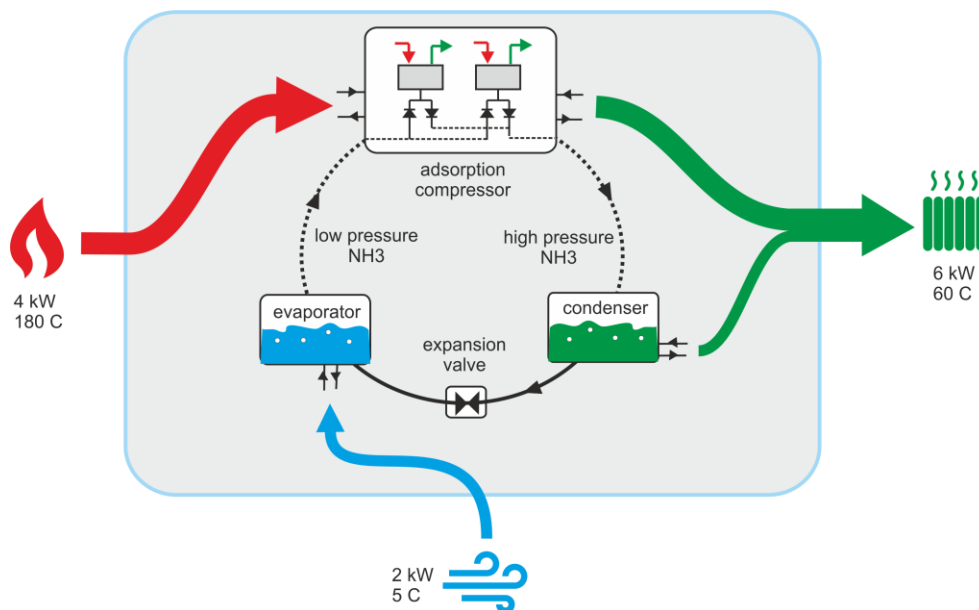


Onderzoek naar het hart van een warmtepompcyclus voor energiezuinige verwarming en koeling:

Levensduur van de adsorptiecompressor en betrouwbaarheid van product en productieproces

Openbaar eindrapport

TKI project, nr. TEUE117086



BDR THERMEA GROUP



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

Inhoudsopgave

1	GEGEVENS PROJECT	3
2	ACHTERGROND EN PROJECT DOELSTELLING.....	4
	2.1.1 <i>De uitdaging: energiezuinige verwarming van bestaande woningen</i>	4
	2.1.2 <i>De Cooll carbon-ammonia adsorptiewarmtepomp.....</i>	5
	2.1.3 <i>Project doelstelling.....</i>	7
3	SAMENVATTING VAN BEHAALDE RESULTATEN, KNELPUNTEN EN PERSPECTIEF VOOR TOEPASSING	8
4	BIJDRAGE AAN DE DOELSTELLINGEN VAN DE REGELING	9
5	SPIN-OFF.....	9
6	PUBLICATIES	9

1 Gegevens project

Projectnummer: TEUE117086
Projecttitel: Onderzoek naar het hart van een warmtepompcyclus voor energiezuinige verwarming en koeling: Levensduur van de adsorptiecompressor en betrouwbaarheid van product en productieproces
Penvoerder: Cooll Sustainable Energy Solutions B.V.
Hengelosestraat 298A
7521 AM Enschede
tel: 053-7890623
Contactpersoon: Johannes Burger, johannes.burger@cooll.eu
Mede-aanvragers: Reith Laser B.V., Bijsterhuizen 2429, 6604 LK Wijchen
BDR Thermana, Kanaal Zuid 106, 7332 BD Apeldoorn
Projectperiode: 1-10-2017 t/m 30-6-2020
Datum van publicatie: 31-12-2020

2 Achtergrond en project doelstelling

2.1.1 De uitdaging: energiezuinige verwarming van bestaande woningen

Ruimteverwarming. Voor het bereiken van de klimaatdoelstellingen¹ zijn in Nederland grote stappen nodig, met verschillende oplossingen die elkaar aanvullen. Een grote uitdaging is de verwarming van bestaande woningen, die verantwoordelijk is voor ruim 10% van de Nederlandse CO₂ uitstoot. Om dit aan te pakken is het de wens en de verwachting dat de komende jaren in Nederland enkele miljoenen woningen worden gerenoveerd. Bij deze woningen zal, net als bij nieuwbouwwoningen, de warmtevraag relatief laag zijn en kan daarom worden volstaan met een lage temperatuur afgiftesysteem, geschikt voor bijvoorbeeld elektrische warmtepompen. Dit geldt echter voor een minderheid van alle woningen: naar schatting zijn in 2030 in Nederland nog circa 5 miljoen woningen afhankelijk van een hoge temperatuur verwarmingsinstallatie, en dit is voor een groot deel van deze woningen ook in de verdere toekomst niet eenvoudig aan te passen. Het is van groot belang dat ook voor deze woningen betaalbare, makkelijk inpasbare, en vooral ook duurzamere producten op de markt komen, ter vervanging van HR-ketels.

In Nederland worden per jaar circa 400.000 CV-ketels vervangen door een nieuwe HR-ketel². Deze vervangingsmarkt zal naar verwachting de komende jaren geleidelijk dalen tot circa 300.000 ketels in 2030. Het moment van vervanging van de CV-ketel is het natuurlijke moment om te kiezen voor een betere oplossing, zoals de onderliggende oplossing die Cooll ontwikkelt.

Ook in andere landen in Europa is de warmtevoorziening in bestaande woningen een belangrijke uitdaging. Duitsland kent op dit moment qua omvang een vergelijkbare CV-ketel vervangingsmarkt, en kent daarnaast een groot marktpotentieel omdat de overstap van olie naar gas een onderdeel is van de Duitse klimaatplannen. Zie bijv. Figuur 1³ voor de Duitse verwarmingsmarkt in 2050.



Figuur 1. Prognose Duitse energiedragers 2050.

In België is een vergelijkbare tendens waarneembaar. Op Europese schaal kent de vervangingsmarkt een grootte van ca. 10 miljoen verwarmingstoestellen per jaar. De markt van HR-ketels groeit nog steeds omdat er nog veel VR-ketels vervangen worden. Ook landen als China, Japan, Zuid Korea, Turkije, Oost Europa en Noord Amerika zijn groeimarkten.

Alternatieven voor huiseigenaren. Zonder ingrijpende renovatie (waarbij totaal-isolatie en vloerverwarming wordt aangelegd) zijn voor veel woningen geen betaalbare en makkelijk inpasbare verduurzamings-oplossingen voor hoge temperatuur verwarmingssystemen beschikbaar, ter vervanging van CV-ketels. Dit geldt voor particulieren, en zeker ook voor woningcorporaties en vastgoedbeheerders. Wellicht komt een hybride warmtepomp in aanmerking, die deels op gas en deels op elektriciteit werkt. Een hybride warmtepomp bevat echter een buiten-unit, die in bestaande situaties vaak niet eenvoudig in te passen is, en die geluidsoverlast kan veroorzaken⁴. Een hybride

¹ De doelstelling voor de gebouwde omgeving betreft een CO₂-reductie van 3,4 Mton CO₂ in 2030.

² In 2018 zijn in Nederland 428.400 nieuwe HR-ketels geplaatst.

³ <https://zukunft.erdgas.info/themen-ziele/wege-zur-dekarbonisierung>

⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2019/05/21/strengere-geluidseisen-voor-buitengeplaatste-warmtepompen-en-airco%E2%80%99s>

warmtepomp geeft bovendien een extra belasting op het elektriciteitsnet. Het product dat Cooll ontwikkelt is naar verwachting energiezuiniger en geeft geen extra belasting op het elektriciteitsnet. Het Cooll concept is ook relatief eenvoudig in woningen in te passen omdat geen buiten-unit nodig is, en er geen geluidsoverlast is doordat er geen mechanische compressor aanwezig is.

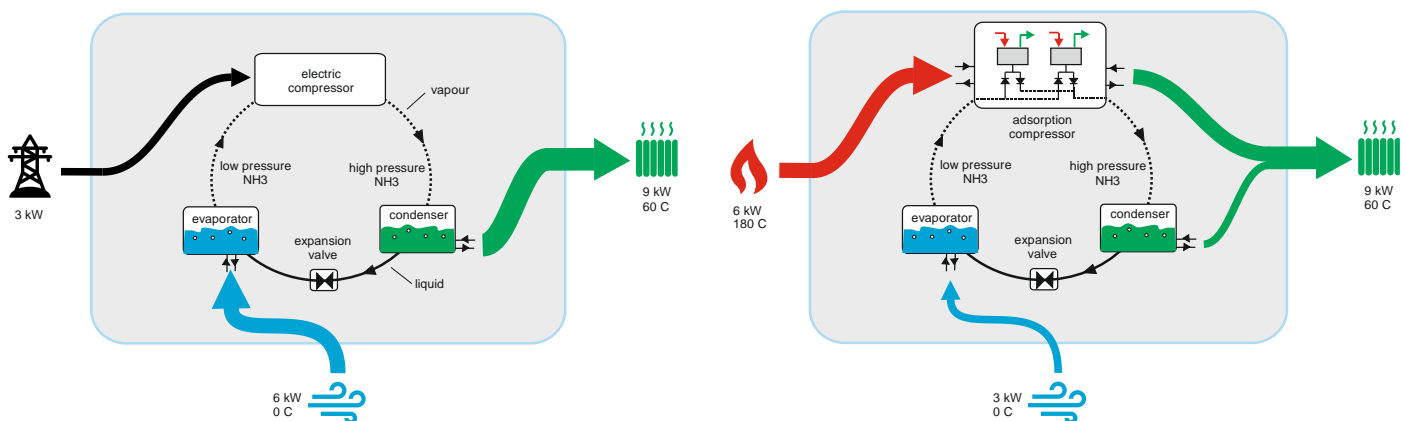
Groen gas in de toekomst. Een woning met de Cooll technologie is ook direct voorzien van een oplossing die klaar is voor de toekomst. Zowel biogas als groene waterstof (na een beperkte aanpassing aan het product) kunnen worden ingezet, waarmee de woning bij gecentraliseerde of lokale duurzame opwekking zelfs klimaatneutraal wordt. In deze situatie geldt dat de energiebesparende technologie zorgt voor een efficiënter gebruik van schaarse duurzame brandstoffen, en daarmee een lagere belasting vraagt van de betreffende infrastructuur. Ook wordt geen extra belasting op de elektrische infrastructuur gelegd.

Energiedragers. Binnen Europa wordt gekozen voor verschillende energiedragers als oplossing voor de verduurzaming van de energievoorziening. Naast (groene) elektriciteit wordt in een totaalmix ook ingezet op aardgas, biogas en groene waterstof. Een belangrijk argument hierbij is dat een eenzijdige focus op elektriciteit op korte termijn onhaalbare eisen stelt aan opwekking en infrastructuur. De Europese Commissie gaat ervan uit dat in 2050 30-40% van de verwarming verzorgd wordt via (groen) gas.

Urgentie. De technologie van Cooll kan een belangrijke rol spelen in deze transitie, indien deze binnen afzienbare tijd in grote aantallen beschikbaar komt. Dan kan er namelijk, tegen beperkte investeringen, een grote reductie in CO₂ uitstoot voor de bestaande bouw worden behaald. Om een significante bijdrage te kunnen leveren aan de klimaatdoelstellingen van 2030 is het van belang dat de ontwikkeling versneld wordt. Door middel van dit project kan daarin een belangrijke stap worden gezet. Voor het consortium is het van belang om vaart in de ontwikkeling te houden, om een goed deel van de beschikbare markt te kunnen bedienen, en een bijdrage te leveren aan de verduurzaming.

2.1.2 De Cooll carbon-ammonia adsorptiewarmtepomp

De cyclus. Een adsorptiewarmtepomp bevat een vergelijkbare continue cyclus als een elektrische warmtepomp. Compressie van het koudemiddel vindt nu echter plaats met een door warmte aangedreven adsorptiecompressor in plaats van een elektrisch-mechanische compressor, zie Figuur 2. De benodigde warmte is hierbij afkomstig uit een (bio)brandstofgestookte heater.



Figuur 2. Vergelijking tussen een warmtepompcyclus met elektrische (links) en adsorptie-compressor (rechts).

Een adsorptiecompressor bestaat uit twee losse adsorptiecompressor vaatjes gevuld met actieve kool (door ons adsorptiecompressor arrays genoemd) die cyclisch worden verwarmd en afgekoeld. Een complete cyclus duurt ongeveer 10 minuten. Tijdens verwarming van zo'n vaatje (tot ongeveer 180 °C) wordt het koudemiddel uit het adsorptiemateriaal geperst en via een passief ventiel naar de hogedruk zijde van de warmtepomp geleid. Het koudemiddel condenseert in de condensor en geeft zijn warmte op bijv. 60 °C af aan de verwarming waarna de druk wordt verlaagd door het expansie ventiel. Het koudemiddel verdampt weer in de verdamper bij de lage buitentemperatuur (bijv. 0 °C) en neemt daar warmte op uit de koude omgeving. Daarna stroomt het koudemiddel via een passieve

klep naar het andere vaatje dat op de begintemperatuur staat (bijv. 60 °C) waarbij het koudemiddel weer aan het adsorptiemateriaal wordt geadsorbeerd. Na enkele minuten draait de functie van de twee vaatjes om, en zo wordt een continu-proces mogelijk.

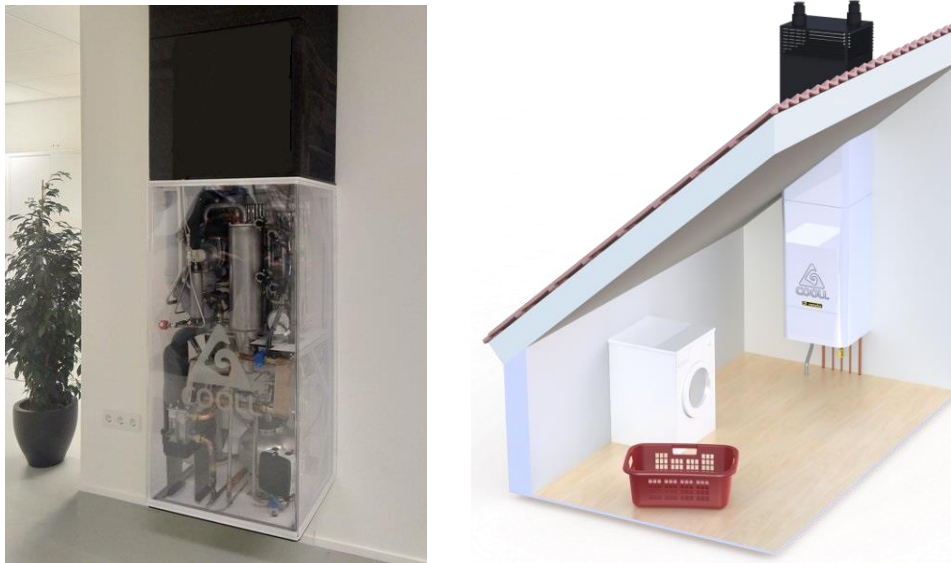
De innovatie. Deze adsorptiewarmtepomp basis-cyclus is reeds lang bekend in de literatuur, maar het rendement van deze cyclus was tot nu toe te laag voor een economisch rendabel systeem. Het team achter Cooll heeft ontdekt dat het rendement sterk verbeterd kan worden door hergebruik van een gedeelte van de warmte die wordt gebruikt om de vaatjes op te warmen. Het rendement van de basis-cyclus verdubbelt zo door gebruik te maken van Cooll's innovatieve 'thermal wave heat regeneration', waar het compressorontwerp van Cooll op is afgestemd en geoptimaliseerd met hulp van nog enkele innovaties. De combinatie van deze uitvindingen was destijds aanleiding om Cooll op te richten; de technologie is intussen door meerdere patenten beschermd. De haalbaarheid van het concept is in de afgelopen jaren aangetoond met een aantal proof of principle warmtepompen.

Generieke oplossing. Deze thermisch aangedreven warmtepomptechnologie is een generieke conversietechnologie waarmee het energieverbruik en de CO₂-uitstoot voor verwarming met een factor anderhalf tot twee kan worden gereduceerd door het (thermodynamisch) slimmer benutten van de verbrandingswarmte uit fossiele of hernieuwbare brandstoffen. Dit in vergelijking met de huidige situatie waarin de verbrandingswarmte van brandstoffen in ketels rechtstreeks wordt gebruikt voor verwarming.

Gaswarmtepomp als opvolger van de HR-ketel. Cooll werkt aan een eerste toepassing als gaswarmtepomp. Door een aantal unieke eigenschappen is dit een potentiële opvolger voor de HR ketel in de bestaande bouw:

1. Het systeem is relatief compact en licht, en is daardoor geschikt voor binnenplaatsing; de afmetingen zijn vergelijkbaar met die van een grote HR ketel. Een losse buitenunit is hierbij niet nodig.
2. Via een dak- of geveldoorvoer kan de warmtepomp buitenlucht als warmtebron gebruiken; er is dus geen bodembron nodig.
3. De energiebeparing van de warmtepomp blijft relatief gunstig als hij wordt aangesloten op traditionele hoge temperatuur (HT) radiatoren.
4. Het geluidsniveau is laag (vergelijkbaar met de HR-ketel) omdat er geen mechanische compressor wordt toegepast.
5. De technologie is relatief eenvoudig, waardoor naar verwachting een lage kostprijs en acceptabele terugverdientijd mogelijk is. Hiermee komt een grote markt en bijbehorende verduurzaming binnen bereik.

Per jaar kan ruim 30% gas (en CO₂ uitstoot) worden bespaard in een gemiddelde woning met normale radiatoren, en ongeveer 40% in een woning met lage temperatuur (LT) verwarming. Deze besparing is aangetoond met de 'Works like real' proof-of-principle gasgestookte warmtepomp in het lab van Cooll, inclusief dakdoorvoer waarmee warmte uit de buitenlucht wordt onttrokken.



Figuur 3. (links) Functioneel Model warmtepomp die het pand van Cooll verwarmt; (rechts) Tekening van de gaswarmtepomp voor binnenplaatsing, inclusief dakdoorvoer, op de plaats van de oude CV-ketel.

2.1.3 Project doelstelling

De hoofddoelen van dit project zijn:

1. Het onderzoeken, verbeteren en vervolgens aantonen van de betrouwbaarheid van de adsorptiecompressor array technologie;
2. Ontwikkeling en onderzoek aan een aantal belangrijke processtappen;
3. Ontwikkelen, bouwen en testen van een zeer kleinschalige pilot productiefaciliteit, waarmee eerste adsorptiecompressor arrays ten behoeve van R&D toepassingen kunnen worden gebouwd en getest en waarmee de betrouwbaarheid van de processtappen kan worden onderzocht.

3 Samenvatting van behaalde resultaten, knelpunten en perspectief voor toepassing

Dit project bouwt voort op een eerder TKI project, waarin Cooll's eerste full-size adsorptiecompressor array is ontwikkeld en getest. In dat project bleek dat deze arrays functioneel prima werkten, maar dat ze helaas een korte levensduur hadden van ongeveer 1000 thermische cycli, goed voor ongeveer een week warmtepomp-gebruik. Dit werd veroorzaakt door te hoge cyclisch optredende thermische spanningen, die optreden door het afwisselend (snell!) opwarmen en afkoelen van de arrays. In het vorige project is vervolgens op een systematische manier gewerkt aan een analyse van de problemen, en van daaruit aan het herontwerp van de compressor array, inclusief het bijbehorende productieproces.

In dit TKI project is het productieproces voor de nieuwe array verder ontwikkeld, inclusief belangrijke tooling om een kleine serie arrays van ongeveer 20 stuks te kunnen maken ten behoeve van eerste prototype warmtepompen en reliability tests. Hiermee zijn belangrijke verbeteringen aangetoond in het ontwerp van de huidige array. Tests in de accelerated life test (ALT) setup hebben laten zien dat de arrays na ruim 30.000 (extra zware) thermische- en drukcycli eerste lekkages gaat vertonen door vermoeiing van de buis-plaat verbindingen. Dit komt overeen met ongeveer 3 stookseizoenen gebruik van de warmtepomp. Enerzijds is dit een grote verbetering ten opzichte van de vorige arrays, anderzijds toont dit aan dat voor een commercieel eindproduct een verdere verbetering van het ontwerp van de array nodig is, met name bij de buis-plaat verbindingen in de header constructie.

De arrays die in dit project zijn gefabriceerd blijken zeer geschikt voor het ontwikkelen en testen van functionele modellen van Cooll's warmtepomp technologie. Voor een commercieel eindproduct is verdere ontwikkeling en optimalisatie nodig. Binnen dit project is hiermee een belangrijke start gemaakt, en na afloop van het project is een array ontwerp beschikbaar gekomen waarin de mechanische spanningen in de buis-plaat verbindingen als gevolg van het thermisch cyclen met een factor 2-3 zijn verlaagd, waardoor een 15-jaars levensduur met een ruime marge haalbaar wordt.

Binnen het project is erg veel expertise opgebouwd rondom Reliability Engineering. Cooll is hierdoor beter in staat om te beoordelen waar we staan in termen van betrouwbaarheid en wat er nodig is om tot een bepaald niveau te komen. Ook het niveau van de rekenmethodieken en interpretatie van zowel experiment als simulatie zijn enorm verbeterd. Verder zijn de "lessons learned" rondom de productie van de vorige array verwerkt, waardoor de prototypes van de nieuwe array efficiënter en reproduceerbaarder gemaakt kunnen worden. Belangrijke verbeteringen zijn gerealiseerd bij het vullen van de buizen en de assemblage- en verbindingprocessen van de array. Voor de headers is een nieuwe productiemethode ontwikkeld, een zeer belangrijke stap, waardoor er in de toekomst een significante kostenreductie kan worden gerealiseerd. De verbindingprocessen lijken ook geschikt om op te schalen tot het gewenste niveau. Belangrijk aspect hierin is de kwaliteitsbewaking.

Het productieproces voor de innovatieve en "enabling" actieve kool is bij Cooll opgezet, en de benodigde procesontwikkeling is uitgevoerd. Cooll is nu in staat om in-house de zeer hoogwaardige actieve kool te produceren voor onze prototype warmtepompen. In het project is tevens onderzoek gedaan aan de opschaling van het proces.

4 Bijdrage aan de doelstellingen van de regeling

De adsorptiewarmtepomp technologie van Cooll voldoet aan de belangrijkste doelstelling van de programmaliijn: de warmtepomp maakt het mogelijk om de Primaire Energie uit fossiele of groene brandstoffen met een Primary Energy Ratio (PER) van ongeveer 1.5 toe te passen, met een eenvoudig inpasbaar systeem dat prima functioneert met hoge temperatuur verwarmingssystemen in bestaande woningen. Dit is een zeer concurrerend rendement, en de technologie kan daarmee een belangrijke bijdrage leveren aan een duurzame energiehuishouding, in Nederland en daarbuiten.

Bij toepassing van Lage Temperatuur verwarming en/of een grondbron en/of in combinatie met zonnecollectoren en een buffervat kunnen hogere rendementen worden gehaald.

Ook ten opzichte van op de markt beschikbare moderne elektrische warmtepompen zijn dit vanuit Primaire Energie en CO2 besparing gezien concurrerende besparingsgetallen.

Meerdere parallelle technologieën zijn nodig om de klimaatdoelen van 2050 te kunnen halen. Door de introductie van hoog-efficiënte gaswarmtepompen kan een (geheel of gedeeltelijk) vergroend gasnet een groter deel van de markt bedienen. Een efficiënte groen-gas route kan hiermee een complementaire bijdrage leveren aan all-electric oplossingen.

5 Spin-off

Spin-offs binnen de Urban Energy sector zijn de eerder genoemde adsorptiewarmtepompen aangedreven door vaste of vloeibare (bio)brandstoffen voor toepassing als woningverwarming, en zon-aangedreven koeling. Buiten de Urban Energy sector kan gedacht worden aan actieve (proces)koeling op restwarmte, ook in de automotive en transportsector.

6 Publicaties

Wetenschappelijke publicaties over het project zullen volgen na commerciële marktintroductie van de technologie, naar verwachting over enkele jaren. Wel zijn er een reeks aan openbare octrooi publicaties beschikbaar.

Cooll is het afgelopen jaar meer naar buiten getreden met de USP's van de technologie. Een voorbeeld is de deelname dit afgelopen voorjaar aan de Warmtewissel competitie, een wedstrijd uitgeschreven door een groep Brabantse woningcorporaties voor betaalbare verduurzamingsopties van bestaande corporatiewoningen (zie: warmtewissel.nl). Cooll was één van de drie winnaars, uit ruim 50 inzendingen.

In vakbladen en landelijke bladen wordt af en toe aandacht aan Cooll besteed. Voorbeelden hiervan zijn:

- Cobouw: Adsorptiewarmtepomp is de overtreffende trap van de HR-ketel, 5-4-2019.
- Vakblad Warmtepompen: 1,5 miljoen euro voor ontwikkeling adsorptiewarmtepomp bestaande woningen, 12-4-2019.
- Het Groene Oosten: Item over innovatieve startups in TV-uitzending, 26-11-2019.
- Cobouw: Van het gas af? Hier komt de zuinige gasgestookte warmtepomp, 24-9-2020.