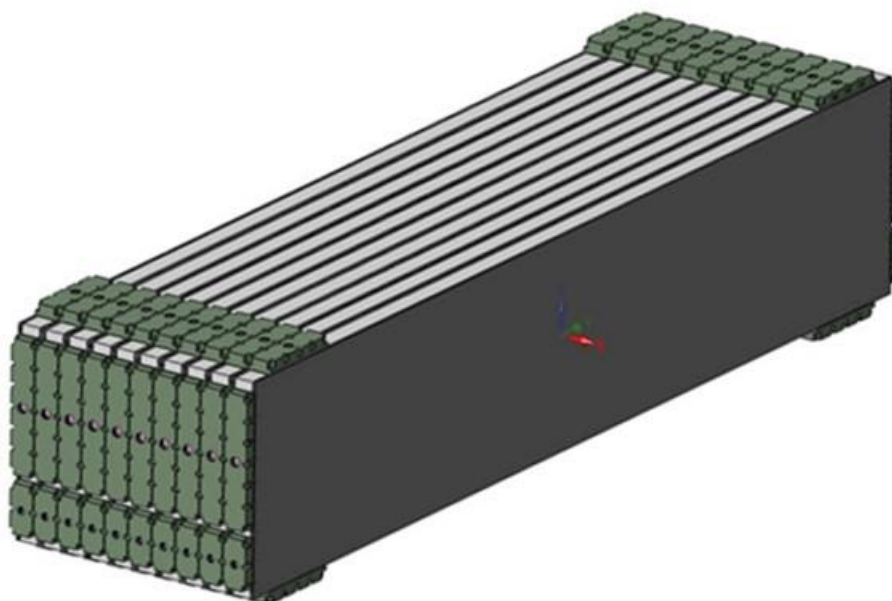


Openbaar Eindrapport
Topsector Energie
Programmaliijn 1b: Warmte-efficiënte Procestechnologie
Haalbaarheidsstudie

**Energiebesparing met Membrane Distillation; een innovatie voor
industriëel proceswater**



Projectnummer: **TESN 118104**

Projecttitel: **Energiebesparing met Membrane Distillation; een innovatie voor industriëel proceswater.**

Penvoerder: i3 Innovative Technologies BV (i3), contact: Jan Henk Hanemaaijer

Mede-aanvragers: Water Innovation Consulting (WIC), Hellebrekers Technieken

Betrokken industrieën: Carbogen Amcis, Friesland Campina en Floating Farm

Projectperiode: 01-12-2018 t/m 31-03-2020

Ten behoeve van: e-innovatie@rvo.nl

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Doelstelling en uitgangspunten

De ontwikkeling van Membraandestillatie (MD) is al een aantal jaren geleden gestart en de werking ervan is bewezen. Wel wordt marktintroductie beperkt door nog onvoldoende robuustheid en kostprijs. Het hier voorgestelde MD-concept kan dit veranderen. Het industrieel energieverbruik voor bereiding van proceswater kan dankzij toepassing van laagwaardige warmte ($< 90\text{ }^{\circ}\text{C}$) omlaag. Voor de industrie is het lonkend perspectief naast verduurzamen door energiebesparing dat zeer zuiver water geproduceerd en tegelijkertijd productstromen, zoals zoute stromen, geconcentreerd kunnen worden. Deze nieuwe technologie is echter nog niet commercieel doorgebroken.

De belangrijkste redenen daarvoor zijn:

- 1) Mechanisch/technische problemen op termijn (doorslag membraan, lekkage modules);
- 2) Beperkte prestaties (t.a.v. flux en energie-efficiëntie);
- 3) Slechte opschaalbaarheid en daardoor nog relatief hoge prijs van de modules;
- 4) Gebrek aan commerciële-schaal-modulefabrikanten.

Doel van het project was aan te tonen dat een grote stap voorwaarts kan worden bereikt in de ontwikkeling van MD-technologie door oplossingen voor bovenstaande beperkingen. Focus is de productie van hoge-kwaliteit water (ketelvoeding, demiwater) uit oppervlaktewater en zoute industriële processtromen met laagwaardige restwarmte, en dus verwaarloosbaar gebruik van primaire energie.

Concreet betekent dit dat warmte tussen 50 en 80 $^{\circ}\text{C}$, die momenteel veelal in mechanisch aangedreven koeltorens wordt weg-gekoeld, nuttig wordt omgezet in hoogwaardig proceswater.

Momenteel hebben i3 's modules een spiraal-gewonden configuratie, wat de opschaalbaarheid beperkt van 6 tot maximaal 12 m² membraanoppervlak (destillaatproductie 30 – 60 l/h per module). Dit betekent voor veel applicaties dat een zeer groot aantal modules parallel moeten worden geschakeld, leidend tot hoge kosten voor leidingwerk, kranen en koppelingen. *Figuren 1 en 2* geven een beeld van i3's status.

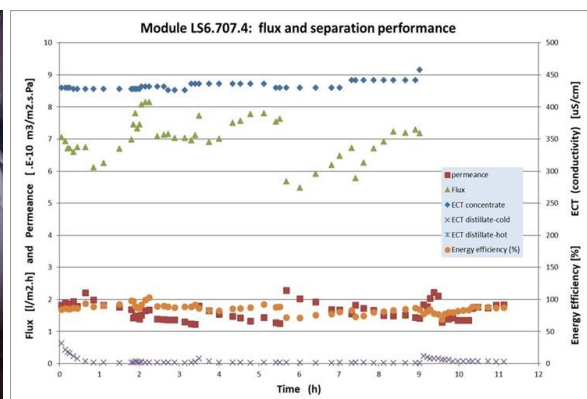


Fig. 1. Spiral wound MD modules van i3.

Fig.2. Prestatie van een typische i3-spiral LGMD module

i3 heeft een begin gemaakt met de ontwikkeling van een box-vormige module, waarin per box smalle, handelbare en uitwisselbare MD-pakketten (ca. 20 m²) kunnen worden geplaatst. Zo kunnen modules met 100 - 200 m² worden samengesteld. De pakketten bevatten dezelfde membranen en materialen als de spirals. Doel van dit project was deze module te ontwikkelen tot een werkend prototype.

Resultaten, knelpunten en perspectief

Een nieuw type LGMD-module (liquid gap membrane distillation) is ontwikkeld en getest. Het ontwerp van de module is ontleend aan de ervaringen van i3 met haar kleine spiraal-gewonden modules.

Met een verbeterd membraan, andere spacer-configuratie, gewijzigde stromingskanaal-afmetingen en een nieuwe, potentieel goedkope bouwwijze met uitwisselbare en eenvoudig opschaalbare box-vormige elementen wordt een sprong gemaakt in product, prestatie en prijs.

De verkenning daarnaast van een recent op papier ontworpen nieuw moduleconcept van i3, wat kan leiden tot een sterk verhoogde recovery, heeft echter nog geen positief resultaat opgeleverd.

Hellebrekers heeft engineering-kennis voor een later te bouwen testinstallatie ingebracht. i3 heeft de opgeschaalde modules ontwikkeld en getest. WIC evalueerde de resultaten voor (en samen met) de gebruikers Carbogen Amcis, Friesland Campina en Floating Farm.

Fig. 3 toont het resultaat van de ontwikkeling van de zgn. BOX-modules, bestaande uit 1 – 10 harde, draagbare en uitwisselbare MD/MC-platen ("packets") met typisch 20 -30 m² membraanoppervlak.

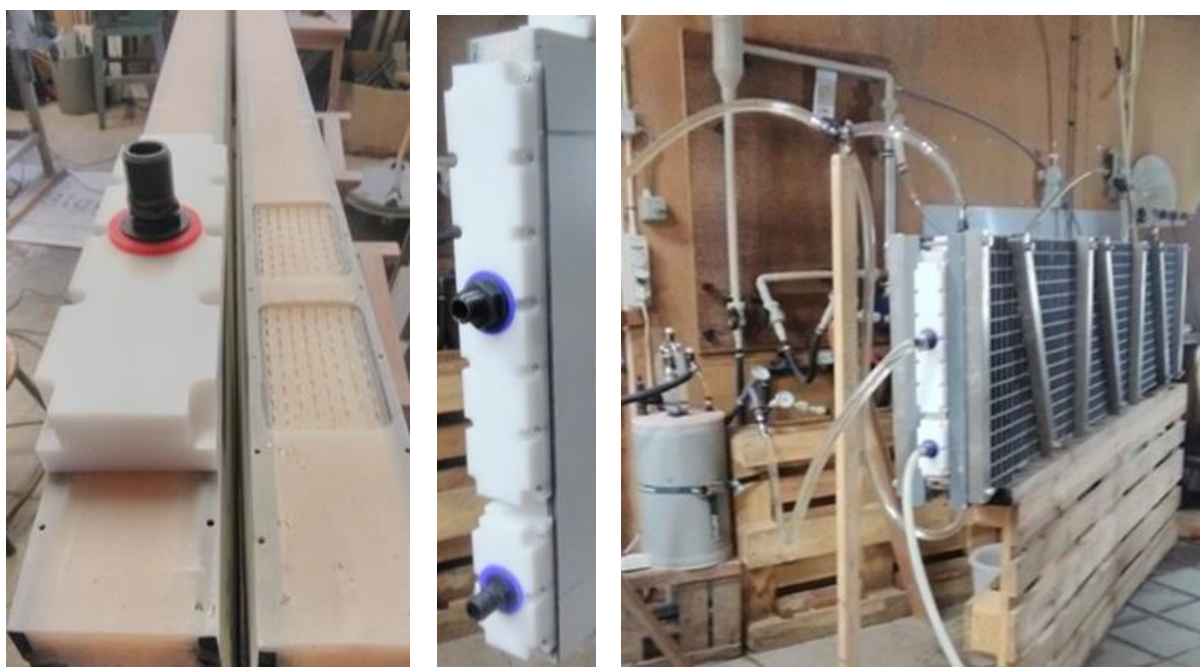


Fig. 3. In- en uitstroomheaders voor de BOX-packets van 20 m², en BOX-module (rechts en onder).



Na het oplossen van enkele aanloopproblemen hebben deze packets zich inmiddels bewezen als robuust, zowel intern als extern lekdicht, en potentieel goedkoop en grootschalig te produceren.

Door het samenvoegen van packets ontstaan BOX-modules met een hoge capaciteit (*fig. 4*).

MD BoxPackets : modules 20 - 100 - 200 m²

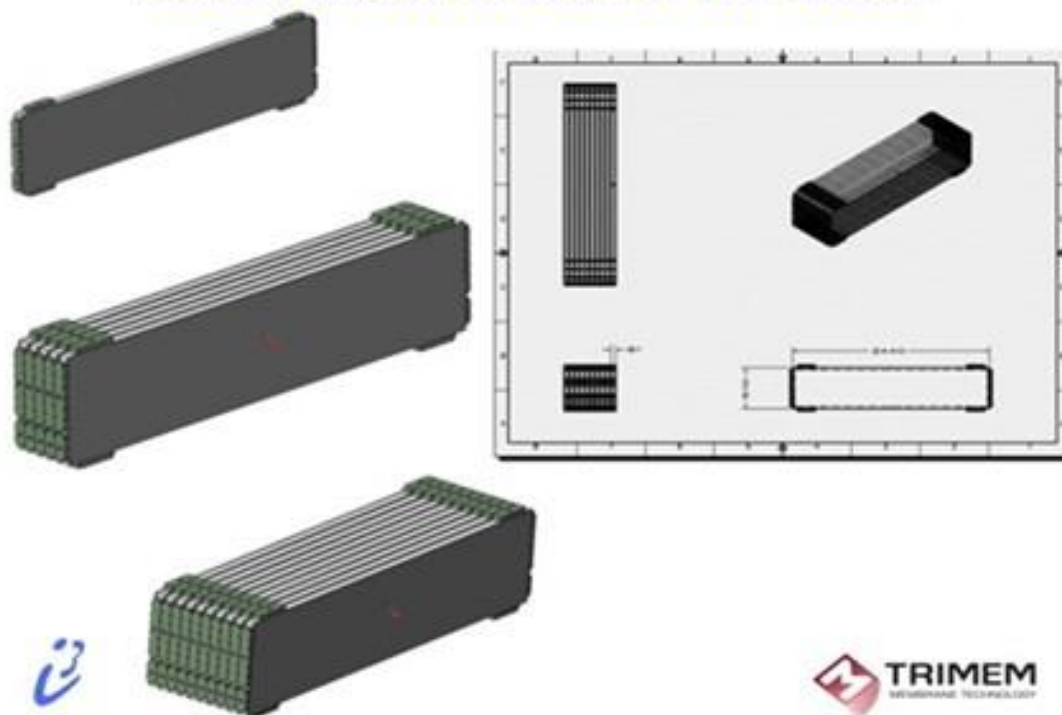


Fig. 4. Impressie van de opbouw van opgeschaalde MD/MC modules.

Bijdrage aan de doelstelling van Programmalijn 1b: Warmte-efficiënte Procestechologie

De Nederlandse procesindustrie gebruikt veel proceswater (ongeveer 600 miljoen m³/a); naast nog eens 10 keer zoveel koelwater. Proceswater wordt gemaakt uit grond-, oppervlakte- en drinkwater en wordt gezuiverd tot een zeer hoge kwaliteit. Dit omdat bijvoorbeeld voedingsmiddelen bereid uit proceswater veel langer mee moet gaan dan drinkwater, dat een houdbaarheid van 2 dagen heeft. In de chemische en procesindustrie zijn veel soorten verontreinigingen taboe en een zeer lage geleidbaarheid veelal verplicht. Door deze eisen kost het bereiden van proceswater veel energie (elektriciteit, aardgas en chemicaliën) in het bedrijf en ook bij toeleveranciers zoals drinkwaterbedrijven. Het energieverbruik van drinkwaterbereiding is ca. 1,5 kWh/m³ (elektrisch, gas en chemicaliën productie). Proceswaterbereiding in de industrie tot de gewenste hoge kwaliteit (met RO, EDI etc.) kost nog eens zoveel energie; bij een productie van 600 miljoen m³/a is dat een nationaal energie verbruik van 6,5 PJ/a. Hier ligt dus een groot energiebesparingspotentieel als dit door gebruik van restwarmte kan worden ingevuld.

Proceswater gemaakt uit oppervlaktewater met restwarmte via Membraandestillatie (MD) kost vrijwel geen primaire energie, en gebruikt geen chemicaliën.

Een belangrijke parameter voor proceswater is de geleidbaarheid. Eerder onderzoek gaf aan dat de geleidbaarheid van demiwater geproduceerd met MD < 2 µS/cm is. Dit komt overeen met veel proceswatereisen van de industrie.

Volgens de RVO website is jaarlijks 125 PJ restwarmte boven de 100 °C beschikbaar voor dit proces. Bij een restwarmte gebruik van 200-500 MJ/m³ zou hiermee dus 250 - 600 miljoen m³ proceswater per jaar kunnen worden geproduceerd. Dit is significant.

Naast energiebesparingspotentieel zijn er voor de industrie nog kwaliteitsvoordelen en mogelijk zelfs een kostenbesparing, daar de warmte niet meer in koeltorens hoeft te worden weg-gekoeld.

Dit project levert een bijdrage aan het verduurzamen van de industrie. Naast energiebesparing zijn extra voordelen voor de industrie mogelijk een betere kwaliteit water en een kleinere stroom reststoffen. Schematisch is dit weergegeven in fig.3.

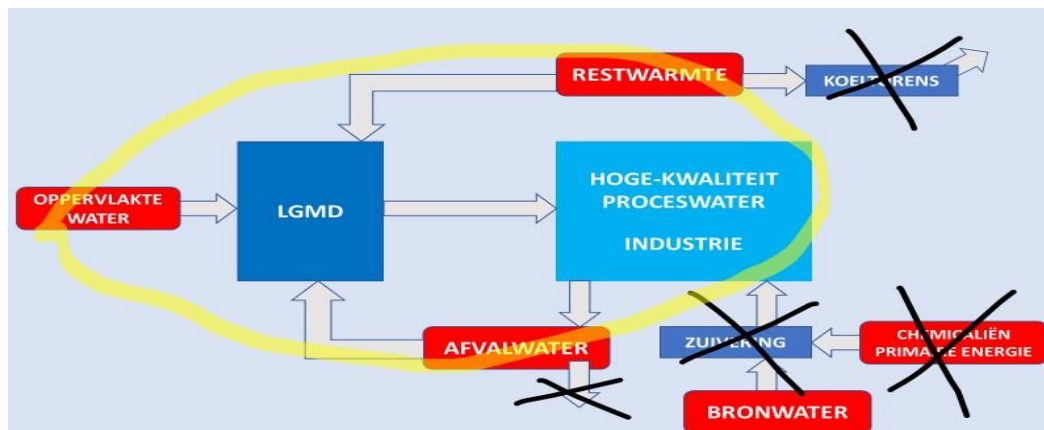


Fig. 3. Doelstelling van het project: door toepassing van LGMD (liquid gap membrane distillation) een duurzaamheidssprong voorwaarts bereiken voor industrieel proceswater.

Hoewel Membraandestillatie al een aantal jaren geleden ontwikkeld is en het potentieel van MD is bewezen om met laagwaardige warmte zoute stromen om te zetten in hoog-geconcentreerde brijn en zeer zuiver water, is de technologie niet commercieel doorgebroken.

Belangrijkste redenen: 1) Technische problemen (doorslag membraan, lekkage modules); 2) Beperkte prestaties (t.a.v. flux en energie-efficiëntie); 3) Slechte opschaalbaarheid en hoge prijs van de modules; 4) Gebrek aan commerciële-schaal-modulefabrikanten.

i3 Innovative Technologies heeft enkele jaren geleden de handschoen opgenomen om, met de resultaten van TNO's MEMSTILL-ontwikkeling als startpunt, op de punten 1-3 te komen tot belangrijke verbeteringen; met als vooruitzicht is te komen tot een moduleproductie-industrie voor MD in Nederland. Cruciaal hierbij is deze ontwikkeling van een opschaalbare, goedkoop te produceren BOX-module.

Spin off binnen en buiten de sector

Enkele andere veelbelovende toepassingen van de ontwikkelde MD-techniek zijn:

- Winning van zout en demiwater uit brijnstromen
- Ontwateren van stromen in de fijn-chemie en voedingsindustrie
- Omzetting van mest in schoon water en meststof
- Grootschalige zeewaterontzilting met zonnewarmte.

Het werk vindt momenteel een direct vervolg in het Bundeld Early Adapter Program for Membrane Technology. Hierin worden zowel de cases voor Friesland Campina en CARBOGEN AMCIS nader onderzocht, inclusief tests i.s.m. EMI met BOX-modules voor de geselecteerde stromen.

In juli zal een test met een BOX-module plaatsvinden bij een groot melkveebedrijf in Oss. Doel is het omzetten van de dunne fractie van vergiste mest in schoon loosbaar water, en twee geconcentreerde meststofstromen met resp. stikstof en P/K. Eerder verliep een test met een spiraalgewonden module al succesvol.

Met Plataforma Solar Almeria (PSA) in Spanje, het grootste instituut in de EU voor praktisch onderzoek naar zonne-energie, wordt samengewerkt op het gebied van zeewaterontzilting d.m.v. met zonnearmte aangedreven MD modules.

Daarnaast wordt met diverse bedrijven overlegd over de mogelijkheden van de MD/MC modules voor het ontwateren van processtromen en voor ammoniak-terugwinning.

Disseminatie

De resultaten van dit haalbaarheidsproject zijn gedeeld via diverse procesindustrie-platforms: ISPT, NMG en NL-GUTS.

- ISPT heeft samen met i3 een Nieuwsitem geschreven; dit is op 14-05-2019 gepubliceerd op de ISPT website (bijlage 1).
- Een project-poster is op 19-11-2019 gepresenteerd tijdens de ISPT Conference in Amersfoort (bijlage 2).
- Tijdens een NL-GUTS event op 21-05-2019 bij Tejin in Arnhem heeft Jan Henk Hanemaaijer een lezing gehouden over de status van Membraandistillatie, met daarin speciale aandacht voor het TSE project.

Daarnaast hebben er diverse 1-op-1 contacten plaatsgevonden tussen i3 en potentiële gebruikers van de MD modules in de industrie en landbouw.

Conclusie en aanbevelingen

Dit project heeft aangetoond dat door middel van een nieuwe bouwmethode het mogelijk is om lekdichte, eenvoudig opschaalbare BOX-modules te produceren voor zowel Membraan Destillatie (MD) als Membraan Contactor (MC) applicaties. Dit opent de weg naar industriële toepassing van MD, en daarmee naar betere benutting van restwarmte, leidend tot een verlaging van het energiegebruik. Daarnaast biedt de techniek veelbelovende mogelijkheden voor de verwijdering van ammoniak uit zowel industriële als agro-stromen, waarbij de stikstof wordt omgezet in nuttige, herbruikbare vorm.

Verdere ontwikkeling is nodig om de prestaties van de BOX-modules te verbeteren, en kleine gebleken problemen met de afdichting van headers op te lossen.

Daarnaast dienen de modules zich te bewijzen in industriële applicaties.

Momenteel wordt aan beide genoemde zaken gewerkt, ondermeer in het kader van het vervolgproject BEAP Membrane Technology.

Bestellen van dit rapport

Dit rapport is kosteloos digitaal verkrijgbaar via i3: info@i3innovativetechnologies.com

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

BIJLAGE 1. Nieuwsitem TSE project op website ISPT, 14 mei 2019

Publication ID	2071
Type	Other Other communication items
Year	2019
Reference	Newsitem ISPT, checked by projectleader
Related Project	EAP-20-11 Liquid Gap Membrane Distillation
Submitted On	May 14 2019 2:45PM
Submitted By	Heijmans, (Stella)

Moving forward with Membrane Distillation for Industrial purposes

Liquid Gap Membrane Distillation combines left-over heat with spiral membranes

The development of a new separation technology by means of membranes - *membrane distillation* - started a few years ago and its effectiveness has been proven. Market introduction, however, is still limited by insufficient robustness of the technology and its cost price. The new Liquid Gap Membrane Distillation (LGMD) concept proposed in this new research can change all this. These new box-shaped membranes are stronger, cheaper and can operate at a lower temperature making the re-use of left-over heat possible to operate the process. This means that the industrial energy consumption for process water preparation can be reduced. Not only will this contribute to making the industry more sustainable, it is also a very attractive prospect for the users to produce very pure water from their product (salt) waste streams that they can then re-use.

Limiting factors this project aims to overcome

Membrane Distillation is a very promising new technology, however it is not yet commercially viable. The main reasons for this are: mechanical/ technical (membrane breakdown, leakages); performance (flux and energy-efficiency); scalability (and thus high prices for the modules) and a lack of commercial-scale manufacturers. The aim of the LGMD project is to demonstrate that major steps forward can be made with respect to these limiting factors. The focus of the project will be on producing high-quality water, suitable as a boiler feed or demineralised water, from surface water as well as salt industrial process waste-flows using the industry's own residual heat to operate the process. Therefore making the energy input used to purify this water almost negligible as this heat would otherwise have been cooled and discharged.

The Liquid Gap Membrane distillation module

For this purpose i3 Innovative Technologies will develop and test a new type of Liquid Gap Membrane Distillation (LGMD) module. The design of the module is derived from experience with small spiral-wound modules. With an improved membrane, different spacer configuration, changed flow channel dimensions, new heat-conducting materials and a new, potentially inexpensive construction method a big leap will be made in product, performance and price. WIC will evaluate the results for (and together with) the users Carbogen Amcis, Friesland Campina and Floating Farm as well as for the entire process industry. The results of this feasibility project will be shared through the networks of NL-Guts, ISPT, NMG and NWGD as well as by the three end users.

Possible savings and future perspective

The Dutch process industry uses a lot of process water, around 600 million m³, in addition to this it uses 10 times as much cooling water. Process water is made from soil, surface and drinking water and has to be purified to a very high quality. The reason for this is that our foods are prepared from this process water and therefore it has to last much longer than drinking water that has a shelf life of only two days. The energy consumption of drinking water preparation is approximately 1.5 kWh/m³ and process water preparation in the industry to the desired high quality costs even more energy. Process water made from surface water with residual heat via membrane distillation costs virtually no primary energy, and uses no chemicals. According to the RVO website, 125 PJ residual heat above 100 °C is available annually for this process. With a residual heat consumption of 200-500 MJ/m³, this leads to the production of 250-600 million m³ of process water per year. This is a significant amount, that can potentially be saved and re-used using this technology. In addition to the energy saving potential, there are also quality advantages for the industry and possibly even cost savings because the heat in cooling towers no longer needs to be cooled as it can be re-used.

BIJLAGE 2. Poster ISPT Conference, 19 november 2019, Amersfoort

Contact ISPT: nathan.bowden@ispt.eu

LGMD - Liquid Gap Membrane Distillation

Liquid Gap Membrane Distillation combines leftover heat with box-shaped membranes

Project number EAP-20-11
Project leader(s) Jan Henk Hanemaaijer
E-mail info@i3innovativetechnologies.com

Partners CARBOGEN AMCIS, Floating Farms, FrieslandCampina, Hellebrekers Technieken, i3 Innovative Technologies, Water Innovation Consulting

Budget € 91k

Duration 2018-2019

Incentive

The development of a new separation technology by means of membranes – membrane distillation – started a few years ago and its effectiveness has been proven. Market introduction, however, is still limited by insufficient robustness of the technology as well as its cost price. The new Liquid Gap Membrane Distillation (LGMD) concept proposed in this new research can change all this.

Objective

The aim of the LGMD project is to demonstrate that major steps forward can be made with respect to these limiting factors. The focus of the project will be on producing high-quality water, suitable as a boiler feed or demineralised water, from surface water as well as from salt industrial process waste-flows using the industry's own residual heat to operate the process. This will make the energy input used to purify this water almost negligible as this heat would otherwise have to be cooled and discharged.

Approach

For this purpose i3 Innovative Technologies B.V. will develop and test a new type of Liquid Gap Membrane Distillation (LGMD) module. The design of the module is derived from experience with small spiral-wound modules. With an improved membrane, different spacer configuration, changed flow channel dimensions, new heat-conducting materials and a new, potentially inexpensive construction method a big leap will be made in product, performance and price.

Results

The spiral wound MD modules of i3 have been tested by PSA-Spain, and show around 2 x higher fluxes compared to commercially available MD

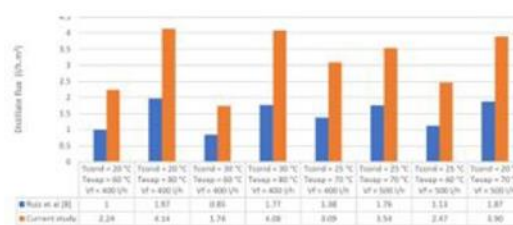
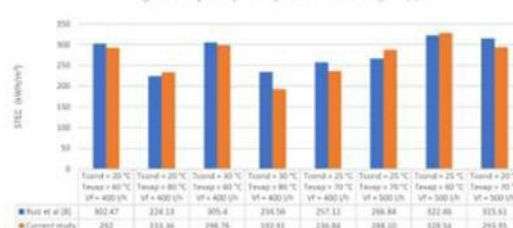


Figure 24: Comparison of distillate fluxes between current study and [8]



Future Perspective

Process water that is made from surface water using residual heat by means of membrane distillation costs virtually no primary energy, and uses no chemicals. According to the RVO website, 125 PJ of residual industrial heat of above 100 °C is potentially available annually for this preparation process. With a residual heat consumption by the process of 200-500 MJ/m³, this will potentially lead to the production of 250-600 million m³ of process water per year. This is a significant amount, that can potentially be saved in energy and re-used in water using this technology. In addition to the energy saving potential, there are also quality advantages for the industry and possibly even cost savings because the heat in cooling towers no longer needs to be cooled as it can be re-used.



Institute for
Sustainable
Process Technology