

Prototype gasgestookte adsorptiewarmtepomp voor zuinige woningverwarming in de bestaande bouw

Openbaar eindrapport

TKI project, nr. TEUE116244



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>	<i>4</i>
2.1.2	<i>De Cooll carbon-ammonia adsorptiewarmtepomp.....</i>	<i>5</i>
2.1.3	<i>Project doelstelling.....</i>	<i>6</i>
3	SAMENVATTING VAN BEHAALDE RESULTATEN, KNELPUNTEN EN PERSPECTIEF VOOR TOEPASSING	7
3.1	SAMENVATTING VAN BEHAALDE RESULTATEN.....	7
3.2	PRAKTIJK TESTS VAN FM2 IN EEN CORPORATIEWONING	9
3.3	ONAFHANKELIJKE TESTS VAN FM2 BIJ HET FRAUNHOFER INSTITUUT	10
3.4	PERSPECTIEF VOOR TOEPASSING.....	10
4	BIJDRAGE AAN DE DOELSTELLINGEN VAN DE REGELING	12
5	SPIN-OFF.....	12
6	PUBLICATIES.....	12

1 Gegevens project

Projectnummer: TEUE116244
Projecttitel: Prototype gasgestookte adsorptiewarmtepomp voor zuinige
woningverwarming in de bestaande bouw
Penvoerder: Cooll Sustainable Energy Solutions B.V.
Hengelosestraat 298A
7521 AM Enschede
tel: 053-7890623
Contactpersoon: Johannes Burger, johannes.burger@cooll.eu
Mede-aanvragers: BDR Thermea, Kanaal Zuid 106, 7332 BD Apeldoorn
Muelink & Grol, Duinkerkenstraat 27, 9723 BP Groningen
Projectperiode: 1-11-2016 t/m 30-6-2021
Datum van publicatie: 15-11-2021

2 Achtergrond en project doelstelling

2.1.1 De uitdaging: energiezuinige verwarming van bestaande woningen

Ruimteverwarming. Met ruim 40 GJ maakt ruimteverwarming het grootste deel uit van het huishoudelijk energieverbruik in Nederland. De grootste besparingen op ruimteverwarming zijn te halen in bestaande woningen. Deze hebben immers gemiddeld een veel grotere warmtevraag dan nieuwbouw en vormen bovendien de komende tientallen jaren nog steeds het overgrote deel van de woningvoorraad. Op dit moment vormt de vervangingsmarkt 90% van de totale Nederlandse markt van 460.000 CV-ketels per jaar.

Nieuwbouw. In de nieuwbouw (en bij grondige renovatie in de bestaande bouw) wordt een lage warmtevraag in de eerste plaats bereikt door goede isolatie van de woningen. Die lage warmtevraag maakt het vervolgens mogelijk om lage temperatuur vloerverwarming toe te passen. En dat maakt het weer mogelijk om bijvoorbeeld elektrische warmtepompen te gebruiken, die onder die omstandigheden de toch al vrij geringe warmtevraag met een relatief lage CO₂ uitstoot kunnen opwekken.

Bestaande bouw. Toepassing van volledig elektrische warmtepompen in bestaande woningen vragen grote aanpassingen voor: 1) isolatie van de woning (altijd goed!); 2) ontsluiting van de warmtebron (meestal een bodembron) en 3) het CV-afgiftesysteem om de afgifte bij een lage temperatuur (vloerverwarming) mogelijk te maken. Elektrische warmtepompen functioneren om fundamentele redenen namelijk slecht bij een hoge temperatuurlift (= temperatuursverschil van buitentemperatuur naar CV-temperatuur). Zonder deze kostbare aanpassingen zijn elektrische warmtepompen in bestaande woningen daarom vaak geen CO₂ besparend alternatief voor de HR ketel. In de discussie over het loskoppelen van bestaande woningen van het gasnet wordt vaak aan deze feiten voorbijgegaan. Bovendien vraagt grootschalige toepassing van volledig elektrische warmtepompen in bestaande woningen om grote aanpassingen in het bestaande elektriciteitsnet vanwege het benodigde extra elektrische vermogen. Dit betekent dat er feitelijk voor de grootste groep woningen in Nederland geen serieus CO₂ besparend alternatief is voor de HR ketel, afgezien dan van 1) relatief dure micro-WKK oplossingen; 2) hybride warmtepompen die maar beperkt CO₂ besparen; 3) situaties waarin warmtenetten vanuit duurzame bronnen beschikbaar zijn.

Sorptiewarmtepompen. Sorptiewarmtepompen zijn beter geschikt voor toepassing in bestaande woningen doordat deze minder prestatieverlies lijden bij hogere afgiftetemperaturen (nodig bij bestaande radiatoren) en lagere brontemperaturen (bij gebruik van buitenlucht, in de bestaande bouw een gemakkelijker toe te passen warmtebron dan de bodem). Op de markt beschikbare ab- en adsorptiewarmtepompen zijn echter voor toepassing in woningen veel te groot in vermogen, afmetingen en gewicht. De innovatieve technologie van Cooll lost deze problemen op doordat hiermee een efficiënte adsorptiewarmtepomp kan worden gerealiseerd in een licht en compact systeem, dat op termijn tegen een lage kostprijs is te fabriceren. Hiermee komt een goede terugverdientijd en dus grote markt-acceptatie en bijbehorende CO₂ besparing binnen bereik. Gaswarmtepompen hebben in de jaren 90 al eens de naam Super Rendement (SR) ketel gekregen, als toekomstige opvolger van de Verbeterd Rendement (VR) en Hoog Rendement (HR) ketels; ze zijn tot nu toe echter nooit doorgebroken omdat er geen geschikte technologie bestond.

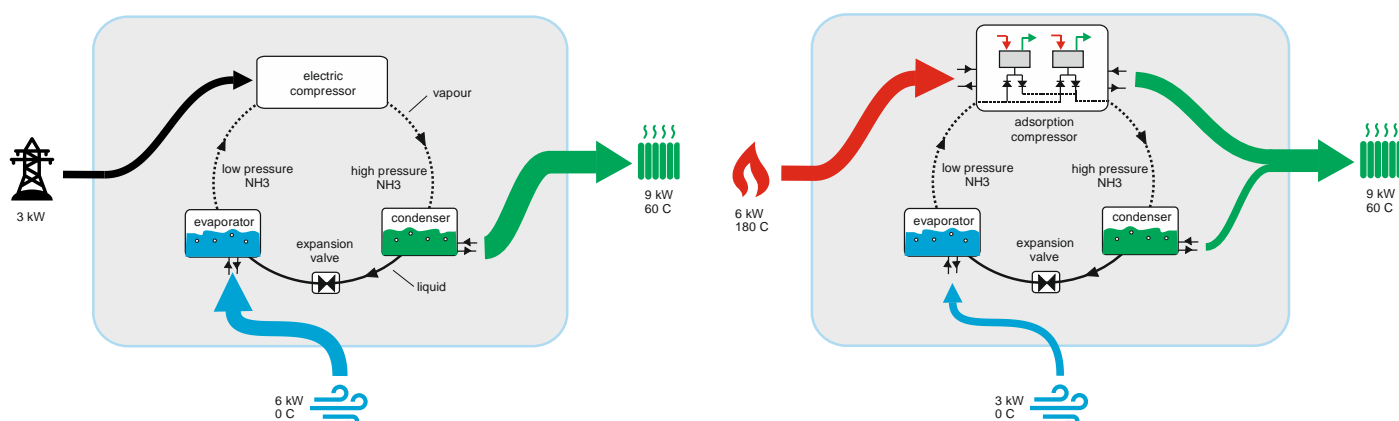
Verduurzaming via het gasnet. De adsorptietechnologie uit dit project kan daarmee een grote impuls geven aan verduurzaming via het gasnet. In combinatie met het vergroenen van het gasnet (biogas en groen waterstof), toekomstige Power to Gas oplossingen (productie van waterstof uit elektriciteitsoverschotten), seizoensbuffering¹ via het gasnet en een efficiënter gebruik van gas voor verwarming geeft dit de bestaande gasnetten in West-Europese en Aziatische landen een unieke kans om één van de pijlers te worden in de energietransitie.

¹ Meer uitleg over dit onderwerp is hier te vinden: <https://www.cooll.eu/wat-is-de-toekomstige-rol-van-groen-waterstof-voor-verwarming-van-woningen/>

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 1. De benodigde warmte is hierbij afkomstig uit een (bio)brandstofgestookte heater.

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 6 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 lage temperatuur (bijv. 0 °C) en neemt daar warmte op uit de koude omgeving. Daarna gaat 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.



Figuur 1. Vergelijking tussen een warmtepompcyclus met elektrische (links) en adsorptie-compressor (rechts).

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 (zie hoofdstuk 4). 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. In principe zijn alle soorten brandstoffen in combinatie met de technologie toepasbaar: gasvormig (aardgas, biogas, groen synthetisch gas, waterstof), vloeibaar ((bio)olie, propaan, etc.) en vast (hout, pellets).

Gaswarmtepomp. Cooll werkt aan een eerste toepassing als gaswarmtepomp. Dit is een potentiële opvolger voor de HR ketel in de bestaande bouw want:

1. Door het lage gewicht is het systeem geschikt voor binnenplaatsing, de afmetingen zijn vergelijkbaar met die van een grote HR ketel.
2. De warmtepomp kan buitenlucht als warmtebron gebruiken (er is dus geen bodembron nodig).
3. Hij kan worden aangesloten op traditionele hoge temperatuur (HT) radiatoren.

In vergelijking met een moderne HR-ketel kan per jaar ongeveer 30% gas (en CO₂ uitstoot) worden bespaard in een gemiddelde woning met normale radiatoren, en tot 40% in een woning met lage temperatuur (LT) verwarming. Deze besparing is aangetoond in het lab van Cooll, en in een geaccrediteerd lab van het Fraunhofer instituut in Duitsland.



Figuur 2. Cooll adsorptiewarmtepomp voor binnenplaatsing, ter vervanging van de oude CV-ketel.

2.1.3 Project doelstelling

Het hoofddoel van dit TKI project is: Onderzoeken en doorontwikkelen van de 'Works like real' labversie adsorptiewarmtepomp tot een volwaardig 'Looks like real' prototype adsorptiewarmtepomp, en het testen van dit prototype in onze testomgeving en omgevingscondities. Hierbij zal de nieuwe full-size adsorptiecompressor worden toegepast die in een ander project is ontwikkeld. In TRL-termen (Technology Readiness Level) was de doelstelling om van TRL4/5 naar TRL6/7 niveau te gaan.

Belangrijke aandachtspunten in de ontwikkeling van dit prototype zijn: interne architectuur, aansturing, inpassing in de woning, performance testen en gemeten jaarronde energiebesparing. Na afloop van dit project moet er een prototype staan dat geschikt is voor pilot-testen in woningen in een vervolgtraject. Het prototype zal ook als basis dienen voor toekomstige industrialisatie richting een 'Made like real' prototype.

3 Samenvatting van behaalde resultaten, knelpunten en perspectief voor toepassing

3.1 Samenvatting van behaalde resultaten

De werkwijze in het project was als volgt. Er zijn een aantal belangrijke functies en onderdelen van de technologie verder ontwikkeld en deels geïntegreerd tot submodules, die het mogelijk maken om tot een compactere bouwvorm van de technologie te komen. Deze onderdelen en submodules zijn eerst zoveel mogelijk los getest. Daarnaast is de technologie op systeemniveau verder ontwikkeld, en getest in een reeks van vier steeds volwassener warmtepompen: twee lab demonstrator warmtepompen en twee functionele modellen FM1 en FM2. Hierbij heeft FM1 als wandmodel het pand van Cooll een winter verwarmd, en is FM2 een robuust transporteerbaar prototype op wielen, die onder andere een woning in Uden onder praktijkomstandigheden heeft verwarmd. Tevens zijn er met FM2 normmetingen van de gasbesparing uitgevoerd door een geaccrediteerd lab van het Fraunhofer instituut.

De volgende submodules zijn doorontwikkeld:

- Heatersysteem
- NH3 circuit
- Adsorptiecompressor sub-assembly
- Air-cooler (verdamp(er)) en dakdoorvoer, geïntegreerd met het ontwerp van de warmtepomp
- Warmtepomp besturingssysteem (hardware en besturingsalgoritme)

Daarnaast zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Veiligheidsrisico's zijn systematisch in kaart gebracht en veldtest certificering door NoBo wordt uitgevoerd.
- Praktijktests in het pand van Cooll en in een corporatiewoning hebben laten zien dat de warmtepomp comfortabel en geruisloos een pand kan verwarmen, ook in zeer winterse omstandigheden, en een significante gasbesparing van 30% kan realiseren.
- Onafhankelijke EN12309 normmetingen door het Fraunhofer instituut laten zien dat een gasbesparing van ongeveer 30% kan worden gerealiseerd.
- Gasbesparing boven 30% wordt verwacht door toepassing van de nieuwe geheel herontworpen arrays. Deze zullen voor het eerst worden toegepast in FM3.



Figuur 3. Functioneel model 1 van de warmtepomp, incl dakdoorvoer. Deze heeft het Cooll pand de afgelopen twee winters verwarmd.

Figuur 4. Functioneel model 2 van de warmtepomp, als test in een woning in Uden (winter 2020-2021).

Figuur 5. Functioneel model 3 van de warmtepomp.

3.2 Praktijk tests van FM2 in een corporatiewoning

Figuur 4 en Figuur 6 tonen beelden van de plaatsing van FM2 in een corporatiewoning in Uden. De warmtepomp is hier vanaf 9-2-2021 ongeveer een maand getest. Direct na plaatsing brak een periode met lage temperaturen en veel sneeuw aan, dit was een aantrekkelijke periode om te testen.



Figuur 6. Dakdoorvoerder bij de corporatiewoning in Uden. De kleine dakdoorvoeren waren bij deze niet gecertificeerde wintertest door veiligheidsvoorschriften eenmalig nodig.

Conclusies van deze tests:

- De Cooll warmtepomp heeft vanaf 9 februari voor het eerst één maand succesvol een corporatiewoning verwarmd
- Positieve resultaten:
 - Plaatsing succesvol
 - Comfortabele verwarming, nauwelijks geluid
 - Zelfstandige regeling op de klokthermostaat
 - Gemeten gasbesparing komt goed overeen met de voorspellingen
 - Ook bij lage buitentemperaturen goede resultaten
- Gasbesparing voor een heel jaar op basis van deze metingen: ~ 30%
- Verbeterpunten:
 - Er kwam stuifsneg in de verdamper, dit moest handmatig verwijderd worden.
 - Tijdens de test was er alleen een relatief hoog uitgangsvermogen beschikbaar (> 5.5 kW) waardoor aan-uit gedrag optrad bij lage warmtevraag, wat leidde tot een reductie van de besparing bij hoge buitentemperaturen. De oorzaak was de toepassing van een prototype interne HT pomp die nog niet voldoende kon moduleren. Een verbeterde pomp is na deze metingen gemonteerd vooraf aan de tests bij Fraunhofer, met goed resultaat.
 - Na 1 week was een kleine service-actie nodig (niet gerelateerd aan de koude periode). De warmtepomp kon de woning nog wel verwarmen.

3.3 Onafhankelijke tests van FM2 bij het Fraunhofer instituut

In een geaccrediteerd lab van het Fraunhofer instituut zijn voor verschillende buitentemperaturen metingen van de gasbesparing uitgevoerd, conform de EN 12309 norm voor gaswarmtepompen. Aannames hierbij: Noord-Europese klimaatzone en hoge temperatuur radiatoren. Hieruit is het jaarronde rendement berekend (SGUE = Seasonal Gas Utilization Efficiency), volgens de onderstaande stappen:

- De norm schrijft via een gemiddeld klimaatjaar een aantal stookuren voor bij verschillende buitentemperaturen (-10, -7, -2, 2, 7 en 12 °C).
- Metingen worden uitgevoerd volgens een gekozen loadline voor een woning, overeenkomend met een woning met ongeveer 1600 m³ gasverbruik.
- De GUE metingen worden uitgevoerd voor 6 buitentemperaturen met:
 - Bijbehorende CV afgiftetemperaturen
 - Part-load conditie van de warmtepomp volgens de loadline
- Wanneer binnen een periode van 70 minuten een defrost cycle optreedt dan moet minimaal 3 uur gemeten worden
- GUE's voor overige buitentemperaturen worden geïnterpoleerd uit de zes gemeten GUE's
- Voor het hele klimaatjaar wordt nu berekend:
 - Totale heating demand (kWh)
 - Totale gas supply (kWh)
 - $SGUE = \text{Totale heating demand} / \text{Totale gas supply}$

De SGUE voor hoge temperatuur afgiftesystemen van deze metingen komt hiermee uit op:

- **SGUE = 1.45 (LHV)**

Onder vergelijkbare omstandigheden is de SGUE van een HR-ketel ongeveer 1.05, waarmee de gasbesparing uitkomt op ongeveer 28%.

Vergelijkbare metingen zijn uitgevoerd voor lage temperatuur afgiftesystemen. Hierbij komt de gasbesparing uit op ongeveer 31%.

Kanttekening bij deze resultaten is dat FM2 nog enkele onvolkomenheden bevat die de performance enigszins negatief beïnvloeden. Het is de verwachting dat na reparatie van deze onvolkomenheden in FM2 een SGUE van tenminste 1.50 (gasbesparing 30%) gerealiseerd zal worden voor hoge temperatuur afgiftesystemen.

Een belangrijke verbetering in de volgende warmtepomp is het beschikbaar komen van de nieuwe adsorption array, welke ongeveer 50% extra volume actieve kool bevat in vergelijking met de proto adsorption array in FM2. Naar verwachting zal dit de performance significant doen verbeteren, resulterend in een gasbesparing bij hoge temperatuur verwarming van boven de 30%. Tevens wordt met de grotere arrays het maximale uitgangsvermogen vergroot tot ruim 10 kW.

3.4 Perspectief voor toepassing

In de laatste fase van dit project is de ontwikkeling gestart van een compact wandtoestel, zie Figuur 5. Het eerste exemplaar hiervan (FM3) gaat dit najaar naar een NoBo voor veldtest certificering. Testen met enkele stuks in woningen zijn voor de komende winter gepland, en met grotere aantallen voor de winter daarop. Cruciaal nieuw onderdeel in deze warmtepomp is de nieuwe adsorption array, welke is ontwikkeld voor de volledige 15-jaars levensduur. Belangrijke ervaringen met de vorige proto array, en reliability en productie engineering aspecten zijn in het nieuwe array ontwerp meegenomen. Uit eerste reliability tests blijkt dat de beoogde levensduur ruimschoots wordt gehaald.

Cooll heeft een aantal overeenkomsten getekend voor afname van eerste series warmtepompen. Cooll werkt o.a. met woningcorporaties aan pre-orders voor grotere aantallen. Productie is voorzien in samenwerking met (ketel)fabrikanten.

Samenwerking en concurrentie in EU. Binnen Europa maakt Cooll deel uit van een kleine groep fabrikanten en onderzoeksinstituten die werken aan Thermally Driven Heat Pump (TDHP) technologieën. Het Fraunhofer instituut (waar Cooll's recente norm-metingen zijn uitgevoerd) heeft in

Europa een goed netwerk en overzicht van de ontwikkelingen. Inschatting is dat Cooll's propositie uniek en competitief is: een compact en betaalbaar lucht-water wandtoestel voor binnenplaatsing, met een gasbesparing die vergelijkbaar of groter is dan die van de concurrentie. Om de positie van Cooll binnen Europa te versterken is Cooll lid geworden van de TDHP werkgroep van de EHPA, en werkt Cooll gezamenlijk met de concurrentie aan de vorming van relevante consortia om bekendheid aan TDHP technologieën te geven en deze nieuwe markt te helpen creëren.

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 vorig jaar 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.