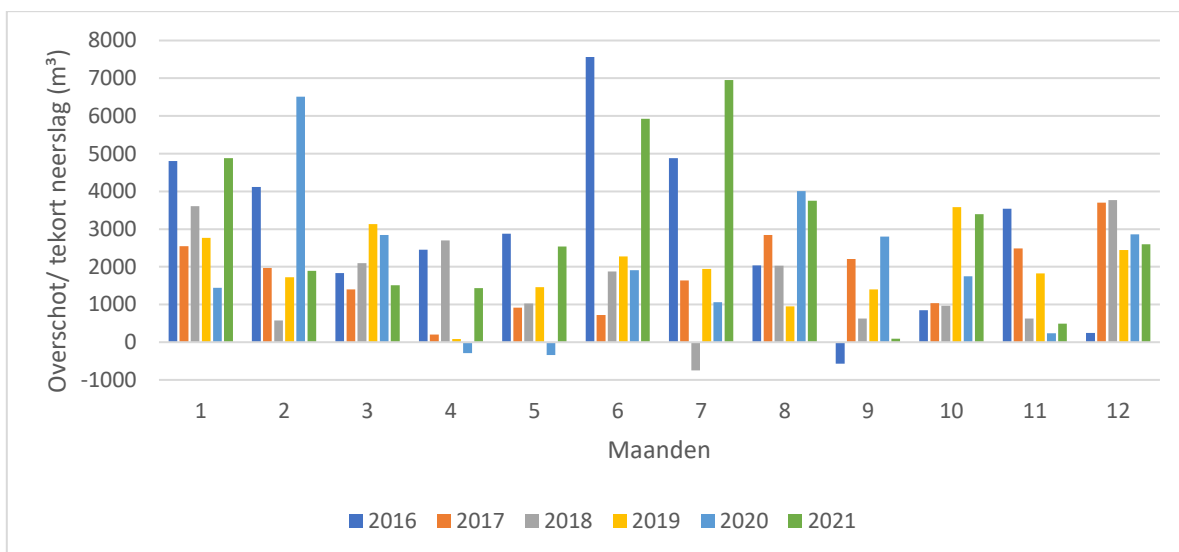
Wat meteen opvalt is dat er slechts in een aantal maanden voldaan wordt aan de watervraag. De conclusie is dat de hoeveelheid hemelwater apart, onvoldoende is om het aangevoerde kanaalwater volledig te vervangen. Om dit probleem te verhelpen wordt de gerecirculeerde waterstroom gemengd met het kanaalwater, zodat steeds aan de watervraag voldaan wordt. Op die manier wordt het bedrijf niet volledig onafhankelijk van kanaalwater, maar kan het watergebruik wel gereduceerd worden.

Verder is er onderzocht in welke maanden, van de afgelopen zes jaren, er voldoende neerslag is gevallen om in 10, 20, 30, 40 of 50% van de maandelijkse kanaalwatervraag van 2021 te voorzien. In deze studie worden de waterbeschikbaarheden besproken om in 10 en 40% van de kanaalwatervraag te voorzien. De grafieken van de overige percentages worden weergegeven in bijlage B.

De hemelwaterbeschikbaarheid en de hoeveelheid die nodig is om 10% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen, staan weergegeven in Figuur 20 en Figuur 21. De data die is uitgezet in deze figuren wordt ook in tabelvorm weergegeven in bijlage B.



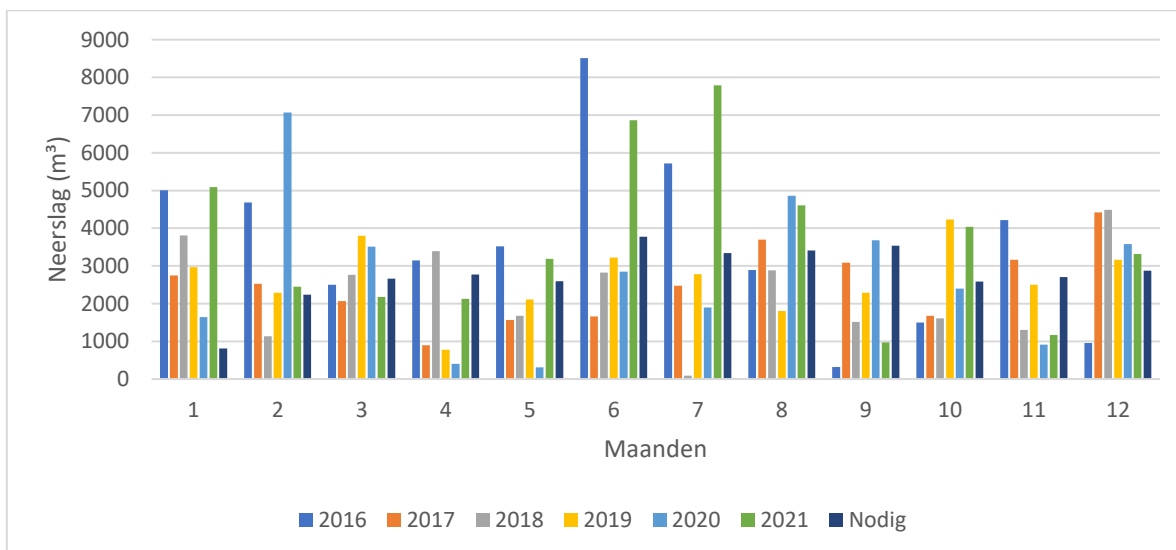
Figuur 20: Maandelijkse waterbeschikbaarheid en benodigde hoeveelheid hemelwater om 10% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen [60]



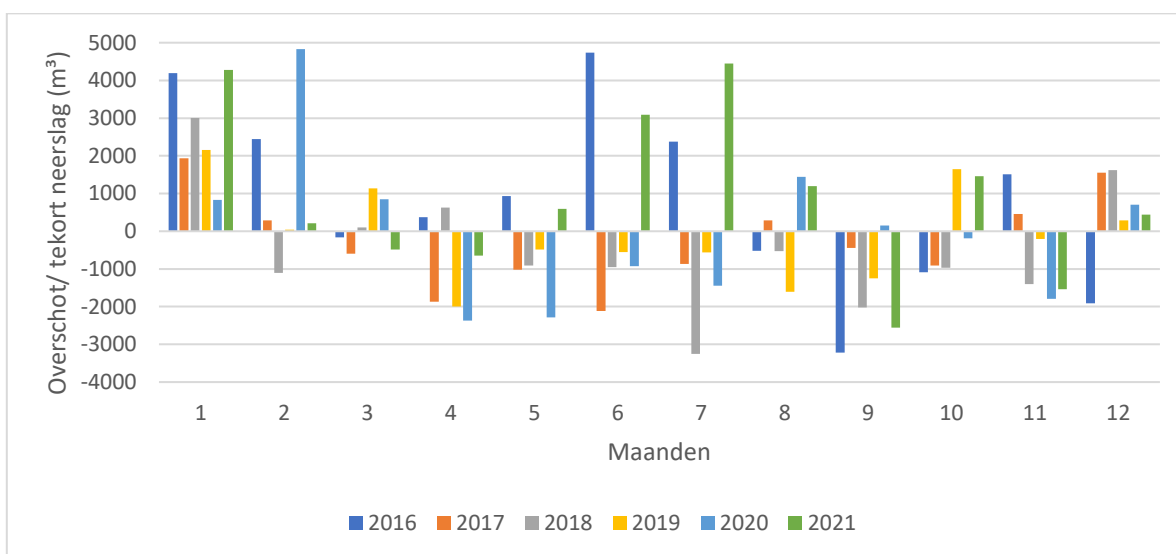
Figuur 21: Maandelijkse overschotten of tekorten als 10% van de huidige kanaalwateraanvoer wordt door hemelwater [60]

In Figuur 20 is het moeilijk om meteen vast te stellen hoeveel maanden er een watertekort was. Om die reden is Figuur 21 opgesteld. Figuur 21 toont de overschotten/ tekorten indien 10% van de watervraag wordt voorzien door hemelwater. Deze figuur is opgesteld door van alle beschikbare hoeveelheden uit Figuur 20, de nodige hoeveelheden af te trekken. Als de balkjes boven de nullijn komen dan is er in die maand een overschot aan hemelwater en deze overschot zou kunnen infiltreren in het infiltratiebekken. Als de balkjes onder de nullijn komen dan wil dit zeggen dat er te weinig hemelwater is om als suppletiewater voor de koeltorens te gebruiken. In dat geval moet dus weer meer kanaalwater aangekocht worden of een buffer worden voorzien om aan de watervraag te kunnen voldoen.

Figuur 21 toont dat in vier maanden, over een periode van zes jaar, een watertekort optreedt. Dit betekent met andere woorden dat er gedurende 72 maanden, 4 maanden onvoldoende hemelwater beschikbaar was om aan 10% van de watervraag te voldoen. Procentueel komt dit neer op 5,6% van de tijd. De maanden dat er zich tekorten voordoen zijn april, mei, juli en september. Figuur 22 geeft opnieuw de waterbeschikbaarheden en nodige hoeveelheid hemelwater weer. Figuur 23 toont de maandelijkse overschotten/ tekorten.



Figuur 22: Maandelijkse waterbeschikbaarheid en benodigde hoeveelheid hemelwater om 40% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen [60]



Figuur 23: Maandelijkse overschotten of tekorten als 40% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60]

De donkerblauwe balkjes in Figuur 22 zijn duidelijk hoger dan in Figuur 20, dit komt omdat hier het doel is om 40% van de watervraag op te vullen met hemelwater.

Figuur 23 toont dat er 37 balkjes onder de nullijn komen. Dit betekent praktisch dat er in 37 van de 72 maanden onvoldoende hemelwater beschikbaar was om in 40% van de watervraag te voorzien. Procentueel komt dit neer op 51,4% van de tijd. Om in deze maanden aan de

watervraag te kunnen voldoen moet dus opnieuw meer kanaalwater worden aangekocht of een buffer voorzien worden.

#### 4.4.2 Indikking, spui en suppletie

Uit formule (2) volgt dat de indikking berekend wordt als de verhouding van de calciumhardheid in het koelwaterbekken tot de calciumhardheid in het suppletiewater. Door het toevoegen van een bepaald percentage hemelwater aan kanaalwater, daalt de calciumhardheid van het suppletiewater. De calciumhardheid van hemelwater is namelijk lager dan die van kanaalwater, dit volgt uit Tabel 5 en Tabel 6. Bijgevolg neemt de indikking in het koelwaterbekken dus toe. Uit formule (3) volgt dat een verhoging van de indikking een verlaging van de spui veroorzaakt. Een verlaging van de spui heeft dan weer tot gevolg dat de suppletiehoeveelheid verlaagt, dit volgt uit formule (4). Bij het opstellen van de figuren voor de waterbeschikbaarheden is er nog geen rekening gehouden met een verhoging van de indikking en dus ook niet met een verandering in kanaalwatervraag. Verder in deze studie wordt hier wel rekening mee gehouden. De berekeningen voor spui, indikking en suppletie zijn gemaakt voor 10, 20, 30, 40 en 50% hemelwater. De resultaten worden weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13: Indikking, spui en suppletie voor verschillende percentages aan hemelwater

Percentage hemelwater	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Indikking C	3.5	3.7	3.8	4.0	4.3	4.5
Verdamping E (m <sup>3</sup> /jaar)	39343	39343	39343	39343	39343	39343
Spatverliezen W (m <sup>3</sup> /jaar)	0	0	0	0	0	0
Spui BD (m <sup>3</sup> /jaar)	15830	14822	13851	12913	12008	11134
Suppletie M.U. (m <sup>3</sup> /jaar)	55173	54165	53194	52256	51351	50477

Het percentage 0% geeft een benadering van de huidige toestand weer, waar de volledige jaarlijkse koelwatervraag wordt voorzien door kanaalwater. Het percentage 50% geeft de toestand weer waar hemelwater en kanaalwater in gelijke hoeveelheden worden toegevoegd als suppletiewater voor de koeltoren. De berekeningen voor 10% hemelwater worden getoond als voorbeeld.

De calciumhardheid in het koelwaterbekken bedraagt 596 ppm, dit is een gemiddelde waarde. Deze waarde is berekend door de gemiddelde hardheid te berekenen uit de wekelijkse analyseverslagen van het koelwaterbekken. De calciumhardheid van het hemelwater is het gemiddelde van de drie stalen uit Tabel 6 en bedraagt 92 ppm. De laatste hardheid is de gemiddelde hardheid van het kanaalwater, deze wordt overgenomen uit Tabel 5. De indikking, spui en suppletie zijn berekend met formules (2-4) [62].

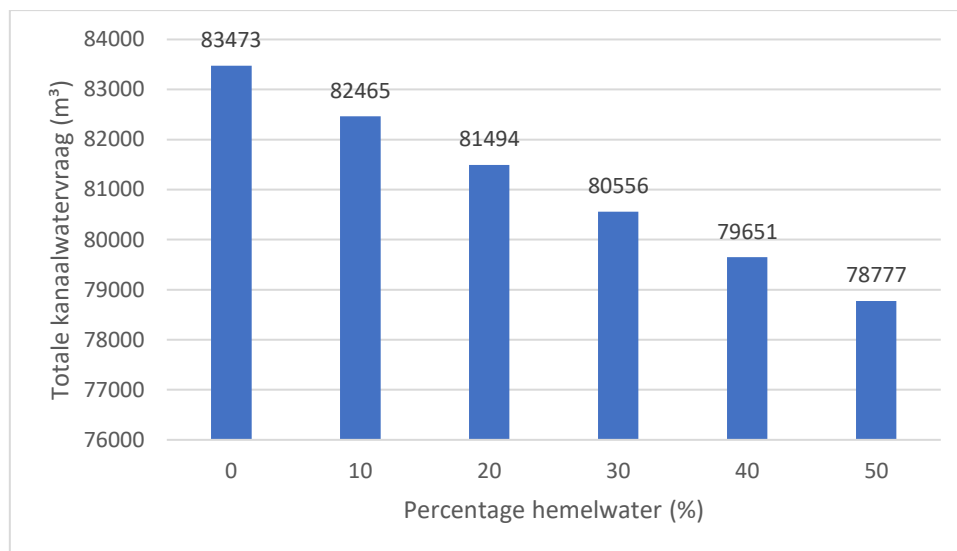
$$C = \frac{\text{calciumhardheid koeltoren}}{\text{calciumhardheid suppletie}} = \frac{596}{(0,9 * 171 + 0,1 * 92)} = 3.7$$

$$BD = \frac{E}{C - 1} - W = \frac{39343}{3,7 - 1} - 0 = 14822 \frac{m^3}{jaar}$$

$$M.U. = E + BD + W = 39343 + 14822 + 0 = 54165 \frac{m^3}{jaar}$$

De indikking neemt zoals verwacht toe, als het percentage aan hemelwater toeneemt. De spui en suppletie nemen daarentegen af, bij een toename van het percentage aan hemelwater.

Uit de berekende suppletiehoeveelheden is vervolgens de totale, jaarlijkse kanaalwaterhoeveelheid berekend. De hoeveelheid *industrial water* bedroeg in 2021 28.300 m<sup>3</sup>. Deze waarde is opgeteld bij de berekende suppleties die weergegeven staan in Tabel 13. De totale kanaalwatervraag voor ieder percentage hemelwater staat weergegeven in Figuur 24.



Figuur 24: Totale kanaalwatervraag op jaarbasis voor verschillende percentages hemelwater

Uit Figuur 24 volgt dat de totale kanaalwatervraag afneemt met een toenemend percentage hemelwater. De suppletie heeft hetzelfde verloop aangezien hier enkel een constante waarde is bijgeteld.

#### 4.4.3 Buffervolume

Tabel 14 geeft de gemiddelde hoeveelheid regendagen en neerslag weer, per maand, over een periode van 1991-2020. Daarnaast geeft de tabel ook de neerslaghoeveelheid weer die op regendagen wordt gecollecteerd in het hemelwaterriool op de site.



Tabel 14: Gemiddelde hoeveelheid neerslagdagen en neerslag tussen 1991-2020 [63]

Maanden	Neerslagdagen per maand	Neerslag per maand (mm)	Neerslag per dag (mm)	Neerslag per dag site (m <sup>3</sup> )
januari	18,9	75,5	4,0	201
februari	16,9	65,1	3,9	193
maart	15,7	59,3	3,8	190
april	13,1	46,7	3,6	179
mei	14,7	59,7	4,1	204
juni	14,1	70,8	5,0	252
juli	14,3	76,9	5,4	270
augustus	14,3	86,5	6,0	304
september	14,1	65,3	4,6	233
oktober	16,1	67,8	4,2	211
november	18,3	76,2	4,2	209
december	19,4	87,4	4,5	226

Uit Tabel 14 volgt dat in de wintermaanden de meeste neerslagdagen per maand voorkomen. In de zomer komen de minste neerslagdagen voor. Een andere conclusie is echter dat meer neerslagdagen in een maand niet meteen een hogere neerslaghoeveelheid oplevert. Zo viel gemiddeld in augustus meer neerslag dan in januari, terwijl er in augustus vier neerslagdagen minder waren.

Tabel 15 geeft de maandelijkse watervraag weer wanneer er enkel kanaalwater gebruikt wordt als suppletiewater voor de koeltoren. Er is ook een gemiddelde berekend over drie jaar om fluctuaties in de watervraag op te vangen. Het percentage in de laatste kolom is de verhouding van de gemiddelde maandelijkse vraag ten opzichte van het jaartotaal.

Tabel 15: Watervraag teller voor 100% kanaalwater

Maanden	Eenheden	2019	2020	2021	Gemiddelde	%
januari	m <sup>3</sup>	5135	4866	4569	4857	5,61
februari	m <sup>3</sup>	5970	4985	6128	5694	6,58
maart	m <sup>3</sup>	6630	5613	7083	6442	7,44
april	m <sup>3</sup>	7069	6743	7479	7097	8,20
mei	m <sup>3</sup>	7576	6273	6930	6926	8,00
juni	m <sup>3</sup>	8384	7789	10187	8787	10,15
juli	m <sup>3</sup>	10948	6086	8982	8672	10,02
augustus	m <sup>3</sup>	8967	9827	9222	9339	10,79
september	m <sup>3</sup>	9166	5533	9474	8058	9,31
oktober	m <sup>3</sup>	8003	8560	6995	7853	9,07
november	m <sup>3</sup>	5939	7445	7208	6864	7,93
december	m <sup>3</sup>	5637	4513	7744	5965	6,89
jaartotaal	m <sup>3</sup>	89424	78233	92001	86553	100

Zoals eerder vermeld, gaat de totale watervraag afnemen door een bepaald percentage kanaalwater te vervangen door hemelwater. De totale maandelijkse watervraag voor ieder percentage aan hemelwater wordt weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16: Totale maandelijkse watervraag voor X% hemelwater

Maanden	Eenheden	10%	20%	30%	40%	50%
januari	m <sup>3</sup>	4814	4757	4702	4649	4598
februari	m <sup>3</sup>	5644	5577	5513	5451	5391
maart	m <sup>3</sup>	6385	6310	6237	6167	6099
april	m <sup>3</sup>	7034	6951	6871	6794	6720
mei	m <sup>3</sup>	6865	6784	6706	6631	6558
juni	m <sup>3</sup>	8709	8606	8507	8412	8319
juli	m <sup>3</sup>	8595	8494	8396	8302	8211
augustus	m <sup>3</sup>	9256	9147	9042	8940	8842
september	m <sup>3</sup>	7986	7892	7801	7714	7629
oktober	m <sup>3</sup>	7783	7691	7603	7518	7435
november	m <sup>3</sup>	6803	6723	6646	6571	6499
december	m <sup>3</sup>	5912	5842	5775	5710	5647
jaartotaal	m <sup>3</sup>	85786	84775	83800	82859	81949

De berekening voor de watervraag in januari, voor 10% hemelwater, is als volgt:

$$\text{Watervraag} = \frac{5,61}{100} * 85.786 = 4.813 \text{ m}^3$$

Er is een minimaal verschil tussen deze berekende waarde en de waarde in de tabel, dit is het gevolg van afrondingen.

De dagelijkse watervraag voor een bepaald percentage hemelwater wordt weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17: Totale dagelijkse watervraag voor X% hemelwater

Maanden	Eenheden	10%	20%	30%	40%	50%
januari	m <sup>3</sup>	155	153	152	150	148
februari	m <sup>3</sup>	202	199	197	195	193
maart	m <sup>3</sup>	206	204	201	199	197
april	m <sup>3</sup>	234	232	229	226	224
mei	m <sup>3</sup>	221	219	216	214	212
juni	m <sup>3</sup>	290	287	284	280	277
juli	m <sup>3</sup>	277	274	271	268	265
augustus	m <sup>3</sup>	299	295	292	288	285
september	m <sup>3</sup>	266	263	260	257	254
oktober	m <sup>3</sup>	251	248	245	243	240
november	m <sup>3</sup>	227	224	222	219	217
december	m <sup>3</sup>	191	188	186	184	182

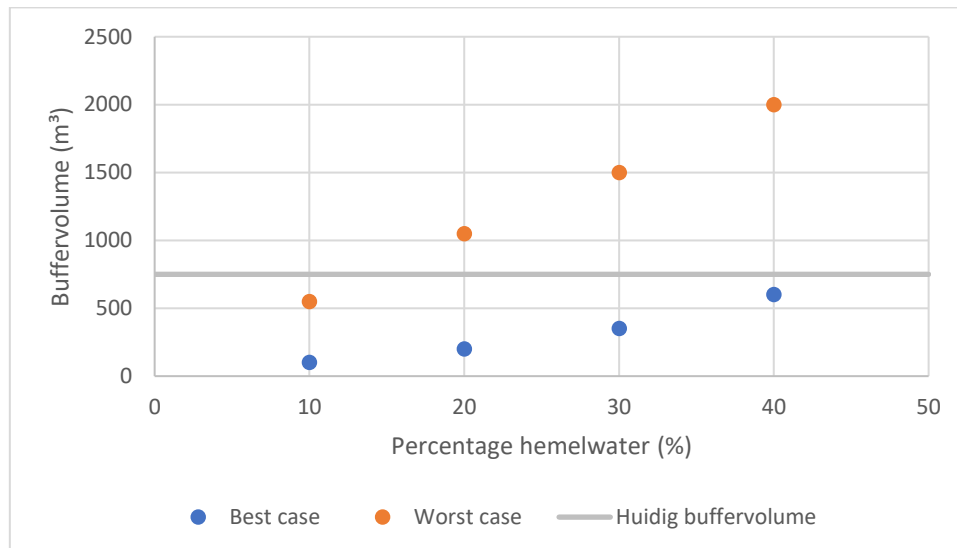
Opnieuw wordt de berekening van de dagelijkse watervraag in januari, voor 10% hemelwater, opgenomen in deze studie. Hierbij wordt aangenomen dat de dagelijkse watervraag voor een maand constant is.

$$\text{Watervraag} = \frac{4.814}{31} = 155 \text{ m}^3$$

Hieruit wordt de nodige hoeveelheid hemelwater berekend.

$$\text{Hemelwater} = 0,1 * 155 = 15,5 \text{ m}^3$$

De benodigde buffervolumes voor ieder percentage hemelwater worden weergegeven in Figuur 25.



Figuur 25: Buffervolume worst en best case scenario voor 10, 20, 30 en 40% hemelwater

In Figuur 25 zijn er per percentage hemelwater twee buffervolumes weergegeven. Eén buffervolume volgt uit het *best case* scenario en het andere volgt uit het *worst case* scenario. Verder is ook het buffervolume van het huidige hemelwaterbekken aangeduid op de figuur als een horizontale lijn. Het buffervolume bedraagt  $750 \text{ m}^3$ .

Uit Figuur 25 volgt dat de spreiding van regendagen in het *best case* scenario kleinere buffervolumes oplevert dan als de regendagen elkaar opvolgen. Voor 10% hemelwater blijkt het buffervolume van  $750 \text{ m}^3$  voldoende in beide scenario's. Dit wil zeggen dat er iedere dag 10% van het kanaalwater zonder problemen kan vervangen worden door hemelwater. Voor de overige percentages is het buffervolume in het *best case* scenario steeds kleiner dan  $750 \text{ m}^3$ . Het buffervolume dat nodig is in het *worst case* scenario is steeds groter dan  $750 \text{ m}^3$ . Voor 20% hemelwater kan er met een buffervolume van  $750 \text{ m}^3$  niet meer iedere dag voldoende hemelwater worden aangevoerd volgens het *worst case* scenario. Echter kan wel nog in 349 dagen 20% kanaalwater vervangen worden. Om in alle dagen voldoende hemelwater beschikbaar te hebben is een buffervolume van  $1050 \text{ m}^3$  nodig. In het *worst case* scenario voor 30% is er met het huidige buffervolume in 57 dagen een tekort aan hemelwater. Deze tekorten kunnen allemaal weggewerkt worden met een buffervolume van  $1500 \text{ m}^3$ . Dit volume is meteen al het dubbele van wat reeds op de site aanwezig is. Voor 40% hemelwater is er 85 dagen een tekort aan hemelwater. Alle tekorten kunnen weggewerkt worden met een buffervolume van  $2000 \text{ m}^3$ . Voor 50% kunnen in beide scenario's niet meer alle tekorten worden weggewerkt, zelfs niet met een onbeperkt buffervolume. Er kan dus geconcludeerd worden dat er onvoldoende hemelwater beschikbaar is om dagelijks 50% van de huidige kanaalwatervraag te vervangen. Het gevolg is dat 50% weggelaten is uit Figuur 25.

#### 4.4.4 Parameters gemengde waterstroom

De chemische parameters van de gemengde waterstromen zijn ook gesimuleerd. De parameters van de stromen, waar 10 en 40% hemelwater gemengd zijn met 90 en 60% kanaalwater, worden weergegeven in Tabel 18 en Tabel 19. De tabellen voor de overige percentages worden opgenomen in bijlage C.

Tabel 18: 10% hemelwater gemengd met 90% ongefilterd kanaalwater

Parameters	Eenheden	Waarden o.b.v. staalname 28/03	Waarden o.b.v. staalname 19/04	Waarden o.b.v. staalname 09/05
pH	-	8,05	8,04	8,06
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	171,7	169,1	172,7
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	501,2	497,2	496,0
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	194,1	189,8	191,8
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	28,2	28,0	28,0
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,6	0,6	0,7
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,2	0,3
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,2	0,2
Chloride (als Cl)	mg/L	30,7	30,4	29,7
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	43,4	41,9	41,0

Tabel 19: 40% hemelwater gemengd met 60% ongefilterd kanaalwater

Parameters	Eenheden	Waarden o.b.v. staalname 28/03	Waarden o.b.v. staalname 19/04	Waarden o.b.v. staalname 09/05
pH	-	7,93	7,87	7,95
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	146,8	136,4	150,8
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	453,8	437,8	433,0
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	167,4	150,3	158,0
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	22,3	21,5	21,2
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,5	0,5	0,7
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,2	0,3
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,1	0,1	0,2
Chloride (als Cl)	mg/L	29,8	28,8	25,7
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	44,6	38,7	35,0

Uit de tabellen blijkt dat alle parameters van de gemengde waterstromen voldoen aan de limieten die voor het suppletiewater vereist zijn. Bijgevolg kan hemelwater zonder problemen dienen als vervanging voor het kanaalwater. Verder is ook onderzocht of de indikking voor problemen zorgt in het koelwaterbekken. De resultaten worden weergegeven in Tabel 20 en Tabel 21 voor de percentages 10 en 40%. De resultaten voor de overige percentages worden weergegeven in bijlage D.

Tabel 20: Controle indikking voor 10% hemelwater

Parameters	Eenheden	Gemengde stroom	Indikking van 3,7	Limieten
pH	-	8,05	-	8,0 - 9,0
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	171,7	635,3	200 - 600
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	501,2	1854,4	<2000
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	194,1	718,2	<650
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	28,2	104,3	-
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,6	2,2	<1,0
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,7	<6,0
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,7	<2,0
Chloride (als Cl)	mg/L	30,7	113,6	<300
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	43,4	160,6	<500

Tabel 21: Controle indikking voor 40% hemelwater

Parameters	Eenheden	Gemengde stroom	Indikking van 4,3	Limieten
pH	-	7,93	-	8,0 - 9,0
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	146,8	631,2	200 - 600
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	453,8	1951,3	<2000
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	167,4	719,8	<650
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	22,3	95,9	-
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,5	2,2	<1,0
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,9	<6,0
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,1	0,4	<2,0
Chloride (als Cl)	mg/L	29,8	128,1	<300
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	44,6	191,8	<500

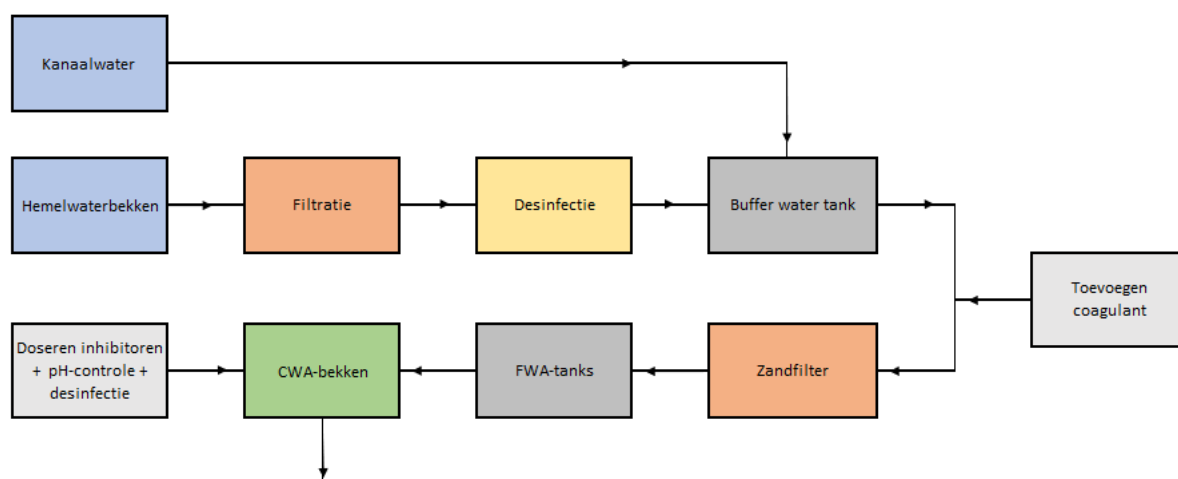
Voor alle percentages overschrijden dezelfde parameters steeds de limieten. Deze parameters zijn: M-alkaliteit, calciumhardheid en ijzerconcentratie. Een eerste verklaring voor het overschrijden van deze limieten is dat het staal ongefilterd kanaalwater reeds een hoge waarde heeft voor M-alkaliteit en calciumhardheid ten opzichte van de gemiddelde

waarden uit Tabel 5. Het staal is bijgevolg ook maar een momentopname van de fluctuerende kwaliteit van het kanaalwater.

Een mogelijke oplossing is om de indikking toch terug te verlagen totdat alle parameters binnen de opgegeven grenzen liggen. Een andere mogelijke oplossing is om het behandelingsprogramma aan te passen in het koelwaterbekken. Het verlagen van de pH, door het doseren van bijvoorbeeld zwavelzuur, doet de alkaliteit afnemen [28]. De hardheid verandert dan niet aangezien Ca-ionen in oplossing blijven, dit volgt uit vergelijking (1). Een andere mogelijkheid is om een type polymeren te doseren die beter inwerken tegen de aanwezige afzettingen. Of de hoge ijzerconcentraties een probleem vormen dient nagevraagd te worden bij de beheerder van de koeltoren. Het kan namelijk zijn dat de limieten voor ijzer enkel zijn opgesteld om later in het proceswaterbekken te voldoen aan de lozingsnormen.

#### 4.4.5 Zuiveringstrein

Uit de algemene analyses van het hemelwater blijkt dat er biologische activiteit is en dat er hoge concentraties aan zwevende stoffen aanwezig zijn. Deze stoffen zijn ongewenst in het suppletiewater van de koeltoren en moeten dus op voorhand verwijderd worden. De zuiveringstechnieken die hiervoor gebruikt worden zijn een filtratie en desinfectie. De zuiveringstrein voor hemelwater wordt weergegeven in Figuur 26.



Figuur 26: Zuiveringstrein hemelwater

Eerst en vooral kan de collectie van het regenwater behouden blijven. Dit wil zeggen dat het hemelwater nog steeds via het hemelwaterriool wordt afgevoerd naar het hemelwaterbekken. Het hemelwaterbekken is in de huidige toestand een open bekken en dit betekent dat er algengroei in kan optreden.

Algen kunnen problemen veroorzaken zoals verstopping van een filter of een pH-stijging. Het liefst wordt dit probleem bij de bron aangepakt en de bron is in dit geval het hemelwaterbekken. Ervaring leert namelijk dat een filtratie onvoldoende is om de algen te verwijderen. Hierdoor worden er soms nog algen teruggevonden tot in de filters van de koeltoren. De beste oplossing voor dit probleem is om het hemelwaterbekken af te dekken met een afdekzeil, op deze manier wordt het water afgeschermd van licht en kunnen algen bijgevolg niet groeien. Verder brengt dit het voordeel met zich mee dat er minder vervuiling

uit de lucht terechtkomt in het bekken [44]. Ook zal er minder water verdampen en is uiteindelijk een groter volume beschikbaar voor hergebruik. Verder zal er ook bezinking plaatsvinden in het hemelwaterbekken. Het gevolg is dat het hemelwaterbekken jaarlijks tot tweejaarlijks leeggezogen dient te worden.

De eerste behandelingsstap van het hemelwater bestaat uit een filtratie. Er zijn verschillende uitvoeringsvormen van filters mogelijk. Een filter voldoet als het deeltjes groter dan vijf micron tegenhoudt, dit is vooral een nodige voorwaarde indien na filtratie een desinfectie met uv-licht wordt uitgevoerd. Als er toch nog deeltjes groter dan vijf micron in het water zitten, dan kunnen deze de uv-stralen blokkeren. Het gevolg is dat de stralen de micro-organismen niet bereiken en zo treedt er rendementsverlies op. Ook voor een klassieke desinfectie moeten zwevende deeltjes verwijderd worden want dit kan een voedingsbodem zijn in de leidingen voor micro-organismen. Mogelijke uitvoeringen voor filters zijn:

- filterkaarsen,
- zakkenfilters,
- zandfilters [46]–[48].

Uit ervaring blijkt dat typisch een aantal filters in serie worden geplaatst, om tot een deeltjesgrootte van 5 micron te filteren. De filters volgen elkaar op volgens afnemende poriegrootte.

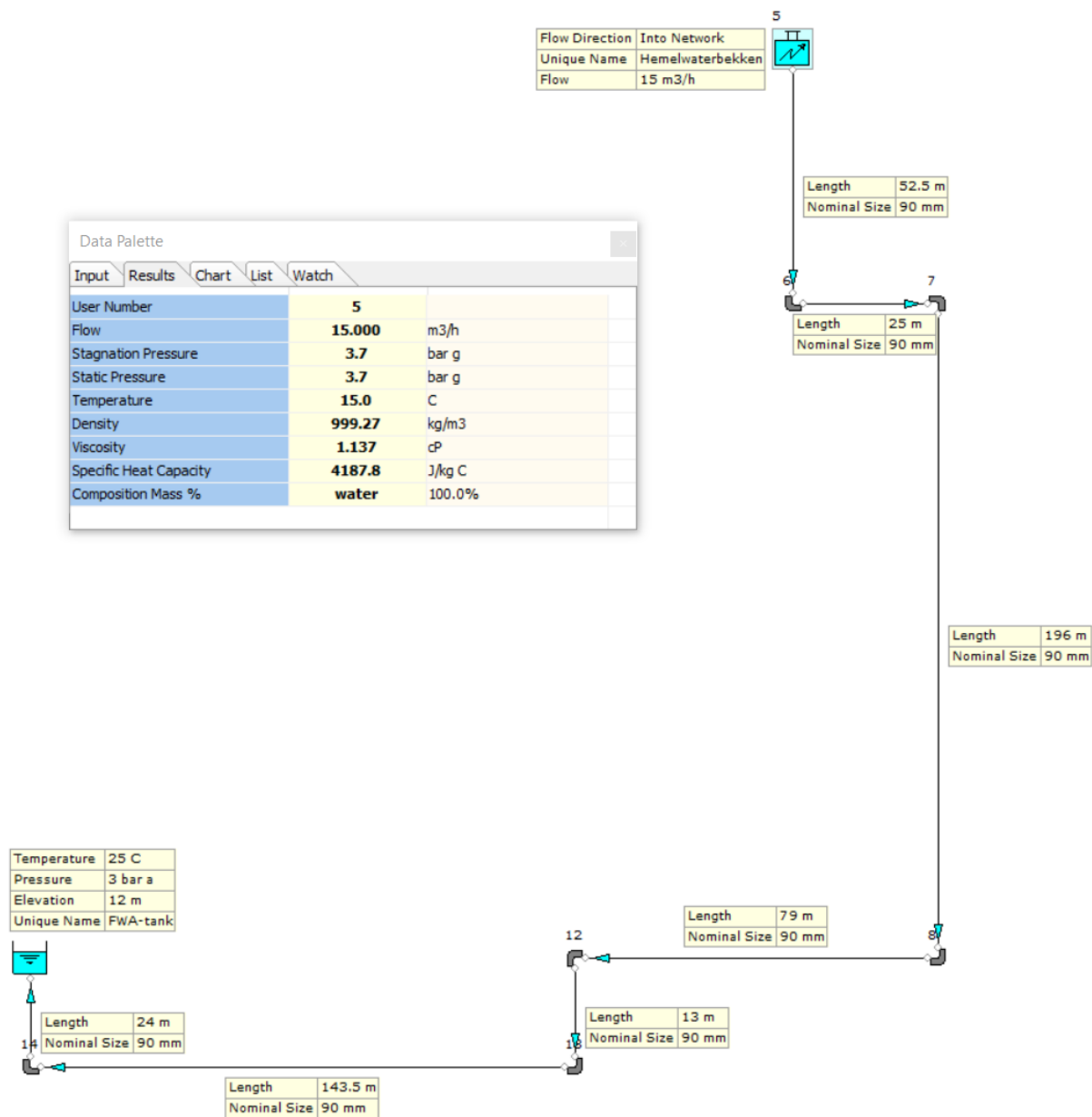
De volgende zuiveringstechniek die aan bod komt in de zuiveringstrein voor hemelwater, is een desinfectie. De mogelijke desinfecties zijn reeds eerder besproken in de literatuurstudie. De belangrijkste voor- en nadelen van de twee meest gebruikte desinfectietechnieken voor hemelwater worden hier nog eens herhaald.

Het gebruik van uv-licht heeft als belangrijk voordeel dat er geen gevaarlijke bijproducten gevormd worden en dat het dus milieuvriendelijk is. Het belangrijkste pijnpunt van deze techniek is dat het geen nawerking heeft. Daarbij moet zeker vermeld worden dat het water na de desinfectie wordt opgeslagen in *fire water tanks* en dat het dus niet meteen na desinfectie gebruikt wordt als koelwater. Chloor heeft dan weer het belangrijk voordeel dat het een nawerking heeft waardoor herbesmetting niet kan optreden in de opslagtanks. Het belangrijkste nadeel van deze desinfectie is dat het gevaarlijke nevenproducten vormt. De kosten zullen verder ook nog een rol spelen in de keuze van een gepaste desinfectie [55].

Uiteindelijk zijn er twee mogelijke plaatsen waar hemelwater het koelsysteem kan instromen. Enerzijds kan dit in de waterbuffertank, dit is reeds schematisch weergegeven in Figuur 26. Anderzijds kan, na filtratie en desinfectie, het water ook rechtstreeks in de *fire water tanks* worden gepompt. Zowel de *fire water tanks* als de waterbuffertank bevinden zich aan de andere kant van de site ten opzichte van het hemelwaterbekken. Bijgevolg dient het hemelwater een grote afstand af te leggen.

Het bedrijf heeft reeds een *high density* polyethyleen (HDPE) leiding gelegd van  $\pm 350$  m richting deze tanks. Om het water tot in de waterbuffertank te pompen moet het bedrijf bijkomend nog  $\pm 130$  m leiding voorzien. Om het hemelwater tot in de *fire water tanks* te brengen, is er nog  $\pm 180$  m leiding nodig. Uit de *standard dimension ratio* (SDR) blijkt dat de leiding bestand is tegen drukken tot  $\pm 5,6$  bar.

Om het hemelwater tot op de gewenste bestemming te brengen zijn pompen nodig. De twee mogelijke bestemmingen zijn de *fire water tanks* en de waterbuffertank, beide mogelijkheden zijn gesimuleerd in FluidFlow. De simulatie voor de *case* van de *fire water tank* wordt weergegeven in Figuur 27.



Figuur 27: Simulatie FluidFlow fire water tank [64]

In Figuur 27 wordt water uit het hemelwaterbekken gestuurd met een debiet van  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ . Het debiet is geschat op basis van de watervraag in augustus voor de *case* van 40% hemelwater, zie Tabel 17. De dagelijkse watervraag in augustus bedraagt  $288 \text{ m}^3$ . Hieruit zijn vervolgens de kanaalwater- en hemelwatervraag apart berekend.

$$V_{\text{hemelwater}} = 0,4 * 288 = 115 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{kanaalwater}} = 288 - 115 = 173 \text{ m}^3$$



Het kanaalwater wordt in de *fire water tanks* gepompt met een debiet van  $\pm 30 \text{ m}^3/\text{h}$ . Nu kan de totale tijd per dag worden berekend dat de kanaalwaterpomp aanstaat.

$$t = \frac{173}{30} = 5,77 \text{ h}$$

Voor hemelwater wordt ook de pompduur berekend, maar met een debiet van  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$t = \frac{115}{15} = 7,67 \text{ h}$$

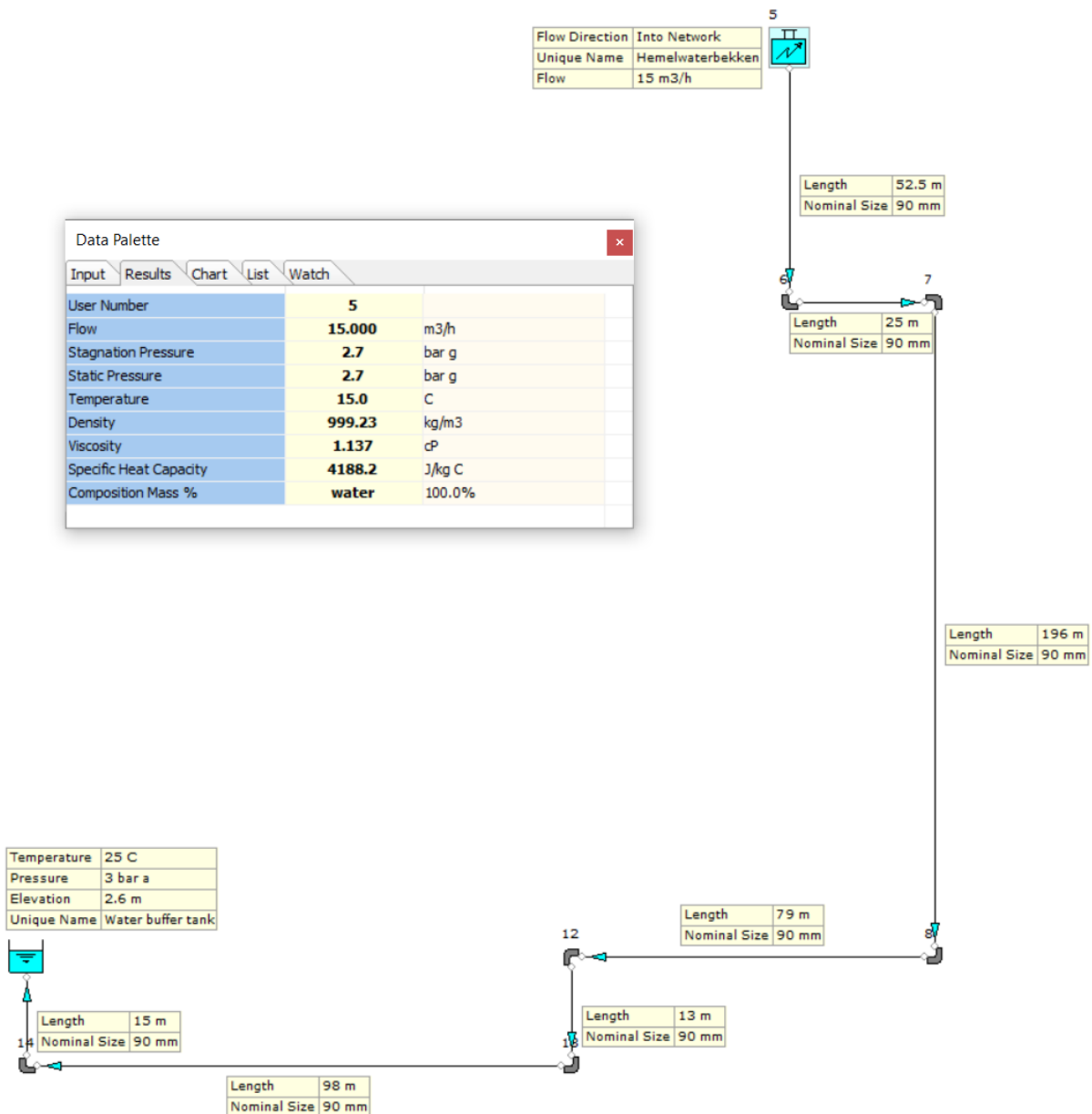
Om de benodigde hoeveelheid kanaalwater te voorzien in de tanks, moet de kanaalwaterpomp  $\pm 6 \text{ h}$  pompen. De hemelwaterpomp moet om de nodige hoeveelheid hemelwater te leveren  $\pm 8 \text{ h}$  pompen aan een debiet van  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ . De pompduur van de hemelwaterpomp wijkt slechts twee uur af van die van de kanaalwaterpomp, daarnaast is acht uur per dag haalbaar. In het verleden is er in het bedrijf, voor dezelfde toepassing, prijs gevraagd voor een pomp. Ook toen had de pomp een debiet van  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Het leidingnetwerk in Figuur 27 is een benadering van de werkelijkheid. Zo zijn het materiaal, de lengte en de nominale diameter ingegeven als input parameters. Er is één aanname gemaakt, namelijk dat de externe diameter van de leiding gelijk is aan de nominale diameter. Om zo nauwkeurig mogelijk te simuleren zijn ook bochten aangebracht in het leidingnetwerk.

Daarnaast is de *fire water tank* opgenomen in de simulatie. Deze tank is ontworpen op atmosferische druk of ook wel  $0 \text{ barg}$  en  $1 \text{ bara}$ . Toch is er als input voor de druk,  $3 \text{ bara}$  ingegeven. De reden hiervoor is dat in de simulatie de drukval over de filters als tegendruk wordt opgegeven. Uit technische besprekingen blijkt dat een drukval van  $2 \text{ bar}$  over de filters een goede benadering is. De  $3 \text{ bara}$ , die opgegeven is bij de *fire water tank*, is dus de som van de tankdruk en de drukval over de filters. Een andere input parameter die is opgegeven voor de *fire water tank* is de hoogte. Het is de bedoeling dat het hemelwater bovenaan in de tank wordt binnengebracht. Bijgevolg is de hoogte van de tank, namelijk  $12 \text{ m}$ , opgegeven. Het proces is vervolgens gesimuleerd en de resultaten worden weergegeven in het venster "Data Palette". Uit de berekeningen blijkt dat de pompdruk gelijk moet zijn aan  $3,7 \text{ barg}$ . Met behulp van formule (6) wordt de opvoerhoogte berekend.

$$H = 3,7 * 10,1972 = 37,7 \text{ m}$$

Er is ook een simulatie uitgevoerd voor de case van de waterbuffertank. De simulatie wordt weergegeven in Figuur 28.



Figuur 28: Simulatie FluidFlow waterbuffertank [64]

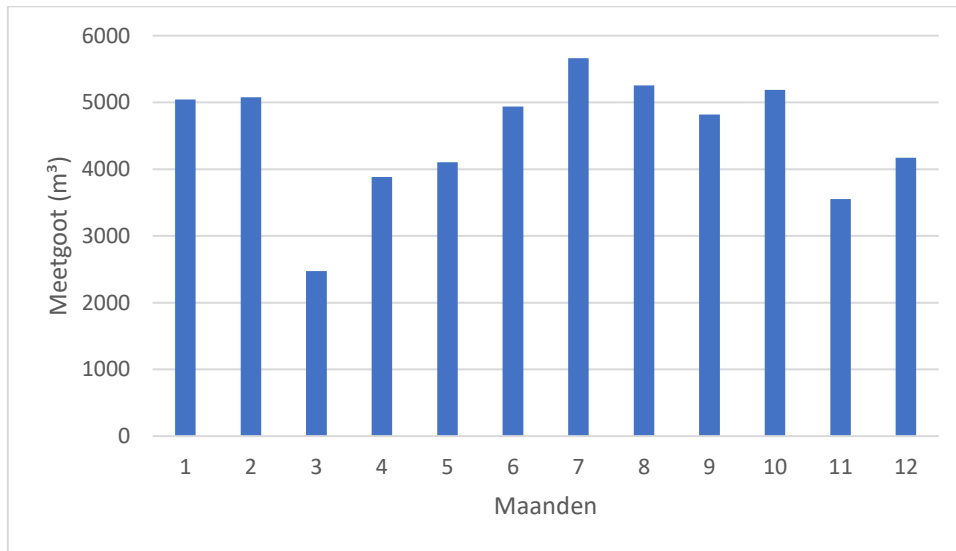
Ten opzichte van de *case* van de *fire water tank* zijn er een aantal verschillen. Ten eerste verschillen de lengten van de laatste twee stukken leiding. Ten tweede is de hoogte van de waterbuffertank kleiner dan die van de *fire water tanks*. De overige parameters blijven ongewijzigd.

De opvoerdruk bedraagt 2,7 barg. Opnieuw wordt de opvoerhoogte berekend met behulp van formule (6).

$$H = 2,7 * 10,1972 = 27,5 \text{ m}$$

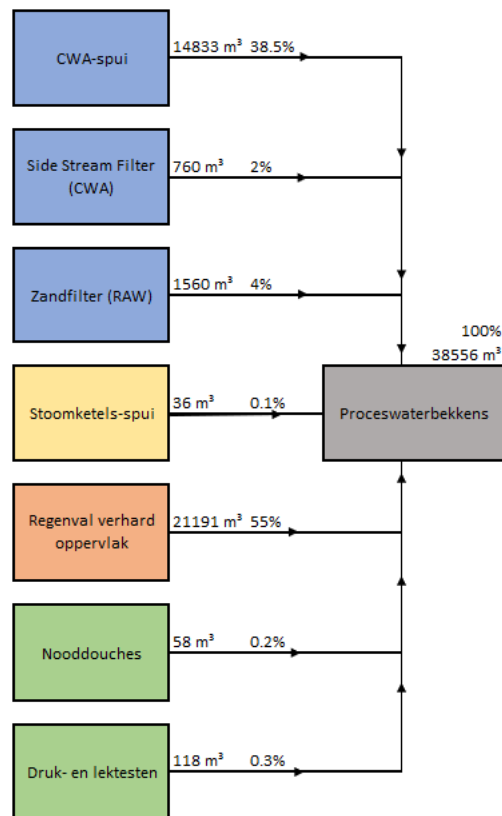
## 4.5 Recirculeren procesafvalwater

Uit de waterbalans van 2021 volgt dat er op jaarbasis  $54.174 \text{ m}^3$  procesafvalwater beschikbaar is voor hergebruik. De maandelijkse beschikbaarheden van het procesafvalwater worden weergegeven in Figuur 29.



*Figuur 29: Maandelijkse beschikbaarheid procesafvalwater in het jaar 2021*

De beschikbaarheid van het procesafvalwater blijft meer stabiel dan bij het hemelwater. Echter blijkt uit de parameters van het procesafvalwater dat de kwaliteit van het bekken erg fluctueert doorheen de tijd. De kwaliteit fluctueert doordat er een aantal erg geconcentreerde afvalstromen toekomen in de proceswaterbekkens. Als oplossing voor dit probleem is er onderzocht om afzonderlijke toevoerstromen van het bekken te recirculeren. De verschillende toevoerstromen en het percentage dat ze bijdragen aan de totale hoeveelheid water in de proceswaterbekkens wordt weergegeven in Figuur 30.



Figuur 30: Toevoerstromen proceswaterbekkens met bijhorende percentages

Uit Figuur 30 blijkt dat het potentieel verontreinigd hemelwater en het spuiwater van de koeltoren de meest interessante stromen zijn om te hergebruiken op de site. Deze conclusie is enkel gebaseerd op de grootte van de waterstromen, de overige toevoerstromen hebben namelijk een verwaarloosbare grootte. Het probleem is wel dat alle stromen reeds samenkomen in de riolen en zo naar de proceswaterbekkens worden gevoerd. Om de stromen te kunnen recirculeren moeten ze dus ontkoppeld worden van het rioleringsstelsel.

De eerste vier toevoerstromen uit Figuur 30 komen relatief snel samen in het rioleringsstelsel. Hieruit volgt meteen een eerste probleem, namelijk het ontkoppelen van de vier beoogde waterstromen van het rioleringsstelsel. Uit een studie van het rioleringsstelsel volgt dat de verontreinigde stromen al snel worden verdund met hemelwater dat op de wegen in de proceszone valt. Het hemelwater kan *spills* bevatten waardoor het rioleringswater verontreinigd wordt. Een tweede probleem is dat de vier waterstromen sterk verontreinigd zijn. Zo is de spuistroom van de koeltoren rijk aan chlorides en sulfaten, maar verder heeft het water ook een hoge hardheid, geleidbaarheid et cetera. Het water dat gebruikt wordt voor het terugspoelen van de filters is dan weer rijk aan zwevende deeltjes. Deze verontreinigingen moeten verwijderd worden door gepaste zuiveringen indien het water wordt gerecirculeerd als suppletiewater voor de koeltoren. Stel dat ontkoppeling van het rioleringsstelsel zou lukken, dan doet er zich een derde probleem voor. Er is namelijk een buffervolume nodig om het water op te slaan. Er zijn reeds drie mogelijke bufferbekkens aanwezig op de site: het hemelwaterbekken en de twee proceswaterbekkens. Het verontreinigd water kan onmogelijk naar het hemelwaterbekken worden afgevoerd, want hier zal het enkel de kwaliteit van het hemelwater verlagen. Naar proceswaterbekken I kan het ook niet, want van hieruit wordt geloosd naar het gemeentelijk riool. Dan blijft

uiteindelijk nog de optie van proceswaterbekken II over. Het probleem is dan dat alle leidingen die momenteel aangesloten zijn op het proceswaterbekken, omgeleid moeten worden naar proceswaterbekken I. Door de beperkte hoeveelheid van de waterstromen, wordt aangenomen dat de opbrengsten niet opwegen tegen de kosten van de benodigde zuiveringsinstallaties en werkzaamheden.

De tweede waterstroom die mogelijks hergebruikt kan worden op de site is het potentieel verontreinigd hemelwater. Het potentieel verontreinigd hemelwater is afkomstig uit de proceszone en bedraagt  $21.191 \text{ m}^3$  per jaar. Dit hemelwater kan echter ook afkomstig zijn van de tankparken. Standaard wordt het hemelwater, dat gecollecteerd wordt van de tankparken, naar het hemelwaterbekken gestuurd. Indien het regent en er wordt vernomen in de controlekamer dat er een *spill* gebeurd is in één van de parken, dan kunnen de operatoren er voor kiezen om op te lijnen naar de proceswaterbekkens. Bij een *spill* kunnen er zwavelverbindingen in het water terecht komen, deze kunnen de pH van het water verlagen. Dit zorgt meteen voor problemen in de koeltoren naar corrosie toe, indien beslist wordt om dit water te recirculeren. Een tweede probleem is dat er niet voorspeld kan worden wanneer opgelijnd wordt naar de proceswaterbekkens en dus is de beschikbaarheid van het water onbekend. Een derde probleem is dat het jaar 2021 bekend staat als een nat jaar, dit wil zeggen dat er in droge jaren veel minder van dit water beschikbaar is [61]. De hoeveelheid potentieel verontreinigd hemelwater zal dan nog kleiner zijn en bijgevolg zal het een kleine impact hebben op de reductie van de hoeveelheid kanaalwater. Er kan dus geconcludeerd worden dat een beter alternatief voor recirculatie, het proper hemelwater uit het hemelwaterbekken is. De *case* in verband met de proceswaterbekkens wordt bijgevolg ook niet verder uitgewerkt in deze studie.

#### 4.6 Opbrengsten

Voor bedrijven is het kostenplaatje één van de belangrijkste parameters, zo niet de belangrijkste, om een project goed te keuren. In dit geval dient er echter genuanceerd te worden. Het hoofddoel van het bedrijf is om het watergebruik op de site te reduceren en dus dient ook rekening gehouden te worden met de milieukost. Het bedrijf zal bijgevolg niet enkel op basis van de rendabiliteit beslissen om het project goed te keuren.

De opbrengsten dat het bedrijf kan halen uit het recirculeren van hemelwater zijn drieledig. Ten eerste wordt er door een verhoogde indikking bespaard op de aankoop van kanaalwater, door een daling in de suppletiehoeveelheid. Daarnaast wordt er ook door de indikking bespaard op het lozen van afvalwater naar het gemeentelijk riool, door een daling van de spuihoeveelheid. Tenslotte wordt nogmaals bespaard op de aankoop van kanaalwater door een bepaald percentage van de totale kanaalwatervraag te vervangen door hemelwater. De opbrengsten, als gevolg van het recirculeren van hemelwater, worden weergegeven in Tabel 22.

Tabel 22: Jaarlijkse opbrengsten door het recirculeren van X% hemelwater

Percentage hemelwater	Aankoop (€)	Lozing (€)	Totaal (€)
10%	2036	1008	3044
20%	4021	1979	6000
30%	5958	2917	8875
40%	7850	3821	11671

Uit Tabel 22 blijkt dat er over het algemeen meer bespaard kan worden op de aankoop van water dan op het lozen. Bij het recirculeren van hemelwater om 10% van de huidige kanaalwatervraag te vervangen, kan in totaal €3.044 worden uitgespaard op jaarbasis. Voor 40% hemelwater kan dit oplopen tot €11.671. Dit zijn geen grote bedragen maar in de toekomst zal de water- en lozingsprijs alleen nog maar toenemen, waardoor ook de jaarlijkse opbrengsten zullen toenemen.

Naast het recirculeren van hemelwater als suppletiewater voor de koeltoren kunnen er nog enkele kosten bespaard worden op een eenvoudiger manier. Zo kan het stadswater dat momenteel gebruikt wordt voor de wc's, vervangen worden door hemelwater. Op die manier kan op jaarbasis reeds 427 m<sup>3</sup> water bespaard worden. Ook de kosten van stadswater kunnen daarmee met 36,9% gereduceerd worden. Een andere manier om snel water te besparen vraagt meer discipline. Door het regelmatig controleren van installaties kunnen *spills* vermeden worden. Ook het snel handelen bij mogelijke contaminaties kan water en dus kosten besparen.



## 5 Besluit

---

### 5.1 Conclusie

Uit de waterbalans volgt dat Chevron Phillips Chemicals erg afhankelijk is van kanaalwater, zo wordt jaarlijks  $83.236 \text{ m}^3$  kanaalwater aangekocht van een naburig bedrijf. Het bedrijf wil deze aankoophoeveelheid reduceren door waterhergebruik op de site. Op de site zelf zijn er minstens twee interessante waterstromen aanwezig voor hergebruik, namelijk het hemelwater en het procesafvalwater. Beide waterstromen worden reeds opgevangen in open bekkens. In 2021 werd er zo  $43.778 \text{ m}^3$  hemelwater opgevangen in het hemelwaterbekken en vervolgens verpompt naar het infiltratiebekken. Verder werd er  $54.174 \text{ m}^3$  procesafvalwater opgevangen in de twee proceswaterbekkens en geloosd naar het gemeentelijk riool.

De omgevingsvergunning stelt dat er geen minimum hoeveelheid hemelwater afgevoerd moet worden naar het infiltratiebekken. De reden hiervoor is dat hergebruik hoger staat dan infiltratie in de hiërarchie. Uit wettelijk standpunt kan het bedrijf dus de volledige, opgevangen hemelwaterhoeveelheid hergebruiken op de site als suppletiewater voor de koeltoren.

De gemiddelde waarden van de parameters van het kanaalwater geven aan welke waarden gewenst zijn in het koelsysteem. Indien de parameters buiten de opgegeven limieten vallen, kunnen er problemen optreden in het systeem en is de goede werking dus niet meer gegarandeerd. De chemische parameters van het hemelwater vallen allemaal binnen de opgegeven limieten. Over het algemeen bevat het hemelwater wel een lage geleidbaarheid, hardheid et cetera. De concentratie aan zwevende deeltjes en de microbiële activiteit overschrijden wel de opgegeven limieten voor het hemelwater. De kwaliteit van het procesafvalwater fluctueert heel erg in de tijd, doordat er zeven verschillende toevoerstromen binnenkomen in de proceswaterbekkens. Verder bevat het procesafvalwater hoge concentraties aan verontreinigingen zoals fosfaten en ijzerdeeltjes. Er is een duidelijk verschil tussen de parameters van het ongefilterd kanaalwater en de gemiddelden voor het suppletiewater. Zo volgt uit het staal van het ongefilterd kanaalwater een relatief hoge M-alkaliteit, calciumhardheid en geleidbaarheid. Dit is het gevolg van de fluctuerende kwaliteit van het kanaalwater.

De beschikbaarheid van hemelwater fluctueert jaarlijks, maar ook maandelijks en zelfs dagelijks. De beschikbare hoeveelheid hemelwater op de site is onvoldoende om de volledige, huidige kanaalwatervraag op te vangen. Als oplossing wordt slechts een percentage aan kanaalwater vervangen door hemelwater. Bij het gebruik van 10% hemelwater is er slechts in 5,6% van de tijd onvoldoende hemelwater, voor 40% bedraagt dit al 51,4% van de tijd. Bij het onderzoek naar de beschikbaarheid van hemelwater is er wel geen rekening gehouden met een verandering in indikking en met een buffervolume.

Door het mengen van hemelwater met kanaalwater, neemt de hardheid van het suppletiewater voor de koeltoren af. Het gevolg is dat in het koelwaterbekken een hogere indikking wordt bereikt. Een hogere indikking heeft tot gevolg dat de spuihoeveelheid afneemt en de afname van de spui heeft een daling in de suppletiehoeveelheid tot gevolg. Door het toevoegen van 10% hemelwater kan de indikking verhoogd worden van 3,5 naar



3,7. Bijgevolg neemt de jaarlijkse spui af van  $15.830 \text{ m}^3$  naar  $14.822 \text{ m}^3$ . De suppletie neemt af van  $55.173 \text{ m}^3$  tot  $54.165 \text{ m}^3$ . Voor 40% hemelwater neemt de indikking toe tot 4,3. De spui en suppletie nemen af tot  $12.008 \text{ m}^3$  en respectievelijk  $51.351 \text{ m}^3$ .

Voor het recirculeren van hemelwater is een bepaald buffervolume vereist. Het huidige buffervolume van  $750 \text{ m}^3$  is voldoende voor de *case* van 10% hemelwater om te zorgen dat er geen enkele dag een tekort optreedt. Voor de andere *cases* is  $750 \text{ m}^3$  niet meer voldoende om alle dagen hemelwater te voorzien. Zo is in de *case* van 40% hemelwater, een buffervolume van  $2000 \text{ m}^3$  nodig om geen enkele dag een tekort te hebben. Voor de *case* van 50% kunnen de tekorten niet meer worden weggewerkt met een onbepaald buffervolume, wat wil zeggen dat er onvoldoende neerslag valt om in het *worst case* scenario 50% van de huidige kanaalwatervraag te vervangen door hemelwater.

De gemengde waterstromen voldoen aan de voorwaarden die voor het suppletiewater van de koeltoren vereist zijn. Er kan dus geconcludeerd worden dat hemelwater zonder problemen een percentage van het kanaalwater kan vervangen. Echter zorgt de verhoogde indikking er wel voor dat de M-alkaliteit, calciumhardheid en ijzerconcentratie de limieten in het koelwaterbekken overschrijden. De parameters kunnen terug binnen de limieten gebracht worden door de indikking te verlagen. De alkaliteit kan verlaagd worden door het doseren van zwavelzuur, de hardheid blijft hierdoor onveranderd. Een andere oplossing is om een type polymeren te doseren als inhibitor dat een goede werking heeft tegen de voorkomende afzettingen. Of de ijzerconcentraties al dan niet een probleem vormen in het koelsysteem dient nagevraagd te worden bij de koeltorenbeheerder.

Doordat het hemelwaterbekken een open bekken is, moet er rekening gehouden met algengroei. Om de algengroei te vermijden dient het hemelwaterbekken afgedekt te worden met een afdekzeil, op die manier wordt de lichtbron geëlimineerd. Daarnaast overschrijden twee parameters de vereiste limieten voor het hemelwater, namelijk de concentratie zwevende deeltjes en de microbiële activiteit. Bijgevolg wordt een filtratie voorgesteld om de zwevende deeltjes te verwijderen gevolgd door een desinfectie om de micro-organismen te doden. Voor de filters zijn er verschillende mogelijkheden, deze mogelijkheden zijn: zakkenfilter, kaarsenfilter en zandfilter. Ook voor de desinfectie zijn er twee mogelijkheden: uv-desinfectie en een desinfectie op basis van chloor. Verder blijkt dat op de site reeds een HDPE leiding gelegd is vanuit het hemelwaterbekken richting het koelsysteem. De bestaande leiding heeft een lengte van  $\pm 350 \text{ m}$ . Daarnaast dient nog  $\pm 130$  of  $\pm 180 \text{ m}$  leiding voorzien te worden, afhankelijk van de bestemming. De mogelijke bestemmingen voor het hemelwater zijn de waterbuffertank of de *fire water tanks*. Om het water met een debiet van  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  tot aan de waterbuffertank te pompen, heeft de pomp een opvoerhoogte nodig van  $27,5 \text{ m}$ . Om het water tot in de *fire water tanks* te krijgen, is een pomp nodig met een opvoerhoogte van  $37,7 \text{ m}$ .

Naast het recirculeren van hemelwater, is ook de mogelijkheid tot het recirculeren van procesafvalwater onderzocht. Het procesafvalwater heeft namelijk een meer constante beschikbaarheid dan het hemelwater. Echter blijkt uit de stalen dat het procesafvalwater een sterk fluctuerende kwaliteit heeft, waardoor het moeilijk is om een eenduidige zuiveringstrein samen te stellen. Ook het recirculeren van toevoerstromen van de proceswaterbekkens blijkt complex te zijn. Het ontkoppelen van gespuid water en water

voor het terugspoelen van de filters van het rioleringsstelsel is moeilijk. Dit komt doordat de waterstromen in de riolering snel worden gemengd met potentieel verontreinigd hemelwater. Bijkomend zijn de waterstromen zelf erg verontreinigd. Ten laatste kan het proceswaterbekken II eventueel dienen als bufferbekken maar dan moeten alle leidingen die daar momenteel aankomen, omgeleid worden naar proceswaterbekken I. Vermoedelijk zorgen de opgesomde problemen ervoor dat de kosten voor zuiveringsinstallaties en werkzaamheden hoog oplopen.

Chevron Phillips Chemicals kan door het gebruik van hemelwater besparen op zowel de aankoop als de lozing van water. Voor de case van 10% hemelwater kan het bedrijf jaarlijks €3.000 besparen. Voor 40% kan dit bedrag oplopen tot €11.000. Dit zijn geen grote bedragen, waardoor het project uit economisch standpunt niet erg aantrekkelijk is. Echter wordt de milieukost niet meegerekend en hier dient het bedrijf ook zeker rekening mee te houden bij het al dan niet goedkeuren van het project.

## 5.2 Vooruitblik

In toekomstige studies kan het bedrijf ervoor kiezen om de waterbalans verder te optimaliseren. Zo kan het de teller op het inkomend kanaalwater nog eens kalibreren, zodat de gemeten waterhoeveelheden zeker correct zijn. Verder kan ook de verdamping nauwkeuriger in beeld worden gebracht. Het bedrijf heeft door een nieuw project ook meer verharde oppervlakte bijgekregen, waardoor er meer hemelwater wordt opgevangen. De oppervlaktes kunnen dus ook nog geactualiseerd worden.

Het bedrijf kan ook nog extra hemelwaterstalen laten analyseren verspreid over een langere periode. Zo wordt een duidelijker beeld verkregen van de kwaliteit van het hemelwater. Daarnaast moet Chevron Phillips Chemicals, vooraleer het hemelwater gaat gebruiken op de site, in dialoog gaan met het Agentschap voor Natuur en Bos en met het Regionaal Landschap Lage Kempen. Hier dient de toekomst van het infiltratiebekken besproken te worden.

Verder onderzoek kan zich ook focussen op het hergebruik van procesafvalwater. Eerst dient het bedrijf dan voldoende data te verzamelen over de kwaliteit van het water doorheen het jaar. Op die manier wordt er beter inzicht verkregen in de fluctuerende kwaliteit van het water en kan beter naar mogelijke toepassingen voor hergebruik gezocht worden.

Als laatste kan het bedrijf ook nog prijzen vragen van de besproken zuiveringsinstallaties bij gespecialiseerde bedrijven. Op die manier kan de rendabiliteit van het project bepaald worden. Op basis daarvan kan het bedrijf beslissen om het project al dan niet goed te keuren.



## Referentielijst

---

- [1] Integraal Waterbeleid, “Wat is de Blue Deal?”  
<https://www.integraalwaterbeleid.be/nl/beleidsinstrumenten/blue-deal> (accessed Mar. 06, 2022).
- [2] Resourcewatch, “Water Stress Country Ranking,” *Resourcewatch*.  
<https://resourcewatch.org/data/explore/47053e23-7808-40d9-b4ae-1af73c5c8bab?hash=layers&section=Discover&selectedCollection=&zoom=3&lat=37.99447096620727&lng=16.952900068727367&pitch=0&bearing=0&basemap=dark&labels=light&layers=%255B%257B%2522dataset%2522%253A%252247053e23-7808-40d9-b4ae-1af73c5c8bab%2522%252C%2522opacity%2522%253A1%252C%2522layer%2522%253A%25226d4963c4-c9fe-4284-befc-bd930741b35c%2522%257D%255D&aoi=&page=1&sort=most-viewed&sortDirection=-1> (accessed Mar. 06, 2022).
- [3] WWF, “Water Scarcity Overview.” <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity#:~:text=When%20waters%20run%20dry%2C%20people,and%20other%20water%2Dborne%20illnesses.> (accessed Mar. 07, 2022).
- [4] Vlaamse Milieumaatschappij, “Prijs voor levering.”  
<https://www.vmm.be/water/waterfactuur/bedrijven/levering> (accessed Mar. 07, 2022).
- [5] Vlaamse Milieumaatschappij, “Berekening voor bedrijven en instellingen.”  
<https://www.vmm.be/water/heffingen/bereken-je-heffing/berekening-voor-bedrijven-en-instellingen> (accessed Mar. 07, 2022).
- [6] Vlaamse Milieumaatschappij, “Vergunningen.”  
<https://www.vmm.be/water/afvalwater/vergunningen> (accessed Mar. 07, 2022).
- [7] VDS milieuvdvis, “Wat kan een milieuboete mij kosten?”  
<https://www.vdsmilieuvdvis.be/wat-kan-een-milieuboete-mij-kosten/> (accessed Mar. 07, 2022).
- [8] Departement Omgeving, “VLAREM.” <https://omgeving.vlaanderen.be/vlarem> (accessed Mar. 24, 2022).
- [9] Vlaanderen is omgeving, “VLAREM II,” Jul. 10, 2021.  
<https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?woId=263> (accessed Mar. 24, 2022).
- [10] Vlaanderen is omgeving, “VLAREM II - bijlagen,” Mar. 07, 2021.  
<https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?woId=17775> (accessed Mar. 24, 2022).
- [11] Lenntech, “Koeltorenwater.”  
<https://www.lenntech.nl/processen/desinfectie/koeling/koeltorenwater-verontreiniging.htm> (accessed Mar. 30, 2022).
- [12] Suez, “Chapter 25 - Deposit And Scale Control-Cooling System.”  
<https://www.suezwatertechnologies.com/handbook/chapter-25-deposit-and-scale-control-cooling-system> (accessed Mar. 30, 2022).

- [13] Grundfos, "Legionella in watersystemen."  
<https://www.grundfos.com/be/learn/research-and-insights/legionella-in-water-systems> (accessed Mar. 30, 2022).
- [14] BeWasol, "'Theoretische achtergronden Koelwater' ."  
<https://www.bewasol.nl/koelwater/theoretische-achtergronden/> (accessed Mar. 30, 2022).
- [15] C-mark, "Koeltorenwater indikken op basis van het elektrisch geleidingsvermogen mogelijk riskant!" <https://www.c-mark.nl/nieuws/artikelen-nieuwsbrief/gevaren-bij-indikken-van-koeltorenwater/> (accessed Mar. 30, 2022).
- [16] J. Gruwez and S. Deboosere, "KOELTORENS: BEHANDELING SUPPLETIEWATER DOET WERKINGSKOSTEN DALEN." [Online]. Available: [www.trevi-env.com](http://www.trevi-env.com)
- [17] Almeco, "Cooling towers with open, closed or hybrid cooling circuit."  
<https://almeco.eu/en/blog/cooling-towers-open-closed-or-hybrid-cooling-circuit> (accessed Apr. 13, 2022).
- [18] EPA, "Indicators: Conductivity." <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity#:~:text=Conductivity%20is%20a%20measure%20of,conductivity%20increases%20as%20salinity%20increases> (accessed May 18, 2022).
- [19] Water Resources, "Chloride, Salinity, and Dissolved Solids," Mar. 01, 2019.  
<https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/chloride-salinity-and-dissolved-solids> (accessed May 18, 2022).
- [20] O. Bozorg-Haddad, M. Delpasand, and H. A. Loáiciga, "Economical, Political, and Social Issues in Water Resources," 2021, doi: 10.1016/B978-0-323-90567-1.00008-5.
- [21] Water Science School, "Alkalinity and Water," Aug. 07, 2018.  
<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/alkalinity-and-water> (accessed May 18, 2022).
- [22] C. Branan, *Pocket Guide to Chemical Engineering*. Gulf Professional Publishing, 1999.
- [23] Lenntech, "Langelier Index berekenen."  
<https://www.lenntech.nl/calculatoren/langelier/langelier.htm> (accessed May 09, 2022).
- [24] Lenntech, "De Langelier Index ( LSI )." <https://www.lenntech.nl/langelier-index.htm> (accessed May 09, 2022).
- [25] M. Boon and F. Jones, "Phosphonate inhibitors: Types, solution chemistry, and applications," *Water-Formed Deposits*, pp. 697–722, Jan. 2022, doi: 10.1016/B978-0-12-822896-8.00018-2.
- [26] G. R. Osorio-Celestino, M. Hernandez, D. Solis-Ibarra, S. Tehuacanero-Cuapa, A. Rodríguez-Gómez, and A. P. Gómora-Figueroa, "Influence of Calcium Scaling on Corrosion Behavior of Steel and Aluminum Alloys," *ACS Omega*, vol. 5, no. 28, pp.

- 17304–17313, Jul. 2020, doi:  
10.1021/ACSOMEGA.0C01538/ASSET/IMAGES/LARGE/AO0C01538\_0008.JPEG.
- [27] B. Nowack, “Environmental chemistry of phosphonates,” *Water Research*, vol. 37, no. 11, pp. 2533–2546, Jun. 2003, doi: 10.1016/S0043-1354(03)00079-4.
- [28] S. Miyamoto and J. L. Stroehlein, “Sulfuric Acid Effects on Water Infiltration and Chemical Properties of Alkaline Soils and Water,” 1986.
- [29] Lenntech, “Zware metalen.” <https://www.lenntech.nl/schadelijke-stoffen/zware-metalen.htm#:~:text=Zware%20metalen%20komen%20voor%20in,%2C%20erosie%2C%20wateronttrekking%20of%20vulkaanuitbarstingen>. (accessed Apr. 03, 2022).
- [30] Vlaamse Milieumaatschappij, “Zware metalen.” <https://www.vmm.be/lucht/zware-metalen> (accessed Apr. 03, 2022).
- [31] M. A. Barakat, “New trends in removing heavy metals from industrial wastewater,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 4, no. 4, pp. 361–377, Oct. 2011, doi: 10.1016/J.ARABJC.2010.07.019.
- [32] Vlaamse gezondheidsinspectie, *Leven met zware metalen: te doen en te laten [brochure]*. Accessed: May 15, 2022. [Online]. Available: <https://www.zorg-en-gezondheid.be/folder-meer-gezondheid-minder-zware-metalen>
- [33] Vlaamse Milieumaatschappij, “Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest. Jaarverslag Immissiemeetnetten – 2016,” 2017.
- [34] Emis, “Chemische precipitatie,” Feb. 2010. <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/wass/technieken/chemische-precipitatie> (accessed Apr. 03, 2022).
- [35] Y. Dahman, “Nanopolymers\*\*By Yaser Dahman, Kevin Deonanan, Timothy Dontosos, and Andrew Iammatteo.,” *Nanotechnology and Functional Materials for Engineers*, pp. 121–144, 2017, doi: 10.1016/B978-0-323-51256-5.00006-X.
- [36] F. DeSilva, “RESIN REGENERATION FUNDAMENTALS,” Apr. 07, 2006. <https://www.wqpmag.com/resin/resin-regeneration-fundamentals#:~:text=The%20strong%20acid%20cation%20exchanger,at%20between%204%20and%206%25> (accessed Apr. 13, 2022).
- [37] Emis, “Ionenuitwisseling,” Feb. 2010. <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/ionenuitwisseling> (accessed Apr. 07, 2022).
- [38] Emis, “Elektrolyse,” Feb. 2010. <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/elektrolyse> (accessed Apr. 13, 2022).
- [39] Emis, “Adsorptietechnieken,” Feb. 2010. <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/wass/technieken/adsorptietechnieken> (accessed Apr. 07, 2022).
- [40] Emis, “Microfiltratie,” Feb. 2010. <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/microfiltratie> (accessed Apr. 07, 2022).

- [41] Emis, "Ultrafiltratie," Feb. 2010. <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/ultrafiltratie> (accessed Apr. 07, 2022).
- [42] "Chapter 13 Disinfection," *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, vol. 33, no. C, pp. 183–192, 2002, doi: 10.1016/S0167-9309(02)80013-8.
- [43] Watertech, "Microorganisms in Cooling Water Systems." <https://www.watertechusa.com/Microorganisms-in-Cooling-Water-Systems> (accessed May 14, 2022).
- [44] Vlaamse overheid, "Algen groei tegengaan." <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkguiden/water/duurzaam-watergebruik-voor-substraatteelt-de-5> (accessed May 09, 2022).
- [45] M. Gullian, F. J. Espinosa-Faller, A. Núñez, and N. López-Barahona, "Effect of turbidity on the ultraviolet disinfection performance in recirculating aquaculture systems with low water exchange," *Aquaculture Research*, vol. 43, no. 4, pp. 595–606, Mar. 2012, doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02866.x.
- [46] V. Verjans, M. Mertens, and M. Feyaerts, *Waterhandboek-KO-water*. 2020. Accessed: Apr. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.watercircle.be/wp-content/uploads/2021/03/Waterhandboek-KO-Water.pdf>
- [47] Southland Filtration, "Guide to rainwater harvesting filtration." <https://southlandfiltration.com.au/guide-to-rainwater-harvesting-filtration/> (accessed May 09, 2022).
- [48] Cleanawater, "Reduce Business Costs with Rainwater Harvesting," May 12, 2015. <https://cleanawater.com.au/information-centre/guide-to-rainwater-harvesting-and-treatment> (accessed May 09, 2022).
- [49] Lenntech, "Desinfectie met Ultraviolet Licht." <https://www.lenntech.nl/library/uv/will1.htm> (accessed May 14, 2022).
- [50] I. Colbeck and M. Lazaridis, *Aerosol Science : Technology and Applications*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2014.
- [51] Lenntech, "Disinfectants Chlorine." <https://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-chlorine.htm> (accessed May 14, 2022).
- [52] S. Hand and R. D. Cusick, "Electrochemical Disinfection in Water and Wastewater Treatment: Identifying Impacts of Water Quality and Operating Conditions on Performance," *Environmental Science and Technology*, vol. 55, no. 6, pp. 3470–3482, Mar. 2021, doi: 10.1021/ACS.EST.0C06254/ASSET/IMAGES/LARGE/ES0C06254\_0006.JPEG.
- [53] H. Bergmann, "Electrochemical disinfection – State of the art and tendencies," *Current Opinion in Electrochemistry*, vol. 28, p. 100694, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.COEELEC.2021.100694.

- [54] A. Kraft, "Electrochemical water disinfection: A short review," *Platinum Metals Review*, vol. 52, no. 3. pp. 177–185, Jul. 2008. doi: 10.1595/147106708X329273.
- [55] Emis, "Desinfectie," Feb. 2010. <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/desinfectie> (accessed Apr. 07, 2022).
- [56] H. H. Chin, X. Jia, P. S. Varbanov, J. J. Klemeš, and Z. Y. Liu, "Internal and Total Site Water Network Design with Water Mains Using Pinch-Based and Optimization Approaches," *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, vol. 9, no. 19, pp. 6639–6658, May 2021, doi: 10.1021/ACSSUSCHEMENG.1C00183/SUPPL\_FILE/SC1C00183\_SI\_001.PDF.
- [57] M. M. El-Halwagi, *Sustainable Design Through Process Integration : Fundamentals and Applications to Industrial Pollution Prevention, Resource Conservation, and Profitability Enhancement*, 2nd ed. Elsevier, 2017.
- [58] M. M. El-Halwagi, F. Gabriel, and D. Harell, "Rigorous Graphical Targeting for Resource Conservation via Material Recycle/Reuse Networks," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 42, no. 19, pp. 4319–4328, Sep. 2003, doi: 10.1021/IE030318A.
- [59] H. H. Chin, P. Y. Liew, P. S. Varbanov, and J. J. Klemeš, "Extension of pinch analysis to targeting and synthesis of water recycling networks with multiple contaminants," *Chemical Engineering Science*, vol. 248, p. 117223, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.CES.2021.117223.
- [60] Hugo Mathues, "Neerslaggrafieken Ransberg." <https://www.weerstationransberg.be/neerslag.htm> (accessed May 09, 2022).
- [61] KMI, "2021: een nat jaar met extreme neerslag." <https://www.meteo.be/nl/info/nieuwsoverzicht/2021-een-nat-jaar-met-extreme-neerslag> (accessed May 09, 2022).
- [62] Ashland Belgium BVBA, *Chemische koel- & ketelwater behandeling*, 9th ed. 2003.
- [63] KMI, "Klimaatnormalen te Ukkel." <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaat-van-belgie/klimaatnormalen-te-ukkel/neerslag/neerslagdagen> (accessed May 26, 2022).
- [64] FluidFlow, "Complete Pipe Flow Simulation Software." <https://fluidflowinfo.com/> (accessed May 31, 2022).
- [65] SensorsONE, "bar to mH2O Conversion Table." <https://www.sensorsone.com/bar-to-mh2o-conversion-table/> (accessed Jun. 01, 2022).
- [66] Lenntech, "Verdamping van Water." <https://www.lenntech.nl/calculatoren/verdamping-van-water.htm> (accessed May 15, 2022).
- [67] Suez, "Chapter 31 - Open Recirculating Cooling Systems." <https://www.suezwatertechnologies.com/handbook/chapter-31-open-recirculating-cooling-systems> (accessed May 09, 2022).



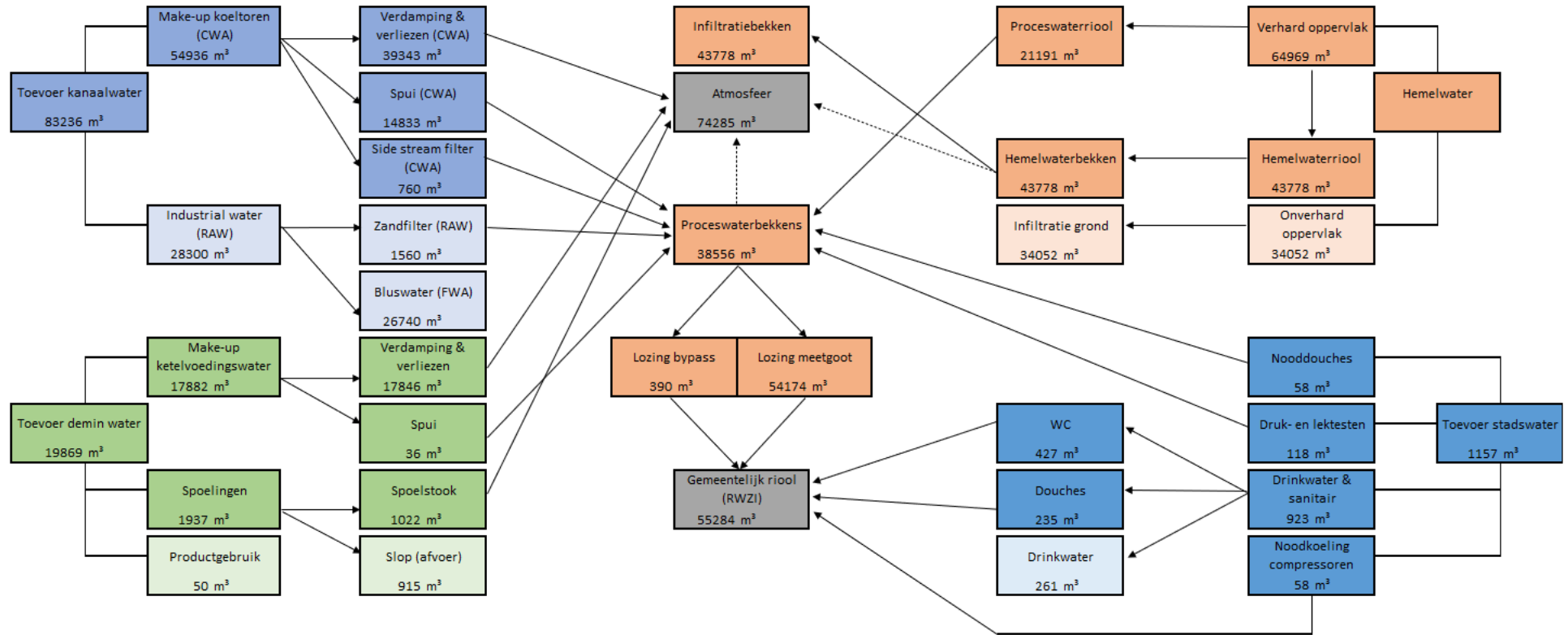
- [68] F. André, M. Jonard, and Q. Ponette, "Influence of meteorological factors and polluting environment on rain chemistry and wet deposition in a rural area near Chimay, Belgium," *Atmospheric Environment*, vol. 41, no. 7, pp. 1426–1439, Mar. 2007, doi: 10.1016/J.ATMOSENV.2006.10.013.
- [69] Clean Water Team (CWT), "Electrical Conductivity/Salinity Fact Sheet," Sacramento, CA, Apr. 2004. Accessed: May 22, 2022. [Online]. Available: [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130en.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130en.pdf)
- [70] Lenntech, "De waterkringloop." <https://www.lenntech.nl/waterkringloop-schema.htm> (accessed May 22, 2022).
- [71] Southland Filtration, "10 reasons treating harvested rainwater is necessary." <https://southlandfiltration.com.au/10-reasons-treating-harvested-rainwater-is-necessary/> (accessed May 09, 2022).

## Bijlagen

---

Bijlage A: Schematische weergave waterbalans 2021.....	88
Bijlage B: Cijfermateriaal en grafieken beschikbaarheid hemelwater.....	89
Bijlage C: Parameters gemengde waterstromen .....	94
Bijlage D: Controle indikking .....	95

## Bijlage A: Schematische weergave waterbalans 2021



Figuur 31: Waterbalans 2021

## Bijlage B: Cijfermateriaal en grafieken beschikbaarheid hemelwater

Tabel 23: Maandelijks en jaarlijkse regenval gemeten door meetstation Ransberg [60]

Jaar	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Jaarlijkse regenval (l/m <sup>2</sup> )	855,3	597,1	547,5	635,4	659,1	871,7
Regenval januari (l/m <sup>2</sup> )	99,7	54,7	75,9	59,1	32,7	101,3
Regenval februari (l/m <sup>2</sup> )	93,2	50,3	22,6	45,5	140,8	48,8
Regenval maart (l/m <sup>2</sup> )	49,8	41,2	55	75,6	69,9	43,3
Regenval april (l/m <sup>2</sup> )	62,6	17,9	67,6	15,5	8	42,3
Regenval mei (l/m <sup>2</sup> )	70,1	31,2	33,4	42	6,1	63,4
Regenval juni (l/m <sup>2</sup> )	169,4	33,1	56,2	64,1	56,8	136,7
Regenval juli (l/m <sup>2</sup> )	113,8	49,2	1,8	55,3	37,8	155,1
Regenval augustus (l/m <sup>2</sup> )	57,6	73,6	57,4	35,9	96,7	91,7
Regenval september (l/m <sup>2</sup> )	6,3	61,5	30,1	45,5	73,3	19,4
Regenval oktober (l/m <sup>2</sup> )	29,8	33,4	32,1	84,2	47,7	80,4
Regenval november (l/m <sup>2</sup> )	83,9	63	26	49,8	18,1	23,3
Regenval december (l/m <sup>2</sup> )	19,1	88	89,4	62,9	71,2	66

Tabel 24: Benodigde hoeveelheden hemelwater om 10, 20, 30, 40 of 50% van de huidige kanaalwateraanvoer te vervangen

Maanden	Eenheden	10%	20%	30%	40%	50%
januari	m <sup>3</sup>	203	405	608	811	1014
februari	m <sup>3</sup>	560	1120	1680	2240	2801
maart	m <sup>3</sup>	666	1332	1998	2664	3330
april	m <sup>3</sup>	693	1385	2078	2770	3463
mei	m <sup>3</sup>	648	1295	1943	2590	3238
juni	m <sup>3</sup>	944	1888	2831	3775	4719
juli	m <sup>3</sup>	835	1671	2506	3341	4177
augustus	m <sup>3</sup>	853	1706	2559	3412	4265
september	m <sup>3</sup>	883	1766	2650	3533	4416
oktober	m <sup>3</sup>	646	1291	1937	2583	3229
november	m <sup>3</sup>	676	1352	2028	2704	3381
december	m <sup>3</sup>	718	1435	2153	2870	3588
jaartotaal	m <sup>3</sup>	8324	16647	24971	33294	41618

Tabel 25: Maandelijke beschikbaarheden van hemelwater van de afgelopen zes jaren

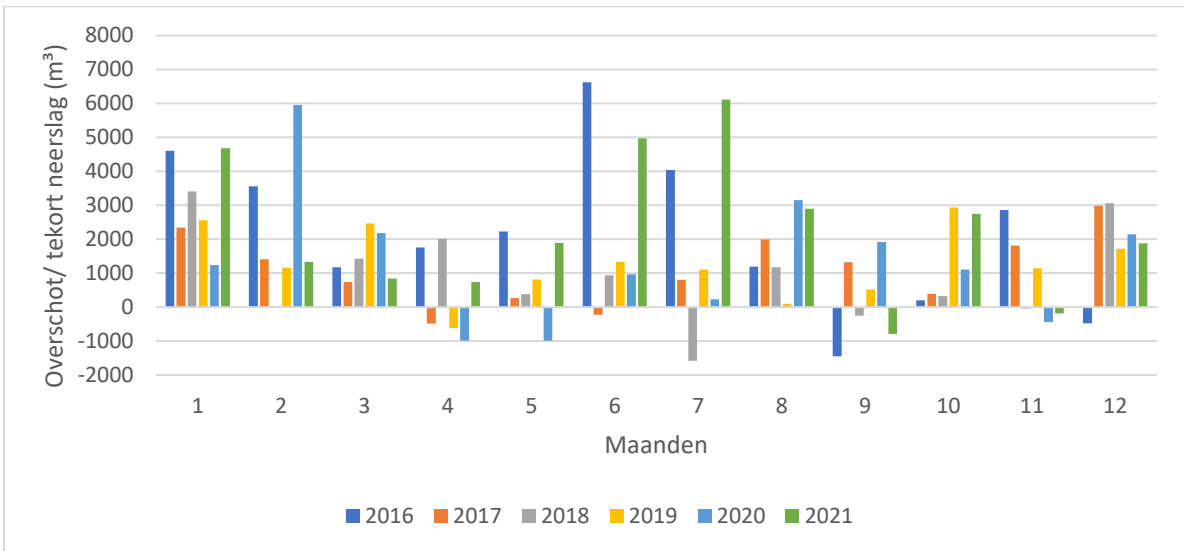
<b>Maanden</b>	<b>Eenheden</b>	<b>Beschikbaar 2016</b>	<b>Beschikbaar 2017</b>	<b>Beschikbaar 2018</b>	<b>Beschikbaar 2019</b>	<b>Beschikbaar 2020</b>	<b>Beschikbaar 2021</b>
januari	m <sup>3</sup>	5007	2747	3812	2968	1642	5087
februari	m <sup>3</sup>	4681	2526	1135	2285	7071	2451
maart	m <sup>3</sup>	2501	2069	2762	3797	3510	2175
april	m <sup>3</sup>	3144	899	3395	778	402	2124
mei	m <sup>3</sup>	3521	1567	1677	2109	306	3184
juni	m <sup>3</sup>	8508	1662	2822	3219	2853	6865
juli	m <sup>3</sup>	5715	2471	90	2777	1898	7789
augustus	m <sup>3</sup>	2893	3696	2883	1803	4856	4605
september	m <sup>3</sup>	316	3089	1512	2285	3681	974
oktober	m <sup>3</sup>	1497	1677	1612	4229	2396	4038
november	m <sup>3</sup>	4214	3164	1306	2501	909	1170
december	m <sup>3</sup>	959	4419	4490	3159	3576	3315
jaartotaal	m <sup>3</sup>	42955	29987	27496	31911	33101	43777

Tabel 26: Maandelijke overschotten/ tekorten als 10% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt

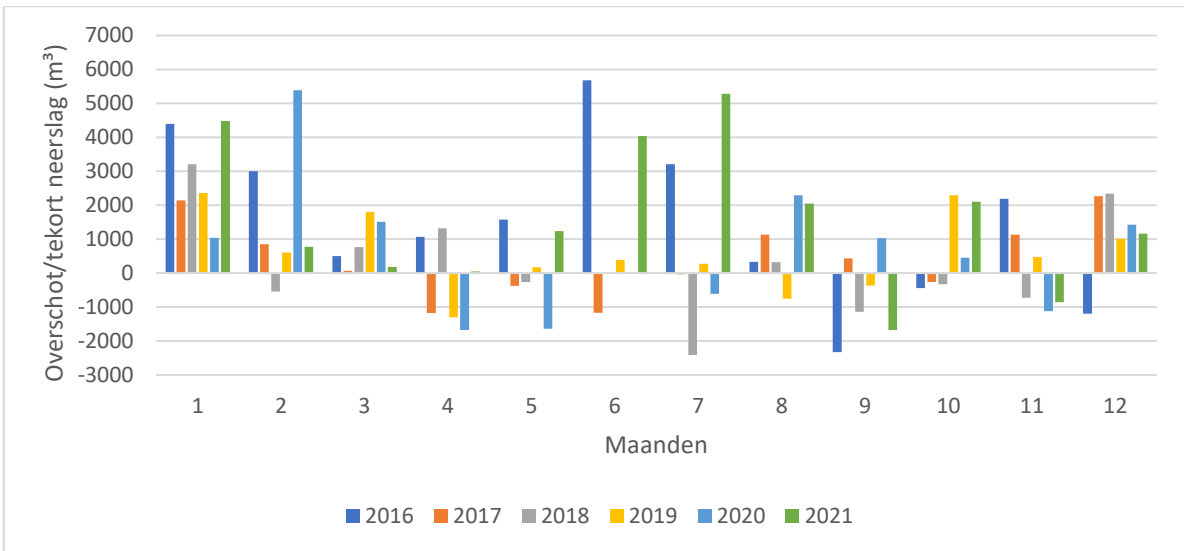
<b>Maanden</b>	<b>Eenheden</b>	<b>Overschot 2016</b>	<b>Overschot 2017</b>	<b>Overschot 2018</b>	<b>Overschot 2019</b>	<b>Overschot 2020</b>	<b>Overschot 2021</b>
januari	m <sup>3</sup>	4804	2544	3609	2765	1440	4884
februari	m <sup>3</sup>	4121	1966	575	1725	6511	1891
maart	m <sup>3</sup>	1835	1403	2096	3131	2845	1509
april	m <sup>3</sup>	2451	206	2702	86	-291	1431
mei	m <sup>3</sup>	2873	919	1030	1462	-341	2536
juni	m <sup>3</sup>	7564	719	1879	2275	1909	5921
juli	m <sup>3</sup>	4880	1636	-745	1942	1063	6954
augustus	m <sup>3</sup>	2040	2843	2030	950	4003	3752
september	m <sup>3</sup>	-567	2205	628	1402	2798	91
oktober	m <sup>3</sup>	851	1032	966	3583	1750	3392
november	m <sup>3</sup>	3537	2488	630	1825	233	494
december	m <sup>3</sup>	242	3702	3772	2441	2858	2597
jaartotaal	m <sup>3</sup>	34631	21664	19173	23587	24777	35453

Tabel 27: Maandelijks overschotten/ tekorten als 40% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt

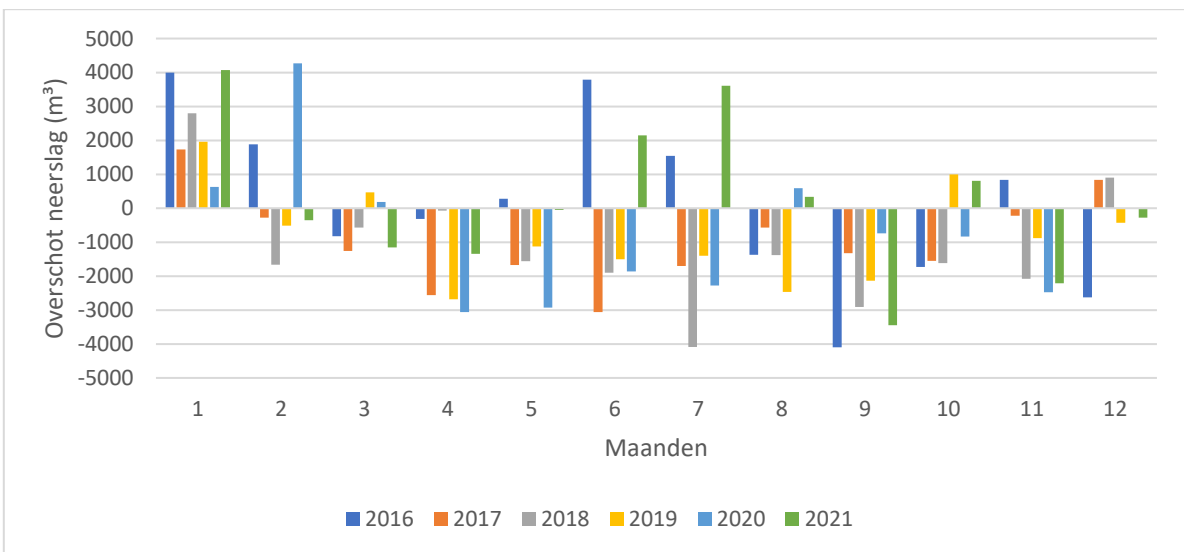
<b>Maanden</b>	<b>Eenheden</b>	<b>Overschot 2016</b>	<b>Overschot 2017</b>	<b>Overschot 2018</b>	<b>Overschot 2019</b>	<b>Overschot 2020</b>	<b>Overschot 2021</b>
januari	m <sup>3</sup>	4196	1936	3001	2157	831	4276
februari	m <sup>3</sup>	2440	286	-1105	45	4831	211
maart	m <sup>3</sup>	-163	-594	99	1133	847	-489
april	m <sup>3</sup>	373	-1871	625	-1992	-2369	-646
mei	m <sup>3</sup>	930	-1023	-913	-481	-2284	594
juni	m <sup>3</sup>	4732	-2113	-953	-556	-923	3090
juli	m <sup>3</sup>	2374	-870	-3251	-564	-1443	4448
augustus	m <sup>3</sup>	-519	284	-529	-1609	1444	1193
september	m <sup>3</sup>	-3216	-444	-2021	-1248	148	-2559
oktober	m <sup>3</sup>	-1086	-905	-971	1646	-187	1455
november	m <sup>3</sup>	1509	460	-1399	-203	-1795	-1534
december	m <sup>3</sup>	-1911	1549	1619	289	705	445
jaartotaal	m <sup>3</sup>	9660	-3307	-5798	-1384	-193	10483



Figuur 32: Maandelijke overschotten of tekorten als 20% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60]



Figuur 33: Maandelijke overschotten of tekorten als 30% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60]



Figuur 34: Maandelijke overschotten of tekorten als 50% van de huidige kanaalwateraanvoer vervangen wordt door hemelwater [60]



## Bijlage C: Parameters gemengde waterstromen

Tabel 28: 20% hemelwater gemengd met 80% ongefilterd kanaalwater

Parameters	Eenheden	Waarden o.b.v. staalname 28/03	Waarden o.b.v. staalname 19/04	Waarden o.b.v. staalname 09/05
pH	-	8,01	7,99	8,02
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	163,4	158,2	165,4
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	485,5	477,4	475,0
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	185,2	176,6	180,5
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	26,2	25,9	25,7
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,6	0,6	0,7
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,2	0,3
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,1	0,1	0,2
Chloride (als Cl)	mg/L	30,4	29,9	28,4
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	43,8	40,8	39,0

Tabel 29: 30% hemelwater gemengd met 70% ongefilterd kanaalwater

Parameters	Eenheden	Waarden o.b.v. staalname 28/03	Waarden o.b.v. staalname 19/04	Waarden o.b.v. staalname 09/05
pH	-	7,97	7,93	7,99
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	155,1	147,3	158,1
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	469,6	457,6	454,0
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	176,3	163,5	169,3
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	24,3	23,7	23,5
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,5	0,5	0,7
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,2	0,3
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,1	0,1	0,2
Chloride (als Cl)	mg/L	30,1	29,3	27,0
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	44,2	39,8	37,0

## Bijlage D: Controle indikking

Tabel 30: Controle indikking voor 20% hemelwater

Parameters	Eenheden	Gemengde stroom	Indikking van 3,8	Limieten
pH	-	8,01	-	8,0-9,0
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	163,4	620,92	200-600
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	485,5	1844,9	<2000
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	185,2	703,76	<650
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	26,2	99,56	-
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,6	2,28	<1,0
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,76	<6,0
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,1	0,38	<2,0
Chloride (als Cl)	mg/L	30,4	115,52	<300
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	43,8	166,44	<500

Tabel 31: Controle indikking voor 30% hemelwater

Parameters	Eenheden	Gemengde stroom	Indikking van 4,0	Limieten
pH	-	7,97	-	8,0-9,0
P-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
M-Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	155,1	620,4	200-600
Geleidbaarheid 25°C	µS/cm	469,6	1878,4	<2000
Totale hardheid (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	-	-	-
Calcium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	176,3	705,2	<650
Magnesium (als CaCO <sub>3</sub> )	ppm	24,3	97,2	-
Ijzer, totaal (als Fe)	ppm	0,5	2	<1,0
Totaal fosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,2	0,8	<6,0
Orthofosfaat (als PO <sub>4</sub> )	ppm	0,1	0,4	<2,0
Chloride (als Cl)	mg/L	30,1	120,4	<300
Sulfaat (als SO <sub>4</sub> )	mg/L	44,2	176,8	<500