



TEKNOLOGISK
INSTITUT



InnoBYG udviklingsprojekt om

Installationspakker til enfamilieboliger

Solvarme, varmeanlæg og ventilation

Juni 2014

Titel: InnoBYG udviklingsprojektet om installationspakker

Udarbejdet i forbindelse med:

InnoBYG udviklingsprojektet om installationspakker

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 2
2630 Taastrup
Energieffektivisering og Ventilation

Juni 2014

Forfatter:

Christian Holm Christiansen
Ivan Katic
Erik Hvirgel Hansen
Ditte Marie Jørgensen

Indholdsfortegnelse

1. Forord.....	5
2. Sammenfatning.....	6
2.1. Solvarme.....	6
2.2. Ventilationssystemer.....	9
2.3. Varmeanlæg	12
2.4. Installationspakker	14
3. Proces.....	15
3.1. Sammensætning af installationspakke.....	16
3.2. Test i EnergyFlexHouse	16
3.3. Design- og dimensioneringsværktøjer	16
3.4. Workshops.....	16
4. Solvarme og varmepumper.....	17
4.1. Test i EnergyFlexHouse	17
4.1.1. Forsøgsopstilling	17
4.1.2. Testbetingelser	19
4.1.3. Driftsformer	19
4.1.4. Forsøgsperiode	20
4.2. Testresultater.....	22
4.3. Værktøjer	26
5. Ventilationssystemer til mindre boligenheder	30
5.1. Ventilationslisten.dk.....	30
5.1.1. Hvorfor ventilation?.....	32
5.1.2. Installation.....	34
5.1.3. Beregneren	34
5.1.4. Forbehold ift. beregning.....	34
5.2. Eksempel på aggregat i beregner	36
5.2.1. Renovering af lejligheder	36
5.2.2. EnergyFlexHouse	37
6. Lavtemperatur varmeanlæg.....	39
6.1. Varmeinstallationen	39
6.2. Forsøg i EnergyFlexHouse.....	41
6.2.1. Kontinuerlig drift.....	42
6.2.2. Afbrudt drift	43
6.2.3. Programmerbare termostater	43

6.2.4.	Forvarmning før afbrydelse	45
6.2.5.	Overordnede resultater fra forsøg	48
6.3.	Simpelt simuleringsværktøj.....	48
6.4.	Simuleringer	49
6.5.	Diskussion	50
7.	Henvisninger.....	52
Bilag 1	Programmer for de afholdte workshops.....	53
B1.1	Intelligent energistyring i boliger – 11/6-2013	53
B1.2	Solvarme kombineret med varmepumper i bygninger – 17/9-2013.....	53
B1.3	Aggregater til boligventilation - nye løsninger, markeder og krav – 12/12-2013.	54
B1.4	Varmepumper og fjernvarme i samspil med lavtemperatur varmeanlæg og moderne rumtemperaturregulering – 3/4-2014.....	56

1. Forord

Denne rapport er et resultat af udviklingsprojektet om installationspakker, som var en del af innovationsnetværket InnoBYG's aktiviteter i netværkets første periode fra 2010-2014.

Rapporten er bygget sådan op, at den indledningsvis sammenfatter projektets resultater (Afsnit 2). Derefter følger et afsnit om processen i udviklingsprojektet (Afsnit 3). De mere detaljerede resultater findes i de efterfølgende afsnit:

4. Solvarme og varmepumper
5. Ventilationssystemer til mindre boligenheder
6. Lavtemperatur varmeanlæg

Endelig er der et afsnit med henvisninger (Afsnit 7) og et bilag med programmer for de afholdte workshops (Bilag 1).

I projektet har deltaget en række interessenter – dels direkte i forbindelse med udviklingsaktiviteterne, men også som aktive deltagere i projektets forskellige workshops, som har haft mere end 85 deltagere heriblandt producenter, grossister, udførende, rådgivere, brancheorganisationer, bygningsejere, forsyningsselskaber og forskningsinstitutioner. En stor tak til alle for jeres bidrag.

2. Sammenfatning

Innovationsnetværket InnoBYG har i et udviklingsprojekt haft fokus på de energitekniske installationer i enfamilieboliger. Gennem test af forskellige installationselementer og afholdelse en række workshops med branchen, er det undersøgt hvilke kriterier og værktøjer, der skal til for at sikre bedre installationsløsninger. Erfaringer og værktøjer præsenteres i denne rapport.

I de senere år har vi oplevet en række uheldige eksempler på sammensætning af komponenter i installationer til nybyggeri og renovering af enfamilieboliger. En nærliggende tanke er, at det må kunne gøres meget bedre, hvis man sammensætter komponenterne i nogle færdige installationspakker, hvor de forskellige komponenter er afstemt efter hinanden, så pris og energiforbrug minimeres og den forventede komfort og totaløkonomi opnås i praksis. I udviklingsprojektet er det valgt at fokusere på tre områder, hvor der er en særlig udfordring:

1. Kombinationer af solvarme og varmepumper
2. Ventilationssystemer til små boligenheder
3. Forsyningsanlæg og varmegiveres effektivitet ved lavtemperaturdrift

Sideløbende med projektet er der på EU-plan vedtaget krav om miljøvenligt design og energimærkning for en række af de produkter, der typisk indgår i installationspakker, men disse krav omfatter ikke samspillet mellem fx forsyningsanlæg og varmegivere eller mellem ventilationsaggregat og kanalsystem.

I projektet er der afprøvet komponenter fra Velux, Nilan og Øland i samspil med varmegivere og kanalsystemer i Teknologisk Instituts testfacilitet EnergyFlexHouse.

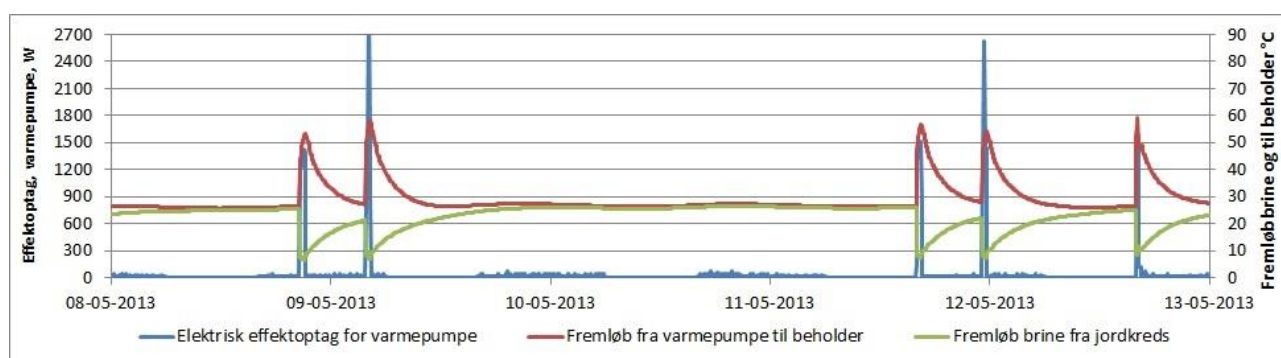
2.1. Solvarme

Kombinationen af solvarme og varmepumper er en nærliggende mulighed for at øge andelen af vedvarende energi i byggeriet. Gennem InnoBYG samt i et netop gennemført IEA-projekt [1] på området er der indhentet teoretisk og praktisk viden om disse anlægs virkemåde og potentiale. Der findes på markedet en stor variation af anlægsudformninger, men man kan i store træk inddele dem således:

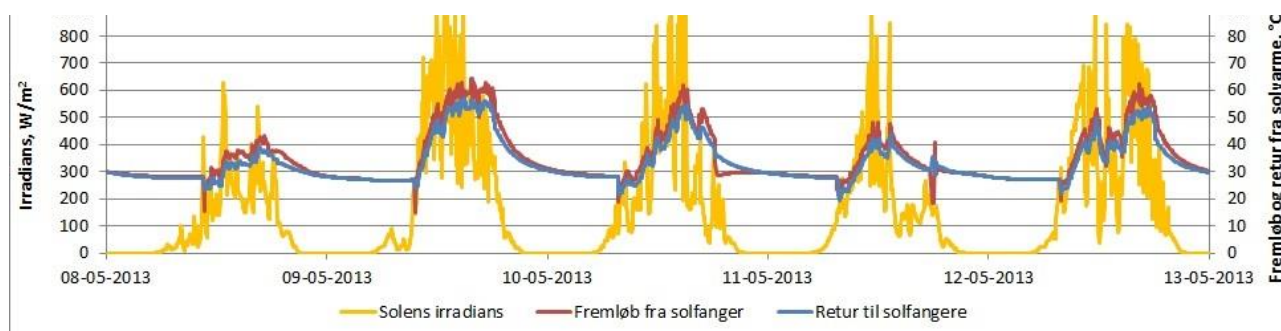
	Solvarme i serie	Solvarme i parallel	Regenerativ/blandet
Jord-vand varmepumpe	Typisk uafdækket solfanger (energiabsorber) som hel eller delvis forsyning af varmepumpens kolde side	Traditionel solfanger koblet til fælles lagerbeholder	Solvarme overskud sendes til jord hvor varmen gemmes i et eller andet omfang
Luft-vand varmepumpe	-	Traditionel solfanger koblet til fælles lagerbeholder	-
Luft-luft varmepumpe	-	Solvarme til brugsvand kører helt uafhængigt af varmepumpe	-

I InnoBYG-regi er det valgt at fokusere på det mest udbredte system, som er baseret på, at varmepumpen og solfangeren kører i parallel drift ind på samme varmtvandsbeholder.

Beholderen har typisk en varmeveksler for varmepumpen i den øvre del, og solfangeren leverer til den nederste og koldere del. Eftersom kondenseringstemperaturen i de fleste varmepumper ligger under 60 °C, er der grænser for hvor varmt brugsvandet kan blive ved varmepumpedrift alene. Nogle fabrikanter benytter derfor en kondensator direkte i tanken, hvorved temperaturen i den overhede gas kan bruges til at hæve brugsvandstemperaturen yderligere. Solfangere og varmepumper er begge mest effektive ved lave driftstemperaturer, og er derfor i konkurrence om udnyttelse af de kolde dele af varmelageret. Det samlede systems effektivitet vil i høj grad afhænge af, hvordan styringen fordele varmen fra de to kilder i lagertanken. Varmepumpens middel COP (Coefficient Of Performance = effektfaktor) ved brugsvandsopvarmning vil blive lavere *med* solvarmebidrag end *uden*, fordi brugsvandstemperaturen, og dermed kondenseringstemperaturen, i gennemsnit bliver højere. Det er derfor afgørende for den samlede systemeffektivitet at styringen minimerer varmepumpens køretid, for eksempel ved at tilpasse opvarmningsperioder til det forventede forbrug og eventuel solprognose. Dette er demonstreret i en forsøgsopstilling i Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse med 4,4 m² Velux solfangere koblet til en 250 liters varmtvandsbeholder og med tidsstyring af varmepumpens drift, se figur 1 og 2.



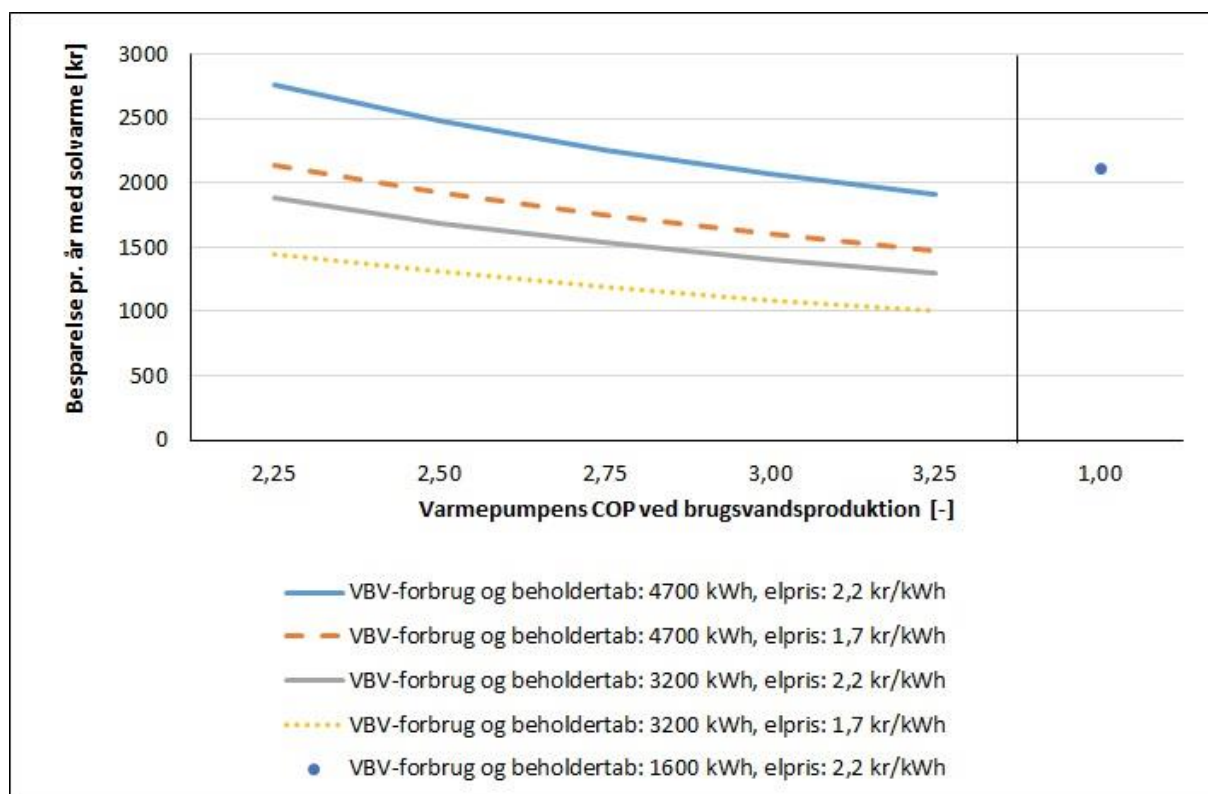
Figur 1 Varmepumpens effekttag, fremløbstemperatur til brugsvandsproduktion og brinetemperatur for en 5-dages periode. Temperaturerne er kun retvisende i de perioder varmepumpen producerer varme (spidserne på kurverne).



Figur 2 Solens Irradians, samt frem- og returtemperatur for solvarmeanlægget for en 5-dages periode. Temperaturerne er kun retvisende i de perioder, hvor der er sol.

Figurene viser et driftsforløb, hvor varmepumpen med en timer er forhindret i at starte mellem kl. 6 og kl. 16. Der tappes ca. 150 liter varmt vand i døgnet under forløbet. Den 9. og 10. maj er der sol nok til at varmepumpen ikke behøver at supplere. Det er der ikke 11. maj og varmepumpen må derfor supplere så snart den får lov efter kl. 16, men solen får altså en chance for at levere først.

Generelt viser demonstrationen, at der kan sammensættes et velfungerende anlæg ved anvendelse af traditionelle designregler for solvarme og en passende stor varmeveksler-spiral i beholderen, som varmepumpen tilsluttes. Det er imidlertid ikke nødvendigvis fornuftigt at kombinere varmepumper og solvarme ud fra et økonomisk synspunkt. Især to forhold spiller ind i den sammenhæng. Først og fremmest sker der en løbende forbedring af varmepumpeteknologien og COP, som er med til at udhule besparelsen ved solvarme. I projektet er demonstreret en COP omkring 3, når sætpunktet i beholderen er 50 °C. For det andet er der pr. 1. januar 2013 indført en forhøjet reduktion af elafgiften, så elvarmekunder i helårsbeboelse kan spare godt 52 øre pr. kWh af det forbrug, der ligger udover 4000 kWh (almindeligt husholdningsforbrug). Figur 3 viser den årlige besparelse ved solvarme i et brugsvandsanlæg kombineret med varmepumpe. Det fremgår, at besparelsen, der skal forrente investeringen i solvarmeanlægget, for de viste eksempler reduceres med mellem 300 og 700 kr. årligt alene som følge af muligheden for reduktion af elafgiften.



Figur 3 Eksempler på besparelsen pr. år med solvarme i forhold til hvis varmepumpen alene skulle dække brugsvandsforbruget (y-aksen) og i forhold til varmepumpens COP ved brugsvandsproduktion (x-aksen). Der er i beregningerne anvendt et årligt tab fra varmtvandsbeholderen på 700 kWh og et netto varmtvandsforbrug på hhv. 2500 kWh og 4000 kWh for de 4 kurver. Derudover er der vist et eksempel på et sommerhus med et årligt tab fra varmtvandsbeholderen på 350 kWh og et netto varmtvandsbehov på 1250 kWh (markeret med prik på figuren til højre). For sommerhuseksemplet er der regnet med en COP på 1 svarende til direkte el. Der er desuden regnet med elpriser med og uden reduktion af elafgiften: hhv. 1,7 kr./kWh og 2,2 kr./kWh. I alle beregninger er der regnet med en dækningsgrad af solvarme på 60%.

En simpel og billig løsning, hvor der ikke er konflikt mellem de to energikilder, er luft/luft varmepumpe(r) til rumopvarmning samt solvarme til varmt brugsvand, suppleret med elpatron. Løsningen kan f.eks. bruges i sommerhuse eller andre bygninger uden vandbåret

varmeanlæg og hvor et lille solvarmeanlæg kan dække 60-70% af brugsvandsopvarmningen. Sommerhuse kan normalt ikke få reduktion i elafgiften, så selvom brugsvandsforbruget typisk er mindre i sommerhuse kan den årlige besparelse ved at erstatte direkte el med solvarme godt blive større end for solvarme-varmepumpeløsningerne, se figur 3.

Generelt må det anbefales at holde en enkel systemopbygning som er mulig at overskue, kan styres på en enkel måde og som ikke koster mere end højst nødvendigt. Ved installation af varmepumper med eller uden solvarme, er det endvidere altid en god ide at installere en eller flere bi-målere for at kunne følge med i forbruget.

2.2. Ventilationssystemer

Ved dimensionering af ventilationssystemer er det på den ene side vigtigt at vælge et aggregat, der opfylder Bygningsreglementet og kapacitetsmæssigt passer til opgaven. På den anden side skal kanalsystem og armaturer dimensioneres, så SFP-værdier og evt. fremtidige EU-SEC værdier overholdes. En særlig udfordring er der for decentral ventilation i lejligheder, hvor lav indbygningshøjde på 30-40 cm kan medføre mindre optimale løsninger. Heldigvis er der inden for de sidste par år kommet en række nye ventilationsaggregater på markedet, der tager udfordringen op.

Teknologisk Institut har i InnoBYG-udviklingsprojektet videreudviklet en ventilationsberegner, der kan hjælpe med at sammensætte den rette pakke af ventilationsaggregat og kanalsystem for både enfamiliehuse og lejligheder (decentralt). Sammen med en række leverandører af aggregater er der desuden skaffet datagrundlag for mere end 20 mindre ventilationsaggregater, som er lagt ind i den webbaserede beregner. Beregneren er åben for leverandører, der kan stille med et nærmere defineret datagrundlag [3].

Ventilationsberegneren fungerer på den måde, at man ud fra nogle simple indtastninger om nettoboligareal og antal køkkener, badeværelser, bryggerser og særskilte wc-rum, bestemmer den nødvendige luftmængde, se figur 4. Desuden indtastes el- og varmepris. Beregneren finder derefter de aggregater, der kan opfylde luftmængdebehovet inden for Bygningsreglementets krav og angiver pr. aggregat forskellige mindste hovedkanaldimensioner og tilsvarende maksimale tryktab i kanalsystemet. Derudover beregnes energibesparelsen, så det bl.a. er muligt at se effekten af at vælge et lavtrykkanalsystem, se figur 5.

Din bolig



Hus -
nybyggeri










Hus -
renovering



Lejlighed -
renovering

Alle oplysninger nedenunder skal udfyldes

	Boligareal i m ²	<input type="text" value="100"/>
	Køkken	<input type="text" value="1"/> ▼
	Badeværelser	<input type="text" value="1"/> ▼
	Separat toilet	<input type="text" value="1"/> ▼
	Bryggers	<input type="text" value="ja"/> ▼
	Kælder	<input type="text" value="nej"/> ▼
	Elpris i kr./kWh	<input type="text" value="2.2"/>
	Varmepris i kr./kWh	<input type="text" value="0.88"/>

Søg

Figur 4 Skærbillede fra ventilationsberegner: Inputdata

Tilbage til stamdata

Medtag store anlæg (Maks. ydelse 3.5 gange større end luftbehov)

Der er fundet 8 kombinationer af ventilationsanlæg og kanalsystemer for din bolig (Hus - renovering).

Model	Mindste hovedkanaldimension [mm]	Energibesparelse [kr./år]	Størrelse [mm]	Placeringsmuligheder
<u>NILAN</u> CT 300 med filter G4 G4	200	4768	B=583 H=1000 D=715	Væghængt, topudtag
<u>Systemair</u> SAVE-VTC-200-R-24802 med filter G4/G4	200	4737	B=597 H=824 D=600	Vægplaceret med topudtag
<u>Airmaster</u> CV 200 C med filter M5 M5	200	4603	B=1338 H=303 D=683	Flad model ophængt under loft
<u>EXHAUSTO</u> VEX34DV med filter G4/G4	200	4587	B=436 H=1005 D=530	Skabsmodel til indbygning eller ophæng på væg, topudtag
<u>Airmaster</u> CV 200 R med filter M5 M5	200	4564	B=1222 H=303 D=861	Flad model ophængt under loft
<u>Airmaster</u> CV 200 L med filter M5 M5	200	4564	B=1222 H=303 D=861	Flad model ophængt under loft
<u>Dantherm</u> HCH5 (modstrøm)	200	4376	Ikke angivet	Placeres på loft
<u>Øland</u> AHU 250 M-EC og 2 F5 filtre	200	4205	B=640 H=330 D=1340	Flad model Ophængt under loft

Figur 5 Skærbillede fra ventilationsberegner: Liste med ventilationsaggregater velegnet til opgaven

Et link til ventilationsberegneren findes på InnoBYG's hjemmeside. Et aggregat fra Øland er desuden afprøvet i praksis på et lavtrykkanalsystem i EnergyFlexHouse. Det er vigtigt at der er fokus på et fornuftigt kanalsystem, så unødvendige tryktab undgås. Hvis ikke kan tryktabet mangedobles, se figur 6 og 7. For dimensionering af lavtrykssystemer anbefales generelt følgende:

- Vælg store armaturer fra lavtryksserien
- Tryktab for det dårligst forsynede armatur bør ikke være større end ca. 5 Pa

- Kanalsystem bør ikke have hastigheder over 2,5 m/s
- Luftindtag og afkast til det fri vælges en dimension større end hoveddimension på kanal.

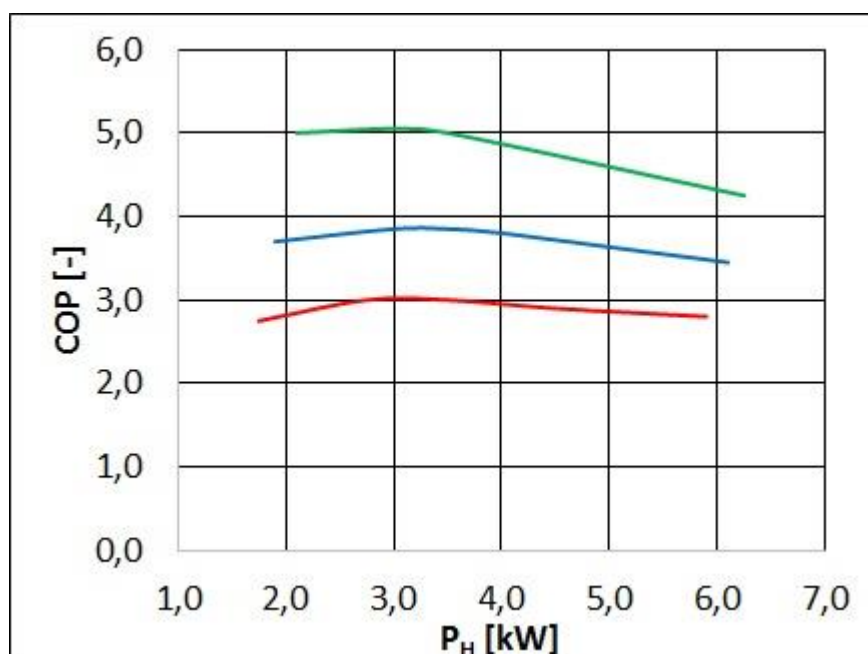


Figur 6 og figur 7 Sådan skal et kanalsystem IKKE udføres. Eksempel fra dansk nybyggeri. Tryktabet vurderes at være 15 gange større end det behøver at være.

2.3. Varmeanlæg

På varmepumpefronten sker der i øjeblikket en kraftig teknologisk udvikling, hvor varmepumperne i højere og højere grad bliver kapacitetsregulerede svarende til den udvikling, de gasfyrede kedler var igennem for 15-20 år siden. En ny målestandard og kommende krav om energimærkning af varmepumper fra 26. september 2015 gør det desuden muligt at vise, hvor effektive de kapacitetsregulerede varmepumper er samt at få kredit for det i form af et bedre energimærke. En af de nye varmepumpetyper er i EnergyFlexHouse afprøvet sammen med et lavtemperaturreadiatoranlæg. Producentens oplysninger om COP ved forskellige ydelser og temperatursæt fremgår af figur 8. Det ses, at man for et veldimensioneret gulvvarmeanlæg med fremløbstemperaturer omkring 30°C vil kunne opnå COP til rumopvarmning på over 4. En anden interessant egenskab ved de kapacitetsregulerede varmepumper er desuden, at deres effektfaktor stiger lidt i en del af delastområdet, hvor traditionelle on/off varmepumper ville have haft et fald i effektfaktor i hele delastområdet. Den pågældende varmepumpe har en varmeydelse på 6 kW, og EnergyFlexHouse har et dimensionerende varmebehov på knap 4 kW. Den høje ydelse er valgt for at kunne levere en effekt ved brugsvandsproduktion, der er sammenlignelig med anlæg i den eksisterende bygningsmasse, og har ikke været et mål i sig selv.

I InnoBYG-udviklingsprojektet er der dels fokuseret på forbrug og komfort ved normal drift af varmepumpe og radiatorsystem, men der har også været særligt fokus på sænkingsperioder, som forventes at blive almindelige i forbindelse med aktivering af fleksibilitet i fremtidens smart grid. Der er både kigget på muligheden for at forvarme bygningen før en sænkingsperiode og på genopvarmingsperioden efter.

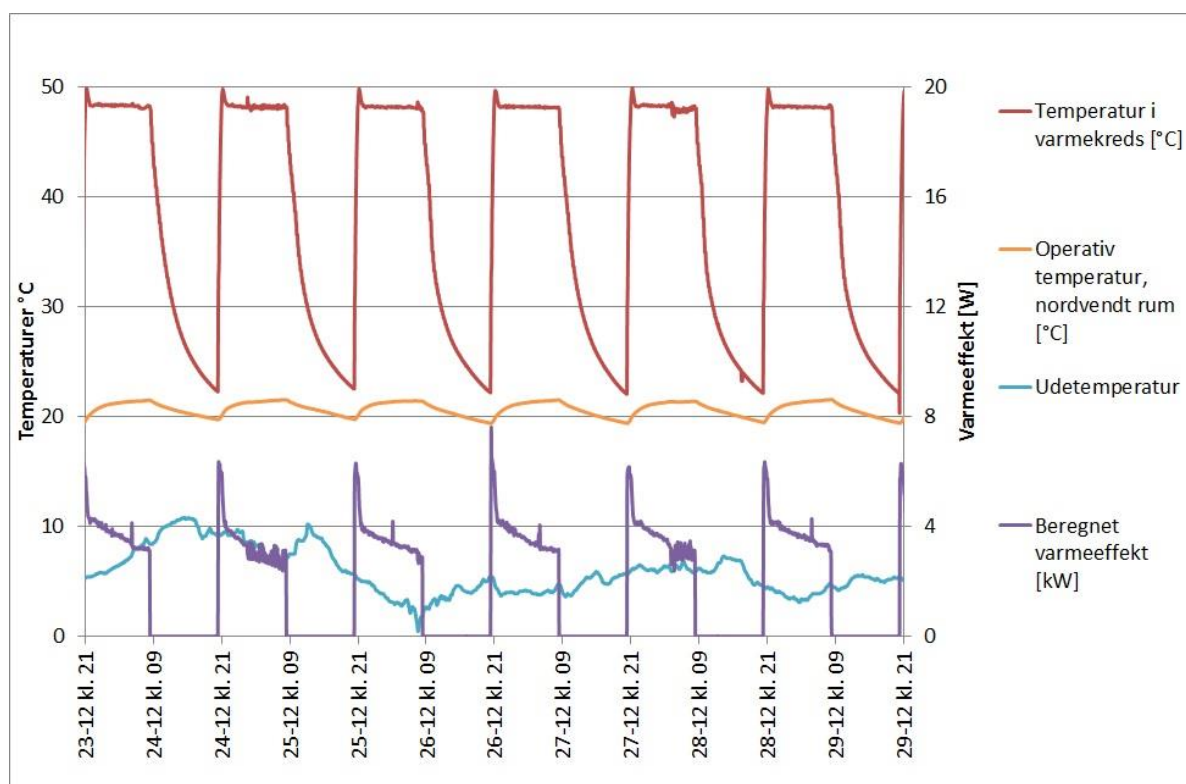


Figur 8 COP ved forskellige fremløbstemperaturer og effekter for en Nilan jordvarmepumpe.

Generelt har varmepumpen vist den forventede effektivitet under afprøvningen i EnergyFlexHouse. Fremløbstemperaturen bør styres stramt efter udetemperaturen og være så lav som mulig for at få den optimale drift.

I forhold til sænkingsperioder er der foretaget forskellige forsøg. Figur 9 viser et forløb, hvor varmepumpen har været hhv. tændt og slukket i 12 timer ad gangen i en uge i december 2013. Når varmepumpen er tændt, får den lov til at varme bygningen op igen med en høj fremløbstemperatur på ca. 48°C og kan i den periode afsætte næsten den dobbelte effekt af det faktiske varmebehov. Varmepumpens COP er i perioden målt til 3. Hvis varmepumpen i samme periode havde kørt kontinuerligt med den lavest mulige fremløbstemperatur ville COP'en have været ca. 3,9. Der er således et betydeligt effektivitetstab ved at køre med høj fremløbstemperatur. Til gengæld viser målingerne, at den operative temperatur i et velisoleret og meget tæt hus som EnergyFlexHouse falder langsomt ved afbrydelse. I det pågældende forsøg kun to °C, fra 21,5 °C og ned til 19,5 °C, på trods af en relativ lav udetemperatur. Det betyder, at der er gode muligheder for at flytte energiforbruget, så det passer med elproduktionen. Resultaterne for de forskellige forsøg er brugt til at udarbejde en simpel simuleringsmodel, der ud fra nogle enkle inputdata kan estimere rumtemperaturforløbet under sænkings- og opvarmningsperioder – ikke kun for lavenergibygninger, men også for eksisterende bygninger.

Analyserne tegner et billede af en høj gennemsnitlig COP for varmepumpen kombineret med lavtemperaturreadiatorer. De kapacitetsregulerede varmepumper tilbyder desuden højere effektivitet ved delast end tilsvarende on/off-styrede varmepumper og mindsker behovet for buffertanke på varmesiden, som optager plads, har et varmetab og er en ekstra omkostning. Er der behov for lagring af varme er bygningens kapacitet velegnet.



Figur 9 Den operative temperatur i et nordvendt rum, temperaturen i varmekredsen, den afsatte effekt i radiatorerne samt udetemperatur for en uge i december måned 2013, hvor varmepumpen har kørt 12 timer "on" og 12 timer "off" pr. døgn.

2.4. Installationspakker

I InnoBYG-udviklingsprojektet er der gennemført afprøvninger, udviklet værktøjer og afholdt workshops med branchen, som danner grundlag for installationspakker.

Der findes allerede installationspakker på markedet for solvarme kombineret med forskellige forsyningsanlæg. Udfordringen her er typisk, hvis komponenter kommer fra forskellige leverandører, men projektet har vist at det kan lade sig gøre at sammensætte fornuftige pakker ud fra traditionelle designregler for solvarme og en passende stor varmeveksler-spiral i beholderen, som varmepumpen tilsluttes.

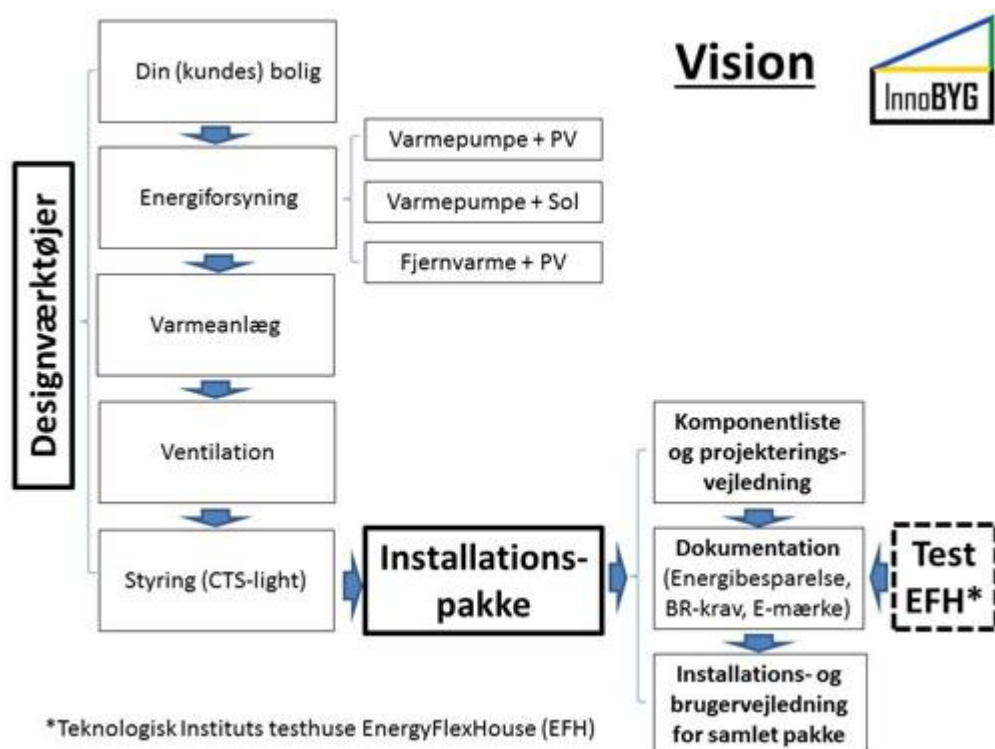
For ventilationssystemer kan ventilationsberegneren hjælpe med at vælge det rette ventilationsaggregat og specificere kravene til kanalsystemet. Her er udfordringen at bruge denne viden til også at konfigurere kanalsystemet og armaturerne, så kunden kan få en samlet velfungerende pakke. I den forbindelse skal også henvises til Videntcenter for Energifbesparelser i Bygningers energiløsning for ventilationsanlæg med varmegenvinding [4].

Endelig kan der komme et marked for installationspakker med varmepumper og rumtermostater, der kan kommunikere, så den fulde fleksibilitet i bygninger kan udnyttes i fremtidens smart grid.

3. Proces

I de senere år har vi oplevet en række uheldige eksempler på sammensætning af komponenter i installationer til nybyggeri og renovering af enfamilieboliger. En nærliggende tanke er, at det må kunne gøres meget bedre, hvis man sammensætter komponenterne i nogle færdige installationspakker, hvor de forskellige komponenter er afstemt efter hinanden, så pris og energiforbrug minimeres og den forventede komfort og totaløkonomi opnås i praksis.

Visionen er desuden, se figur 10, at de udførende og kunderne med installationspakkerne på sigt vil få bedre dokumentation for systemerne samt få installations- og brugervejledninger, der omhandler hele systemet/pakken og ikke blot enkeltkomponenterne, som det ofte er tilfældet i dag.



Figur 10 Skitse af vision for installationspakker: Bedre designværktøjer, dokumentation og vejledning

I udviklingsprojektet for installationspakker er det valgt at fokusere på tre områder, hvor der er en særlig udfordring:

1. Kombinationer af solvarme og varmepumper
2. Forsyningsanlæg og varmegiveres effektivitet ved lavtemperaturdrift
3. Ventilationssystemer til små boligenheder

I udviklingsprojektet for installationspakker har der været fokuseret på dimensioneringsværktøjer, sammensætning af installationspakker og test af kombinationerne i Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse. De forskellige resultater har været diskuteret og formidlet ved i alt 4 velbesøgte workshops med branchen samt i en artikel i HVAC-Magasinet [5].

3.1. Sammensætning af installationspakke

På baggrund af de tre fokusområder har der i projektet været arbejdet med 3 forskellige installationspakker, som er sammensat i samarbejde med producenterne:

1. Nilan solvarmebeholder på 250 liter med en 8,5 meter solvarmespiral i 22 mm rør i bunden kombineret med 2 stk. 2,2 m² solfangere og en solvarmestyring fra Velux. Solvarmebeholderen har desuden en spiral med en hedeplade på 2 m² til supplerende forsyning fra en jordvarmepumpe.
2. Øland ventilationsaggregat med lav indbygningshøjde kombineret med lavtrykskanalsystem og armaturer.
3. Nilan kapacitetsreguleret jordvarmepumpe med mulighed for styring/spærring fra eksternt signal kombineret med lavtemperatur radiatoranlæg med enten mekaniske eller elektroniske radiatortermostater.

3.2. Test i EnergyFlexHouse

De forskellige installationspakker har været testet i Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse i form af en række testserier, som hver især har belyst forskellige tekniske aspekter.

3.3. Design- og dimensioneringsværktøjer

Sideløbende med test af installationspakkerne er der udviklet forskellige beregningsværktøjer og metoder, der kan benyttes i forbindelse med sammensætning af installationspakker. For solvarmepakken fokuseredes på de økonomiske forhold og effektivitet ved forskellige forsyningsarters brugsvandsproduktion. For varmeanlæggene er der udviklet et simuleringsværktøj til rumtemperatur i sænkingsperioder og for ventilationsanlæggene er der videreudviklet en ventilationsberegner, der kan hjælpe med at sammensætte den rette pakke af ventilationsaggregat og kanalsystem for både enfamiliehuse og lejligheder (decentralt). Sammen med en række leverandører af aggregater er der desuden skaffet datagrundlag for mere end 20 mindre ventilationsaggregater, som er lagt ind i den webbaserede beregner (se www.ventilationslisten.dk).

3.4. Workshops

Udover individuelle møder med projektets producenter har en række workshops været et vigtigt omdrejningspunkt i projektet. De forskellige workshops har taget udgangspunkt i de valgte kombinationer og har inddraget producenter, grossister, udførende, rådgivere, brancheorganisationer, bygningsejere, forsyningsselskaber og forskningsinstitutioner. Følgende workshops har været afholdt (se også bilag 1 for programmer):

- Intelligent energistyring i boliger, 11/6-2013,
- Solvarme kombineret med varmepumper i bygninger, 17/9-2013,
- Aggregater til boligventilation - nye løsninger, markeder og krav, 12/12-2013
- Varmepumper og fjernvarme i samspil med lavtemperatur varmeanlæg og moderne rumtemperaturregulering, 3/4-2014

4. Solvarme og varmepumper

Efter nogle indledende sonderinger med Velux, hvor forskellige muligheder for installationspakker og beregningsværktøjer blev skitseret og evalueret blev det besluttet at fokusere på et solvarmeanlæg til varmt brugsvand kombineret med en jordvarmepumpe. Det er en relativ simpel løsning, som har nogle fordele:

- Varmepumpen har den laveste effektfaktor, når den producerer varmt brugsvand, så solvarmen bidrager, hvor det er mest relevant. Det samme kan man i øvrigt sige for kondenserende kedler, hvor virkningsgraden også er lavest ved brugsvandsproduktion.
- Brugsvandsbeholderen for en varmepumpe har typisk allerede en vis størrelse (150-250 liter). For at kunne levere nok varmt brugsvand, er det nødvendigt med et stort volumen, da varmepumpernes ydelse er relativ lav. Det er derfor minimalt, hvad der skal investeres ekstra på beholdersiden for at få solvarme og der er ikke væsentligt større pladskrav.

Der findes mere avancerede løsninger, hvor solvarmen også kan dække noget af rumopvarmningsbehovet: 1.) enten ved brug af en større akkumuleringsbeholder/flere solfangere (vp+sol i parallel) eller 2.) ved hel eller delvis forsyning af varmepumpens kolde side (vp+sol i serie). Endelig findes der såkaldte regenerative systemer, hvor solvarmeoverskud sendes til jord og varmen gemmes i et eller andet omfang.

4.1. Test i EnergyFlexHouse

Pakken består af en Nilan solvarmebeholder på 250 liter med en 8,5 meter solvarmespiral i 22 mm rør i bunden kombineret med 2 stk. 2,2 m² solfangere og en solvarmestyring fra Velux. Solvarmebeholderen har desuden en spiral med en hedeflade på 2 m² til supplerende forsyning fra en jordvarmepumpe på 6 kW. I den testede konfiguration er der ikke monteret elvarmelegeme i varmtvandsbeholderen.

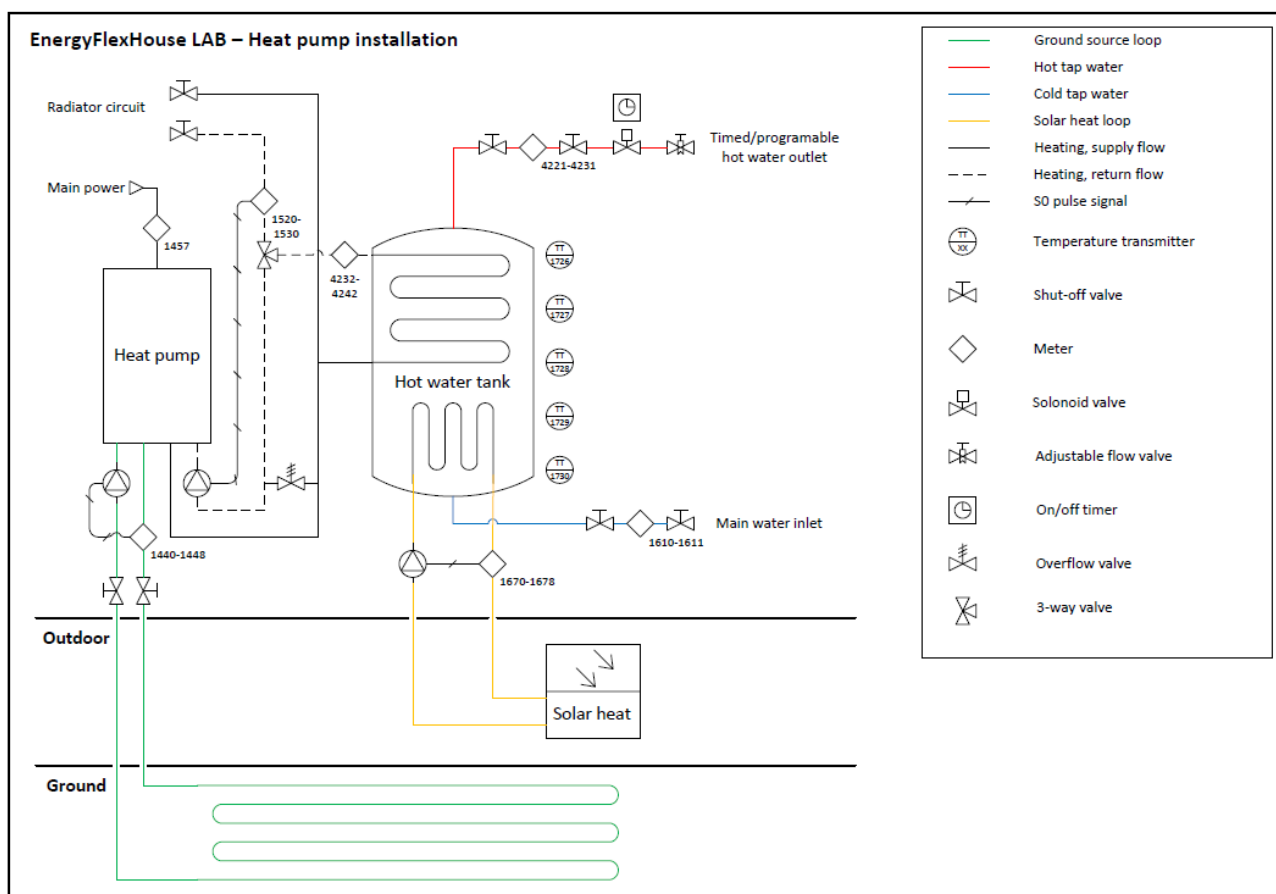
4.1.1. Forsøgsopstilling

Forsøgsopstillingen er skitseret på figur 11. Der er monteret varmemålere på alle energiind- og udgange på opstillingen. Det har været nødvendigt at parallelforskyde PT-følerne på jordkredsen med en modstand, for at kunne måle brinetemperaturer under 0°C.

På elsiden er der monteret bimålere, der måler elforbrug til pumpe i solvarmekredsen, til pumpe i jordkreds og til cirkulationspumpen på den varme side af varmepumpen. Derudover er der monteret en elmåler til varmepumpen.

På beholderen er der monteret 5 temperaturfølere fordelt over beholderens højde, se figur 13. Følerne er placeret 15 cm (T5), 50 cm (T4), 80 cm (T3), 110 cm (T2) og 140 cm (T1) fra bunden. Beholderfølere til styring af solvarmekreds og varmepumpe er placeret i samme højde som T1.

Solfangeren er af praktiske årsager placeret ved siden af EnergyFlexLab-huset, se figur 12, og der er monteret et pyranometer til at måle irradians på kanten af solfangeren



Figur 11 Forsøgsopstilling



Figur 12 Solfangere placeret på jord af praktiske årsager (tv.) og Figur 13 varmtvandsbeholderen inde med termoelementer placeret i beholderens højderetning (th.). Under forsøg genetableredes den manglende isolering og kabinettet lukkedes.

4.1.2. Testbetingelser

Varmepumpe

Varmepumpen er indstillet, så den styrer efter en sætpunkts-temperatur i beholderen på 50°C

Solvarme

Solvarmeanlægget er styret af temperaturdifferensen mellem beholder og solfanger udløb. Tilførslen af solvarme stopper, når beholdertemperaturen i toppen når 60°C

Tappeprogram

Test udføres med et tappeprogram, der gentages dag efter dag. Den samlede tapning er ca. 150 liter varmt brugsvand om dagen fordelt på 5 lige store tapninger:

07:00 – Tapning 1

07:30 – Tapning 2

12:00 – Tapning 3

18:00 – Tapning 4

20:30 – Tapning 5

Et termostatstyret blandingsbatteri er anvendt til at indregulere flowet til ca. 10 l/min og en blandet temperatur på ca. 40°C. Tapningerne styres af en timer, der er forbundet til en magnetventil.

4.1.3. Driftsformer

Der er kørt 3 forskellige driftsformer i testperioden: 1. Varmepumpe og solvarme, 2. Varmepumpe og sol med strategi "Giv solen en chance" (se beskrivelse senere) og 3. Varmepumpe alene.

1. Varmepumpe og solvarme

Varmepumpe og solvarme leverer begge varme til beholderen styret af deres respektive sæt-punkter.

2. Varmepumpe og solvarme med strategi "Giv solen en chance"

I nogle tilfælde kan der ske det, at varmpumpen sætter i gang om morgen efter de første tapninger og fylder beholderen med varmt vand selvom der måske lidt senere på dagen ville have været energi i solen til at klare denne opvarmning. Et eksempel på en dag med dette driftsforhold fremgår af figurer 14-17 (se senere). Det er ikke en ideel situation. En simpel rigid strategi for at undgå dette er simpelthen at blokere varmpumpen, så den ikke kan starte op i et givet tidsrum. For at efterprøve denne strategi, her kaldet "Giv solen en chance", er der implementeret et relæ i varmpumpen, der styres af en timer. I dette testforløb blokeres varmpumpen i tidsrummet 06:00 til 16:00.

3. Varmepumpe alene

I dette tilfælde afdækkes solfangerne og der lukkes en ventil, så der ikke er cirkulation til solfangerne.

4.1.4. Forsøgsperiode

Testene er udført i perioden april-oktober 2013 under de vejrmæssige forhold, der var givet på de respektive tidspunkter.

Driftsprofilerne

For de enkelte forsøg vises 4 figurer:

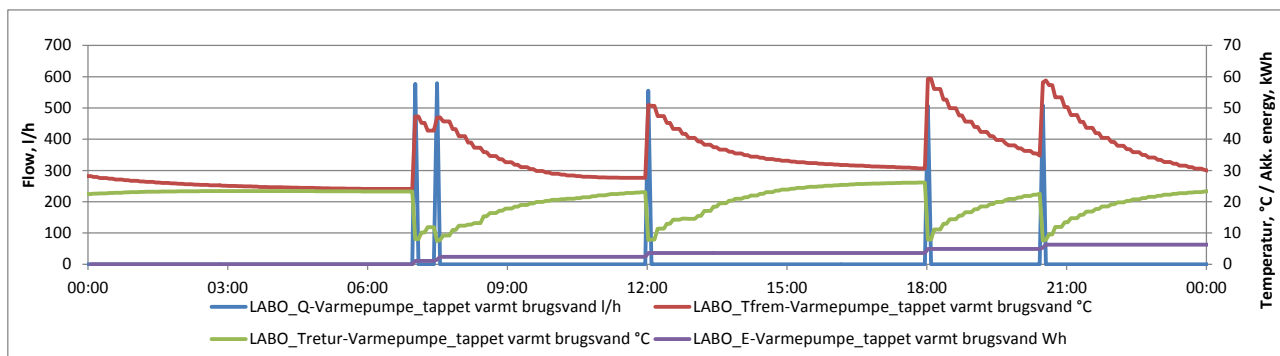
- **Tappet varmt brugsvand:** tappeflow, varmt brugsvands- og koldtvandstemperatur samt akkumuleret energi
- **Varmepumpens** fremløbstemperatur til beholder, brinetemperatur og effektoptag
- Irradians, fremløbs- og returtemperatur fra **solfangere til beholder**
- **Rumtemperatur og beholdertemperatur** i 5 forskellige beholderniveauer (T1 = top, T5 = bund)

På figur 14 ses et døgnprofil for tapning af varmt brugsvand. Varmt brugsvands- og koldtvandstemperaturerne (markeret med hhv. rød og grøn streg) er kun retvisende i de perioder hvor der tappes varmt brugsvand (spidserne på kurverne). Varmtvandstapninger er indikeret med vandflowet, som er ca. 600 l/h svarende til 10 l/min (blå streg).

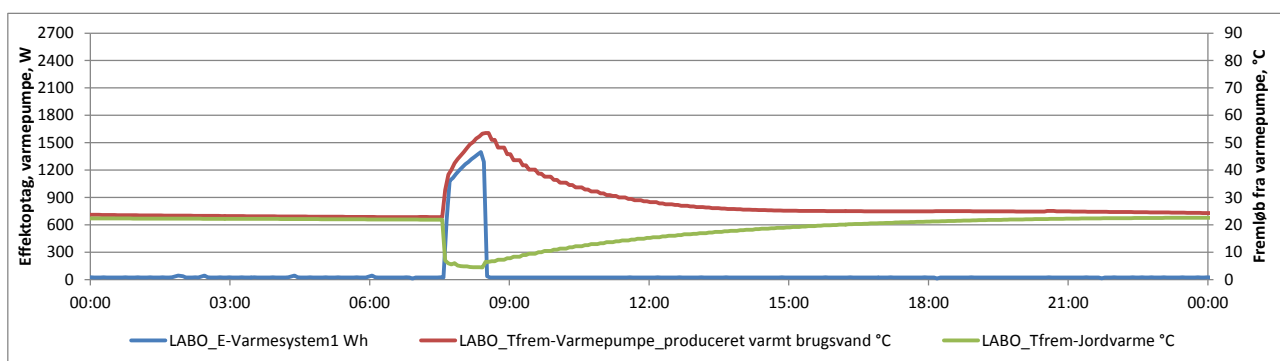
For det samme tappeprofil og det samme døgn ses på figur 15 fremløbstemperaturen (rød streg) fra varmpumpen til beholderen samt brinetemperaturen (grøn streg). Som ovenfor er temperaturerne kun retvisende i de perioder, hvor varmpumpen er i drift (spidserne på kurverne). Varmepumpens driftsperiode er vist med effektoptaget fra varmpumpen (blå streg).

Figur 16 viser fremløbs- og returtemperatur fra solfangerne (hhv. rød og blå streg) og figur 17 viser beholdertemperaturen i punkterne T1-T5 samt rumtemperaturen.

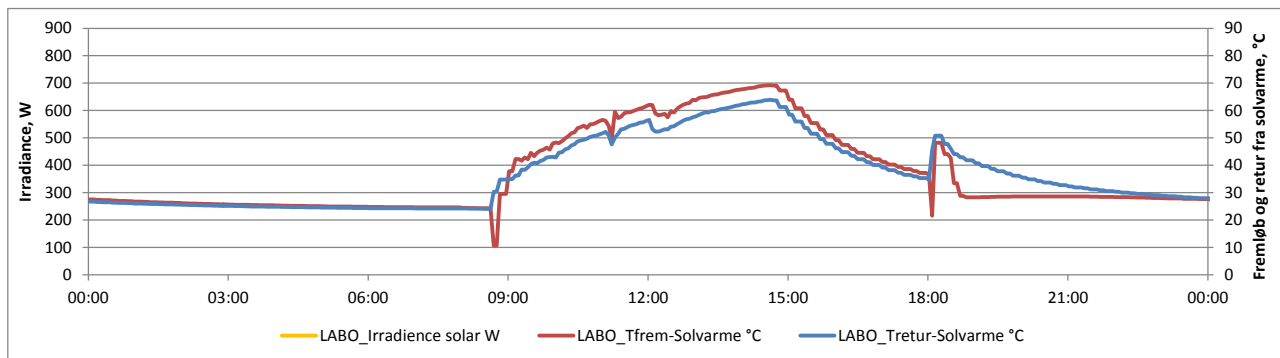
Af figurerne 14-17 ses, at brugsvandstapningen starter kl. 7:00 og at beholdertemperaturen falder lige efter. Det medfører, at varmpumpen starter og leverer varme til beholderen. Beholdertemperaturen stiger derefter til næsten 50°C i toppen af beholderen. Kort før klokken 9, starter solvarmeanlægget og bringer temperaturen i beholderen op til 60°C som nås lige før klokken 15. Solvarmeanlægget bliver trigget igen af tapningen kl. 18:00 for en kort bemærkning, men ved tapningen kl. 20:30 er der ikke længere sol til at drive solfangerne – derfor falder beholdertemperaturen i toppen af beholderen igen. Beholdertemperaturen i toppen er dog fortsat over 50°C, så varmpumpen starter ikke. Det havde den måske heller ikke behøvet at gøre om morgenen – hvis varmpumpen havde været blokeret havde det været muligt at "give solen en chance".



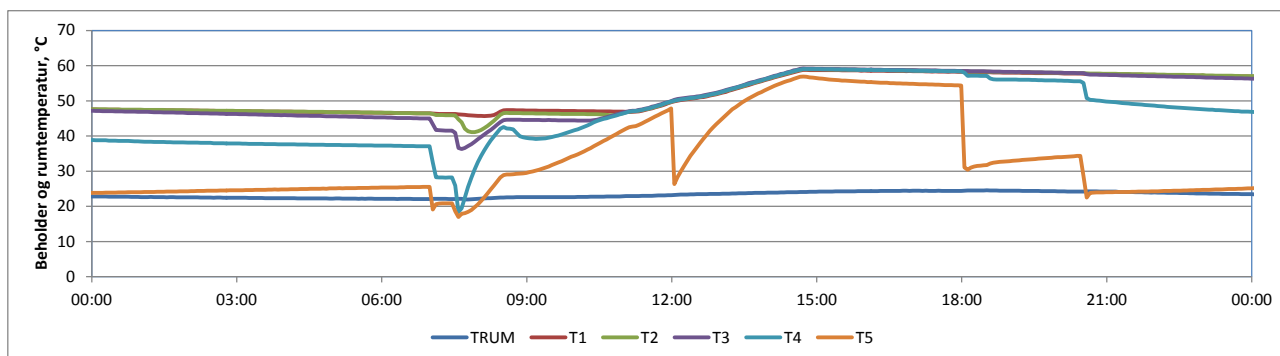
Figur 14 Tappet varmt brugsvand: tappeflow, varmt brugsvands- og koldt vandstemperatur samt akkumuleret energi



Figur 15 Varmepumpens fremløbstemperatur til beholder, brinetemperatur og effektoptag



Figur 16 Irradians, fremløbs- og returtemperatur fra solfangere til beholder



Figur 17 Rumtemperatur og beholdertemperatur i 5 forskellige beholderniveauer (T1 = top, T5 = bund)

4.2. Testresultater

Figur 18 viser resultaterne af forskellige udvalgte driftsperioder.

Periode		8/5-13/5 2013	29/5-3/6 2013	21/10-28/10 2013	21/10-28/10 2013
Test		Giv solen en chance	Giv solen en chance	Varmepumpe alene	Varmepumpe alene med temperaturhævningscyklus*
Tapning af varmt brugsvand					
Tappet energi	kWh/døgn	5,96	5,72	5,43	5,43
Temperatur, koldt vand, gns	°C	11,2	13,6	14,1	14,1
Temperatur, varmt vand, gns	°C	47,6	50,9	45,4	45,4
Varmepumpe					
Elforbrug til varmepumpe	kWh/døgn	0,72	0,34	2,38	3,21
heraf:					
- cirkulationspumpe	kWh/døgn	0,02	0,01	0,03	0,03
- brinepumpe	kWh/døgn	0,05	0,02	0,15	0,15
- elpatron*	kWh/døgn	-	-	-	0,83
Varme produceret, varmepumpe	kWh/døgn	1,86	0,84	7,27	7,27
Temperatur, frem, gns	°C	49,7	51,5	48,8	48,8
Temperatur, retur, gns	°C	41,0	40,9	37,9	37,9
Brinetemperatur, frem, min	°C	6,4	9,4	7,4	7,4
COP, før beholder	-	2,6	2,4	3,1	-
COP, før beholder inkl. elpatron i beholder*	-	-	-	-	2,3
Solvarme					
Elforbrug til solgruppe	kWh/døgn	0,24	0,30	0,00	0,00
Varme produceret, solvarme	kWh/døgn	5,00	6,61	0,00	0,00
Gennemløbet volumen	liter/døgn	1086	1303	0	0
Afkøling	K	4,0	4,4	-	-
Beholder					
Tab	kWh/døgn	-	1,7	1,8	1,8
Beholdertemperaturer, T1-T5, gns	°C	41,9	46,3	40,6	40,6
Rumtemperatur, Trum, gns	°C	25,9	25,9	19,3	19,3
Nettoforhold					
Samlet elforbrug, varmepumpe og solvarme	kWh/døgn	0,97	0,64	2,38	3,21
Varmt brugsvandsforbrug	kWh/døgn	5,96	5,72	5,43	5,43
Varmtvandsvirkningsgrad, netto	%	616	896	228	169
Varmtvandsvirkningsgrad, primærenergi**	%	246	358	91	68
Elandel af varmtvandsforbrug	kWh/kWh	0,16	0,11	0,44	0,59

Figur 18 Tabel med de forskellige energiflow i to perioder med strategien "Giv solen en chance" samt en periode, hvor varmepumpen har kørt uden sol. Derudover er der i tabellen en variant af perioden, hvor varmepumpen kører uden sol (markeret med *), hvor der er indregnet en ugentlig cyklus, hvor temperaturen i hele beholderen hæves med 20 °C med en elpatron (250 liter vand hæves fra i gennemsnit ca. 40 °C til ca. 60 °C). Elpatron i beholderen er ikke en del af den testede konfiguration, så bidraget er en beregnet størrelse bestemt til 5,8 kWh, som fordelt på de 7 døgn i ugen giver 0,83 kWh/døgn. I eksemplet regnes hele energien til elpatronen som tabt. I praksis vil noget af energien kunne indgå i det almindelige varme brugsvandsforbrug resulterende i en lidt højere COP. I tabellen er også vist en varmtvandsvirkningsgrad beregnet på baggrund af primærenergi (markeret med **), hvor primærenergifaktoren for el er sat til 2,5.

Resultater gennemgås i det følgende.

1. Varmepumpe og solvarme

Der er ikke foretaget videre databehandling af perioder uden strategien "Giv solen en chance" ud over resultaterne præsenteret i Figur 14-17.

2. Varmepumpe og solvarme med strategi "Giv solen en chance"

Figur 18 viser resultaterne for to perioder, hvor varmepumpe og solvarme har kørt med strategien "Giv solen en chance":

Periode 1:	8/5 - 13/5, 2013
Periode 2:	29/5 - 3/6, 2013

Yderligere vises resultater for de 2 perioder på figurerne:

Periode 1:	Figur 19-22
Periode 2:	Figur 23-26

Ved strategien "Giv solen en chance" er varmepumpen med en timer forhindret i at starte mellem kl. 6 og kl. 16. Der tappes ca. 150 liter varmt vand i døgnet under forløbet. For periode 1 ses, at der den 9. og 10. maj er sol nok til at varmepumpen ikke behøver at supplere. Det er der ikke imidlertid ikke den 11. maj og varmepumpen må derfor supplere så snart den får lov efter kl. 16, men solen får altså en chance for at levere først! Der er potentiale til at lave mere avancerede styringer efter vejr-forecast og behov for fleksibilitet i elforsyning, hvilket der bl.a. er arbejdet med i [2].

Periode 2 var mere solrig end periode 1, hvorfor varmepumpen var i drift i kortere tid. I periode 2 er elforbruget til solgruppen i samme størrelsesorden som elforbruget til varmepumpen – effektive cirkulationspumper til solvarmekredse (og andre kredse i installationspakker) bør være et fokusområde ved sammensætning af installationspakker. Varmepumpens COP'en ved brugsvandsproduktion ligger på hhv. 2,6 og 2,5 for de to perioder. Det fremgår også at varmtvandsvirkningsgraden er hhv. 246% og 358%, når der indregnes en primærenergifaktor for el på 2,5 og solvarmen indregnes. Mindste målte brinetemperatur er hhv. 6,4 og 9,4°C. Det vurderes for periode 2, at COP'en på trods af en høj brinetemperatur er relativt lav, som følge af den høje gennemsnitlige beholdertemperatur på 46,3°C (gennemsnit af de fem temperaturmålinger T1-T5) skabt af solvarmeanlægget.

3. Varmepumpe alene

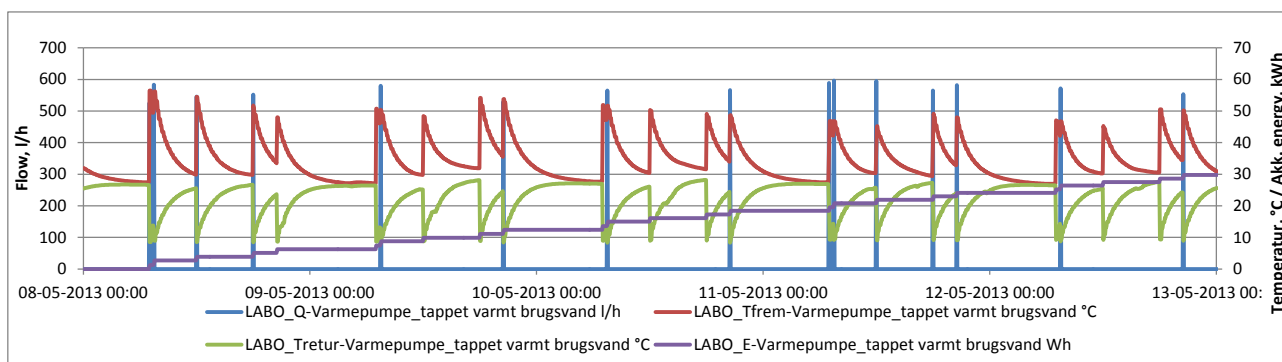
Varmepumpen har kørt uden bidrag fra solvarmeanlægget i følgende periode:

Periode 3:	21/10 - 28/10, 2013
-------------------	---------------------

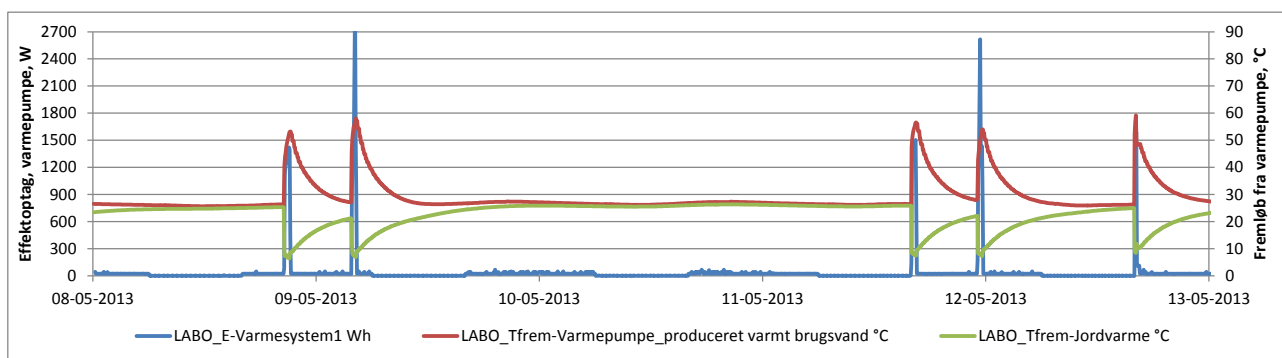
Yderligere resultater vises på figurerne 27, 28 og 29. COP'en ved brugsvandsproduktion er 3,1 og varmtvandsvirkningsgraden er 91 %, når der indregnes en primærenergifaktor for el på 2,5. Mindste målte brinetemperatur til varmepumpen er 7,4°C Af figur 29 ses, at temperaturen øverst i beholderen når 50°C, mens gennemsnitsbeholdertemperaturen er ca. 40°C, se figur 18. Den relativt lave beholdertemperatur er medvirkende til en lav kondenseringstemperatur og den høje gennemsnitlige COP ved brugsvandsproduktion.

4. Varmepumpe alene med temperaturhævningscyklus

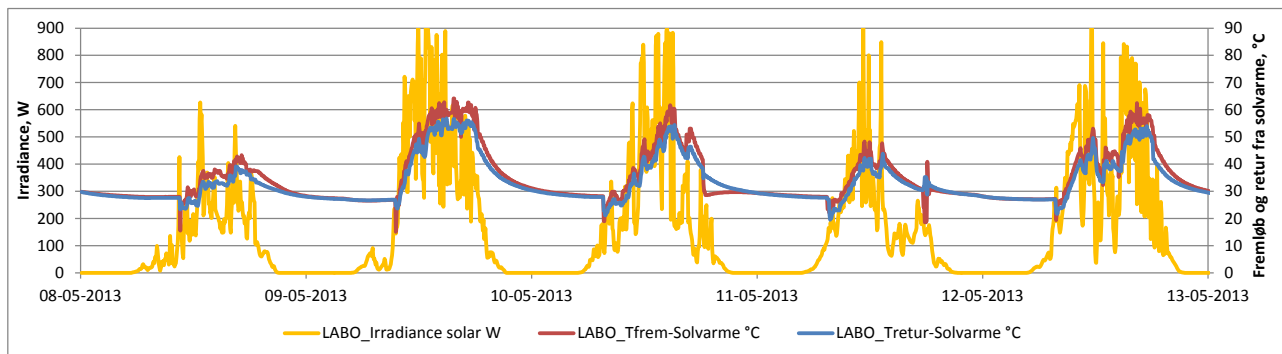
For at mindske risikoen for bakterieformering ved lave beholdertemperaturer i perioder uden tapping, fx i ferier, skal det være muligt at hæve beholdertemperaturen til 60°C. Det kan ske med en elpatron fx en gang om ugen. I figur 18 er energien til en sådan temperaturhævnings indregnet for periode 3. Brugen af elpatron medfører en COP på 2,3.



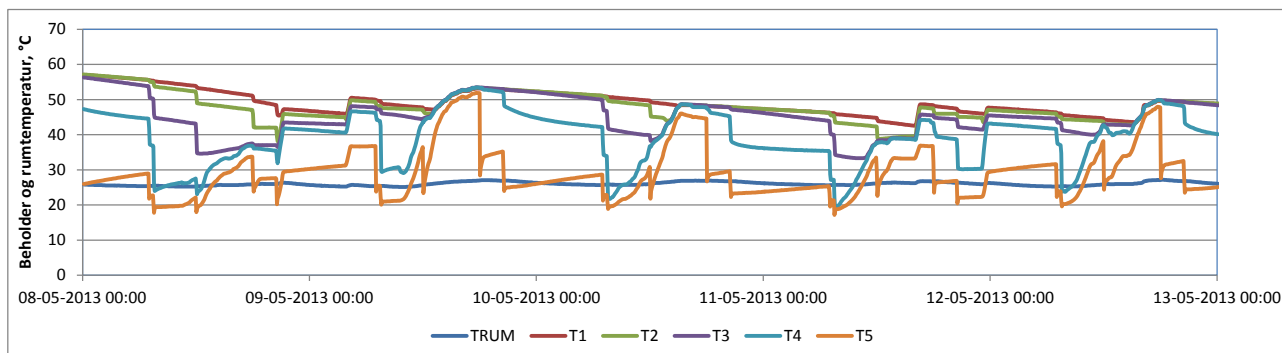
Figur 19 Periode 1: Tappet varmt brugsvand: tappelflow, varmt brugsvands- og koldt vandstemperatur samt akkumuleret energi



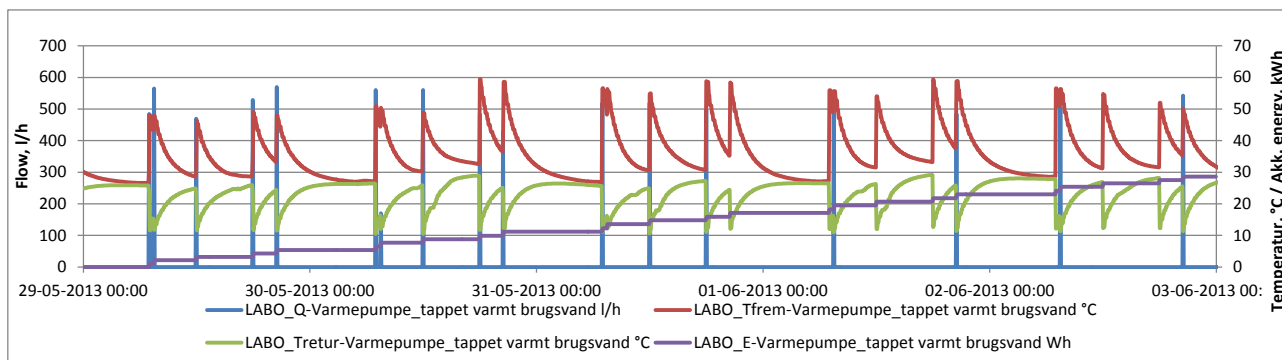
Figur 20 Periode 1: Varmepumpens fremløbstemperatur til beholder, brinetemperatur og effekttag



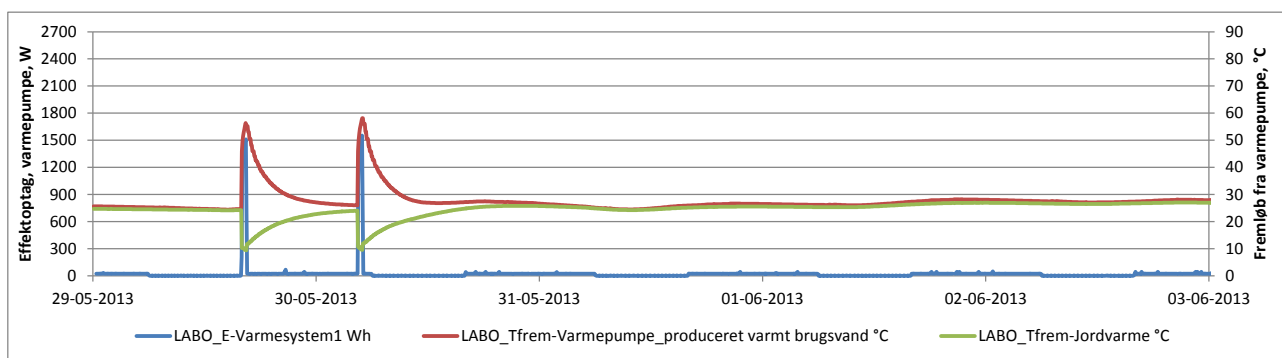
Figur 21 Periode 1: Irradians, fremløbs- og returtemperatur fra solfangere til beholder



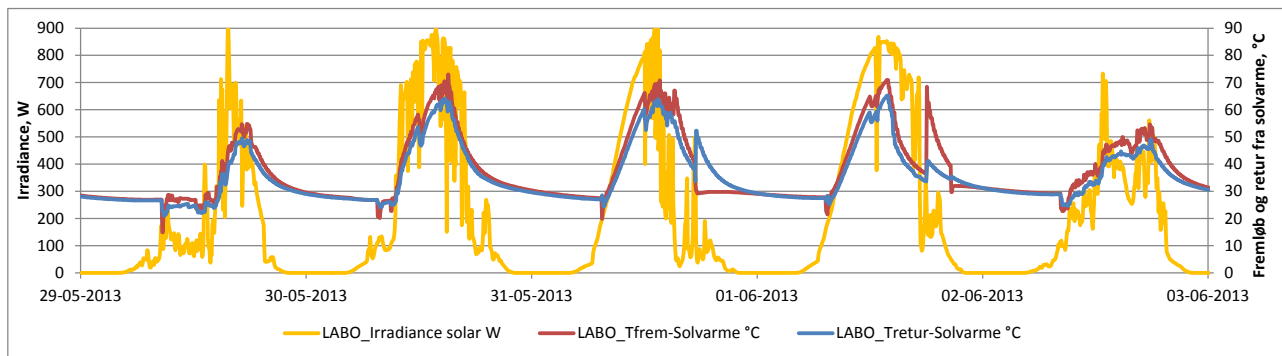
Figur 22 Periode 1: Rumtemperatur og beholdertemperatur i 5 forskellige beholderniveauer (T1 = top, T5 = bund)



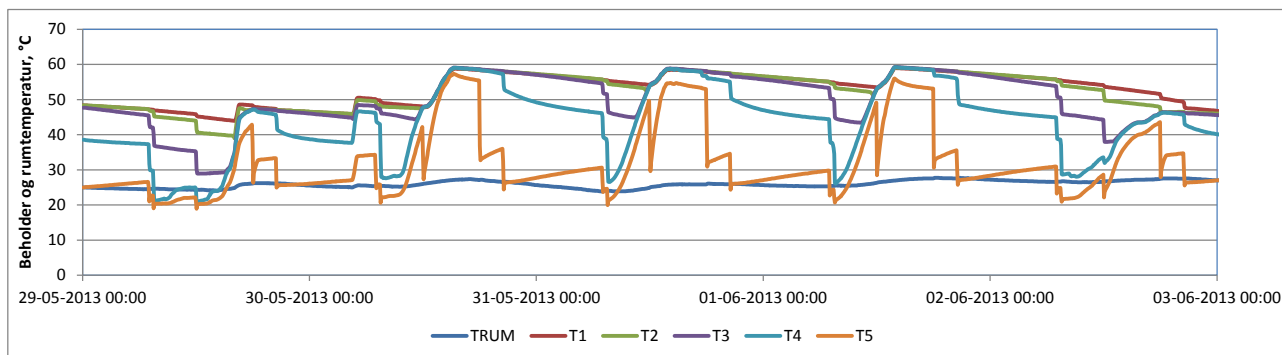
Figur 23 Periode 2: Tappet varmt brugsvand: tappelflow, varmt brugsvands- og koldt vandstemperatur samt akkumuleret energi



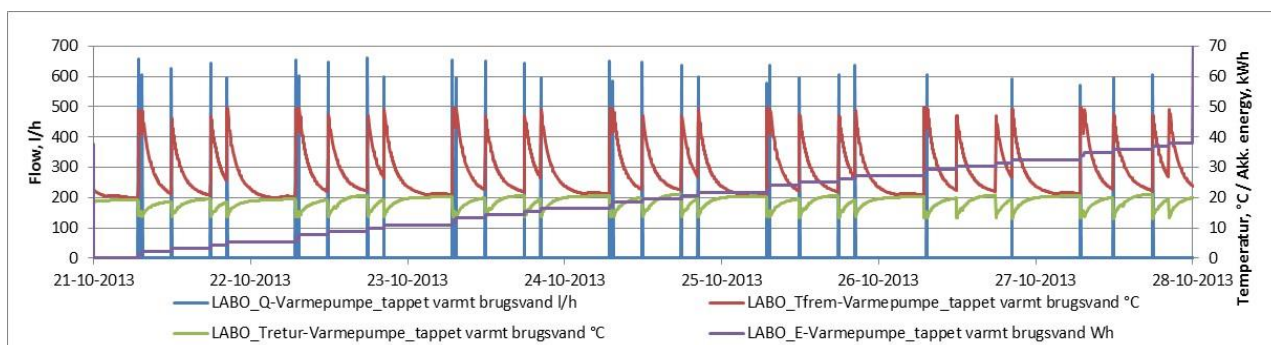
Figur 24 Periode 2: Varmepumpens fremløbstemperatur til beholder, brinetemperatur og effekttag



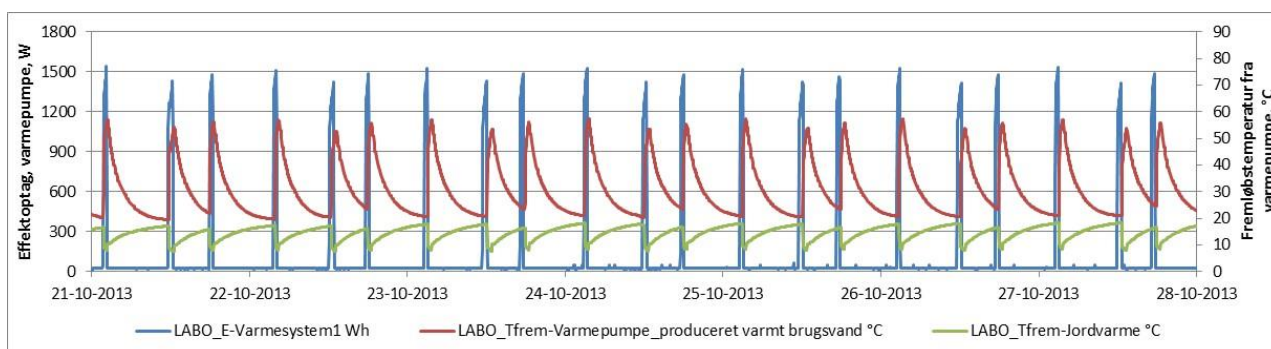
Figur 25 Periode 2: Irradians, fremløbs- og returtemperatur fra solfangere til beholder



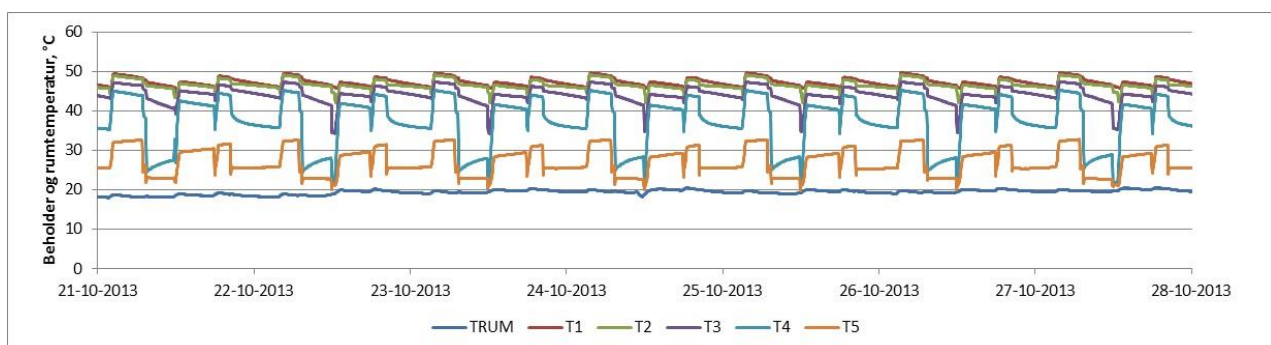
Figur 26 Periode 2: Rumtemperatur og beholdertemperatur i 5 forskellige beholderniveauer (T1 = top, T5 = bund)



Figur 27 Periode 3: Tappet varmt brugsvand: tappeflow, varmt brugsvands- og koldt vandstemperatur samt akkumuleret energi.



Figur 28 Periode 3: Varmepumpens fremløbstemperatur til beholder, brinetemperatur og effekttop

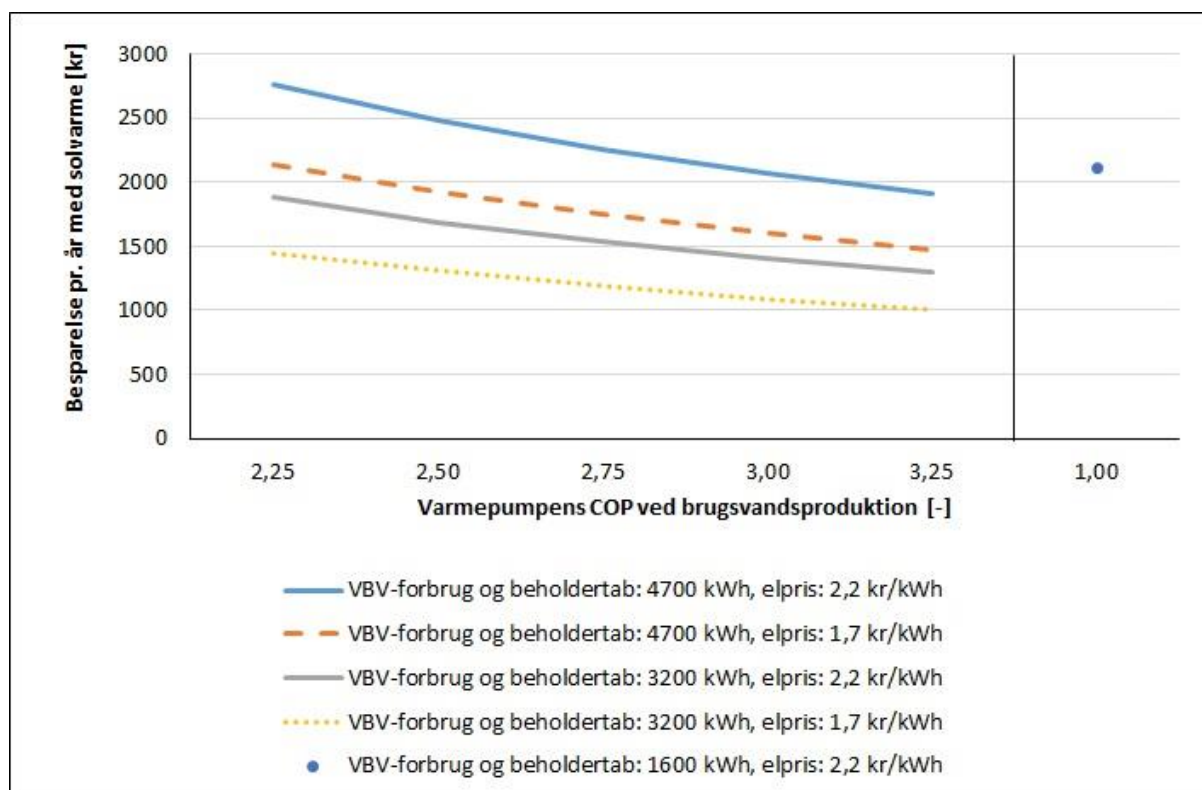


Figur 29 Periode 3: Rumtemperatur og beholdertemperatur i 5 forskellige beholderniveauer (T1 = top, T5 = bund)

4.3. Værktøjer

I samarbejde med Velux udvikledes indledningsvis et beregningsgrundlag for en konfigurator til installationspakker. I forbindelse med det arbejde blev det klart, at der manglede data for varmepumpers COP ved brugsvandsproduktion, hvilket førte til, at der blev gennemført test jf. resultaterne i afsnit 4.2. Rammebetingelserne for vedvarende energi ændrede sig også kraftigt undervejs, dels for solceller, men også for varmepumper, hvor der pr. 1. januar 2013 blev indført en forhøjet reduktion af elafgiften, så elvarmekunder i helårsbeboelse kan spare godt 52 øre pr. kWh af det forbrug, der ligger udover 4000 kWh (almindeligt husholdningsforbrug).

Både varmepumpens faktiske COP ved brugsvandsproduktion og forbrugerens pris på el har stor betydningen for det privatøkonomiske udbytte. Figur 3 viser den årlige besparelse ved solvarme i et brugsvandsanlæg kombineret med varmepumpe. Det fremgår, at besparelsen, der skal forrente investeringen i solvarmeanlægget, for de viste eksempler reduceres med mellem 300 og 700 kr. årligt alene som følge af muligheden for reduktion af elafgiften.



Figur 30 Eksempler på besparelsen pr. år med solvarme i forhold til hvis varmepumpen alene skulle dække brugsvandsforbruget (y-aksen) og i forhold til varmepumpens COP ved brugsvandsproduktion (x-aksen). Der er i beregningerne anvendt et årligt tab fra varmtvandsbeholderen på 700 kWh og et netto varmtvandsforbrug på hhv. 2500 kWh og 4000 kWh for de 4 kurver. Derudover er der vist et eksempel på et sommerhus med et årligt tab fra varmtvandsbeholderen på 350 kWh og et netto varmtvandsbehov på 1250 kWh (markeret med prik på figuren til højre). For sommerhuseksemplet er der regnet med en COP på 1 svarende til direkte el. Der er desuden regnet med elpriser med og uden reduktion af elafgiften: hhv. 1,7 kr./kWh og 2,2 kr./kWh. I alle beregninger er der regnet med en dækningsgrad af solvarme på 60%.

Der kan være mange individuelle grunde til at vælge solvarme bl.a.:

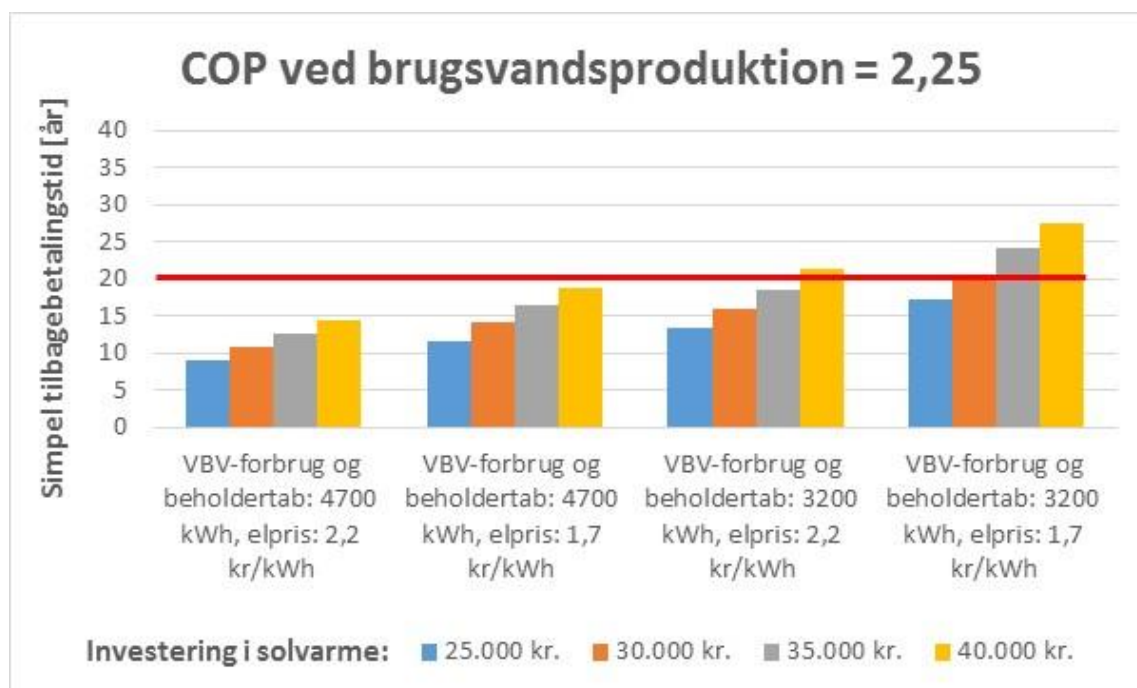
- Det giver en generel CO₂-besparelse, så længe vi har fossile brændsler i vores energisystem
- Det er "ægte" selvforsyning, hvor man er uafhængig af resten af energisystemet – stigende energipriser, afregningsprincipper for produceret el og andre rammevilkår.
- Det har signalværdi og kan give en følelse at "gøre det rigtige". Nye krav om energimærkning af pakker med varmepumper, kedler eller elvandvarmer kombineret med solvarme, som gælder fra 26. september 2015 kan understøtte dette.
- Det kan medvirke til at opfylde Bygningsreglementets energiramme

- Det kan fremadrettet medvirke til at opfylde forskellige bæredygtighedskriterier.

Diskussionen på workshoppen den 17/9-2013 viste imidlertid også, at der er mange barrierer og at den individuelle solvarme til énfamilieboliger generelt har det svært i Europa. Anlæggenes pris er en af barriererne. Investeringen er typisk i størrelsesordenen 25.000,- til 40.000,- inkl. moms og inklusiv installation for et brugsvandsanlæg til enfamiliehuse – variationen dækker lokale installationsmæssige forhold, kvalitet, omfang af merudgift til beholder mv.

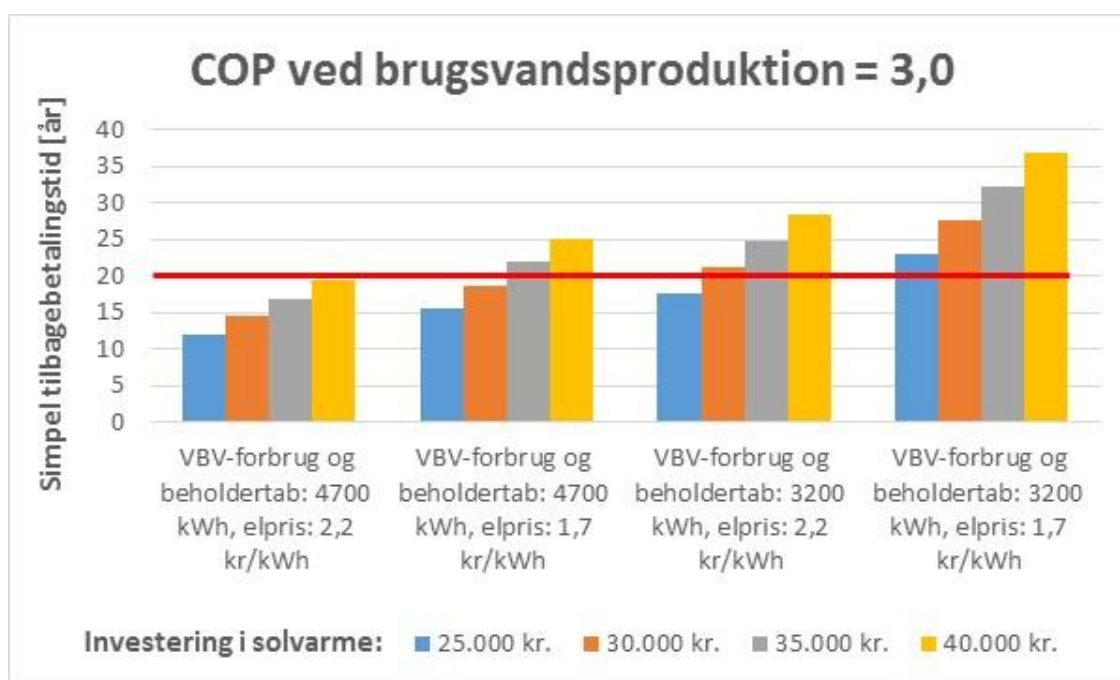
Et mindstekriterie for at vurdere, om man skal investere i et solvarmebrugsvandsanlæg sammen med en varmepumpe, kan være, om det medfører en ekstra udgift at investere i solvarmeanlægget i forhold til at lade være. Et solvarmeanlægs levetid anslås typisk til 20 år. I figur 31 og 32 er der for forskellige investeringsbeløb til solvarme samt forskellige COP'er, forbrug og elpriser jf. figur 30 beregnet en simpel tilbagebetalingstid – solvarmeanlæggenes typiske levetid er markeret med en tyk rød vandret streg. Der er ikke regnet med vedligeholdelsesudgifter i levetiden.

Figur 31 viser, at ved et normalt årligt nettobrugsvandsforbrug på 2500 kWh for en husstand og et beholdertab på 700 kWh – i alt 3200 kWh, en elpris på 1,7 kr./kWh efter reduktion i elafgiften samt en COP ved brugsvandsproduktion på 2,25 jf. afsnit 4.2 eksemplet med varmepumpen alene inklusiv temperaturhævningscyklus, så kan der maksimalt investeres 30.000 kr. i solvarmeanlægget, hvis anlæggets simple tilbagebetalingstid skal holde sig under anlæggets levetid. Til sammenligning kan der ved en elpris uden reduktion af elafgiften dvs. 2,2 kr./kWh investeres næsten 40.000 kr. i et solvarmeanlæg inden for kriteriet. For et stort nettobrugsvandsforbrug på 4000 kWh for en husstand og et beholdertab på 700 kWh – i alt 4700 kWh kan der investeres mere end 40.000 kr. ved en elpris på 1,7 kr./kWh.



Figur 31 Simple tilbagebetalingstid ved forskellige investeringer i solvarmeanlæg og forskellige forbrug og elpriser ved COP = 2,25 for brugsvandsproduktion

Der sker en løbende udvikling af varmepumpeteknologien mod endnu mere effektive produkter og som resultaterne i afsnit 4.2 viser, kan der opnås COP omkring 3 ved et sætpunkt på 50°C for en jordvarmepumpe. En så høj COP vil medføre, at det jf. mindstekriteriet er uinteressant med et solvarmebrugsvandsanlæg ved et normalt forbrug (i alt 3200 kWh) - både ved en elpris med og uden reduktion i elafgiften, se figur 32. Ved et stort forbrug (i alt 4700 kWh) kan der ved en elpris på 1,7 kr./kWh efter reduktion af elafgiften investeres knapt 35.000 kr. i solvarmeanlægget inden for kriteriet.



Figur 32 Simple tilbagebetalingstid ved forskellige investeringer i solvarmeanlæg og forskellige forbrug og elpriser ved COP = 3,0 for brugsvandsproduktion

Generelt viser figur 31 og 32, at der er pres på solvarmeanlæg i kombination med varmepumper til enfamilieboliger – især efter at den forhøjede reduktion af elafgiften for elvarmekunder i helårsbeboelse er indført. Figurerne viser også – ikke overaskende – at økonomien bliver bedre ved større nettobrugsvandsforbrug. På workshoppen den 17/9-2013 var der flere tilkendegivelser af, at fremtiden for solvarme ligger i større anlæg (end til énfamilieboliger) eller i små brugsvandsanlæg til sommerhuse hvor der ofte bruges ren elvarme.

En simpel og billig løsning, hvor der i øvrigt heller ikke er konflikt mellem de to energikilder, er luft/luft varmepumpe(r) til rumopvarmning samt solvarme til varmt brugsvand, suppleret med elpatron. Løsningen kan f.eks. bruges i sommerhuse eller andre bygninger uden vandbåret varmeanlæg og hvor et lille solvarmeanlæg kan dække 60-70% af brugsvandsopvarmningen. Sommerhuse kan normalt ikke få reduktion i elafgiften, så selvom brugsvandsforbruget typisk er mindre i sommerhuse kan den årlige besparelse ved at erstatte direkte el med solvarme godt blive større end for solvarme-varmepumpeløsningerne, se figur 30.

5. Ventilationssystemer til mindre boligenheder

Ved dimensionering af ventilationssystemer er det på den ene side vigtigt at vælge et aggregat, der opfylder Bygningsreglementet og kapacitetsmæssigt passer til opgaven. På den anden side skal kanalsystem og armaturer dimensioneres, så SFP-værdier og evt. fremtidige EU-SEC værdier overholdes. En særlig udfordring er der for decentral ventilation i lejligheder, hvor lav indbygningshøjde på 30-40 cm kan medføre mindre optimale løsninger. Heldigvis er der inden for de sidste par år kommet en række nye ventilationsaggregater på markedet, der tager udfordringen op.

Teknologisk Institut har i InnoBYG-udviklingsprojektet videreudviklet en ventilationsberegner, der kan hjælpe med at sammensætte den rette pakke af ventilationsaggregat og kanalsystem for både enfamiliehuse og lejligheder (decentralt). Sammen med en række leverandører af aggregater er der desuden skaffet datagrundlag for mere end 20 mindre ventilationsaggregater, som er lagt ind i den webbaserede beregner på www.ventilationslisten.dk. Beregneren er åben for leverandører, der kan stille med et nærmere defineret datagrundlag [3].

5.1. Ventilationslisten.dk

Ventilationsberegneren fungerer på den måde, at man ud fra nogle simple indtastninger om nettoboligareal og antal køkkener, badeværelser, bryggerser og særskilte wc-rum bestemmer den nødvendige luftmængde, se figur 33. Desuden indtastes el- og varmepris.

Din bolig



Hus -
nybyggeri



Hus -
renovering



Lejlighed -
renovering

Alle oplysninger nedenunder skal udfyldes



Boligareal i m²



Køkken



Badeværelser



Separat toilet



Bryggers



Kælder



Elpris i kr./kWh



Varmepris i kr./kWh

Søg

Figur 33 Indtastningsside til ventilationsberegneren på www.ventilationslisten.dk (stamdata)

Beregneren finder derefter de aggregater, der kan opfylde luftmængdebehovet inden for Bygningsreglementets krav og angiver pr. aggregat forskellige mindste hovedkanaldimensioner og tilsvarende maksimale tryktab i kanalsystemet. Derudover beregnes energibesparelsen, så det bl.a. er muligt at se effekten af at vælge et lavtrykskanalsystem, se figur 34.

Tilbage til stamdata

Medtag store anlæg (Maks. ydelse 3.5 gange større end luftbehov)

Der er fundet 8 kombinationer af ventilationsanlæg og kanalsystemer for din bolig (Hus - renovering).

Model	Mindste hovedkanaldimension [mm]	Energibesparelse [kr./år]	Størrelse [mm]	Placeringsmuligheder
<u>NILAN</u> CT 300 med filter G4 G4	200	4768	B=583 H=1000 D=715	Væghængt, topudtag
<u>Systemair</u> SAVE-VTC-200-R-24802 med filter G4/G4	200	4737	B=597 H=824 D=600	Vægplaceret med topudtag
<u>Airmaster</u> CV 200 C med filter M5 M5	200	4603	B=1338 H=303 D=683	Flad model ophængt under loft
<u>EXHAUSTO</u> VEX34DV med filter G4/G4	200	4587	B=436 H=1005 D=530	Skabsmodel til indbygning eller ophæng på væg, topudtag
<u>Airmaster</u> CV 200 R med filter M5 M5	200	4564	B=1222 H=303 D=861	Flad model ophængt under loft
<u>Airmaster</u> CV 200 L med filter M5 M5	200	4564	B=1222 H=303 D=861	Flad model ophængt under loft
<u>Dantherm</u> HCH5 (modstrøm)	200	4376	Ikke angivet	Placeres på loft
<u>Øland</u> AHU 250 M-EC og 2 F5 filtre	200	4205	B=640 H=330 D=1340	Flad model Ophængt under loft

Figur 34 Liste med aggregater, der opfylder forholdene baseret på de indtastede stamdata. Bemærk bl.a. størrelsesangivelserne og beskrivelse af placeringsmulighederne. De flade modeller er designet til ophængning under loft i forbindelse med decentral ventilation i lejligheder.

I forbindelse med hjemmesiden www.ventilationslisten.dk er der desuden udarbejdet forskellige vejledningstekster, som fremgår af de følgende underafsnit 5.1.1 - 5.1.4.

5.1.1. Hvorfor ventilation?

Manglende ventilation og forringet indeklima er udbredt efter energirenoveringer og den primære årsag til øget fugtbelastning og skimmelsvamp.

Hvis ventilationen virker og det skal den iht. bygningsreglementet, er den modsat (uden varmegenvinding) ofte den absolut største energisynder som står for 40% den samlede varmetab og en overset energiforbedring^{*1}.

Installation af et ventilationsanlæg med varmegenvinding kræver en startinvestering og det bruger strøm (ca. 35W). Men samtidig sparer det på varmen, og et godt anlæg vil samlet set spare væsentligt mere, end det bruger. Yderligere har installation en række fordele:

- **Genvinding af op til 90 %**

De effektive ventilationsanlæg genvinder op til 90 % af varmen ved at overføre varmen fra luften, der blæses ud, til luften der blæses ind.

- **Ingen træk**

Et ventilationsanlæg sender den friske luft ind i boligen varmegenvundet så der ikke opstår træk.

- **Sundt indeklima**

Ventilationsanlægget reducerer fugt, partikler og allergener. Du kan også filtrere pollen fra den friske luft, der lukkes ind i huset.

- **Sund bolig**

Du undgår, at fugt ophober sig i dit hus og skader bygningen.

Det er dog ikke altid lige til, at finde ud af hvilket anlæg der er bedst. Nogle anlæg er gode til mindre boliger, andre til større, nogle fylder mindre og andre kræver større kanaler osv. Du kan derfor på denne side ved at indtaste få oplysninger om din bolig, finde anlæg der passer bedst til lige akkurat din bolig.

^{*1}Beregnet ud fra en ikke energirenoveret bolig på 60m² bolig med naturlig ventilation/udluftning

5.1.2. Installation

For at sikre at anlægget også installeres korrekt kan du på nedestående link til Center for energibesparelser i bygninger finde guides og energiløsninger (samt video) på hvordan ventilation installeres korrekt:

- **Enfamilieboliger**

 - [Energiløsning til ventilation i enfamilieboliger](#)

 - [Video om installation af ventilation i en familie boliger](#)

- **Etageboliger**

 - [Guide til etablering af ventilation med varmegenvinding i etageejendomme](#)

 - [Energiløsning til decentrale anlæg](#)

 - [Energiløsning til centrale anlæg](#)

Center for energibesparelser i bygningers web-adresse er: www.byggeriogenergi.dk

5.1.3. Beregneren

På denne side kan du ved at indtaste få oplysninger om boligen, finde de anlæg der passer bedst til den aktuelle bolig.

Når listen er genereret for den pågældende bolig, kan du ved at trykke på et ønsket anlægsnavn se og printe en samlet side med:

- *Energinøgletal*
- *Dimensioneringsnøgletal (Aftalegrundlag mellem bygherre og entreprenør)*
- *Input til BE10 (data til kommune)*

Teksten refererer til skærmbilledet figur 33.

5.1.4. Forbehold ift. beregning

Besparelsen er beregnet ud fra ventilation med varmegenvinding til renovering i boliger.

Besparelsen er beregnet ud fra en reference (før situation) med naturlig ventilation som fungerer efter hensigten i bygningsreglementet.

Besparelsen er beregnet konservativt med CAV (konstant luftskifte)

Besparelsen er beregnet iht. kravene i BR2010 med et af følgende middelluftskifter:

- *Arealbetinget luftskifte på: 0,3 l/s/m² udvendigt boligareal*
- *Funktionsbetinget luftskifte på: 72 m³/h fra køkken, 54 m³/h fra bad, 36 m³/h fra særskilt wc, bryggers eller kælder*

Af hvilken der er størst

Besparelserne, som angives ved valg af pladsforhold og det respektive ventilationsanlægs energiklasse er beregnet ud fra at drift i det optimale driftspunkt svarende til den konkrete opgave.

Besparelserne er beregnet ud fra en energipris på 2,2 kr./kWh for el og 0,88 kr./kWh for varme og tager derfor ikke højde for varierende energipriser på tværs af landet (kan ændres af bruger)

Det samlede energiforbrug afhænger både af ventilationsanlægget og det tilhørende kanalsystem med armaturer mm. Det er derfor vigtigt, at korrekt kanaldimension vælges samt lavtryksarmaturer (5 Pa), indtag og afkast.

I tilfælde af, at boligen overstiger 2 planer kan kælderens muligvis ikke ventileres af samme ventilationsanlæg af brandmæssige årsager.

Besparelsen er IKKE beregnet med BE10's beregningskerne.

Der beregnes iht. et af 3 valg:

- Hus - Nybyg (gode pladsforhold, 40 Pa tryktab)
- Hus - renovering (middel pladsforhold, 60 Pa tryktab)
- Lejlighed - renovering (mindre gode pladsforhold, 80 Pa tryktab – decentralt anlæg)

Disse værdier er erfaringsmæssigt middel byggeskik for danske ventilationsentrepriser og mulige pladsforhold. Hvis en renoveret bolig er konstrueret med et lavenergisystem kan det naturligvis gennemregnes som et nybygget hus.

Beregningerne er foretaget ud fra selvopgivende data fra producenterne som der løbende foretages stikprøvekontrol på. I de selvopgivende tal indgår dog også uvildige 3. parts test.

I tilfælde af utilstrækkeligt SFP-materiale er kurverne ekstrapoleret ift. de opgivne data.

Besparelsen er med udgangspunkt i ventilationsanlæg med kanaldimensioner på maksimalt 250 mm beregnet til boligventilation. Det må påregnes, at den beregnede hovedkanal, der fører den samlede luftstrøm fra aggregatet kan have større dimension end ventilationsaggregatets tilslutningsstutse.

5.2. Eksempel på aggregat i beregner

De forskellige aggregater på www.ventilationslisten.dk kan have specifikationer, så de kan anvendes til flere forskellige formål: renovering af lejligheder, nybyggede énfamiliehuse og renoverede énfamiliehuse. Et aggregat er ikke nødvendigvis lige egnet til alle formål. I de følgende afsnit vises eksempler fra beregneren for Ølands aggregat AHU-250 M-EC med 2 F5-filtre til renovering af en lejlighed og til Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse.

5.2.1. Renovering af lejligheder

I det følgende eksempel er beregningen lavet for en lejlighed på 80 m² med et køkken og et bad. Den resulterende luftstrøm er 126 m³/h, svarende til det funktionsbestemte luftskifte, se figur 35. Aggregatet er beregnet til ophæng under loft (H=330mm), jf. figur 34.

Anlægget skal dimensioneres, installeres og anvendes i overensstemmelse med leverandørens forskrifter, gældende lovkrav og nærværende dimensioneringsvejledning og installationsvejledning samt kravene nedenfor. Anlægget skal opfylde de stillede krav til både ventilations-unit og kanalsystem for at blive anbefalet af Teknologisk Institut.

Bygherre

Sagsreference:	Renovering af lejligheder		
Projekterende / installatør :	Ventilationsfirmaet		
Navn på bygherre:	Andelsforeningen	Telefon:	
Adresse:			

Bygning

Adresse:			
Boligareal (Nettoareal):	80 m ²		
Antal badeværelser:	1	Antal køkkener:	1
Antal særskilte WC-rum:	0	Antal Bryggers:	0
Den arealafhængige udelufttilførsel er 0,30 l/s/m ² opvarmet etageareal			

Anlægsdata

Fabrikat:	Øland	Type:	AHU 250 M-EC og 2 F5 filtre
Automatiktype:		Leverandør:	

Energinøgletal

Varmeforbrug i samme bygning uden mekanisk ventilationsanlæg:	4550 kWh/år
Tilsvarende energiudgift (Varme: 0,88 kr./kWh):	4004 kr./år
Varmeforbrug med mekanisk ventilation og varmegenvinding:	755 kWh/år
Elforbrug med mekanisk ventilation og varmegenvinding:	285 kWh/år
Vægtet energiforbrug (varmeforbrug + 2,5 x elforbrug):	1466 kWh/år
Notat: Vægtet energiforbrug er proportionalt med anlæggets CO ₂ belastning iht. Energistyrelsens anvisning.	
Tilsvarende energiudgift (El:2,2 kr./kWh og varme:0,88 kr./kWh):	1290 kr./år
Beregnet besparelse i forhold til varmeforbrug med mekanisk ventilationsanlæg:	2713 kr./år
SEL / SFP faktor:	928 W/m ³ /s
Luftstrøm:	126 m ³ /h

Tør temperaturvirkningsgrad, varmeveksler: 83,4% ved balanceret ventilation og uden udkondensation af fugt iht. EN308

Figur 35 Rapportudskrift fra beregneren: Bygning, anlægsdata og energinøgletal

Beregningerne forudsætter et maksimalt tryktab på 80 Pascal i kanalsystemet, vejledende maksimal kanalhastighed på 3 m/s og mindste diameter af hovedkanal på 125 mm, se figur 35. På baggrund af disse data kan sammensættes en pakke af ventilationsaggregat og kanalsystem. Beregneren giver også inputdata til energirammeprogrammet Be10, som anvendes i forbindelse med nybyggeri.

Teknologisk Instituts anbefaling forudsætter at følgende kanaltryktabs-krav er overholdt i det anbefalede anlæg.

Maksimalt tilladt tryktab af kanalsystem: 80 Pascal (= trykdiff. mellem korresponderende stude, fx udeluft og tilluft)

Vejledende maksimal tilladt kanalhastighed: 3 m/s

Vejledende mindste diameter af hovedkanal: 125 mm

Input til Be10 beregningen af bygningens energiramme:

Bygningens areal:	80 m ²	SEL / SFP faktor:	928 W/m ³ /s
qm, vinter og sommer:	0,438 l/s/m ²	(VGV), tør varmegenvinding:	0,83

Denne side er generet med et webbaseret beregningsprogram for energieffektive ventilationsanlæg til nye énfamiliehuse. Applikationen findes på web-adresse: <http://www.ventilationslisten.dk>. De beregnede data er baseret på leverandørens oplysninger og beregninger udført af Teknologisk Institut. Teknologisk Institut har således ikke ansvar for validiteten af data.

Figur 36 Rapportudskrift fra beregneren: Kanaltryktabskrav og input til Be10-beregningen af bygningens energiramme. Bygning, anlægsdata og energinøgletal

5.2.2. EnergyFlexHouse

På tilsvarende vis kan der udføres beregninger for det samme aggregat i andre bygningstyper – her vises et eksempel med Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse på 216 m² med køkken, 2 badeværelser og bryggers. For dette hus er det arealbestede luftskifte større end det funktionsbestemte luftskifte – den resulterende luftstrøm beregnes til 233 m³/h, se figur 37.

Beregningerne forudsætter et maksimalt tryktab på 40 Pascal i kanalsystemet, vejledende maksimal kanalhastighed på 2 m/s og mindste diameter af hovedkanal på 250 mm, se figur 38. EnergyFlexHouse er netop i praksis designet med et sådant lavtrykkanalsystem.

Input data til energirammeprogrammet Be10, som anvendes i forbindelse med nybyggeri fremgår ligeledes af figur 38.

Anlægget skal dimensioneres, installeres og anvendes i overensstemmelse med leverandørens forskrifter, gældende lovkraft og nærværende dimensioneringsvejledning og installationsvejledning samt kravene nedenfor. Anlægget skal opfylde de stillede krav til både ventilations-unit og kanalsystem for at blive anbefalet af Teknologisk Institut.

Bygherre

Sagsreference:	EnergyFlexHouse		
Projekterende / installatør :	Ventilationsfirmaet		
Navn på bygherre:	Teknologisk Institut	Telefon:	
Adresse:			

Bygning

Adresse:			
Boligareal (Nettoareal):	216 m ²		
Antal badeværelser:	2	Antal køkkener:	1
Antal særskilte WC-rum:	0	Antal Bryggers:	1
Den arealafhængige udelufttilførsel er 0,30 l/s/m ² opvarmet etageareal			

Anlægsdata

Fabrikat:	Øland	Type:	AHU 250 M-EC og 2 F5 filtre
Automatiktype:		Leverandør:	

Energinøgletal

Varmeforbrug i samme bygning uden mekanisk ventilationsanlæg:	8424 kWh/år
Tilsvarende energiudgift (Varme: 0,88 kr./kWh):	7413 kr./år
Varmeforbrug med mekanisk ventilation og varmegenvinding:	1565 kWh/år
Elforbrug med mekanisk ventilation og varmegenvinding:	526 kWh/år
Vægtet energiforbrug (varmeforbrug + 2,5 x elforbrug):	2881 kWh/år
Notat: Vægtet energiforbrug er proportionalt med anlæggets CO ₂ belastning iht. Energistyrelsens anvisning.	
Tilsvarende energiudgift (El:2,2 kr./kWh og varme:0,88 kr./kWh):	2535 kr./år
Beregnet besparelse i forhold til varmeforbrug med mekanisk ventilationsanlæg:	4878 kr./år
SEL / SFP faktor:	927 W/m ³ /s
Luftstrøm:	233,28 m ³ /h

Tør temperaturvirkningsgrad, varmeveksler: 81,4% ved balanceret ventilation og uden udkondensation af fugt iht. EN308

Figur 37 Rapportudskrift fra beregneren: Bygning, anlægsdata og energinøgletal

Teknologisk Instituts anbefaling forudsætter at følgende kanaltryktabs-krav er overholdt i det anbefalede anlæg.

Maksimalt tilladt tryktab af kanalsystem: 40 Pascal (= trykdif. mellem korresponderende studse, fx udeluft og tilluft)

Vejledende maksimal tilladt kanalhastighed: 2 m/s

Vejledende mindste diameter af hovedkanal: 250 mm

Input til Be10 beregningen af bygningens energiramme:			
Bygningens areal:	216 m ²	SEL / SFP faktor:	927 W/m ³ /s
qm, vinter og sommer:	0,3 l/s/m ²	(VGV), tør varmegenvinding:	0,81

Denne side er genereret med et webbaseret beregningsprogram for energieffektive ventilationsanlæg til nye énfamiliehuse. Applikationen findes på web-adresse: <http://www.ventilationslisten.dk>. De beregnede data er baseret på leverandørens oplysninger og beregninger udført af Teknologisk Institut. Teknologisk Institut har således ikke ansvar for validiteten af data.

Figur 38 Rapportudskrift fra beregneren: Bygning, anlægsdata og energinøgletal: Kanaltryktabskrav og input til Be10-beregningen af bygningens energiramme. Bygning, anlægsdata og energinøgletal

6. Lavtemperatur varmeanlæg

I takt med at skærpede regler til nybyggeri og renovering er efterspørgslen på energieffektive varmeanlæg steget meget. Dette har bl.a. betydet, at der i øjeblikket sker en kraftig teknologisk udvikling inden for mere energieffektive varmeanlæg med lavere effekt. Bl.a. bliver varmepumperne i højere grad kapacitetsregulerede svarende til den udvikling de gasfyrede kedler var igennem for 15-20 år siden. En ny målestandard og kommende krav om energimærkning af varmepumper fra 26. september 2015 gør det desuden muligt, at vise hvor effektive de kapacitetsregulerede varmepumper er og få kredit for det i form af et bedre energimærke.

I dette InnoBYG-udviklingsprojekt om lavtemperatur-varmeanlæg er der dels fokuseret på forbrug og komfort ved normal drift af varmepumpe og radiatorsystem, men der har også været særligt fokus på sænkingsperioder (afbrudt drift), som forventes at blive almindelige i forbindelse med aktivering af fleksibilitet i fremtidens smart grid. Der er både kigget på muligheden for at forvarme bygningen før en sænkingsperiode og på genopvarmningsperioden efter.

6.1. Varmeinstallationen

En af de nye varmepumpetyper er afprøvet sammen med et lavtemperaturrediatoranlæg i EnergyFlexHouse, Teknologisk Instituts testhus i Taastrup, se figur 39.

EnergyFlexHouse er et 216 m² lavenergihus fra 2009, og det dimensionerende varmetab inklusiv ventilation er beregnet til 3,7 kW svarende til 17,2 W/m² opvarmet bruttoareal, ved 20 °C inde og -12 °C ude.

Varmefordelingssystem består både af radiatorer og konvektorer, se figur 40 og 41, og deres maksimumeffekt er 5,1 kW ved et temperatursæt på 50/40 °C. Som standard har der været monteret traditionelle radiatortermostater, men i nogle forsøg har der været anvendt programmerbare termostater, som det vil fremgå i forsøgsbeskrivelsen.

Varmepumpen er fra Nilan og af væske-vandtypen, kapacitetsreguleret med en varme-ydelse på 2-6 kW og egentlig overdimensioneret. Den høje ydelse er valgt for at kunne levere en effekt ved brugsvandsproduktion, der er sammenlignelig med anlæg i den eksisterende bygningsmasse.



Figur 39: EnergyFlexHouse



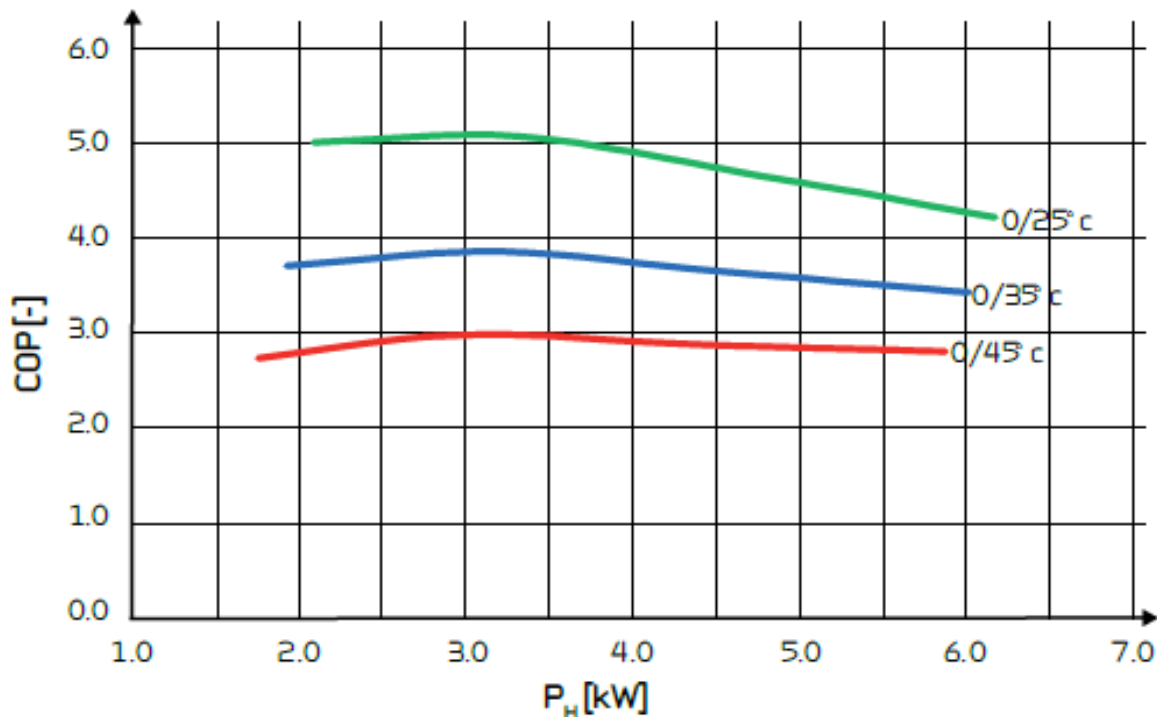
Figur 40: Konvektor ved vindue i EnergyFlexHouse



Figur 41, tv: almindelig radiatortermostat, th: programmerbar radiatortermostat

Producentens oplysninger om COP ved forskellige ydelser og temperatursæt fremgår af Figur 4242. Det ses, at der for et veldimensioneret gulvvarmeanlæg med fremløbstemperaturer omkring 30 °C vil kunne opnås COP til rumopvarmning på over 4. En anden inte-

ressant egenskab ved de kapacitetsregulerede varmepumper er desuden, at deres effektivitet stiger lidt i en del af delastområdet, hvor traditionelle on/off varmepumper ville have haft et fald i effektivitet i hele delastområdet.



Figur 42: COP i forhold til ydelse og forskellige temperatursæt for Nilan 2-6 kW varmepumpe

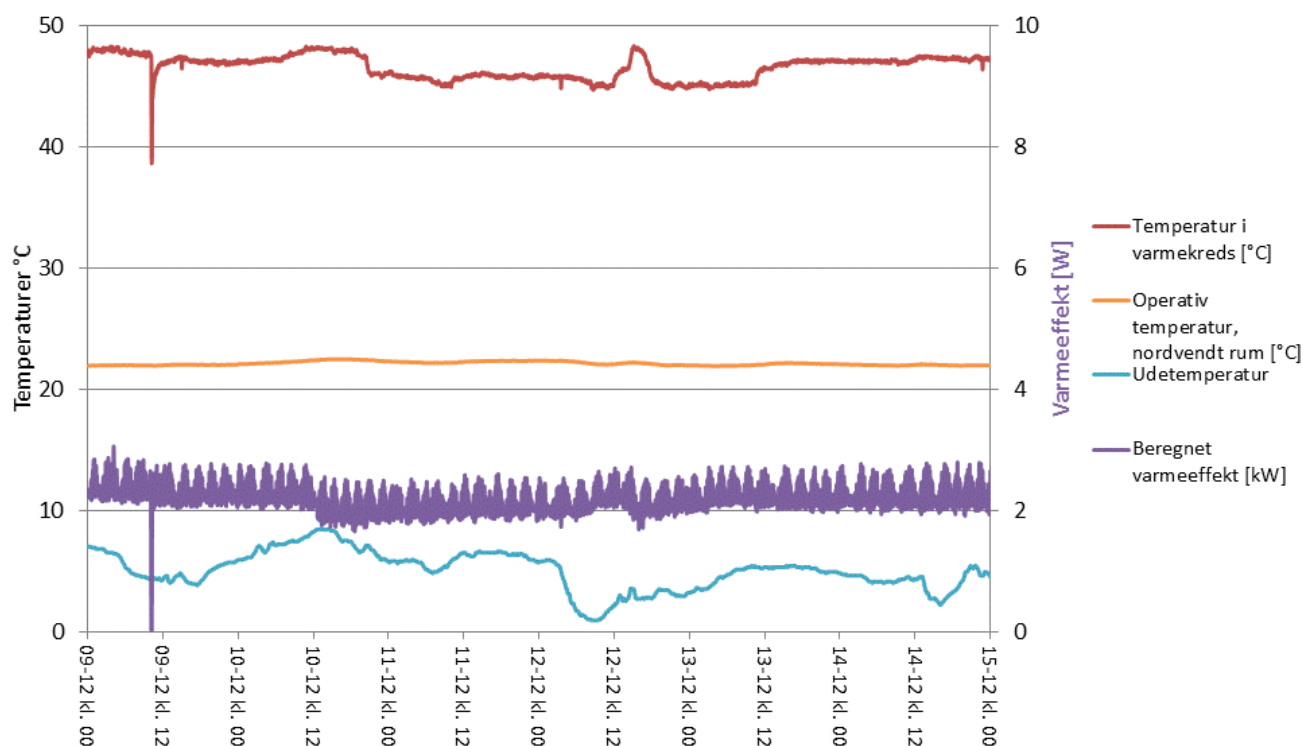
6.2. Forsøg i EnergyFlexHouse

Formålet med forsøgene i EnergyFlexHouse har været at undersøge muligheden for at afbryde varmepumpen i perioder uden at gå på kompromis med komforten, og samtidig undersøge varmepumpens COP i forbindelse med sænkingsperioder. Forsøgene, der er blevet foretaget i EnergyFlexHouse i vinteren 2013/2014 er følgende:

1. **Kontinuerlig drift** (reference)
2. **Afbrudt drift:** Varmepumpe skiftevis tændt/slukket i 12 timer ad gangen
3. **Programmerbare termostater:** med sænkingsprogrammer og PID-regulator
4. **Forvarmning før afbrydelse:** Som 3. men med forvarmning af rum før afbrydelse

6.2.1. Kontinuerlig drift

Figur 4343 viser resultatet af målinger for uge 50 i december 2013, hvor der er kørt med kontinuerlig drift. Temperatur i varmekreds, den operative temperatur, udetemperaturen samt den beregnede varmeeffekt er afbildet på figuren.



Figur 43: Kontinuerlig drift i perioden d. 9-15. december 2013

Resultater

Gennemsnitlig indetemperatur: 21,8 °C

Gennemsnitlig udetemperatur: 5,3 °C

Gennemsnitlig fremløbstemperatur: 46,6 °C

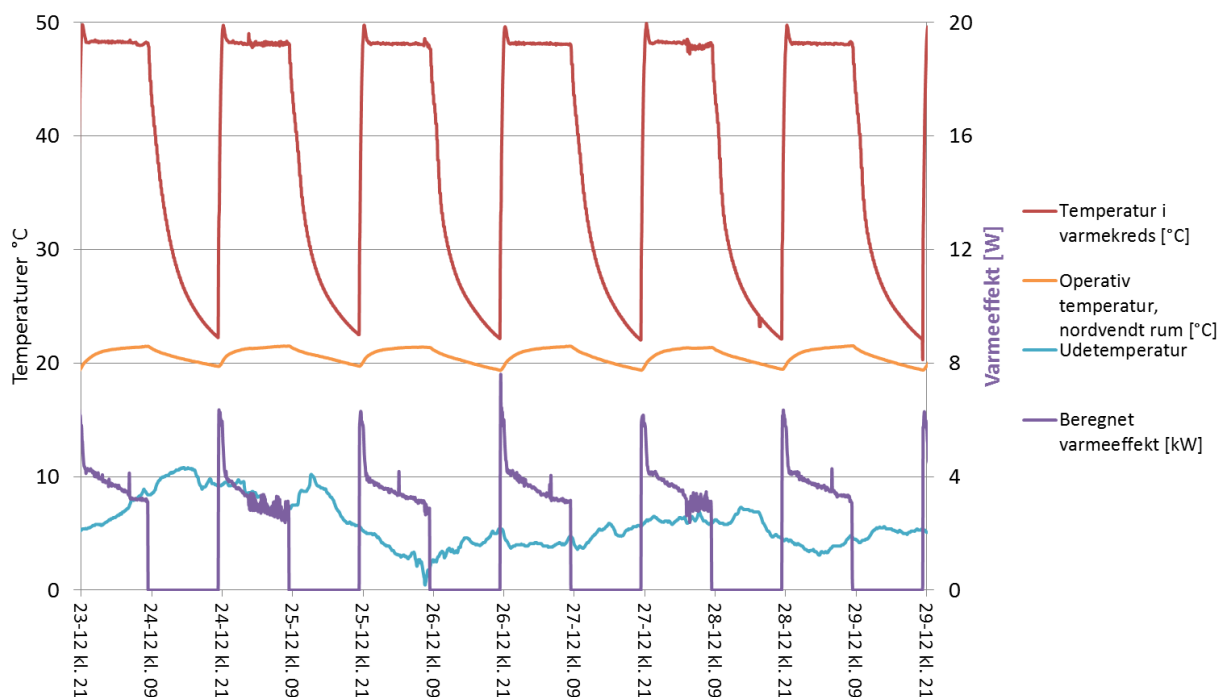
Den målte COP i uge 50 med kontinuerlig drift: 3,0.

Varmepumpen har kørt uden udetemperaturkompensering, så fremløbstemperaturen har ikke været styret efter behov. Det betyder en relativ høj fremløbstemperatur til radiatorer og konvektorer. Der er efterfølgende lavet en teoretisk beregning af den mindste nødvendige gennemsnitlige fremløbstemperatur og hvad COP'en i så fald ville have været.

Den nødvendige fremløbstemperatur for perioden er beregnet til 38,5 °C frem for den målte på 46,6 °C. Ved denne fremløbstemperatur kan opnås en COP på 3,9, hvilket er ca. 30 % højere end den målte.

6.2.2. Afbrudt drift

Figur 4444 viser resultatet af målinger for uge 52 i december 2013, hvor der er kørt med afbrudt drift i 12 timer. Varmepumpen er blevet slukket kl 9 om morgenen og tændt igen kl 21 om aftenen. Temperatur i varmekreds, den operative temperatur, udetemperaturen samt den beregnede varmeeffekt er afbildet på figuren.



Figur 44 Afbrudt drift mellem kl. 9 og kl. 21 i perioden d. 23-29. december 2013

Den operative temperatur lå i perioden mellem 19,5 til 21,5 °C, og den gennemsnitlige temperatur var 20,7 °C til forskel for 21,8 °C i perioden med kontinuerlig drift. Den målte COP i uge 52 med afbrudt drift er beregnet til 3,0.

Med afbrudt drift frem for kontinuerlig drift (uge 50) er der opnået en el-besparelse på 13 %, efter at der er korrigeret for udetemperaturen. Da COP'en i uge 50 og 52 er den samme skyldes besparelsen den ca. 1°C lavere rumtemperatur.

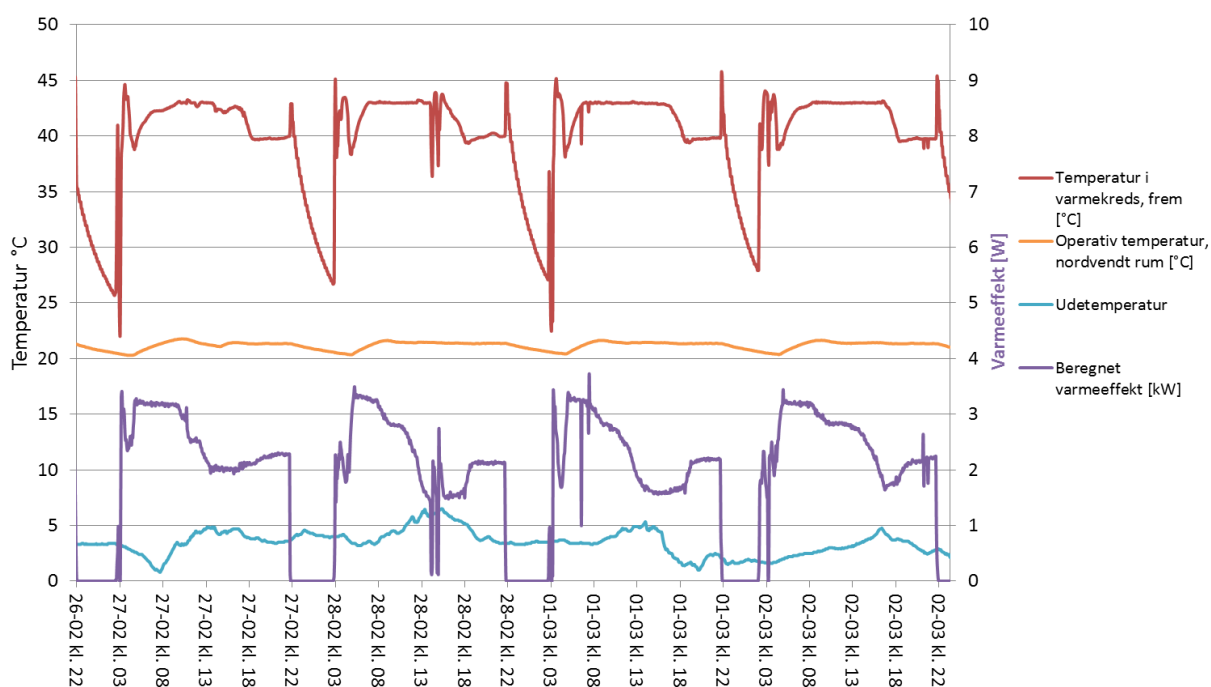
Hvis fremløbstemperaturen i uge 50 havde været reduceret efter behov med fx udetemperaturkompensering, ville der i stedet have været et merforbrug til el på 13 % i situationen med afbrudt drift.

6.2.3. Programmerbare termostater

I det tredje forsøg er anvendt programmerbare termostater på alle husets radiatorer til natsænkning af indetemperaturen i en uge fra d. 26. feb. til 3. marts 2014. Der er anvendt et af termostaternes standardprogrammer: Om dagen er termostaten indstillet til 21 °C og om natten dvs. fra kl 22.30 til kl 7 tillades temperaturen at komme ned til 17 °C, så længe der igen er 21 °C kl 7 om morgenen. Termostaterne finder selv ud af, hvornår de

skal åbne igen og starte genopvarmningen. På den måde er det altså termostaterne, der styrer, hvornår varmepumpen skal starte og stoppe.

På figur 45 ses resultaterne af målinger for en uge, hvor temperatur i varmekreds, den operative temperatur, udetemperaturen samt den beregnede varmeeffekt er afbildet på figuren.



Figur 45 Programmerbare termostater med natsænkingsprogram i perioden fra d. 26. februar til 3. marts 2014

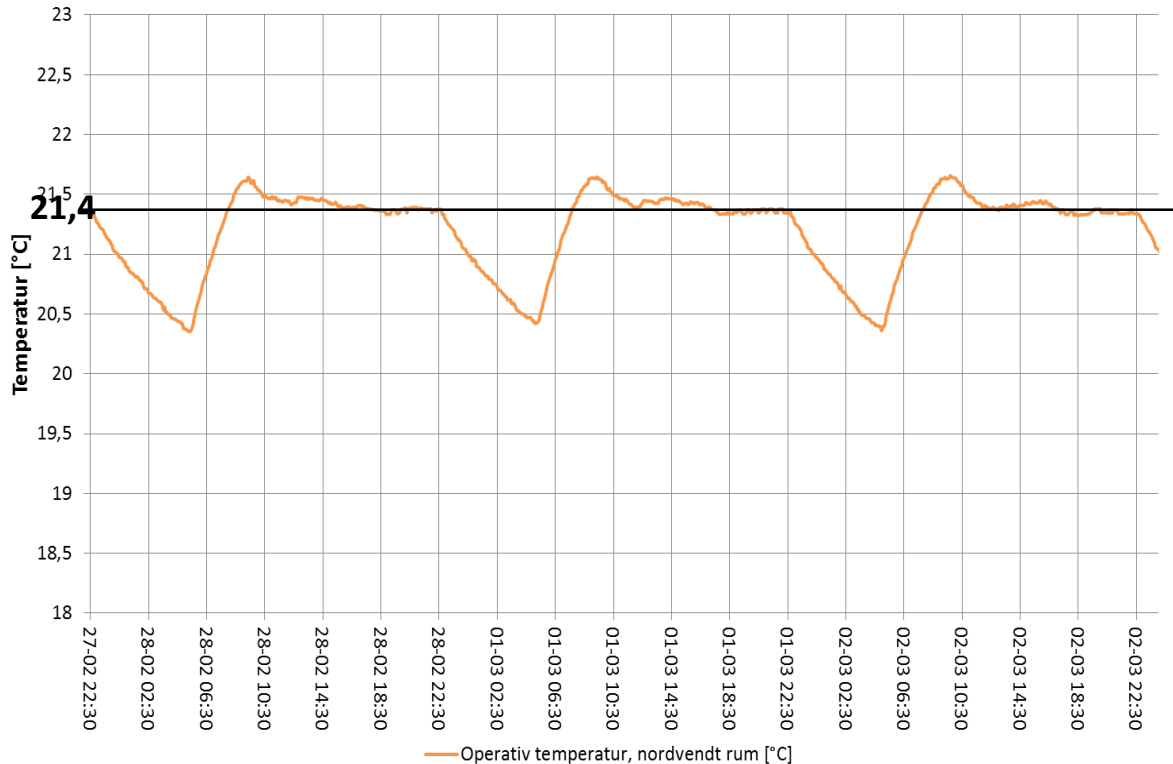
Resultater

Indetemperaturen har været ca. en grad lavere i sænkingsperioden end ellers. Det fremgår ligeledes, at sænkingsperioden har været ca. 5 timer. Den gennemsnitlige indetemperatur ved natsænkning var 21 °C og uden natsænkning ville den have været 21,4 °C, jf. Figur 4646.

Ved at benytte energirammeprogrammet Be10 med bygningsdata for EnergyFlexHouse vil man for denne temperaturforskel nå en årlig netto rumvarmebesparelse på 5 % ved natsænkning.

Varmepumpens COP har i perioden været 3,0.

Natsenkning - 27. februar-2. marts 2014

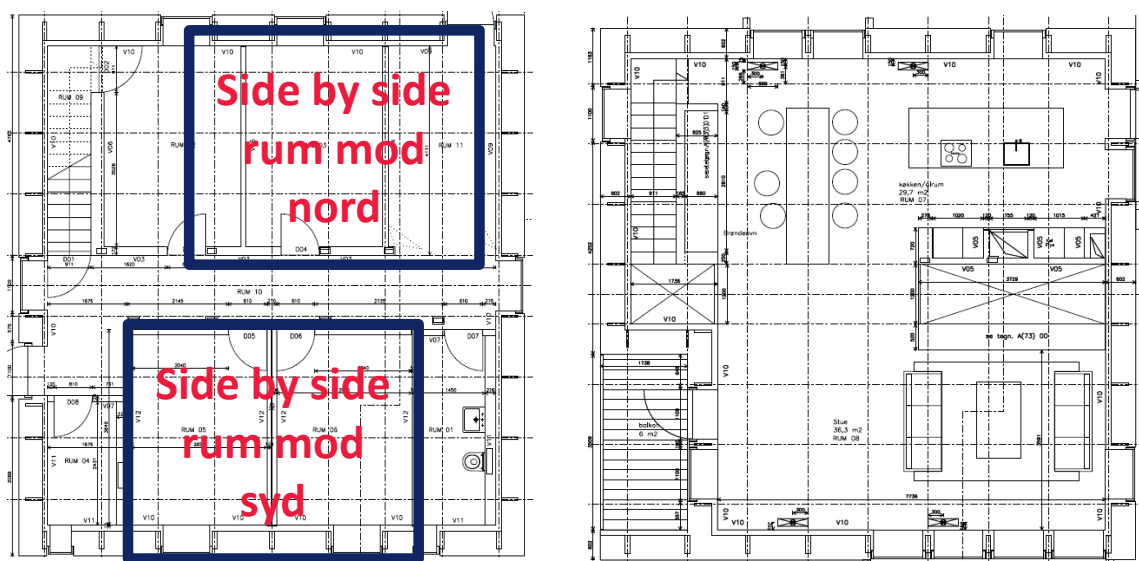


Figur 46: Operativ temperatur i nordvendt rum i EnergyFlexHouse

6.2.4. Forvarmning før afbrydelse

Det fjerde og sidste forsøg er som forsøg tre, men med forvarmning før afbrydelse – det vil sige at bygningen opvarmes til en indetemperatur der er højere end normal ønsket indetemperatur.

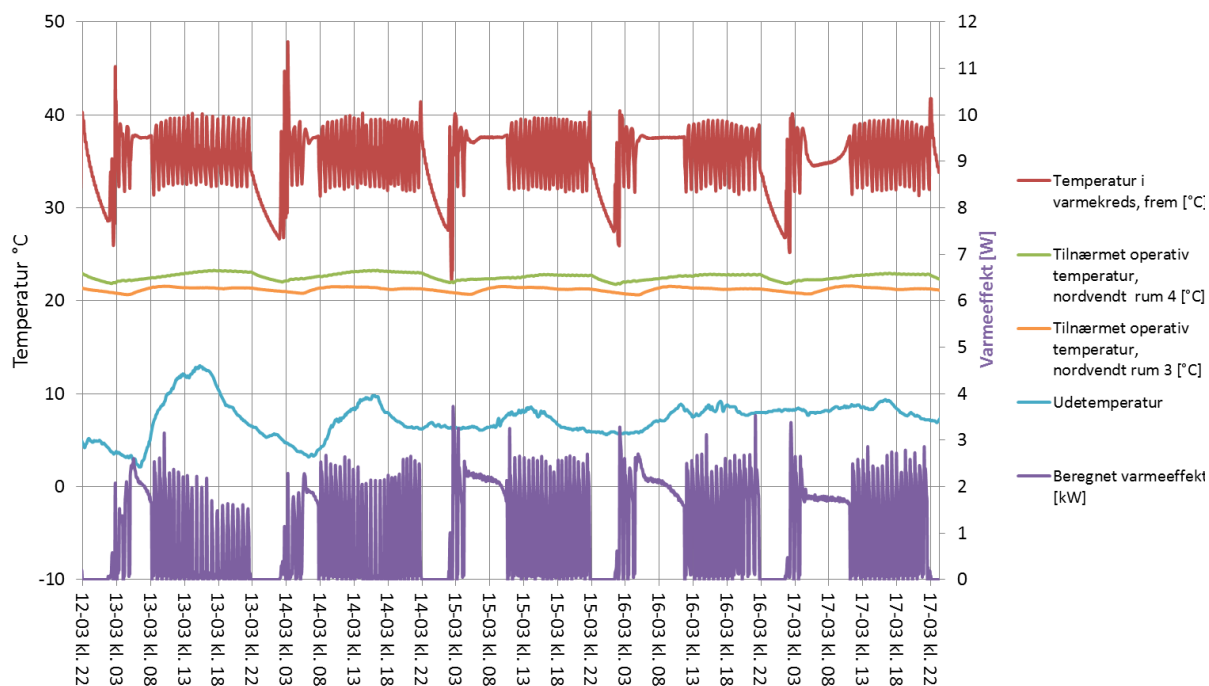
Til de andre forsøg er hele EnergyFlexHouse benyttet, men i disse forsøg er der taget udgangspunkt i husets såkaldte side-by-side-rum. Huset har to helt ens rum mod nord og to helt ens rum mod syd, som kan ses på Figur 4747.



Figur 47: tv.: Stueplan for EnergyFlexHouse med side-by-side rum mod nord og syd, th: 1. sals plan

Forsøget er en kopi af forsøg tre med natsænkning i hele huset og med en indetemperatur på 21 °C. I to af side-by-side-rummene, et mod nord og et mod syd, har temperaturen været hævet til 23 °C.

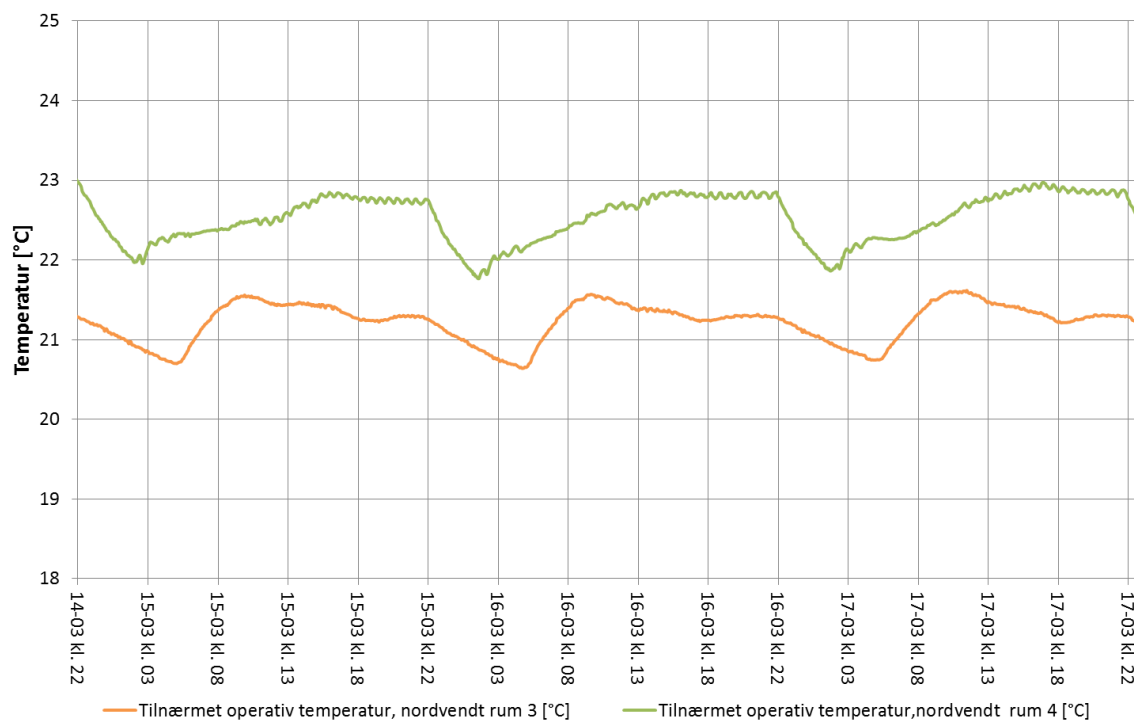
På figur 48 ses resultaterne af målinger for en uge, hvor temperatur i varmekreds, den operative temperatur, udetemperaturen samt den beregnede varmeeffekt er afbildet på figuren.



Figur 48 Forvarmning før afbrydelse i 2 side-by-side rum i perioden d. 12-17. marts 2014 - ellers som forsøg med programmerbare termostater med natsænkingsprogram

Det skal her bemærkes at udetemperaturen er relativ høj og at varmepumpen arbejder on/off i en del af tiden. Varmepumpens COP har i perioden været 3,2.

Figur 4949 viser indetemperaturen i de to side by-side-rum mod nord. I rum 3 er normaltemperaturen indstillet til 21 °C, hvor den i rum er indstillet til 23 °C, som skal svare til en forvarmning af et rum før afbrydelse.



Figur 49 Indetemperaturen i de to side by-side-rum mod nord.

Det ses, at temperaturen falder noget hurtigere i rum 4 med den højere temperatur, da temperaturdifferensen mellem inde og ude er højere. Tidskonstanten er ca. halvt så stor i rum 4 end rum 3. Grunden til den meget store forskel skyldes også den mekaniske ventilation. Indblæsningsluften i begge rum er den samme, så forholdsmæssig vil indblæsningsluften derfor være koldere i rum 4 med 23 °C.

6.2.5. Overordnede resultater fra forsøg

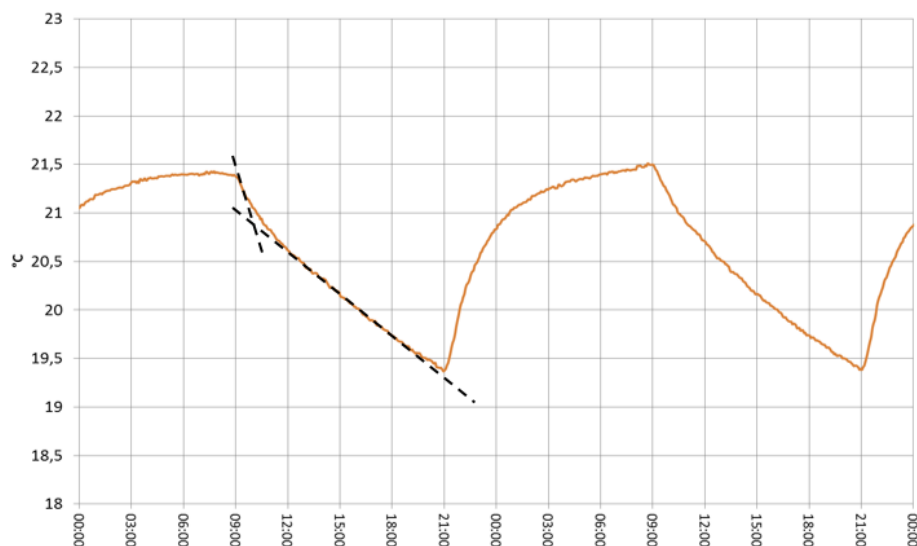
Figur 50 viser samlet de overordnede resultater fra forsøgene.

	1.a Konti- nuerlig drift	1.b Konti- nuerlig drift – re- videret	2. On/off drift	3. Sænk- ningsperi- ode	4. Sænk- ningsperiode med for- varmning
<i>Periode</i>	9-15. dec 2013		23.-29. dec 2013	25. februar – 3. marts 2014	11-18. marts 2014
<i>Gennemsnitlig indetemperatur</i>	21,8		20,7	21,1	21,2
<i>Gennemsnitlig udetemperatur</i>	5,3		5,3	3,6	6,8
<i>Gennemsnitlig fremløbstempera- tur</i>	46,6	38,5*	47,7	42,6	36,2
<i>COP for perioden</i>	3,0	3,9*	3,0	3,0	3,2

Figur 50 Overordnede resultater fra forsøgene samlet. De med * markerede data er ikke baseret på målinger, men udelukkende beregninger.

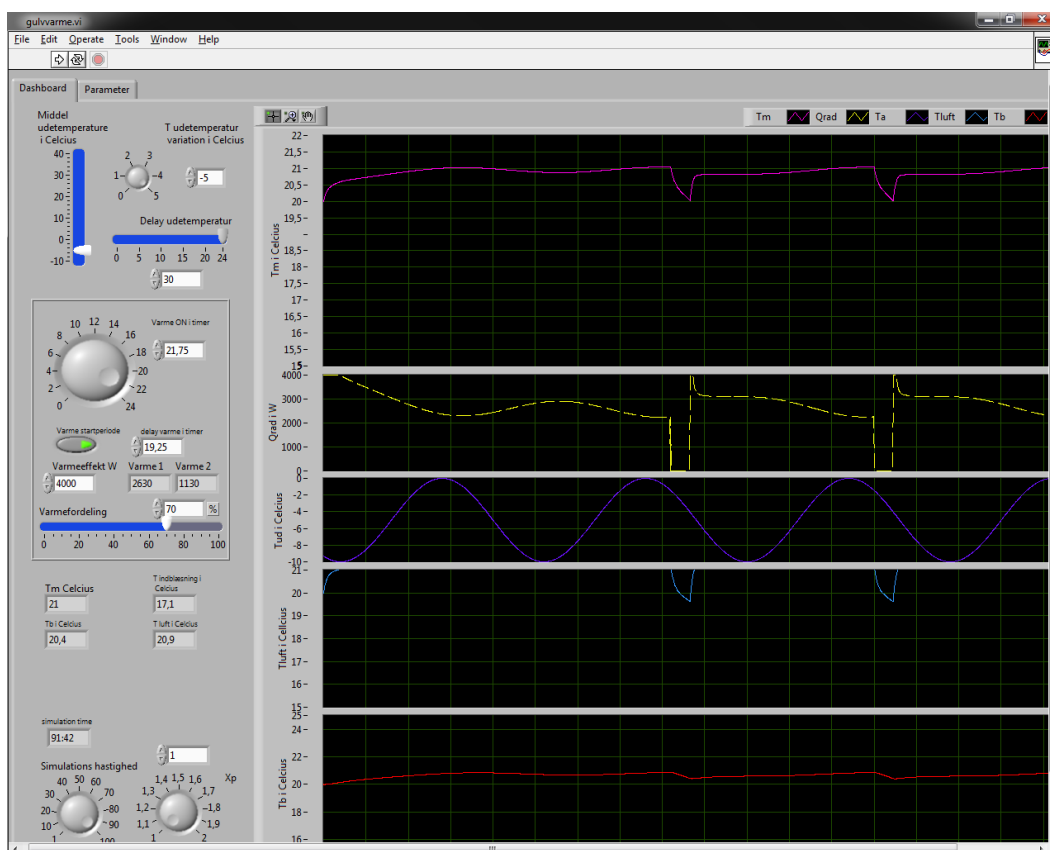
6.3. Simpelt simuleringsværktøj

Til projektet er udviklet et simuleringsværktøj baseret på en 1-rums bygningsmodel til bestemmelse af indetemperaturen under opvarmnings- og afkølingsforløb. Simuleringsværktøjet er udviklet i Labview. Fra forsøgene i EnergyFlexHouse, fremgår, at afkøling af huset sker i 2 tempi, se figur 44 og 51. Først falder indetemperaturen hurtigt - ca. 1 °C i løbet ca. 3 timer. Derefter sker temperaturfaldet langsommere – ca. 1 °C i løbet af ca. 9 timer. For at reflektere forsøgsdata, er der i bygningsmodellen regnet med 2 tidskonstanter, hvor den ene relaterer sig til varmekapaciteten i luft, møbler mv. og den anden til varmekapaciteten i bygningens tungere bestanddele.



Figur 51 Operativ temperatur i nordvendt rum 26. og 27. december 2013

På figur 52 ses et screen dump fra programmet, hvor den øverste kurve er den operative temperatur, som er en funktion af lufttemperatur og temperatur i bygningsmassen (4. og 5. kurve). Derudover ses den afsatte varmeeffekt samt udetemperaturen, som i dette tilfælde simuleres som en sinuskurve. I de følgende simuleringer er der set bort fra solindfald, dvs. det forudsættes, at det er en overskyet dag.



Figur 52: Screen dump fra simuleringsprogram

6.4. Simuleringer

Simuleringsprogrammet er anvendt til at estimere, hvor lang tid varmepumpen kan slukkes i kogespidsen (kl 17), hvis minimumstemperaturen ikke må komme under 20 °C. Der er lavet simuleringer for et lavenergihus (EnergyFlexHouse) og et 70'er hus, hvor det forudsættes at varmetabet og derved også afsat varmeeffekt er 3 gange så stort. Derudover er der mekanisk ventilation med varmegenvinding i lavenergihuset og naturlig ventilation i 70'er huset. Begge scenarier er simuleret ved en starttemperatur på 21 og 23 °C og ved en mild og en kold vinter, jf. tabellen figur 53.

Afbrydelighed i timer	Lavenergihus				70'er hus			
	Hård vinter		Mild vinter		Hård vinter		Mild vinter	
Minimum udetemperatur	-10		0		-10		0	
Maksimum udetemperatur	0		10		0		10	
Rumtemperatur før afbrydelse	21 °C	23 °C	21 °C	23 °C	21 °C	23 °C	21 °C	23 °C
Antal timer varmepumpen kan afbrydes, når minimum rumtemperatur er 20 °C	2,25	7	5	11	0,25	2	0,75	4,25

Figur 53 Afbrydning af varmepumpe ved kogespids kl 17

Som det ses af tabellen er det muligt at slukke varmen i en længere periode hvis huset forvarmes til 23 °C frem for 21 °C – både for lavenergihuset og for 70'er huset. Dernæst vil man også kunne slukke varmepumpen i en længere periode, hvis det er en mild frem for en hård vinterdag.

6.5. Diskussion

Generelt har varmepumpen vist den forventede effektivitet under afprøvningen i EnergyFlexHouse. Resultaterne viser desuden at et veldimensioneret radiatoranlæg og skarp styring af fremløbstemperaturen er vigtige for at få den optimale drift.

Resultaterne viser også, at der er forskellige muligheder for at styre varmepumpen, hvis den skal anvendes sammen med bygningen til at skabe fleksibelt elforbrug:

- 1. Styring fra varmepumpe:** Varmepumpen kan afbrydes og indkobles med et eksternt signal. Det er ligeledes muligt via eksternt signal, at hæve varmepumpens fremløbstemperatur i en genopvarmningsperiode for at øge varmeanlæggets kapacitet og dermed sikre en hurtigere genopvarmningstid. Ulempe: Der er normalt ingen kommunikation med radiatortermostaterne (typisk mekaniske/manuelle) og det er derfor ikke umiddelbart muligt at hæve termostaternes sætpunkt før afbrydelse, så bygningen kan forvarmes. Det betyder mindre udnyttelse af bygningens fleksibilitet og dermed kortere perioder, hvor varmforsyningen/varmepumpens eleffektoptag kan afbrydes (se figur 53).
- 2. Styring fra termostaterne:** Resultaterne viser (fx figur 45), at varmforsyningen/varmepumpens eleffektoptag sagtens kan afbrydes/indkobles via elektroniske termostater. I de udførte forsøg ligger algoritmer og programmeringen i den enkelte termostat, men der findes tilsvarende typer, hvor termostatens sætpunkt til et givet tidspunkt kan kommunikeres via et eksternt signal. Kommunikation til den enkelte termostat gør det desuden muligt at lave en prioritering, så varmen ikke nødvendigvis afbrydes i alle rum eller zoner (eller at rummene evt. afbrydes forskudt). Det betyder at varmforsyningen/varmepumpens eleffektoptag kan reduceres i en periode i stedet for at skulle afbrydes helt. Ulempe: De elektroniske radiatortermostater kommunikerer ikke med varmepumpens styring og kan derfor ikke fortælle varmepumpen, at den skal hæve fremløbstemperaturen i en genopvarmningsperiode.

Ved at have en styring, der kombinerer fordelene fra ovenstående eksempler, fås en mere fuldendt løsning. Der kan således komme et marked for installationspakker med varmepumper og rumtermostater, der kan kommunikere, så den fulde fleksibilitet i bygninger kan udnyttes mest effektivt i fremtidens smart grid.

7. Henvisninger

[1] IEA SHC Task 44 - Solar and Heat Pump Systems hjemmeside: <http://task44.iea-shc.org/>

[2] Solar electric heating systems for the future energy system. Simon Furbo m.fl., Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske universitet.

[3] Krav til datagrundlag for ventilationsberegner - kan rekvireres hos Erik Hvirgel Hansen, Teknologisk Institut, email: EHH@teknologisk.dk, Tlf.: 7220 2524.

[4] Energiløsning for ventilationsanlæg med varmegenvinding, Vejledning, Videncenter for Energibesparelser i Bygninger, www.byggeriogenergi.dk, december 2013.

[5] Installationspakker til énfamilieboliger, C.H. Christiansen m.fl., Teknologisk Institut, HVAC-Magasinet nr. 7, 2014

Bilag 1 Programmer for de afholdte workshops

B1.1 Intelligent energistyring i boliger – 11/6-2013

Program:

08:30 Ankomst – morgenmad – networking

09:00 Workshop boliger

Velkomst

Søren Draborg, seniorkonsulent, Teknologisk Institut

Hvorfor intelligent styring i boliger?

Hvilke problematikker skal projektet løse?

Anders Høj Christensen, Projektansvarlig Teknologisk Institut

Forecasting i EnergyFlexHouse

Model til forudsigelse af energiforbruget i EnergyFlexHouse, baseret på prissignal og vejr.

Thomas Due Nielsen, DTU byg

Home automation ved IHC

Dan Schwartz, Salgsingeniør, Lauritz Knudsen

Udvikling af installationspakker

Udviklingsprojekt i Innovationsnetværket for energieffektivt og bæredygtigt byggeri – InnoBYG

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

Diskussion

11:30 - 12:30 Frokost

B1.2 Solvarme kombineret med varmepumper i bygninger – 17/9-2013

Program:

13:00-13:15 Velkomst og introduktion

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

13:15-13:30 Solvarme og varmepumper set fra installationsbranchens side

Søren Rise, Chefkonsulent, Tekniq

13:30-15:30 Præsentationer og erfaringsudveksling

Resultater fra IEA-SHC Task 44

IEA-projektet har analyseret forskellige kombinationer af solvarme og varmepumper

<http://task44.iea-shc.org/>

Ivan Katic, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

Resultater fra projektet "Solar/electric heating systems in the future energy system"

Projektet kombinerer et solvarmesystem med en varmepumpe og en styring, der benytter prognoser for vejr og elpriser.

Bengt Perers, Seniorforsker, DTU-Byg

Kaffepause

Udvikling af installationspakker

I InnoByg-regi har Teknologisk Institut arbejdet med solvarme-varmepumpeløsninger og målt på et anlæg i EnergyFlexHouse. Hvordan skal en færdig installationspakke se ud? Hvilke tanker har EU-Kommissionen om energimærkning af installationspakker?

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

Solvarmens udfordringer

Som del af resultatkontrakten "Bygningsintegreret solvarme" undersøges solvarmens udfordringer. Har de udførende viden nok? Får forbrugerne præsenteret alle de muligheder de har? Får forbrugerne de anlæg, de fortjener?

Peter Svendsen, Konsulent, Teknologisk Institut

15:30-16:00 Afrunding og networking

B1.3 Aggregater til boligventilation - nye løsninger, markeder og krav – 12/12-2013

Program:

10:00-10:10 Velkomst og introduktion

Introduktion til dagens program

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

10:10-10:25 Udvikling af installationspakker

Præsentation af InnoByg og InnoByg-projektet om udvikling af installationspakker til en-familieboliger.

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

10:25-10:45 Producenternes syn på markedet i dag og i fremtiden

Hvordan ser producenterne på markedet?

Christen Galsgaard, Direktør, Dansk Ventilation

10:45-11:10 Rådgiverens syn på markedet i dag og i fremtiden

Hvordan ser en rådgiver på markedet?

Mie Wallenstein Kjølhede, Senioringeniør, Rambøll

Fremtidens krav og markedet - et nyt stort marked i 2014

11:10-11:40 Kommende krav til Ecodesign

Status for arbejdet med ecodesignkrav til ventilationsaggregater.

Christian Grønborg Nicolaisen, Sektionsleder, Teknologisk Institut

11:40-12:30 Frokost og networking

12:30-13:15 Nye løsninger til eksisterende etagebolig

Gennemgang af nye komponenter og systemer udviklet i EUDP-projekterne Energieffektiv ventilation til eksisterende etagebyggeri og *Behovsbaseret boligventilation med fugtstyring*.

Christian Grønborg Nicolaisen, Sektionsleder, Teknologisk Institut

13:15-13:45 Vejledning og grundlag for de udførende

Præsentation af Videncenter for Energibesparelser i bygningers nye energiløsninger til ventilationsanlæg.

Christian Grønborg Nicolaisen, Sektionsleder, Teknologisk Institut

13:45-14:00 Ventilationslisten – vælg det rigtige anlæg

Gennemgang af ventilationslisten for ventilationsaggregater.

Hvordan får man et anlæg optaget på ventilationslisten?

Erik Hvirgel Hansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

14:00-14:15 Kaffepause

14:15-14:45 Debat – Hvad skal der fokuseres på i 2014

Åben debat ved:

Christen Galsgaard, Direktør, Dansk Ventilation

Christian Grønborg Nicolaisen, Sektionsleder, Teknologisk Institut

14:45-15:00 Afrunding

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

B1.4 Varmepumper og fjernvarme i samspil med lavtemperatur varmeanlæg og moderne rumtemperaturregulering – 3/4-2014

Program:

13:00-13:20 Velkomst og introduktion

Introduktion til InnoByg og dagens program

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

Udvikling af installationspakker

Præsentation af InnoByg-projektet om udvikling af installationspakker til enfamilieboliger.

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

13:20-15:40 Præsentationer og erfaringsudveksling

Varmepumper og gulvvarmeanlæg

En varmepumpe er mest effektiv ved den lavest mulige fremløbstemperatur. Det har imidlertid vist sig, at der i praksis kan være store afvigelser mellem den designmæssige og den faktiske ydelse for lette gulvvarmeanlæg. Det betyder, at mange anlæg i praksis kræver en noget højere fremløbstemperatur end forventet. En række faldgruber gennemgås.

Otto Paulsen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

For at opnå, så lav fremløbstemperatur som muligt, bør en gulvvarmestyring regulere efter det hårdst belastede rum. Undersøgelser udført i forbindelse med ZEB-projektet har imidlertid også vist, at strømningsmønstret har indflydelse på en varmepumpes effektivitet (COP).

Martin Frølich Olesen, konsulent, Teknologisk Institut

Varmepumper og fleksible elpriser

Som del af resultatkontrakten "Energirenovering 2020 – Flexibelt elforbrug" er det undersøgt, hvordan en varmepumpe kan driftes ud fra en forudsigtelse af elpris og varmebehov. Forskellige scenarier præsenteres.

Otto Paulsen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

14:25-14:50 Kaffepause og networking

Lavtemperatur varmeanlæg og sænkingsperioder

En række praktiske forsøg er gennemført i Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse med henblik på at afdække afkølings- og genopvarmningsforløb i et hus med varmepumpe og et lavtemperatur radiatoranlæg. Hvilke forhold skal man være særligt opmærksom på, når der skal dimensioneres anlæg, der kan håndtere sænkingsperioder.

Ditte Marie Jørgensen, konsulent, Teknologisk Institut

Lavtemperaturfjernvarme

I et netop afsluttet EUDP-projekt er der leveret fjernvarme med en fremløbstemperatur på mellem 50 og 55°C året rundt til en række nye lavenergiboliger med radiatoranlæg. Erfaringerne præsenteres.

Christian Holm Christiansen, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut

15:40-16:00 Opsamling og afrunding