

PVT-booster

En ny og temperaturfleksibel
varmepumpe til lavtemperatur
fjernvarme og stand-alone
applikationer

SLUTRAPPORT



MARTS 2021
ELFORSK PROJEKT 351-013

PVT-booster

En ny og temperaturfleksibel
varmepumpe til lavtemperatur
fjernvarme og stand-alone
applikationer

SLUTRAPPORT

PROJEKTNR.

A115861

DOKUMENTNR.

010

VERSION

01

UDGIVELSESDATO

30.06.2021

BESKRIVELSE

Slutrapport

UDARBEJDET

RMH

KONTROLLERET

ANS/STJ

GODKENDT

RMH/KKO

INDHOLD

1	Resumé	7
2	English Summary	8
3	Projektdeltagere	9
4	Anlægsopbygning og modifikationer	10
5	Måleresultater fra test	13
6	Eksempler på anvendelse	18
7	Energibesparelspotentiale og marked	29
8	Formidling	31
9	Konklusioner	32
10	Appendiks	33
10.1	Datablade for PVT-booster	33

1 Resumé

Dette ELFORSK projekt omfatter udvikling og test af en ny og temperaturfleksibel varmepumpe med brugsvandstank kaldet PVT-booster. PVT-booster har en højere COP og kan anvendes i et bredere temperaturområde sammenlignet med normale varmepumper på markedet. PVT-booster kan producere såvel varmt brugsvand som varme til rumopvarmning og den er udviklet til et optimalt samspil med lav temperatur fjernvarme og PVT-E paneler (kombinerede solcelle, solvarme og energioptager paneler).

I projektet er varmepumpen udviklet ned til komponentniveau (kompressor, justerbar termostatisk ekspansions ventil og brinekreds). Udviklingen er blevet understøttet af test (ydelse, stress, COP, stabilitet mv.) og målinger har dokumenteret PVT-booster ydelsen i interaktion med en varmekilde med varierende temperaturer som i ultralav temperatur fjernvarme og PVT-paneler.

PVT-booster kan sammen med ultralav temperatur fjernvarme benyttes til at producere varmt brugsvand med en COP på 6, som kan sammenlignes med en el-vandvarmer, som giver en COP på 1. Herved kan fjernvarmeselskaber løse udfordringen med brugeraccept af lavere temperatur i forsyningen end normalt.

I områder uden fjernvarmeforsyning kan PVT-booster blive en nøglekomponent, der interagerer med PVT-moduler og batterilager. Denne løsning kan også benyttes i stand-alone applikationer som et både økonomisk og miljømæssigt attraktivt alternativ til fortsat opvarmning med olie og gasfyr.

Brugerøkonomiske analyser udført af COWI med beregningsprogrammet PVT-BAT viser, at PVT-booster og PVT drevne varmepumper med fordel kan erstatte eksisterende gasbaseret varmeproduktion til både varmt brugsvand og rumvarme.

2 English Summary

In this project, a new and temperature flexible heat pump (The PVT-booster) incl. a hot water tank has been developed. The PVT-booster has a higher COP and wider temperature range compared to market standards. The PVT-booster can produce both hot tap water and heat for room heating and is designed for optimal interaction with low temperature district heating and PVT-E panels (combination of Photo Voltaic and Thermal solar collector – Energy absorber).

In this project the heat pump has been developed down to component level (compressor, adjustable thermostatic expansion valves and cooling circuit). The development has been supported by lab test (tests for yield, stress, COP, stability etc.) and through measurements documenting the PVT-booster's performance in interaction with a heat source with fluctuating temperatures such as ultralow temperature district heating and PVT-panels.

The PVT-booster can in combination with ultralow temperature district heating be used for heating up the hot tap water with a COP of 6. This should be compared to an electric cartridge, which has a COP of 1. In this way the district heating companies can remove a considerable barrier for consumer accept of ultralow temperature heating.

In areas outside the district heating network the PVT-booster will potentially be a key component in interaction with PVT-modules and battery storage. This constellation will have the potential to become a green stand-alone application that is a both a society-economic and user economic feasible alternative to heating based on fossil gasoil and natural gas.

User economic analysis performed by COWI using the PVT-bat program, show that PVT-booster together with PVT sourced heat pumps with advantage can replace existing gas-based heat production to supply both domestic hot water and space heating demands.

3 Projektdeltagere

Virksomhed: **METRO THERM A/S**
Kontaktperson: Kasper Korsholm Østergaard
E-mail: kko@metrotherm.dk
Tlf./mobil: +45 23 81 81 05

Virksomhed: **COWI A/S**
Kontaktperson: Reto M. Hummelshøj
E-mail: rmh@cowi.com
Tlf./mobil: +45 29 64 71 60

Virksomhed: **Kommunikationsbureauet Rubrik**
Kontaktperson: Steen Hartvig Jacobsen
E-mail: steen@hartvig.com
Tlf./mobil: +45 40 13 44 84

Disclaimer

ELFORSK og projektets deltagere tager ikke ansvar for den videre brug af de i projektet beskrevne resultater.

4 Anlægsopbygning og modifikationer

Det i projektet udførte arbejde omfatter følgende:

Arbejdspakke 1 - Fastlæggelse af systemkrav

Aktiviteter:

- Definition og vurdering af systemløsninger.
- Simuleringer i Polysun og PVT-BAT med VP af udvalgte koblinger.
- Dimensionering af systemkomponenter til varmepumpen.
- Sammenbygning af varmepumpemoduler på kold og varm side.
- Integration af PVT-moduler som systemkomponent.
- Økonomisk analyse og optimering af delkomponenter og systemet.

Output: Internt notat med systembeskrivelse og fastlæggelse af systemkrav.

Arbejdspakke 2 – Laboratorietests uden PVT

Aktiviteter:

- Opbygning af laboratorieanlæg med tilpassede systemkomponenter.
- Simulering af driftsscenerier med optimering af temperatursæt.
- Forsøg med parallel og seriekobling.
- Sikring af effektiv drift af varmepumpe
- Ydelse-, stabilitets- og stresstests ved forskellige temperaturer (hurtigt svingende temperaturer, start / stop).
- Måling af COP under forskellige driftsforhold, herunder stress test.

Output:

- Testopstilling
- Ydelsesdiagrammer
- Data.

Arbejdspakke 3 - Pilotanlæg (med flere modulære enheder og PVT)

Aktiviteter:

- Opstilling af PVT-moduler på testområde.
- Opbygning af varmepumper og rørkoblinger med 3 units.
- Test af parallel og kaskade kobling.
- Driftstest med intermitterent drift med prioriteret skift mellem units.
- Målinger af ydelse, temperaturer, svingninger, COP osv.
- Afholdelse af fremvisning/seminar/workshop ved pilotanlægget med interessenter.

Output:

- Anlæg placeret på fabrik i Helsingør til tests og fremvisning.
- Fremvisning/seminar/workshop med interessenter og kunder.
- Intern målerapport med dokumentation af ydelser og driftsforhold.

Arbejdspakke 4 - Forberedelse af fuldskalaanlæg i boligblok

Aktiviteter:

- Dialog med boligselskaber og andre potentielle kunder.
- Videreudvikling af systemet med optimeringer og erfaringer fra pilotanlæg.
- Simulering af system med bl.a. PVT-BAT, PV SYST og Polysun. Herunder løsninger med inkludering af rumvarme.
- Teknisk-økonomisk analyse som del af beslutningsgrundlag.
- Evt. ansøgning til fase 2 med demonstration(-er) i fuldskala hos boligselskab – f.eks. EUDP.

Output:

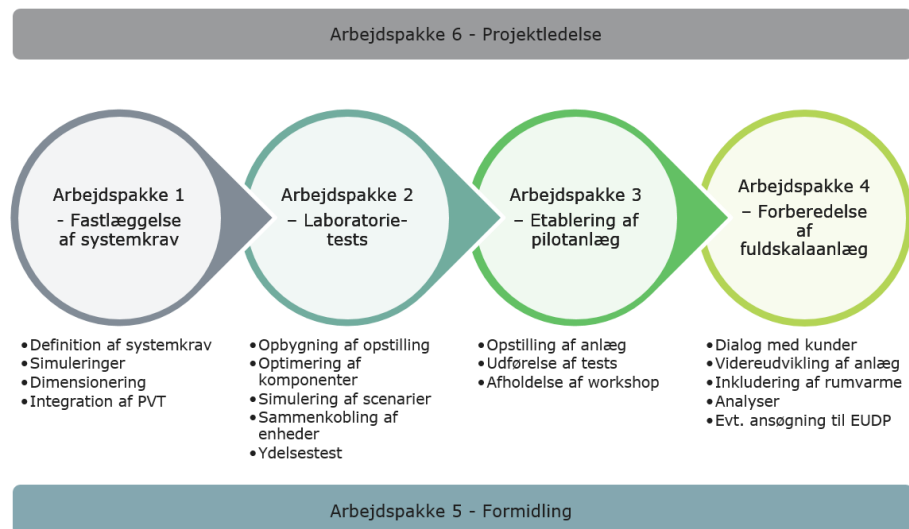
- Skitseprojekt eksempler.
- Beregninger af anlægsøkonomi, driftsøkonomi og rentabilitet.

Arbejdspakke 5 - Formidling

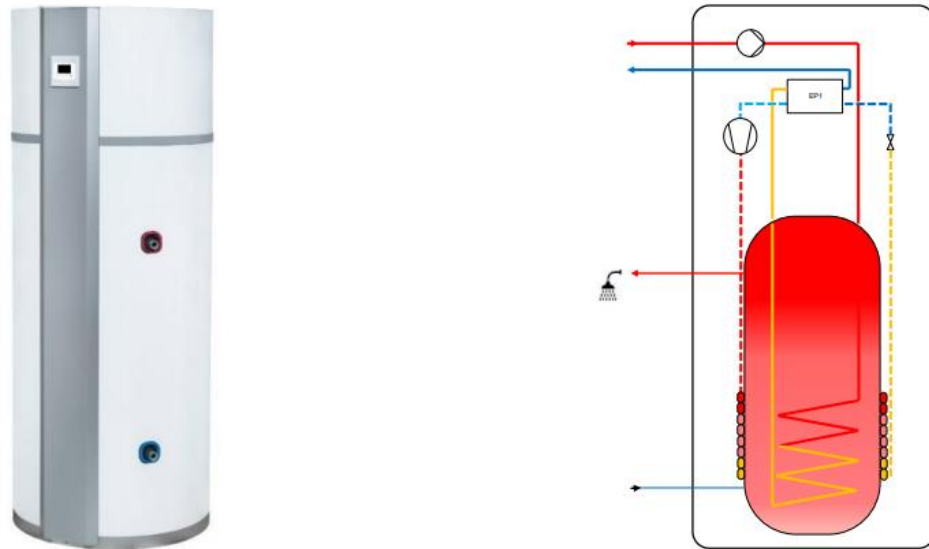
Aktiviteter:

- Dialog med boligselskaber.
- Materiale til forsyningsselskaber og rådgivere.
- Workshop for energirådgivere / følgegruppe.
- Artikler i fagpresse.

Output: Informationsmateriale og artikler.



Figur 1: Projekt-flow med illustration af arbejdsprogrammets indbyrdes relation.



Figur 2: Den udviklede PVT-Booster

Varmpumpen er karakteriseret ved at den kan håndtere -15 til 55°C på den kolde side, så den passer til at blive sammenkoblet med PVT paneler. Et PVT-panel er et solcellepanel, som også fungerer som solfanger og energiop-tager, idet der cirkuleres en brine gennem panelet. Fordelen er, at PVT-paneler leverer strøm til varmpumpen og samtidig fungerer som en lydløs energiop-tager, der optager varme fra udeluften og solindstråling. Bufferbeholderen betyder, at varmpumpen kan styres til fortrinsvis at køre i dagtimerne, hvor der er sol på panelerne.

PVT-booster varmpumpen kan sammenkobles i moduler, så den passer til så vel enkeltboliger som boligblokke. Ydelsen er som udgangspunkt 2 kW pr modul, men et 3-4,5 kW modul uden beholder er på vej.



Figur 3: De 3 sammenkoblede PVT-booster varmpumpe moduler

5 Måleresultater fra test

I projektets indledende fase søgte projektgruppen at identificere de bedste system- og komponentløsninger til varmepumpen i forskellige anvendelsesområder, herunder både til fjernvarmeområder og uden for fjernvarmeområder. Dette arbejde førte til kravspecifikationer for selve varmepumpen, systemopbygning og andre komponenter.

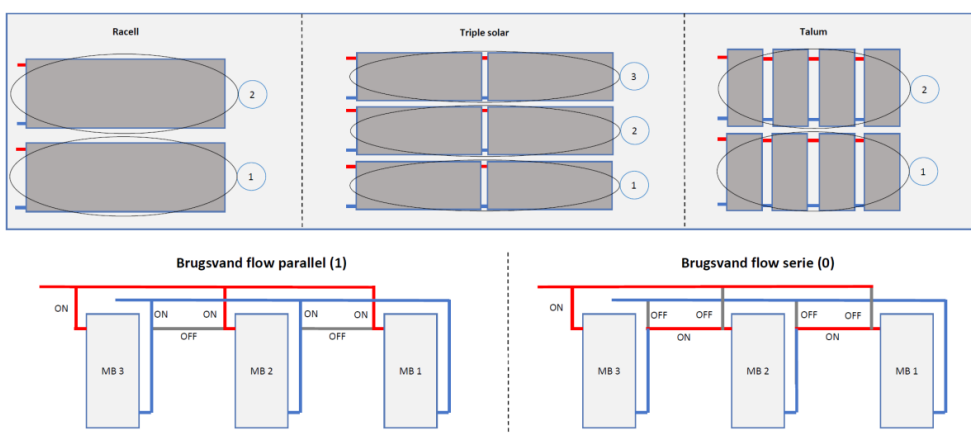
Herefter blev der etableret en testopstilling, hvor system og komponenter blev afprøvet med forskellige driftsbetingelser og styringsstrategier, og anlæg og komponenter blev justeret bl.a. til at håndtere større tryktab i brine-kredsen under vinterforhold. Pumpen er skiftet til en stærkere, den termostatiske ekspansionsventil er udskiftet til en stilbar optimeret model og styringen er tilpasset.

Herefter blev flere typer PVT-paneler og arealer testet under simuleret drift med et fast aftapningsmønster på brugsvandsiden. Anlægget blev dokumenteret og muligheder for yderligere forbedringer og udviklingsmuligheder blev vurderet og har dannet grundlag for en videre udvikling, der vil blive brugt i den efterfølgende markedsføring af løsningerne.

I nærværende projekt blev forskellige typer PVT-paneler testet sammen med PVT-booster koblet i henholdsvis parallel og serie.

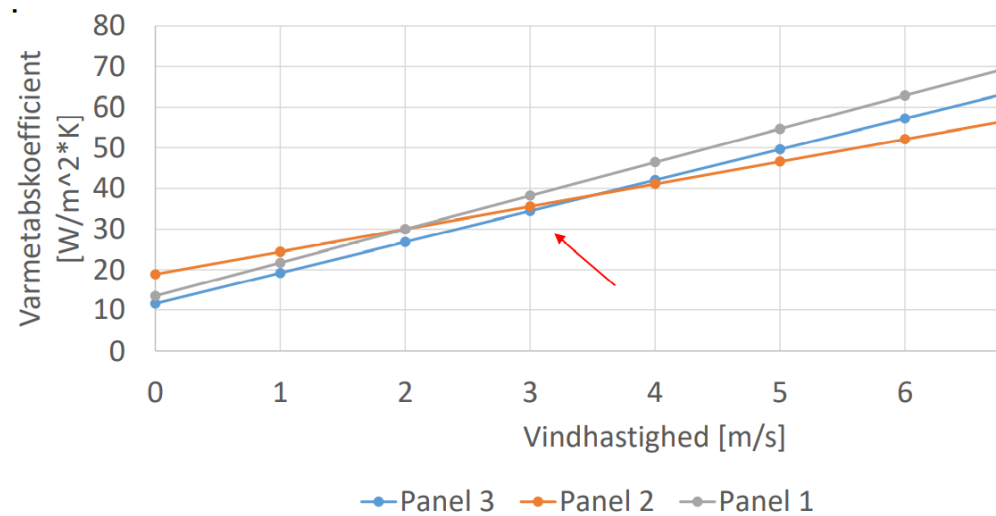


Figur 4: De testede PVT-paneler fra henholdsvis Racell, Tripple Solar og Talum.



Figur 5: Målingerne viste, at parallelkobling på brugsvandssiden giver den bedste ydelse, da serie kobling reducerer ydelse på de sidste moduler.

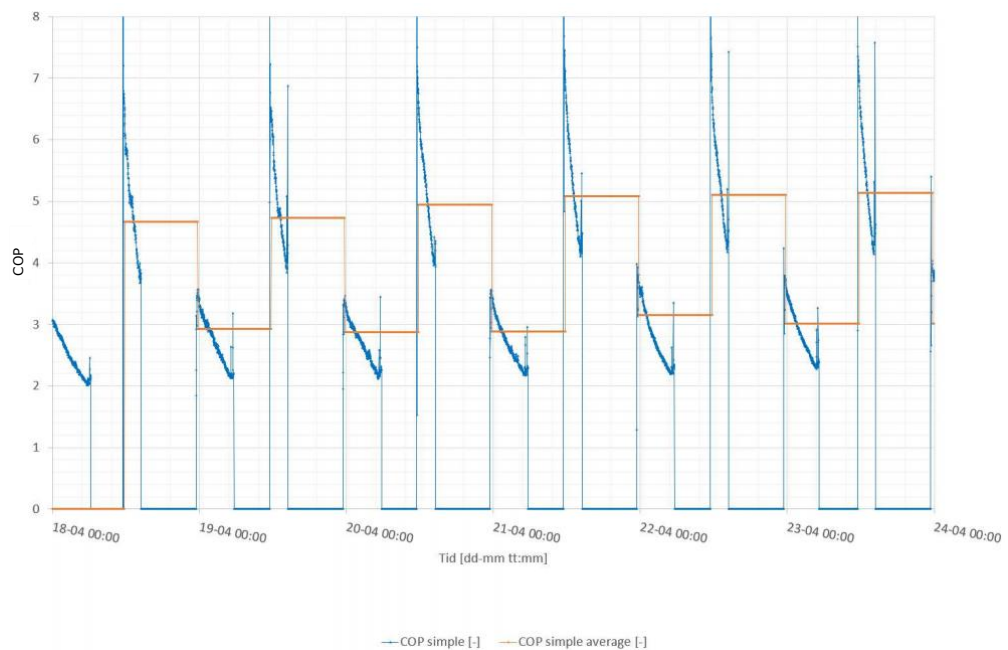
Varmeoptagelsen fra udeluften, når der ikke er sol, afhænger af vindhastigheden. Når der er vindstille uden stråling, er varmeovergangskoefficienten mellem 11 og 25 W/m²K. Ved let vind 3-4 m/s er varmeoptagelsen 35-45 W/m²K.



Figur 6: Målt varmeovergangskoefficient for PVT-panelerne.

Driftspunkt af varmepumpens (VP) brine-temperatur afhænger af areal, solintensitet, vindhastighed og luft-temperatur. Ved lille PVT-areal falder brine-temperaturen for, at kunne optage den nødvendige energi, herved reduceres COP værdien. PV- og PVT-arealets størrelse afhænger af en optimering i hvert enkelt tilfælde.

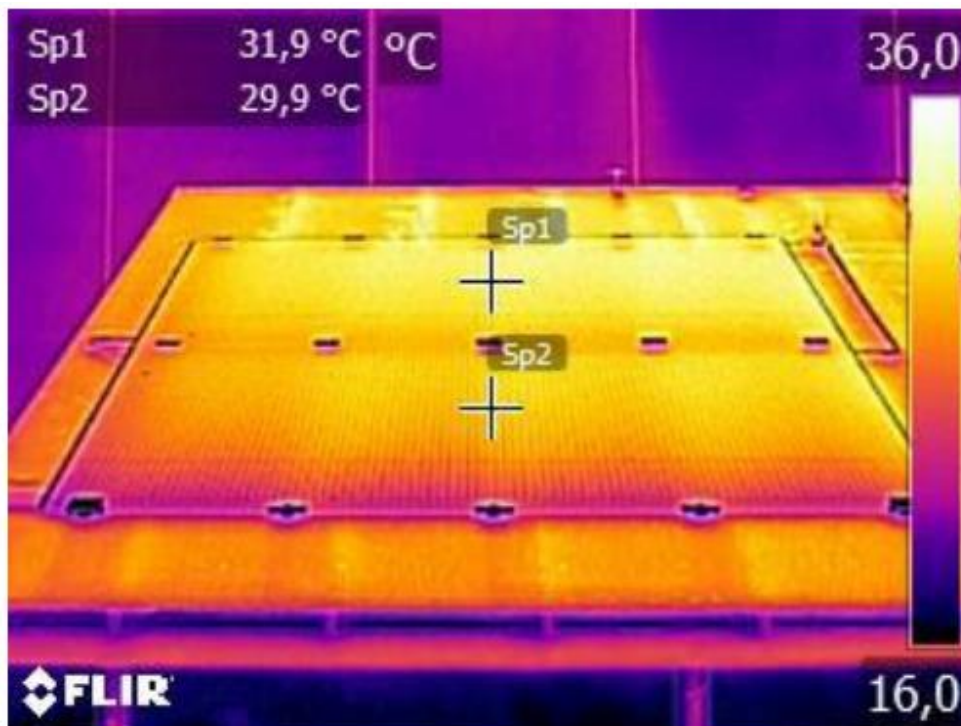
Den målte COP i dags- og nattetimerne ses af følgende figur:



Figur 7: Målt COP i dagtimerne er omkring 5 og omkring 3 om natten (målt i april måned)

Når der er sol, stiger brine-temperaturen, og den kan i perioder benyttes direkte til forvarmning i varmtvandsbeholderen, så længe at temperaturen i beholderen er lavere end brine-temperaturen. COP bliver herved meget høj, da der kun er elforbrug til cirkulationspumpen. Følgende er målt i sommeren 2020:

- Brine 30°C -> COP ~ 20
- Brine 54°C -> COP ~ 39

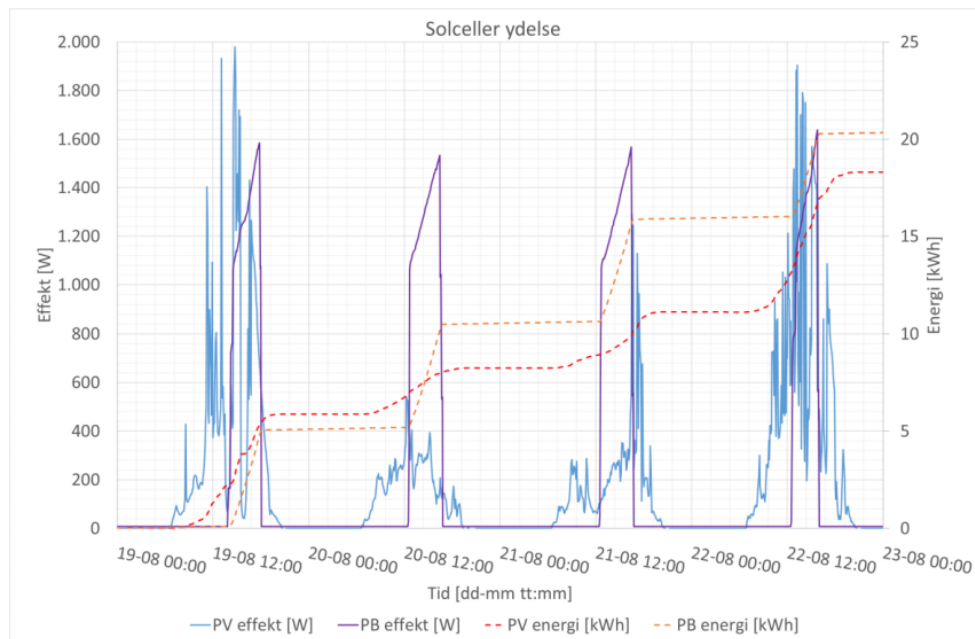


Figur 8: Termografibillede af PVT-panel under solvarmedrift

Systemet kan således benyttes i forskellige driftsformer, som også kan omfatte passiv nattekøling jf. nedenstående tabel:

VP (status)	Nat (Vind)	Dag (Sol og vind)
Slukket	Varme afgives til vind	Varme optages fra solen Varme afgives til vind
Tændt	Varme optages fra vind	Varme optages fra sol Varme optages fra vind

Køling af solceller giver forøget el-effektivitet, op til 12% (plus 1,5-2% point). Solcellerne producerer strøm, der kan bidrage til en stor andel af varmepumpens elforbrug, som kan øges yderligere ved at kombinere solcellerne med et batteri. Brugsvandsbeholderen er på 190 l, hvilket også giver en lagringsmulighed svarende til et døgnforbrug i en en-familiebolig, dvs. at varmepumpedrift hovedsageligt kan ske om dagen, når der er solvarmeenergi til rådighed.



Figur 9: Sammenfald mellem solindstråling og varmepumpens forbrug.

Brine-temperaturen vil normalt være 5-8 grader under udetemperaturen, indtil dugpunkttemperaturen nås. Ved kondensering er energioverførelse høj. Ved koldt vejr kan der dannes rimfrost og is på overfladen, som dog hurtigt forsvinder ved solindstråling. Rammeløse PVT-paneler giver mindre isdannelse.

I ELFORSK projektet blev systemet endvidere stresstestet med brine-temperaturen ned til minus 19,3°C!

Stresstest:

- > Lille PVT-areal (6m²), 3 PVT-booster VP moduler i fuld last
- > Brine-temperatur på -13,3 / -19,3°C, Luft-temperatur 1,3°C
- > COP ~ 2,9
- > COP > COP EN16147



Figur 10: Is-formation på PVT-paneler under stresstest

Konklusion:

- > Strøm- og varmeproduktion fra PVT-paneler er i god synergi med varmepumpens driftsmønster.
- > PVT-paneler har en god køle- /energiptagerflade, som ikke kræver vedligehold.
- > Forskellige PVT-designs -> forskellige fordele, alle fungerer.

6 Eksempler på anvendelse

Projektets resultater gør det muligt at integrere mere vedvarende energi i lavtemperatur fjernvarmesystemer uden at lægge beslag på jordarealer til solfangere og solceller. Den foreslåede teknologiudvikling har også et stort potentiale i eksisterende fjernvarmeforsynede områder, hvor der er planer om by-fortætning i form af nye tagboliger, men hvor der er begrænsede muligheder for at udvide forsyningskapaciteten på en omkostningseffektiv måde. I dette tilfælde vil varmepumpen under spids-last kunne udnytte temperaturen på fjernvarmens returløb og dermed bidrage til en større afkøling til fordel for fjernvarmeværket samtidig med, at det udvidede etageareal opvarmes uden en egentlig udvidelse af fjernvarmenettet.

I områder uden mulighed for tilslutning til fjernvarme vil den udviklede teknologiske løsning i projektet gøre det mere omkostningseffektivt for forbrugerne at konvertere eksisterende olie- og/eller naturgasfyr til en varmeforsyning, baseret på solenergi, el og batterilagre, som f.eks. BIPVT-E-konceptet, der for tiden er installeret og følges i en boligafdeling i Ølstykke. Projektets nyudviklede varmeunit ventes derfor at kunne gøre det brugerøkonomisk attraktivt for mange af de ca. 600.000 nuværende olie- og naturgasforbrugere at konvertere til solenergi og el. Disse forbrugere vil dermed blive aktive intelligente forbrugere, som fleksibelt kan agere som "*prosumers*" i intelligent samspil med el- og fjernvarmenet.

Med dette potentiale kan den nyudviklede PVT-booster varmepumpe blive et virkningsfuldt element i en omkostningseffektiv grøn omstilling af varmeforsyningen, ligesom den temperatur fleksible varmepumpe vil fremme konvertering til mere energieffektive lavtemperaturdrift i eksisterende fjernvarmesystemer.

Efterfølgende er samlet nogle cases, som er blevet beregnet af COWI med POLYSUN og PVT-BAT.


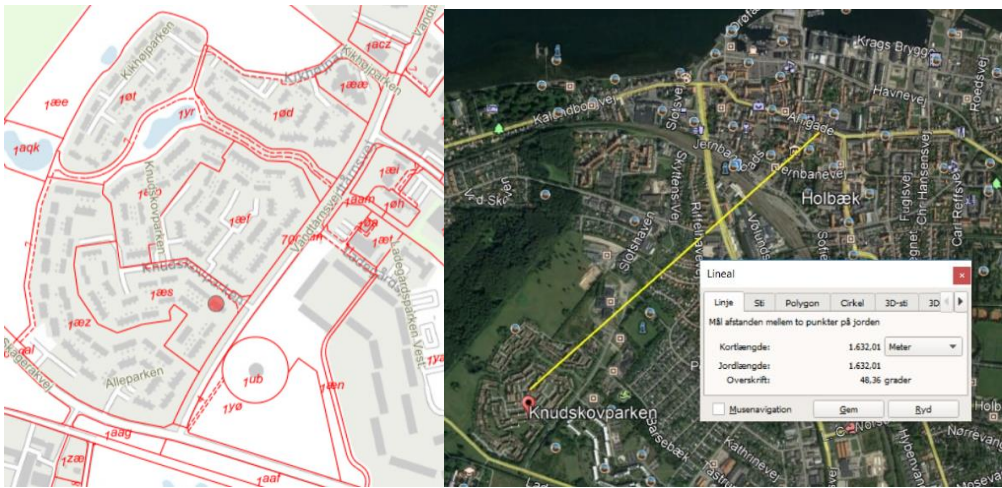


	<h2 style="text-align: center;">Holbæk – Knudskovparken - Alléparken - Kikhøjparken</h2>
<p>Navn</p>	<p>Knudskovparken Alléparken Kikhøjparken</p>
<p>Boligfor- ening</p>	<p>Boligkontoret Danmark, Holbæk Boligselskab</p>
<p>Placering</p>	<p>Ligger på følgende veje, Knudskovparken, Alléparken og Kikhøjparken i Holbæk</p>
<p>Kort beskrivelse</p>	<p>2-etagers blokke med individuelle gasfyr med aftræk igennem tag. Tage med betontegl. Skal formodentlig ikke udskiftes. Betonelementer. Antages at der er en beholder for varmt brugsvand i hver bolig. Placering af gasfyr og VVB ikke kendt. Bygningerne er formodentlig tilsluttet til elnettet med 1-3 blokke pr kabelskab og afregningspunkt. I en del tilfælde er en blok delt således, at den forsynes fra flere kabelskabe.</p> 
<p>Fakta</p>	<p>Opført 1982-1987. Antal boligenheder: Knudskovparken 397. Alléparken 175. Kikhøjparken 242.</p>
<p>Matrikler og placering</p>	

Foto	
	 <p data-bbox="368 920 608 949"><i>Blok med 6 boliger.</i></p>
<p>Muligheder vedrørende anvendelse af PVT-booster.</p>	<p>Fælles produktion af varmt brugsvand i et skur for hver blok. Fordeling af varmt brugsvand og cirkulation enten med rør i jord eller igennem bygning evt i forbindelse med udvendig merisolering.</p> <p>Energioptagere i form af PVT-paneler kan anbringes ovenpå eksisterende betontagsten eller på skure.</p> <p>For hver 1-2 blokke kræves mindst 3 PVT-boostere og et PVT areal på 25 m² til energioptagere.</p> <p>Indledende beregninger viser at en sådan installation vil kunne dække et forbrug af varmt brugsvand på 800 l/dag, svarende til 14.000 kWh/år. Det svarer til forbrug fra 12 boliger med ca. 33 personer.</p> <p>En særlig fordel ved PVT-booster varmepumperne er, at de er lydløse, i modsætning til varmepumper med en udeluft del.</p> <p>PVT-booster er forberedt for evt senere fjernvarmetilslutning.</p>
Økonomi	<p>En beregning med programmet PVT-BAT viser, at der er en god økonomi i et sådant anlæg.</p> <p>Referencen er anlægget med 3 boostere og 25 m² PVT og et forbrug på 800 liter varmt vand per dag. Med den nuværende produktion af brugsvand med Ngas med en virkningsgrad på antaget 85% og Ngas pris på 0,67 kr./kWh inkl moms. vil det koste ca. 11.000 kr pr år inkl. moms. per lejlighed.</p> <p>Øvrige forudsætninger: Elpris inklusiv afgift 2,07 kr./kWh, elpris uden elafgift 0,95 kr./kWh inkl moms.. Finansiering 30 årigt lån til 3%. Der er set bort fra drift- og vedligeholdelse.</p>

		Uden batteri	Med batteri	Uden batteri elafgift nul
Pris for PVT anlæg, inkl. moms	kr.	120.000	146.600	120.000
Pris for levering af varmen med PVT anlæg inklusiv finansiering	kr./år	9.870	10.070	7.570
Pris for levering af varme med gas	kr./år	11.040	11.040	11.040
Besparelse	kr./år	1.170	970	3.470
Data for PVT anlæg	kWh/år			
Produceret el	kWh/år	4.700	4.700	4.700
Solgt el	kWh/år	3.400	2.450	3.400
El brugt af varmepumpen	kWh/år	3.250	3.250	3.250
Købt el	kWh/år	2.000	1.050	2.000

Det fremgår, at anlægget med PVT giver en billigere forsyning med varmt brugsvand end fortsat brug af gas. Der spares ca. 1000 kr. om året pr. lejlighed inkl moms. Hvis der tilknyttes et batteri (på 6 kWh), falder besparelsen lidt, men der opnås en bedre udnyttelse af den egetproducerede el.

Der er i tabellen vist en supplerende beregning, hvor elafgiften er sat til nul. Det svarer til den situation, hvor el kan købes med elvarmerabat, hvor elafgiften fra 2022 stort set forsvinder. I dette tilfælde stiger den årlige besparelse til omkring 3.500 kr per lejlighed inkl moms.

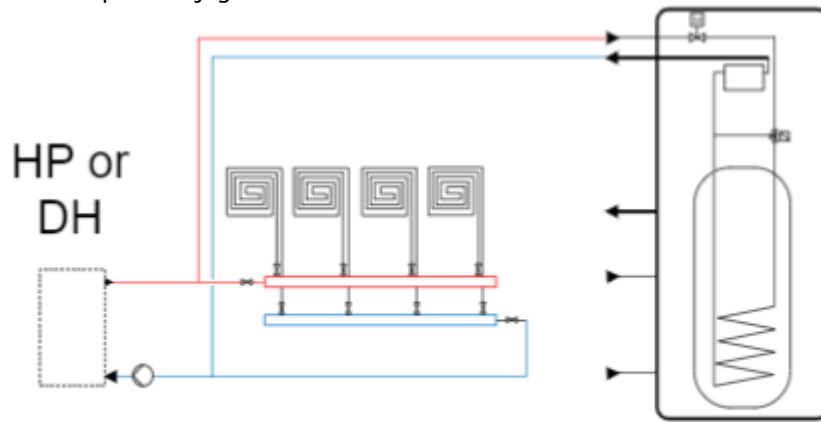
Restlevetiden af de mange gasfyr kendes ikke, men PVT-booster systemerne kunne kombineres med et senere fremført lavtemperatur fjernvarmenet, der forsynes fra en central større varmepumpe, hvorved rumvarme også kan dækkes.

Alternative projekt-muligheder

- 1) Projekt som i Stengården afd. 8 i Ølstykke med forsyning af varme og varmt vand fra et teknikskur til hver blok med varmepumpe og PVT (ikke boostere). Der skal da være PVT-paneler på omkring halvdelen af tagfladerne. Dette er nok urealistisk, medmindre tagene skal renoveres/udskiftes.
- 2) Boostere som i 1), men med produktion af varme til hver blok med en luftvarmepumpe. Evt. suppleret med PVT-paneler monteret ovenpå taget, som så bruges direkte til brugsvand i perioder om sommeren, således at luftvarmepumperne ikke skal køre – og støje om sommeren, hvor der er åbne vinduer og udeophold.
- 3) Lokal produktion af varmt brugsvand med PVT-boostere og etablering af et lokalt fjernvarmenet koblet til en semicentral varmepumpe med luft som varmekilde placeret et sted, hvor den ikke generer mht. støj. Dette anlæg vil da kun være i drift i fyringssæsonen.
- 4) Som 3, men fjernvarmenettet er koblet til et større fjernvarmenet. Dette kan ske som en udvikling, hvor lokal produktion til nettet overgår til køb af fjernvarme fra et større net, når dette bliver rentabelt og/eller egen varmepumpe evt. er udtjent.

Alternativ 3) og 4) er beskrevet og illustreret herefter:

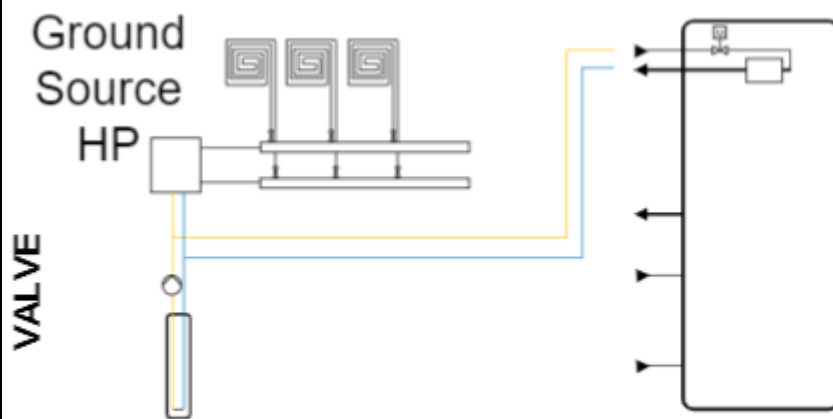
PVT-boster system koblinger. PVT-boosterne kan stå med en unit i hver bolig eller samles i clustre på 2-6 enheder, der forsyner flere boliger, typisk 3 PVT-booster moduler pr 12 lejligheder.



Heat source: $T > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Figuren ovenfor viser lokal produktion af varmt brugsvand med PVT-boosterne og etablering af et lokalt fjernvarmenet koblet til en varmepumpe med luft som varmekilde placeret et sted, hvor den ikke generer mht. støj. Dette anlæg vil da kun være i drift i fyringssæsonen og leverer varme ved den nødvendige temperatur for radiatorer eller anden varmeafgiver. Om sommeren sænkes temperaturen i dette lokale net og cirkulationen kan ske gennem PVT-paneler, som hæver temperaturen, når solen skinner.

Systemet kan med tiden kobles til et større fjernvarmenet (lavtemperatur), når dette bliver muligt og/eller egen varmepumpe evt. er udtjent.



Heat source: $T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Endeligt kan løsningen udformes som kold fjernvarme (Termonet evt som brine-net), hvor ultra lavtemperatur varme fra jordvarme, borehuller eller grundvand cirkuleres direkte til decentrale varmepumper i bygningerne, som så producerer varme til henholdsvis rumvarme og varmt brugsvand med hver sin varmepumpe. Denne kreds kan tilsvarende tilkobles PVT-paneler, som giver et solvarme /luftvarmetilskud om sommeren og producerer el til varmepumpernes drift.

I det følgende har vi regnet på en række forsyningsalternativer:

- 0 Reference med nye gasfyr og fortsat brug af n-gas
- A Semi-centrale luft/vand varmepumpe til rumvarme med hver 20 boliger pr varmepumpe suppleret med blokbaseret efteropvarmning af varmt brugsvand i 2 PVT-booster stationer med 12 m² PVT-areal per booster station.
- B Nyetableret Termonet med individuel varmepumpe i hver lejlighed til rumvarme og varmt brugsvand. Termonettet benytter grundvand som varmekilde og uden termisk og hydraulisk årlig regenerering.
- C Individuel ny type PVT varmepumpe til såvel rumvarme og varmt brugsvand.

Resultaterne viser at:

- Alternativ A giver den billigste varme og billigste CO₂ fortrængningspris.
- Alternativ C giver den mindste miljøbelastning og en lave varmepris, men er dyrest i etableringsomkostninger.
- Alternativ B ligger imellem de 2 andre og er især interessant hvis der er en lavtemperatur varmekilde til rådighed f.eks. varme fra transformatorstation eller butikskøling.
- PVT-booster varmepumper giver billigere varme og bedre miljø end at benytte el-vandvarmere til at hæve temperaturen på det varme brugsvand.
- Individuelle forhold i forbindelse med den bygningsmæssige indpasning kan påvirke pris og beslutninger om valg af alternativ, som det også fremgår af den efterfølgende case.



Forsyningskoncept til Knudskovparken, Holbæk

Systemalternativer

- O** Referencen med nye gasfyr og fortsat brug af n-gas
 - A** Semi-centrale luft/vand varmepumper til rumvarme til 20 boliger pr VP suppleret med blokbaseret eftervarmning af varmt brugsvand i 2 PVT-booster stationer m. PVT per system
 - B** Nyetablerede termonet med individuelle varmepumper i hver lejlighed til rumvarme og varmt brugsvand. Termonet baseret på grundvand uden regenerering.
 - C** Individuelle PVT varmepumper til rumvarme og varmt brugsvand.
- El til varmepumper med elvarmerabat er sat til 0,79 kr/kWh excl moms Effekt af evt. supplerende PV er ikke medtaget.*

	System alternativer	Fjernvarmenet	Varmeforsyning	Varmt brugsvand tilberedning	Varmeoptag til varmepumper	T fremløb	T retur	Beregnet varmepris DKK/kWh excl moms	Investering DKK excl moms	Årlig CO ₂ emission ton	CO ₂ fortrængningspris over 20 år DKK/ton	N-gas kg/MWh	El kg/MWh
O	Reference med fortsat brug af N-gas og nye gasfyr i alle boliger	Intet	Individuelle gasfyr	Med indiv. gasfyr	Intet	-	-	0,67	11.910.000	731	0	149	30
A1	Semi-centrale luft/vand varmepumper til rumvarme suppleret med blokbaseret eftervarmning af varmt brugsvand i PVT booster stationer med PVT på husene	Et antal mindre net til hver af de semi-centrale varmepumper	Direkte fra nettet	Fra blokbaserede boostere	Luft, semi-centralt	35-55°C	30°C	0,48	27.450.000	45	1134		
A2	Semi-centrale luft/vand varmepumper til rumvarme og forvarmning af brugsvand. Eftervarmning af varmt brugsvand med el. (dvs som A1 men uden PVT boostere)	Et antal mindre net til hver af de semi-centrale varmepumper	Direkte fra nettet	Forvarme fra net, eftervarme med el.	Luft, semi-centralt	35-55°C	30°C	0,56	26.528.000	52	1076		
B	Nyetablerede termonet med individuelle varmepumper til rumvarme og varmt brugsvand. Termonet opvarmes med borehuller/jordslanger /grundvand/PVT/andet.	Et antal termonet eller et stort der dækker alle boliger. Varmekilder rundt om bebyggelse.	Fra individuel varmepumpe	Fra individuel varmepumpe	Lavtemperaturkilder, semicentralt	<30°C (5 til 15°C)	(0 til 10°C)	0,61	40.214.000	36	2036		
C	Individuelle PVT varmepumper til rumvarme og varmt vand i hver bolig	Intet	Fra individuel varmepumpe	Fra individuel varmepumpe	Sol og luft fra PVT.	-	-	0,52	45.456.500	10	2327		

Bemærk at priser er ekskl. moms.

	Skodsborgvej 190 A – Povl Bergsøe Kollegiet
Navn	Povl Bergsøe Kollegiet
Selskab	Polyteknisk Kollegieselskab (PKS) v/Boligkontoret Danmark
Adresse	Skodsborgvej 190 A, Nærum
Kort beskrivelse	<p>Bebyggelsen består af 16 to-etagers boligblokke med 352 enkeltværelser og 31 lejligheder samt fælleskøkkener.</p> <p>Tagene renoveret i 1993 med 350 mm isolering.</p> <p>Varme og varmt brugsvand forsynes fra en gasdrevet varmecentral på området. To Buderus kedler, kondenserende. To varmtvandsbeholdere a 5000 liter fra 2010.</p> <p>Kedlerne kører med prioritering af opvarmning af varmtvandsbeholdere og afbryder for opvarmning. Cirkulation på brugsvand fra varmecentral.</p> <p>Rør i jord isoleret med 100 mm.</p> <p>Det antages, at der ikke er individuel afregning af forbrug, hverken el eller varme.</p> <p>Det vurderes, at nettabet i jord og under bygninger er relativt stort.</p>
Fakta	<p>Opført 1967.</p> <p>Kollegie med 352 enkeltværelser og 31 lejligheder med to værelser.</p>
Matrikler og placering	 <p>Varmecentralen er placeret ved den grønne cirkel. Ligger på to matrikler. Den ene matrikel inkluderer nærliggende skov og sø.</p>
	
Muligheder vedrørende anvendelse af PVT-booster.	<p>Decentrale PVT-booster anlæg vurderes ikke som relevant, da det vil være mere oplagt at lave en central løsning i den meget kompakte bebyggelse, der allerede har internt varmedistributionsnet.</p>

Projektmuligheder	<p>1) Undersøg om der er kommet mulighed for tilslutning til fjernvarme.</p> <p>2) Luftvarmepumpe ved nuværende N-gas varmecentral. Evt. suppleret med PV på de nye renoverede tagpaptage mod syd, øst eller vest, hvor der ikke er for meget skygge. Løsningen skal tilpasses til aktuelle tage, muligvis en løsning med tyndfilm PV elementer. Da der ikke er individuel afregning, er det formodentligt enkelt at tilslutte PV.</p> <p>3) Det bør vurderes om der er behov for at gøre noget ved det lokale varmedistributionsnet, som er omkring 50 år gammelt.</p>
-------------------	---

Andelsboligforeningen Lundegaard. Afd. 3 Lundegårdsvej	
Navn	
Selskab	Andelsboligforeningen Lundegaard. Afd. 3 Lundegårdsvej
Adresse	Lundegårdsvej 15-27 og 18-30, 3450 Allerød
Kort beskrivelse	<p>Består af 14 ret små enfamiliehuse.</p> <p>Tagene er teglsten, der ikke står for udskiftning. Der har været understrykning, overskudsmørtel er faldet ned og der er snak om at det måske er blevet for tungt. Det anbefales derfor at regne efter på tagets bæreevne.</p> <p>Individuelle gasfyr fra 2001. Disse fyr er begyndt at gå i stykker. Planlagt udskiftet i 2021 med ønske om at se på alternativer.</p>
Fakta	Opført i 1956.
Matrikler og placering	
	



Boligernes energiforbrug er ikke kendt.

Muligheder vedrørende anvendelse af PVT-booster.

1) Til produktion af varmt brugsvand til hver bolig. En booster og PVT-paneler som anbringes på carport eller uden på tegltag. Kan suppleres med solceller. Varmen leveres da evt. med en luftvarmepumpe som ikke kører om sommeren og derfor ikke generer beboerne med støj.

Med et forbrug af varmt brugsvand på 150 l/dag (2600 kWh/år) kan al brugsvand leveres med et PVT-areal på 6 m². Varmepumpen bruger forventeligt 1200 kWh pr. år, og PVT-panelerne leverer forventeligt godt 1000 kWh el pr. år.

2) 2 PVT-boostere, som leverer både rumvarme varme og varmt brugsvand. Maksimalt PVT-areal på carporte, måske 15 m² pr carport, suppleres med luftveksler til spidslast. 1 BV (brugsvands) booster og en RV (rumvarme) booster (som er under udvikling).

2) Luftvarmepumpe med udeenhed mod gaden, hvor man ikke opholder sig. Evt. suppleret med PV uden på tegltaget.

3) Fjernvarme (evt. lavtemperatur), hvis det er på vej. Som kan kombineres med PVT- booster.

Økonomi – PVT-BAT beregning kan udføres.

Pris

Udskiftning af gasfyr: 35.000 kr. ekskl. moms pr. hus.

PVT-booster alternativ 2: 90.000 kr. ekskl. moms pr. hus.

7 Energibesparelspotentiale og marked

Energisparepotentialer

Dækningsgrad: Til enfamiliehuse eller lejligheder kan to varmepumpemoduler udgøre en stand-alone-løsning, der dækker 100% af energibehovet til varmt brugsvand og rumvarme (90% med varmepumpen og 10% med den indbyggede varmepatron). Den modulære varmepumpeløsning, som projektet især sigter på, henvender sig dog mere til boligblokke og vil på årsbasis kunne levere tæt ved 100% af varmebehovet til opvarmning af varmt brugsvand samt yde et bidrag til rumvarme (typisk 25 kWh/m² år). Resten af varmen kan leveres af fjernvarme og med lavere temperatur end normalt.

Varmepris: Varmen med PVT-booster varmepumpen kan produceres billigere end fjernvarme. Med en elpris på 1,8 kr./kWh og en middel COP på 6 vil prisen være $1,8/6 = 0,3$ kr./kWh inkl. moms for den andel af el, der købes fra nettet med fuld afgift. Når el tilmed for en stor del produceres fra PVT-panelerne eller er afgiftsfritaget ved el-opvarmning, bliver prisen endnu lavere f.eks. ned til 0,15 kr./kWh ved 50% dækning med solcellestrøm. Der opnås således en varmepris langt under den normale fjernvarme eller gaspris. Den variable fjernvarmepris er normalt 0,5-0,6 kr./kWh inkl. moms. (ca. 0,75 kr./kWh ved naturgas). Hos forbrugere, der kun er tilsluttet el, bliver elprisen ca. 1,1 kr./kWh el, hvilket gør varmepumpen endnu mere interessant (især for enfamiliehuse, hvor traditionelle varmepumper ligger på en SCOP på ca. 3,5). Disse lave priser kan finansiere den nødvendige investering og give et årligt overskud til forbrugeren.

En typisk almen boligafdeling med f.eks. 200 boliger dvs. ca. 20.000 m² vil herved kunne spare 20.000 m² x 25 kWh/m² x (0,55-0,15) kr./kWh dvs. 200.000 kr./år i energiudgift.

Investering: PVT-boosteren har en listepriis på 15.500 kr. for en unit med PVT-tilslutning og fjernvarmeveksler. Det komplette stand-alone anlæg med PVT-booster-varmepumpen inklusive PVT-panelerne vil dermed koste ca. det samme som en normal væske/vand-varmepumpeinstallation, som ofte ligger på 60-80.000 DKK.

Det samme gælder i boligblokke, hvor man med de nødvendige 4-6 units/moduler til en boligblok på 24-36 lejligheder vil kunne levere en komplet løsning inkl. PVT til samme kostpris som en traditionel svejset varmtvandsbeholder til fjernvarme.

Markedet er derudover betydeligt. Der er i Danmark ca. 580.000 almene lejligheder (2018). Disse ville alle potentielt kunne gøre brug af modulopbyggede PVT-booster varmepumpeanlæg.

Der er yderligere:

- ca. 400.000 andre boligenheder, der er forsynet med fjernvarme.
- ca. 460.000 gasfyrede boligenheder
- ca. 420.000 boligenheder i område 4 uden for gas-, og fjernvarmeforsynede områder, hvor PVT-booster varmepumpen kan etableres som stand-alone anlæg.

PVT-booster varmepumpen vil potentielt kunne anvendes i alle disse 1.860.000 boliger. Hvis vi antager, at 5% benytter en PVT-booster varmepumpe, er det 93.000 boliger

Det er tydeligt, at potentialet er stort i Danmark, hvortil kommer eksport gennem allerede etablerede salgskanaler i hele Europa, hvor især Benelux landene, Tyskland og Østrig kan være interessante at starte med.

PVT-booster kan vise sig at blive et konkurrencedygtigt produkt ifm. bestræbelserne hen imod ultra-lavtemperatur fjernvarme (herunder termonet) samt lokal udnyttelse af solenergi. Forventeligt vil salg primært foregå som projektsalg, f.eks. energireoveringsprojekter og nybygningsprojekter, hvor adskillige enheder projekteres og installeres samtidigt. Et årligt salg i Danmark på 250-500 enheder forventes rent forretningsmæssigt i de første produktionsår.

Markedet i resten af Europa kan også vise sig ganske interessant for PVT-boosteren. Studier, f.eks. Heat Roadmap Europe, har vist, at fjernvarme kan øges markant fra nuværende 10-15% til 50% i 2050, såfremt spildvarme og vedvarende energi integreres effektivt i fjernvarmesystemerne. Dette marked kan vise sig adskillige gange større end det danske trods Danmarks status som fjernvarmens foregangsland.

8 Formidling

Projektet har stor interesse blandt de almene boligorganisationer, der administrerer boligafdelinger med individuel naturgasopvarmning, og for at informere denne målgruppe vil projektgruppen også fremover arbejde med at påvirke de boligorganisationer, der har flest naturgasforsynede boliger.

El- og VVS-installatører er en anden vigtig målgruppe, da de kan agere som ambassadører for konvertering fra olie og naturgas til det ansøgte energianlæg.

Opsummering af formidlingen:

Fase 1, marts 2019: Omtale af tilsagn, projektets formål og forventede effekter beskrives.

Fase 2, januar 2020: Omtale af pilotanlægget hos METRO THERM og dets forventede performance.

Fase 3, maj 2020: Gennemgang af måleresultater og på den baggrund omtale af energikonceptets potentiale og effekter i den grønne omstilling af energisystemet.

Fase 4, august/september 2020: Gennemførelse af workshop / stakeholder seminar 27/8 2020 for nøgle-målgrupper og formidling af workshoppens resultater.

Fase 5, marts 2021: Formidling af projektets endelige resultater, med eksempler på brug af Micro-booster-baserede energianlæg uden for fjernvarmeforsyningede områder.

Anlægget har været fremvist et stort antal gange til potentielle kunder og er tilgængeligt med video materiale bl.a. på METRO THERM's hjemmeside

I forlængelse af projektet forventer METRO THERM i samarbejde med COWI og relevante boligorganisationer at kortlægge det beboerøkonomiske potentiale i at konvertere eksisterende naturgasopvarmede almene boligafdelinger til en kombination af solenergi, el og varmepumper.

Projektet blev indstillet til Energiforum Danmarks Innovationspris 2020.

9 Konklusioner

Det udviklede system har kørt velfungerende siden januar 2020 og der er kørt både vinterdrift med is på de forskellige paneler fra -15°C vinter med COP 2,9 og direkte soldrift med indløb op til 54°C om sommeren med COP 40.

ELFORSK projektet har bidraget som et vigtigt element i en strategi, der sigter efter at fremme anvendelse af lavtemperatur-fjernvarme og integration af overskudsvarme ved lav temperatur kombineret med brug af varmepumper. Behovet for en høj temperatur i det varme brugsvand bliver ikke længere styrende for den nødvendige fremløbstemperatur i fjernvarmenettet, fordi det sidste temperaturløft foretages med PVT-booster varmepumpen.

Når anlægget om vinteren benytter fjernvarmereturen som varmekilde for varmepumpen, vil fjernvarmens returtemperaturen sænkes, hvilket reducerer varmetab i nettet og øger systemvirkningsgraden. Den øgede afkøling i fjernvarmekredsen øger kapaciteten i rørsystemet, hvilket ellers kan være en begrænsning om vinteren i lavtemperatursystemer.

Øget integration af PVT-booster varmepumper i lokale fjernvarmesystemer vil på den baggrund bidrage til at håndtere nye store udfordringer, som opstår som led i de politiske beslutninger om grøn omstilling. Fjernvarmesystemer, der i dag overvejende baseres på affald som brændsel i grund-last drift, vil få reduceret deres brændselsmængder, når affaldet ifølge den politisk vedtagne *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi fra 16. juni 2020* skal reduceres med 30% frem mod 2030. I samme periode forventes fjernvarmeselskaberne at skulle forsyne flere varmekunder, som led i konverteringen af olie- og gasopvarmede boliger.

PVT-booster indgår på den baggrund som en nøglekomponent i en forundersøgelse af potentialet for ultra-lavtemperaturdrift i en boligafdeling i Herlev kommune. Analyserne udføres af COWI og projektet er støttet økonomisk af Realdania og gennemføres i samarbejde med bl.a. I/S Vestforbrænding.

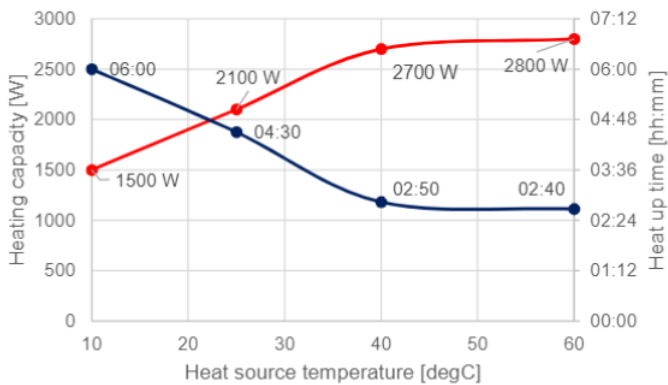
ELFORSK PROJEKT 351-013 har initieret udviklingen af en dedikeret PVT/lavtemperatur varmepumpe med større kapacitet og til både opvarmning og brugsvand.

10 Appendiks

10.1 Datablade for PVT-booster

PERFORMANCE DATA EN16147 – DIFFERENT SOURCE TEMPERATURES

Heat up test

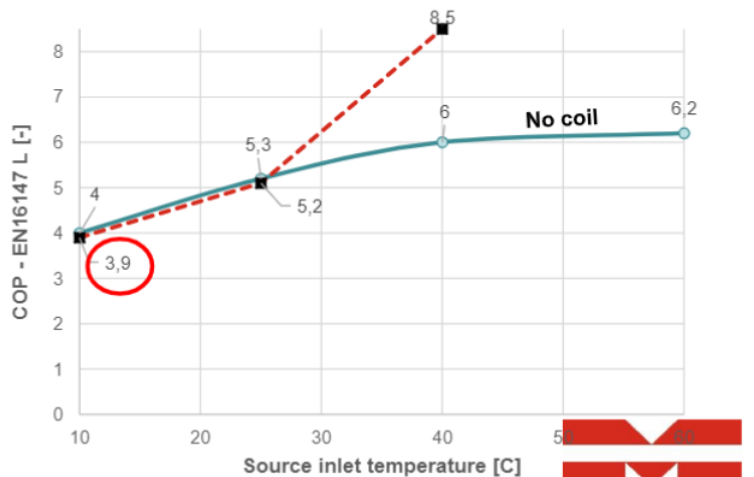


Heat source at 25°C, domestic hot water at 10-53,5°C (EN16147, L)			
COP	-	5,3	5,2
Heat up time	hh:mm	04:30	
Heating capacity	W	2100	
Stand-by heat losses	W	12	
Heat source at 40°C, domestic hot water at 10-53,5°C (EN16147, L)			
COP	-	6,0	8,5
Heat up time	hh:mm	02:50	03:45
Heating capacity	W	2700	2500
Stand-by heat losses	W	9	
Volume at 40°C	L	247	234
Sound power	dB(A)	46	

*If brine is used as heat source the minimum temperature is 5 °C.
If uninhibited water is used the minimum temperature is 10 °C.

Tapping sequence

- ✓ 24H Tapping
- ✓ L tapping
- ✓ Including tank heat losses
- ✓ Including pump consumption



PVT-booster modul, som kan sammenstilles til større anlæg:

Parameter	Unit	F-E	F-R	FV-E	FV-R	FS-E	FS-R
Electrical data							
Power supply	V/Hz	230/50					
Fuse	A	13 (10)					
Electric connections	-	L1, N, G					
Electric heater power	W	1500					
Refrigerant and water circuit							
Refrigerant type	-	R134a					
Refrigerant quantity	g	1220					
GWP	-	1430					
CO2 equivalent	ton	1,7					
Refrigerant circuit	-	Hermetically sealed					
Protection rating	-	IP21					
Water connections - enamelled	in	¾ - BSPT (ISO 7-1)					
Water connections - stainless	mm	22 - Compression fittings					
Heat source connections	mm	22 - Compression fittings					

Parameter	Unit	F-E	F-R	FV-E	FV-R	FS-E	FS-R
Operating limits							
Max. compressor power	W	600					
Max. water temperature (heat pump only)	°C	65					
Max. water temperature (heat pump and electric water heater)	°C	65					
Min. required heat source flow	l/h	100					
Max. domestic hot water pressure	MPa	1,0					
Max. allowed heat source pressure	MPa	0,3		1,0		0,3	
Max. available pressure difference	kPa	20		600		20	

Pris per modul er ca. 15500 kr. inkl. moms.

