

Energimyndighetens titel på projektet – svenska EkoPack	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska EkoPack	
Universitet/högskola/företag Svenska Kyl och Värmepumpföreningen	Avdelning/institution
Adress Gustavslundsvägen 135, Bromma	
Namn på projektledare Viktor Ölen	
Namn på ev övriga projektdeltagare Björn Palm, Eric Granryd, Klas Andersson, Jan Erik Nowacki	
Nyckelord: 5-7 st Värmepump, isobutan, naturligt köldmedium, mekanisk underkylare, Economizer,	

Förord

Ett stort tack till finansörerna,

Energimyndigheten,
Alfa Laval Lund,
Kylma,
Nibe Industrier,
Sanden international Europe,
Sonority Sustainable Energy,
SKVP,
Granryd Consulting,
Klas Andersson Engineering,
Nowab,

av EkoPack som möjliggjort projektet. Samt alla engagerade personer som stöttat och aktivt bidragit för att ta projektet framåt. Ingen nämnd, ingen glömd!

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	6
Resultat	8
Diskussion.....	13
Publikationslista.....	13
Referenser, källor.....	Fel! Bokmärket är inte definierat.
Bilagor	14

Sammanfattning

EkoPack projektet har visat på möjligheterna att kraftigt reducera köldmediemängden i kyl- och värmepumpsystem och samtidigt upprätthålla energieffektiviteten. Därmed öppnas möjligheten att använda naturliga köldmedier i fler applikationer som tidigare har varit begränsade utifrån riskbedömningar i gällande säkerhetsstandarder.

I projektet har 2 prototyper tagits fram och utvärderats. En med standardkomponenter och en där syftet har varit att minimera köldmediemängden. Den senare använde 120 gram av köldmediet isobutan, R600a. Vid ett temperaturlyft på 43K åtgick det 13 gram köldmedium per kW avgiven värme.

Mätningar har även visat på de förbättringspotentialer som finns med en economizer där EkoPack underkyler kondensatet i en större propanvärmepump. De preliminära testresultaten visar att vid ett z värde på 0.19 ökades värmeeffekten med 19,9 % samtidigt som värmefaktorn för hela systemet ökades med 15,1%.

Fokus för projektet har varit applikationer med små temperaturlyft t. ex. inkoppling mellan fastigheter och termiska nät eller för att förbättra energieffektiviteten på större kyl- och värmepumpar med en economizer. Värmefaktorn, COP1, beroende på driftpunkt har för båda prototyperna legat i spannet 4 till 9.

Summary

The EcoPack-project has demonstrated possibilities to reduce the amount of refrigerant substantially without sacrificing the energy efficiency. It widens thus the possibilities to use natural refrigerants like hydrocarbons which are combustible and traditionally hampered by safety rules.

Within the project two prototype units have been built and tested. One of these used standard components and the other was designed to minimize the charge of refrigerant. The latter one used 120 grams of isobutane (R600a) as refrigerant. For a test condition with a temperature lift of 43 K the refrigerant charge was limited to 13 grams per kW heating capacity. The recorded COP1 of the two prototypes have been in the region of 4 to 9 depending on the temperature lift.

The preliminary results from the measurement have shown the benefits of using EkoPack as an economizer, to improve the performance of a larger propane heat pump. Heat output have been shown to increase with 19,9% and coefficient of performance of the whole system with 15,1% with a z value of 0,19.

The focus for the project was applications with high temperatures with limited temperature lifts e.g., to be used for heating and hot water production in multi-family houses using a neutral thermal net as heat source. An alternative is to use a EkoPack as an "economizer" added to a conventional heat pump to increase the capacity as well as the system coefficient of performance.

Inledning/Bakgrund

EkoPack är en värmepump som använder en liten mängd naturligt köldmedium och är framtagen för ett litet temperaturlyft.

EkoPack använder det naturliga köldmediet Isobutan, R600a. Men varför har ett naturligt köldmedium som är brandfarligt valts? Innan HFCer började användas som köldmedium, användes framförallt CFC- och HCFC köldmedier, så kallade freoner. Från början ansågs dessa syntetiska köldmedium som säkra, då de varken var giftiga eller brandfarliga. Men de visade sig efter 40-50 års användning, bryta ner ozonlagret och fasades ut i och med Montreal protokollet 1987. För att ersätta freonerna med negativ ozonpåverkan utvecklades nya syntetiska köldmedier. Dessa nya fluorerade köldmedier (HFC:er eller f-gaser) kunde få liknande egenskaper i form av kokpunkt och ångtryck som de tidigare freonerna utan att skada ozonskiktet. Däremot fick de den negativa egenskapen att vara starka växthusgaser. För att minska miljöpåverkan från f-gaserna begränsar f-

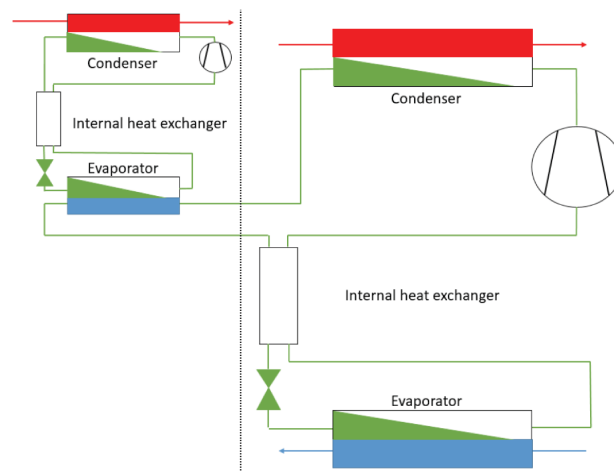
gasförordningen (EU 517 2017) den mängd f-gaser som får säljas inom EU, mätt i koldioxidekvivalenter, stegvis fram till 2030 då försäljningen ska ha minskat med 79% i förhållande till 2015 års nivå. På liknande sätt finns Kigali tillägget till Montreal protokollet som begränsar HFCer globalt. Så idag har vi återigen ett vägskaal - vilken typ av köldmedium vi ska använda i framtiden. Det finns återigen "nya" syntetiska köldmedier som tagits fram för att ersätta HFC:erna, så kallade HFOer eller omättade HFCer. Dessa har mycket lägre växthuspotential (GWP värde) jämfört med HFC köldmedierna då de snabbt bryts ner i atmosfären. Vid nedbrytning vet man dock att dessa i olika utsträckning bland annat bildar syran, TFA som tvättas ur atmosfären med nederbörd och därefter följer vattnet i dess väg. Mätningar har visat en ökande mängd TFA i regnvatten och grundvatten. Då TFA är en PFAS och inte bryts ner under överskådlig tid och påverkar djur och natur negativt i högre koncentrationer diskuteras nu restriktioner och förbud av användning av dessa substanser inom EU genom REACH förordningen. Ett alternativ till de syntetiska fluorinerade-köldmedierna är naturliga köldmedier där kolväten ingår. Dessa påverkar inte miljön negativt och har utmärkta fysikaliska egenskaper för att användas i ångkompressionscykeln. Nackdelen är att vissa av dem är brännbara, vilket ur ett säkerhetsperspektiv gör det önskvärt att minimera köldmediefyllningen. I gällande europeiska standarder är 150 g gränsen för vad som får installeras utan restriktioner. Därav var ett av projektets mål att maximalt använda 150g.

EkoPack är framtagen för små temperaturlyft, 15 till 55 Kelvin. Anledningen till detta är att värmepumpen är tänkt att användas för produktion av uppvärmning av hushåll och tappvarmvatten där energikällan är relativt varm, 15 till 35 °C. På grund av den högre förångningstemperaturen föll valet av det naturliga köldmediumet på isobutan, R600a.

Energikällan kan vara av 2 olika slag. I den första typen av applikation används EkoPack som en fristående enhet kopplad mot ett termiskt nät eller ett termiskt säsongslager som håller ovanstående temperaturer. Genom att kunna hålla låga arbetstemperaturer i dessa, det vill säga under de temperaturerna, 70 till 90 °C, som krävs för uppvärmning av tappvarmvatten och hushåll så minskar värmeförlusterna mot omgivningen. Som exempel så uppskattas transmissionsförlusterna i de svenska fjärrvärmenäten i Energimyndighetens statistik "energiläget i siffror 2018" år 2016 till 6,9 TWh. De senaste 10 åren har dessa ökat med cirka 30 % (efter normalisering av levererad energi). Genom att sänka temperaturen i delar av (eller hela) de fjärrvärmenät som lider av höga förluster, kan dessa förluster minskas betydligt. Detsamma gäller för termiska säsongslager där förlusten mot omgivningen minskar vid lägre lagringstemperaturer. En lägre lagringstemperatur och lägre förluster bör öka de marknadsmässiga förutsättningarna och kan därmed snabba på utbyggnaden av dessa energi-lager. Vilket är en avgörande pusselbit i övergången till ett resurseffektivt och hållbart energisystem som använder intermittenta energikällor som sol och vind. Förutom att minska de termiska förlusterna till omgivningen möjliggör lägre temperaturer i de termiska energilagren och i de termiska näten

även att spillvärme från kylmaskiner direkt kan tillvaratas vilket förbättrar energieffektiviteten för hela energisystemet.

I den andra applikationen används EkoPack för att förbättra energieffektiviteten hos större värmepumpar. En av de största förlustposterna i en kyl- eller värmepumpanläggning orsakas av strypförlusten i expansionsventilen. Hittills har inte någon effektiv expansionsmaskin som ersättning för strypventilen demonstrerats. Ett alternativt sätt att åtminstone delvis minska strypförlusten och därmed förbättra energieffektiviteten för konventionella kyl- eller värmepump-anläggningar kan vara att utnyttja en 'economizer'. I ett utförande kan en sådan anordning vara ett separat kylaggregat som hakas på en befintlig anläggning. Syftet är att kyla den varma köldmedievätskan efter kondensorn. Principen visas i följande figur.



Figur 1. "EkoPack" – ett extra (litet) kylaggregat (till vänster om den streckade linjen) kylar vätskan i huvudkretsen (till höger om den streckade linjen).

Economizer-enheten som lagts till kylar alltså vätskan efter kondensorn i huvudkretsen. En lägre temperatur på vätskan före expansionsventilen ökar köldalstringen för mediet i huvudkretsen och därmed kyleffekten. En tumregel för konventionella köldmedier är att kyleffekten ökar med 1% per grad extra underkylning. Fördelen ur energisynpunkt är att arbetsmediet som tillförs förångaren blir kallare och därmed ökas köldalstringen.

I rapporten "P25 – Värmepumpars påverkan på effektbalansen – Idag och i framtiden" från EffsysExpand uppskattas antalet fastighetsvärmepumpar bara i Sverige idag till cirka 23 tusen. Därtill säljs det cirka 3000 fastighetsvärmepumpar per år enligt försäljningsstatistik från Svenska Kyl och Värmepumpföreningen, dessa värmepumpar är exempel på installationer som skulle kunna dra nytta av EkoPack och avsevärt förbättra energieffektiviteten i installationerna.

Projektet EkoPack bygger vidare på den kunskap och de erfarenheter som Effsys Expand projektet Tekniskärare – Bästa teknologi för miljövänlig bergvärmepump

(senare kallat Pentaprop) gav och vidareutvecklar dess styrkor inom ett nytt tillämpningsområde.

En stor fördel är att projektgruppen har samlat samma personer som var engagerade i Pentaprop projektet samt de företag som levererar de vitala komponenterna. Projektgruppen har även kompletterats med personer som forskat och jobbat aktivt med konstruktion och design av kyl- och värmepumpslösningar under mycket lång tid.

Genomförande

I projektet har 2 prototyper tagits fram och analyserats. En konventionell design med en kolvkompressor av märket Bitzer och symetriska värmeväxlare från Swep. Denna prototyp har använts som referens mot den prototyp där köldmediefyllningen har minimerats. I den prototyp där syftet har varit att minimera köldmediefyllningen har en scroll-kompressor som normalt används för AC i elbilar av märket Sanden använts samt asymmetriska värmeväxlare från Alfa Laval tillsammans med 2 olika experimentella interna värmeväxlare. Dessa har utvärderats som enskilda enheter (stand alone). Därtill för den experimentella prototypen har även förbättringspotentialen utvärderats för ett större propanaggregat med en economizer koppling enligt figur 1.

Arbetspaket 1, beräkning och konstruktion

Först utfördes teoretiska beräkningar och utveckling av ingående komponenter för tänkbara köldmedier i Ekopack och huvudkretsen. Här lades den teoretiska grunden för de delkomponenter som ska ingå i Ekopack, samt uppskattningar av förbättringen i hela systemets prestanda vid economizer drift. Inverkan av temperaturnivåer och kapacitet på Ekopack i relation till huvudkretsen undersöktes. Systemets ingående delar specificeras och förväntade resultat vid givna driftspunkter beräknades.

Se bilaga 1 för underlag.

(Nowab, Eric Granryd, Klas Andersson engineering)

Arbetspaket 2, försöksplanering

Här bestämdes vilka mätningar som ska göras och vilken mätutrustning och övrig kringutrustning som krävs för att kunna simulera EkoPack mot tänkta applikationer samt för att kunna säkerhetsställa allmän teknikvalidering.

En kombination av samtliga nedanstående punkter bestämdes att utvärderas för de 2 prototyperna med vatten på både den kalla och varma sidan.

Temperatur ut från kondensator °C	Förångningstemperatur, T2 °C	Varvtal Sanden/ frekvens Bitzer
50	15	2000 rpm / 25 Hz
60	25	4000 rpm / 50 Hz
70	35	6000 rpm / 75 Hz

(Erik Granryd, Klas Andersson, Nowab, KTH)

Arbetspaket 3, inköp/framtagande av prototyp

I detta arbetspaket införskaffades och byggdes de 2 prototyperna. Sanden-aggregatet byggdes på KTH med komponenter från Klas Andersson Engineering, Kylma, Sanden och Alfa Laval. Bitzer aggregatet byggdes av Sonority/Kylma med huvudkomponenter från Bitzer och Swep. Se bilaga 1.

(KTH, KA Engineering, AlfaLaval, Kylma, Nibe, Sanden, Sonority)

Arbetspaket 4, mätutrustning och miljösimulering

Mätutrustning och förberedande kringutrustning införskaffades och testanläggning byggdes för att kunna simulera olika driftsfall med simulerade gränssnitt till befintliga system (huvudkrets, lågtempererad fjärrvärme, högtemperatur lager).

(KTH, Kylma)

Arbetspaket 5, driftsättning och uppstart av verifieringsrigg

På labbet på KTH energiteknik kördes verifiering av både miljösimuleringsrigg och prototyper inom valda driftspunkter.

(Elsa Forsgren, Christofer Kronström, Morteza Ganbarpourgeravi, KTH)

Arbetspaket 6, testkörning, mätning och datainsamling

I detta arbetspaket togs underlaget fram till de två exjobb som har utförts inom projektet. Se bilaga 2 och 3.

(Elsa Forsgren, Christofer Kronström, Morteza Ganbarpourgeravi, KTH)

Arbetspaket 7, Resultatsammanställning, utvärdering och rapportskrivning

Inom projektet har två examensarbeten utförts av Elsa Forsgren och Christofer Kronström med handledning ifrån Jan Erik Nowacki. Se bilaga 2 och 3 för deras examensarbeten. Idéer från EkoPack och ProPack har utmynnat i en ny, utvecklingsbar men ännu ej patenterad, värmeväxlare, primärt för vätskekylning/suggasöverhettning av Eric Granryd, Klas Andersson och Jan-Erik Nowacki. Ett flertal prototyper av denna värmeväxlare är framtagna men testkörningar och utvärdering har inte rymts inom detta projekt.

(Erik Granryd, Nowab, Klas Andersson engineering, KTH, SKVP)

Arbetspaket 8, Resultatspridning och projektledning

Projektet har väckt stort intresse både nationellt och internationellt och har och bland annat presenterats på Kyltekniska föreningen 2021-12-01, SKVPs webinarium 2021-05-05 och 2021-06-18. Inom projektet har 2 examensarbeten utförts där det senare av Christofer Kronström vann Ebbe Lyths stipendium 2021 för bästa examensarbete på högskolenivå och presenterades på Svenska kyl och värmepumpdagen 2021. Under projektet påbörjades revisionen av den europeiska f-gasförordningen (EU 517-2014). Viktor Ölen och Klas Andersson fick i och med detta möjlighet att presentera några av resultaten som framkommit under arbetet av EkoPack och ProPack för ÖkoRecherche som är en av de konsultfirmor som arbetat med framtagandet av ett nytt förslag till förordning för EU

kommissionen. Vissa av de framtagna förslagen för den nya revisionen ligger nära resultaten från körningarna i dessa projekt.

Projektet har fått 2 abstract godkända för att presentera på Gustav Lorentzen konferensen under sommaren 2022.

SKVP har genom Viktor Ölén lett den administrativa delen av projektet med stort stöd från övriga projektdeltagare.

Resultat

EkoPack är en värmepump som använder en liten mängd naturligt köldmedium och är framtagen för ett litet temperaturlyft. För de tänkta temperaturerna föll valet av köldmedium på R600a, isobutan.

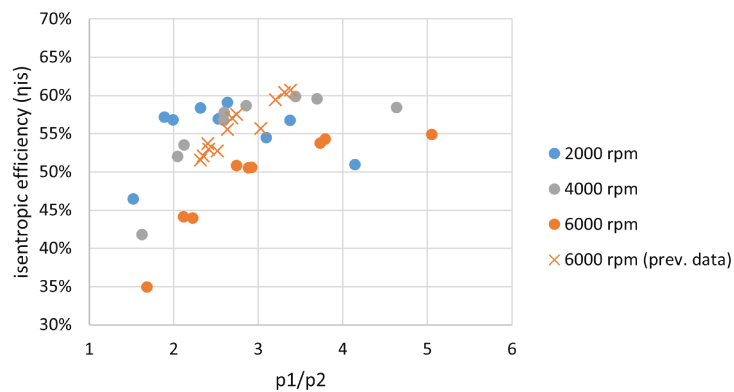
Målet var att ta fram en fungerande prototyp som använde mindre än 150 g köldmedium. Målet uppnåddes med råge då den framtagna prototypen framgångsrikt kördes med 120 g köldmedium.

För att kunna utvärdera denna prototyp inte bara mot teoretiska beräkningar byggdes även en prototyp med konventionella komponenter där de ingående delarnas prestanda är kända och erkänt bland de bättre på marknaden. Denna prototyp krävde cirka 950 g köldmedium med en uteffekt ungefär 3 gånger så stor som prototypen med minimerad köldmediefyllning.

I båda dessa prototyper användes förutom de delar som normalt finns i en värmepump, kompressor, förångare, kondensor och expansionsventil, även en intern värmeväxlare (suggasvärmeväxlare), se figur 1. Huvudorsaken till denna extra komponent som både är kostnadsdrivande och leder till ökad köldmediefyllning är behovet av hög överhettning i suggasen för att säkerhetsställa oljans funktion i kompressorn (att oljans viskositet inte minskar på grund av utspädning av köldmediet) och att köldmediet inte kondenserar under kompressionen. Förutom att säkerhetsställa oljans funktion, bidrar den interna värmeväxlaren även marginellt till en ökad energieffektivitet. Det blev tydligt att interna värmeväxlare framtagna för riktigt små köldmediefyllningar än så länge inte finns på marknaden. I prototypen med minimerad köldmediefyllning utvärderades två olika interna värmeväxlare. Dels en handgjord framtagen för ändamålet, dels en större experimentell plattvärmeväxlare. Den senare ökade köldmediemängden i systemet från 120 g till 350-400g vilket visar på behovet av anpassade special komponenter. Detta behov har gett upphov till en ny typ av internvärmeväxlare som är under utveckling och där prototyper nu finns för utvärdering. På grund av IP arbete ges inga närmare detaljer om denna.

Bitzer rekommenderar att använda en PAG olja vilket användes i prototypen med Bitzer kompressor. För prototypen som använde en Sanden kompressor valde projektet att använda en esterolja, vilket under testkörningarna har fungerat väl. När den större interna värmeväxlaren monterades i prototypen ökade köldmediefyllningen markant (>3ggr) men oljemängden ökades inte i samma utsträckning. Detta är troligtvis orsaken till den lägre isentropiska

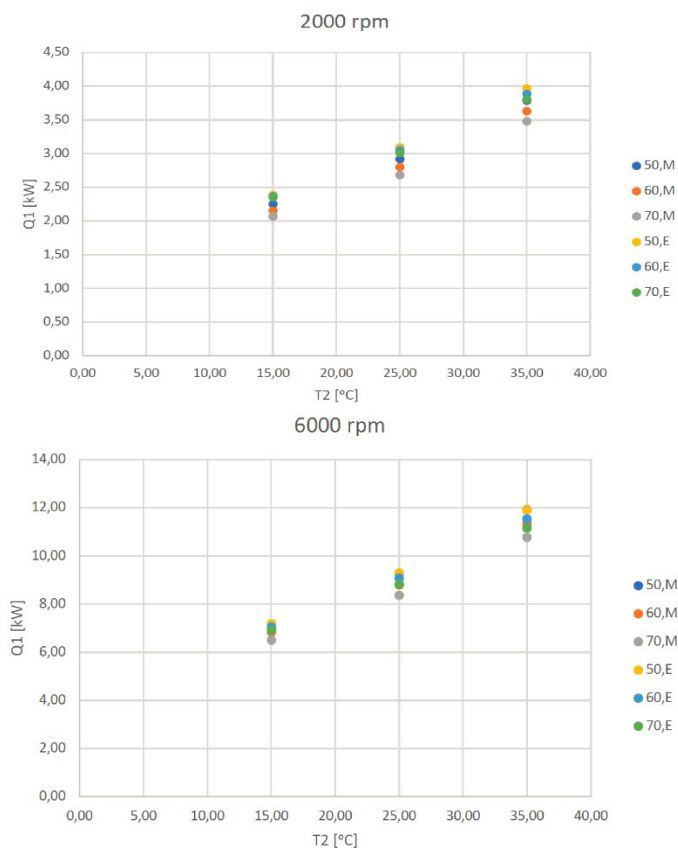
verkningsgraden i Sanden kompressorn i de senare körningarna (prev. Data).
 Diagrammet är hämtat från bilaga 3 figur 4.1b.



Figur 2 isentropisk verkningsgrad i Sanden kompressorn för olika varvtal. Vid runda prickar används den mindre special byggda interna värmväxlaren och vid x den större.

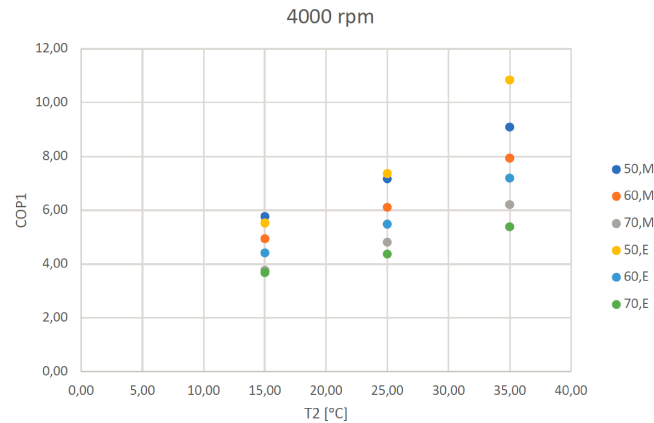
Denna deviation mellan körningarna beror alltså troligtvis på mängd olja i förhållande till mängd köldmedium. Det kan generellt konstateras att det finns dåligt underlag och erfarenhet för val av olja då isobutan används som köldmedium inom dessa temperaturområden.

För en detaljerad utvärdering av uppnådda resultat hos de två prototyperna, se bilaga 2 och 3. Nedan följer en översiktlig summering av valda delar. EkoPack prototypen med minimerad köldmediefyllning uppnådde följande uteffekter värme. Nedanstående grafer är hämtade från bilaga 2 och 3.



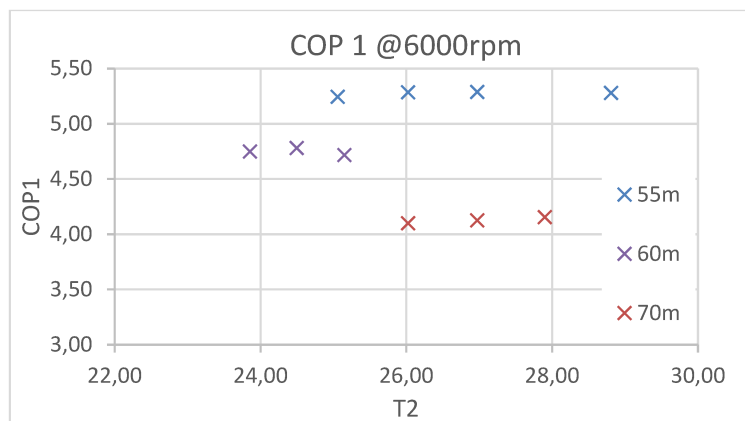
Figur 3 Uteffekt värme vid 2000 och 6000 varv per minut. X-axeln visar förångningstemperaturen, värden märkta med M visar uppmätta värden och E teoretiskt beräknade värden för utgående vattentemperatur ur kondensorn vid 50, 60 och 70 °C.

I projektet kördes kompressorn mellan 2000 och 6000 varv per minut. Vilket för de högre varvtalen och förångningstemperaturerna enligt figur 3 ger runt 12 kW trots den låga köldmediefyllningen. Det bör även påpekas att varvtalsregistret för kompressorn sträcker sig mellan 800 upp till 8500 varv per minut.



Figur 4, Värmefaktor, COP 1, vid 4000 varv per minut.

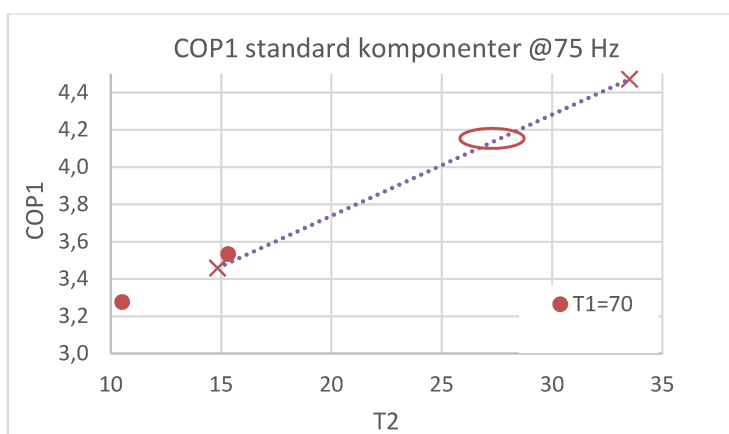
I ansökan angavs att värmefaktorn (COP1) för Ekopack kan förväntas bli ca 6,6 vid en förångningstemperatur på 20 °C och kondenseringstemperatur på 50 °C. Vilket enligt figur 4 är nära de värden som uppmättes. I ovanstående grafer användes värmebalansen över förångaren för att beräkna massflödet. I nedanstående graf har en extern energimätare för kompressorns drivenergi använts vid utvärdering av värmefaktorn.



Figur 5 COP 1 för prototypen med Sanden kompressor och den större interna värmeväxlaren mätt med extern energimätare.

Den uppmärksamma läsaren ser att COP1 är lägre i figur 5 än i figur 4. En bidragande orsak till detta är den lägre isentropverkningsgrad, se figur 2, som antas vara ett resultat av låg oljemängd i och med bytet av intern värmeväxlare.

För den konventionella prototypen med Bitzers kolvkompresor vid 75 Hz så uppmättes följande värmefaktorer vid olika förångningstemperaturer och en kondenseringstemperatur på 70 °C.



Figur 6 COP1 för prototypen med standardkomponenter. Den röda ringen visar motsvarande värden från utvärdering av prototypen med minimerad köldmediemängd (figur 5).

Vid en jämförelse för COP 1 för de 2 prototyperna, se figur 4, 5 och 6 så är skillnaderna försumbara. Däremot är skillnaden stor i mängd köldmedium som har använts. För prototypen med standardkomponenter åtgick det 40g/kW vid ett temperaturlyft på 43 °C. För samma temperaturlyft med prototypen med minimerad köldmediefyllning så åtgick det bara 13 g/kW.

Preliminära mätresultat för förbättringar som kan uppnås för en större propanvärmepump med den experimentella värmepumpen som economizer, se Figur 1, ser mycket positiva ut.

Nominal test conditions			Test results		Simulation results	
t_2 , t_{1H} , t_{1Eco}	Ecopac rpm	Z_{vol}	\dot{Q}_{gain} , %	$COP1_{gain}$, %	\dot{Q}_{gain} , %	$COP1_{gain}$, %
-1 / 50 / 50	4000	0,11	22,8	9,8	12,3	7,3
-1 / 60 / 60	4000	0,17	24,0	8,0	21,2	12,3
-1 / 70 / 70	4000	0,19	29,9	15,1	29,3	18,0
-1 / 50 / 70	4000	0,10	19,2	2,6	11,3	3,5

Där t_2 är förångningstemperaturen på propanvärmepumpen, T_{1H} kondenseringstemperaturen på propanvärmepumpen, t_{1Eco} kondenseringstemperaturen på EkoPack, Ecopac rpm är varvtalet på EkoPack, Z_{vol} volymetriska förhållandet mellan EkoPack- och propan-värmepumpen. \dot{Q}_{gain} ökning av värme-effekt och $COP1_{gain}$ ökning av värmefaktorn i förhållande till basfallet då EkoPack inte körs. Mer utförligt utvärdering av dessa mätningar kommer bland annat presenteras på Gustav Lorenzen konferensen sommaren 2022.

Diskussion

Projektet har visat att det trots kraftigt reducerad mängd köldmedium går att uppnå både höga värmeeffekter och hög värmefaktor. Detta öppnar upp för användandet av naturliga köldmedier i ett flertal applikationer som tidigare har varit begränsade utifrån riskbedömningar i gällande säkerhetsstandarder. Isobutan som köldmedium har i testerna fungerat väl utan några oförutsedda nackdelar. Projektet har också visat att de höga värmefaktorer, COP1, som man teoretiskt kan förvänta sig vid små temperaturlyft även kan uppnås i praktiken. För utbyggnad av termiska nät och energilager med låga arbetstemperaturer, 10 till 50 °C kommer den här typen av värmepumpar med små temperaturlyft vara avgörande. Jämfört med en normal villainstallation av luft/vatten- eller bergvärmepump innebär den högre förångningstemperaturen dubblerad värmefaktorn eller mer.

Projektet har även visat på de förbättringspotential som finns med en economizer där EkoPack underkyler kondensatet i en större propanvärmepump. De preliminära testresultaten visar att vid ett z värde på 0.19 ökades värmeeffekten med 19,9 % samtidigt som värmefaktorn för hela systemet ökades med 15,1%.

Projektet har under dess gång även stött på ett flertal utmaningar. Behovet av en liten intern värmeväxlare, som ännu inte finns på marknaden, har resulterade i nya idéer (och utkast till patent) samt en prototyp redo för utvärdering framöver. Det har inom projektet blivit tydligt att det konventionella sättet att mäta temperatur med utanpåliggande givare för att styra expansionsventilen inte fungerar tillfredsställande på grund av de extremt korta köldmedierören och den värmeledning som sker till anslutande komponenter. Den låga mängden köldmedium kräver därtill en snabbare och mer exakt styrning för att säkerställa att köldmediet är på rätt plats i köldmediekretsen. På några få sekunder har hela mängden förflyttats. Detta ger anledning att även undersöka nya styrstrategier.

Publikationslista

Evaluation of an economizer solution for a heat pump, Elsa Forsgren, 2020

Performance comparison between reciprocating and scroll compressor heat pumps with R600a refrigerant, Christofer Kronström, 2021

Muntlig presentation, Professor Björn Palm, Kyltekniska föreningen 2021-12-01,

SKVPs webinarium, Klas Andersson och Viktor Ölen, Natural refrigerants and small charges, 2021-05-05

SKVP webinarium, Viktor Ölen, EcoPack - An isobutane booster heat pump 2021-06-18.

Ebbe Lyths stipendium 2021, Christofer Kronström, KVPdagen 2021

Accepterade konferensbidrag

GL2022 - 15th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, EcoPac – isobutane heat pump acting as economizer, Eric Granryd, 2022

GL2022 - 15th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants EcoPac – High temperature low charge Isobutane heat pump, Viktor Ölen, 2022

Bilagor

Bilaga 1 - beräkningar och specifikationer

Bilaga 2 - Evaluation of an economizer solution for a heat pump, Elsa Forsgren, 2020

Bilaga 3 - Performance comparison between reciprocating and scroll compressor heat pumps with R600a refrigerant, Christofer Kronström, 2021

Bilaga 4 - administrativ bilaga