

TNO 2023 R1221

COMpact modular ThermoAcoustic heat pump

Openbaar eindrapport COMTA

**Energy & Materials
Transition**
www.tno.nl
+31 88 866 50 65
info@tno.nl

Date	Oktober 30, 2023
Author(s)	Jan-Aiso Lycklama à Nijeholt
Met bijdrage van:	Hassan Tijani (TNO) Yann Ardouin (Howden) Wouter Jansen (Howden) Koppe van der Meer (Bronswerk HT) Kees Biesheuvel (Dow) Agata van Oosten (ISPT)

Classification report	TNO Public
Number of pages	11
Sponsor	RVO
Project name	COMTA
Project number	060.34455
RVO referentie	TEEI118003

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, subsidieregeling Top Sector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written consent of TNO.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the General Terms and Conditions for commissions to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 2023 TNO

Contents

1	Uitgangspunten en doelstellingen van het project	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Doelstellingen	4
2	Resultaten	5
2.1	COMTA testopstelling	5
2.2	Warmtepomp metingen	5
2.3	Ontwerp van full-scale TAWP	6
2.4	Technische en economische haalbaarheid	6
2.5	Disseminatie	7
3	Knelpunten en toepassingsperspectief	8
4	Bijdrage aan doelstelling van de regeling	9
4.1	Verduurzaming	9
4.2	Versterking kennispositie	9
4.3	Spin-off binnen en buiten de sector	9
5	Publicaties	10
6	Ondertekening	11

1 Uitgangspunten en doelstellingen van het project

1.1 Achtergrond

Het totale energiegebruik in Nederland bedroeg vorig jaar 2732PJ (2022). Industrieel warmtegebruik vormt een aanzienlijk deel van het totale primaire energiegebruik in Nederland met circa 600 PJ/jaar. Verduurzaming van dit warmtegebruik is dus essentieel om de Nederlandse klimaatdoelen te realiseren. Hiermee zijn tevens significante kostenbesparingen te realiseren aangezien circa 5 miljard aan brandstofkosten (vooral aardgas) worden gemaakt voor de productie van warmte.

Warmte wordt over een breed temperatuurbereik industrieel aangewend. Warmte met temperaturen tussen 100°C en 250°C wordt gebruikt om materialen op te warmen, voor droogprocessen, en voor reactie en scheidingsprocessen (destillatie). Conversieprocessen in staalproductie, keramiek, glas, cementproductie, en kraakprocessen vragen veel hogere temperaturen van boven de 600°C. Simultaan aan de warmtevraag komt het grootste deel van de proceswarmte weer vrij als restwarmte op lagere temperatuur tussen typisch 50°C en 150°C. Het ligt daarom voor de hand om deze restwarmte te recyclen. Hiervoor zijn warmtepompen geschikt. Restwarmte kan met een warmtepomp worden opgepompt naar proceswarmte. Huidige technisch beschikbare warmtepomp technologieën kennen echter een lagere temperatuur lift en een te lage leveringstemperatuur waardoor de toepassing van warmtepompen in de industrie nog beperkt is. Met de ontwikkeling van de thermo-akoestische warmtepomp (TAWP) die gekenmerkt wordt door een hoge warmteleveringstemperatuur en hoge lift kan in de toekomst worden voorzien in industriële koolstofvrije proceswarmte.

1.2 Doelstellingen

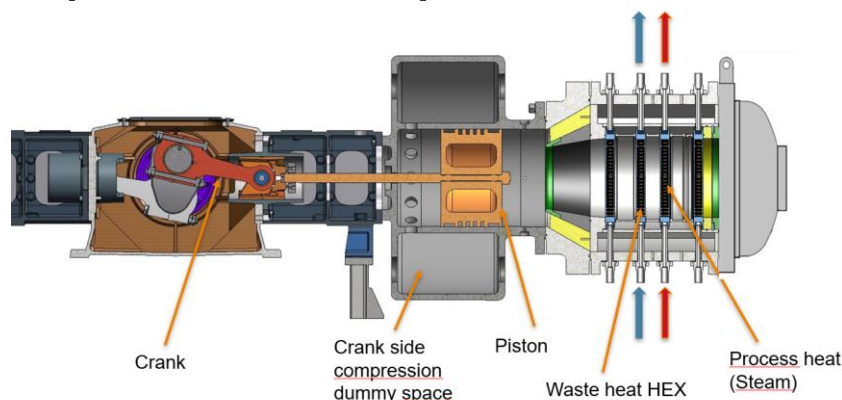
Doel van het COMTA (COMpact modular ThermoAcoustic heat pump) project is om de technische en economische haalbaarheid van de compacte TAWP te onderzoeken voor stoomproductie tussen 8-10 bar. Voor de technische haalbaarheid is een significante verbetering van de warmtewisselaars in de TAWP vereist om het rendement (COP) te verbeteren.

Het COMTA project is uitgevoerd met technologieleveranciers Bronswerk Heat Transfer en Howden Thomassen Compressors. Dow Benelux B.V. en een industriële gebruikersgroep zijn als industriële eindgebruikers betrokken. TNO is kennisinstituut en de penvoerder van COMTA.

2 Resultaten

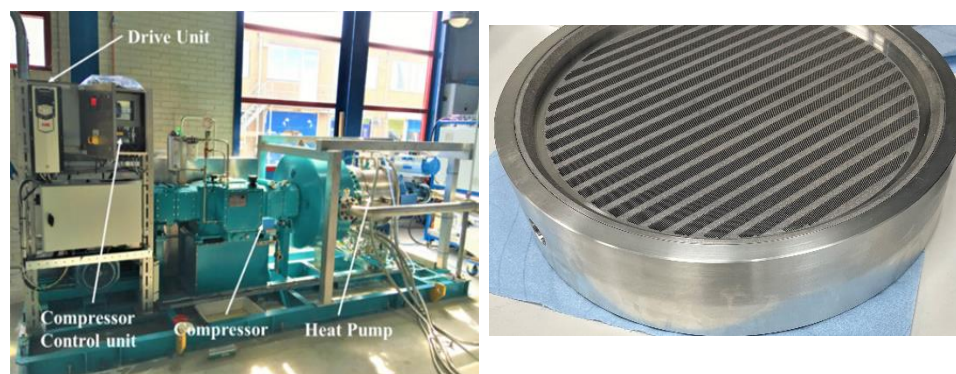
2.1 COMTA testopstelling

De COMTA warmtepomp is een elektrisch aangedreven TAWP die gebruik maakt van helium als werkmedium. Het werkingsprincipe van een TAWP is gebaseerd op de Stirling cyclus. De warmtepomp bestaat uit een drukvat gevuld met helium onder hoge druk (30 bar). Het drukvat is gemonteerd op de zuigercompressor zoals weergegeven is in Figuur 1. De compressor wordt aangedreven door een elektrische motor. De heen en weer gaande zuiger comprimeert en expandeert helium met een drukamplitude van circa 3 bar.



Figuur 1 Schematische dwarsdoorsnede van de COMTA TAWP.

Warmte wordt aangevoerd door een lage temperatuur restwarmtewarmtewisselaar via een thermisch olie circuit. Deze laagwaardige restwarmte wordt opgepompt naar hoge temperatuur en wordt afgegeven aan een hoge temperatuur warmtewisselaar waarin voedingswater wordt verdampt en stoom wordt gevormd. In het project zijn nieuwe innovatieve metaal-geprinte warmtewisselaars ontwikkeld. Deze zijn ingebouwd in de TAWP en getest. Een foto van testopstelling in het Carnot lab. van TNO in Petten is hieronder weergegeven in Figuur 2 met een foto van de geprinte restwarmte warmtewisselaar voor olie/helium. De geprinte verdamper voor stoomproductie is niet getoond.



Figuur 2 COMTA testopstelling in TNO Carnot laboratorium in Petten en metaal-geprinte warmtewisselaar (foto rechts).

Door toepassing van een zeer hoge vin-dichtheid is de gasspleet voor helium slechts 0,5 mm (tussen de vinnen). Naast veel warmte overdragend oppervlak is hierdoor tevens een zeer hoge warmteoverdrachtcoëfficiënt verkregen.

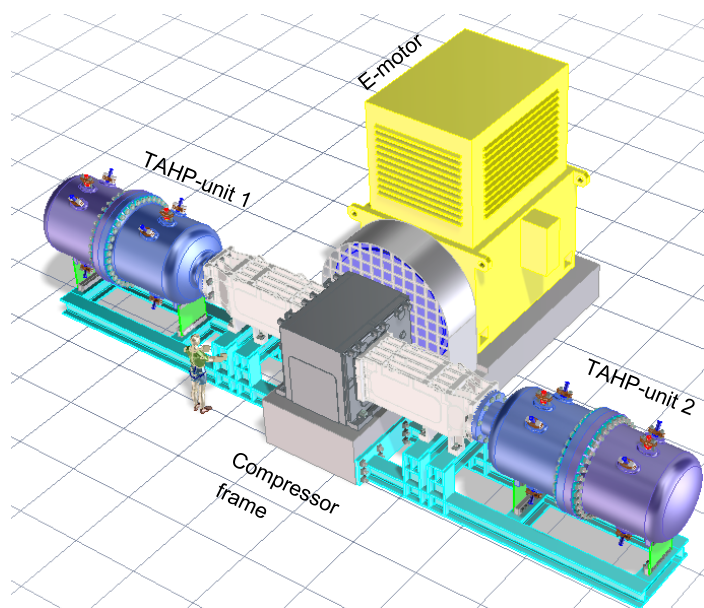
2.2 Warmtepomp metingen

In de experimenten wordt stoom geproduceerd bij temperaturen van 120, 150 en 170°C vanaf bronwarmte temperaturen tussen de 80 en 90°C. De innovatieve metaal-geprinte warmtewisselaars voor stoomproductie en restwarmte toevoer presteerden zeer goed in vergelijking met de oude warmtewisselaars. Hierdoor is het thermische vermogen en de COP van de TAWP sterk verbeterd. Het thermische vermogen varieert tussen 6 en 8 kW. De maximaal gevonden Coefficient of Performance (COP) bedraagt 2.8 bij een lift van 90°C.

De experimenten laten de technische haalbaarheid van het nieuwe compacte warmtepompontwerp zien en de hoge mate van flexibiliteit van de TA warmtepomp. Veel hogere stoomtemperaturen tot 200°C zijn technisch haalbaar, maar deze werden beperkt door de externe test infrastructuur in het laboratorium.

2.3 Ontwerp van full-scale TAWP

De schaalbaarheid van de COMTA warmtepomp is onderzocht door het maken van een conceptueel mechanisch ontwerp van een industriële TAWP. Voor de aandrijving van de TAWP is uitgegaan van de Howden C85-compressor. Met TA simulatie software is een basisontwerp van de thermo akoestische unit gemaakt en zijn COP en thermisch vermogen berekend. De warmtepomp bestaat uit een zuigercompressor met 1 tot 8 zuigers die 1 tot 8 TA units aandrijven, afhankelijk van de gewenste proceswarmtebehoefte. In figuur 3 wordt het ontwerp getoond van een TAWP met twee units en totaal 7,2 MW aan thermisch vermogen voor stoomproductie tot 250°C en met een berekende COP van 3,5 (110°C/190°C).



Figuur 3 Ontwerp van een 7,2 MW_{th} TAHP bestaande uit twee units en aangedreven door een Howden zuigercompressor met twee dubbelwerkende zuigers.

2.4 Technische en economische haalbaarheid

De technische en economische haalbaarheid van de TAHP is onderzocht. De investeringskosten worden geschat op 230 Euro/kW_{th}. De kosten voor installatie en procesintegratie zijn geschat op een factor twee van de kosten voor de warmtepomp. Hiermee werd een aanvaardbaar rendement op de investering van 3,6 jaar gevonden.

De haalbaarheid van het ontwerp, de goede COP en lage ROI laten het potentieel van de warmtepomp zien. Bovendien is de marktomvang aanzienlijk, zelfs met een lage aangenomen marktpenetratie. De technische en economische haalbaarheid is daarom goed te noemen.

2.5 Disseminatie

De disseminatie van projectresultaten is door ISPT verzorgd door middel van de ISPT website, nieuwsbrieven en sociale media.

3 Knelpunten en toepassingsperspectief

Om de TAWP tot een succesvol product door te ontwikkelen is een verdere opschaling en demonstratie van de TAWP met een hoger thermisch vermogen een vereiste, op basis van een dubbelwerkende zuiger welke aan weerszijde een TA module aandrijft. Hiernaast is het van belang om de compressorframe en drijfwerk te optimaliseren voor de TA werkcondities.

De COP kan verbeterd worden door interne warmtelekkage te verminderen. Ten gevolge van interne warmtelekkage lekt opgepompte warmte weg naar koudere delen van de TAWP. Dit wordt veroorzaakt door circulatie van helium in het drukvat van de warmtepomp.

4 Bijdrage aan doelstelling van de regeling

4.1 Verduurzaming

De ontwikkeling van de TAWP past goed in de programmalijn Joint Industry Projects en de programmalijn Warmte. Besparingen tot 30% op het primaire energiegebruik zijn mogelijk op basis van het huidige elektriciteitsopwekkingsrendement. Met de toename in duurzame elektriciteitsproductie zal dit percentage snel kunnen stijgen tot eindelijke koolstofvrije warmtelevering met de TA warmtepomp.

4.2 Versterking kennispositie

COMTA heeft geleid tot een verdere versterking van de kennispositie van de projectpartners op het gebied van de thermo akoestische warmtepomp voor toepassing in de industrie. De samenwerking met de compressorleverancier Howden heeft tot een nieuwe industrieel modulair TA warmtepompconcept geleid. Directe stoomproductie tot 250°C en zeer hoge temperatuur lift van 100°C in een single stage zijn haalbaar.

4.3 Spin-off binnen en buiten de sector

Doordat de TAWP onder een zeer brede range aan bron- en afgifte temperaturen kan opereren is de potentiële toepassing binnen en buiten de industrie groot. Bijkomend voordeel van de TAWP is dat er geen aanpassingen nodig zijn (werkmedium, smeermiddel, compressor, etc.) om efficiënt onder verschillende temperatuurcondities te opereren. De TAWP wordt daarom ook voor de gebouwde omgeving ontwikkeld door TNO en Blue Heart.

5 Publicaties

Resultaten van het COMTA project zijn op deze twee conferenties gepresenteerd:

Jan-Aiso Lycklama à Nijeholt, Hassan Tijani, Simon Spoelstra, Anshuman Pandey
Thermoacoustic heat pumps for high temperature and industrial applications, High-Temperature Heat Pump Symposium, Copenhagen 29-30 march 2022.

M.E.H. Tijani, J.A. Lycklama à Nijeholt, *Thermoacoustic heat pump for very high temperature applications*, 14th IEA Heat Pump Conference, 15-18 May 2023, Chicago, Illinois.

6 Ondertekening

Petten, 30 Oktober 2023

TNO

Sjaak van Loo
Head of department

Jan-Aiso Lycklama à Nijeholt
Author