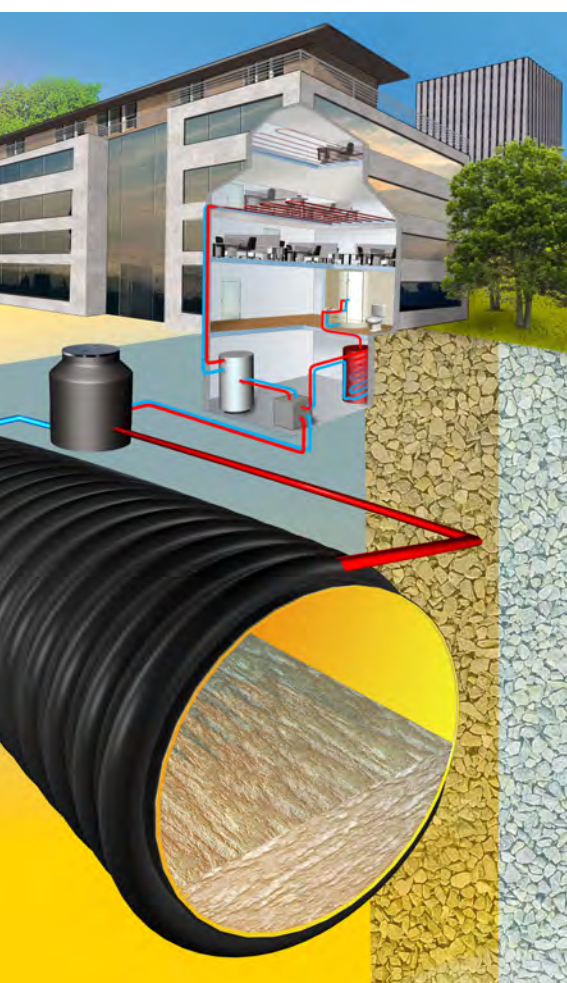


Warm rioolwater: vergeten energie met potentie

Afvalwater is een alternatieve energiebron voor verwarming (en koeling). Water in het riool is vaak warm genoeg om daaruit energie te onttrekken met een warmtewisselaar en dit vervolgens om te zetten naar verwarmingsenergie met een warmtepomp. Ondanks dat de technieken voorhanden zijn, staat de toepassing in Nederland nog in de kinderschoenen. Veel warmte gaat daardoor nog onnodig verloren. Met een nieuw model kan berekend worden hoeveel energie er op een bepaalde plek gewonnen kan worden en wat het effect daarvan is benedenstrooms. Dit helpt bij het vinden van kansrijke locaties.

Ir. E.C. (Emil) Hartman, Royal HaskoningDHV;
ir. J.M. (Martin) Bloemendal, KWR, TU-Delft



De aandacht voor energiebesparing en duurzame energieopwekking is groot. De (thermische) energie die via de riolering de woning verlaat, wordt echter vaak vergeten. Een gemiddelde Nederlander loost 120 liter water per dag op het riool [1]. Vanuit bijvoorbeeld de douche, wasmachine of de keuken komt warm afvalwater vrij met een temperatuur (ver) boven de 20°C [1]. In een gemiddeld huishouden is de hoeveelheid energie die zo in het afvoerputje verdwijnt circa 15 tot 20% van het totale energiegebruik. Het energielek naar het riool van energiezuinige gebouwen is een nog groter aandeel in de totale energievraag. Voor gebouwen met een lage EPC wordt het energieverlies via de riolering zelfs op 40 tot 50% van het totale energiegebruik geschat. Riothermie is het principe waarmee thermische energie uit afvalwater in het riool wordt teruggewonnen en hergebruikt. Die warmte uit het riool kan gebruikt worden voor het verwarmen van bijvoorbeeld gebouwen, die

-Figuur 1- Schematische weergave principe Riothermie [PKS Thermipe Systeem Frank GmbH]

in de buurt van de betreffende riolering staan. Hiertoe wordt een warmtewisselaar in de riolering aangebracht waarmee de warmte wordt gewonnen.

Daar waar het afvalwater het riool instroomt, direct na de woning, heeft het veelal een temperatuur van circa 23°C tot 26°C. Bij lozing op het riool koelt dit warme water af door menging met ander water (in een gemengd stelsel) en door warmteverlies richting bodem en lucht. In de winter is de temperatuur van rioolwater daardoor tussen de 8 en 10°C; in de zomer ligt de temperatuur tussen de 18 en 20°C. Met behulp van een warmtepomp kan de relatief laagwaardige temperatuur naar een bruikbaar niveau van circa 45°C worden gebracht.

■ NIEUW VOOR NEDERLAND

Het idee van Riothermie is niet nieuw. De eerste installaties zijn meer dan 20 jaar geleden gebouwd [9]. Koploper bij de toepassing van Riothermie is Zwitserland. De eerste installatie is daar rond 1975 gerealiseerd. Vanaf de jaren 90 is men er hard mee aan de slag gegaan. Naast Zwitserland zijn ook

in de Scandinavische landen en Duitsland Riothermie-systemen operationeel. Een aansprekend voorbeeld is dat van de Zwitserse stad Winterthur. Daar worden 400 woningen verwarmd met warmtepompen die het rioolwater als warmtebron gebruiken. Daarvoor hebben de Zwitsers een speciale betonnen rioolbuis met ingegoten leidingen ontwikkeld. Het nieuwbouwcomplex Wässerwiesen ligt op 2 km afstand van de rioolwaterzuivering van Winterthur, en er loopt dan ook een hoofdbuis van de riolering langs. Men heeft over een lengte van 78 meter een nieuwe betonnen buis naast de bestaande rioleringsbuis gelegd en vervolgens de stroom omgeleid via dit nieuwe stukje riool. De nieuwe buis is aan de onderzijde voorzien van ingegoten pijpen waar schoon water doorheen stroomt, zie figuur 1. Dit schone water wordt opgewarmd door het rioolwater, dat een temperatuur heeft die schommelt tussen de 10 en 20°C. De op die manier onttrokken warmte aan het afvalwater wordt door middel van warmtepompen opgevaardeerd, zodat een temperatuur wordt verkregen die bruikbaar is voor de verwarming van gebouwen. Naast dit project zijn er in Zwitserland zijn meerdere projecten met rioolwater als warmtebron gerealiseerd.

In Nederland staan we nog aan het begin van deze toepassing. Het principe wordt in nieuwbouw regelmatig bij de douche op woningniveau toegepast, omdat dit meetelt in de EPC. Verder is er een aantal projecten in Nederland waarbij warmte uit het gezuiverde afvalwater bij een rioolwaterzuivering (RWZI) wordt benut. Zo wordt sinds 1999 het hoofdkantoor van waterschap Vallei en Veluwe in Apeldoorn verwarmd met de restwarmte uit het effluent van RWZI Apeldoorn, net als zwembad Tijenraan in Raalte vanuit de RWZI van Waterschap Groot Salland. Eneco heeft een grote installatie gebouwd bij RWZI Harnaschpolder in Delft, waarmee ongeveer 1.600 woningen en 13.000 vierkante meter utiliteit kunnen worden verwarmd met de restwarmte uit rioolwater.

■ VRAAG EN AANBOD

De toepassing warmteterugwinning uit effluent is relatief eenvoudig, omdat het effluent een constant groot debiet is, het water vrij schoon is en er een onderhoudsploeg nabij is. Omdat RWZI's vaak buitenaf liggen, zijn potentiële afnemers van warmte moeilijk te vinden. De kansrijke matches tussen vraag en aanbod van warmte liggen vaker in stedelijk gebied. Aan de aanbodzijde zijn locaties interessant waar afvalwater in grote hoeveelheden en redelijk continu beschikbaar is. Dit is bijvoorbeeld het geval bij gebouwen die veel

afvalwater produceren, zoals ziekenhuizen of appartementencomplexen, en de grotere afvoerriolen in stedelijke kernen. Aan de vraagzijde wordt de kansrijkheid bepaald door afnemers die een vrij constante warmtevraag hebben en met lage temperatuursystemen werken.

Bij het vinden van een goede match tussen vraag en aanbod, speelt het vinden van geschikte afnemers in de nabijheid van een rioolleiding de belangrijkste rol. Wanneer dit het geval is kan vaak een haalbare business case opgezet worden met een grote besparing in energiegebruik en CO₂-emissiereductie als gevolg. Voor twee zwembaden heeft Royal HaskoningDHV in samenwerking met Tauw aangetoond dat toepassing van Riothermie technisch en financieel haalbaar is. Ook voor een nieuw te bouwen appartementencomplex in Zeeland lijken de kansen positief.

■ GESCHIKTE LOCATIES

De nabije aanwezigheid van een riool met een geschikte afvalwaterstroom is cruciaal voor de toepassing van Riothermie bij een gebouw met een warmtevraag. Daarom is het van belang om inzicht te hebben in de hoeveelheid thermische energie en vermogen die er op plekken in het rioolstelsel gewonnen kunnen worden. Er zijn verschillende plekken om warmte aan het afvalwater te onttrekken. Van bovenstrooms tot benedenstrooms zijn er de volgende mogelijke locaties voor warmteterugwinning in het rioolstelsel:

- rioolaansluiting van een gebouw;
- vrijvervalrioel in de straat;
- verzamel en/of persleidingen;
- rioolgemalen;
- vlak voor of na de rioolwaterzuivering.

Rioolgemalen zijn in vergelijking met de aanwezigheid van rioolleidingen op beperkte plekken in de stad aanwezig, waardoor een goede match tussen vraag en aanbod niet vaak voorkomt. Winning van warmte uit het afvalwater vlak voor de RWZI is vaak niet mogelijk, omdat dit het zuiveringsrendement van de temperatuurafhankelijke biologische zuivering nadelig beïnvloedt [1]. Daarom is het bij het zoeken naar geschikte locaties vooral interessant om te kijken naar rioolleidingen. Tauw heeft een methode ontwikkeld om op basis van het op het riool aangesloten aantal inwoners, inzichtelijk te maken hoeveel energie er op jaarbasis in het riool beschikbaar is [2]. Dit wordt op een overzichtskaart weergegeven. Daarop worden ook de potentiële afnemers van de warmte weergegeven, zodat de kansrijke matches zichtbaar worden. Naast het belang van de totale beschikbaarheid aan warmte in het riool, moet de warmte ook



-Figuur 2- Warmtewisselaar in rioolbuis [bron: KD International B.V. - Rabtherm Energy Systems]

winbaar zijn met een warmtewisselaar. Om inzicht te krijgen in de omvang en variatie van de potentieel winbare thermische energie, heeft KWR een studie uitgevoerd waarbij de dynamiek van zowel de afvalwaterhoeveelheden als de temperatuur in een rioolstelsel is gemodelleerd. Dit is gedaan aan de hand van een concrete woonwijk in Almere die voorzien is van een gescheiden rioolstelsel.

■ WARMTE-UITWISSELING

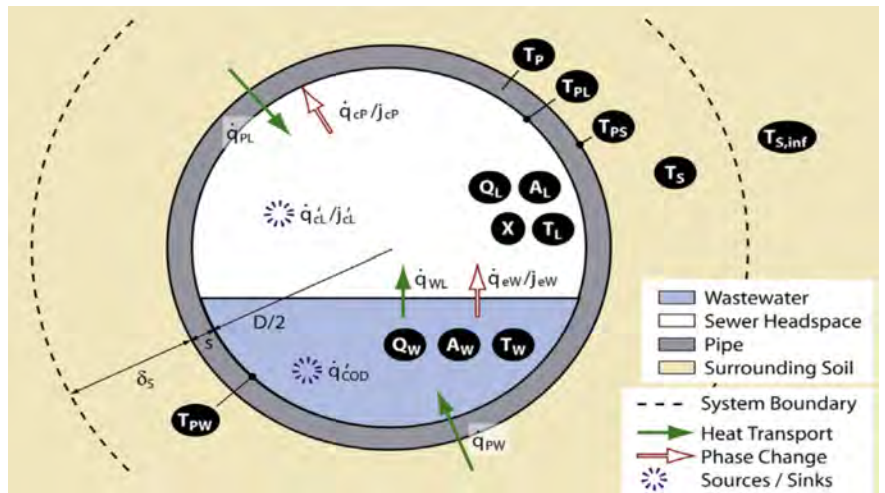
Voor het simuleren van de temperatuur in het riool van Almere is gebruik gemaakt van het rekenprogramma Sobek [5] voor de vrijvervalriolen en voor de persleidingen van Epanet [6]. KWR heeft samen met Deltares een speciale module ontwikkeld voor Sobek [7] om te kunnen rekenen aan het temperatuurverloop van het afvalwater. Daarin zijn de belangrijkste factoren in de warmtebalans van afvalwater in een riool meegenomen. In figuur 3 zijn de energiestromen in het riool schematisch weergegeven. De belangrijkste factoren zijn uitwisseling met buiswand en de bodem en het instromende en uitstromende water. Hoeveel thermische energie er uit een bepaalde (afval)waterstroom gewonnen kan worden, is afhankelijk van de temperatuur en het debiet van de waterstroom. De mate waarin die thermische energie kan worden gewonnen hangt af van verschillende factoren, zoals de stromingssnelheid en turbulentie, de temperatuur van het afvalwater, de vullingsgraad in het riool en de thermische overdracht van het water via de wand van de warmtewisselaar naar het medium in de warmtewisselaar. Hoe groter de stroomsnelheid en turbulentie van het water, hoe beter de overdracht. Als de wand van een wisselaar vervuild raakt met een biofilm, beïnvloedt dat de overdracht negatief.

■ WINBARE VERMOGEN

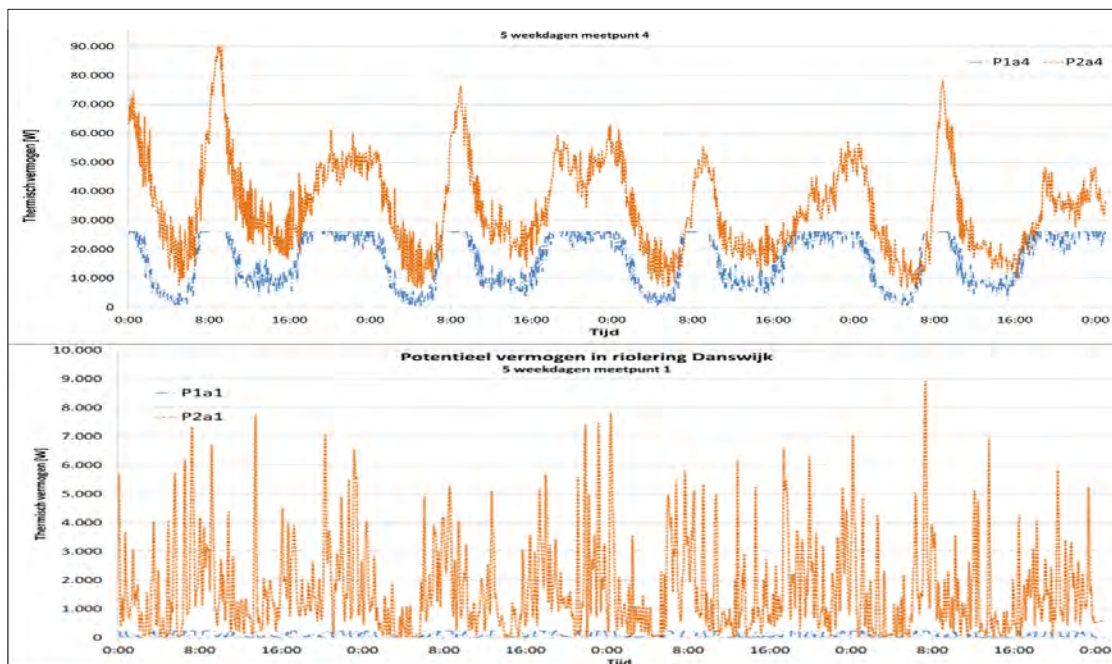
Bij het vaststellen van het potentiële winbare vermogen in een rioolstelsel is uitgegaan van

twee verschillende berekeningswijzen van de potentie:

- potentieel winbare energie op basis van een warmtewisselaar die de gemiddelde volumestroom met 1°C kan veranderen (blauwe lijn in de grafieken). De maximale temperatuurdaling van 1°C is gekozen omdat die veelal wordt toegepast als ontwerprandvoorwaarde bij haalbaarheidsstudies en/of ontwerp van Riothermie-systemen [2] ter voorkoming van negatieve effecten bij de zuivering van het afvalwater;
- potentiële winbare energie door middel van een (virtuele) warmtewisselaar met de lengte van een rioolstreng (oranje lijn in de grafieken). Hierbij is uitgegaan van een laagtemperatuurverwarming (LTV).



-Figuur 3- Warmte balans model afvalwater in riool [7]



-Figuur 4- Simulatieresultaten; potentieel winbaar vermogen bij 6.000 en 50 aangesloten inwoners [8]

Een typisch temperatuurtraject daarbij is 5–15°C. Daarbij is ook rekening gehouden met biofouling van de warmtewisselaar, waarvoor een reductie is toegepast op de thermische geleidbaarheid van het materiaal van de warmtewisselaar. In dit scenario kan de temperatuur van het afvalwater dus wel meer dalen dan 1°C.

De potentie is op verschillende plekken in Almere bepaald voor zowel week- als weekenddagen in alle vier de seizoenen met bijbehorende gebruikspatronen en randvoorwaarden, zoals bijvoorbeeld bodemtemperatuur. In figuur 4 is het resultaat opgenomen van de potentie van een vrijvervalrioel met 6.000 (boven) en 50 (onder) aangesloten inwoners gedurende weekdagen in herfst en voorjaar. De blauwe lijn geeft de potentie weer indien het afvalwater maximaal 1 graad

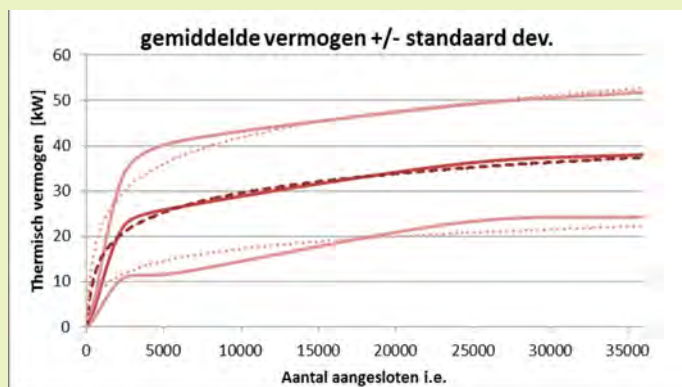
mag worden afgekoeld. De oranje lijn geeft de potentie weer als het afvalwater verder mag worden gekoeld.

Uit figuur 4 blijkt dat de randvoorwaarde van maximale 1°C temperatuurverandering een beperkende factor is voor het winbare vermogen. De blauwe lijn ligt immers onder de oranje lijn. Verder blijkt dat de winbare potentie sterk fluctueert, voornamelijk veroorzaakt door de variatie in volumestroom van het afvalwater. Het dag- en nachtritme van de afvalwaterproductie is namelijk goed terug te zien in de variantie van het potentieel winbare vermogen. Benedenstrooms in een rioelstelsel kan er meer vermogen worden gewonnen omdat de afvalwaterhoeveelheden en stroomsnelheden daar groter zijn. Aan de andere kant is de temperatuur van het afvalwater benedenstrooms in het rioel lager dan vlak bij de bron. Dit komt doordat warmte verloren gaat door uitwisseling

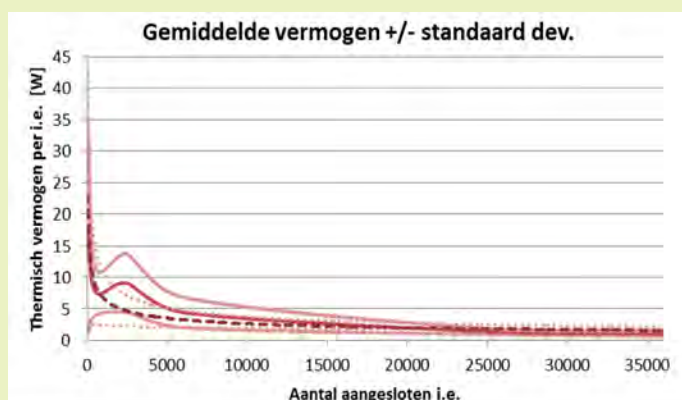
met de bodem. Daardoor is het winbare vermogen benedenstrooms niet evenredig veel groter dan het aangesloten aantal inwoners op dat punt van het rioelstelsel. In figuur 5 en 6 zijn de resultaten van verschillende locaties en simulaties gebundeld, het winbare vermogen is op verschillende locaties in het rioelstelsel weergegeven aan de hand van het aangesloten aantal inwoners en daardoor ook indicatief voor andere steden met een gescheiden stelsel. Uit figuur 5 blijkt dat de absolute hoeveelheid winbaar vermogen gestaag toeneemt met het aantal aangesloten inwoners. Het winbare vermogen per aangesloten inwoner (figuur 6) neemt juist af, bovenstrooms sterk en benedenstrooms beperkt.

HERSTEL TEMPERATUUR

Een veel gehoord risico van de toepassing van Riothermie is het mogelijk negatieve effect



-Figuur 5- Winbaar vermogen (kW) afgezet tegen het aantal aangesloten inwoners [8]



-Figuur 6- Winbaar vermogen per inwoner afgezet tegen het aantal aangesloten inwoners [8]

op het zuiveringsrendement van een RWZI. Vandaar dat vaak door waterschappen een grens wordt gesteld aan het aantal graden dat het afvalwater gekoeld mag worden. In de uitgevoerde studie is ook gekeken naar het effect op de temperatuur benedenstrooms van een winlocatie.

Met behulp van scenario's waar één of meer warmteafvoerpunten het water met 0.5°C (maximum dat richtlijnen in Duitsland en Zwitserland toegestaan) tot 2°C afkoelden, werd de temperatuur aan het einde van het rioolsectie berekend. De resultaten toonden dat de temperatuur aan het einde van het riool afhankelijk was van de afstand, bodemtemperatuur en afvalwaterontladingen tussen de warmteafvoerpunten en het einde van het riool, dan van de hoeveelheid onttrokken warmte [9]; vooral de hoeveelheid van nieuwe aansluitingen benedenstrooms van het Riothermie systeem bepalen tot hoever benedenstrooms een eventuele warmtewinning merkbaar is.

WKO

In de winter is de warmtevraag groot maar het warmteaanbod minder. In zomer is dat

juist andersom. Dit is op te vangen door een combinatie van Riothermie met warmte/koudeopslag in de bodem (WKO). Daardoor kan een hoger rendement worden verkregen.

CONCLUSIES

- De belangrijkste conclusies ten aanzien van warmtewinning uit het riool zijn:
- via het riool gaat veel warmte (onnodig) verloren;
 - het beschikbare vermogen en daarmee de winbare energie fluctueert sterk over de dag;
 - om de beschikbare thermische energie in het riool zo goed mogelijk te benutten zou de warmte zo ver mogelijk bovenstrooms worden moeten gewonnen. Daar zijn de winbare vermogens echter klein en variëren ze zeer sterk;
 - om zo efficiënt mogelijk in een bepaalde energievraag te voorzien lijkt het vanaf circa 5.000 aangesloten inwoners zinvol om energiewinning uit afvalwater te overwegen (vanuit energetisch/technisch perspectief, financieel is niet beschouwd).

Almere heeft een gescheiden rioolstelsel. De resultaten die hier zijn gepresenteerd gelden

niet voor gemengde rioolstelsels. De afvoer van hemelwater zal voor een nog grotere dynamiek in het afvoerpatroon zorgen en over het algemeen voor een (veel) lagere temperatuur van het afvalwater. De potentie van gemengde stelsels is, voor zover bekend, nog niet gedetailleerd onderzocht.

TOT SLOT

De mogelijkheid om te rekenen aan het verloop van de temperatuur en de warmte-onttrekkingscapaciteit op een bepaald punt in het rioolstelsel, helpt bij het vinden van kansrijke matches van vraag en aanbod. Ook kan met het model beter worden voorspeld in welke mate toepassing van Riothermie effect heeft op de temperatuur van het afvalwater bij de RWZI aan het eind van het rioolstelsel. Hopelijk draagt dit eraan bij dat meer kansrijke locaties worden gevonden en dat die kansen voor de benutting van het grote potentieel aan warmte in het afvalwater ook daadwerkelijk worden verzilverd.

LITERATUUR

1. Stowa - Rapport nr. 25, Thermische energie uit afvalwater in Zwolle, IS BN 978.90.5773.532.5, 2011
2. Tauw, Workshop en kansenkaart Riothermie Flevoland, 2013
3. Blokker, E.J.M., Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution, PhD thesis TU Delft, 2010
4. Blokker, E.J.M., Vreeburg, J.H.G., van Dijk, J.C., Simulating residential water demand with a stochastic end-use model, Journal of Water Resources Planning and Management, 136(1), 19-26, 2010.
5. <https://www.deltares.nl/en/software/sobek/>
6. <http://epanet.de/>
7. Hofman, J., Wols, B., Elias-Maxil, J. en Boderie, P., Warmte uit het riool, BTO 2014.004, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, 2014
8. Hofman, J., Bloemendal, M. Moerman A, et al. Terugwinnen energie uit leidingen. BTO 2015.001, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, 2015
9. Elias-Maxil, J., Heat modeling of wastewater in sewer networks, PhD thesis TU Delft, KWR, 2015