

Auteurs L. (Lieke) Noij (adviseur), ir. B. (Barry) Meddeler (senior adviseur)

Riothermie in 3 gemeenten laat energiebesparing en CO₂-reductie zien

De warmte van rioolwater hergebruiken kan een interessante optie zijn om gebouwen in de nabijheid van de riolering te verwarmen. In Nederland zijn inmiddels al meerdere riothermiesystemen aan het draaien, namelijk negen. Onder andere een school in de gemeente IJmuiden, een zwembad in de gemeente Urk en een zwembad in de gemeente Wezep worden voorzien van duurzame warmte opgewekt met riothermie. In dit artikel worden de monitoringsresultaten van deze projecten gepresenteerd. Belangrijkste conclusie uit het eerste jaar is dat het systeem meer energiebesparing en CO₂-reductie realiseert dan tijdens het ontwerp verwacht.

Huishoudens en bedrijven voegen veel thermische energie (warmte) toe aan de waterketen voor het verwarmen van water. Deze hoeveelheid is zelfs een factor 10 tot 20 groter dan de voor de waterketen benodigde operationele energie. De besparingspotentie is daarmee ook veel groter. De thermische energie gaat nu grotendeels verloren op weg naar de afvalwaterzuivering. Dit komt door uitwisseling van warmte met de wanden van het rioolstelsel en

door menging van rioolwater met koudere waterstromen, zoals regenwater en grondwater.

Riothermie is een methode waarmee thermische energie uit het afvalwater wordt teruggewonnen. Deze energie wordt gebruikt voor het verwarmen of koelen van gebouwen of installaties die in de nabijheid van de riolering staan. Er zijn verschillende riothermiesystemen op de markt. Deze systemen hebben bepaalde eigenschappen die ze geschikt maken voor bepaalde situaties. Er kunnen drie typen systemen worden onderscheiden:

1. Nieuwbouwsystemen, waarbij de warmtewisselaar is geïntegreerd in de rioolbuis. Deze systemen kunnen worden toegepast bij de aanleg van nieuwe leidingen. Foto 1 in Figuur 1 is een voorbeeld van een betonbuis, waarin de warmtewisselaar aan de onderzijde is aangebracht. Dit systeem is onder andere geschikt voor vrijverval riolen, die niet constant geheel gevuld zijn met water. Foto 3 is een zogenoemde PE-buis, waar de warmtewisselaar om de buitenzijde is gewikkeld. Dit systeem kan worden toegepast in situaties waar de vulgraad van het riool groter is, of in situaties waarbij het riool in het grondwater ligt. In dat geval kan ook warmte of koude gewonnen worden uit het grondwater ter plaatse van buitenzijde rioolbuis.

2. Inbouwsystemen, waarbij de warmtewisselaar in de vorm van een schaal in een bestaand vrijverval riool wordt ingebouwd. Foto 2 geeft hier een voorbeeld van. Deze systemen kunnen worden toegepast in bestaande leidingen.

3. Systemen voor gebruik in druk- of persriolen, waarbij de warmtewisselaar om het (pers)riool is gebouwd. Foto 4 geeft een voorbeeld van een RVS-oplossing, maar ook het systeem in foto 3 kan als persriool worden uitgevoerd.

Figuur 1.



De investeringskosten voor het toepassen van de bovengenoemde systemen variëren in de meeste gevallen tussen de twee en drieduizend euro voor de warmtewisselaar per kW op te wekken warmte. De terugverdientijden lopen uiteen van ongeveer 8 tot 12 jaar. De terugverdientijd hangt af van het gasverbruik, wel of niet geplande renovaties en investeringskosten.

Rioolwater is relatief warm doordat een groot deel van ons afvalwater door bijvoorbeeld douchen en wassen is verwarmd. Gemiddeld gebruiken we per persoon 120 liter

drinkwater per dag, wat op een temperatuur van ongeveer 25 °C in het rioolstelsel wordt geloosd. Dit afvalwater stroomt door speciale riothermie-buizen die warmtewisselaars in de wand bevatten. Het afvalwater geeft warmte of koude af aan de warmtewisselaars. Hier stroomt transportvloeistof doorheen die de energie opneemt en het via leidingen naar het schoolgebouw overbrengt. De temperaturen zijn dan nog relatief laagwaardig (afhankelijk van het seizoen tussen ongeveer 8 en 23 °C) en meestal nog niet direct bruikbaar. Een warmtepomp brengt de temperatuur op gebruiksniveau (45 °C) en voedt het bestaande vloerverwarmings- en klimaatsysteem.

Project 1. Vellesan College gemeente IJmuiden

Het riothermiesysteem verwarmt en koelt sinds medio 2017 het nieuwe bouwgedeelte van het Vellesan College. Door riothermie kunnen de klaslokalen ook gekoeld worden, bij het Vellesan College is er gekozen voor passieve koeling. Zo wordt het gehele jaar een aangenaam binnenklimaat gecreëerd. Om de warmte te kunnen winnen is een deel van de riolering in de Briniostraat voorzien van een geïntegreerde warmtewisselaar. Via een warmtepomp is de aansluiting gemaakt op het bestaande verwarmings- en koelingsysteem van de nieuwbouw van het Vellesan College.

Het resultaat is een verwarmd én gekoeld schoolgebouw, waarbij de voeding van de installatie (de warmte en de koude) wordt opgehaald uit het riool. Monitoring van het geheel laat het verminderde gasverbruik en de CO₂-reductie zien. Op lokaal niveau zijn substantiële energiebronnen voorhanden, die in de vraag naar warmte en koude kan voorzien. Daarnaast hebben we aangetoond dat deze techniek een zeer acceptabel terugverdientijd heeft, die voor veel meer partijen binnen handbereik ligt.

De verwachting vooraf was dat het Vellesan College op deze manier jaarlijks 13.000 m³ gas zou besparen en daarmee tevens elk jaar 23 ton CO₂ zou reduceren. De resultaten over het jaar 2018 laten echter een besparing van 14.277 m³ gas en 25 ton CO₂. Daarmee werd vorig jaar liefst 93% van de warmte opgewekt door het riothermiesysteem. Dit betekent dat de gasketels alleen in de koude periode nog hebben bijgestookt. Door de optimalisatie moet dit zelfs naar nul worden teruggebracht.

Rendement systeem

Vanaf het in bedrijf stellen van het systeem wordt het systeem volledig gemonitord. Belangrijk gegeven is het rendement van de warmtepompen over het gehele seizoen. Nu voor het eerst in 2018 een volledig seizoen is verwarmd en gekoeld met het systeem kan er een zogenaamde SPF factor worden bepaald (Season Performance Factor). De SPF factor kan worden vergeleken met andere warmtepompsystemen (zie tabel 1.1).

Tabel 1:
Systeemspecificaties

Rioolwarmtewisselaar	60 meter Ø 1100 mm Frank, onderste kwart van de buis ligt in het grondwater
Warmtepomp	2 x Nibe F1345, 40 kW (80 kW totaal)
Debiet rioolwater	6 l/s
Verwarmen en koelen	nieuwbouw Vellesan College, 1.500 m ² BVO

Meetpunten

Er worden veel metingen gedaan, onder andere:

- Temperatuur rioolwater in- en uitgaand
- Temperatuur en debiet transportmedium in- en uitgaand
- Temperatuur bodem op afstand van de buiswand: 0, ½, 1 en 2 m
- Bodemvochtgehalte

Geleverde energie	125.515 kWh
SPF	3,9
Vermeden gasverbruik	14.277 m ³
Vermeden CO₂ uitstoot	25.484 – 8.903 kg (grijs versus groen stroom verbruik)
Geleverde energie bron in koelen	2.723 kWh
Maximale koelvermogen	3,0 kW

Tabel 2:
Resultaten in het eerste stookseizoen, 1 januari 2018 – 31 december 2018

Resultaten

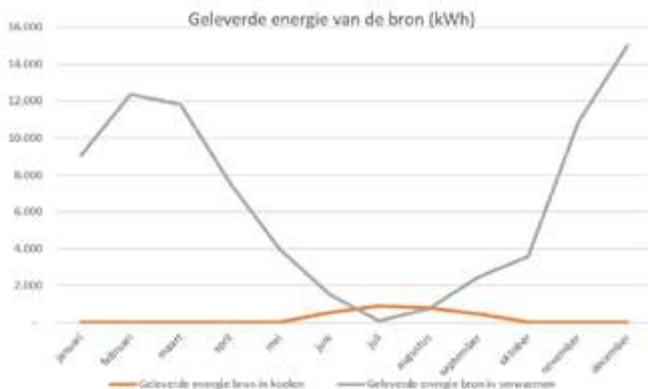
In het eerste stookseizoen is het rendement SPF 3,9. Voor een eerste stookseizoen een goed resultaat. De SPF is vooral minder gunstig door de zomerperiode waarbij veel elektriciteit wordt gebruikt door o.a. de pompen in het systeem. Voor alleen de winterperiode is de SPF veel gunstiger. Daarbij draait het systeem vollast en is het gemiddeld rendement hoger. De SPF voor de periode 1 jan t/m 30 april 2018 is 4,5.

Geleverde energie	67.581 kWh
SPF	4,5
Vermeden gasverbruik	7.687 m ³
Vermeden CO₂ uitstoot	13.721 – 5.497 kg (groen versus grijs stroom verbruik)

Tabel 3: Periode 1 januari 2018 – 30 april 2018

De SPF factor kan nog verbeterd worden door het systeem in de zomer op een stand-by stand te laten. Komend seizoen verwachten we door optimalisatie een groter rendement vanuit de warmtepomp.

De totale besparing is 14.277 m³ gas (25 ton CO₂). Dit is meer dan in eerste instantie is voorzien (13.000 m³ gas, 23 ton CO₂). Het vermogen uit de rioolwisselaar is 84 kW (66 meter). Het vermogen dat gehaald wordt uit de wisselaar is 5% hoger dan verwacht. Voor het eerste seizoen wordt dus meer gas geleverd en meer vermogen dan in de ontwerpfase is bepaald. Gemiddeld wordt ongeveer 1,5 graden van het rioolwater-temperatuur afgehaald (figuur 3).



Figuur 2: Geleverde energie uit de bron (rioolwisselaar) in kWh aan koude (oranje) en warmte (grijs).



Figuur 3: Temperaturen van het rioolwater, voor de wisselaar (oranje), na de wisselaar (blauw), buitentemperatuur (blauw). Het verschil tussen de ingangstemperatuur van het rioolwater en na de wisselaar is constant ongeveer 1,5 graden.

Type warmtepomp	Gemiddelde SPF
water/water warmtepomp	3.9
horizontale bodem/water warmtepomp	4.0
verticale bodem/water warmtepomp	4.7
DX/water warmtepomp	3.2
lucht/water warmtepomp	2.8

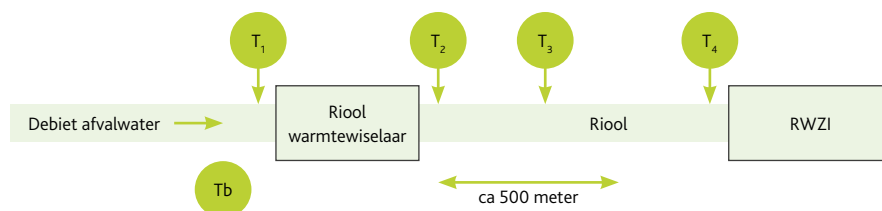
Tabel 4: In het kader van het IWT-WP-DIRECT Project gefinancierd door het IWT en uitgevoerd door onder meer de KULeuven en het De Nayer Instituut werd het werkelijke rendement van 17 warmtepompen opgemeten en vergeleken. Het onderzoek heeft 17 soorten warmtepompen opgemeten en bijgehouden voor een volledig stookseizoen. Het rendement is weergegeven in SPF.

Project 2. Zwembad 't Bun gemeente Urk

Vanaf eind 2016 was het eerste riothermiesysteem in een persleiding, in combinatie met warmte en koudeopslag (WKO), in Nederland een feit. Hiermee werden twee innovatieve ideeën werkelijkheid: riothermie in een persleiding én riothermie gecombineerd met open bodemenergie. Het zwembad 't Bun op Urk wordt hierdoor gasloos en duurzaam verwarmd.

In een zorgvuldig uitgewerkt plan heeft de gemeente Urk alle voor- en nadelen van riothermie (gasloos verwarmen) geïnventariseerd. Voorwaarden waren: een politieke wil om te innoveren en garanties dat risico's goed in beeld zouden worden gebracht. De verbouwing van het lokale zwembad bleek dé kans om een project te starten. De extra kosten voor riothermie moesten opgevangen worden door de

Figuur 4: Meetpunten bij het systeem op Urk, gemeten worden de temperatuur voor de wisselaar (T_1), temperatuur na de wisselaar (T_2), temperatuur na 500 meter, temperatuur van het influent bij de rioolwaterzuivering (rwzi) en de bodemtemperatuur (T_b).



energiebesparing. Gaande het onderzoek werd duidelijk dat een innovatie als riothermie niet op zichzelf staat. In Urk is men uitgekomen op een totaalconcept: riothermie, warmte-koude opslag en restwarmte uit spoelwater.

Wat riothermie onderscheidend maakt ten opzichte van andere duurzame technieken is de leveringszekerheid doordat riolen lang blijven liggen en afvalwater blijven afvoeren in zomer en winter. De rioolpersleiding die een groot deel van het afvalwater uit de kern Urk afvoert, ligt op 100 meter van het zwembad. Een jaarlijkse besparing van 165.000 m³ gas, wat resulteert in 310 ton minder CO₂-uitstoot. Dit staat gelijk aan de CO₂-uitstoot van 58 huishoudens.

Resultaten

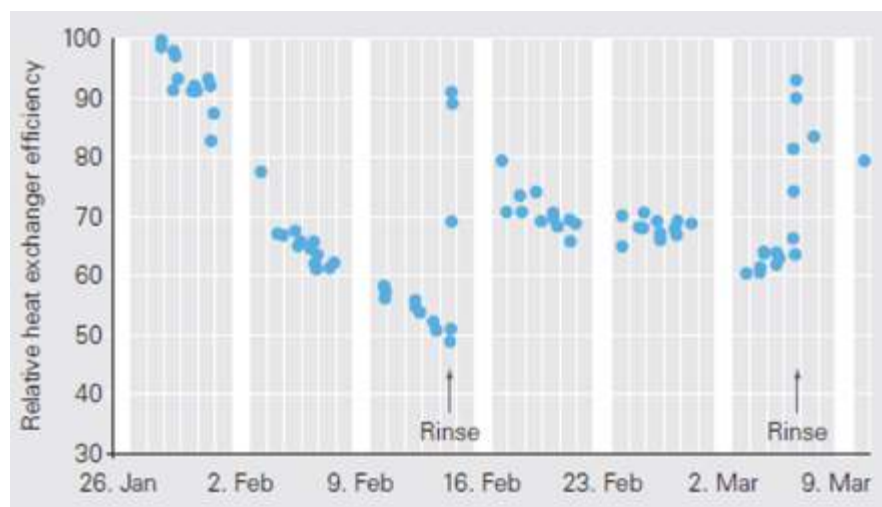
Het systeem heeft tijdelijk stilgelegd waardoor nog geen volledig stookseizoen kan worden weergegeven. Nadat het systeem in 2017 in gebruik is genomen, is gebleken dat het systeem niet goed bestand was tegen de grote drukverschillen in het riool. De warmtewisselaar is na een eerste periode vervangen door een warmtewisselaar met een hogere drukbestendigheid. Na een lange testperiode is het systeem weer volledig in bedrijf. De eerste resultaten geven een hogere capaciteit aan van de warmtewisselaar. Naar verwachting zal door het ontstaan van een zogenaamde biofilm (biologische laag op de warmtewisselend oppervlakte van de rioolbuis) de capaciteit van het systeem minder worden.

In de komende periode wordt het systeem gemonitord op rendement en verwarmend vermogen. Daarnaast wordt in een onderzoek voor het kenniscentrum voor de waterschappen, de Stowa (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) het effect van het onttrekken van warmte van het afvalwater gemeten in de loop van het afvalwater. Zo wordt gemeten in hoeverre het effect van de temperatuur-

daling nog zichtbaar is na 500 meter en bij de rioolwaterzuivering. In de loop van dit jaar worden de eerste resultaten verwacht.

Biofilmvorming minimaal in rioolpersleiding

Door de vuillast in het warme afvalwater kan een biologische aanslag op de warmtewisselaar ontstaan. Deze zogenaamde 'biofilm' heeft een isolerend effect waardoor de uitwisseling van thermische energie tussen afvalwater en warmtewisselaar verminderd. Onderzoek door het Zwitserse aquatisch onderzoeksinstituut Eawag wijst uit dat de biofilmvorming, en het effect hiervan op de warmtewisselaar, gereduceerd wordt wanneer de stroomsnelheid van het afvalwater regelmatig boven 1 m/s ligt. Hierdoor wordt de meeste biofilm verwijderd waardoor het rendementsverlies beperkt wordt tot ongeveer 20%. Uit onderzoek van Eawag blijkt dat biofilmvorming op de buis naar verwachting beperkt zal blijven bij stroomsnelheden boven 1 m/s. Wanneer 2 van de 3 pompen van het gemaal Urk kern aanstaan, bedraagt de stroomsnelheid 1,12 m/s (703 m³/h / 0,17 m² = 1,12 m/s). Dit is voldoende om biofilm grotendeels te voorkomen. Het is dus gewenst om regelmatig beide pompen gelijktijdig te gebruiken, ook in periodes van droogweer. Hoe vaak dit exact nodig is zal moeten blijken uit monitoring.



Figuur 5: Invloed van biofilmvorming op de warmteoverdracht door een warmtewisselaar, gemeten in een testopstelling van Eawag. Na 3 weken blijkt de warmteoverdrachtscapaciteit gehalveerd te zijn. Door de stroomsnelheid te verhogen naar 1 m/s wordt het rendement verhoogd tot ongeveer 80 a 90%.



Zwembad De Veldkamp in Wezep wordt door middel van riothermie verwarmd met de restwarmte van de fabriek van aardappelproducent CêlaVita. Hiervoor moest wel een 650 meter lange rioleringsbuis worden aangelegd. In Wezep loost de aardappelfabriek van CêlaVita veel warmte in het riool. Met deze warmte verwarmt Tauw Omgevingswarmte zwembad De Veldkamp (600 meter verderop) gasloos. Een jaarlijkse besparing van 230.000 m³ gas, wat resulteert in 410 ton minder CO₂-uitstoot. Dit staat gelijk aan de CO₂-uitstoot van 58 huishoudens.



Figuur 6 en 7: Over de lengte van 800 meter is een geïsoleerde PVC-buis met een diameter van 315 aangelegd.

Resultaat Wezep

In vergelijking met andere riothermiesystemen is hierbij de wisselaar bovengronds geplaatst. Het afvalwater vanuit CêlaVita heeft veel minder vervuiling dan huishoudelijk rioolwater. Daardoor kan een hoger rendement worden gehaald met een bovengrondse vuilwaterwisselaar. De COP van de warmtepompen is tot nu toe ca 5,5 -5,8. De ingangstemperatuur van het afvalwater ligt tussen de 26 en 28 graden. Over de lengte van 800 meter is een geïsoleerde PVC-buis met een diameter van 315 aangelegd. Het warmteverlies over deze lengte is circa 1,5 graden. Het water wordt met een gemiddelde temperatuur van 27,5 tot 31 graden vanuit CêlaVita in het riool gestort.

Conclusie

Deze riothermiesystemen dragen bij aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord. Door het toepassen van riothermiesystemen wordt een gebouw op duurzame wijze verwarmd, dit kan bijvoorbeeld een school, een zwembad of een appartementencomplex zijn. Waar eerst deze gebouwen werden verwarmd door middel van gas, is duurzame verwarming het onderwerp van nu, met gasbesparing gaat het verminderen van CO₂-uitstoot gepaard. Het monitoringsonderzoek is in volle gang. De komende periode verwachten we van verschillende systemen meer data. Als eerste voorzichtige conclusie zien we dat het vermogen van de warmtewisselaars in het riool beter presenteren dan in de ontwerpfase is aangenomen en door de fabrikant van het systeem is aangegeven.

Aanbevelingen en leermomenten

Riothermie is een volwassen en betrouwbare techniek. Het rioolwater is een betrouwbare constante, omdat altijd van droogweer afvoer wordt uitgegaan bij riothermie systemen, heeft het afkoppelbeleid van regenwater ook geen invloed. In Nederland ligt ongeveer 100.000 km aan rioolleiding in de grond. Voor de komende jaren staat een significant deel op de lijst om vervangen te worden. Dit is bij uitstek het moment om de mogelijkheid om riothermie toe te passen. Berekend is dat in Nederland op deze manier 15% van de totale warmtevraag van de huishoudens kan worden ingevuld.

Op dit moment zijn 9 riothermieprojecten in Nederland in bedrijf. In de komende 2 jaar verwachten we minimaal een verdubbeling van het aantal in bedrijf zijnde systemen in Nederland. Onze grootste uitdaging hierbij is niet de techniek, want op wat opstartproblemen na werken alle systemen beter dan in het ontwerp is aangenomen. Natuurlijk willen we ook de komende jaren de robuustheid en de continuïteit van de systemen meten. Maar inmiddels zijn vanaf 2005 de eerste riothermie-systemen in Duitsland en Zwitserland in bedrijf. De kennis van deze fabrikanten van warmtewisselaars in het riool wordt nu gebruikt in de systemen in Nederland.

De uitdaging bij riothermie is vooral de organisatie van de warmtelevering. Veelal zijn meerdere partijen betrokken: waterschappen, gemeenten, installateurs, netwerkbeheerders, warmteleveranciers. De uitdaging is de partijen samen te krijgen en verantwoordelijk te maken voor onderdelen van het systeem. Vooral nu riothermie ook wordt ingezet bij warmtelevering aan (nieuwbouw) woningen, waarvan de eerste systemen nu in bedrijf zijn.