

Het Blauwe Hart

de adaptieve warmtepomp



Openbaar eindrapport

Een subsidieproject in het kader van de MOOI-regeling 2020: Gebouwde Omgeving

BLUE H[♥]RT

TNO innovation
for life

remeha

EXASUN

Oktober 2024

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

Algemene gegevens

Projecttitel:

Het Blauwe Hart: de adaptieve warmtepomp

Projectnummer:

MOOI32018

Publicatiedatum van dit rapport

31 oktober 2024

Uitgevende partner en auteur

Luc Hamilton – Blue Heart Energy

Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de samenwerkende partijen

Nederland staat voor de uitdaging om ruim 7 miljoen huizen te renoveren tot goed geïsoleerde aardgasvrije woningen. Daartoe zal een groot aantal renovaties en installatieaanpassingen uitgevoerd moeten worden. De opgave is om deze met 20-40% minder kosten uit te voeren in uiterst efficiënte productie-, (ver)bouw- en installatieprocessen. De warmtepomp speelt een belangrijke rol in de concepten naar aardgasvrije woningen en wijken.

De huidige generatie warmtepompen, de compressie warmtepompen, passen niet optimaal in de nagestreefde renovatieconcepten. Compressie warmtepompen:

- hebben een beperkt werkgebied van bron- en afgiftetemperatuur;
- hebben moeite met bronnen met een variabele aanvoertemperatuur;
- kunnen geluidsoverlast veroorzaken.

Hierdoor zijn vaak extra aanpassingen in het installatieconcept nodig voor goede inpassing van de warmtepomp, hetgeen vertragend en kostenverhogend werkt. Ondanks dat wordt in de praktijk niet altijd het optimale comfort geboden.

Er is een betere warmtepomp nodig. Een warmtepomp die makkelijk en betaalbaar inzetbaar is in elk renovatieconcept en optimaal comfort levert.

Doel van het project is de ontwikkeling van deze (verbeterde renovatie) warmtepomp. In het project wordt een warmtepomp ontwikkeld op basis van thermo-akoestiek die goed toepasbaar is in elk renovatieconcept, ongeacht de beschikbare bron en bij elk temperatuurbereik een goed rendement biedt. Deze thermo-akoestische warmtepomp (TA-WP) wordt daarbij geheel afgestemd op de eisen en wensen van de betrokkenen in de renovatieconcepten. Van gebruikers/eigenaren tot installateurs, OEM's en fabrikanten. Deze warmtepomp past universeler in elk renovatieconcept zodat concepten sneller en goedkoper uitgevoerd kunnen worden en biedt meer comfort aan de bewoners.

Blue Heart Energy is de hoofdaanvrager, ontwikkelaar en producent van de Blue Heart 'heat pump engine', een warmtepomp module gebaseerd op thermo akoestiek dat een alternatief is voor de huidige koudemiddelcircuits in warmtepompen.

"Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."

TNO is kennisdrager in het project. Het concept van de thermo akoestische toepassing in warmtepompen is ontwikkeld door ECN, het huidige TNO Petten. De afdeling 'bouw' van TNO Delft beoogde in het project validatie en testen uit te voeren in een warmtepomp emulator om het uiteindelijk renovatieconcept te beoordelen met een Blue Heart warmtepomp en te vergelijken met compressiewarmtepomp techniek. Omdat de gerealiseerde prototypes binnen dit project nog niet de gewenste performance leverden is gefocust op het ontwikkelen en klaar maken van een integraal dynamisch model van de warmtepomp met een luchtwarmtebron (dry-cooler) in woning, dat in later stadium kan worden gebruikt voor de beoordeling van de validatietesten in de emulator.

Exasun is leverancier van PV panelen en zal in het project een PVT (thermisch PV paneel) introduceren als bron voor de warmtepomp en geschikt voor toepassing in renovatieconcepten. Exasun is helaas in januari 2024 in faillissement geraakt.

Remeha is warmtepomp fabrikant en potentieel afnemer van het Blue Heart product. In het project wordt een lucht/water warmtepomp concept uitgewerkt op basis van de BHE techniek en gevalideerd.

Beschrijving van de uitgevoerde activiteiten, de behaalde resultaten per mijlpaal, de knelpunten en het perspectief voor toepassing

Het project heeft in eerste instantie gefocust op het behalen van de eerste mijlpaal in het project: het voltooiën (ontwerpen en bouwen) van het prototype marktproduct. De uitgevoerde activiteiten hebben hier direct en indirect aan bijgedragen.

De daartoe uitgevoerde activiteiten waren:

1. het ophalen van de behoeften en klanteisen het dieper doorgronden van de knelpunten in de (renovatie-) markt. Dit om hiermee een unit te kunnen ontwikkelen die voldoet aan de vraag;
2. het optimaliseren en verder door ontwikkelen van onderdelen van het systeem, voortbouwend op eerdere prototypes;
3. het ontwerpen van een eerste prototype marktproduct dat uiteindelijk in serie (massaproduct) en tegen lage kostprijs geproduceerd kan worden.

Onderzoek naar de klanteisen

De klanteisen (requirements) voor het marktproduct zijn opgehaald door interne gesprekken met de project partners TNO, Remeha en Exasun, maar ook door diverse sessies met andere betrokken partijen in de keten (warmtepomp leveranciers, installateurs, eindgebruikers). De focus lag in eerste instantie op de eisen aan de warmtepomp zelf (vermogen, temperatuurbereik, rendement, etc.). Met de partners is een opzet gemaakt voor verwarmingssystemen op basis van een thermische zonnepaneel (PVT) en de buitenlucht als bron voor de warmtepomp.

Het Blauwe Hart

De BH warmtepomp engine is een zelfstandig "bouwblok" binnen de warmtepomp die uiteindelijk business to business wordt aangeboden aan warmtepomp bouwers, als alternatief onderdeel van het koudemiddelen circuit. Hierdoor is een goede afstemming met de markt essentieel. Omdat

"Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."

uiteindelijk de energetische bijdrage van de Exasun PVT systemen niet zo groot bleek is de nadruk in het project gelegd op de specificaties die nodig zijn voor deze warmtepomp engine: Het Blauwe Hart. Met andere PVT panelen wordt wel een positief resultaat verwacht. Maar dat was geen onderdeel meer van dit project.

Dit heeft uiteindelijk geleid tot de volgende hoofd specificaties waarop de ontwikkeling zich focust (stand medio 2024):



Figuur 1: Specificaties voor de BHE unit (Summary)



Figuur 2: Specificaties voor de warmtepomp met daarbinnen het BHE-systeem

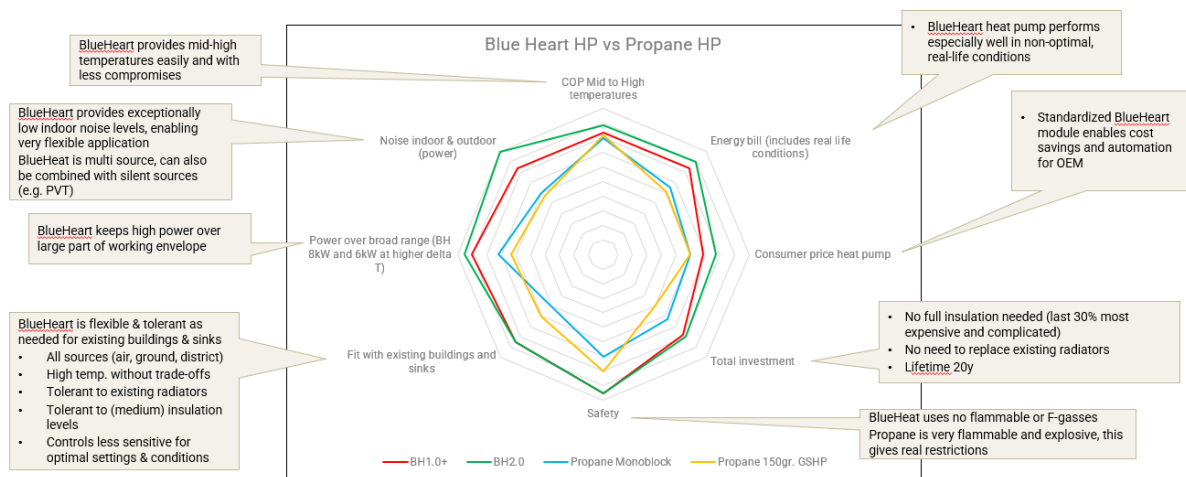
“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

Regelgeving

Qua regelgeving heeft de EU besloten dat de koudemiddelen zoals ze momenteel gebruikt worden in warmtepompen niet meer mogen worden toegepast vanaf 1 januari 2027. Dit heeft de relevantie van een succesvolle Thermo-akoestische warmtepomp vergroot. Deze laatste gebruikt immers geen koudemiddel.

Vergelijking met propaan-gebaseerde systemen

De benchmark voor de thermo-akoestische warmtepomp op de markt zijn de warmtepompen op basis van propaan als koudemiddel. Bij de start van het project werden ook andere warmtepompen met andere koudemiddelen vergeleken, maar door de nieuwe regelgeving kwam de focus alleen op propaan te liggen. BlueHeart heeft samen met haar klanten elk detail gecontroleerd en gevalideerd op de verschillende aspecten en verschillen tussen Thermo-Akoestiek en 2 op propaan gebaseerde systemen in kaart gebracht, rekening houdend met de resultaten die BlueHeart verwacht te kunnen bereiken, wat leidt tot de volgende spider figuur:



Figuur 3: Vergelijking van BlueHeart HP versus propaan HP

Hieruit blijkt dat het BlueHeart systeem (groene lijn) op alle evaluatieaspecten (aanzienlijk) beter of gelijk scoort dan de Propaansystemen (blauwe en gele lijnen).

Installatie concepten renovatie met TA HP - modellering

TNO heeft in dit project gewerkt aan renovatieconcepten met de Thermo-Akoestische warmtepomp (TA HP). Tot op heden zijn er geen gedetailleerde simulaties uitgevoerd om te bepalen hoe een TA HP kan presteren wanneer deze wordt geïntegreerd als operationele HP in combinatie met warmtebronnen, een warmteafgiftesysteem en een dynamische verwarmingsbelasting in de vorm van een huis. Dit is een belangrijke stap om de geschiktheid van de TA HP voor huishoudelijke toepassingen te bepalen en, in combinatie met de uiteindelijke stand van de ontwikkeling deze te vergelijken met conventionele warmtepompen.

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

1. Thermo-akoestische warmtepomp
2. Bronnen, namelijk PVT-collector en een luchtbron dry-cooler
3. Woning en verwarmingssysteem

TNO heeft een TA-HP model is ontwikkeld met behulp van een prestatiekaart voor de COP (Coefficient Of Performance), gebaseerd op de prestatiemetingen van BlueHeart. De COP is weergegeven voor een capaciteitsbereik van 0,5 kW tot 6 kW, in stappen van 0,5 kW, voor (gemiddelde) brontemperaturen van -30 °C tot 40 °C en (gemiddelde) afgiftetemperaturen van 10 °C tot 80 °C. De prestatiekaarten omvatten een breed operationeel bereik om ervoor te zorgen dat systeemsimulaties kunnen worden uitgevoerd onder alle bedrijfsomstandigheden, rekening houdend met de theoretische beperkingen van de TA HP en de rest van het systeem.

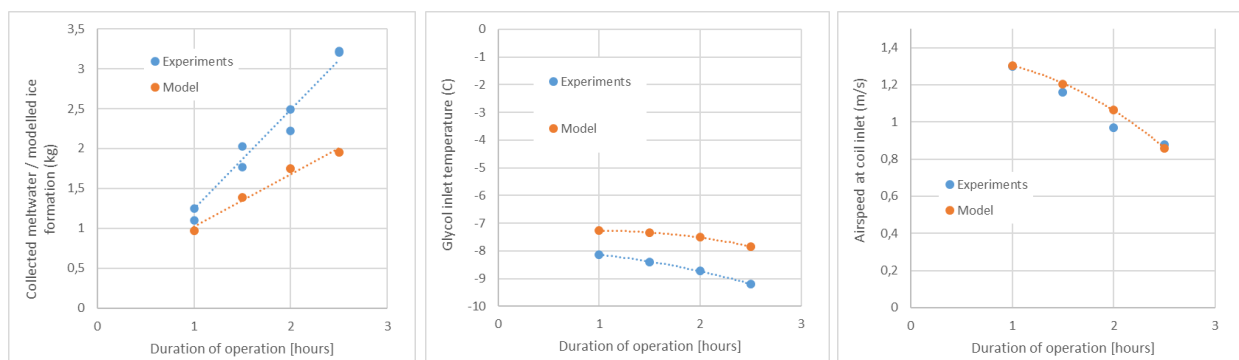
TNO heeft verder een model van een dry cooler ontwikkeld waarin de verschillende lagen van de warmtewisselaar tussen lucht-inlaat en uitlaat als een 4-tal rijen zijn geïmplementeerd (zie Figuur 4).



“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

Tegelijkertijd zijn in het Heat Pump Application Centre van TNO uitgebreide testen met een dry cooler uitgevoerd voor de ontwikkeld validatie van het model. In het algemeen bleek de prestatie van de dry cooler goed te voorspellen bij droge condities, d.w.z. als er geen condensvorming optreedt in de warmtewisselaar. De grootste uitdaging bleek het correct modelleren van condensvorming en ijsvorming in de dry-cooler. Dit gebeurt als de temperatuur van het glycol in de warmtewisselaar zo laag is dat vocht uit de toegevoerde lucht eerst condenseert en – bij voldoende lage glycol temperaturen – bevriest in de warmtewisselaar. Hierdoor veranderen onder meer het effectieve oppervlak van de warmtewisselaar, de luchtsnelheid, de warmteoverdracht en de viscositeit van het glycol. De testen waren mede gericht op het begrijpen van de fysica van condensvorming en ijsvorming en de effecten daarvan op de warmteoverdracht.

Hoewel het niet is gelukt om de prestatie van de dry cooler met 100% nauwkeurigheid te reproduceren, is de fysica van de processen voldoende begrepen en gemodelleerd om een goede inschatting te kunnen maken van de prestatie onder verschillende omstandigheden, zoals temperatuur en vochtigheid van de lucht door de warmtewisselaar, zoals aangetoond in Figuur 5.



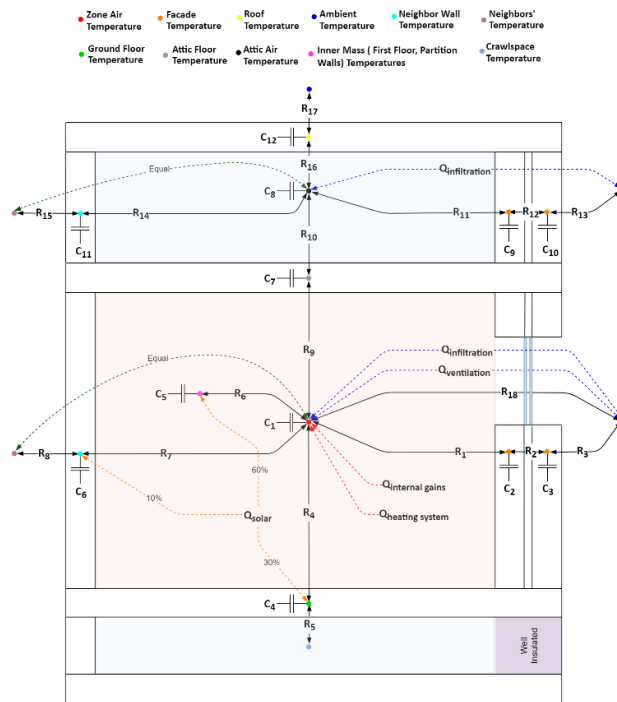
Figuur 5: Vergelijking van experiment en model, met ijsvorming. Opgevangen smeltwater met tussenpozen van 30 minuten (links), werkelijke en voorspelde glycol-inlaattemperaturen bij een vast afgiftevermogen van 3900 W (midden), en de gemodelleerde en gemeten luchtsnelheid bij de inlaat van de dry-cooler (rechts)

Model van de woning- en het verwarmingssysteem

Het originele woningmodel werd ontwikkeld als onderdeel van een eerder TNO-project, gebaseerd op een typisch Nederlandse rijtjeshuis uit de jaren 70, met een energielabel E. De begane grond bestaat uit een woonkamer, keuken en entree, terwijl de eerste verdieping een badkamer, hal en drie slaapkamers bevat. De zolder is niet toegankelijk en wordt daarom niet beschouwd als bruikbare ruimte. Het totale bruikbare vloeroppervlak is 85 m².

Het doel was om de essentiële fysieke kenmerken van de woning vast te leggen en er tegelijkertijd voor te zorgen dat het model snel zou zijn om langere bedrijfsperiodes te kunnen simuleren. Om die reden is een 3-zone RC-netwerk (weerstand-capaciteit) gebruikt, zoals weergegeven in Figuur 6. Voor typische thermische weerstandswaarden (R_c/U) voor deze woningtypologie zijn waarden van een RVO- voorbeeldwoning gebruikt. De thermische massa is gedefinieerd op basis van de constructiedetails en materialen die typisch werden gebruikt in de jaren 70. Naast transmissieverliezen omvat het model ook ventilatie- en infiltratieverliezen, evenals zonne- en interne winsten van bewoners, apparaten en verlichting.

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”



Figuur 6: RC-netwerk van het huismodel

De nominale warmtelast voor de oorspronkelijke woning was 7,5 kW voor een hoekwoning en 6,1 kW voor een tussenwoning. Gezien het thermische vermogen van de TA-warmtepomp (6 kW) is in overleg met BHE besloten om te werken met een gerenoveerde woning door het toevoegen van vloer-, gevel- en dakisolatie op basis van de RVO-richtlijnen. Na de renovatie behaalde het huis een energielabel B, met een verlaagde nominale warmtebelasting van 5,3 kW voor een hoekwoning en 4,7 kW voor een tussenwoning. Voor de simulatie met het systeemmodel (zie hieronder) werden alleen de gerenoveerde woningen (Label B) gebruikt.

De woning is uitgerust met paneelradiatoren, die werden gemodelleerd met behulp van de NEN442-norm met toegevoegde thermische traagheid om een dynamisch model te creëren.

Systeemmodel

In het systeemmodel zijn bovenstaande componenten geïntegreerd. De vereisten van het systeemmodel waren om voldoende fysica vast te leggen om de prestaties weer te geven, terwijl het model ook snel genoeg draaide om voldoende lange bedrijfsperioden te simuleren om een indicatie te geven van de prestatie in een stookseizoen.

Met de PVT collector zijn 5 cases doorgerekend met onder meer twee typen thermische collector en onder verschillende oriëntaties. Case 3 met collectortype 2 presteerde het beste, wat kan worden toegeschreven aan een beter thermisch contact tussen de PV en de thermische collector.

Daardoor werkte de TA-WP met consistent hogere brontemperaturen tijdens het stookseizoen, wat resulteerde in een hogere sCOP (seasonal Coefficient Of Performance) gedurende het hele

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

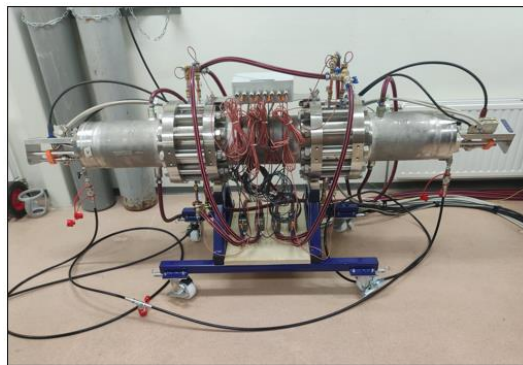
stookseizoen. Dit benadrukt het belang van het correct dimensioneren en selecteren van de PVT-collector om de systeemprestaties te maximaliseren.

Het model voor de luchtconvector (dry-cooler) was moeilijker te implementeren en er deden zich verschillende numerieke problemen voor die de robuustheid beïnvloedden. Dit was een uitdaging om op te lossen omdat het systeemmodel met de dry-cooler aanzienlijk complexer was dan met de PVT-collector. Mogelijke oplossingen zijn overwogen, maar deze zijn nog niet geprobeerd vanwege tijd- en budgetbeperkingen. Er is geprobeerd om een beperkt aantal representatieve weerdagen in overweging te nemen om een indicatie van de prestaties te geven, maar het is niet gelukt om betrouwbare simulatiedetails en resultaten binnen de projectbeperkingen te realiseren. Verwacht wordt dat het systeemmodel kan worden afgerond en gebruikt in vervolgvactiteiten / projecten.

Het model op systeemniveau voor de luchtconvector (dry-cooler) was moeilijker te implementeren en er deden zich verschillende numerieke problemen voor die de robuustheid beïnvloedden. Dit was een uitdaging om op te lossen omdat het systeemmodel met de dry-cooler aanzienlijk complexer was dan met de PVT-collector. Het systeemmodel kan worden afgerond en gebruikt in vervolgvactiteiten / projecten.

Ontwikkeling en testen met prototype

1^e prototype



Figuur 7. 1e prototype geassembleerd in de testomgeving

Het hierboven getoonde 1^e prototype van de TA-WP was de eerste geïntegreerde module die volledig door BHE werd ontworpen en gebouwd. De belangrijkste doelen van de ontwikkeling waren:

1. Demonstreren van de volgende stap in vermogensschaal (ongeveer 3 kW) op weg naar de uiteindelijke marktspecificatie
2. Bouw fundamentele institutionele kennis op door het ontwerpen en testen van een complete eenheid
3. Relaties met leveranciers opzetten en de ontwikkeling van componenten starten op weg naar massaproductie
4. Verbeter de accurateheid en de snelheid van implementatie voor de Thermo-Akoestische modellen door middel van validatie op dit prototype

Parrallel aan dat traject zijn voor een steeds groter aantal onderdelen leveranciers gevonden die op basis van de BlueHeart eisen en ontwerpen de onderdelen kunnen leveren.

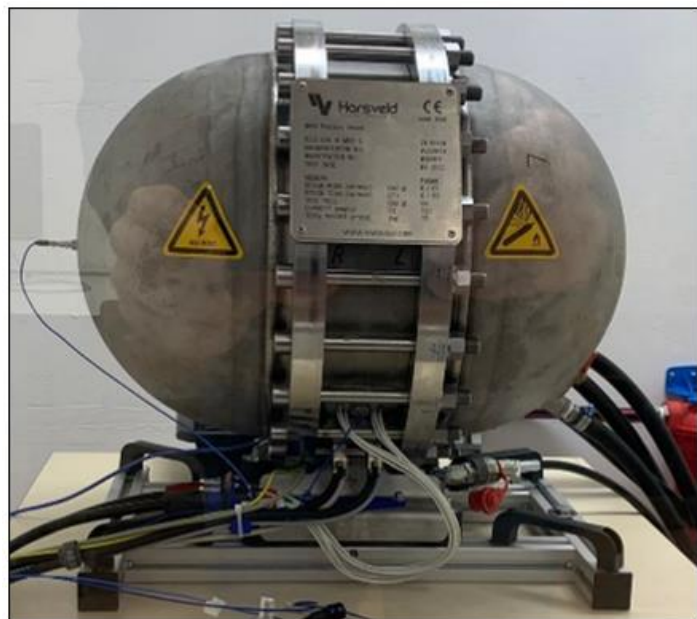
“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

2^e prototype

Eind 2021 heeft BHE een volledig vernieuwd conceptontwerp bevroren voor het bouwen van een eerste voorloper van het uiteindelijk product (intern genaamd de BH0.1). Dit prototype was zo opgebouwd dat gemakkelijk en snel verschillende configuraties van componenten gewisseld konden worden.

Uit de testen met dit prototype kwam naar voren dat er nog verborgen thermische verliezen waren die nog onvoldoende werden begrepen. In het ontwerp bleek er een mismatch te zijn in de Driver/Loop verbinding en kwamen er onvoorziene verliezen aan het licht. Daarom is besloten extra in te zetten op verdere componentontwikkeling en componentverbetering (zie volgende onderdeel). Daartoe is uitvoerig werk verricht op het vlak van modellering, identificatie van de mechanismes achter de verliezen en het uitvoeren van deelttesten op component niveau.

De componenten en hun varianten daarop zijn steeds getest binnen deze versie.



Figuur 8: 2e Prototype (BH0,1) geassembleerd in zijn testomgeving

Tevens is er in 2023 gewerkt aan de ontwikkeling en aansluiting van een nieuwe regelaar/elektronische aansturing van de warmtepomp. Daarmee is deze mijlpaal eind 2023 bereikt.

Component ontwikkeling TA Module

In de eerste fase van het project zijn een aantal onderdelen van BlueHeart's warmtepomp module verder geoptimaliseerd. Dit is het resultaat van de samenwerking tussen TNO Petten en BlueHeart. De meeste aandacht is aanvankelijk uitgegaan naar de interne warmtewisselaars, de aandrijvende zuigers en zuigerafdichting van het systeem. De grote uitdaging hierin was het vinden van de juiste fabricage- en productietechnieken die geschikt zijn voor massaproductie zonder (te veel) in te leveren op de mechanische/fysische eisen die vanuit het product nodig zijn. Hierbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan een zeer fijnmazige warmtewisselaar voor de beste

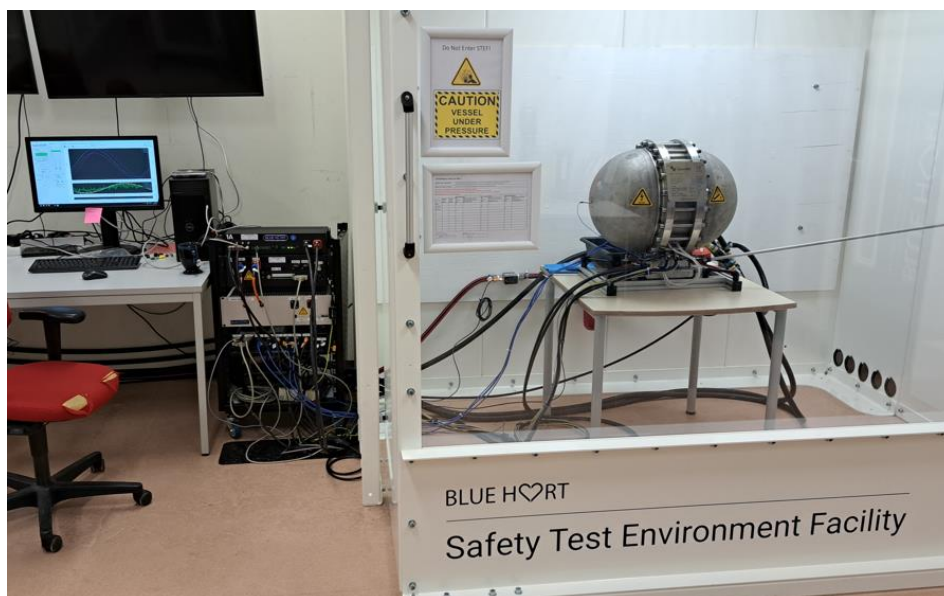
“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

warmteoverdracht. Tegelijkertijd moet deze bestand zijn tegen een hoge druk. De fijnmazigheid sluit maar ten dele aan op de bestaande productiemethoden en vereiste dus aan twee kanten (fabrikant en wetenschap) creativiteit en innovatie.

Optimalisatie en karakterisering overige componenten m.b.t. test benches

Al snel bleek op basis van eerste testen met het BH0.1 prototype (zie vorige onderdeel) dat er veel intensiever en diepgaander op de componentontwikkeling van de componenten van de Thermo-akoestische Warmtepomp moest worden ingezet dan voorzien bij aanvang van het project. In het BHE testlaboratorium zijn speciale testfaciliteiten ontwikkeld en gebouwd om het testen van componentniveau tot aan het niveau van de warmtepomp te ondersteunen. Deze testbanken maken modelverificatie mogelijk naast validatie van de prestaties van geassembleerde prototypes.

Er is door BlueHeart een driver-testbank ontwikkeld, waarmee een scala aan onderdelen getest konden worden. Dit maakte het mogelijk om de verliezen te karakteriseren, controllers te testen en de prestaties van verschillende configuraties te vergelijken.



Figuur 9: De warmtepomp in de veiligheidstestomgeving

Modellering en validatie

Een verzameling van modellen, intern bij BlueHeart bekend als de "Detailed Energy Design Suite", wordt gebruikt om de COP (Coefficient Of Performance) van de BH-eenheid te berekenen voor verschillende bedrijfsomstandigheden en configuraties. Aanvullende Finite Element Analysis (FEA) en Computational Fluid Dynamics (CFD) gebaseerde modellen worden gebruikt om de Detailed Energy Design Suite te ondersteunen en om prestatiekenmerken op componentniveau te modelleren.

Op basis van een intensief programma met experimenten op zowel component-niveau als met geïntegreerde configuraties met het ontwikkelde prototype, gecombineerd met verdere verfijning van de modellen, heeft BlueHeart in de periode 2022 en 2023 de componenten (inclusief

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

verschillende versies ervan) kunnen karakteriseren en daarmee goed inzicht verkrijgen in de mechanismes die de prestaties bepalen. Middels juiste plaatsing van sensoren kon data worden verzameld om de modellen te valideren. TNO heeft als voorbeeld met de ontwikkeling van de warmtewisselaar ondersteund met experimentele validatietesten en modellering van het warmtewisselaar model, om te komen tot optimale prestaties van een warmtewisselaar voor de BH engine. Daarbij is een significant verbeterde warmteoverdracht bereikt. Ook voor het (gepatenteerde) onderdeel booster membraan is intensief met TNO samengewerkt om tot goede gevalideerde modellering te komen. Geconcludeerd werd dat de implementatie van een membraan met de juiste specificaties in een optimaal ontworpen thermo-akoestisch systeem resulteert in een versterking van het thermisch vermogen met ten minste een factor twee, afhankelijk van het gebruikte systeem en tevens de COP aanzienlijk verhoogt.

Testresultaten

De efficiency (COP) van het systeem is gemeten bij verschillende temperatuur ranges tot en met de hoogste temperatuur van 80°C. De interne COP van het systeem is gedurende het project tot een COP van meer dan 3.0 bij een temperatuurlift van 25K. Dit zijn de testresultaten die eind 2023 waren gerealiseerd. Tevens laat het zien dat een TA-WP een hoger rendement (COP) heeft bij hogere afgiftetemperaturen dan compressiewarmtepompen en dat het systeem minder gevoelig is voor “Flow” verschillen in leidingen. Vooral dat eerste maakt de TA-WP zeer geschikt voor de renovatie markt.

Met de verkregen inzichten en testen die zijn uitgevoerd aan de individuele componenten heeft BlueHeart de kennis in dit project kunnen verwerven om de verliezen in toekomstige ontwikkeling aanzienlijk te verminderen. Voor de implementatie daarvan zijn aanpassingen van deelontwerpen van de machine, hetgeen in dit project niet meer kon worden gerealiseerd vanwege budget en tijdsbeperkingen.

De 2^e milestone “Prototype marktproduct TA unit getest” kon daardoor niet meer getest worden in de test faciliteit van TNO Delft. In plaats daarvan zijn de testen bij BHE uitgevoerd in het lab, in nauwe samenwerking met Remeha en TNO . Door TNO is in dit project gefocust op het ontwikkelen en klaar maken van een integraal dynamisch model van de warmtepomp met een dry-cooler als warmtebron in een woning, dat in later stadium kan worden gebruikt voor de beoordeling van de validatietesten in de emulator.

De 3^e milestone “Prototype specificaties gevalideerd” is nog niet bereikt in dit project, voor zover het de beoogde prestaties betreft. Wel zijn alle inzichten opgedaan en alle voorbereidingen getroffen om binnen de vervolgprojecten alsnog de beoogde prestaties te realiseren. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een nieuw prototype, met veel hogere efficiency, dat in 2024 buiten dit project is ontwikkeld.

Vervolgactiviteiten in opvolgende projecten

De vervolgactiviteiten zijn opgepakt binnen een nieuw project dat is gestart vanaf januari 2024, getiteld “MOOI 2022 – SWAT”. Daarin worden de verbeteringen in de BH unit die in dit project zijn geïdentificeerd daadwerkelijk uitgewerkt, gerealiseerd en vervolgens in een aantal pilots getest. De validatie met dynamische testen samen met TNO, zoals oorspronkelijk in dit project beoogd, zijn

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

onderbracht in het vervolgproject “PPS – NextGen WP”, waar ook de volledige integratie en samenwerking met OEM (Original Equipment Manufacturer) partijen wordt meegenomen, en dat ook ondersteunend is voor de pilots bij Woningbouwcorporaties binnen het SWAT project.

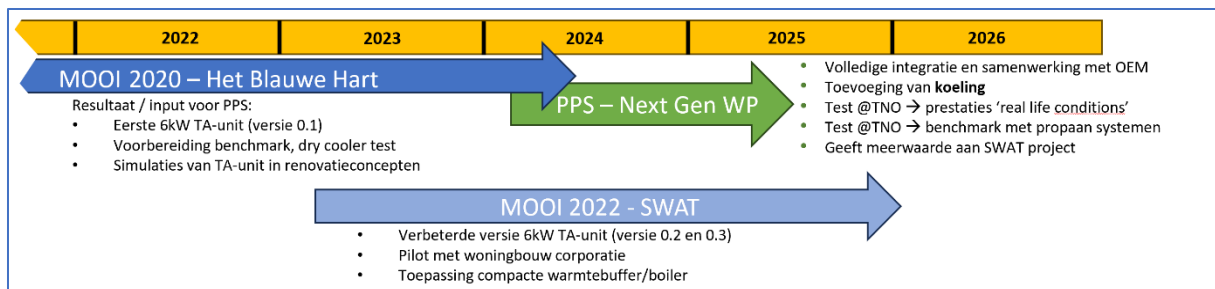


Figure 10: Relatie tussen de diverse projecten

Binnen Blueheart is in de jaren 2023 en 2024 een forse groei van medewerkers gerealiseerd, samen met het aantrekken van extra kapitaal, waarmee de ontwikkelactiviteiten nog steviger aan kunnen worden gezet en om haar beoogde technische en commerciële doelstellingen te realiseren.

BlueHeart heeft in Q3 2024 een eerste Thermo-akoestische warmtepomp in een huis geplaatst. In het eerste halfjaar van 2025 zal de eerste pilot plaatsvinden in een woning van een woningbouw corporatie. Ondanks dat er nu nog veel details uitgewerkt worden wordt verwacht dat vanaf 2026 het product klaar is voor de markt en meerdere warmtepomp fabrikanten de thermo-akoestische engine kunnen toepassen in verschillende toepassingen met installateurs en hun klanten.

Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

Het eindproduct van het project is een alternatief voor het huidige koudemiddelcircuit in compressie warmtepompen op basis van thermo akoestiek. De eigenschappen van thermo akoestiek geven een warmtepomp welke zeer flexibel is in het temperatuur werkingsgebied, met een hoger rendement bij hogere afgifte temperaturen, dat stil is en dat geen koudemiddelen bevat met een Greenhouse Warming Potential. Door de (schaal) van de aanpak is het product tevens kostprijs technisch concurrerend.

Door deze techniek beschikbaar te krijgen voor renovatieconcepten, met zijn duidelijke voordelen t.o.v. bestaande oplossingen, zijn nieuwe of aangepaste renovatieconcepten mogelijk die de (energie-)renovatie van Nederlandse woningen kan versnellen en verbeteren.

Spin off binnen en buiten de sector

Er is geen spin off binnen dit project te genereren. De TA-techniek zelf (van de Thermo-akoestische Warmtepomp) is een spin off van voormalig ECN (nu TNO).

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

In de toekomst lijkt koeling (het vervangen van split unit Airco's doormiddel van Thermo-akoestiek) een hele goede spin-off. De markt heeft ingezien dat er een vervangende oplossing moet komen voor de koudemiddelen systemen die nu op de markt zijn.

Conclusies

In dit project is aangetoond dat er in de markt behoefte is aan een thermo-akoestische warmtepomp voor renovatie concepten en dat een thermo-akoestische warmtepomp voor woningen een toevoeging is naast Propaan warmtepompen. Tevens is aangetoond en afgestemd met de markt wat de specificaties moeten zijn van de thermo-akoestische motor van BlueHeart. Het toont tevens aan dat deze producteisen ook gemaakt kunnen worden.

Er is op vele onderdelen van de thermo-akoestisch motor heel veel kennis opgedaan, wat niet alleen toepasbaar is voor warmtepompen met propaan als koudemiddel in renovatie concepten maar ook voor industriële toepassingen.

Dit, ondanks dat is gebleken dat het ontwikkelen van een thermo-akoestische motor echte "deeptech" is, waar tijd, geld en het juiste (internationale)team voor nodig is. In dit project de basis gelegd en genoeg vertrouwen gewekt binnen de warmtepompmarkt en de financiële wereld om het project verder te brengen.

Door het project zijn er in heel Europa goede relaties opgebouwd met leveranciers uit de maak industrie om de thermo-akoestische motor voor een goede prijs in de EU te kunnen bouwen. Grote multinationals zijn nu aangehaakt.

Daarnaast zijn er zeer goede relaties en samenwerkingen/klant relaties opgestart met meerdere warmtepomp fabrikanten in de EU en de eerste relaties gelegd met fabrikanten buiten de EU.

De interesse van investeerders is gegroeid, niet alleen "Seed" investeerders die al mee deden zijn nu geïnteresseerd, maar ook de institutionele investeringsfondsen beginnen nu te investeren.

Overzicht van openbare publicaties over het project

TNO heeft een paper gepubliceerd n.a.v. de werkzaamheden in dit project:

- M. E. H. Tijani, J. A. Lycklama a Nijeholt, and S. Spoelstra" Amplifying the power density in thermoacoustic systems using a spring component," The Journal of the Acoustical Society of America (Vol.156, Issue 1).

BlueHeart heeft gedurende het project de volgende activiteiten t.a.v. kennisverspreiding uitgevoerd:

- Veel contacten met toekomstige klanten, installateurs, toeleveranciers en andere stakeholders om ze kennis te laten maken met het BHE product en met de unique selling points die het BHE heeft. Deze contacten waren vaak wederkerig, BlueHeart heeft ook veel kennis opgedaan van deze partijen die is meegenomen in het project. Ook met partijen voor industriële toepassing zijn eerste contacten gelegd.
- YouTube:

"Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."

- <https://www.youtube.com/watch?v=Wa4rLs7u1bQ> . “Blue Heart: a new technology to generate heat and cold”. Published on Jan 10 2022, received 24.000 views by Oct 2024).
- https://www.youtube.com/watch?v=Ts_FqkOQuog. “Neue Wärmepumpe: effizienter und günstiger!”. Published on Jan 13 2023. 172.000 views
- Press releases, magazine:
 - Worldpump.com <https://www.worldpumps.com/hvac/news/new-heat-pump-offers-increased-sustainability/>
 - 12 juli 2021- Worldpump.com <https://www.worldpumps.com/hvac/features/thermoacoustic-heat-pump-from-blue-heart-energy/>
 - 21 januari 2021 - Innovation Origins https://innovationorigins.com/en/new-heat-pump-makes-sustainable-heating-simpler-and-cheaper/?utm_source=dlvr.it&utm_medium=linkedin
 - 9 juni 2022 - TVVL Magazine <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/techtransfer/spin-offs/blue-heart-energy-nieuw-type-warmtepomp/>
 - 29 juni 2022 - www.pv-magazine.com <https://www.pv-magazine.com/2022/06/29/thermo-acoustic-heat-pump-for-residential-applications/>
 - 15 Apr 2022 – Change Inc. <https://www.change.inc/energie/is-de-thermo-akoestische-warmtepomp-de-oplossing-voor-de-warmtetransitie-38091>
 - 10 oktober 2022 – Tweakers <https://tweakers.net/reviews/10580/de-warmtepomp-van-de-toekomst-akoestisch-drukvat-verwarmt-met-geluidsgolven.html>
 - 9 Nov 2022 – Gawalo <https://www.gawalo.nl/12825/een-blauw-hart-voor-elke-warmtepomp>
 - 15 december 2022: Lautsprecher statt Kompressor. In de duitse versie van MIT Technology Review is aandacht aan Blueheart besteed. <https://www.heise.de/hintergrund/Lautsprecher-statt-Kompressor-Waermepumpen-heizen-mit-Schall-7394943.html>
- BHE is lid van de European Heat Pump Association (EHPA).
 - Deelname aan het EHPA Forum. Brussel, 28 september 2022
 - Presentatie voor het EHPA Research and Innovation Committee, 17 november 2022
- Heeft op een aantal belangrijke beurzen gestaan:
 - Mei 2022. Hannover Messe, als onderdeel van de Dutch Paviljon. Dit is de grootste internationale tech beurs in de EU.
 - Van 5-6 Maart 2023. ISH Frankfurt: beurs voor koeling, airconditioning, ventilatie en warmtepompen. Wij hebben deze beurs als bezoeker bezocht.

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

- CES in Las Vegas in 2022. BlueHeart heeft in de Dutch Paviljon een stand gehad.

Voor meer informatie

Meer informatie kan verkregen worden via de website www.blueheartenergy.com of door contact op te nemen met contactbhe@blueheartenergy.com

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en voor zover van toepassing, [het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”