

Eindrapport TSE Subsidie

Project In twee stappen naar een aardgasvrije en comfortabele Nederlandse woonomgeving



Onderzoek voor RVO en EZK

Colofon

Koudekerk aan den Rijn, Maart 2023

Jack de Mooij Enzavu BV, Novu Affectu BV.

Dit onderzoek maakt deel uit van het project “In twee stappen naar een aardgasvrije en comfortabele Nederlandse woonomgeving”, gefinancierd door het programma “TSE gebouwde omgeving”. RVO project code: TGOM20QZJ6u.

Dit rapport mag worden geciteerd en verspreid zonder toestemming van de auteurs.



Inhoud

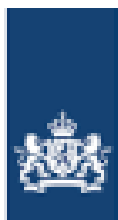
Voorwoord	3
Inleiding	4
Deelnemers consortium	5
Doelstelling	6
Methode van aanpak	9
Het Koudemiddel	10
PPE omkasting	11
De ontwikkeling van de Hydromodule	12
Liquidatie Enzavu	14
Testen Hanzehogeschool	15
Inzet resterend budget	17
Airco-hybride toepassing	18



Voorwoord

De Rijksdienst voor Ondernemers (RVO) en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) willen de energie- en warmtetransitie van Nederland ondersteunen. Via de Topsector Energie (TSE) selecteren en steunen RVO en EZK daarom diverse initiatieven die het voor vastgoedeigenaren nu en in de toekomst, makkelijker en goedkoper maken om over te stappen op een duurzaam verwarmingssysteem.

Deze uitgave is tot stand gekomen met financiële steun van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat



Inleiding

Voor u ligt het eindrapport van Enzavu als deelnemer aan het TSE project In twee stappen naar een aardgasvrije en comfortabele Nederlandse woonomgeving. In Nederland is de vraag naar alternatieven voor aardgasgebruik groot. Echter is het voor de woningeigenaar lastig om over te gaan tot deze duurzame investering in aardgasvrije systemen. Het in 1 keer overstappen van een bestaande aardgasgestookte woning naar een 100% aardgasvrije woning is een spannende stap. Deze stap gaat namelijk gepaard met hoge kosten en de uitkomst van het comfort in de woning is meestal onzeker. Zeker bij partijen met grote woning voorraden, zoals woningcorporaties, is men bang voor het scenario dat de bewoners achteraf gaan klagen over de gevolgen van deze maatregelen. Hierbij moet men denken aan klachten over de temperatuur in de woning, de hoeveelheid tapwater, comfort en de tegenvallende kosten van de energierekening. Het gevolg van bovenstaande is dat veel partijen besluiten om weinig of zelfs niets te doen. Met als gevolg dat de energietransitie die wij in Nederland van belang vinden, niet echt op gang komt.

Om snelheid in de transitie te brengen was de doelstelling van dit project de ontwikkeling van een warmtepompsysteem met volledige binnen opstelling dat eenvoudig van hybride naar 100% aardgasvrij om te bouwen is. Hiermee kunnen de woningen de eerste verduurzaming stap maken met een hybride systeem waarbij de gasboiler in eerste instantie een deel van de verwarming en tapwater vraag voor zijn rekening neemt. In een later stadium kan de woning eigenaar besluiten om de stap naar 100% gasloos te maken.

De Rijksdienst voor Ondernemers (RVO) en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) willen de energie- en warmtetransitie van Nederland ondersteunen. Via de Topsector Energie (TSE) selecteren en steunen RVO en EZK daarom diverse initiatieven die het voor vastgoedeigenaren nu en in de toekomst, makkelijker en goedkoper maken om over te stappen op een duurzaam verwarmingssysteem. In dit kader is subsidie verleend aan een consortium van partijen die met hun projectplan 'In twee stappen naar een aardgasvrije en comfortabele Nederlandse woonomgeving' technische en financiële oplossingen zoeken om vastgoedpartijen te helpen bij hun verduurzamingsopgave.

Deelnemers aan dit consortium zijn Novo Affectu, Eonic/FCTRE, Hanzehogeschool Groningen, Oudman Engineering en OC Autarkis. Samen werken de consortiumleden aan de ontwikkeling van een nieuw soort hybride warmtepompsysteem dat eenvoudig om te bouwen is van hybride naar een 100% aardgasvrije warmte oplossing.

De ontwikkeling van een warmtepomp zonder buiten-unit is uitgevoerd door projectpartner Enzavu.



Deelnemers consortium

Oudman Engineering



Doelstelling

Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische (lucht/water) warmtepomp met een gasgestookte Hr-ketel. Deze is goed toepasbaar in bestaande en nieuwe woningen. De flexibiliteit in de keuze van de energiebron voor hybride warmtepompen maakt deze systemen bij uitstek geschikt voor het leveren van ondersteunende diensten voor het energiesysteem. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden ten opzichte van de voordelen die een hybride warmtepomp al zonder meer heeft. Een hybride warmtepomp vormt op zichzelf al een goede oplossing voor het faciliteren van de energietransitie in de gebouwde omgeving.

In vergelijking met een gewone Cv-ketel kan de hybride warmtepomp mogelijk tot 100% CO₂-reductie in de gebouwde omgeving bereiken, als de elektriciteitsinzet (die circa 80% van de jaarlijkse warmtevraag dekt) duurzaam geproduceerd wordt en de gasinzet (circa 20% van de warmtevraag) komt uit biomassa-reststromen (groen gas).

Met een Cv-ketel kan dat niet omdat er (nu en in de toekomst) te weinig potentieel aan groen gas is om 100% van de warmtevraag in de gebouwde omgeving te dekken. In vergelijking met een volledig elektrische warmtepomp heeft de hybride warmtepomp diverse voordelen vooral bij toepassing in de bestaande woningvoorraad. Het warmtepompdeel is kleiner en er zijn minder aanpassingen aan de woning nodig, waardoor de totale investering lager is. Ook trekt de hybride warmtepomp minder elektrisch piekvermogen, waardoor het elektriciteitsnet minder zwaar belast wordt en netverzwaring minder snel nodig is. Tenslotte kan de hybride warmtepomp makkelijker 100% CO₂ reductie bereiken omdat in de winter gebruik kan worden gemaakt van opgeslagen groen gas. De elektrische warmtepomp moet in de winter en bij windstil weer terugvallen op elektriciteit uit centrales.

Door een systeem te ontwikkelen dat begint als een hybride systeem en later eenvoudig omgebouwd kan worden tot het 100% gasloos systeem wordt het voor eigenaren van grote woningvoorraden eenvoudiger om de eerste stap te maken. Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische (lucht/water) warmtepomp met een gasgestookte Hr-ketel en is goed toepasbaar in bestaande en nieuwe woningen.

Deze combinatie is met name in de landen met een uitgebreide gas-infrastructuur (zoals Nederland) een interessante optie om op korte termijn het energiegebruik in woningen te verlagen. De elektrisch aangedreven warmtepomp zorgt voor het overgrote deel (ca. 80%) van het jaar voor de benodigde ruimteverwarming (centrale verwarming – CV) met als hernieuwbare energiebron buitenlucht of ventilatielucht. Voor alleen de extreem koude dagen en het bij verwarmen van warm tapwater wordt de HR ketel nog ingeschakeld. Hiermee worden de sterke kanten van beide technologieën in één combinatie gebruikt en blijft het comfort behouden. Door een slimme inzet van elektriciteit en gas bij een hybride warmtepomp kan de betaalbaarheid en betrouwbaarheid van een duurzame energievoorziening op een eenvoudige manier gewaarborgd worden. Daarnaast is het mogelijk om bij een grootschalige toepassing van hybride warmtepompen, grote en kostbare uitbreidingen van elektriciteit netwerken te voorkomen.

De energieprestaties van de Nederlandse woningvoorraad worden bepaald door een aantal specifieke woningtypes. Oudere vrijstaande woningen en twee-onder-een-kapwoningen hebben het hoogste energieverbruik.

Rijwoningen en meergezinswoningen van voor 1990 zijn het meest talrijk. De oudere rijwoningen dragen het meest bij aan het totale energieverbruik. Deze woningen lenen zich bij uitstek voor een upgrade met een hybride warmtepomp.

Het Energieakkoord streeft naar een energie neutrale gebouwde omgeving in 2050. De kenmerken van de woning waarin een warmtepomp wordt geïnstalleerd, bepalen sterk de keuze voor het type warmtepomp en de benodigde capaciteit. Eigenschappen van de woning en geplande aanpassingen aan de woning zijn dus van groot belang bij de keuze voor de warmtepomp.

De keuze voor het type warmtepomp en de capaciteit is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de grootte van de woning, de mate van isolatie en luchtdichtheid, de warmtevraag van de gebruiker (met name voor tapwater) en het type afgiftesysteem, bijvoorbeeld hoog- of laagtemperatuurverwarming en de verhouding tussen tapwater en verwarming van de ruimte.

Er zijn twee soorten warmtepompen: de elektrische standalone warmtepomp met elektrische bijverwarming als back-up en de hybride warmtepomp, die bestaat uit een elektrische warmtepomp in combinatie met een gasgestookte installatie, als add-on oplossing bij een Hr-ketel of in één apparaat.

De standalone warmtepomp heeft een hogere capaciteit en kan de gehele woning gedurende het grootste deel van het jaar van warmte voorzien, terwijl de hybride warmtepomp een lagere capaciteit heeft en alleen op dagen met een lagere warmtevraag de woning volledig van warmte kan voorzien. Op dagen met een hogere warmtevraag zorgt de gasgestookte installatie voor de resterende warmte. Beide typen warmtepompen zijn geschikt als oplossing voor woningen die voor 1992 zijn gebouwd, waarvan 43% rijwoningen, 25% vrijstaand of twee-onder-een-kap en 32% meergezinswoningen zijn

Het vermogen van een warmtepomp wordt uitgedrukt in joules per seconde of watt en is de hoeveelheid energie die de warmtepomp op een bepaald moment gebruikt. Het verbruikte vermogen van een warmtepomp is de hoeveelheid elektriciteit die de warmtepomp verbruikt, terwijl het geleverde vermogen de hoeveelheid warmte is die de warmtepomp aan de omgeving levert.

Een belangrijke maatstaf voor de efficiëntie van een warmtepomp is de COP, wat staat voor de verhouding tussen het geleverde vermogen (warmte) en het verbruikte vermogen (elektriciteit). Als de COP bijvoorbeeld 6 is, betekent dit dat de warmtepomp 5 kW aan energie uit de omgeving onttrekt en 1 kW aan elektrische energie verbruikt voor de compressor. Hierdoor kan de warmtepomp in totaal 6 kW aan warmte aan de woning leveren. De gemiddelde warmtevraag voor ruimteverwarming van een bestaande woning in Nederland is circa 80 kWh/m². Bij niet geïsoleerde woningen kan de gemiddelde warmtevraag oplopen tot boven de 130 kWh/m². Bij zeer goed geïsoleerde nieuwbouw kan het gemiddelde onder de 30 kWh/m² komen.

De gemiddelde vloeroppervlakte van woningen, zonder ander gebruiksdoel als winkel of kantoor, bedraagt 120 vierkante meter. Op basis van bovenstaande cijfers betekent dit dat een gemiddelde bestaande woning in Nederland een warmtevraag heeft van 9.6 kW

Richtgetal verwarmingsvermogen Watt per m² gebruiksoppervlak (1)

Enzavu Warmtepomp	Richtgetal verwarmingsvermogen Watt per m ² gebruiksoppervlak								
	Bouwjaar huis	tot 1975	1975 - 1995	1995 - 1999	2000 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2018	2018 - 2020	2020 - X
Bouwnorm				2000 norm	RC5 (dak)	RC6 (dak)	RC7 (dak)	BENG	
Soort ventilatiesysteem									
WTW ventilatie		80	70	60	40	35	30	25	
CO2 gestuurde ventilatie		85	75	65	45	40	35	25	
Mechanische ventilatie	95	90	80	70	50	45	40	25	



Om het benodigde verwarmingsvermogen te bepalen volgt hieronder een rekenvoorbeeld:
Uitgangspunten: een -10 graden buitentemperatuur en een gewenste binnentemperatuur van 20 graden.

Om de juiste capaciteit te berekenen neemt men het aantal m² oppervlak x het richtgetal Watt per m² op basis van het bouwjaar uit bovenstaande tabel (1). (1 kW=1000 Watt)

In bovenstaande tabel (1) is ervan uitgegaan dat er geen extra isolatie is aangebracht na de bouw, zoals isolatie van gevel, dak, vloer of dubbelglas.

Is het doel hybride (dus niet volledig gasloos) dan is het advies om ca. 50% van de verwarmingsvraag per m² te nemen. Bij hybride verwarming is het minimale vermogen ca. 40 watt per m² (bij een huis uit 1975). In deze situatie kan men het grootste gedeelte van het jaar volledig duurzaam en gasloos verwarmen.

Op basis van bovenstaande is er voor de inzet van een hybride warmtepomp voor een gemiddelde woning 4.8 kW geleverd vermogen nodig. Namelijk 120m² x 40 watt per m². Om het benodigde verwarmingsvermogen te bepalen, kan men de oppervlakte van de woning vermenigvuldigen met het richtgetal Watt per m² op basis van het bouwjaar.

Voor hybride verwarming is het advies om ongeveer 50% van de verwarmingsvraag per m² te nemen, waarbij het minimale vermogen bij een huis uit 1975 ongeveer 40 watt per m² is. Voor een gemiddelde woning in Nederland is daarom een geleverd vermogen van ongeveer 4,8 kW nodig voor de inzet van een hybride warmtepomp.

Op basis van bovenstaande moet om een commercieel levensvatbare warmtepomp te ontwikkelen voldaan worden aan de hier boven genoemde cijfers. Voorafgaande aan de ontwikkeling van de nieuwe warmtepomp zonder buiten-unit werd een minimale SCOP van 4 en een minimaal vermogen van 4,5 kW als minimale eisen gesteld.



Methode van aanpak

Voor de ontwikkeling van de warmtepomp zonder buiten-unit heeft Enzavu ervoor gekozen om samen te werken met Hotjet en ing. Frank Houthoofd (Industrial Technology).

De IP-rechten van het nieuw te ontwikkelen product werden eigendom van Enzavu in ruil hiervoor zou Enzavu jaarlijks een bepaald vooraf gesteld minimum hoeveelheid warmtepompen afnemen. Dit aantal zou jaarlijks toenemen. Op deze wijze was het in productie nemen van de warmtepomp direct verzekerd. De ontwikkelingskosten zullen door Enzavu betaald worden. Bovenstaande werd contractueel tussen partijen vastgelegd.

In 2020 heeft Jack de Mooij van Enzavu en Huibert Baak in het kader van het vooronderzoek en de ontwerpfase meerdere malen een bezoek aan Tsjechië gebracht om het ontwerp en de keuzes voor de componenten van de warmtepomp in overleg te bepalen.

Het samenstellen van de componenten voor de warmtepomp was een uitdagende taak voor Enzavu en Industrial Technology. Bij het kiezen moesten zij rekening houden met verschillende factoren zoals de maximale warmtekracht, het geluidsniveau, de kosten en de duurzaamheid.

Vervolgens moesten de juiste regelingscomponenten (Siemens) worden geselecteerd om ervoor te zorgen dat de warmtepomp efficiënt werkt en de juiste temperatuur levert. Een belangrijke overweging hierbij was de mogelijkheid om de regeling te kunnen aanpassen aan verschillende omgevingsomstandigheden en belastingen. Daarnaast speelden de kosten van de regelingscomponenten ook een belangrijke rol in de besluitvorming.

Bij het kiezen van de warmtewisselaar werd gekeken naar factoren zoals de oppervlakte van de warmtewisselaar, de doorstroming van het water en de compatibiliteit met het gekozen koelmiddel. Het ontwerpen van de warmtewisselaar was een complex proces waarbij rekening moest worden gehouden met verschillende factoren zoals het optimaliseren van de warmtestromen, de positionering van de leidingen en het minimaliseren van de drukval.

Enzavu en Frank Houthoofd (Industrial Technology) moesten bij elke beslissing afwegingen maken tussen prestaties, duurzaamheid, kosten en compatibiliteit. Nadat de keuzes voor de componenten waren gemaakt kon er start worden gemaakt met de bouw van een eerste prototype.



Test regeling

De coronacrisis heeft een behoorlijke impact gehad op de keuze van de componenten voor de warmtepomp. De crisis zorgde ervoor dat veel fabrikanten en leveranciers hun productie en levering moesten aanpassen, waardoor sommige componenten slecht of niet leverbaar waren. Dit betekende dat er soms andere keuzes gemaakt moesten worden bij het samenstellen van de warmtepomp.

Het schrijven van de regeling voor de warmtepomp was een cruciaal onderdeel van het ontwikkelingsproces. Het was de taak van Industrial Technology om een regeling te ontwikkelen die zorgde voor een efficiënte werking van de warmtepomp en de verschillende componenten optimaal liet samenwerken.

Deze regeling moest ook rekening houden met de specifieke kenmerken van de warmtepomp en de verschillende omgevingsfactoren die van invloed zijn op de prestaties van de warmtepomp. Dit omvatte bijvoorbeeld de buitentemperatuur, de luchtvochtigheid en de watertemperatuur.

Eerst is er een analyse gemaakt van de werking van de warmtepomp en de verschillende componenten. Op basis van deze analyse heeft men een regeling ontwikkeld die rekening hield met de specifieke eigenschappen van de warmtepomp. Dit omvatte onder meer het instellen van de juiste compressor-snelheid, het regelen van de ventilatorsnelheid en het regelen van de watertemperatuur.

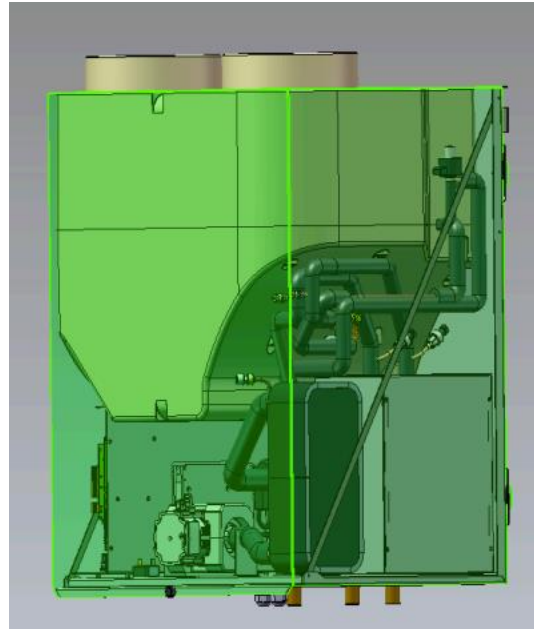
De coronacrisis zorgde voor vertragingen in de levering van sommige componenten. Dit betekende dat men soms alternatieve oplossingen moest vinden om ervoor te zorgen dat de regeling werkte met de beschikbare componenten.

Na het schrijven van de regeling werd deze in Tsjechië getest om te verzekeren dat de warmtepomp optimaal functioneerde. Hierbij werd gekeken naar zaken zoals de efficiëntie, de warmteafgifte en de temperatuurregeling. Eventuele problemen werden geïdentificeerd en verholpen, en de regeling werd geoptimaliseerd om de prestaties van de warmtepomp verder te verbeteren.

Het ontwikkelen van de regeling voor de warmtepomp was een belangrijk onderdeel van het ontwikkelingsproces. Door een regeling te ontwikkelen die rekening houdt met de specifieke kenmerken van de warmtepomp en de omgevingsfactoren, is er geprobeerd de warmtepomp zo efficiënt en optimaal te laten functioneren.

Het Koudemiddel

De keuze voor het koudemiddel R454c voor de nieuw te ontwikkelen warmtepomp zonder buitenunit werd niet zomaar gemaakt. Er is lang overleg geweest tussen Enzavu en ing. Frank Houthoofd over de mogelijkheden en de verschillende opties voor koudemiddelen die voldoen aan de F-gaswetgeving. Het koudemiddel R454c, ook bekend als Solstice L20, is een relatief nieuw koudemiddel dat steeds meer wordt gebruikt als vervanging voor oudere koudemiddelen die schadelijk zijn voor het milieu. Het koudemiddel heeft een lage GWP (Global Warming Potential) van



148, wat betekent dat het minder bijdraagt aan klimaatverandering dan oudere koudemiddelen zoals R410a.

Een van de voordelen van het gebruik van R454c in een warmtepomp is dat het koudemiddel efficiënter werkt dan oudere koudemiddelen. Dit betekent dat de warmtepomp minder energie verbruikt om dezelfde hoeveelheid warmte te produceren, waardoor de energiekosten lager zijn. Bovendien heeft R454c een hogere thermische stabiliteit dan sommige andere koudemiddelen, wat betekent dat het minder snel afbreekt bij hoge temperaturen en daardoor minder onderhoud vereist.

Een ander voordeel van R454c is dat het compatibel is met veel bestaande componenten in warmtepompen. Bovendien is het koudemiddel niet ontvlambaar, wat de veiligheid van het systeem ten goede komt.

Er zijn echter ook enkele nadelen verbonden aan het gebruik van R454c. Ten eerste is het koudemiddel duurder dan sommige oudere koudemiddelen, wat de initiële kosten van de warmtepomp kan verhogen. Bovendien kan het koudemiddel moeilijker te verkrijgen zijn dan oudere koudemiddelen, vooral tijdens periodes van schaarste zoals tijdens de coronacrisis.

Een ander nadeel van R454c is dat het een hogere druk heeft dan sommige oudere koudemiddelen, wat betekent dat de componenten in de warmtepomp hierop moeten zijn ontworpen en getest. Dit kan extra kosten met zich meebrengen voor het ontwerp en de fabricage van de warmtepomp. Al met al biedt R454c echter vele voordelen ten opzichte van oudere, schadelijkere koudemiddelen en kan het een goede keuze zijn voor een warmtepomp. Het is echter belangrijk om rekening te houden met de mogelijke nadelen en ervoor te zorgen dat het systeem goed is ontworpen en getest om veilig en efficiënt te werken met dit koudemiddel.

Na zorgvuldige afweging van de technische aspecten, milieuoverwegingen en kostenefficiëntie werd uiteindelijk besloten om voor R454c te kiezen als koudemiddel voor het eerste prototype van de warmtepomp.

PPE-omkasting

Bij de ontwikkeling van een warmtepomp met volledige binnen opstelling is het van groot belang om het geluidsniveau tot een minimum te reduceren. Om dit te bereiken is er gekozen om de omkasting volledig op te bouwen uit PPE, een speciaal product dat met 30% glasvezel is versterkt. Deze modificatie van PPE heeft geoptimaliseerde eigenschappen, waaronder een hoge stijfheid, hoge mechanische sterkte, hoge kruipweerstand, hoge druksterkte en een zeer hoge dimensiestabiliteit. Door de hoge dimensiestabiliteit, lage thermische uitzetting en hogere heat deflection temperature is deze met glas gevulde PPE bijzonder geschikt voor precisie- en elektrische isolerende onderdelen.

Door de leverancier van PPE-omkastingen werden er een aantal prototypen ontwikkeld. Het grootste probleem bij het maken van een juiste omkasting zat hem vooral in het maken van de juiste luchtaansluitingen. Als deze niet goed aansluiten, kan er condensvorming in de warmtepomp ontstaan, wat grote problemen kan veroorzaken. In de praktijk bleken de flexibele geïsoleerde leidingen niet goed aan te sluiten.

De ontwikkeling van de Hydromodule

Om te starten als een hybride warmtepomp oplossing die vervolgens eenvoudig omgebouwd kan worden naar een 100% gasloze installatie. Was het nodig om een hydromodule te ontwikkelen.

Een hydromodule is een apparaat dat warm water levert voor huishoudelijk gebruik. Deze bestaat uit een warmtewisselaar, pomp, expansievat en regeling. Het werkt samen met de warmtepomp om warm water te produceren.

De werking van de hydromodule begint bij de warmtepomp, die de warmte uit de buitenlucht haalt en deze gebruikt om water te verwarmen. Het opgewarmde water wordt vervolgens naar de hydromodule geleid, waar het wordt opgeslagen in een buffervat. Hier wordt het water op de gewenste temperatuur gehouden, totdat het wordt gebruikt voor huishoudelijke doeleinden, zoals douchen of afwassen.

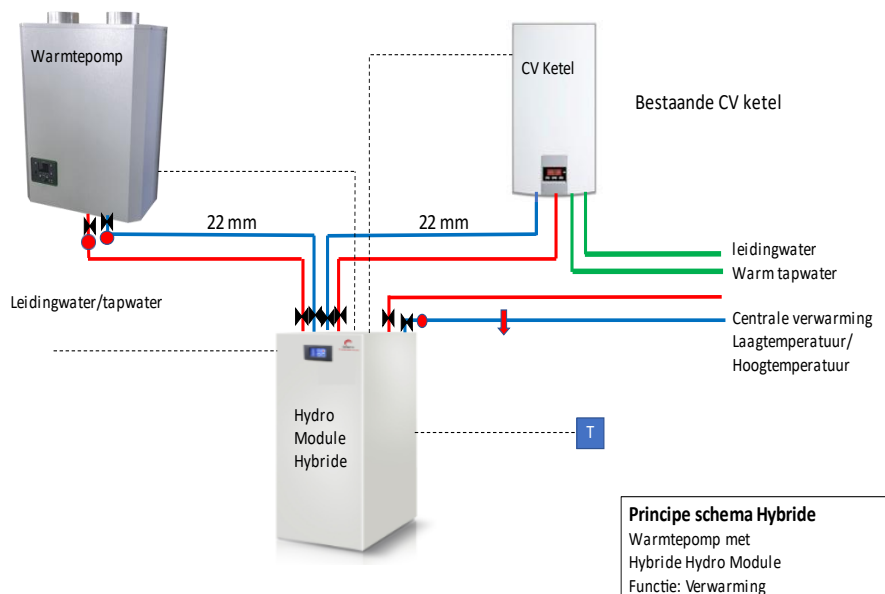
De hydromodule zorgt ervoor dat het warme water altijd beschikbaar is, zonder dat de warmtepomp continu hoeft te draaien. Dit verhoogt de efficiëntie en vermindert het energieverbruik. Bovendien maakt het gebruik van de hydromodule het mogelijk om de warmtepomp in te zetten voor het verwarmen van het huis en het produceren van warm water, wat het totale energieverbruik verder verlaagt.

De regeling van de hydromodule zorgt ervoor dat het water op de juiste temperatuur wordt gehouden en dat er voldoende water beschikbaar is. De pomp zorgt voor de circulatie van het water door de warmtewisselaar en het buffervat. Het expansievat zorgt ervoor dat er geen overdruk ontstaat in het systeem.

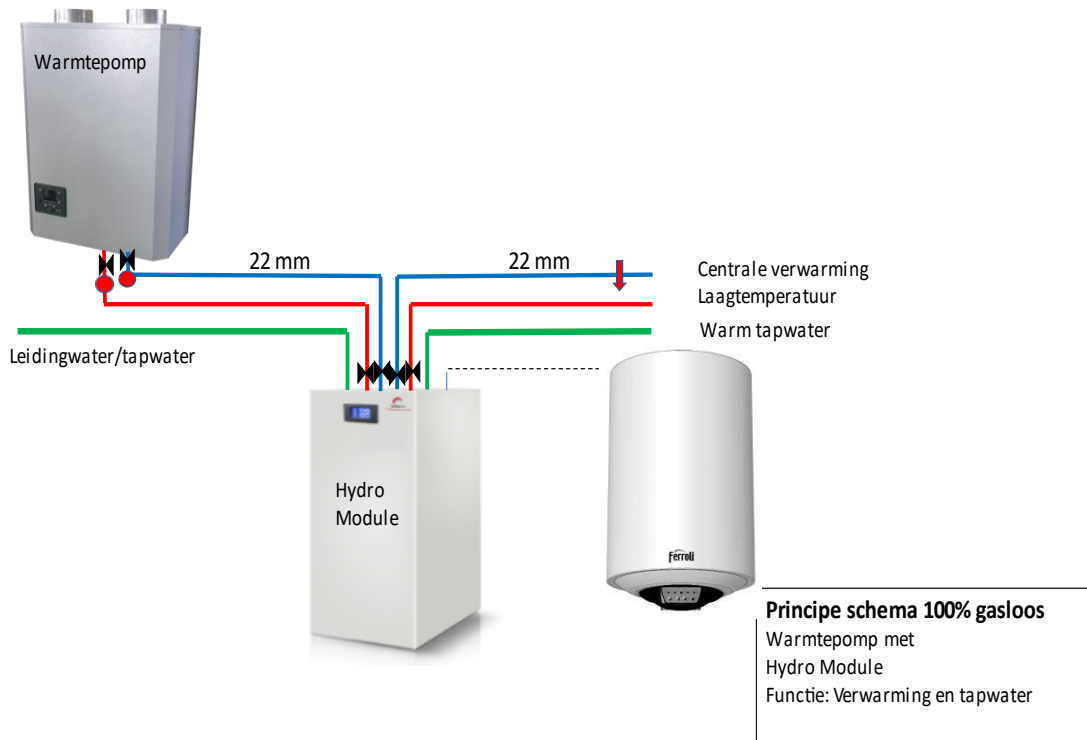
Het ontwerp van de hydromodule vereiste een zorgvuldige selectie van de juiste componenten.

De ontwikkeling van de Hydro module, die de mogelijkheid bood om eenvoudig over te stappen van een hybride opstelling naar een volledig gasloze opstelling was een belangrijk aspect van het subsidieproject.

De hydromodule kan in de eerste fase worden gebruikt als onderdeel van een hybride systeem.



Het is een later stadium mogelijk om dit systeem uit te breiden met een extra buffervat, waardoor het eenvoudig omgezet kan worden naar een 100% gasloze installatie.



In deze nieuwe configuratie kan de warmtepomp zowel de warmte- als de tapwatervraag leveren.

De overgang van een hybride naar een 100% gasloos systeem vereist een regeling die door TCB speciaal voor deze hydromodule ontwikkeld is.

Deze regeling kan eenvoudig geüpdatet worden om aan de nieuwe eisen te voldoen. Dankzij deze hydromodule kunnen gebruikers op een flexibele en duurzame manier overstappen van een hybride naar een volledig gasloos systeem, zonder dat hierbij grote aanpassingen nodig zijn.

Liquidatie Enzavu

De impact van de coronacrisis op Enzavu was groot. Als jong bedrijf kwam men niet in aanmerking voor de Corona steunmaatregelen en de inkomsten vielen in deze periode volledig weg. Dit zorgde voor financiële problemen die onoverkomelijk werden. Na grondig overleg, werd daarom besloten om de BV te liquideren.

Voor de liquidatie werd deze aangekondigd in een nationaal dagblad waarbij aan partijen de kans werd gegeven om hun eventuele vorderingen kenbaar te maken. Na het verstrijken van deze periode werd de BV op 25-05-2021 officieel uitgeschreven uit het KVK-register. Voorafgaande aan deze uitschrijving is er uitvoerig contact geweest met het RVO over de mogelijkheden om het lopende project toch voort te zetten.

Uiteindelijk is er in overleg met het RVO voor gekozen om het project voort te zetten door een nieuw op te richten BV (Novo Affectu), deze zal onder eigen naam en eigen verantwoordelijkheid het project voort te zetten. Het verzoek hiervoor werden ingediend op 24-05-2021. Omdat er een reactie van het RVO uitbleef is er op 07-01-2022 nogmaals een verzoek ingediend.

Het RVO heeft uiteindelijk op 29-03-2022 een positief besluit genomen om het project met deze nieuwe BV onder de hierboven genoemde voorwaarden als nieuwe penvoerder voort te zetten. Hiermee werd het gedeelte van het project dat door Enzavu is uitgevoerd van af het moment van de liquidatie met terugwerkende kracht afgesloten.

Gedurende de tussenliggende periode zijn de leden van het consortium, met de verwachting dat de uiteindelijke beslissing positief zou zijn, doorgedaan met hun werkzaamheden.



Test Hanzehogeschool Groningen

De testresultaten (zie hieronder) van het eerste prototype van de warmtepomp zonder buiten-unit, die werd getest door het Heat House in Groningen, vielen tegen.



Het maximale warmtevermogen bij continubedrijf (inclusief ontdooiing) is 2,92 kW bij een omgevingstemperatuur van 7°C, 85% RV, 35/30°C watertemperatuur en een compressorsnelheid van 100 Hz. Bij 2°C zou dit rond de 2,5 kW zijn

- Afgezien van de compressor, lijken het luchtsysteem (verdamer en ventilator) de prestaties het meest te beperken. Dit komt tot uiting in hoge temperatuurdalingen in de verdamer, verminderde luchtstroom door ijsophoping en variabel warmteoverdrachtscoëfficiënt in relatie tot luchtstroom watercondensatie en ijsophoping.



Test prototype Groningen

- De COP is bevredigend (4,3) bij lage compressorsnelheid (35 Hz) en hoge omgevingstemperatuur (7°C). Wanneer de warmtepomp echter veel vermogen moet leveren (bijvoorbeeld bij 2°C omgevingstemperatuur en 85 Hz), is de COP slechts 3,0 (bij 2,3 kW en 35/30°C).

Dit zou mogelijk niet aantrekkelijk zijn op de markt. Ter vergelijking: bij het leveren van water van 35/30°C zou een commercieel verkrijgbare buitenmonoblock warmtepomp 5,0 kW produceren bij COP = 5,08 bij 7°C en 4,8 kW bij COP=3,369 bij dezelfde omgevingstemperatuur.

Deze duidelijk superieure prestaties roepen twijfels op over de levensvatbaarheid van dit indoor mono block concept. Het veranderen van het luchtzijdige ontwerp en de integratie ervan met de schoorsteen (luchtinlaat en -uitlaat) zou potentieel kunnen bieden op de markt.

De prestaties van de warmtepomp voldeden niet aan de vooraf gestelde doelen voor COP's en geleverde kW's, waardoor deze niet gebruikt kon worden voor de doelstelling van het project.

Met de prestaties van het prototype waren er voor een gasloze woning twee warmtepompen nodig, wat te duur en te ruimte-intensief zou zijn. Bovendien was er het probleem van het aanzienlijke geluid en de grote lucht aan- en afvoer, waardoor de warmtepomp altijd in een aparte installatieruimte zou moeten worden geplaatst, deze ruimte ontbreekt vaak.

Door verschillende aanpassingen zoals andere compressoren en warmtewisselaars en het verbeteren van de sensoren en het gebruik van de data-acquisitie. Is er na de testfase geprobeerd om de prestaties te verbeteren. Helaas leverde dit niet het gewenste resultaat op. Er werd besloten om niet door te gaan met verdere aanpassingen van het huidige prototype.

Naast de technische uitdagingen waren er ook andere factoren die meewogen in deze beslissing.

Leveringsproblemen op de wereldmarkt maakten het zeer moeilijk om de benodigde componenten voor verbeteringen aan het huidige prototype te verkrijgen, terwijl het budget van de subsidie niet meer toereikend was.

Bovendien kondigde Ito Daalderop aan dat ze de Vincent op de markt zouden brengen, een vergelijkbare warmtepomp zonder buiten-unit. Het is onzeker of de Vincent wel de benodigde COP's en vermogen kan leveren, maar vanwege de slagkracht van Ito Daalderop zou een kleine en onbekende speler in de markt deze concurrentiestrijd niet kunnen winnen. Om deze redenen werd besloten om niet door te gaan op de ingeslagen weg met de warmtepomp met volledige binnen opstelling. Door Enzavu is er contact gezocht met Ito Daalderop, er is aangeboden dat zij de testresultaten zouden kunnen gebruiken voor de doorontwikkeling van de Vincent. Zij hebben aangegeven dat ze hier geen gebruik van wilde maken. Als reden werd gegeven dat zij zelf met hun eigen subsidieproject bezig waren en dat ze deze niet door elkaar wilde laten lopen.

Dankzij het subsidiegeld heeft Enzavu de mogelijkheid gehad om een innovatief warmtepomp systeem te ontwikkelen en te testen. Hierbij zijn enkele uitdagingen naar voren gekomen, zoals de beperkte beschikbaarheid van componenten en het gebruik van het koudemiddel R454C. Door deze uitdagingen aan te gaan, heeft Enzavu veel kennis opgedaan die van waarde kan zijn bij toekomstige ontwikkelingen in de warmtepompindustrie. Om tot het vooraf gewenste resultaat (COP en aantal kW's) te komen was het resterende budget niet toereikend. Hiervoor is de bouw van meerdere prototypen van de warmtepomp nodig. In de aanvraag van de subsidie was dit projectrisico door Enzavu reeds meegenomen.

Na aanleiding van de testresultaten van het 1^{ste} prototype zijn er een aantal aanbevelingen gedaan voor het verbeteren van de prestaties van de warmtepomp. In een vervolg project zouden deze aanpassingen alsnog door gevoerd kunnen worden.

Hoewel de prestaties van de warmtepomp tegenvielen, zijn er wel belangrijke stappen gezet.

Het is belangrijk om te benadrukken dat innovatie altijd gepaard gaat met uitdagingen en dat niet alle projecten meteen succesvol zijn. Door deze uitdagingen aan te gaan en te leren van de

COP + geleverde kW's

Table 3.1 – Average heat power and COP of the full operative cycle (top) and with "clean" evaporator (bottom) at various ambient temperatures (°C) and compressor speeds, at 35/30°C water temperature and standard fan speeds (see Table 2.1).

Heat power [kW] full operative cycle							COP [-] full operative cycle						
temp	Compressor speed [Hz]						temp	Compressor speed [Hz]					
	35	48	60	73	85	100		35	48	60	73	85	100
-7	0,79		1,32		1,85		2,88		2,63		2,53		
2	0,94		1,81		2,31		3,32		3,22		3,00		
3			1,76						3,36				
7	1,23	1,72	2,13	2,25	2,68	2,92	4,33	4,12	3,89	3,56	3,48	3,12	

Heat power [kW] frost class=1							COP [-] frost class=1						
temp	Compressor speed [Hz]						temp	Compressor speed [Hz]					
	35	48	60	73	85	100		35	48	60	73	85	100
-7	0,79		1,47	1,80	2,09		2,89		2,83	2,75	2,63		
2	1,06		1,94		2,69		3,82		3,63		3,30		
3			2,02						3,75				
7	1,23	1,72	2,13	2,53	2,96	3,54	4,33	4,12	3,91	3,66	3,58	3,36	



uitkomsten van de uitgebreide testfase, kan er echter wel waardevolle kennis worden opgedaan die van pas kan komen bij toekomstige ontwikkelingen van soortgelijke warmtepompen.

Het vooraf opgestelde werkplan is een belangrijke stap bij het uitvoeren van projecten en het behalen van doelen. Het werkplan geeft een overzicht van de taken die moeten worden uitgevoerd, de planning, de verantwoordelijkheden en de middelen die nodig zijn om het project tot een succesvol einde te brengen. Hoewel het werkplan een solide basis vormde voor het project hebben we geconstateerd dat de testresultaten van het prototype niet aan onze verwachtingen voldeden en te kort schoot in prestaties.

Hierdoor konden bepaalde werkzaamheden van de deelnemers niet uitgevoerd worden. Deze waren het niet afronden van de digitale Twin onderzoek en modellering en regellogica door Dirk Kurstjens van de Hanzehogeschool Groningen en het verbeteren van de aanzuiglucht voorverwarmer door Rene Oudman.

Inzet resterend budget

Op basis van bovenstaande heeft het consortium besloten dat het beter was om het overgebleven budget in te zetten voor het testen en verbeteren van een oplossing die eenvoudig en zonder grote investeringen ingezet kan worden in de bestaande woningvoorraad.

Hiervoor is een wijzigingsverzoek bij RVO ingediend.

Een voordeel van de nieuwe aanpak is dat deze bij de oorspronkelijke doelstelling van de subsidieverlening blijft. De subsidie was namelijk bedoeld om de overstap naar een duurzame energievoorziening voor de bestaande woningvoorraad te stimuleren. Door te kiezen voor een hybride systeem met een lucht/lucht warmtepomp waarbij geleidelijk wordt overgestapt naar een 100% gasloze oplossing, wordt er alsnog aan de doelstellingen van de subsidieverstreking voldaan.

Hierdoor blijft de subsidie haar waarde behouden en wordt er op een efficiënte manier gebruik gemaakt van de beschikbare middelen. Deze geleidelijke overgang, met als 1e stap het plaatsen van een hybride lucht/lucht warmtepomp biedt voor de eindgebruiker de mogelijkheid om te leren van eventuele knelpunten en deze op te lossen voordat er definitief wordt overgestapt naar een gasloze oplossing.

Al met al biedt de nieuwe aanpak dus een gestructureerde en verantwoorde manier om de energietransitie te realiseren en te voldoen aan de oorspronkelijke doelstellingen van de subsidieverlening.

Door eerst te kiezen voor een hybride systeem wordt er geleidelijk overgestapt naar een duurzame energievoorziening, waarbij zowel de betrouwbaarheid als de betaalbaarheid van de energievoorziening gewaarborgd blijft.

Binnen het consortium staat het ontwikkelen en testen van het integrale regelsysteem (voor airco in combinatie met ketel) centraal (stap1). Voor stap 2 (combinatie van lucht/lucht warmtepomp in combinatie met een lucht/water pomp is het belangrijk dat de warmtepomp met een goede regeling een basis temperatuur geeft aan de woning, met de lucht/lucht warmtepomp kan er dan op bepaalde moment een extra boost worden gegeven.

De genoemde regeling voor de warmtepomp is in de praktijk, in een bestaande woning, door Oudman Engineering, getest. De resultaten zijn zeer hoopgevend. In combinatie met een lucht/lucht

warmtepomp is het mogelijk om het aantal woningen die uitgerust kunnen worden met een warmtepomp te vergroten.

Om partijen met grote woningvoorraden te overtuigen van het nut van deze combinatie is het belangrijk om hier goede testgegevens te kunnen overleggen. Tot op heden was deze opstelling door geen enkele partij onderzocht (TKI, Robert-Jan van Egmond).

De combinatie van één lucht-water warmtepomp (LW-WP) en één airco is goedkoper is makkelijk implementeerbaar en biedt fabrikanten meer de tijd om lucht-water warmtepompen verder te ontwikkelen.

De onderstaande opsomming toont de voordelen van een airco-hybride ten opzichte van LW- WP-hybride (elk in combinatie met een gasketel, dus in stap 1) te weten:

- Veel goedkoper in aanschaf en installatie (+/- 3.000 euro per woning)
- Op korte termijn inzetbaar als middel tegen de dreigende energiearmoede
- Minder leveringsproblemen
- Geen aanpassingen afgiftesysteem nodig o Sneller te installeren
- Directe afgifte aan lucht
- Geschikter voor koeling
- Snellere temperatuurverandering
- Efficiënter (hogere COP, kortdurend verwarmen)

Voor de combinatie van een lucht/lucht warmtepomp en airco zijn er verschillende voordelen. Ten eerste is het mogelijk om het aantal woningen dat kan worden uitgerust met een warmtepomp te vergroten. Dit komt doordat deze oplossing geen aanpassingen aan het afgiftesysteem van de woning vereist, wat betekent dat het sneller en eenvoudiger te installeren is dan andere opties. Daarnaast kan de lucht/lucht warmtepomp beter geschikt zijn voor koeling en snellere temperatuurveranderingen dan andere warmtepompen. Bovendien kan deze combinatie efficiënter zijn dan andere oplossingen, met een hogere COP (Coëfficiënt of Performance) en een kortdurende verwarming.

Een belangrijk voordeel is dat deze oplossing goedkoper is in aanschaf en installatie dan andere opties, en dat het minder aanpassingen aan het afgiftesysteem van de woning vereist dan andere warmtepompen. Daarnaast kan deze oplossing direct aan lucht leveren, wat efficiënter kan zijn voor kortdurende verwarming.

Airco-hybride toepassing

In de twee-stappen benadering wordt een conventionele airco eerst gecombineerd met een

Bestaande gasketel. Later wordt de gasketel vervangen door een lucht-water warmtepomp. De airco-binnenuit wordt geïnstalleerd in de hoofdruimte, waar gedurende de meeste tijd verwarming en eventueel koeling nodig is. Omdat de hoofdruimte vaak op de begane grond is (woonkamer en open keuken), kan de buitenunit dichtbij (bijvoorbeeld in de tuin worden geplaatst).

De meeste single split airconditioning systemen zijn uitgerust met energielabel A++ en hebben een SCOP van 4,5 of hoger. Het verhaal dat een airco een dure stroomverbruiker is, is met recht een

Fabel, een airco van 3,5 kW vermogen verbruikt maximaal ongeveer 1300 watt stroom per uur dit maximale opgenomen vermogen zal de airco bijna nooit gebruiken. De warmtepomp zal zijn

compressor stapsgewijs aansturen en zo laag mogelijk in toeren draaien. Hierdoor wordt het stroomverbruik drastisch ingeperkt.

Het gebruik van airconditioners als verwarmingssysteem in de bestaande woningbouw is een onderwerp dat steeds meer aandacht krijgt. Dit komt voornamelijk door de groeiende behoefte aan energie-efficiënte oplossingen voor het verwarmen van huizen. Het gebruik van airconditioners als verwarmingssysteem kan hier een oplossing voor bieden.

Airconditioners zijn van oorsprong ontworpen om de temperatuur in een ruimte te verlagen door warme lucht naar buiten af te voeren. Echter, moderne airconditioners zijn ook in staat om warmte te onttrekken aan de buitenlucht en deze naar binnen te brengen om de ruimte te verwarmen. Deze technologie staat bekend als omkeerbare airconditioning of warmtepomp.

De voordelen van het gebruik van airconditioners als verwarmingssysteem in de bestaande woningbouw zijn divers. In de eerste plaats zijn airconditioners relatief goedkoop in aanschaf en installatie. Dit maakt het voor veel huiseigenaren aantrekkelijk om te investeren in dit soort systemen. Bovendien zijn airconditioners flexibeler inzetbaar dan traditionele verwarmingssystemen. Ze kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om alleen de ruimtes te verwarmen waar op dat moment mensen aanwezig zijn. Dit resulteert in een hogere energie-efficiëntie en lagere energiekosten.

Een ander voordeel van het gebruik van airconditioners als verwarmingssysteem is de mogelijkheid om de luchtvochtigheid in huis te reguleren.

- Airco-hybride biedt volgens ons perspectief voor woningen met de volgende kenmerken:
- In de hoofdruimte (waar de airco-binnen unit hangt) is koeling nodig of wenselijk.
- De hoofdruimte heeft een significant aandeel in de totale warmtevraag van de woning.
- De overstap naar één warmtepomp voor alle warmtevraag is te risicovol, te duur, te
- Ingrijpend en/of niet goed uitvoerbaar.
- De hoofdruimte is geschikt voor één airco-binnen unit (luchtverdeling in de ruimte), terwijl de
- Buitenunit op korte afstand van de binnen unit kan worden geplaatst (vaak op begane grond).
- In de toekomst komt er mogelijk een warmtenet of is verzwaring van het elektriciteitsnet
- Nodig. Bij alle opties van gemeentelijke Transitievisies Warmte is stap 1 zinvol, en levert het
- Woning-specifieke data.

Hoewel een airco onafhankelijk van een ketel wordt gebruikt, biedt een integrale regeling Belangrijke meerwaarde:

- Bedieningsgemak: vanaf één interface is het gewenste temperatuurverloop per ruimte instelbaar.
- Optimale benutting airco en afstemming met de gasketel voor kostenbesparing en comfort:
- Lastverdeling op basis van (eventueel momentane) gas- en stroomprijzen,
- Beschikbaarheid van eigen zonnestroom en de momentane COP van de airco (afhankelijk van buitentemperatuur en deellast).
- Beperking variatie van ruimtetemperatuur door tijdelijk verhoogde afgifte van ketel via radiatoren in de hoofdruimte als de airco in ontdooimodus gaat.

- Mogelijk minder ontdooien nodig door aanpassing vermogen bij lage buitentemperatuur. Bij temperaturen boven het vriespunt ontdooien door doorblazen buitenunit bij stilstaande compressor.
- Verlenging levensduur airco door minder aan/uit schakelen compressor.
- Verbruikspatronen monitoren, om latere aanpassingen optimaal te kiezen.
- Vermogen van LW-WP en inhoud van buffers bepalen als ketel wordt vervangen. De keuze van het vermogen van de airco is daardoor minder kritisch.
- Inzicht in vermogensvraag en piekvermogen per ruimte helpt om radiatoren gericht te vervangen en zo de benodigde CV-aanvoertemperatuur te verlagen.
- Data over werkelijke vraagpatronen zijn relevant voor gemeenten die een warmtenet overwegen aan te leggen, en netwerkbeheerders die de gevolgen van elektrificatie op netbelasting willen weten (gelijktijdigheid en vraagsturing).
- Privacy doordat data lokaal worden opgeslagen, geen koppeling met internet nodig.
- Dezelfde hardware (regelaar en airco) kan ook voor stap 2 (airco + LW-WP) worden gebruikt.
- De twee warmtepompen functioneren daarbij waarschijnlijk beter dan één grote:
- Door het LW-WP vermogen af te stemmen op de isolatie en het afgiftesysteem op
- Het moment dat de ketel wordt vervangen (op basis van woning-specifieke data!).
- Door de ontdooi-momenten van LW-WP en airco op elkaar af te stemmen.
- Een kleinere LW-WP kan (bij uitgeschakelde airco) het vermogen verder terug
- Regelen (dan één grote). Omdat de LW-WP minder aan- en uitschakelt, heeft die een
- Langere levensduur.
- Door airco-afgifte via de lucht kan de LW-WP op koude dagen via de al aanwezige
- Radiatoren voldoende warmte afgeven, op lage(re) temperatuur. Daardoor is het in veel gevallen niet nodig om vloerverwarming aan te leggen of vergaand te isoleren om LT-verwarming mogelijk te maken.

In het project hebben Novo Affect, Oudman Engineering en De Hanzehogeschool Groningen nauw samengewerkt om een oplossing te vinden voor de uitdagingen op het gebied van duurzaamheid in de woningbouw. Het project omvatte de ontwikkeling en testen van een integraal regelsysteem voor airconditioning in combinatie met een ketel (stap 1) en het combineren van een lucht/lucht warmtepomp met een lucht/waterpomp (stap 2).

Gedurende het project hebben de drie partijen intensief samengewerkt om expertise uit te wisselen en uitdagingen gezamenlijk aan te pakken. Novo Affectu bracht expertise in op het gebied van airconditioning en warmtepompen, Oudman Engineering bracht kennis in op het gebied van regeltechniek en De Hanzehogeschool Groningen leverde technische kennis en ondersteuning bij de praktijktesten.

Het resultaat van de nauwe samenwerking tussen de drie partijen is een gezamenlijk opgesteld rapport waarin de bevindingen en eindresultaten van het project zijn opgenomen. In het rapport worden de voordelen van de combinatie van één lucht-water warmtepomp (LW-WP) en één airco ten opzichte van de combinatie van een LW-WP met een gasketel uiteengezet.

Het rapport bevat ook gedetailleerde informatie over de praktijktesten en de resultaten hiervan. Zo zijn de resultaten van de testen zeer hoopgevend en hebben deze aangetoond dat de oplossing kan bijdragen aan het vergroten van het aantal woningen dat kan worden uitgerust met een warmtepomp.

Eindconclusie

De samenwerking tussen Oudman Engineering, De Hanzehogeschool Groningen, het Heathouse en Novo Affectu/Enzavu heeft geleid tot een innovatieve en veelbelovende oplossing voor duurzaamheidsuitdagingen in de woningbouw.

Het gezamenlijk opgestelde rapport geeft inzicht in de resultaten en bevindingen van het project en kan dienen als basis voor verdere ontwikkeling en implementatie van de oplossing.

In het bijzonder wil ik Dirk Kurstjens van de Hanzehogeschool en René Oudman bedanken voor hun bijdrage aan de ontwikkeling van de warmtepomp en de bij de uitvoering en testen van het inzetten van lucht/lucht warmtepompen als verwarming voor de bestaande bouw.

Ook wil ik het RVO bedanken voor de financiële ondersteuning. Zonder hun bijdrage was het niet mogelijk geweest om de nodige stappen te zetten in de ontwikkeling van deze innovatieve technologieën.

Wij bedanken ook Ted Wildenberg en Lex Bosma van Entrance, voor het mogelijk maken van de vele metingen in het Heat House.

Tot slot wil ik Robert Jan van Egmond van TKI bedanken voor zijn waardevolle advies en ondersteuning gedurende de projecten.

Nogmaals dank aan iedereen die heeft bijgedragen aan deze projecten.

