

## Samenvatting Onderzoek HP-Launch Project

### Inhoudsopgave

Samenvatting Onderzoek HP-Launch Project.....	1
HP-Launch uitgevoerd door consortium .....	2
Grootschalige toepassing van warmtepompen in bestaande woningen is lastig .....	2
Compacte hybride warmtepomp is aantrekkelijk voor de bestaande bouw .....	2
Propaan als koudemiddel goed bruikbaar.....	2
Kleine warmtepomp levert merendeel jaarlijkse warmte.....	3
Prototype warmtepomp levert goede prestaties in het laboratorium.....	3
Warmtepomp opgebouwd met standaard componenten .....	3
Systeem kan gebouwd worden met minder dan 150 gram propaan .....	4
Standaard elektronisch regelventiel geeft de beste resultaten.....	5
Ontdooien door omkeren warmtepomp.....	6
Vlakke verdamper voor optimale luchtstroming.....	7
Minichannel verdamper levert de beste resultaten .....	7
Resultaat is een systeem met goede prestaties .....	7
Aansturing belangrijk voor de optimale inzet van het systeem .....	8
Onderzoek aansturing gericht op vergroten bijdrage warmtepomp.....	8
Referentiewoning voor de modellering is een na-geïsoleerde rijwoning .....	9
Berekeningen laten een hoge bijdrage- en efficiëntie van de warmtepomp zien.....	9
Soms is verwarmen met gas gunstiger .....	11
Berijpen beperkt de prestaties van de warmtepomp .....	11
Bij grotere woningen is relatief meer gas nodig.....	12
Uit de simulaties blijkt het rendement van het hybride systeem.....	12
De dakopstelling is aantrekkelijk voor de Nederlandse markt .....	13
Dakopstelling scoort goed t.o.v. alternatieven .....	13
Installatie en onderhoud zijn eenvoudig .....	13
Ontwerp gericht op lage levensduurkosten resulteert in een aantrekkelijke terugverdientijd ....	14
Ubbink heeft een kap ontworpen .....	14
Geluidsproductie verdient nog aandacht .....	15
HP-Launch biedt voordelen ten opzichte van de huidige warmtepompen.....	15

## HP-Launch uitgevoerd door consortium

Het HP-Launch-project wordt ondersteund door de [Topsector Energie](#) en het Sustainable Electrical Energy Centre of Expertise ([SEECE](#)) en is gericht op het wegnemen van de bezwaren voor grootscheepse inzet van warmtepompen. In dit project werken de volgende partijen samen: [Hogeschool van Arnhem en Nijmegen \(coördinatie, regeltechniek en modellering\)](#), [Business Development Holland \(aansluiting bij de markt\)](#), [De Haagse Hogeschool \(regeltechniek en modellering\)](#), [MMID Full-service design team \(integraal productontwerp\)](#), [Re/genT Helmond \(koudetechniek en testen\)](#), [TransferWorks \(warmtewisselaars\)](#)

## Grootschalige toepassing van warmtepompen in bestaande woningen is lastig

Op het moment wordt in Nederland hard gewerkt aan het uitfasen van het aardgas. Warmtepompen zijn daarbij een goede mogelijkheid om de HR-ketel te vervangen. Voor bestaande woningen hebben warmtepompen echter een aantal nadelen:

- De benodigde temperaturen van het afgiftesysteem zijn onder extreme omstandigheden te hoog om deze efficiënt met een warmtepomp te kunnen leveren.
- Door de beperkte isolatie en hoge temperatuur afgiftesystemen is het elektriciteitsgebruik in extreme omstandigheden erg hoog en dat beperkt de grootschalige inzet van warmtepompen in de bestaande bouw.
- Nederlandse woningen hebben beperkte ruimte voor installaties. Onderbrengen van een warmtepomp is daarom lastig, mede door:
  - Beperkte mogelijkheden voor bodembronnen in de bestaande bouw.
  - Strengere eisen met betrekking tot de geluidsproductie van luchtwarmtepompen.
- Nederlanders zijn door het algemeen gebruik van gasketels gewend geraakt aan relatief lage investeringskosten voor een verwarmingssysteem. Dit maakt de implementatie van een standalone elektrisch warmtepomp, inclusief warmwaterreservoir en toebehoren, zoals onder andere veelal wordt toegepast in Duitsland voor velen een brug te ver.

Dit betekent dat voor de efficiënte inzet van warmtepompen in de bestaande bouw verregaande aanpassingen nodig zijn van de woning en de infrastructuur.

## Compacte hybride warmtepomp is aantrekkelijk voor de bestaande bouw

Een compacte hybride warmtepomp, waarbij een luchtwarmtepomp en een HR-ketel samenwerken is een aantrekkelijk optie voor de bestaande bouw. De redenen hiervoor zijn onder andere:

- Met een hybride warmtepomp met een vermogen van 3 tot 3,5 kW kan het gasverbruik al sterk worden teruggebracht.
- Zonder extreem hoge piekbelastingen van het elektriciteitsnet kan op jaarbasis een grote bijdrage van elektriciteit aan de warmtevoorziening worden gerealiseerd.
- Het kleine vermogen zorgt ervoor dat de warmtepomp compact uitgevoerd kan worden en daardoor makkelijk te installeren is in een typische Nederlands rijtjeshuis.
- Een hybride warmtepomp geeft een algemene oplossing welke grootschalig kan worden toegepast. Dit kan leiden tot een sterke kostenreductie ten opzichte van de bestaande systemen.

## Propaan als koudemiddel goed bruikbaar

Vanwege duurzaamheid is de keuze gemaakt om een natuurlijk koudemiddel toe te passen. Op basis van zowel de thermofysische eigenschappen als de beschikbaarheid van componenten is gekozen voor propaan (R290). Het nadeel van propaan (R290) is dat het zeer brandbaar is (koudemiddel klasse A3). Binnen het ontwerp is dit opgelost door:

- Toepassen van lage vulling (maximaal 150 gram).
- Mogelijkheid om de componenten buiten de woning te plaatsten.

## Kleine warmtepomp levert merendeel jaarlijkse warmte

Op basis van verkennende berekeningen gebaseerd op een referentiewoning is gebleken dat een warmtepomp met een capaciteit van 3 tot 3,5 kW al het merendeel van de jaarlijks warmtebehoefte kan leveren. Vandaar dat het koudetechnisch ontwerp van de warmtepomp is gebaseerd op een warmtecapaciteit van 3,5 kW op de referentie conditie A7/W35 (NEN EN 14511). Hiernaast is nog ontworpen op:

- Koudemiddelvulling van maximaal 150 gram propaan.
- Systeem efficiëntie vergelijkbaar met “best in class” bestaande warmtepompen.
- Zo laag mogelijk gewicht met betrekking tot installatie.
- Gebruik van commercieel verkrijgbare componenten.
- Modulatie.

Om de benodigde efficiëntie te bepalen is er een *best in class*-referentiesysteem aangekocht en bemeten met behulp van een binnen het project opgebouwde meetopstelling (zie Re/genT rapporten 20105/RO02/V2 en 20104/RO01/V1).

## Prototype warmtepomp levert goede prestaties in het laboratorium

### Warmtepomp opgebouwd met standaard componenten

Om aan de ontwerpisen te voldoen zijn er alleen standaard beschikbare componenten toegepast, waarbij voornamelijk is geselecteerd op een zo hoog mogelijke systeemefficiëntie bij een minimale hoeveelheid koudemiddel. Daarnaast was ook het gewicht van belang, voornamelijk voor de compressor, omdat deze een relatief groot aandeel heeft in het totaalgewicht.

Vanuit deze uitgangspunten is een toeren geregelde rotary compressor van GMCC geselecteerd met een zeer laag gewicht van 8,5 kg (model: DTN180D32UFZ). Vanwege de relatief kleine behuizing en het geringe olie volume is de koudemiddelhoeveelheid in de compressor laag en door het gebruik van dubbele volumes produceert deze compressor minder trillingen en daardoor dus ook minder geluid.

Voor de condensor is voor een asymmetrisch platenwisselaar gekozen (SWEP B8LAS). Deze wisselaar heeft een kleinere plaatafstand voor het koudemiddelcircuit dan voor het watercircuit. Hierdoor heeft deze wisselaar een hoge warmteoverdracht bij een lagere koudemiddelinhoud en blijft de drukval over het watercircuit acceptabel.

Voor de verdamper wordt een “mini-channel” type toegepast met een uitwendige buisdiameter van 5 mm. Voor de toepassing als verdamper is dit een relatief nieuw type wisselaar. Als condensor worden dergelijke mini-channel wisselaars wel al reeds toegepast. Vandaar dat er binnen het project een aantal mini-channel condensoren (LU-VE: LMC3N) is aangekocht om onderzoek aan te verrichten. Hiervan is uiteindelijk, op basis van koudemiddelvulling, een exemplaar met twee buisrijen diep geselecteerd als verdamper voor het prototype.

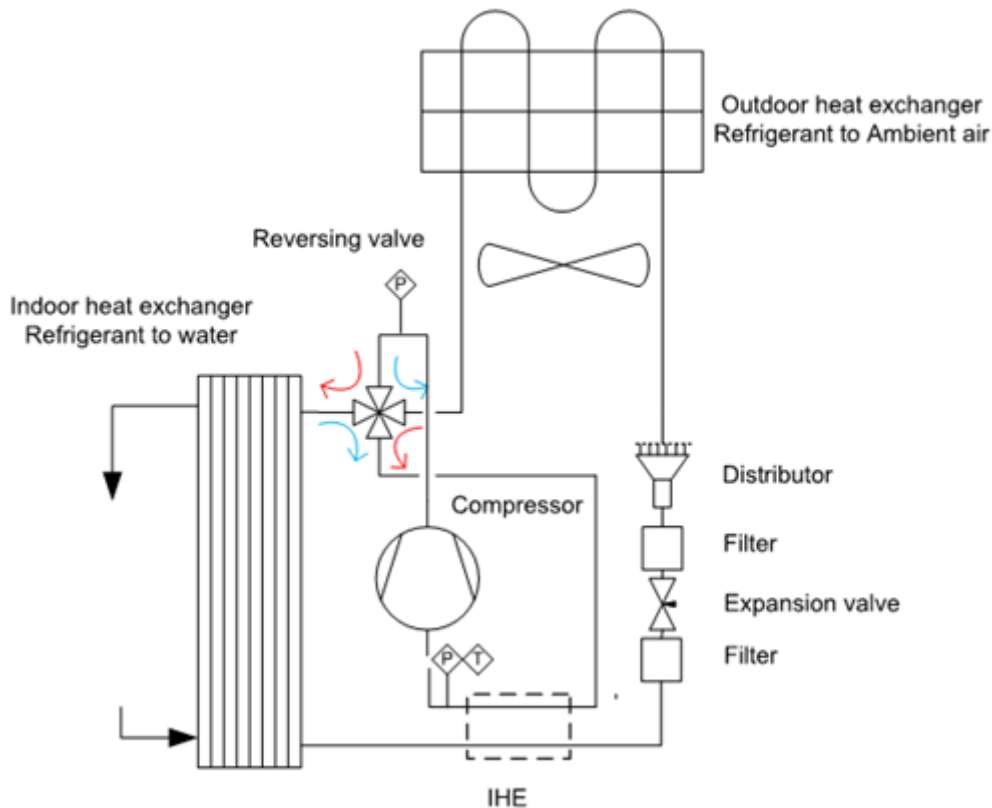
In het koudemiddelcircuit is een zuiggaswarmtewisselaar (Danfoss HE05) toegepast met het doel om te onderzoeken of hiermee de verdamper beter benut kan worden. Het idee hierbij is om de oververhitting te regelen na de zuiggaswisselaar, zodat er een minimale oververhitting en daarbij maximale warmteopname is in de verdamper.

Voor het expansieorgaan is gekozen voor een standaard bi-directioneel elektronisch expansieventiel (Sanhua DPF(T01)1.3C-07). Aan de in- en uitlaat van het expansieventiel

zijn standaard filters gemonteerd (Vulkan Lokring DR10), welke zijn aangepast om de koudemiddelhoeveelheid te verlagen.

Verder is er een omkeerklep (Sanhua SHF(L) 4H 23U 5) geselecteerd om de verdampers te kunnen ontdooien.

Figuur 1 geeft schematisch het circuit weer waarin de componenten zijn toegepast.



Figuur 1: Schematische weergave van het koudetechnisch circuit van de prototype HP-Launch warmtepomp

Pagina-einde

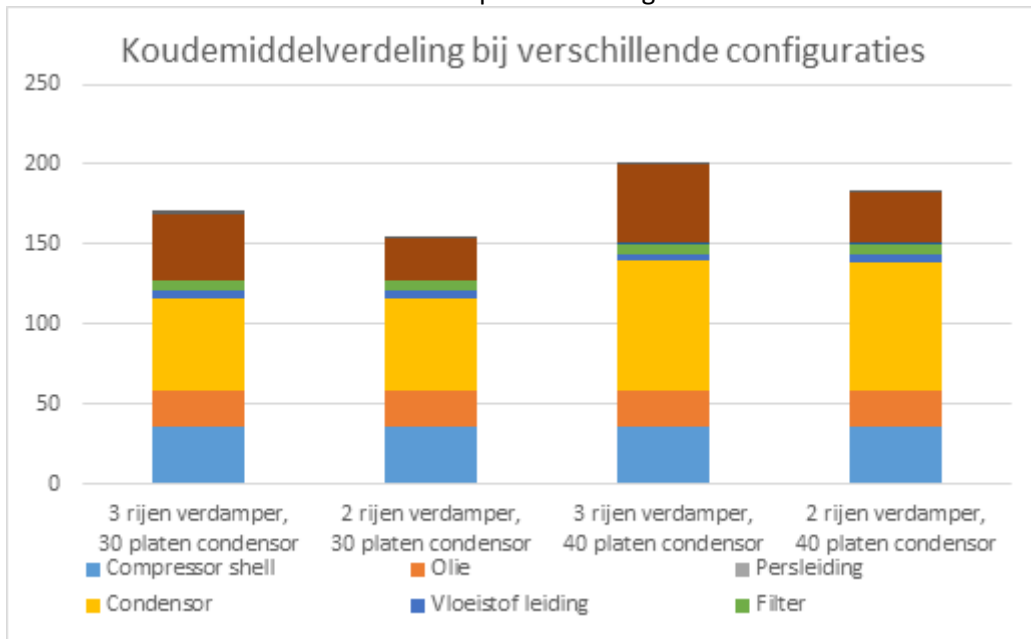
Systeem kan gebouwd worden met minder dan 150 gram propaan

Om ontwerpen op basis van kleine koudemiddelinhoud mogelijk te maken is het volgende uitgevoerd:

- Opzetten van een warmtepomp simulatiemodel voor bepaling prestatie en efficiëntie.
- Opzetten van rekenmodellen voor bepaling van de koudemiddelvulling op zowel component als systeemniveau.
- Meten van de koudemiddelvulling op component en systeemniveau. Deze metingen zijn uitgevoerd op diverse prototype warmtepompen. Deze prototypen waren voorzien van snel sluitende kleppen welke het mogelijk maakten om het koudemiddel instantaan op te sluiten binnen het door de kleppen afgesloten controlevolume. De koudemiddelinhoud is bepaald met de PVT-Superheat methode<sup>1</sup>.
- Toetsen en ijkten van de rekenmodellen op basis van de meetresultaten

<sup>1</sup> Door een vat aan te sluiten op het te meten controlevolume en vervolgens het koudemiddel in het vat te laten expanderen is een totaal volume (vacuüm vat + controle volume) aan oververhit gas gecreëerd. Door het meten van de druk en temperatuur kan de dichtheid van het gas bepaald worden en na vermenigvuldiging met het bekende totaal volume volgt de koudemiddelinhoud.

In Figuur 2 is voor een aantal bestudeerde configuraties de berekende koudemiddelhoeveelheid weergegeven voor zowel het totale systeem als per component. Hieruit is geconcludeerd dat het door de juiste keuze van componenten mogelijk is om een systeem samen te stellen met een koudemiddelhoeveelheid beperkt tot 150 g.



Figuur 2: De benodigde hoeveelheid koudemiddel voor verschillende configuraties van de HP-Launch prototype warmtepomp.

### Standaard elektronisch regelventiel geeft de beste resultaten

Goede regeling van het expansieorgaan is van essentieel belang voor de efficiëntie van een warmtepomp, vandaar dat diverse opties bekeken zijn. Het blijkt dat het gebruik van een standaard elektronisch expansieventiel en regeling op basis van de oververhitting na de verdamper de beste oplossing geeft. Hiernaast is het volgende geconcludeerd:

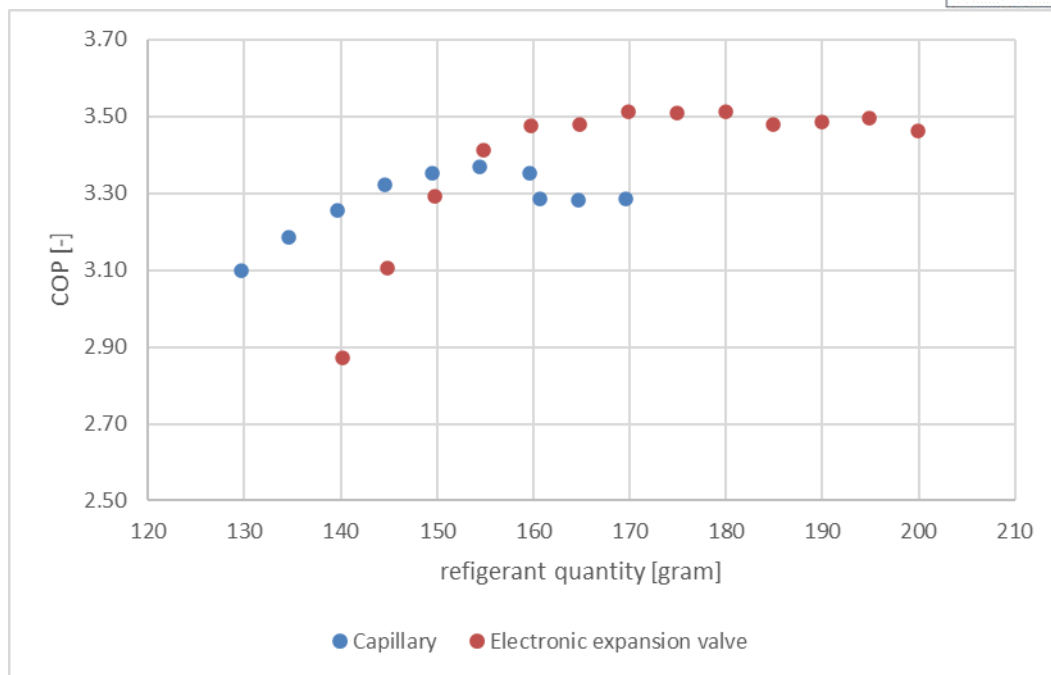
- Het gebruik van een capillair als expansieorgaan resulteert in een lagere koudemiddel vulling echter ten koste van de efficiëntie (zie Figuur 3).
- Het gebruik van een additionele zuiggaswarmtewisselaar ter optimalisatie van de verdamper (regelen op minimale oververhitting) geeft geen verbetering in systeemefficiëntie in het prototype. Dit is onderwerp voor verder onderzoek.
- Koudemiddelvulling heeft een grote invloed op het regelgedrag.

Hoogste efficiëntie met een stabiel regelgedrag is bereikt met een elektronisch expansieventiel en 5K oververhitting van de verdamper.

Belangrijk voor het bepalen van de prestaties van de warmtepomp is de COP:

$$COP = \frac{\text{Geleverde warmte}}{\text{Daarvoor benodigde elektrische energie}}$$

Hoe hoger de COP is, hoe minder elektriciteit er nodig is om de gewenste warmte te leveren.



**Figuur 3:** Verloop van systeem-COP als functie van de koudemiddelinhoud gemeten in een van de eerdere prototypes bij toepassing van een elektronisch expansieventiel en een capillair als expansieorgaan. Testen uitgevoerd bij A7/W35 volgens NEN EN 14511. Metingen zijn uitgevoerd op een prototype waarbij een relatief kleine verdamper met grote oververhitting en de condensor met 40 platen is toegepast. Deze meting is daardoor niet representatief voor de koudemiddelhoeveelheid van het HP-Launch-prototype. Echter geeft de meting wel het typische verschil in optimum efficiëntie weer tussen het gebruik van een capillair en een elektronisch expansieventiel.

### Ontdooien door omkeren warmtepomp

Ontdooien en berijpen was een belangrijk aspect binnen het HP-Launch-project, omdat in Nederland veel rijpvorming optreedt bij warmtepompen. Hier is dan ook veel aandacht aan besteed in zowel het ontwerp van de verdamper als in het onderzoek naar de regeling. Systeemtechnisch is gekeken naar:

- Ontdooien met buitenlucht.
  - Beperkte inzetbaarheid want de warmtepomp moet afgeschakeld worden bij lucht-temperaturen rond 2 °C
- Elektrische verwarmingselementen.
  - Lagere efficiëntie van het systeem
  - Minimale koudemiddelvulling omdat er geen extra koudetechnische componenten worden toegepast
- Ontdooien m.b.v. een thermosiphon tussen de verdamper en de condensor. In dit geval wordt de compressor uitgeschakeld en verdeeld de warmte zich van binnen naar de berijpte warmtewisselaar.
  - Hoog rendement vanwege afschakelen van de compressor
  - Extra koudemiddelleidingen met grote doorlaat nodig
  - Geen geschikte kleppen tegen acceptabele kosten beschikbaar
- Omkeerklep. Deze keert de werking van het systeem om en verwarmt de luchtwisselaar, terwijl het verwarmingssysteem wordt gekoeld.
  - Standaardoplossing met acceptabel rendement

Om te kunnen draaien onder berijpende condities is het HP-Launch-systeem uitgevoerd met een omkeerklep. In combinatie met radiatoren in een hybride opstelling zorgt de ketel ervoor dat het verwarmingssysteem niet afkoelt tijdens het ontdooien.

#### Vlakke verdamper voor optimale luchtstroming

In de HP-Launch is gekozen voor een puur dwarse aanstroming van de vlakke verdamper. Dit geeft de beste luchtsnelheidsverdeling over de verdamper en dus de hoogste benutting van het oppervlak. Bovendien zijn er geen obstakels in de luchtstroom zoals dat bij andere warmtepompen wel wordt gezien. De zuigende opstelling van de ventilator voor het beste luchtstromingspatroon in het hele luchtpad. De buitenafmetingen zijn in verband met de inpasbaarheid van de warmtepomp klein gehouden.

#### Minichannel verdamper levert de beste resultaten

Omdat warmtewisselaarfabrikanten geen meetdata van hun lamelstructuren ter beschikking stellen, is een selectie van de meest veelbelovende structuren gemaakt, inclusief een nieuwe innovatie, de minichannel. Dit is een lamelstructuur met buizen van slechts 5 mm. Deze lamelstructuren zijn getest in het project. De uitkomsten zijn gebruikt als basis voor de ontwerpberekeningen. De minichannel levert goede prestaties als verdamper en onderscheidt zich vooral door het kleine volume voor propaan en veel ruimte om ijs op te slaan.

Omdat de 5 mm minichannel nog niet zo lang op de markt is, is er nog wel duidelijk ruimte voor verbetering:

- De lamellen bevatten louvres. Dat is gunstig voor de capaciteit in het begin, maar als er later vervuiling optreedt, blijken die structuren zo klein te zijn, dat ze slecht schoon te krijgen zijn. Bovendien zorgen die louvres voor een obstructie van condenswater en werken helemaal niet meer als de verdamper berijpt. Uit de literatuur is bekend dat een zogenaamd 'wavy' patroon minder last heeft van vervuiling.
- De fabrikant heeft gekozen voor een heel dunne lamel. Dat is welliswaar goedkoop, maar zorgt ook voor een grote kwetsbaarheid. En de capaciteit wordt erdoor beperkt. Misschien zijn iets grotere lameldiktes ook maakbaar.
- De huidige lamelafstand is ongeveer 2 mm. Dat werkt niet zo goed voor de Nederlandse weersomstandigheden, want die verplichten ons relatief vaak een verdampertemperatuur onder nul in te zetten. Berijping van de lamellen zorgt al snel voor een blokkade, en er moet ontdooid worden. Grotere lamelafstanden zouden goed kunnen werken, ook als moet de gehele verdamper daardoor iets groter worden.

#### Resultaat is een systeem met goede prestaties

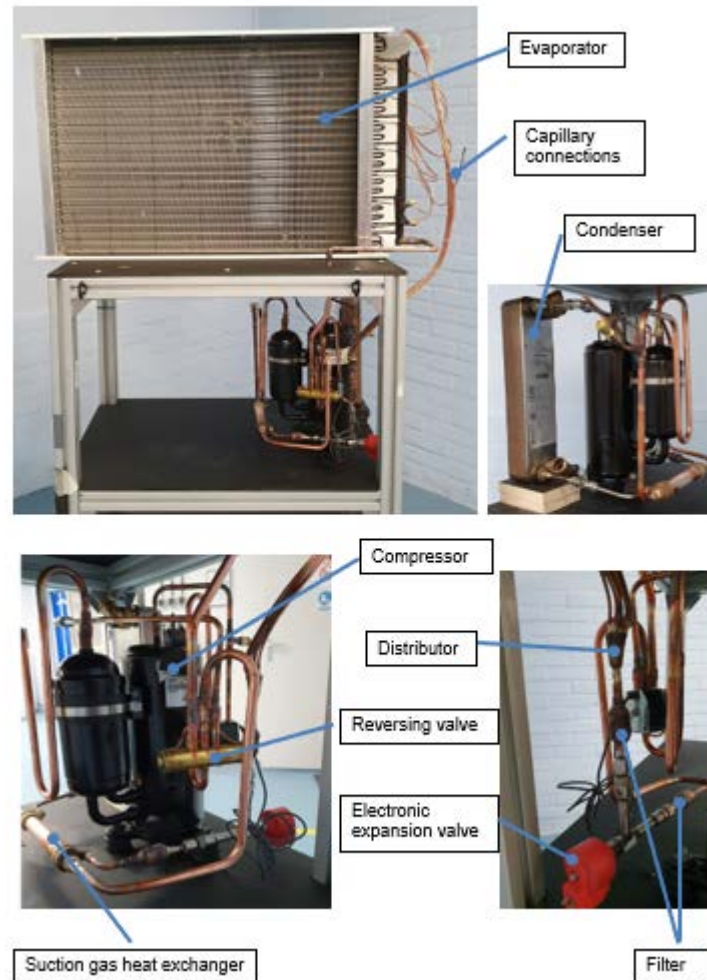
Een prototypesysteem is gebouwd op basis van de geselecteerde componenten, zie onderstaande foto. Het systeem is gevuld met 150 gram propaan en de prestatie is bemeaten met behulp van de binnen het project opgebouwde meestsopstelling. Resultierend in het volgende:

- Verwarmingscapaciteit van 3,4 kW bij A7/W35 (NEN EN 14511) met een compressor toerental van 3600 rpm.
- COP<sup>2</sup> van 4,47 bij A7/W35 (NEN EN 14511)

<sup>2</sup> Coëfficiënt of Performance = geleverde warmte / daarvoor benodigde elektrische energie

- SCOPnet<sup>3</sup> van 4,44 volgens NEN-EN 14825 (lage systeemtemperatuur en gemiddelde klimaatcondities)
- SCOPnet van 3,84 volgens NEN-EN 14825 (gemiddelde systeemtemperatuursysteem temperatuur en gemiddelde klimaatcondities)

De resultaten tonen aan dat het mogelijk is om een compacte lucht water warmtepomp te bouwen, met een koudemiddelvulling van 150 gram propaan en een efficiëntie vergelijkbaar met bestaande “best in class” lucht water-warmtepompen.



*Figuur 4: Foto's van het HP-Launch prototype en positionering van componenten. Gedurende de metingen waren de leidingen en compressor geïsoleerd met Armaflex.*

### Aansturing belangrijk voor de optimale inzet van het systeem

#### Onderzoek aansturing gericht op vergroten bijdrage warmtepomp

Om de combinatie van een warmtepomp en een boiler zo efficiënt mogelijk te laten samenwerken in een hybride systeem is een goede aansturing van belang. Met betrekking tot de aansturing is specifiek gekeken naar:

- Het regelbereik van de warmtepomp en de HR-ketel. Kleine warmtepompsystemen hebben vaak alleen een aan/uit-regeling. Wat is het resultaat als je de warmtepomp van 20-100%

<sup>3</sup> Seasonal Coëfficiënt of Performance: gemiddelde COP over een stookseizoen



kunt regelen? Is het voordeliger om een groter regelbereik te hebben? Hetzelfde geldt voor de HR-ketel. Vaak is de ondergrens van het vermogen 4 kW. Hoe kan dit slimmer?

- Het af-en inschakelen van de warmte-opwekkers. Is het voordelig om de warmtepomp uit te schakelen bij lage temperaturen en alleen de HR-ketel te gebruiken? Bij lagere temperaturen zakt de efficiëntie van een warmtepomp. Dan kan het voordeliger zijn om de HR-ketel in te schakelen.
- De invloed van berijping van de verdamper. Het kost extra energie om de verdamper te ontdooien in koude dagen, mogelijk dat het verstandiger is om niet te ontdooien en de HR-ketel de warmtebehoefte voor zijn rekening te laten nemen.
- Het type huis en de invloed daarvan op de dekkingsgraad van de warmtepomp. Wat is de invloed op de efficiëntie van de warmtepomp?

#### Referentiewoning voor de modellering is een na-geïsoleerde rijwoning

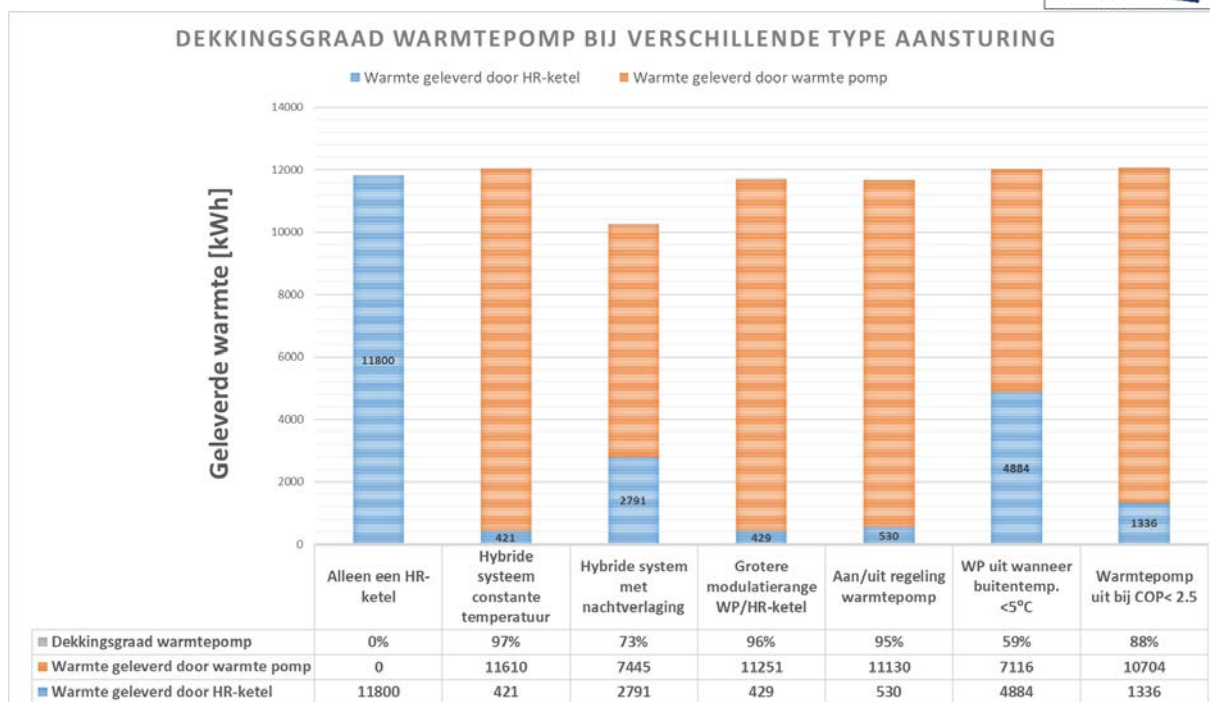
De gekozen referentiewoningen zijn representatief voor de meest voorkomende woningtypen in Nederland.

- Als referentie woning is gekozen voor een rijwoning met een oppervlakte van 100-120 m<sup>2</sup> met energielabel D. Deze woning is voorzien van 16 m<sup>2</sup> dubbelglas en 3 m<sup>2</sup> enkelglas, de warmtebehoefte van de woning is 11,8 MWh, hetgeen overeenkomt met ongeveer 1200 m<sup>3</sup> gas.
- Daarnaast is ook gekeken naar een hoekwoning uit de periode 1964-1975. Deze heeft ook een D-label. De warmtebehoefte van deze woning is 16,5 MWh, hetgeen overeenkomt met 1700 m<sup>3</sup> gas.

Beide woningen zijn voorzien van hoge temperatuur-verwarming en. De maximale afgiftetemperatuur, om de woning op temperatuur te houden bij een omgevingstemperatuur van -10° C, bedraagt 60 °C.

#### Berekeningen laten een hoge bijdrage- en efficiëntie van de warmtepomp zien

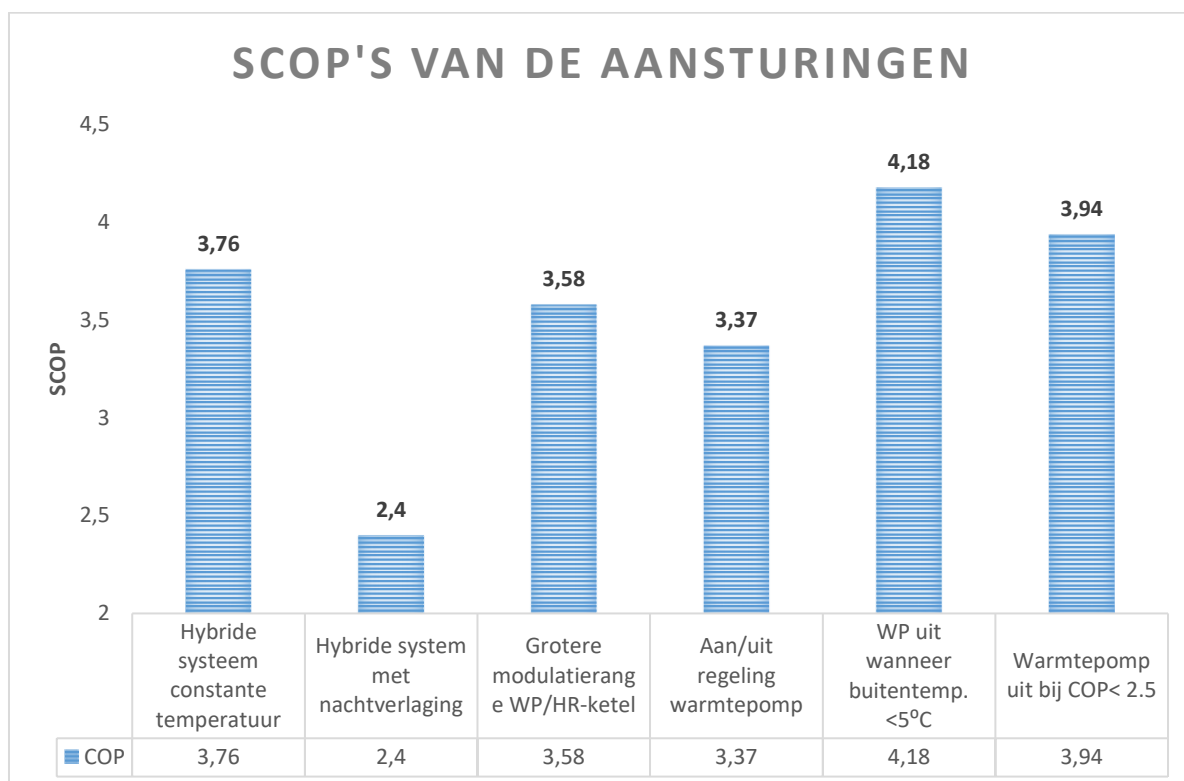
Allereerst is gekeken naar het energiegebruik van zowel de warmtepomp als de HR-ketel. Er zijn 7 situaties gesimuleerd. De resultaten zijn te zien in figuur 5.



Figuur 5 Energiegebruik voor verschillende aansturing warmtepomp

In dit diagram valt op dat de warmtepomp vrijwel de volledige warmtevraag kan beantwoorden van een rijtjeshuis (staaf 2). In de simulaties komt naar voren dat 97% van de warmtevraag geleverd zou kunnen worden door de warmtepomp.

Als de COP van een warmtepomp over een heel jaar bepaald wordt, heet dat de *Seasonal Coëfficiënt Of Performance (SCOP)*.



Figuur 6 COP over een jaar voor verschillende aansturingen

Als het doel is om zoveel mogelijk gas te besparen, dan is het verstandig om de kamertemperatuur constant te houden. Als 's nachts de temperatuur wordt verlaagd met een aantal graden, dan moet in de ochtend extra gestookt worden. Omdat de warmtepomp maar een klein vermogen heeft, betekent dit dat de HR-ketel vaak moet bijspringen en daarom wordt er meer gas verbruikt. Daarnaast gebeurt er nog iets bij toepassen van nachtverlaging: de warmtepomp wordt minder efficiënt, omdat er 's morgens, als de temperatuur lager is dan aan het begin van de nacht, veel warmte moet worden geleverd. Zoals te zien is in Figuur 6 zakt de SCOP van 3,76 naar 2,4.

Er is ook gekeken naar situaties met betrekking tot het minimumvermogen dat de warmte-opwekkers kunnen leveren:

- In de uitgangspositie is het minimumvermogen van de warmtepomp en de ketel 40% van het maximumvermogen.
- Als dit minimum wordt verruimd naar 20% voor de warmtepomp en 0% van de HR-ketel, resulteert dat in een vermindering van 3% op het totale energieverbruik ten opzichte van de baseline opstelling. De dekkingsgraad van de warmtepomp blijft vrijwel gelijk.
- Als de warmtepomp alleen aan- of uitgeschakeld kan worden, dan lijkt er in eerste instantie weinig verschil te zijn met een modulerende warmtepomp. De energie die geleverd wordt door de HR-ketel en de warmtepomp is vrijwel hetzelfde als bij een modulerende warmtepomp. Echter is de SCOP bij een aan/uit regeling een stuk lager. Dit betekent dat er meer elektriciteit verbruikt wordt, en dus meer kosten gemaakt worden.

#### Soms is verwarmen met gas gunstiger

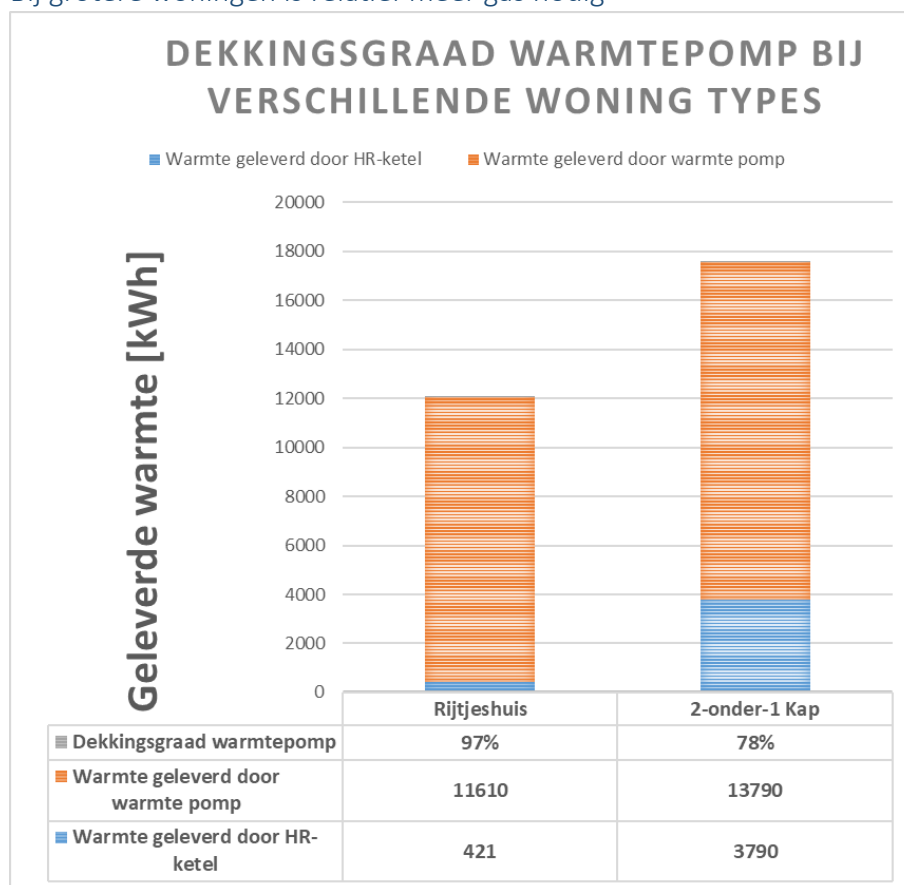
De COP van de warmtepomp is relatief laag bij lage buitentemperaturen. Het kan voorkomen dat, als de buitentemperatuur ver daalt, het voordeliger is om op gas te stoken. Deze grens ligt op het moment van schrijven bij een COP van ongeveer 2,5. Er kan daarom voor gekozen worden om bij een lagere COP over te schakelen op de gasketel. Als naar kolom 7 wordt gekeken, dan is te zien dat bij afschakelen onder deze grenswaarde nog steeds 88% van de warmtevraag door de warmtepomp geleverd kan worden. De SCOP stijgt echter van 3,7 naar 3,9. In de toekomst zal deze grens verschuiven. Het gas wordt namelijk duurder, en elektriciteit goedkoper. Door slim in te spelen en de prijzen goed in de gaten te houden, is het mogelijk om zo een regeling te maken op basis van de energieprijzen.

#### Berijpen beperkt de prestaties van de warmtepomp

Een belangrijke eigenschap van de warmtepomp die nog niet vermeld is, is het ontdooien van de verdamper. Om de energie uit de buitenlucht te halen, moet de verdamper van de warmtepomp kouder zijn dan de buitenlucht. In ons geval is dit een verschil van ongeveer 5°C. Dus bij buitentemperaturen van 5 graden en kouder kan de verdamper dichtvriezen waardoor deze minder goed gaat werken. Om dit tegen te gaan kan de warmtepomp in een omgekeerde modus draaien, zodat de verdamper verwarmd wordt en het ijs er af valt. De energie die hiervoor nodig is wordt echter uit het huis gehaald de aanwezige HR-Ketel kan dit compenseren. Maar om de verdamper te ontdooien is in ieder geval extra energie nodig.

Daarom is ook gekeken naar een optie om de warmtepomp uit te zetten als de buitentemperatuur onder de 5°C komt. Dan hoeft de warmtepomp nooit in ontdooimodus en zal de HR-ketel de verwarming overnemen in koudere perioden. Dit heeft als gevolg dat de dekkingsgraad van de warmtepomp daalt naar ongeveer 60%. Omdat de warmtepomp alleen bij hogere buitentemperaturen operationeel is, stijgt de SCOP van 3,76 naar 4,18. De dekkingsgraad van de warmtepomp kan verhoogd worden door ontdooien met omgevingslucht als de buitentemperatuur boven de 0°C komt. Door de ventilator aan te zetten en de compressor uit, kan het systeem economisch ontdooid worden.

Bij grotere woningen is relatief meer gas nodig



*Figuur 7 Energieverbruik bij verschillende woningtypes*

De voorgaande resultaten hebben allemaal betrekking op een rijtjeshuis, maar de warmtepomp kan ook ingezet worden in een 2-onder-1 kap woning. Als we naar de standaard opstelling kijken van het hybride systeem en we vergelijken de 2 typen woningen met elkaar, dan is duidelijk dat de 2-onder-1 kapwoning een stuk meer energieverbruik heeft dan het rijtjeshuis. Er wordt bijna anderhalve keer zoveel energie verbruikt. 17500 kWh tegenover de 12000 kWh van het rijtjeshuis. De dekingsgraad van de warmtepomp zakt van 97% naar 78%, maar de absolute warmtelevering stijgt. De warmtepomp schiet bij een 2-onder-1 vaker net tekort voor de totale warmtevoorziening. De simulatie laat zien dat het hybride systeem dit type huis ook prima aankan en dat er ook bij dit type woningen aanzienlijk bespaard kan worden. Voor echt grotere huizen zal een enkel HP-Launch-systeem niet geschikt zijn. Daarvoor is de optie om meerdere warmtepompen naast elkaar te plaatsen om zo het vermogen te vergroten.

#### Uit de simulaties blijkt het rendement van het hybride systeem

Het toevoegen van een kleine warmtepomp heeft een grote impact op het gasverbruik bij kleinere woningen. Er kan tot 97% bespaard worden op het gasverbruik bij rijtjeshuizen. Om dit te bereiken moet worden afgezien van nachtverlaging. Een aan/uit-regeling voor de warmtepomp lijkt weinig effect te hebben op de totale warmtelevering, maar heeft tot gevolg dat de SCOP zakt. Een warmtepomp die terug-geregeld kan worden, levert dus een lager elektriciteitsgebruik

De prijzen van gas en elektriciteit zullen in de toekomst veranderen. Het ziet er naar uit dat gas duurder wordt en elektriciteit goedkoper. Het is mogelijk om op een economische en schone manier

het huis te verwarmen door op een slimme manier om te schakelen tussen de warmtepomp en de HR-ketel. Dit levert lage kosten en een minimaal gasgebruik.

De warmtepomp kan vereenvoudigd worden door af te zien van ontdooien. Op het moment dat de warmtepomp invriest, moet dan overgeschakeld worden op de gasketel. Zo kan de warmtepomp goedkoper aangeboden worden, en de consument heeft de warmtepomp eerder terugverdiend.

Al met al is de aansturing van een warmtepomp van groot belang op het totale gas- en elektriciteitsverbruik in de hybride opstelling. Gezien de resultaten van het HP-Launch-project, kan er in Nederland een aanzienlijke hoeveelheid gas bespaard worden door slimme inzet van hybride systemen.

## De dakopstelling is aantrekkelijk voor de Nederlandse markt

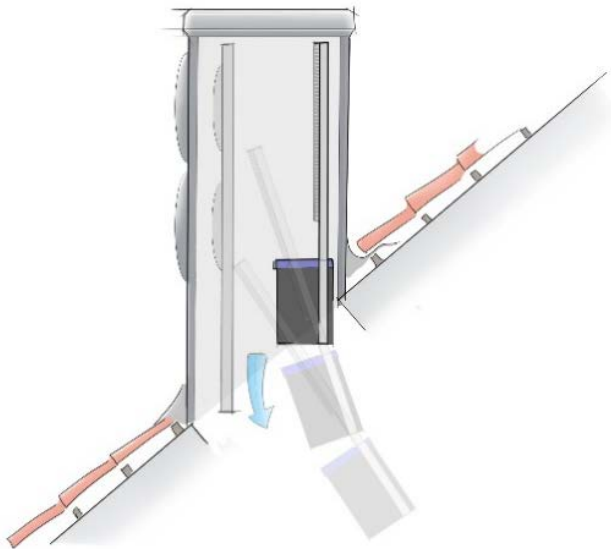
### Dakopstelling scoort goed t.o.v. alternatieven

Voor het ontwerp zijn verschillende plaatsingsmogelijkheden bekeken. Gekozen is voor een warmtepomp die verticaal door het dak gestoken wordt. De redenen hiervoor zijn:

- Dit is een relatief goedkope oplossing waarbij slechts een minimale aanpassing aan de dakconstructie nodig is.
- De compressor zit meestal dicht bij de bestaande ketel en leidingen. Dat maakt installatie eenvoudig
- De warmtepomp oogt vertrouwd, als een schoorsteen op het dak. Het concept oogt vanuit de woning en vanaf de straat compact.
- De luchtstraal, die uit de ventilatoren komt, is van het dak afgericht en bevindt zich daarmee op een locatie waar deze weinig hinder zal veroorzaken.
- De compressor staat horizontaal op elke dakhelling. Er zijn geen aanpassingen nodig aan de warmtepompconstructie bij de installatie van de warmtepomp. Ook de opslag en het vervoer van de warmtepomp zijn in deze uitvoering eenvoudig.

### Installatie en onderhoud zijn eenvoudig

Met een eenvoudig installatieconcept kan de prijs binnen de perken worden gehouden. Daarom is gekozen voor de ontwikkeling van één concept dat op een relatief eenvoudige en uniforme wijze in een groot deel van de Nederlandse woningen geïntegreerd kan worden. In het gekozen monoblock ontwerp bevinden de luchtwarmtewisselaar en de ventilatoren zich buiten op het dak. Het waterhoudende systeem bevindt zich in het blok aan de voet van de warmtewisselaar en bevriest niet omdat deze altijd warm wordt gehouden. Op de zolder bevindt zich nog een unit met een pomp en de aansturing. Deze unit kan geïntegreerd zijn in een speciale Hr-ketel. De warmtepomp kan worden uitgenomen voor onderhoud. Door de unit te kantelen is weinig ruimte nodig. Dit is een relatief goedkope oplossing met minimale woningaanpassingen. Het volstaat al om laagdrempelige isolatiemaatregelen in de woning door te voeren.



*Figuur 8 Illustratie van het uit de behuizing nemen van de koudetechnische unit. De unit wordt daarbij gekanteld om de benodigde ruimte te beperken (afbeelding: Nathalie Korbee, MMID)*

Ontwerp gericht op lage levensduurkosten resulteert in een aantrekkelijke terugverdientijd

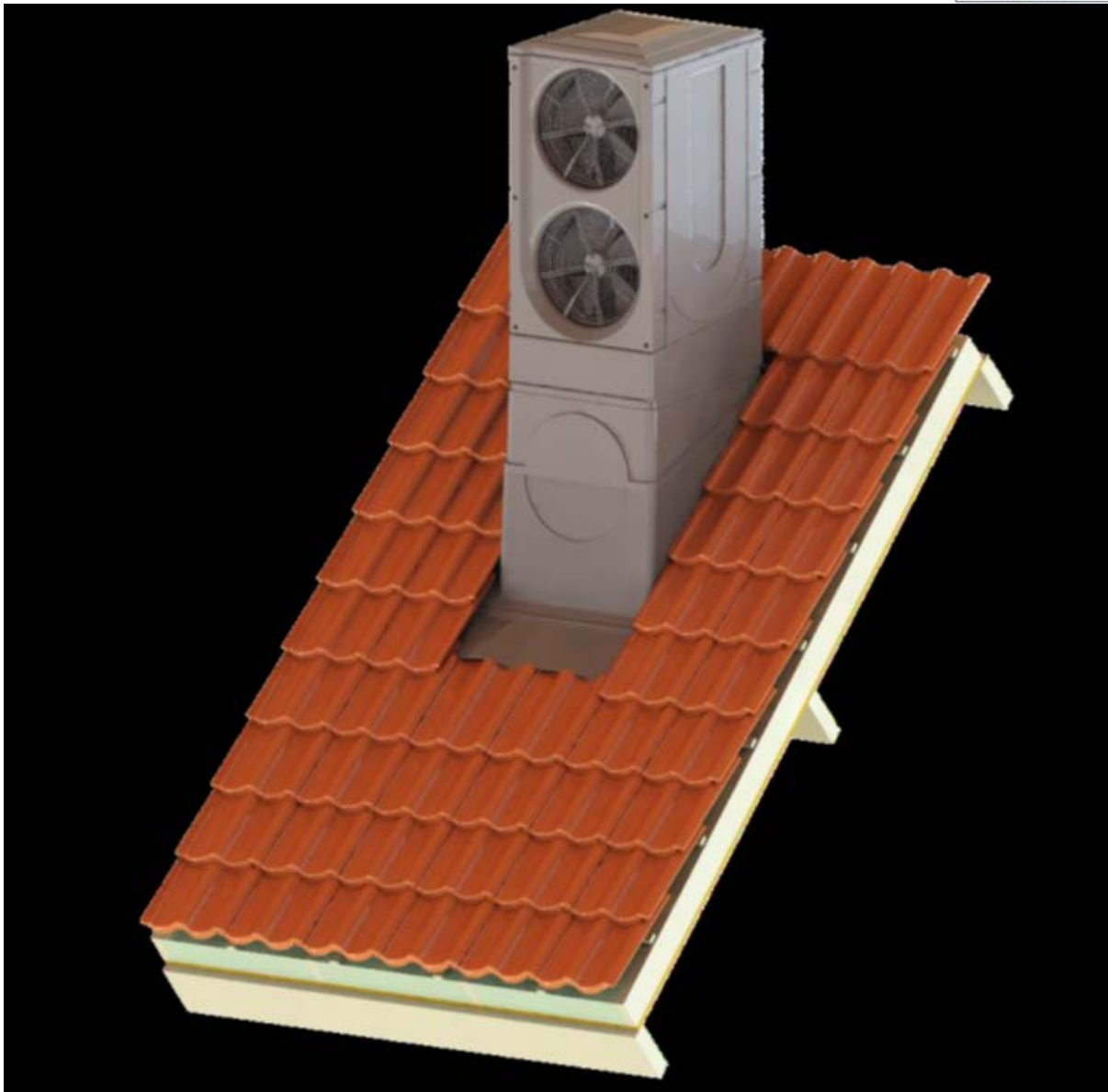
Er wordt vooral ingezet op lage levensduurkosten. Deze lage kosten worden gerealiseerd door:

- eenvoudige installatie in een woning, uit te voeren zonder speciale kwalificaties;
- geringe afmetingen;
- hoog jaarrendement door goede prestaties bij typisch Nederlandse omstandigheden en efficiënte aansturing;
- lage onderhoudskosten;
- rekening te houden met de aangepaste verhouding tussen de gas- en elektriciteitsprijs de komende jaren.

De terugverdientijd hangt af van de specifieke omstandigheden, maar zal veelal 5 à 6 jaar bedragen.

Ubbink heeft een kap ontworpen

Ubbink vond het HP-Launch ontwerp aantrekkelijk en heeft een omhullende kap ontworpen die door hen aan warmtepompfabrikanten kan worden geleverd. Daarmee is een systeem verkregen dat relatief snel in productie genomen kan worden.



*Figuur 9 Door Ubbink ontworpen dakopstelling voor de HP\_launch warmtepomp*

#### Geluidsproductie verdient nog aandacht

Geluidsproductie werd tijdens dit project steeds belangrijker voor de markt. In dit project heeft dit niet de hoogste aandacht gehad. Er is gekozen voor 2 relatief grote ventilatoren om een lage luchtsnelheid te krijgen. Dit geeft in theorie een laag geluidsniveau. Bij metingen bleek dat het geluidsnivo nog relatief hoog is. Het gebruik van 2 ventilatoren werkt positief. De gebruikte ventilatoren zijn voor algemene toepassingen. Waarschijnlijk is het probleem op te lossen met ventilatoren die meer afgestemd zijn op de toepassing.

#### HP-Launch biedt voordelen ten opzichte van de huidige warmtepompen

- De warmtepomp maakt gebruik van het duurzame koudemiddel propaan. Er is aangetoond dat hiermee een warmtepomp ontworpen kan worden die een grote bijdrage kan leveren aan de verduurzaming van Nederland.

- Met propaan is het mogelijk om een goede COP te behalen.
- De kleine 3,5KW warmtepomp kan ca. 95% van de warmte leveren die nodig is voor een karakteristieke Nederlandse rijtjeswoning.
- Er is met een rekenmodel aangetoond dat het mogelijk is om een goede COP te halen bij het gebruik van standaard radiatoren. Dit vraagt wel om een regeling die de temperatuur heel geleidelijk aanpast.
- Het aangepaste ontwerp voor de dakopstelling biedt voordelen m.b.t. installatie, onderhoud en geluid.
- De ontworpen warmtepomp biedt een goede terugverdientijd.

Meer informatie:

- HP-Launch Concept Design report, MMID, Scott Hoekstra, 29-2-2020
- Control strategie samenvatting, HAN report, R2020-AE&A-0003-rev\_0, van den Berg, M.J., 9-4-2020
- WP1, Rapportage:Randvoorwaarden en Dimensionering, Paul Friedel, BDH, 30-3-2020.
- HP-Launch Heatpump Design, Re/gent, R20143/RO03/V1, Marcel van Beek en Thijs van Gorp, 20 april 2020
- Ontwerp verdampersysteem, Studie naar een ontwerp van het luchtgekoelde verdampersysteem, G.J. Doornbos, TransferWorks, 21 april 2020