

# Watercrisis in Vlaanderen: Hoe houden we de kraan lopende?

Elena Bull, Sarai Liekens, Anke Snauwaert en Elodie Van Hove

Leuven, 11 mei 2020

---

## Abstract

Vlaanderen zal tegen 2100 één van de meest waterschaarse regio's zijn. Om dit probleem proactief te benaderen zullen verschillende grote investeringen gemaakt moeten worden. Indien dit niet gebeurt zal Vlaanderen een sterk watertekort verkrijgen, vergelijkbaar met landen zoals Spanje en Zuid-Afrika. Om dit probleem een oplossing te bieden werden in deze studie verschillende strategieën kwantitatief met elkaar vergeleken vanuit het Vlaamse perspectief. Uit berekeningen blijkt dat de oplossing voor dit probleem niet eenduidig is, maar een samenspel tussen verschillende technieken. Het plan bestaat voornamelijk uit artificiële aquifer aanvulling (MAR) en omgekeerde osmose (RO). Wanneer de Vlaming in 2100 nog water wil consumeren zoals hij dat vandaag doet, zal dit jaarlijks 1,3 miljard euro vragen. Aan de hand van MAR zal  $1,73 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup>/jaar geproduceerd kunnen worden. De andere  $7,46 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup>/jaar zal via RO verkregen moeten worden. Echter zullen duurzame energiecentrales nodig zijn om aan de energievraag van RO te voorzien. Particulieren kunnen door waterbesparing, het implementeren van dauwnetten of *Zero Mass Water* hydropanelen in hun eigen water voorzien. Toepassingen zoals hydrogels en MOFs zijn veelbelovend, maar voorlopig nog te jong. De industrie kan de watercyclus sluiten door een 1-STEP filter met bijhorende desinfectiestap te plaatsen. Het afvalwater wordt op die manier eenvoudig omgezet naar drinkwater.

---

## 1. Inleiding

De Vlaming is er als de kippen bij om te klagen over het slechte weer en dan vooral de neerslag in deze regio. Toch is Vlaanderen erg kwetsbaar op vlak van waterbevoorrading. De hoogkwalitatieve watervoorraden, zoals diepe grondwaterlagen, geraken uitgeput door overexploitatie en onvoldoende aanvulling [1]. Volgens het Milieurapport Vlaanderen (MIRA) bedraagt de waterbeschikbaarheid in Vlaanderen 1100 à 1700 m<sup>3</sup>/(inwoners.jaar), wat zeer laag is volgens internationale normen. De gemiddelde waterbeschikbaarheid bij landen van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (EOSO) (exclusief IJsland) bedraagt 14 608 m<sup>3</sup>/(inwoners.jaar). Zelfs landen als Spanje, Portugal en Griekenland hebben momenteel een hogere waterbeschikbaarheid per persoon dan Vlaanderen. Deze waterstress wordt voornamelijk veroorzaakt door de hoge bevolkingsdichtheid [2].

Volgens de Vlaamse Milieumaatschappij zijn de grootste waterverbruikers in Vlaanderen de huishoudens en de industrie, die respectievelijk 34% en 40% van het totale waterverbruik opeisen (exclusief koelwater) [3]. Deze sectoren kunnen hun waterverbruik verminderen door het toepassen van enkele managementoplossingen, waarvan er enkele voorgesteld worden in dit artikel. De verantwoordelijkheid bij het verminderen van huishoudelijk water ligt bij de gezinnen. Zo kunnen een paar eenvoudige maatregelen die de gezinnen zelf nemen het waterverbruik drukken. De industrie kan met behulp van nieuwe afvalwaterzuiveringstechnieken en een bijkomende desinfectiestap drinkbaar water bekomen. Verder zorgt de hoge bebouwingsgraad in Vlaanderen voor veel verharde oppervlakken die infiltratie van regenwater tegengaan. Een studie, uitgevoerd in opdracht van het Agentschap Informatie Vlaanderen schatte in 2015 dat 16% van het oppervlak in

Vlaanderen afgedekt of verhard is [4]. Dit zorgt ervoor dat veel water verloren gaat door *run-off* (afvloeiing van regenwater). Vergroening van steden kan hierbij een oplossing bieden.

Instanties zoals het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), European Environment Agency (EEA) en MIRA bestuderen en rapporteren informatie over de gevolgen van klimaatveranderingen en doen voorspellingen over de toekomst. Het MIRA werkt met drie klimaatscenario's, namelijk een hoog, midden en laag-impact scenario. Bij een hoog-impact scenario zullen 95% van alle opgestelde klimaatmodellen voor 2100 in Vlaanderen een lagere klimaatimpact geven dan bij dit scenario. De kans op een zeker scenario is niet te bepalen. Volgens deze modellen kan de hoeveelheid neerslag in de winter over 100 jaar tot 38% toenemen als gevolg van een hogere neerslaghoeveelheid per dag. Verder kan over 100 jaar de neerslag in de zomer tot wel 52% afnemen. Deze afname zal voornamelijk veroorzaakt worden door de afname van het aantal natte dagen. De neerslag zal dus meer seizoensgebonden zijn. Verder zullen de frequentie en de intensiteit van overstromingen toenemen door de gevolgen van klimaatverandering en wijzigingen in landgebruik [2].

De gemiddelde temperatuur in België zal tegen 2100 met 4,5°C stijgen [5]. Dat brengt de gemiddelde temperatuur van 9°C naar 13,5°C. Door hogere temperaturen en afname van neerslag in de zomer, zal het risico op watertekort in de zomer alleen maar toenemen. Dit soort klimaat is momenteel reeds te zien in Spanje. De gemiddelde temperatuur in Madrid bedraagt 13,9°C. Er heersen daar bovendien droge zomers met watertekort gekoppeld met nattere winters [6]. Als gevolg kampt Spanje reeds met problemen voor drinkwatervoorziening in de zomer en overstromingen vanwege hevige regenval gedurende een korte periode in de wintermaanden. Met behulp van artificiële aquifer aanvulling kan regenwater

opgeslagen worden in de grondwatertafel. Een aquifer wordt gedefinieerd als 'een watervoerende laag die bestaat uit één of meer geologische lagen die voldoende poreus en doorlatend zijn voor een belangrijke grondwaterstroming of voor onttrekking van aanzienlijke hoeveelheden grondwater' [7]. Het teveel aan regenwater in de winter wordt opgeslagen in aquifers en later in de zomer bij tekorten teruggewonnen. Daarnaast kunnen overstromingen hiermee ook ingeperkt worden.

De aarde wordt de blauwe planeet genoemd door zijn overdaad aan water. Ongeveer 97,5% van al het water is zout water en 2,5% is zoet water, waarvan slechts 0,26 tot 0,60% beschikbaar is [1]. Het cruciale zoet water is dus beperkt. Technieken zoals omgekeerde osmose (RO; *reverse osmosis*), meerfasige flashdistillatie (MSF; *multi-stage flash distillation*) en multi-effect distillatie (MED; *multi-effect distillation*) produceren drinkwater door het ontzilt water van zout water. Er zit ook water in de lucht. In België schommelt de relatieve luchtvochtigheid (RH; *relative humidity*) tussen 65 en 90% [8]. De RH is de verhouding van het absolute vochtgehalte in de lucht in g/m<sup>3</sup> ten opzichte van het maximale vochtgehalte van de lucht, wat afhangt van de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer water de lucht maximaal kan dragen. Water uit de lucht is een onuitputtelijke bron door de snelle aanvulling uit zeeën en oceanen in de hydrologische cyclus. Er bestaan verschillende technieken om water uit de lucht te oogsten, die werken bij verschillende optimale RH. Diegene die worden besproken zijn koelen van lucht, waterwinning door adsorptie en oogsten van mist- en dauwwater.

Zoals reeds duidelijk is, zijn er heel wat manieren om het talrijke water op aarde om te zetten naar drinkwater. Aan deze technieken is uiteraard ook steeds een prijskaartje verbonden. Niet alleen de investeringskosten, maar ook het energieverbruik kan hoog oplopen. De kosten van de verschillende methoden worden toegelicht en geprojecteerd op de Vlaamse mogelijkheden. Hierbij wordt er gestreefd naar een zelfstandige watervoorziening in Vlaanderen, waardoor import uit andere landen wordt verwaarloosd.

## 2. Methoden

De voorgestelde technieken worden onderverdeeld in management- of technische oplossingen.

### 2.1 Managementoplossingen

Om het verbruik van ons felbegeerde leidingwater te reduceren zijn er enkele managementoplossingen voor handen. Deze oplossingen zorgen niet voor extra water, maar geven ons manieren om om te gaan met het water dat reeds beschikbaar is. De overheden spelen vaak een belangrijke rol in het uitvoeren of aanmoedigen van deze oplossingen.

#### *2.1.1 Vergroening van steden*

Door de groeiende bevolking zal het aantal straten, parkeerplaatsen, woningen en andere harde oppervlakken stijgen. Deze doen de neerslag afstromen. Een stadsblok veroorzaakt zelfs gemiddeld vijf keer meer

afvoer van water dan een bosgebied. Vergroening van steden zou ervoor zorgen dat een deel van het stadsoppervlak meer doorlaatbaar zou worden. Dit zorgt voor minder *run-off* bij stortbuien en stormen. Poreuze landschappen zoals weiden en bossen absorberen tot 90% procent van de neerslag. Bovendien neemt het water op verharde delen veel toxische of vervuilde stoffen met zich mee zoals strooizout, olie, zware metalen, pesticiden, ... Dit zorgt ervoor dat het regenwater in een vervuilde stroom resulteert die terecht kan komen in rivieren. Door deze vervuiling kunnen vis- en schelpdierpopulaties afnemen. Daarnaast heeft de vergroening ook een economisch voordeel: straten en huizen lopen een kleiner risico op overstroming [9].

#### *2.1.2 Reductie verbruik van huishoudelijk water*

De gemiddelde persoon gebruikt 40 000 liter water op jaarbasis, ofwel 110 liter/dag. Ongeveer 67% daarvan gaat naar bad, douche, toilet en was. Eenvoudige ingrepen kunnen dat waterverbruik drastisch drukken. Enkele voorbeelden zijn: (1) een spaarkop installeren in het toilet, dit kan tot 20 liter/(persoon.dag) besparen (bijna 90% besparing), (2) maximaal 10 minuten douchen en de kraan uitzetten tijdens het inzepen, (3) enkel wassen indien de wasmachine vol zit, (4) de vaat niet afspoelen vooraleer ze in de vaatwasmachine te zetten [11]. Het aanwenden van een andere waterbron is voornamelijk haalbaar voor het toilet en de tuin. Hierbij verschuift de waterbron van drinkbaar leidingwater naar regenwater [10]. In Kaapstad, een plaats met een gigantisch watertekort, dat een piek kende in 2017-2018, werden heel wat maatregelen genomen om het verbruik van water te reduceren. Er werd hierbij vooral gefocust op de huishoudens. In de piek van de crisis werd een limiet gezet op het waterverbruik, dit bedroeg op een moment nog slechts 50 liter water/(dag.persoon). Enkele maatregelen die dit haalbaar moesten maken zijn de volgende: (1) toiletten werden niet meer doorgespoeld na plassen en doorgespoeld met regenwater of afvalwater na een grote boodschap, (2) de frequentie en duur van een douche moest verminderd worden, (3) op openbare plaatsen werd het klassieke handen wassen vervangen door handontsmettingsmiddel, (4) het werd verboden zwembaden te vullen, tuinen te sproeien en dergelijke met drinkwater [11]. Enkele van deze maatregelen worden reeds toegepast in Vlaanderen tijdens de waterschaarse zomermaanden. De problematiek in Zuid-Afrika komt voor ons dichtbij.

### 2.2 Technische oplossingen

Naast de managementoplossingen zijn er ook heel wat technische oplossingen. De technische oplossingen vertalen zich in een installatie die niet-drinkbaar water omzet naar drinkbaar water. Deze oplossingen leveren ons dus wel degelijk extra water op.

#### *2.2.1 Afvalwater*

In de strijd naar bruikbaar water, is het belangrijk dat ook het afvalwater zo efficiënt mogelijk wordt hergebruikt. Vandaag wordt reeds 84% van al het huishoudelijk afvalwater gezuiverd, dit water wordt niet gebruikt als drinkwater. Van het totaal geloosde bedrijfsdebiet wordt 83% rechtstreeks als oppervlaktewater geloosd en de

overige 17% komt in de publieke riolering terecht. Het geloosde water zou na extra zuivering gebruikt kunnen worden voor de productie van drinkwater. Dit is momenteel nog niet het geval [12].

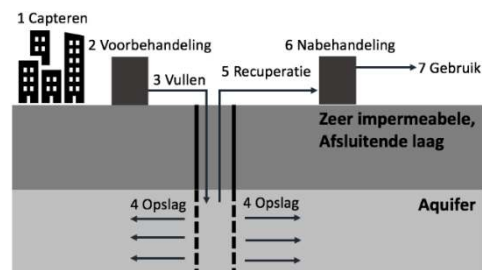
De 1-STEP filter is een vernieuwde techniek die slechts één actieve koolfilter bevat. De filter is in staat op stapsgewijs fosfaat, zwevende partikels, stikstof, zware metalen, microverontreinigingen en medicijnresten te verwijderen. Zo vervangt het de vier behandelingsstappen door één stap. Het water wordt nadien als oppervlaktewater geloosd. Echter heeft dit geloosde water een dusdanige kwaliteit dat na een extra desinfectiestap hier zuiver drinkwater uit kan worden gemaakt [13]. Dit zou er dus voor kunnen zorgen dat afvalwater in de toekomst een bron voor drinkwater wordt. De techniek vereist zeer weinig energie, namelijk 0,04 kWh/m<sup>3</sup> en heeft een lage operationele kost van 0,08 €/m<sup>3</sup>, waarbij rekening gehouden wordt met regeneratie van de koolfilter bij een standtijd van één jaar en 0,09 €/m<sup>3</sup> bij een standtijd van 6 maanden. De regeneratie gebeurt door terugspoeling. De investeringskost van een installatie voor een debiet van 1500 m<sup>3</sup>/uur bedraagt rond de 0,23 €/m<sup>3</sup> [14]. Bij deze techniek wordt er 30 tot 50% bespaard op investeringskosten en operationele kosten vergeleken met conventionele processen. Door de hoge filtratiesnelheid van 15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) kan op één jaar 131 400 m<sup>3</sup> gezuiverd worden per vierkante meter filter [14]. Bovendien resulteert het gebruik van slechts één filter in een reductie van de nodige plaats. Een ander voordeel is dat het eenvoudig te implementeren en uit te breiden is, omdat het kan toegevoegd worden aan bestaande zuiveringssystemen of als voorbehandeling kan dienen in installaties voor waterhergebruik.

### 2.2.2 Artificiële aquifer aanvulling

Grondwaterlagen worden aangevuld door infiltratie van neerslag. Zolang er minder of een gelijke hoeveelheid water aangevuld wordt als er wordt geëxploiteerd, is er geen probleem [15]. Echter worden de aquifers overgeëxploiteerd met een daling van de watertafel tot gevolg. Management van aquifer aanvulling (MAR; Management of Aquifer Recharge) is een verzamelnaam voor een reeks van technieken die op gecontroleerde wijze grondwaterlagen aanvullen [16]. Met MAR-installaties kan het overschot aan water opgeslagen worden en later terug worden opgepompt. Als waterbron worden onder andere regenwater en afvalwater gebruikt.

Er zijn verschillende methodes om grondwater aan te vullen, afhankelijk van het type aquifer. Gesloten aquifers worden afgescheiden van het aardoppervlak door een niet of slecht permeabele laag. Deze hebben injectieputten nodig. De term *aquifer storage and recovery* (ASR) omvat de technieken waarbij water via injectieputten wordt aangevuld en waarbij water via dezelfde put wordt gewonnen. Open of vrije aquifers worden niet afgescheiden van het aardoppervlak door een slecht of niet permeabele laag en kunnen aangevuld worden door infiltratie van water doorheen de bodem [16].

MAR-installaties die werken met een open of gesloten aquifer bestaan uit dezelfde zeven basiscomponenten [16]. Figuur 1 geeft deze componenten grafisch weer voor het aanvullen van een gesloten aquifer met een ASR-installatie. In stedelijke gebieden vindt veel *run-off* plaats door verharde oppervlakken. Dit water wordt verzameld in opvangbekkens en gaat naar de voorbehandeling. Deze is nodig om verstoppingen van de installaties, veroorzaakt door fysische, chemische en biologische processen te voorkomen. Verder hangt het type voorbehandeling ook af van de graad van vervuiling, de kwaliteit van het grondwater en het doel van het gebruik na exploitatie [17]. Daarna wordt het grondwater aangevuld en tijdelijk opgeslagen in de aquifer. Later wordt het dan terug geëxploiteerd en behandeld naargelang de bestemming van het water.



Figuur 1: Grafische weergave van een ASR-installatie voor het aanvullen van een gesloten aquifer. Deze zijn: (1) Water opvangen en verzamelen (2) De voorbehandeling (3) Water injecteren in de aquifer (4) Tijdelijke opslag van water in de aquifer (5) Water winnen uit de aquifer (6) De nabehandeling (7) Het gebruik van het water.

Bij het plaatsen van een MAR-installatie spelen veel factoren een rol, waardoor het bepalen van een eenduidige kostprijs moeilijk is. De geologie van de bodem bepaalt welk type MAR-installatie mogelijk is, de prijs ervan varieert sterk naargelang het type installatie. Zo is een bassin voor oppervlakte-infiltratie uiteraard veel goedkoper dan een installatie die water in een diepe aquifer injecteert. Verder blijkt uit een studie van Perrone *et al.* (2016) dat de kostprijs sterk afhangt van het gebruikte water (regenwater, afvalwater, ...) [18]. Met de voorspelde bevolkingsgroei en de reeds hoge bevolkingsdichtheid in Vlaanderen zal er steeds minder vrij oppervlak beschikbaar zijn. Daarom is het verantwoord aan te nemen dat er meer toekomst is voor ASR dan voor oppervlakte-infiltratie systemen, omdat dit laatste veel meer plaats nodig heeft.

Dillon *et al.* (2009) berekende en bestudeerde de kostprijs van stedelijke ASR-projecten in Australië. Twaalf ASR-installaties, die 75 tot 2 000 miljoen liter/jaar verwerken en gelegen zijn in Zuid-Australië en Victoria, werden onderling vergeleken. De gemiddelde *levelised cost* wordt gedefinieerd als 'het constante inkomstenniveau dat elk jaar nodig is om alle kapitaal-, bedrijfs- en onderhoudskosten gedurende de levensduur van het

project te betalen gedeeld door het jaarlijkse volume aan geleverd water'. Berekeningen stellen vast dat deze 0,6 €/m<sup>3</sup> bedraagt. Hiervan is 74% of 0,45 €/m<sup>3</sup> de investeringskost en 26% of 0,15 €/m<sup>3</sup> de operationele kost. De prijs van de grond werd echter niet in rekening gebracht[16].

Australië kent meerdere klimaatzones, hoe verder landinwaarts, hoe droger. Zuid-Australië is de droogste staat van Australië. Overstromingen zijn zeldzaam. Victoria kent een milder klimaat [19][20]. De bestudeerde MAR-installaties uit Victoria en Zuid-Australië liggen in klimaatzones die niet overeenkomen met de voorspellingen voor België; Zeer droge zomers en winters met meer overstromingen. MAR is voor een situatie met afwisselend tekort en overschot aan water een passende techniek, waardoor in Vlaanderen de kosten lager kunnen liggen.

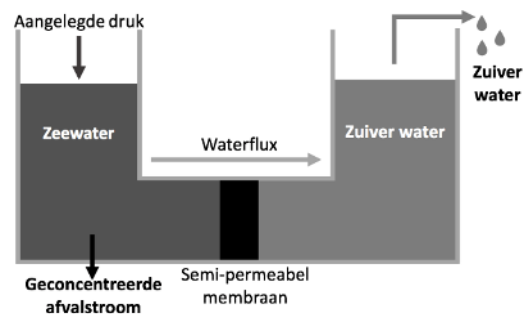
MAR-installaties kunnen tot meer dan 20\*10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/jaar verwerken. Dergelijke grote installaties bestaan wel uit meerdere sites [16]. De hoeveelheid water die gestockeerd en later gewonnen kan worden hangt af van het beschikbare water en de capaciteit van de grondwaterlagen.

### 2.2.3 Zeewater

De zeeën en oceanen omvatten 97,5% van al het water op aarde [1]. Deze gigantische hoeveelheid is wegens zijn hoog zoutgehalte en andere onzuiverheden niet drinkbaar. Er zijn echter enkele methoden om dit zoute zeewater te ontzilten en op die manier drinkbaar water te produceren. Het ontzilten kan gedaan worden door een faseovergang of door een interactie met een vaste stof die onzuiverheden tegenhoudt en water doorlaat. Andere technieken zijn mogelijk, maar deze worden niet besproken door hun hoge kost en/of lage opbrengst. Een overzicht van de meest beloftevolle oplossingen wordt gegeven.

#### 2.2.3.1 Omgekeerde osmose (RO)

Omgekeerde osmose is momenteel de meest gebruikte methode voor het ontzilten van zeewater. RO is een drukgedreven proces waarbij water onder invloed van een hydrostatische druk doorheen een semipermeabel membraan geduwd wordt. Het membraan is waterdoorlatend, maar houdt zout en andere onzuiverheden tegen. De werking van RO wordt schematisch weergegeven in Figuur 2. Opdat water zou migreren van de zoute naar de ontzoute kant moet een hydrostatische druk worden aangelegd die groter is dan de osmotische druk die de omgekeerde beweging veroorzaakt. De osmotische druk wordt bepaald door het verschil in concentratie natriumchloride tussen het zoute en zuivere water. Concreet betekent dit dat, hoe zouter het water is, hoe groter de osmotische druk is, hoe groter de hydrostatische druk zal moeten zijn, hoe meer energie geïnvesteerd zal moeten worden. Voor zeewater moet een druk van 55 tot 65 bar gerealiseerd worden, dit door de osmotische druk van 25 bar, het drukverlies over het membraan en om een voldoende hoge flux te verkrijgen [21]. RO verbruikt 4 tot 6 kWh/m<sup>3</sup> [22].



*Figuur 2: Schematische weergave van omgekeerde osmose. Zeewater wordt door een aangelegde druk door het semipermeabel membraan gedreven. Zout en andere onzuiverheden worden tegengehouden en in een geconcentreerde afvalstroom afgevoerd. Gezuiverd water blijft over en kan geoogst worden.*

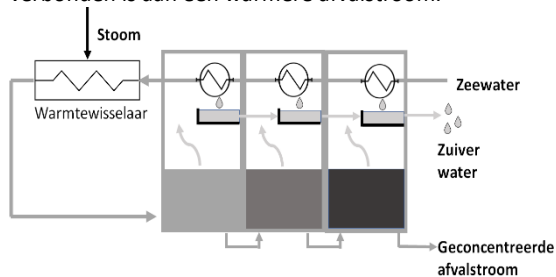
#### 2.2.3.2 Meerfasige flashdistillatie (MSF) en multi-effect distillatie (MED)

Meerfasige flash distillatie en multi-effect distillatie zijn twee technieken die zorgen voor desalinatie door faseverandering, in dit geval evaporatie. De twee technieken verschillen van elkaar wat betreft de manier waarop water verdampt wordt.

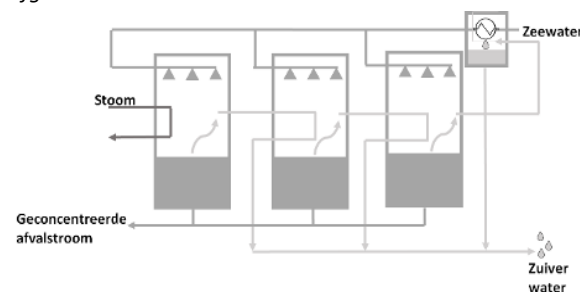
In een MSF-installatie bevat elke kamer een condensator. Koel, zout water komt de installatie binnen. Het water wordt verwarmd door een (tegenstroom) warmtewisselaar en naar de eerste kamer geleid. Door de verwarming verdampt een deel van het water dat zal condenseren tegen de condensator in de kamer, waarna de condens (zuiver water) opgevangen kan worden. Operevolgende kamers hebben steeds een lagere temperatuur, maar ook een grotere onderdruk waardoor ook hier weer condens gevormd wordt en afgevoerd kan worden. MSF heeft een hoog energieverbruik van 19,85 tot 27,25 kWh/m<sup>3</sup> [22]. Reeds enkele maatregelen werden genomen om dit energieverbruik in te perken. Vooraleer het water over de warmtewisselaar gestuurd wordt, passeert het in een gesloten buis al eens door alle kamers. Op die manier kan deze buis fungeren als condensator en wordt het zeewater reeds deels opgewarmd door de verhoogde temperatuur in de kamers en de condensatiewarmte die de stoom afgeeft [23]. Het MSF-proces wordt grafisch weergegeven in Figuur 3.

Bij MED wordt zout water op buizen met hete stoom gespoten. Er gebeurt dus warmteoverdracht van de stoom naar het zout water, zodat de stoom afkoelt en condenseert en het water opwarmt en verdampt. Dit gebeurt in een aaneenschakeling van verschillende kamers, zodat de stoom die gecreëerd wordt in de vorige kamer kan dienen als warmtebron voor de volgende kamer. Figuur 4 geeft een schematische voorstelling van MED. MED leidt tot een verbruik van 14,45 tot 21,35 kWh/m<sup>3</sup> [22]. De buizen leiden echter tot vervuilingproblemen door het optreden van *fouling* en zijn moeilijk op te schalen. *Fouling* is de opstapeling van ongewenst materiaal op verharde oppervlakken [23]. Dit maakt dat MSF, een techniek die meer energie verbruikt, toch meer toegepast wordt [23].

Deze technieken verbruiken beide veel meer energie dan RO. Dit komt omdat in deze technieken een omweg wordt gemaakt door het creëren van waterdamp om het daarna terug om te zetten naar water. Door deze omweg van verdampen en weer condenseren, gaat er veel energie verloren aan niet-nuttige processen. Zo wordt het water dat niet verdampt ook mee opgewarmd tot temperaturen vlak onder het kookpunt. Deze toegevoegde warmte is niet nuttig geïnvesteerd aangezien er geen enkel voordeel verbonden is aan een warmere afvalstroom.



*Figuur 3: Schematische voorstelling van MSF-distillatie. Zeewater stroomt doorheen een warmtewisselaar en komt in kamers die steeds onder hogere onderdruk werken. Het water dat verdampt condenseert tegen buizen waarin koud zeewater wordt vervoerd en kan in de vorm van zuiver water worden opgevangen. Wat overblijft is een geconcentreerde afvalstroom die wordt afgevoerd.*



*Figuur 4: Schematische voorstelling van MED. Zeewater wordt op buizen met hete stoom gespoten waardoor een gedeelte verdampt. De stoom condenseert door het doorheen een buis door de volgende kamer te sturen en kan als zuiver water worden opgevangen. Wat overblijft is een geconcentreerde afvalstroom die wordt afgevoerd.*

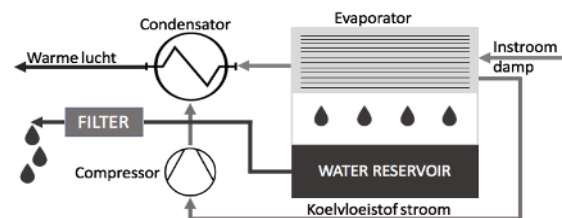
#### 2.2.4 Waterdamp

Bij de voorspelde gemiddelde temperatuur van 13,5°C zal er maximaal 12,8 g water/m<sup>3</sup> lucht zijn. Dit staat tegenover 9,4 g water/m<sup>3</sup> bij de huidige gemiddelde temperatuur van 9°C [5]. Hierdoor kan de relatieve luchtvochtigheid dalen, terwijl de hoeveelheid water in de lucht stijgt. Om water te oogsten uit de lucht kan een atmosferische water generator (AWG) gebruikt worden. Binnen deze categorie zijn er vier opties: dampcompressie, het koelen van lucht, ad-en absorptie en de oogst van dauw- of mistwater [25].

##### 2.2.4.1 Koelen van lucht

De basisopstelling, gelijkaardig aan een warmtepomp, is te zien in Figuur 5 en bestaat uit drie basiscomponenten: een evaporator, een condensator en compressoren. De circulerende koelvloeistof onttrekt warmte uit de damp waardoor deze onder het dauwpunt komt. Koude lucht

kan minder water dragen waardoor er condensatie optreedt en er water verzameld kan worden. Om de koelvloeistof te regenereren wordt de warmte nadien afgegeven aan de omgeving. Het grootste nadeel van deze opstelling is dat ze ontworpen moeten worden naargelang het klimaat. Bij lage luchtvochtigheden zal een lagere dauwpunttemperatuur moeten worden bereikt om voldoende water te oogsten [25]. Een andere koelingsmethode op basis van thermo-elektrisch koelen kan ook gebruikt worden. Hierbij wordt een spanningsverschil aangelegd over een pn-junctie. Dit spanningsverschil brengt een elektrische stroom teweeg, die een zijde van de junctie opwarmt en de andere afkoelt. Deze methode is vaak minder energie-efficiënt, maar vermijdt het gebruik van een koelvloeistof [26].



*Figuur 5: Schematische voorstelling van dampcompressie. De damp komt het toestel binnen via de evaporator waarbij, door middel van een koelvloeistof, de damp onder het dauwpunt wordt gebracht. Deze koelvloeistof gaat hierna via de compressor en condensator om warme lucht aan de omgeving af te geven. Het bekomen water kan na filtratie gebruikt worden als drinkwater.*

Verschillende start-ups zijn druk bezig met het uitwerken van deze technologie. Eén van de betere systemen kan tot 7 500 liter/(dag.windmolen) produceren [27]. Eén van deze systemen is de EcoloBlue 10 000, deze verbruikt 179 kWh/m<sup>3</sup> en kan 10 000 liter/dag produceren indien de RH tussen 70% en 80% ligt. De levensduur van de EcoloBlue is 20 jaar. Andere modellen zoals de Quest dual verbruiken 238 kWh/m<sup>3</sup> [28]. Wat de prijs op 52,38 €/m<sup>3</sup> brengt. Dit is 12 keer duurder dan de ± 4,3 € die je momenteel in Vlaanderen betaalt voor een kubieke meter leidingwater [29].

##### 2.2.4.2 Ad- en absorptie

Absorptie is de opname van water in de poriën van het materiaal, zoals bij een spons. Figuur 6 geeft hier een grafische weergave van. Adsorptie is het aanhechten van water aan het oppervlak van het materiaal. Om het water uit het materiaal te halen wordt het materiaal partieel geregenereerd, partieel omdat de regeneratie zelden 100% zal zijn. De kost om de laatste waterdruppels uit het materiaal te halen is namelijk te hoog. Voor de productie van water gebeurt deze regeneratie aan de hand van hitte. Om het water vervolgens te winnen uit deze materialen worden deze verwarmd, op deze manier wordt het materiaal ook deels geregenereerd. Zowel vloeibaar als vast absorberend materiaal kan gebruikt worden. In een vloeibaar absorbers veranderen de chemische en fysische eigenschappen van de vloeistof bij het absorberen. Vloeibare absorbers worden beperkt gebruikt door de contaminatie van water met organische solventen, corrosie van apparatuur en de lange contacttijd. Vaste adsorbensen daarentegen worden wel

vaker gebruikt. Ze zijn eenvoudiger, maar vereisen wel een hogere energie-input voor het desorberen van water. Adsorbensen zoals zeolieten, metaal-organische roosters (MOFs) en absorbers zoals silica, halide zouten en hydrogels worden verder toegelicht. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de meest frequente materialen gebruikt voor het capteren van water uit de lucht [25].

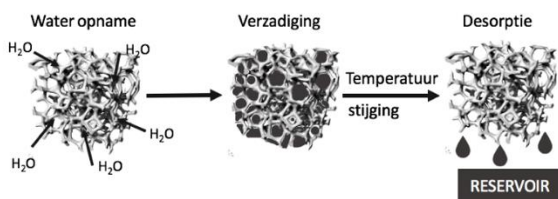
energiekost is wanneer deze zouden werken op netstroom. In Vlaanderen zou de energiekost voor deze methode 370 kWh/m<sup>3</sup> bedragen wat overeenkomt met 81,4 €/m<sup>3</sup>.

De beste atmosferische water generator, op basis van dampcompressie, (AWG) (productie van

Tabel 1: Overzicht meest frequente materialen voor capteren van water met hun eigenschappen.

Materiaal		Opnamecapaciteit in (kg water)/(kg materiaal)	Relatieve vochtigheid (%)	Desorptie temperatuur (°C)
Silicagel [42]		0,3/0,4	> 50	120
Halide zouten [43]	Koperchlorides	0,27	> 10	> 55
	Kopersulfaat/Magnesiumsulfaat	0,4	> 35	50
	MCM-41 (matrix) + CaCl <sub>2</sub>	1,75	> 70	80
hydrogels* bv. Super <u>Moisture Absorbent Gel</u> (SMAG) [37]		20-55	60-90	50
Zeolieten [44]		0,2	40	> 150
MOF bv. (MOF)-801 Zr <sub>6</sub> O <sub>4</sub> (OH) <sub>4</sub> (fumarate) <sub>6</sub>		0,25	20	85

\*Een hydrogel is een netwerk van hydrofiële polymeren.



Figuur 6: Werking van absorptie en desorptie van water. Het water wordt geabsorbeerd in de poriën van het poreuze materiaal. Bij verzadiging is de maximale watercapaciteit bereikt waardoor er geen bijkomend water geabsorbeerd kan worden. Door de temperatuur te doen stijgen kan het water gedesorbeerd worden uit het poreus materiaal naar een reservoir [25].

Eén van de toepassingen zijn hydropanelen. De *start-up Zero Mass Water* is koploper in de ontwikkeling van deze technologie. Op dit ogenblik wordt er in Arizona met 2,88 m<sup>2</sup> hydropanelen 8 tot 10 liter/dag geproduceerd. Door de lagere zonne-irradiatie in Vlaanderen zou dit hier nog maar iets meer dan de helft opbrengen [30]. Dit betekent dat er per persoon 63 m<sup>2</sup> hydropaneel gelegd moet worden om aan een watervraag van 110 liter/dag te voldoen. De hydropanelen werken op basis van absorberend materiaal dat wordt geregenereerd met behulp van zonne-energie. Het absorberend materiaal ROS-037 kwam als beste uit het onderzoek en wordt gebruikt in de hydropanelen. ROS-037 heeft nanoporiën, werkt reeds bij lage RH en kan veel water absorberen [31]. De zonnepanelen worden gebruikt om de ventilator aan te drijven en om data over het weer en dergelijke door te geven. De regeneratie gebeurt door het verwarmen van de adsorbentia waarna het water condenseert tegen een koud oppervlak en zo vloeibaar water vormt. De twee sleutelfactoren voor de *Zero Mass Water* hydropanelen zijn de relatieve luchtvochtigheid en de zonne-irradiatie. Ieder paneel kost 1 800 € en de installatiekost is 450 €. Een hydropaneel gaat ongeveer 15 jaar mee [32]. Zoals eerder vermeld werken deze hydropanelen op zonne-energie. Er kan echter ook berekend worden wat hun

2 006 liter/(toestel.dag) bij 21°C en 70% RH heeft op dit ogenblik 15,4 kWh/m<sup>3</sup> nodig. Door de relatief hoge energievraag wordt voornamelijk ingezet op het produceren van water aan de hand van hernieuwbare energie zoals zonnepanelen of windenergie. Het voordeel van de AWG met adsorptie is dat die al bij zeer lage RH goed werkt. Zonder adsorptie moet de RH hoger zijn dan 30%. Een AWG zonder adsorptie wordt echter al vaak gebruikt waardoor de technologie reeds goed ontwikkeld is. Toch vraagt de techniek nog veel energie en kan de luchtstroming beïnvloed worden door vorst in de buizen. Het grote nadeel van een AWG met adsorbentia is dat de adsorbentcapaciteit sterk beïnvloed wordt door de luchtkwaliteit. Polluenten zullen zich vasthechten op het adsorbens waardoor de wateropname bemoeilijkt wordt [25].

#### 2.2.4.3 Oogst van mist- en dauwwater

Mist is het in de lucht zweven van kleine waterpartikels, terwijl dauw gevormd wordt op een oppervlak met een temperatuur lager dan de dauwpuntstemperatuur. Om van dauw te spreken moet die oppervlaktetemperatuur hoger zijn dan het vriespunt, anders wordt de dauw ijs en wordt dit niet meer als dauw beschouwd. Door de lage opbrengst van mistwater wordt voornamelijk dauwwater gebruikt als waterbron [33].

Aan de hand van netten kan een beduidende hoeveelheid dauwwater gecollecteerd worden, tot 5 liter/(m<sup>2</sup>.dag). Deze netten worden opgespannen tussen 2 palen. Het eenvoudige design maakt de techniek zeer toegankelijk. In Marokko staat het grootste collectorpark met ongeveer 600 m<sup>2</sup> aan netten. Dit dient om de lokale Berber dorpjes van water te voorzien. Het bekomen water is van een gelijkaardige kwaliteit als het drinkwater waardoor een extra zuiveringsstap niet nodig is. Dit is wel enkel het geval in afgelegen gebieden, waar de dauwnetten een ideale bron van drinkbaar water voorzien. In dichtbevolkte, industriële gebieden zal door de luchtverontreiniging een extra zuiveringsstap nodig zijn wat deze techniek minder interessant maakt [34].

Bepaalde type netten zijn ontworpen om rond een boom te bevestigen of boven planten te hangen om ze te beschermen en te voorzien van water. Het geoogste water wordt dan vanzelf aan de boom of planten gegeven waardoor er minder irrigatie nodig zal zijn, dit soort toepassingen vindt zijn nut in de landbouw. De *start-up* Sponsh werkt aan het uitbouwen van deze specifieke toepassingen om de druk van irrigatie op de waterbeschikbaarheid te verlagen. Hun producten komen eind 2020 op de markt [35].

### 3. Discussie

De Vlaamse bevolking stijgt nog elke dag en al die mensen gebruiken uiteraard water. In 2017 werd een bevolking van 6,5 miljoen mensen geteld [36]. In datzelfde jaar werd 744 miljoen m<sup>3</sup> water verbruikt [10]. De Vlaamse bevolking in 2100 wordt geschat op 8,0 miljoen mensen, berekend op basis van waarden van Statbel [36]. Wanneer het waterverbruik per persoon niet aangepast wordt, wil dat zeggen dat Vlaanderen tegen 2100 aan ongeveer  $9,19 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup> water/jaar zal moeten geraken om zelfstandig aan de watervraag te voldoen.

In Tabel 2 zijn de berekende kosten van de voornaamste technieken te vinden. Niet elke aangehaalde techniek is terug te vinden in de tabel mits een heel deel niet geschikt is voor toepassing in Vlaanderen. Dit komt onder andere door een te hoge kost of omdat de techniek nog onvoldoende ontwikkeld is. Zeolieten en absorptentia zoals silica zijn onvoldoende energie-efficiënt en werken niet optimaal bij de RH in België. Ze nemen weinig water op en hebben een hoge desorptietemperatuur nodig waardoor deze technieken veel energie vergen. Hydrogels daarentegen zijn wel zeer interessante absorptentia vermits ze tot 55 keer hun gewicht aan water kunnen absorberen [37]. De techniek is echter nog zeer jong en wordt nog niet op grotere schaal toegepast. Hydrogels zijn ook eerder een kleinschalige oplossing voor particulieren dan voor de grote industrie. Dit omdat er slechts met beperkte volumes kan gewerkt worden om een goed contact met de lucht te verzekeren. Complexe installaties zouden moeten worden gebouwd, waarbij de absorptie en regeneratie goed is afgesteld om maximale opbrengst te garanderen. MOFs zijn net als hydrogels veelbelovend, maar moeten nog verder onderzocht worden. De aangehaalde technieken in Tabel 2 zijn reeds beschikbaar en kunnen vanaf heden ingezet worden om het drinkwaterprobleem in België op te lossen. De oplossing is, zoals bij veel andere complexen problemen, geen eenduidige oplossing. Een samenspel tussen verschillende technische benaderingen zal nodig zijn.

Ten eerste komt de 1-STEP filter in aanmerking als optie door de lage kosten verbonden aan deze techniek. Er wordt reeds een groot aandeel van het afvalwater gezuiverd, maar dit kan zeker nog verder geoptimaliseerd worden. Zo zal er in de toekomst minder potentieel drinkwater verloren gaan door deze recyclage gekoppeld aan een laag energieverbruik. De techniek kan makkelijk geïmplementeerd worden in elk bedrijf voor zijn afvalwaterzuivering.

Verder zal de artificiële aanvulling van de grondwatertafel een goedkope en nodige oplossing zijn. Het dubbele voordeel verbonden aan deze oplossing is dan ook zeer interessant voor Vlaanderen. Ten eerste zal regenwater de grondwatertafel aanvullen waardoor de reserves worden aangesterkt om tijdens waterschaarse periodes te gebruiken. Ten tweede zullen overstromingen op die manier ingedijkt worden. Door de intensere regenval tijdens de winter zullen overstromingen geen uitzondering meer zijn in Vlaanderen. Door actief water af te voeren kan dit risico ingeperkt worden. Het verhard oppervlak in Vlaanderen omvat 16% van het totale oppervlak. In Vlaanderen bedroeg in 2017 de neerslag 795 mm/jaar [2]. Vlaanderen heeft een oppervlak van 13 625 km<sup>2</sup>. Er viel in dat jaar dus  $1,08 \cdot 10^{10}$  m<sup>3</sup> neerslag in Vlaanderen, waarvan 16% of  $1,73 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup> op verharde oppervlakken viel. De verhardingsgraad stijgt, zodat dit cijfer in de toekomst hoger zal liggen. Alle neerslag die op verharde oppervlakken valt opvangen, zou dus in theorie ruim voldoende moeten zijn om aan de watervraag te voldoen. Echter is het praktisch onrealistisch om dergelijke grote hoeveelheden regenwater op te vangen, waardoor een deel nog steeds zal wegvloeien naar rivieren en dergelijke. Verder zouden er in het geval van grote installaties (met een capaciteit van  $20 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jaar) 37 installaties nodig zijn met elk meerdere sites [16]. Ook zouden er voldoende geschikte aquifers moeten zijn met voldoende grote capaciteit. Een meer realistisch situatie is er één waarbij 10% van het regenwater dat op verharde oppervlaktes valt, wordt opgevangen en verwerkt. Dit komt overeen met  $1,73 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup>/jaar en dekt net geen 19% van het waterverbruik voor Vlaanderen dat wordt voorspeld tegen 2100. Negen grote MAR-installaties die elk  $20 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jaar verwerken, zouden hiervoor gebouwd moeten worden. Watervoorziening zal dus ook nog aangevuld moeten worden met andere technieken.

Uit de kostenberekening komt omgekeerde osmose als de betere optie uit de test. De relatief goedkope techniek wordt reeds in veel waterschaarse gebieden toegepast waardoor de techniek goed uitgewerkt is en de kosten relatief laag zijn. Door de korte en volgebouwde Belgische kustlijn is een meer landinwaartse installatie aan te raden. Indien een combinatie van RO en MAR wordt gebruikt om aan de watervraag te voldoen, zal RO een hoeveelheid water van om en bij de  $7,46 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup>/jaar moeten produceren. De vier kernreactoren van Doel produceren jaarlijks 20,6 miljard kWh aan elektriciteit [41]. Dit wil zeggen dat met de huidige (verouderde) kerncentrale ongeveer 72% van de energie geproduceerd door één kernreactor naar omgekeerde osmose zal moeten gaan. Dit toont aan dat ondanks RO de betere oplossing is, dit toch enorm veel energie vraagt. Vlaanderen zal dus ook moet investeren in nieuwe en duurzame energievoorzieningen. RO wordt boven MSF en MED verkozen gezien de kostprijs en het energieverbruik een stuk lager is dan een techniek met faseverandering. Het bekomen van zuiver water met behulp van een faseverandering vergt steeds veel energie en is daarom

Tabel 2: Verschillende technieken met hun efficiëntie in productie water ten opzichte van de kosten.

Techniek	Waterproductie in m <sup>3</sup> /dag	Energieverbruik in kWh/m <sup>3</sup>	Operationele kost in €/m <sup>3</sup>	Investeringskost in €/m <sup>3</sup>	Totale kost in €/m <sup>3</sup> water
1-STEP filter [14]	36 000	0,04	0,09	0,23	0,32
Management van aquifer aanvulling [16]	55 000	0,68	0,15	0,45	0,6
Omgekeerde osmose [38]	189 000	4 – 6	0,88 – 1,32	0,4588	1,18
Meerfasige flashdisillatie & Multi-effect distillatie [39]	205 000	19,85 – 27,25 14,45-21,35	3,80 – 4,80 3,18 – 4,70	0,146 0,156	4,45 4,10
Atmosferische watergenerator [40]	10	177	39	4,8	43,8
Zero Mass Water hydropanelen obs ROS-037 [32]	0,01 per paneel	370	81	150	231
Dauwwater via netten [33]	± 0,2	0	0	1,9	1,9

niet duurzaam. MSF en MED zijn ondertussen reeds verouderde technieken.

De oogst van dauwwater in Vlaanderen is weinig efficiënt. Doordat het in Vlaanderen relatief weinig vriest en de relatieve luchtvochtigheid relatief hoog is, is dauwvorming een veel voorkomend verschijnsel. Toch zal de techniek door de lage opbrengst weinig opleveren. Dauwnetten kennen vooral toepassingen in afgelegen gebieden om kleine gemeenschappen van water te voorzien. Door het kleine oppervlak van Vlaanderen en de schaarsheid van afgelegen gebieden is zo goed als elke vestiging aangesloten op het waternet. De oogst van dauwwater zal daarom slechts in zeer beperkte mate een toevoeging zijn. De investeringskost is echter wel zeer laag dus toepassingen in de landbouw zouden een reductie in waterverbruik kunnen betekenen.

Om particuliere watervoorziening te versterken kunnen ook de hydropanelen van *Zero Mass Water* ingezet worden. De panelen produceren water, afkomstig uit de lucht, aan de hand van zonne-energie. Ze produceren, voorlopig, tot 10 liter/(dag.paneel) in regio's met een hogere zonne-irradiatie dan Vlaanderen [32]. In Vlaanderen zou dit nog slechts de helft zijn. Bij reeds bestaande toepassingen werken de panelen op zonne-energie waardoor er geen operationele kost aan verbonden is. Wanneer deze panelen zouden werken op netstroom bedraagt de operationele kost 81 €/m<sup>3</sup>. Dit in combinatie met de voorlopig nog hoge investeringskost maakt deze methode heel duur.

Het gebruik van een atmosferische water generator, op basis van koelen van lucht, is eveneens een dure oplossing. Door geringe productiecapaciteit zou deze eventueel in fabrieken kunnen worden gebruikt om onafhankelijker te zijn van de waterbeschikbaarheid in Vlaanderen. Doordat ook deze toepassing nog relatief jong is, is er nog marge om efficiënter en goedkoper te werken.

Het concrete plan voor de bestrijding van het drinkwaterprobleem in Vlaanderen bestaat dus in de eerste plaats uit een efficiënter gebruik van het aanwezige water om verliezen te minimaliseren. Verder zal extra water moeten worden gegenereerd, dit bestaat uit twee hoofdelementen. Artificiële aquifer aanvulling om 1,73\*10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/jaar regenwater naar grondwater om te

zetten en omgekeerde osmose om de overige 7,46\*10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/jaar te produceren. De investeringskost nodig om deze watervoorziening te realiseren zal 6,84 miljard euro bedragen voor de RO-installaties en 1,56 miljard euro voor de artificiële aquifer aanvulling. De totale investering in installaties (met een levensduur van 20 jaar) zal dus 8,4 miljard euro bedragen. Wanneer de investeringskost van deze installaties wordt gespreid over de 20 jaar waarin ze functioneren en ook de operationele kost in rekening wordt gebracht, bedraagt de jaarlijkse kost 1,3 miljard euro.

#### 4. Conclusie

Het drinkwaterprobleem in Vlaanderen zal niet met één methode opgelost worden. Een samenspel tussen verschillende technieken is hier de sleutel om tot een duurzame oplossing te komen. Zowel artificiële aquifer aanvulling als omgekeerde osmose zullen in Vlaanderen geïmplementeerd moeten worden om voldoende water te produceren. Verder moet ook het aanwezige water zo efficiënt mogelijk gebruikt worden. Zo kan de 1-STEP filter en een extra desinfectiestap afvalwater omzetten in drinkbaar water.

Via MAR zal er 1,73\*10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/jaar extra water aan de grondwatertafel toegevoegd worden, dat later dan weer geogst wordt. RO zal dan voor de resterende 7,46\*10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/jaar moeten zorgen om aan de watervraag van de Vlaamse bevolking te voldoen. Duurzame energiecentrales zijn nodig om voldoende energie op te wekken om deze grote hoeveelheden drinkwater via RO te voorzien. Voor particulieren kunnen AWG, *Zero Mass Water* hydropanelen en in de toekomst MOFs of hydrogels ingezet worden. Dit zijn enkele hoogtechnologische oplossingen met veel potentieel die momenteel echter nog in hun kinderschoenen staan.

De investeringen die gepaard gaan met de oplossingen voor ons drinkwaterprobleem zullen jaarlijks om en bij de 1,3 miljard euro bedragen. Een aanzienlijke, maar nodige investering die gemaakt zal moeten worden, willen we de kraan in Vlaanderen lopende houden.

#### 5. Dankwoord

Wij willen graag Professor Martens, Hannah Vanderschaeghe en Lander Hollevoet bedanken voor het boeiende onderwerp en hun begeleiding.



## **6. Impact coronamaatregelen op dit project**

De coronacrisis heeft een beperkte impact gehad op deze studie. In dit project lag de focus op een doorgrondende literatuurstudie en een economische analyse, dit maakt dat alles vlot vanop afstand kon worden uitgevoerd. De contactmomenten met de begeleiders vonden online

plaats en ook tussen de groepsleden onderling werd gebruik gemaakt van online platvormen. Doordat de mogelijkheid op labo-onderzoek wegviel, zijn er meer technieken bekeken en besproken om zo een bredere vergelijking mogelijk te maken.

## Referentielijst

1. Van der Brugge, B. (2018). *Waterzuivering en -hergebruik: watervoorziening*. Acco, Leuven. 157p.
2. Brouwers J., Peeters B., Van Steertegem M., Van Lipzig N., Wouters H., Beullens J., Demuzere M., Willems P., De Ridder K., Maiheu B., De Troch R., Termonia P., Vansteenkiste T., Craninx M., Maetens W., Defloor W., Cauwenberghs K. (2015). *MIRA Klimaatrapport 2015*. Vlaamse Milieumaatschappij.
3. Vlaamse Milieumaatschappij (2019). *Waterverbruik* [online]. Beschikbaar op: <https://www.milieuraapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/waterverbruik> [geraadpleegd op: 26/03/2020].
4. Van der Linden S., Van Camp N., Van Valckenborgh J. (2019). *Bodembedekkingskaart Vlaanderen 2015* [online]. Beschikbaar op: [https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/verharding#verhardingsgraad\\_hoogst\\_in\\_en\\_rond\\_grootsteden](https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/verharding#verhardingsgraad_hoogst_in_en_rond_grootsteden) [geraadpleegd op 01/03/2020].
5. KMI (2020). *De klimaatvooruitzichten voor 2100* [online]. Beschikbaar op: <https://www.meteo.be/nl/klimaat/de-klimaatvooruitzichten-voor-2100> [geraadpleegd op 28/03/2020].
6. KMI (2020). *Klimaat in de wereld: Spanje*. Beschikbaar op: <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaat-in-de-wereld> [geraadpleegd op 08/04/2020].
7. Databank Ondergrond Vlaanderen (z.d.). *Woordenlijst grondwater*. Beschikbaar op: <https://www.dov.vlaanderen.be/page/woordenlijst-grondwater-bij-de-fiches-actieggebieden-en-waakgebieden-grondwater> [geraadpleegd op 12/04/2020].
8. Eurabo (onbekend). *Relatieve luchtvochtigheid* [online]. Beschikbaar op <https://www.eurabo.be/nl/lexicon/relatieve-vochtigheid> [Geraadpleegd op 16/04/2020].
9. Denshak M. (2019). *Green Infrastructure: How to Manage Water in a Sustainable Way* [online]. Beschikbaar op: <https://www.nrdc.org/stories/green-infrastructure-how-manage-water-sustainable-way#important> [geraadpleegd op 14/03/2020].
10. Vlaamse Milieumaatschappij (2018). *Watergebruik door huishoudens: Het watergebruik in 2016 bij de Vlaming thuis* [online]. Beschikbaar op: <https://www.vmm.be/publicaties/watergebruik-door-huishoudens> [geraadpleegd op: 24/03/2020].
11. Rodina L. (2019). *Water resilience lessons from Cape Town's water crisis*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. 6(6).
12. Vlaamse Milieumaatschappij (2019). *Waterverontreiniging in Vlaanderen in 2018* [online]. Beschikbaar op: <https://www.vmm.be/publicaties/waterverontreiniging-in-vlaanderen-in-2018> [geraadpleegd op 13/03/2020].
13. Witteveen+Bos N.V. (z.d.). *Verbetering waterzuivering 1-STEP® filter* [online]. Beschikbaar op: [https://www.witteveenbos.com/nl/projecten/verbetering-waterzuivering-door-1-step-filter/?fbclid=IwAR2qdpj00t--ZNPTazzxjUx0xAhgO7CNHqHilBjInIGB8VR6R5FNI\\_r1Sf0](https://www.witteveenbos.com/nl/projecten/verbetering-waterzuivering-door-1-step-filter/?fbclid=IwAR2qdpj00t--ZNPTazzxjUx0xAhgO7CNHqHilBjInIGB8VR6R5FNI_r1Sf0) [geraadpleegd op 11/03/2020].
14. Nijhuis Industries (2018). *1-STEP® filter* [online]. Beschikbaar op: <https://www.nijhuisindustries.com/solutions/effluent-polishing-recycling/1-step-filter/> [geraadpleegd op 15/03/2020].
15. Sikdar P. K. (2019). *Groundwater Development and Management*. Capital Publishing Company, New Delhi, India. 540p.
16. Dillon P., Pavelic P., Page D., Beringen H., Ward J. (2009). *Managed aquifer recharge: An introduction*. National Water Commission.
17. Bouwer H. (2002). *Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering*. Hydrogeology Journal. 10: 121–142.
18. Perrone D., Rohde M. M. (2016). *Benefits and Economic Costs of Managed Aquifer Recharge in California*. San Francisco Estuary and Watershed Science. 14(2): 1546-2366.
19. Encyclopædia Britannica (z.d.). *South Australia* [online]. Beschikbaar op <https://www.britannica.com/place/South-Australia/Government-and-society> [geraadpleegd op 23/03/2020].
20. Encyclopædia Britannica (z.d.). *Victoria* [online]. Beschikbaar op <https://www.britannica.com/place/Victoria-state-Australia/Climate> [geraadpleegd op 23/03/2020].
21. Greenlee L.F., Lawler D.F., Freeman B.D., Marrot B., Moulin P. (2008). *Reverse osmosis desalination: Water sources technology and today's challenges*. Water Research. 43(9): 2317-2348.
22. Al-Karaghoul A., Kazamerski L.L. (2013). *Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 24: 343-356.
23. Vane L.M. (2017). *Water recovery from brines and salt-saturated solutions: operability and thermodynamic efficiency considerations for desalination technologies*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 92(10): 2506-2518.
24. Bott, T. Reg (2011) *Fouling* [online]. Beschikbaar op <http://thermopedia.com/content/779/> [geraadpleegd op 21/04/2020].
25. Salehi A. A., Ghannadi-Maragheh M., Torab-Mostaedi M., Torkama, R., Asadollahzadeh M. (2020). *A review on the water-energy nexus for drinking water production from humid air*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 120p.

26. Smoot J. (2006). *Choosing and Using Advanced Peltier Modules for Thermoelectric Cooling*. [online] Beschikbaar op: <https://www.digikey.com/en/articles/choosing-using-advanced-peltier-modules-thermoelectric-cooling> [geraadpleegd op 30/03/2020].
27. Solís-Chaves J. S., Rocha-Osorio C. M., Murari A. L. L., Lira V. M., Filho A. J. S. (2017). *Extracting potable water from humid air plus electric wind generation: A possible application for a Brazilian prototype*. *Renewable Energy*. 121: 102-115.
28. Quest. (z.d.) *Quest Dual 105* [online] Beschikbaar op: <https://www.questclimate.com/product/dual-105/> [geraadpleegd op 3/04/2020].
29. Vlaamse Milieumaatschappij (z.d.). *De prijs van water* [online]. Beschikbaar op: <https://www.vmm.be/waterloket/de-waterfactuur/de-prijs-van-water> [geraadpleegd op 17/03/2020].
30. Energydata.info. (2020). *Global Solar Atlas* [online]. Beschikbaar op <https://globalsolaratlas.info/map?c=50.88051,4.449463,8&s=50.899569,4.894409&m=site> [geraadpleegd op 13/04/2020].
31. Peeters A. (2019) *This sponge-like nanomaterial uses HVAC systems to create water from thin air* [online] Beschikbaar op: <https://www.fastcompany.com/90423149/this-sponge-like-nanomaterial-uses-hvac-systems-to-create-water-from-thin-air> [geraadpleegd op 15/03/2020].
32. Zero Mass Water (z.d.) *Frequently asked questions* [online] Beschikbaar op: <https://www.zeromasswater.com/rexi/faq/> [geraadpleegd op: 20/02/2020].
33. Kaseke K., Wang L. (2018) , *Fog and Dew as Potable Water Resources: Maximizing Harvesting Potential and Water Quality Concerns*. *Geohealth*. 2: 327-332.
34. Bounouar J. (2020) *morocco harvesting waterfog* [online]. Beschikbaar op <https://africa.com/morocco-harvesting-water-fog/> [geraadpleegd op: 5/04/2020].
35. Sponsh (2020) *Affordable, Off-grid zero-energy water* [online] Beschikbaar op: <https://sponsh.co/products/> [geraadpleegd op 5/04/2020].
36. Statbel (2020). *Bevolkingsvooruitzichten* [online]. Beschikbaar op: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/bevolking/bevolkingsvooruitzichten> [geraadpleegd op 01/04/2020].
37. Zhao F., Zhou X, Liu Y., Shy Y., Dai Y., Yu G. (2019). *Super Moisture-Absorbent Gels for All-Weather Atmospheric Water Harvesting*. *Water harvesting*. 31(10).
38. Advisian group. (z.d.). *The cost of desalination* [online]. Beschikbaar op <https://www.advisian.com/en-gb/global-perspectives/the-cost-of-desalination> [geraadpleegd op 30/03/2020].
39. Borsani R., Rebagliati S. (2005). *Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies*. *Desalination*. 182: 29-37.
40. Anurag T., Tushar S., Saurabh P., Shoumik L., Shashank T., Prof Desai R.S. (2016). *Atmospheric water generator*. *International journal of Enhanced Research in Science, Technology & Engineering*. 5(4): 2319-7463.
41. Engie Electrabel (2018). *Kerncentrale Doel* [online]. Beschikbaar op <https://corporate.engie-electrabel.be/wp-content/uploads/2018/10/milieuverklaring-kcd-2018-interactief.pdf> [geraadpleegd op 13/04/2020].
42. Laboratory research (2020) *Silica gels FAQs* [online] Beschikbaar op: <https://www.myendnoteweb.com/EndNoteWeb.html> [geraadpleegd op 20/03/2020].
43. Li, R. Shi, Y., Alsaedi, M. Wang P. (2018) *Harvesting Water from Air: Using Anhydrous Salt with Sunlight*. *Environmental science and technology*. 5(9): 5398-5406.
44. Castillo J.M., Silvestre-Albero J., Rodriguez-Reinoso F. Vlugt T.J.H. Calero S. (2013) *Water adsorption in hydrophilic zeolites: Experiment and simulation*. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 15(40): 17374-17382.