

TNO PUBLIEK

EnergieTransitie

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

TNO-rapport

TNO 2020 R10816 | Eindrapport

**Energy-efficient Combined Heat And Mass
Process (E-CHAMP)
Openbaar eindrapport**

Datum	27 mei 2020
Auteur(s)	Y.C.van Delft
Aantal pagina's	18 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	RVO
Projectnaam	E-CHAMP
Projectnummer	060.33664

© 2020 TNO



TNO PUBLIEK

Samenvatting

Introductie

Destillatie en absorptie zijn de twee meest toegepaste scheidingstechnologieën in de chemische industrie en verantwoordelijk voor meer dan 50% van het energie-gebruik. Verbetering van de huidige adiabatische kolommen voor absorptie en destillatie is echter mogelijk door gebruik van gestructureerde systemen waarmee het scheidingsproces in de kolom gecombineerd wordt met warmteoverdracht.

Doelstelling van het project

E-CHAMP ontwikkelt deze nieuwe technologie voor efficiëntere absorptie en destillatie, die onder industriële condities wordt getest in een pilot installatie bij Huntsman. Het project heeft tot doel de technische haalbaarheid en de hogere efficiëntie van het absorptieproces te valideren. De partners hebben verschillende business cases geëvalueerd om de economische voordelen van dit nieuwe type apparatuur voor absorptie- en destillatieprocessen te bepalen, zowel in greenfield- als retrofit-toepassingen. De energiebesparingen in de Nederlandse industrie zijn aanzienlijk: in 2030 kunnen dergelijke gestructureerde systemen leiden tot een CO₂-emissiereductie van 160 kt/jaar en 2,3 PJ/jaar energiebesparing.

Resultaten

De belangrijkste resultaten binnen het project zijn:

- Voor de Plate & Shell (S&P) module is een vloeistofverdeler ontworpen door Wijbenga en met succes getest bij TNO.
- Een meerkanaals Plate & Shell (S&P) module van Vahterus is getest in destillatiemodus en vergeleken met de prestaties van enkelkanaals Structured Packing en Plate-Fin warmtewisselaar modules. De Structured Packing module presteert beter dan de Plate-Fin- en S&P-module in stofoverdracht. De S&P module heeft een 8 keer hoger warmteoverdrachtsoppervlak in vergelijking met de Plate-Fin en Structured Packing modules.
- Proof of concept experimenten voor gekoelde absorptie zijn gedaan met een modelreactie (CO₂ absorptie in 30 wt% MEA) in de Vahterus S&P warmtewisselaar aangesloten op de testinstallatie bij Suster BV. Het effect van interne koeling op de CO₂ absorptiesnelheid is duidelijk aangetoond, maar een proof of concept voor gekoelde CO₂ absorptie is nog niet aangetoond.
- Een rate based model is ontwikkeld door Technip om CO₂ absorptie door MEA in een conventionele en S&P absorptiekolom te modelleren. Het model is gevalideerd en kan worden gebruikt om het effect van gekoelde absorptie op de CO₂ belading van verschillende amine-oplossingen in de S&P module te schatten.
- Twee veelbelovende business cases voor de toepassing van de gekoelde absorber zijn geëvalueerd:
 - Absorptie van kooldioxide in een staalfabriek: 15% besparing in recirculatie en 7% besparing in de reboiler duty zijn mogelijk. De totale OPEX-besparing bedraagt 2,84 M€/jr en de terugverdientijd is 7 jaar.
 - Biogasbehandeling: Voor een biogasinstallatie van 500 Nm³/uur (~ 5 MW) is de totale OPEX-besparing 8736 €/jaar.
- Voor een bredere toepassing van gekoelde absorptie zijn systemen met een tragere absorptiekinetiek, zoals MDEA, interessanter dan MEA. Naast absorptie met MDEA zijn oxidatieprocessen potentieel interessant voor verdere studies.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Gegevens project.....	4
2	Penvoerder en partners	5
3	Achtergrond en doelstelling van het project	6
3.1	Introductie	6
3.2	Doelstelling van het project	6
4	Werkwijze en resultaten	7
4.1	Werkwijze	7
4.2	Resultaten.....	8
	WP1: Evaluatie van de Plate & Shell (S&P) Module	8
	WP2: Evaluatie van de Structured Packing Heat Exchanger (SPHX) Module	10
	WP3: Amine Absorptie test-unit	11
	WP4: Modelleren	12
	WP5: Absorber test in pilot systeem	13
	WP6: Referentie Cases & Economische analyse	13
	WP7: Project Coördinatie en Disseminatie	14
5	Knelpunten en perspectief op toepassing	15
5.1	Knelpunten.....	15
5.2	Vervolgprojecten	15
6	Bijdrage aan de doelstelling van de regeling	16
7	Disseminatie.....	17
8	Handtekening	18

1 Gegevens project

Projectnummer	TEEI115006
Projecttitel	Energy-efficient Combined Heat And Mass Process (E-CHAMP)
Projectleider	TNO
Projectpartners	Dow Benelux, Technip FMC, Vahterus, Wijbenga
Projectduur	01.10.2015 – 31.12.2019

Dit project is gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, Nationale Verordeningen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door de Rijksdienst van Ondernemend Nederland.

Contactpersonen:

TNO	Yvonne van Delft Yvonne.vandelft@tno.nl
Vahterus	Paavo Pitkänen Paavo.Pitkanen@vahterus.com
Technip Benelux	Marco van Goethem marco.vangoethem@technipfmc.com
Wijbenga	Ronald Nieuwenhuis rnieuwenhuis@wjbenga.nl
Dow Benelux	Cees Biesheuvel cbiesheuvel@dow.com

2 Penvoerder en partners

Naam	Type	Rol in het project
Huntsman	Industrie	Eindgebruiker, zal een absorber-unit testen in hun pilotinstallatie.
Vahterus	MKB	Apparatenbouwer, levert Plate & Shell absorber, die getest wordt bij TNO en Huntsman en kennis over de de fabricage van een grootschalige absorber.
Technip Benelux	Industrie	Ontwikkelt modellerings- en ontwerpmogelijkheden om de testinstallatie bij Huntsman te ontwerpen en de technische economische evaluaties uit te voeren.
Wijbenga	MKB	Technologieleverancier, ontwerpt de absorbers, die bij TNO en Huntsman moeten worden getest en evalueert de maakbaarheid van het "TNO-concept".
Dow Benelux	Industrie	Eindgebruiker, technische en economische evaluatie.
TNO	Kennisinstelling	Coördinator, technologieleverancier, testen.

3 Achtergrond en doelstelling van het project

3.1 Introductie

Absorptie en destillatie zijn de twee belangrijkste grootschalige scheidingsprocessen, waarbij meer dan 50% van de energie die in de chemische industrie wordt verbruikt. Hoge energie- en grondstofprijzen in vergelijking met andere chemische clusters in Azië, de VS en het Midden-Oosten bedreigen het concurrentievermogen van de Europese en meer specifiek de Nederlandse chemische industrie. Het verhogen van de industriële energie-efficiëntie kan een belangrijke rol spelen bij het behoud van directe en indirecte banen in de toekomstige chemische industrie in Nederland en het creëren van groei voor technologieleveranciers. Het verbeteren van de efficiëntie van destillatie en absorptie als de twee meest voorkomende grootschalige scheidingsprocessen (meer dan 50% van het Nederlandse chemische energie-verbruik) kan de energie-efficiëntie van de chemische industrie aanzienlijk verbeteren.

Eerdere werkzaamheden bij ECN hebben aangetoond dat de efficiëntie van destillatie sterk is verbeterd met behulp van warmtegeïntegreerde destillatie. Case studies hebben aangetoond dat een energiebesparing tot 70-80% mogelijk is in vergelijking met conventionele destillatiekolommen voor close boiling componenten [Bruinsma, 2012]. Een plaatwarmtewisselaar met behulp van gestructureerde pakking internals ontwikkeld bij ECN laten de warmte- en stofoverdrachtsprestaties zien die nodig zijn om een warmtegeïntegreerde kolom te ontwerpen.

Dezelfde technologie, gestructureerde systemen met warmte-uitwisseling, kan de efficiëntie van (exotherme) absorptieprocessen verhogen. Huntsman heeft een toepassing geïdentificeerd waarin een aanzienlijke verbetering kan worden bereikt met behulp van dergelijke technologie. Het project richt zich op de ontwikkeling van een absorber, die getest wordt in een proeffabriek voor deze specifieke toepassing. Naast de gestructureerde pakking warmtewisselaar wordt een concept ontwikkeld op basis van een bestaande commerciële Vahterus Plate&Shell warmtewisselaar.

De levensvatbaarheid van de technologie hangt af van de succesvolle toepassing ervan in een veel breder scala van processen. Daarom zullen we ook de technologie voor CO₂-absorptie evalueren, het meest gebruikte absorptieproces. Vanwege de brede toepasbaarheid en de beschikbare kennis zullen testen, modelleren en het genereren van ontwerpregels worden uitgevoerd op basis van experimenten voor deze toepassing.

3.2 Doelstelling van het project

E-CHAMP zal een nieuwe technologie ontwikkelen en opschalen om de efficiëntie van absorptie- en destillatieprocessen te verhogen. Een nieuw element in de technologie voorgesteld in E-champ is het gebruik van gestructureerde systemen om de massaoverdracht in combinatie met warmteoverdracht te verhogen. Het project heeft tot doel de technische haalbaarheid en de hogere efficiëntie van het proces te valideren. De partners zullen verschillende business cases evalueren om de economische voordelen van dit nieuwe type apparatuur voor absorptie- en destillatieprocessen te vertalen in zowel greenfield- als retrofit-toepassingen.

4 Werkwijze en resultaten

4.1 Werkwijze

Het project is verdeeld in drie fasen:

	Beschrijving	Resultaat van de fase
fase A "Selectie"	Voor beide technologieën de haalbaarheid beoordelen voor gecombineerde warmte- en stofoverdracht.	Selectie van een van de technologieën (Go) tenzij geen van de technologieën voldoet aan de criteria (No-go).
fase B "Scale-up"	Test meerkanaals module voor de geselecteerde technologie bij ECN voor CO₂-absorptie op basis van amine.	- Validatie van business cases (Go/No-go). - Ontwerp van een absorber voor Huntsman pilotplant op basis van gevalideerde modellen.
fase C "Industriële test"	Test-eenheid bediend in Huntsman.	Verificatie van de prestaties van de absorber in de pilotplant.

Fase A -> Fase B: Selectie van technologie en Go/No-go beslissing:

Na het voltooien van fase A zijn de experimentele resultaten van de Plate & Shell technologie en de Structured Packing technologie beschikbaar. De resultaten werden geëvalueerd en één technologie werd geselecteerd. De geselecteerde technologie voldoet aan de minimale eisen en het project ging fase B in met deze technologie.

Fase B -> Fase C: Go/No-go beslissing:

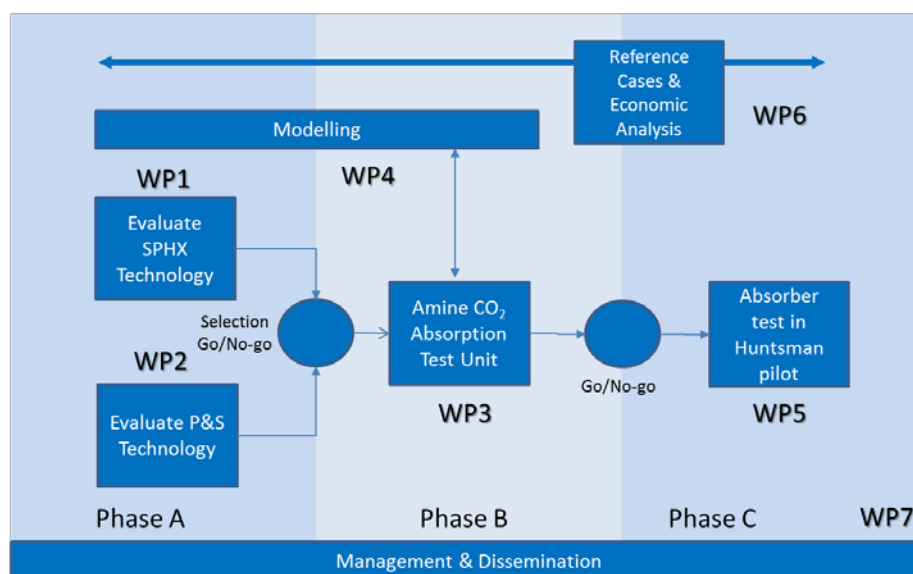
Op basis van de experimentele gegevens van de multi-channel module (WP3) en het gevalideerde model (WP4) wordt de technische haalbaarheid van de absorptie-module (WP5) en van het opschalen van de technologie naar volledige schaal na voltooiing van het project beoordeeld. Fase C is niet uitgevoerd vanwege de terugtrekking van Huntsman uit het project.

De onderverdeling in werkpakketten wordt weergegeven in Tabel 1. Figuur 1 vat de projectstructuur samen.

Tabel 1 Werkpakketten

WP	Korte beschrijving	Cat	Partners	Resultaten
1	Plate & Shell Technologie	IO	TNO , Wijbenga, Vahterus	Prestaties bepaald in lab
2	Structured Packing Technologie	IO	Wijbenga , TNO, Vahterus	Prestaties bepaald in lab
3	Amine Absorptie Test Unit	IO	TNO , Wijbenga, Technip, Vahterus	Scaled-up absorber gekwalificeerd in lab
4	Modellering	IO	Technip , TNO	Absorber ontwerptool geverifieerd met labgegevens
5	Absorber test in pilot systeem	IO	Huntsman , alle partners	Klaar om op te schalen naar grootschalige absorber
6	Referentie Cases & Economische analyse	IO	DOW , Technip, Wijbenga, TNO	Economische haalbaarheid en marktomvang beoordeeld
7	Management & Disseminatie	IO	TNO , alle partners actief in disseminatie	Projectdoelstellingen bereikt en resultaten verspreid

IO = industrieel onderzoek



Figuur 1 Projectoverzicht

4.2 Resultaten

WP1: Evaluatie van de Plate & Shell (S&P) Module

Doel

- Bepaal de technische haalbaarheid van een bestaande Plate & Shell warmte-wisselaar voor destillatie en absorptie door karakterisatie van de stofoverdrachtseigenschappen;

- Een vloeistof- en gasverdeler voor de Palte & Shell warmtewisselaar met een uniforme verdeling van vloeistof en gas.

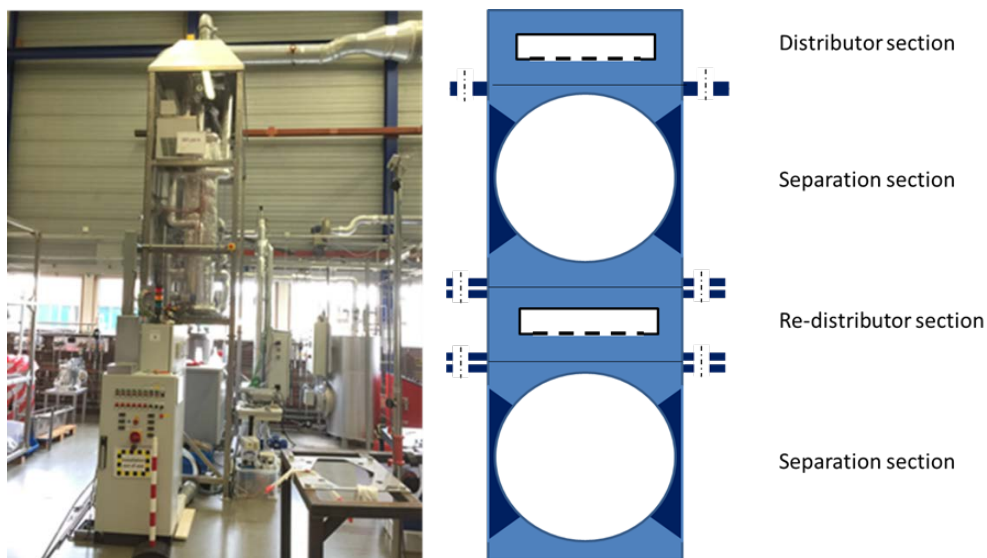
Resultaten

- Een enkelkanaalsmodule;
- Een rapport over de prestaties van de enkelkanaalsmodule;
- Een meerkanaalsmodule;
- Een rapport over de vloeistof/gas verdeling in de meerkanaalsmodule.

Resultaatbeschrijving

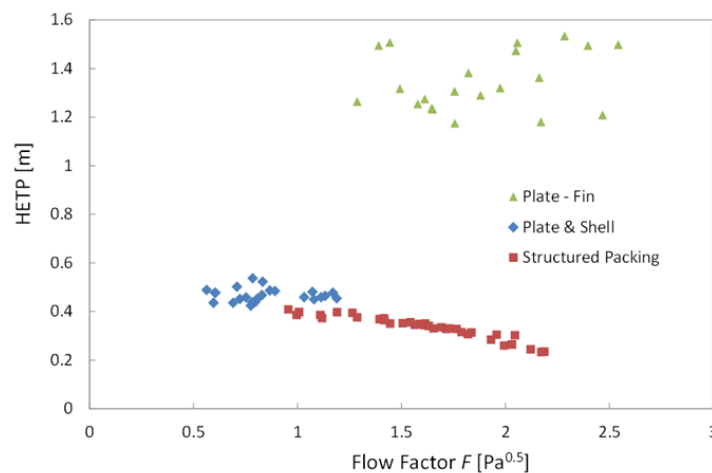
Benchmarking Shell- en Plate module (S&P) voor destillatie

Het belangrijkste resultaat in dit werkpakket is de vergelijking van de Shell&Plate meerkanaals Vahterus module op gebied van de warmte- en stofoverdracht en drukvalprestaties met de SPHX modules (zowel Structured Packing als Plate-Fin enkelkanaalsmodule). Daarnaast is een vloeistof/gas verdeler voor de S&P module ontworpen en getest. De S&P-module benchmarking is uitgevoerd voor warmte-geïntegreerde destillatie in de TNO-testinstallatie (zie Figuur 2 (links)). De testinstallatie heeft gedraaid onder totale reflux op 1,1 bar met drie variabelen: reboiler capaciteit, circulatiestroom en koeling/olie temperatuur. Enkelkanaals SPHX modules hebben drie compartimenten met de centrale compartiment voor destillatie, en de twee zijcompartimenten zijn voor verwarming/koeling. In het geval van de meerkanaals Vahterus P&S module zijn er drie compartimenten waarin destillatie plaatsvindt en twee compartimenten voor verwarming/koeling. Een schema van de Vahterus S&P is weergegeven in Figuur 2 rechts.



Figuur 2 Testinstallatie bij TNO (links) en de Vahterus S&P test module (rechts)

Elke module is bedreven in de adiabatische, stripping (externe verwarming) of rectifying modus (externe koeling) door het aanpassen van de olietemperatuur. N-heptane/cyclohexaan (75 mol% C6) is gebruikt als testmengsel.



Figuur 3 HETP vs. flowfactor gemeten voor drie verschillende pakkingen: Plate-Fin, Shell&Plate en Structured Packing.

Figuur 3 toont het berekende HETP voor verschillende flowfactoren. Hieruit blijkt dat de Structured Packing beter presteert dan de Plate-Fin en S&P module bij dezelfde flowfactoren. Deze HETP-waarden zijn vergelijkbaar met de waarden in commerciële destillatiekolommen. De warmteoverdracht tussen de destillatiesectie en de koel-/verwarmingssectie voor verschillende modules is vergeleken. De S&P module heeft een 8 keer hogere warmteoverdrachtsoppervlak in vergelijking met de Plate-Fin en Structured Packing modules. De reden voor de gemeten lage warmteoverdrachtscoëfficiënt is waarschijnlijk de zeer lage debieten in de testen, die het gevolg zijn van de beperking van de reboiler capaciteit van de TNO testinstallatie.

Vloeistofverdeling in S&P-module

Een vloeistofverdeler voor de meerkanaals S&P module is ontworpen door Wijbenga en getest door TNO. Om de organische vloeistof die wordt gebruikt in destillatie testen na te bootsen, is water met oppervlakteactieve stof gebruikt. Voor de geteste verdeler is een goed bereik gevonden in het vloeistofstroomgebied van 30-63 l/uur. Op basis van deze resultaten is geconcludeerd dat de prestaties van de verdeler voldoende zijn om gebruikt te worden in de destillatietesten.

Voor de proof-of-concept testen bij Suster BV zijn enkele testen met water uitgevoerd in een perspex-module om de vloeistofverdeling in de Vahterus-module te visualiseren. Verschillende pakkingen zijn getest en één van de pakkingen liet goede prestaties zien. De drukval met deze pakking nam echter toe bij hoge stroomsnelheden, dus verdere verbetering is nodig door het toevoegen van een extra geperforeerde plaat of verbreding van de bodemopening.

WP2: Evaluatie van de Structured Packing Heat Exchanger (SPHX) Module

Doelen

- Verificatie van de maakbaarheid van het gestructureerde pakking (SPHX) concept en de haalbaarheid van een grootschalig ontwerp;
- Een vloeistof- en gasverdeler voor de gestructureerde pakkingwarmtewisselaar met een uniforme verdeling van vloeistof en gas.

Resultaten

- Rapport over het mechanische ontwerp van een grootschalige SPHX-module;

- Rapport over de industriële maakbaarheid van het SPHX-module;
- Een vloeistofverdeler gebouwd op testschaal;
- Rapport over de uniforme vloeistof distributiecontrole op testschaal.

Resultaatbeschrijving

In het project is een brainstormsessie gehouden met TNO en Vahterus waarin het ontwerp van de SPHX module werd beoordeeld. Uit ervaring is bekend dat druk tussen de platen snel leidt tot vervorming. Voor het E-champ project is een extra screening gemaakt om te bepalen of de markt (voornamelijk) lage- of hogedruksystemen nodig heeft. Op basis van de screening van de destillatiedatabase van TNO wordt geconcludeerd dat ongeveer 1/3 van de kolommen waarop de heat integrated column (HIDiC)-technologie toepasbaar is, onder lage druk (< 2 bar) werkt en 2/3 van de HIDiC-kolommen onder hoge druk werkt. Daarom is voor de destillatietoepassing (die buiten het bereik van dit project valt) een technologie vereist die bestand is tegen een drukverschil tussen de twee proceszijden. Ook voor absorptieprocessen lijkt het na evaluatie niet aantrekkelijk om zich te richten op een oplossing die alleen bij lage druk werkt. Tot slot moet het systeem voor de door Technip overwogen CO₂ verwijderingstoepassing onder verhoogde druk kunnen werken. Daarom is het doel om een systeem te ontwerpen dat een verhoogde druk aan de proceskant aankan.

Verschillende manieren zijn onderzocht om de SPHX module geschikt te maken voor toepassing onder hoge druk, o.a. middels FEM-berekeningen. Uiteindelijk heeft het projectconsortium besloten om verder te gaan met één van de moduleontwerpen, vanwege de inspanning die nodig is om een dergelijk full-scale ontwerp te maken. De S&P module is geselecteerd voor verdere ontwikkeling vanwege de verwachte hogere mechanische sterkte en de ervaring van Vahterus in de opschaling van het apparaat.

WP3: Amine Absorptie test-unit

Doel

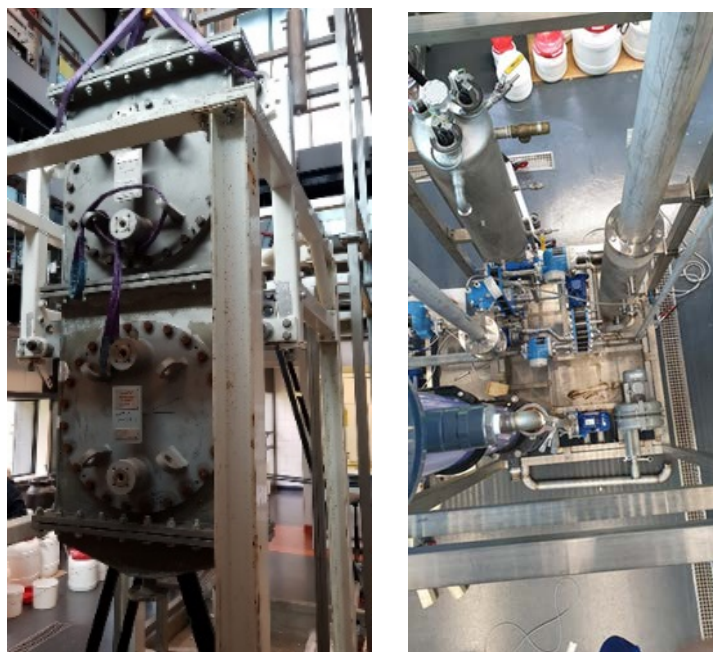
- Beoordeling van de prestaties van de geselecteerde meerkanaalsmodule voor CO₂-absorptie.

Resultaten

- CO₂-absorber module geleverd aan TNO
- Rapport over de testresultaten van de amine absorber

Resultaatbeschrijving

Proof of concept experimenten voor gekoelde absorptie zijn uitgevoerd met de Vahterus S&P warmtewisselaar. Figuur 4 (links) toont de S&P Vahterus module. De totale hoogte van de module is 2,23 meter. De module heeft 3 kanalen voor de reactiesectie (absorptie) en drie kanalen voor het koelen van media. Deze module is aangesloten op de testinstallatie bij Suster BV (zie Figuur 4 rechts), die bestaat uit een stripper unit voor de regeneratie, en warmtewisselaars voor warmterecuperatie. De omkeerbare reactie tussen een waterige mono-ethanol amine (MEA) oplossing en gasvormig CO₂ is gebruikt als modelreactie.



Figuur 4 Vahterus module (links) en de test installatie bij Suster BV (rechts)

Hoewel het effect van interne koeling op de absorptiesnelheid in het huidige werk duidelijk is aangetoond, is het concept voor gekoelde absorptie niet bewezen. De reden hiervoor is dat de CO_2 -absorptie werd beperkt door de reactiekinetiek. Om een positief effect van interne koeling op de CO_2 -absorptie in MEA aan te tonen, moeten de evenwichtsomstandigheden worden benaderd. Dit kan bijvoorbeeld door de CO_2 concentratie in de voeding te verlagen. Daarnaast werden tijdens testen met circulatie van de koelmedia de hydrodynamische prestaties van de module beïnvloed door beweging van de platen, dat veroorzaakt werd door het drukverschil tussen het proces- en de koelmediazijde. Hierdoor konden de adiabatische en gekoelde absorptie testen niet worden vergeleken. Aanpassing van het module ontwerp is nodig om dit effect te voorkomen. De drukval gemeten in de S&P module was 3-17 keer hoger dan in een conventionele absorptiekolom. Maatregelen om de drukval te verminderen zonder afbreuk te doen aan de massa- en warmteoverdrachtprestaties moeten in het vervolgontwerp worden overwogen.

WP4: Modellerings

Doel

- Gevalideerde modellen voor het ontwerp van pilot- en full-scale absorbers.

Resultaten

- Rapport over de simulatiemogelijkheden van het ontwerpmodel

Resultaatbeschrijving

Het doel van dit werkpakket was het ontwikkelen van een wiskundig model dat in staat is de gekoelde absorptie van kooldioxide in mono-ethanolamine (MEA) te simuleren, in een Plate&Shell warmtewisselaar.

Twee wiskundige modellen zijn ontwikkeld om de absorptie van kooldioxide door MEA te modelleren in een conventionele absorptiekolom, namelijk het Equilibrium Stage-model en het Rate Based-model. Na vergelijking is het Rate Based-model

geselecteerd als basismodel voor de Plate & Shell warmtewisselaar, vanwege z'n nauwkeurigheid en flexibiliteit.

Voor de Plate&Shell warmtewisselaar model zijn er wijzigingen aangebracht met betrekking tot het module ontwerp, de warmteoverdracht en de stofoverdrachtscoëfficiënt. Voor het bepalen van de warmte-en stofoverdrachtscoëfficiënten zijn slechts drie meetpunten uit de CO₂ absorptietesten met de Vahterus module gebruikt. Voor nauwkeurigere correlaties en minder afwijking met de testresultaten, zijn meer testgegevens vereist. Het model kan worden gebruikt om het effect van gekoelde absorptie op de CO₂-belading van verschillende amine-oplossingen in te schatten, maar er zijn meer en reproduceerbare meetpunten nodig voor een betere model-ontwikkeling.

Met het gekoelde absorptie model is het effect van de inlaattemperatuur op de totale absorptie van kooldioxide door MEA gesimuleerd. Net als in de experimenten in WP3 is aangetoond, blijkt dat de maximale absorptiecapaciteit wordt bereikt bij 70°C en dat koeling van MEA tot kamertemperatuur zorgt voor een lagere absorptiecapaciteit. De warmtewisselaar kan echter worden gebruikt om de temperatuur in een optimale zone te houden om de absorptie te maximaliseren.

Ten slotte is het model aangepast om de gekoelde absorptie van kooldioxide in MDEA te simuleren en de resultaten te vergelijken met die van MEA. Door de langzame kinetiek is voor een gelijkblijvende CO₂ concentratie aan de uitlaat een grotere kolom nodig met gekoelde absorptie. De absorptiecapaciteit neemt dan toe, wat weer resulteert in minder recirculatie en besparingen in de reboiler.

WP5: Absorber test in pilot systeem

Doel

- Validatie van gekoelde absorber in de pilotinstallatie van Huntsman.

Resultaatbeschrijving

Huntsman is uit het project gestapt en daarom zijn er, in overleg met RVO, geen tests uitgevoerd met de S&P module in de pilotinstallatie van Huntsman. In plaats daarvan is meer tijd besteed aan de metingen in WP4.

WP6: Referentie Cases & Economische analyse

Doel

- Geëvalueerde business cases voor de toepassing van het nieuwe absorptieproces bij Huntsman en voor CO₂ absorptie, inclusief retrofit opties;
- Case studie voor de toepassing van HiDiC voor alkane/olefinscheiding;
- Een marktevaluatie voor de absorptiesystemen en update van de marktevaluatie voor de HiDiC-technologie.

Resultaten

- Tussentijds rapport over de resultaten van WP6
- Rapport over de economische haalbaarheid van de nieuwe amine absorber

Resultaatbeschrijving

In dit werkpakket zijn verschillende technologieën voor het afvangen van CO₂ uit rookgas vergeleken met de aminetechnologieën voor CO₂ afvang. Technologieën die

zijn geëvalueerd zijn membraan, cryogene en adsorptietechnologieën. Van de amine absorptietechnologieën lijkt in eerste instantie MEA het meest geschikt voor het afvangen van CO₂ uit de rookgassen, vanwege de hoge CO₂ zuiverheid, de Carbon capture rate en de lage energiekosten. Echter de modelleringsresultaten laten zien dat de toepassing van gekoelde kooldioxide absorptie met MEA beperkt is. Voor een bredere toepassing van gekoelde absorptie zijn systemen met een langzame absorptiekinetiek, zoals MDEA, interessanter. Ook de huidige toepassing van MEA is beperkt vanwege het feit dat:

1. regeneratie van de MEA moeilijk is en daarom energie-intensief;
2. MEA heeft een hoge volatiliteit, dus een kleine hoeveelheid MEA zal eindigen in het rookgas en nieuwe MEA moet regelmatig worden toegevoegd aan de "gesloten" amine systeem; en
3. MEA is zeer corrosief, wat een impact heeft op de onderhoudskosten.

Voorlopige berekeningen voor een gekoelde absorber voor de absorptie van kooldioxide in een staalfabriek geven aan dat als gevolg van een verhoogde CO₂ absorptiecapaciteit, 15% minder recirculatie en 7% besparing in de reboiler duty mogelijk zijn. De totale besparing in OPEX is 2,84 M€/jr en de terugverdientijd van de investering is 7 jaar. Voor biogasbehandeling in een installatie van 500 Nm³/h (~ 5 MW) bedraagt de totale besparing in OPEX 8736 €/jr. Naast deze twee toepassingen zijn er voor de S&P-module nog vijftien applicaties met eindgebruikers geïdentificeerd.

WP7: Project Coördinatie en Disseminatie

Doel

- Dagelijks projectvoortgangsbewaking, rapportage en controle van project financiën
- Disseminatie van de projectresultaten

Resultaten

- Workshop bij ISPT voor beoogde industriële en academische belanghebbenden
- Eindrapport; vertrouwelijk en openbaar
- Projectpagina E-CHAMP
- Presentaties en publicaties

Resultaatbeschrijving

Het E-CHAMP project werd gecoördineerd door TNO. Regelmatig terugkerende projectvoortgangvergaderingen zijn georganiseerd om de voortgang te monitoren, resultaten te bespreken en vervolgstappen te definiëren. Additionele vergaderingen zijn georganiseerd rond WP3, eerst met Procedé en later met Suster BV voor de amine absorber testen.

Aan het einde van het project is een workshop georganiseerd bij ISPT, waar 20 industriële en academische stakeholders aanwezig waren. Een E-CHAMP projectpagina is gemaakt op de TNO website¹.

¹ <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/naar-een-co2-neutrale-industrie/efficient-gebruik-van-energie-en-grondstoffen-in-de-industrie/e-champ-energy-efficient-combined-heat-and-mass-process/>

5 Knelpunten en perspectief op toepassing

5.1 Knelpunten

Hieronder volgt een korte lijst met knelpunten, die zich hebben voorgedaan in het project. Het moet benadrukt worden dat ondanks deze knelpunten de belangrijkste doelstellingen in het project zijn behaald.

1. De geplande installatie voor het uitvoeren van absorbertesten bij TNO kon niet binnen het geplande budget worden gebouwd. De testen zijn uiteindelijk uitbesteed aan en met grote vertraging uitgevoerd door subcontractant Suster BV. Het modelleringswerk door Technip en de technische economische evaluatie zijn na de einddatum van het project door de partners afgerond om de haalbaarheid van de gekoelde absorber voor CO₂ absorptie te bepalen.
2. Op 1 januari 2019 verliet Huntsman het project vanwege een strategie-wijziging. Met het consortium zijn verschillende nieuwe potentiële toepassingen geïdentificeerd. Een van de toepassingen is biogas-behandeling, waarbij voorlopige berekeningen kostenvoordelen laten zien.

5.2 Vervolgprojecten

Er wordt dit moment bekeken of de testinstallatie bij Suster BV gebruikt kan worden in nieuwe projecten. De testinstallatie is een unieke infrastructuur voor CO₂ absorptietesten in Nederland.

Vahterus en Wijbenga willen de technologie, productie en demonstratie van de S&P module verder ontwikkelen voor in nieuwe gekoelde absorptietoepassingen. Het consortium is actief op zoek naar een industriële partner om de technologie op pilotschaal te demonstreren.

6 Bijdrage aan de doelstelling van de regeling

Het Innovatieprogramma Energie en Industrie richt zich op de verduurzaming van de industriële energiehuishouding en bestaat uit drie programmalijnen. De meest relevante programmalijnen voor het E-CHAMP project zijn:

- Programmalijn 1b: Efficiënte procestechnologie: Het doel is het samen onderzoeken en ontwikkelen (O&O) van nieuwe kosteneffectieve apparaten, processen en diensten inclusief ontwerptools en ontwerp strategieën, voor eindgebruikers in de procesindustrie, die het energieverbruik ten opzichte van de oorspronkelijke technologie met 50% verlagen en toepassing voor 2030 mogelijk maken, en waarbij de impact van de industrie op de ruimtelijke kwaliteit en leefbaarheid gelijk blijft of wordt verkleind.
- Programmalijn 2: Elektrificatie van processen: Het doel is het samen onderzoeken en ontwikkelen (O&O) van nieuwe kosteneffectieve apparaten, processen en diensten inclusief ontwerptools en ontwerp strategieën, voor eindgebruikers in de procesindustrie, die het aandeel hernieuwbare energie in de industrie via elektrificatie kosteneffectief maximaliseren en de maatschappelijke kosten voor opslag en infrastructuur van hernieuwbare elektriciteit verlagen, waarbij de impact van de industrie op de ruimtelijke kwaliteit en leefbaarheid gelijk blijft of wordt verkleind.

Het E-CHAMP project heeft een concrete bijdrage geleverd aan de hierboven beschreven doelstellingen. Er is veel kennis en kunde ontwikkeld betreffende het opzetten van een gekoelde absorber module en testfaciliteit en het bedienen van zo'n systeem voor CO₂ absorptie. Daarnaast is er een model ontwikkeld voor het ontwerp van grootschalige gekoelde absorbers en zijn er ontwerpregels opgesteld.

Hiermee is de kennispositie voor Nederland op dit gebied sterk uitgebreid, hetgeen een goed uitgangspunt verschaft om de supply chain voor eindgebruikers en technologieleveranciers nog beter vorm te geven in de nabije toekomst.

De te bereiken energiebesparing in de Nederlandse industrie is aanzienlijk: in 2030 kan toepassing van dergelijke gestructureerde systemen voor destillatie en absorptie leiden tot een CO₂ emissiereductie van 160 kt/jaar en 2,3 PJ/jaar aan energiebesparing.

Warmte-geïntegreerde destillatie (HIDiC) is een zeer efficiënt destillatieproces dat elektriciteit gebruikt in plaats van warmte om de scheiding te realiseren door in de kolom warmte over te dragen. Behalve vereenvoudiging van de warmte-integratie en een reductie van het energiegebruik, past deze technologie ook in de "elektrificatie van de chemie" waarbij (duurzame) elektriciteit de inzet van brandstoffen vervangt. De gestructureerde absorber is een belangrijke opstap voor deze destillatie-toepassing.

De ontwikkeling van vloeistofverdelers en opgedane kennis over 2-fase flow toepassingen bieden de technologieleveranciers Wijbenga en Vahterus nieuwe mogelijkheden binnen zowel de koeltechnologie markt met absorptiesystemen en warmtepomptoepassingen als de milieumarkt met gaswassers.

7 Disseminatie

Gedurende de duur van het project zijn de verkregen resultaten en ervaringen gedeeld op verschillende gelegenheden:

- Op 7 februari 2020 is een workshop georganiseerd bij ISPT, waar 20 industriële en academische stakeholders aanwezig waren.
- Drie abstracts zijn ingediend voor een presentatie op het 14e Mediterranean Congres Chemical Engineering in juni 2020, het 24e International Congress of Chemical and Process Engineering in augustus 2020 en het 26e International Symposium on Chemical Reaction Engineering in december 2020.
- Een E-CHAMP projectpagina is gemaakt op de TNO website¹.
- Een interview met Suster BV wordt binnenkort gepubliceerd in TNO Insights.

8 Handtekening

Petten, 27-5-2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M.H.F. Overwijk', with a horizontal line underneath.

M.H.F. Overwijk
Research Manager

TNO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Y.C. van Delft', with a horizontal line underneath.

Y.C. van Delft
Project manager (auteur)