



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



INSERO

Den gode installation af varmepumper for Energistyrelsen



Januar 2017

**Søren Poulsen
Søren Østergaard Jensen
Rasmus Borup
Teknologisk Institut**

**Esben Okkels Larsen
Insero Energy**

Forord

Rapporten afslutter opgaven: Den gode installation af varmepumper udført for Energistyrelsen.

I forbindelse med en række projekter, som blev igangsat i 2010 og koordineret af Energinet.dk under overskriften ”Fra vindkraft til varmepumper” – senere bedre kendt som StyrDinVarmepumpe (SDVP) - med det formål at berede vejen for fleksibelt elforbrug i varmepumper i forhold til den stigende andel af fluktuerende elproduktion fra bl.a. vindmøller, er der gennemført et demonstrationsprojekt, hvor 300 individuelle varmepumper kan fjernstyres og den daglige drift overvåges. Forskellige driftsdata opsamles med høj tidsopløsning på en IT-plattform og giver et unikt grundlag for at analysere almindelige varmepumpers drift. Intelligent Energistyring a.m.b.a. varetager den daglige drift af platformen.

Nærværende undersøgelse er primært baseret på data fra ovennævnte IT-plattform og sekundært fra (Pedersen og Jacobsen, 2013), hvor effektiviteten af 170 andre varmepumper blev undersøgt. Nærværende undersøgelse har til formål at identificere et minimumsniveau for varmepumpers effektivitet, eller mere præcist, hvor lav en virkningsgrad, der egentlig er acceptabel for at kategorisere varmepumpen som en god forretning for husejeren. Endvidere skal projektet belyse, hvorfor nogle installationer ikke kører optimalt, mens andre kører fremragende – og om det er muligt at gøre de gode installationer endnu bedre med simple tiltag.

Undersøgelsen er udført i perioden august 2015 til september 2016.

Resultaterne formidles gennem denne rapport og i et materiale til brug for undervisning af installatører af varmepumper.

Firmaerne *Teknologisk Institut* (TI) og *Insero Energy* (IE) har forestået undersøgelsen med følgende bemanding:

- Søren Poulsen (TI)
- Søren Østergaard Jensen (TI)
- Esben Okkels Larsen (IE)
- Rasmus Borup (TI)

Indhold

1	Indledning.....	5
1.1	Baggrund.....	5
1.2	Formål.....	5
1.3	Metode	5
1.4	Målgruppe	6
2	Udvælgelse af installationer til gennemgang	7
2.1	Udvælgelseskriterier og proces for udvælgelse	7
2.2	Kilder for stamdata og andre grundoplysninger	7
2.3	Proces og erfaringer fra kommunikationen med anlægsværterne.....	7
3	Udvalgte installationer og tiltag	9
3.1	Case ID309	9
3.1.1	Stamdata.....	9
3.1.2	Observationer og tiltag.....	10
3.1.3	Observeret effekt af tiltag	10
3.2	Case ID434	10
3.2.1	Stamdata.....	10
3.2.2	Observationer og tiltag.....	11
3.2.3	Observeret effekt af tiltag	12
3.3	Case ID459	12
3.3.1	Stamdata.....	12
3.3.2	Observationer og tiltag.....	13
3.3.3	Observeret effekt af tiltag	14
3.4	Observationer fra besøg på de øvrige anlæg	14
4	Erfaringer fra installationer – almindelige fejl.....	17
4.1	Indregulering af varmekurve	17
4.2	Brugsvandscirkulation	18
4.3	Indregulering af varmeanlæg	19
4.4	Gulvvarmeshunt	21
4.5	Bufferbeholder	22
4.6	Isolering af rør	23
4.7	Placering af Luft/Vand varmepumpe	24
4.8	Sammenfatning af generelle erfaringer om fejl i installationer	25
4.8.1	Fejl og mangler i den fysiske udformning af installationen.....	26
4.8.2	Manglende eller forkert indstilling af varmeanlægget.....	26

4.8.3	Manglende indstilling af varmepumpen	26
4.8.4	Installatøren.....	26
5	Hvor er det en god idé at installere varmepumper?	28
5.1	Hvilken SPF kan man forvente i forskellige huse?	28
5.2	Hvor er det rentabelt at installere varmepumper?	30
5.2.1	Økonomisk sammenligning af varmepumpeinstallationer med gas-, olie- og pillefyr.....	32
5.2.2	Hvordan anvendes figur 5.10-5.11	37
5.2.3	Kan man selv vurdere SPF for en varmepumpeinstallation?	38
6	Potentialet for besparelser ved forbedring af varmepumpeinstallationer	42
6.1	Beregning af besparelsespotentialer.....	45
6.2	Konklusion	48
7	Konklusion og perspektivering	49
8	Referencer	52
	Bilag 1: Kontrolpunkter til brug for inspektion af varmepumpeinstallationer	53
	Bilag 2: Oversigt over gennemgåede anlæg	56
	Bilag 3: Forudsætninger for økonomiberegninger	58
	Introduktion.....	58
	Forudsætninger	60
	Beregninger	64
	Bilag 4: Økonomiberegning med og uden lempelse af PSO-tariffen.....	66

1 Indledning

1.1 Baggrund

I forbindelse med en række projekter, som blev igangsat i 2010 og koordineret af Energinet.dk under overskriften ”Fra vindkraft til varmepumper” – senere bedre kendt som StyrDinVarmepumpe (SDVP) - med det formål at berede vejen for fleksibelt elforbrug i varmepumper i forhold til den stigende andel af fluktuerende elproduktion fra bl.a. vindmøller, er der gennemført et demonstrationsprojekt, hvor 300 individuelle varmepumper kan fjernstyres og den daglige drift overvåges. Forskellige driftsdata opsamles med høj tidsopløsning (pr. fem minutter) på en IT-plattform og giver et unikt grundlag for at analysere almindelige varmepumpers drift. Intelligent Energistyring a.m.b.a. varetager den daglige drift af platformen. Yderligere information om IT-plattformen og målinger, se www.styrdinvarmepumpe.dk.

Analyser udført i ovennævnte projekter og erfaringer fra projekternes gennemførelse indikerer, at der er et væsentligt potentiale for med relativt simple midler at forbedre varmepumpeinstallationernes effektivitet (COP). En varmepumpes COP er stærkt afhængig af en fornuftig dimensionering i forhold til varmebehovet, og af at den samlede installation og sammenkobling med varmesystemet er gennemtænkt og styres omhyggeligt. Forbedringspotentialet knytter sig i mindre grad til selve varmepumpeteknologien, der i dag vurderes at være meget veludviklet og effektiv.

1.2 Formål

Energistyrelsen har på denne baggrund anmodet om gennemførelse af nærværende projekt med den målsætningen at identificere et minimumsniveau for varmepumpers effektivitet, eller mere præcist, hvor lav en virkningsgrad, der egentlig er acceptabel for at kategorisere varmepumpen som en god forretning for husejeren. Projektet skal desuden belyse, hvorfor nogle installationer ikke kører optimalt, mens andre kører fremragende – og om det er muligt at gøre de gode installationer endnu bedre med simple tiltag. Endelig er det formålet at udarbejde nogle anvisninger for god praksis ved installation af varmepumper til brug i undervisningen af primært installatører af varmepumper.

1.3 Metode

Blandt varmepumpeanlæggene på IT-plattformen er udvalgt 21 installationer ud fra et sæt kriterier, bl.a. effektiviteter fra dårlig til god, varmepumpefabrikater og –typer, hustyper m.fl.

Anlæggene er besøgt, og bygningernes og installationernes tilstand samt brugen heraf samt anlæggenes nuværende drift og sætpunkter er registreret. På enkelte anlæg, hvor der blev observeret åbenlyst forkerte og nemt justerbare indstillinger af varmepumpe eller centralvarmeanlæg, blev der samtidigt udført justeringer.

Et par cases, hvor der er udført justeringer med en forventet stor effekt, er beskrevet og undersøgt nærmere, idet historiske driftsdata (før justeringer) er sammenlignet med nye driftsdata for at dokumentere den faktiske effekt af justeringerne.

Observationer fra alle de gennemgåede anlæg samt generelle erfaringer er beskrevet med fokus på at belyse typiske fejl, der har betydning for driften af installationerne. Metoder til at forebygge og afhjælpe disse fejl er ligeledes beskrevet.

Resultaterne herfra vil blive benyttet til at udarbejde anvisninger til brug i undervisningen af installatører af varmepumper.

Følgende spørgsmål søges besvaret:

- Hvor stort et optimeringspotentiale ligger der i korrekt justering og brug af den givne varmepumpeinstallation?
- Hvor effektiv kan en varmepumpe forventes at blive?
- Hvornår er businesscasen for varmepumpeløsningen favorabel?

I projektet udarbejdes endvidere:

- Nøgletal for vurdering af om en bygning er egnet til varmepumpe eller ej, herunder vurdering af den investering, som er nødvendig, såfremt varmepumpen skal performe som forventet.
- Anvisning af, hvorledes det fremover sikres, at produkterne kan opnå en højere effektivitet, herunder temaer som f.eks. dimensionering, installation, samspil med radiatoranlæg, klimaskærm etc.

1.4 Målgruppe

Projektet henvender sig til en bred skare af interessenter, der alle har en eller anden tilknytning til markedet for varmepumper og har interesse i at højne kvaliteten i installationerne, bl.a. installatører, producenter, rådgivere og brancheorganisationer samt Energistyrelsen og undervisningsinstitutioner.

2 Udvalgelse af installationer til gennemgang

21 huse blev besøgt for at gennemgå varmepumpe- og varmeinstallationerne. Det primære formål var at gøre observationer omkring installationen, komponenter og indstillinger med henblik på at kunne identificere muligheder for med simple midler at skabe en mere effektiv drift af varmepumpen.

2.1 Udvalgelseskriterier og proces for udvalgelse

De udvalgte huse blev fundet blandt de 300 varmepumpeanlæg i demoprojektet (www.styrdinvarmepumpe.dk) samt nogle ekstra anlæg, der sidenhen blev koblet til IT-plattformen udviklet i SDVP. Husene er valgt primært ud fra følgende kriterier:

- Varmepumpefabrikater med en vis udbredelse
- Både Væske/Vand (V/V) og Luft/Vand (L/V) varmepumper
- SPF (årlig gennemsnitlig COP, se afsnit 2.4) med spredning fra dårlig til god
- Huse med en vis aldersspredning
- Varmeinstallationer, både gulv, gulv/radiator og radiator
- Historiske måledata af troværdig kvalitet og uden for mange huller
- Varmepumpe-ejeren var positivt indstillet

Varmebidrag fra solvarmeanlæg og brændeovne kan vanskeliggøre analysen af et varmepumpeanlægs effektivitet, men et kriterium om kun at inddrage huse uden disse varmekilder kunne ikke helt indfris, fordi der især på Sjælland er ganske få huse, der opfylder både dette og de andre kriterier.

Et sekundært kriterium var de respektive fabrikanters interesse i at deltage i anlægsbesøgene, dels for at kvalificere gennemgangen, og dels for at opnå en win-win-win-situation for projektet, ejeren og fabrikanten. Tre ud af fem fabrikanter deltog i et eller flere anlægsbesøg. En fabrikant havde p.t. ingen dansk repræsentant, og den sidste var interesseret, men havde lige sagt farvel til deres nøglemedarbejder på området.

2.2 Kilder for stamdata og andre grundoplysninger

Data om anlæggene er indsamlet fra forskellige kilder:

- Stamdata fra StyrDinVarmepumpe
- BBR-data
- Weblager.dk (visse kommuner offentliggør tegninger og oplysninger fra sagsbehandlinger for husene i kommunen)
- Krak og Google (luftfoto og streetview)
- Husejer (under besøg)

Under besøgende blev der taget noter og fotos. I forberedelsen til anlægsbesøgene blev der udviklet et tjek-skema til benyttelse under besøgene, se Bilag 1.

2.3 Proces og erfaringer fra kommunikationen med anlægsværterne

I forbindelse med SDVP-projekterne havde ejerne af varmepumpeanlæggene skriftligt tilkendegivet, at de ville stille deres anlæg til disposition for måleprogrammer (og forsøg med fjernstyring), og det var derfor muligt at kontakte et antal varmepumpeejere direkte ud fra puljen af de 300 anlæg. Ud fra tidligere oplyste stamdata og

historiske måledata blev der udvalgt en bruttoliste over varmepumpeanlæg, der kunne være interessante at gennemgå. Ejerne blev ringet op for med det samme at etablere en personlig kontakt. Dette blev fulgt op af en e-mail med uddybende information om undersøgelsen.

Grundlæggende var husejerne positivt indstillet og fandt undersøgelsen spændende, hvilket også var forventet ud fra deres generelle interesse for SDVP-projekterne. Desuden kunne der lokkes med en mulighed for at få større indsigt i eget anlæg og en potentiel gevinst i form af en mere effektiv drift af varmepumpeanlægget – uden risici.

2.4. Effektiviteten for varmepumper

Effektiviteten for en varmepumpe udtrykkes som regel som COP eller SPF (se også kapitel 5, hvor to andre definitioner også introduceres):

- COP (Coefficient Of Performance) er effektiviteten i et bestemt driftspunkt. COP skifter hen over dagen og året som følge af forskellige driftsbetingelser. I standardafprøvningen af varmepumper, er COP fundet ved specielle driftsbetingelser, som ikke nødvendigvis forekommer, når en varmepumpe er installeret i et hus.
- SPF (Seasonal Performance Factor) er den samlede årlige effektivitet for en varmepumpe. Altså den samlede årlige varmemængde produceret af varmepumpen divideret med varmepumpens årlige elforbrug

3 Udvalgte installationer og tiltag

I Bilag 2 ses to tabeller med de vigtigste data for alle de gennemgåede varmepumpeinstallationer.

Heraf er der udvalgt tre særligt interessante cases (navngivet med ID-numre fra SDVP), som gennemgås kort i det følgende.

For hver case listes her de vigtigste stamdata. De vigtigste observationer beskrives meget kort, og der redegøres kort for tiltag udført ved anlægsbesøgene for at forbedre driften og den forventede effekt heraf.

For to af anlæggene har det været muligt at eftervise en forbedret drift efter de tiltag, der blev gjort ved anlægsbesøget, til trods for en forholdsvis lun og kort driftsperiode siden da. Ud fra de driftsdata, der opsamles og gemmes i en database på IT-plattformen fra SDVP, beregnes der hver dag en gennemsnitlig COP for hver af varmepumpeanlæggene. Denne er afbilledet som funktion af udetemperaturen (gennemsnitlig døgnværdi) i to kurver - en 'før tiltag'-kurve og en 'efter tiltag'-kurve. Dette suppleres af beboernes oplevelse af ændringer i indeklimate og komfort.

Kapitlet afsluttes med en kort beskrivelse af nogle interessante observationer fra besøgene på de andre varmepumpeanlæg.

3.1 Case ID309

3.1.1 Stamdata

Huset er fra 1906 med et samlet boligareal på 195 m² - fordelt på 170 m² i stueplan og 25 m² på 1. sal.

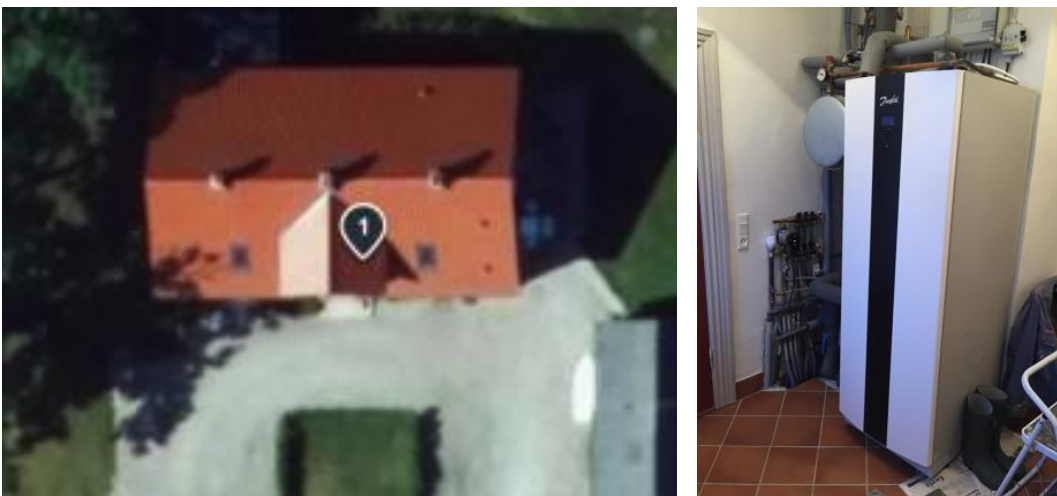
Huset opvarmes primært med radiatorer og har gulvvarme i badeværelse og bryggers. Der er mulighed for at supplere med brændeovn, men den benyttes sjældent.

Huset er renoveret over årene 2008-2010 og i den forbindelse er varmepumpen installeret.

Varmepumpen er en jordvarmepumpe fra Danfoss, type DHP-H Opti Pro 12 med en nominel ydelse på 12 kW.

Der bor to voksne i huset.

Huset har tidligere været opvarmet med halm- og oliefyfyr. Det har ikke været muligt at finde oplysninger om forbruget, før der blev installeret varmepumpe.



Figur 3.1: Billeder fra huset i case ID309.

3.1.2 Observationer og tiltag

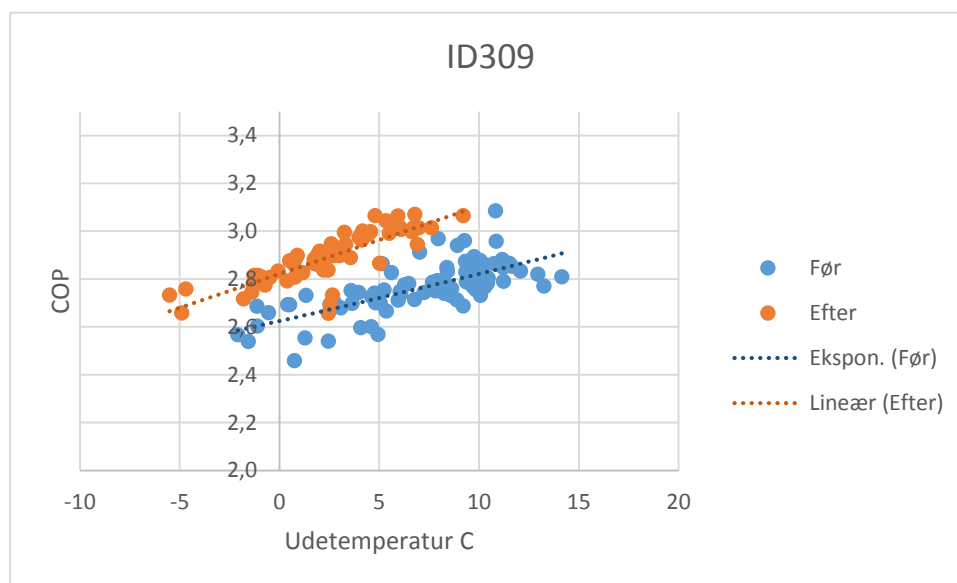
Varmepumpens samlede varmeproduktion siden idriftsættelsen var 92.913 kWh. I samme periode har varmepumpen haft et elforbrug på 31.603 kWh. Dette giver en målt virkningsgrad på 2,9, hvilket vurderes at være i underkanten af, hvad der burde være muligt, husets stand taget i betragtning.

Der var i varmepumpen indstillet en maks. fremløbstemperatur på 55°C, og på besøgsdagen var fremløbstemperaturen 50°C ved en udetemperatur på 2°C. Allerede ved udetemperaturer på lidt under frysepunktet ville varmepumpen med den indstillede varmekurve ramme sin maksimale fremløbstemperatur på de 55°C. Dette sammenholdt med, at husejeren berettede om, at han aldrig har haft problemer med at holde varmen i bygningen, uanset vind og temperatur, pegede i retning af, at varmepumpens varmekurve var stillet for højt.

Varmekurven blev ved besøget sænket med, hvad der svarer til 5°C lavere fremløbstemperatur. Varmekurven i en varmepumpe fastlægges, hvor høj fremløbstemperaturen fra varmepumpen skal være som funktion af udelufttemperaturen. Et eksempel på varmekurvens betydning for varmepumpens effektivitet er vist i figur 4.1.

3.1.3 Observeret effekt af tiltag

I figur 3.2 er COP afbildet som funktion af udetemperaturen i en 'før' og en 'efter' kurve. Som målingerne viser, har optimeringen medført en ca. 7 % bedre COP, hvilket på årsbasis vil give en besparelse på ca. 1000 kr./år.



Figur 3.2 COP'en er blevet forbedret.

Efter en driftsperiode på tre måneder med de nye indstillinger på varmepumpe og varmeanlæg beskriver husejeren, at komforten opleves uændret og tilfredsstillende som før tiltagene.

3.2 Case ID434

3.2.1 Stamdata

Huset er fra december 2007 med et samlet boligareal på 170 m² i et plan.

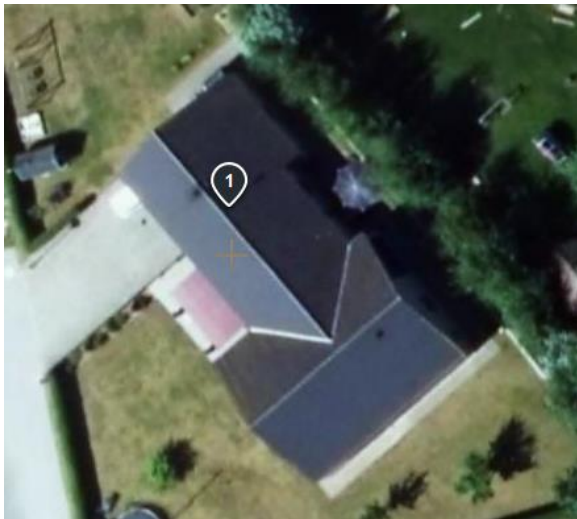
Hele huset opvarmes med vandbåren gulvvarme med central gulvvarmestyring og rumfølere i hvert enkelt rum.

Der er ingen former for supplerende varme, og huset oplyses at være isoleret under middel, husets alder taget i betragtning. Desuden har der været problemer med utætheder ved vinduer.

Varmepumpen er en Luft/Vand varmpumpe fra Vølund, type F2040 med en nominel ydelse på 12 kW kombineret med et indemodul type VVM320.

Der bor fire personer i huset, to voksne og to børn.

Huset har tidligere været opvarmet med olie, og der er oplyst et årligt forbrug på ca. 2.000 liter.



Figur 3.3: Billeder fra huset i case ID434.

3.2.2 Observationer og tiltag

Varmepumpens samlede varmeproduktion siden idriftsættelse er målt til 23.031kWh. I samme periode har varmpumpen haft et elforbrug på 8.608kWh. Dette giver en målt virkningsgrad på 2,7, hvilket skønnes at være for lavt i forhold til husets stand og brugsmønster. I øvrigt stemmer varmepumpens varmeproduktion fint med det tidligere olieforbrug.

Beboerne ønsker ikke en højere temperatur end 19°C nogen steder i huset, og alle rumtermostater er indstillet herefter. Alligevel fortæller beboerne, at de ofte har haft en alt for høj rumtemperatur, også på dage hvor det ikke kan tilskrives solindfald.

VVS installatøren havde stillet varmekurven svarende til en fremløbstemperatur på 48°C ved en udetemperatur på 0°C. Dette blev vurderet alt for højt. Varmekurven blev ved besøget derfor sænket markant i forhold til den oprindelige indstilling, svarende til en fremløbstemperatur på 34°C ved en udetemperatur på 0°C.

Virkningsgraden forventes forbedret betydeligt, da fremløbstemperaturen har en stor indflydelse på denne. (læs mere om denne problemstilling i afsnit 4.1).

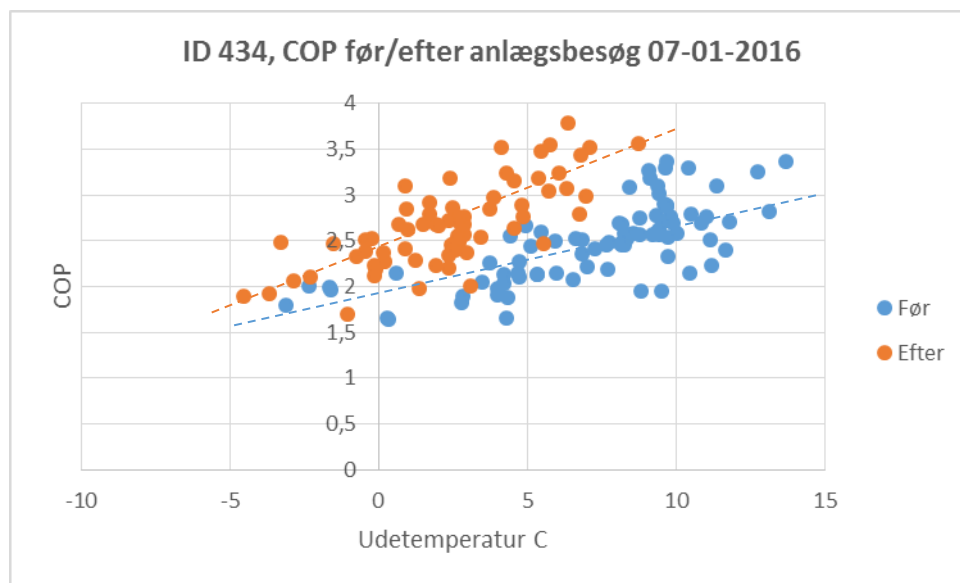
Anlægget er lavet med brugsvandscirkulation uden nogen former for styring. I forhold til husets størrelse og indretning vurderes det, at brugsvandscirkulation ikke er nødvendig, og cirkulationspumpen blev derfor slukket. (læs mere om denne problemstilling i afsnit 4.2).

Det blev desuden konstateret, at isoleringen af rørene til varmepumpens udedel var mangelfuld. Materialevalget til isolering af rørene uden for klimaskærmen er især problematisk (se forklaring i afsnit 4.6), ligesom isoleringstykkelsen er mangelfuld. Dette er til dels konstateret ved termografering af rørene.

3.2.3 Observeret effekt af tiltag

To dage efter gennemgangen af varmepumpeinstallationen tog husejeren kontakt, da rumtemperaturen i enkelte rum var kommet under de ønskede 19°C. Varmekurven blev derfor hævet svarende til en 2 K højere fremløbstemperatur.

I figur 3.4 er COP afbildet som funktion af udetemperaturen i en 'før' og en 'efter' kurve. Målingerne viser, at optimeringen har medført en 8 % bedre COP, hvilket på årsbasis vil give en besparelse på knap 1.000 kr.



Figur 3.4 COP'en er tydeligt blevet forbedret.

Efter en driftsperiode på tre måneder med de nye indstillinger på varmepumpe og varmeanlæg beskriver husejeren, at de har fået en forøget komfort. De meget store oversving på rumtemperaturen, som man ofte havde selv på dage uden solindfald, opleves nu kun meget sjældent.

3.3 Case ID459

3.3.1 Stamdata

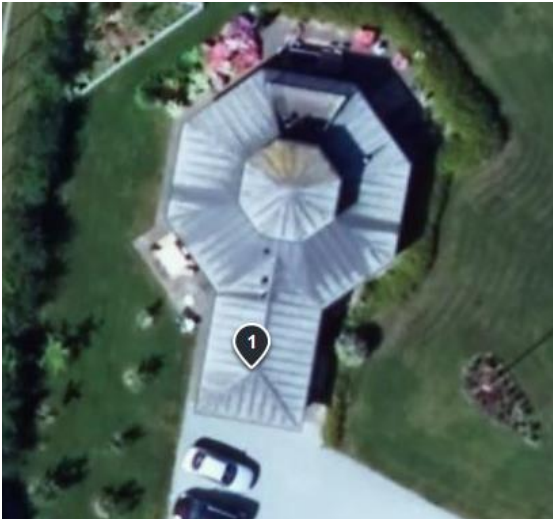
Huset er fra december 2004 med et samlet boligareal på 160 m² i et plan.

Hele huset opvarmes med vandbåren gulvvarme med central gulvvarmestyring og rumfølere i hvert enkelt rum.

Varmepumpen er en Luft/Vand varmepumpe fra Vølund, type F2040 med en nominel ydelse på 12 kW kombineret med et indemodul type VVM320.

Der bor 2 voksne i huset.

Huset har tidligere været opvarmet med olie, og der er oplyst et årligt forbrug på 2200-2300 liter.



Figur 3.5 Billeder fra huset i case ID459.

3.3.2 Observationer og tiltag

Det oplyste tidligere olieforbrug stemmer fint overens med en målt varmeproduktion på varmepumpen på 21.037 kWh siden installationen i efteråret 2014. I samme periode har varmepumpen haft et elforbrug på 8.204 kWh. Dette giver en målt virkningsgrad på 2,6, hvilket skønnes at være for lavt i forhold til husets stand og brugsmønster.

Huset er bygget med store glaspartier og ligger placeret meget højt i landskabet. Det skønnes at være meget vindpåvirket, hvilket beboerne bekræfter.

Under besøget oplyser husejeren, at der har været problemer med at holde komforttemperatur i et stort køkken/alrum, hvor der på dage med sol bliver meget varmt og ved kulde og blæst meget koldt. Husejeren beretter, at man i længere kolde og blæsende perioder nogle gange har hævet varmekurven for så at sænke den igen, når det blev mildere.

I forbindelse med installationen af varmepumpen har man ikke fjernet gulvvarmeshunten. Dette kan være meget u hensigtsmæssigt, da fremløbsventilen på shunten reducerer flowet fra varmepumpen. Dette resulterer i, at shunten blander det varme fremløb fra varmepumpen med koldt returvand fra gulvvarmens returfordelerrør. For at sikre så stort flow som muligt gennem fremløbsventilen blev termostaten fjernet under besøget. (se også afsnit 4.4).

For at sikre et minimumsflow gennem varmepumpen er der monteret en bypass-ventil mellem frem og retur fra varmepumpen. Husets ejer havde selv konstateret, at hvis han lukkede bypass-ventilen, fik han bedre varme i huset. Dette indikerer dels problematikken med blandeshunten, men også at indstillingen af bypass-ventilen ikke er korrekt. Bypass-ventilen blev indstillet under besøget.

Ved hjælp af termografering blev det under besøget konstateret, at indreguleringen af gulvvarmefordelerrøret ikke er optimal, hvilket kan ses ved, at returtemperaturerne på gulvvarmekredsene er forskellige. Dette kan have stor betydning for den nødvendige fremløbstemperatur og dermed varmepumpens virkningsgrad. (læs mere om dette i afsnit 4.3).

Ovenstående problemstillinger, der alle er relateret til flowet af centralvarmevand i varme anlægget, er forsøgt optimeret under besøget. Det er af afgørende betydning, at flowet er korrekt og stort, hvis huset skal kunne opvarmes med så lav en fremløbstemperatur som muligt.

Det blev desuden konstateret, at isoleringen af rørene til varmepumpens udedel var mangelfuld. Materialevalget til isolering af rørene uden for klimaskærmen er især problematisk, ligesom isoleringstykkelsen er mangelfuld. Dette er til dels konstateret ved termografering af rørene. (læs mere om dette i afsnit 4.6).

Der er ikke sikret afløb for varmepumpens afrymningsvand (se fig. 3.5 og 4.7). Dette vil ikke umiddelbart påvirke varmepumpens drift, men det er u hensigtsmæssigt, da der i store dele af året vil ligge is rundt om varmepumpen. Ved lange kuldeperioder kan isen blokere for varmepumpens afløb, hvorved det risikeres, at varmepumpens afrymningsfunktion påvirkes. (læs mere om dette i afsnit 4.7)

3.3.3 Observeret effekt af tiltag

Der blev ved gennemgang af varmepumpeinstallationen ikke foretaget nogen ændringer i selve varmepumpens indstillinger.

Inden besøget havde man på blæsende og kolde dage problemer med at holde varmen i et stort køkken/alrum. De udførte tiltag har medført en højere fremløbstemperatur til gulvvarmen, samt et større flow af centralvarmevand, uden at hæve varmepumpens varmekurve.

Efter en driftsperiode på tre måneder med de nye indstillinger på varme anlægget beskriver husejeren, at de altid har god varme i stuen, uanset vind og udetemperatur. Denne komfortforbedring har ikke medført en forringet COP, fordi flowet blev hævet i stedet for at hæve varmekurven, som man typisk ellers ville have gjort.

3.4 Observationer fra besøg på de øvrige anlæg

Under besøgene på de øvrige varmepumpeanlæg, som ikke er beskrevet gennem selvstændige cases, blev der gjort en række interessante observationer, som her beskrives kort.

Fokus ligger på fejl og problemer, men det skal retfærdigvis siges, at næsten alle varmepumpeejere var meget tilfredse med at have fået udskiftet oliefyret med en varmepumpe, og at flere af anlæggene var meget velfungerende. Mange af anlæggene havde dog fejl eller problemer, både små og store, der kunne have været undgået med ekstra omhu og måske beskedne ekstra omkostninger.

Et anlæg blev afleveret uden indregulering af gulvkredsene, hvilket medførte problemer med opvarmning af et par kælderrum. Det var et anlæg med en V/V-varmepumpe kombineret med solvarme. En pumpe i solvarmekredsen blev installeret forkert. Styringen fungerede ikke ordentligt, så anlægget kunne ikke levere solvarme om efteråret, selvom solen havde skinnet kraftigt i perioder. En ventil svigtede efter kort tid, så brinen løb af. Ifølge ejeren havde installatøren virket meget uerfaren, og nu er firmaet lukket.

I et anlæg med en L/V-varmepumpe kombineret med solvarme var der selv om sommeren, hvor familien var i sommerhus, et døgnforbrug på 1,8 kWh el. På besøgstidspunktet, et par år efter installationen, var det endnu ikke lykkedes at finde årsagen. Dette spild anslås at medføre en forringelse i SPF med op mod 0,1.

I et andet anlæg med en V/V-varmepumpe også kombineret med solvarme var der lagt en jordslange på 400 m i kun ét løb. I forhold til varmebehovet skulle der have været noget mere jordslange, og den burde have været fordelt på mindst to kredse for at reducere tryktabet og dermed energiforbruget i brinepumpen. Anlægget var slet ikke trimmet, og der sad et tykt lag rim på nogle rør.

Et grelt eksempel var et tungt hus fra 2010 af mursten og beton med gulvvarme overalt. Der blev fra starten installeret jordvarme. Anlæggets SPF lå nede på lidt over 2, men burde have ligget i den helt høje ende, måske 3,5 eller højere. Anode-staven var ikke fjernet fra den varmtvandsbeholder, som bruges som buffertank. Det afstedkom aflejring af magnesium i veksler og ventiler til skade for optimal drift og virkningsgrad. Blandt andet lukkede en ventil ikke helt, hvilket medførte, at varmepumpen kørte i et højt temperaturleje alt for tit og alt for længe. Derudover kørte cirkulationspumpen alt for langsomt – hvilket gjorde, at varmekurven stod alt for højt.

Der var ikke påfyldt blødt vand. Isoleringen af brinerørene var dårligt udført, og der lå en pøl af kondensvand på gulvet. Der var for lavt tryk i centralvarmekredsen. Buffertanken havde to studse og ikke fire, som havde været mere optimalt (se afsnit 4.5).

I et hus med et L/V-anlæg kæmpede man med store temperatursvingninger. Huset lå frit eksponeret for sol og vind meget tæt på havet, og det gav nogle udfordringer, som installatøren ikke havde kunnet løse. Fabrikanten pegede på, at en større buffertank kunne være hensigtsmæssig, men det ville næppe løse problemet helt.

En ejer af en L/V-varmepumpe var ikke tilfreds med anlægget, især med installatørens arbejde. Der var koblet kobberrør og galvaniserede rør sammen et sted, så der opstod galvanisk tæring. Til at begynde med kørte legionella-funktionen hele tiden, fordi elektrikereren havde vendt et relæ forkert ('normally open'/'normally closed'). Selvom der var købt fuld service af installationen, viste det sig, at der ikke var rensede filtre og luftet ud i kredsen. Fabrikanten stod også for skud, idet han ikke ville anerkende, at der var cirkulation af varme ud til varmepumpen, selvom pumpen stod stille. En installatør monterede en kontraventil, og så forsvandt problemet. SPF'en var dog aldrig kommet helt op på det forventede.

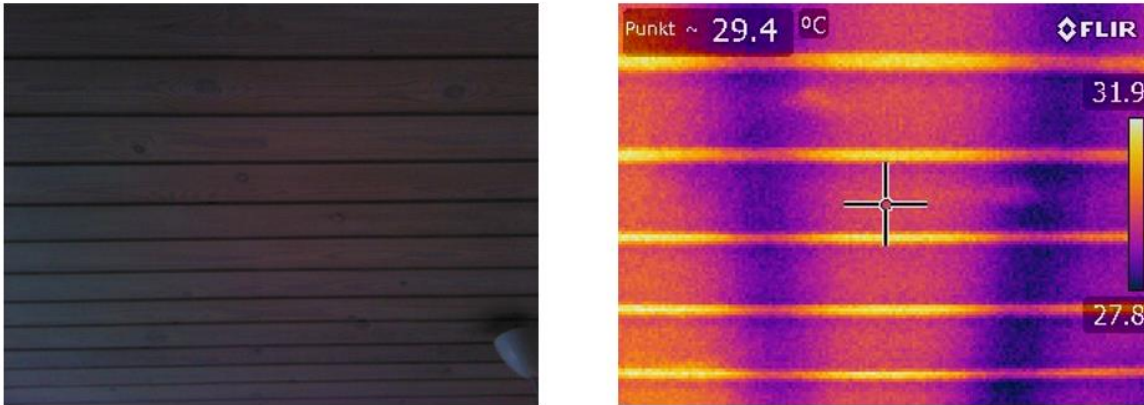
I et V/V-varmepumpeanlæg var fremløbstemperaturen ret høj. Den lå mellem 50 og 55°C, men burde have ligget op mod 10 K lavere. Varmekurven stod ikke optimalt. Trykket i varmekredsen var alt for lavt. Nogle af radiatorerne havde tynde rør og fjernvarmestater. Et filter i varmekredsen havde ikke været rensede meget længe. ΔT i brinekredsen var alt for høj (8 K), hvilket tyder på et for lavt flow. Væskebeholderen i brinekredsen sad for lavt.

Et L/V-varmepumpeanlæg, som umiddelbart så ud til at være installeret korrekt, havde en meget dårlig virkningsgrad (SPF). Varmepumpens indstillinger så umiddelbart fornuftige ud, og varmeanlægget i huset var velproportioneret i forhold til drift af varmepumpe. Varmepumpen var placeret ca. otte meter fra huset, og rørene for frem og retur var ført i jorden mellem varmepumpe og indemodul. Ved nærmere undersøgelse viste det sig, at rørene i jorden (Alupex) var isoleret med almindelige rørskåle i skumplast (se fig. 3.6), hvilket er et fuldstændig uegnet materiale til isolering af rør i jord. Disse rørskåle vil efter kort tid i jorden miste deres isoleringsevne, da de suger fugt, og over tid vil materialet nærmest formolde. Ved at sammenligne varmepumpens effekt, aflæst i varmepumpens styring, med effekten aflæst på varmemåleren monteret ved indemodulet, kunne det konstateres, at der forsvinder 1-2 kW afhængigt af fremløbstemperaturen. Anslået er det 20-25% af den producerede varme, som forsvinder i jorden.



Figur 3.6 Luft/Vand-varmepumpeanlæg. Der er anvendt ubrugeligt isoleringsmateriale.

En L/V-varmepumpe havde en meget lav virkningsgrad, forårsaget af høj fremløbstemperatur. Denne blev forsøgt sænket, men selv på knap så kolde dage følte husejeren det ukomfortabelt, hvis ikke fremløbstemperaturen var meget høj. Huset er bygget i 1965 med strålevarmepaneler i loftet, se figur 3.7. Strålevarme kræver ofte en relativt høj fremløbstemperatur for at opnå varmestråling og er ikke særligt velegnet til brug sammen med varmepumpe.



Figur 3.7 Strålevarmepaneller i loftet. Ikke velegnet til brug sammen med et varmepumpeanlæg

Til slut skal omtales et eksemplarisk jordvarmepumpeanlæg, der vurderet af flere parter, herunder fabrikanten selv, var installeret og fungerede perfekt, hvilket også kan ses på målingerne af SPF'en i SDVP. Anlægget er meget veldimensioneret og forsyner et ældre hus fra 1924 kun med radiatorer. Radiatorerne er udskiftet til de mest moderne og har elektronisk styring. Der var ingen anmærkninger til installationen eller styringen. Ejeren er teknisk kyndig og har sat sig meget godt ind i systemet og trimmer det dagligt. Men selv uden denne daglige overvågning og trimning ville det være særdeles velfungerende alene i kraft af høj kvalitet i installation, komponentvalg og husets energirenovering – et resultat en omhyggelig installatør også kunne være nået til ved at undgå de ovenfor beskrevne fejl. Yderligere energirenovering i dette hus er mulig, f.eks. omlægning til gulvvarme og forbedret indvendig isolering, men omkostningerne vil ikke modsvares af en tilsvarende besparelse i elforbrug og forbedret SPF, som allerede nu ligger så højt som ca. 3,5.

4 Erfaringer fra installationer – almindelige fejl

I det følgende gennemgås nogle hyppigt forekommende fejl, der kan trække betydeligt ned i en varmepumpes effektivitet, og der gives anvisninger på løsninger.

4.1 Indregulering af varmekurve

Det er af afgørende betydning for varmepumpens driftsøkonomi, at indstillingen af varmepumpens varmekurve og dermed fremløbstemperatur er optimal – se figur 4.1.

Den optimale varmekurve vil normalt altid være den lavest mulige i forhold til den enkelte installation og komfortkravene i huset. For at kunne opnå den optimale varmekurve er det af afgørende betydning, at varmeanlægget, radiatorer, gulvvarme mm. er indreguleret korrekt.

En problemstilling, som ofte ses i ældre varmeanlæg, er, at man har meget lidt kontrol over flowet af centralvarmevand i den enkelte varmeafgiver, radiator eller gulvvarme.

Generelt er et stort flow hensigtsmæssigt, da det giver en mindre temperaturforskel mellem ind- og udløb og dermed en mere ensartet varm varmeafgiver (hele radiatoren bliver varm). Herved kan fremløbstemperaturen sænkes. Det er således vigtigt også at være opmærksom på indstillingen af cirkulationspumpen i centralvarmesystemet.

Hvis flowet er alt for stort i en enkelt radiator eller gulvvarmekreds, kan det betyde, at andre kredse får for lidt vand. En simpel metode til at vurdere flowet i en varmeafgiver er at måle temperaturen på returen fra varmeafgiveren. Er temperaturen markant højere end på andre tilsvarende varmeafgivere, er flowet for stort, og er temperaturen tilsvarende for lav, er flowet for lavt.

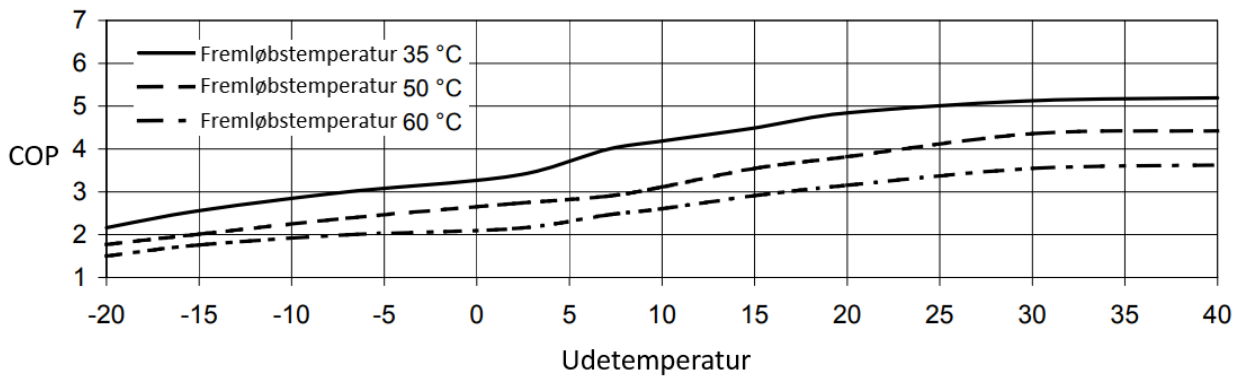
En praktisk metode til indregulering af varmepumpens varmekurve er at stille denne lidt lavere, end hvad man forventer er nok, således at der ikke helt kan opnås den ønskede komforttemperatur. Samtidig åbnes alle radiatorventiler helt i de rum, hvor der ønskes varme og den højeste komforttemperatur. Derefter hæves varmekurven igen gradvist, indtil der er opnået den ønskede komforttemperatur i alle rum.

Hvis et enkelt rum kræver en særligt høj fremløbstemperatur for at kunne opnå den ønskede komforttemperatur, bør man undersøge flow og evt. størrelse på varmeafgiver, inden varmekurven hæves. Et klassisk eksempel på fejl, som kan føre til, at man hæver varmekurven u hensigtsmæssigt, er en radiatorventil, som hænger efter sommerperioden. Denne vil begrænse flowet i radiatoren med deraf følgende behov for højere fremløbstemperatur.

Man kan med fordel ”tænke” samspillet mellem indstilling af varmekurve og radiatorventil som samspillet mellem bremse og speeder i en bil. Bremsen svarer til radiatorventilen, som ”bremser” vandets flow i radiatoren, og tryk på speederen svarer til at hæve varmepumpens varmekurve. Hvis bilen kører for langsomt, trykker man mere på speederen, men ikke uden først at have sluppet bremsen helt. På samme vis bør varmekurven ikke hæves, før ”bremsen” er sluppet helt – altså at radiatorventilen er åbnet så meget som muligt.

Som gennemgangen af installationerne i projektet viser, er det ikke ualmindeligt at kunne opnå en 5-10 K lavere fremløbstemperatur ved simpel indregulering af cirkulationspumpe, varmeafgiver og varmepumpe.

Ved at sænke fremløbstemperaturen 5 K vil man typisk reducere varmepumpens energiforbrug med 10-12%. For et hus med et gennemsnitligt årligt varmebehov på 18.100 kWh og en varmepumpe med en årlig SPF på 3 vil en reduktion af varmepumpens energiforbrug på 10% give en anslået årlig besparelse på omkring 1000 kr.



Figur 4.1 COP falder med stigende fremløbstemperatur. (Kilde: Best Green A/S)

4.2 Brugsvandscirkulation

Brugsvandscirkulation giver ofte store varmetab fra rørene, hvori det varme vand cirkuleres, og dertil kommer elforbruget til cirkulationspumpen. Da varmt vand er relativt ”dyrt” at lave med en varmepumpe på grund af den høje temperatur og deraf følgende lave COP, skal brugsvandscirkulation undgås, hvis det er muligt, under hensyntagen til komforten.

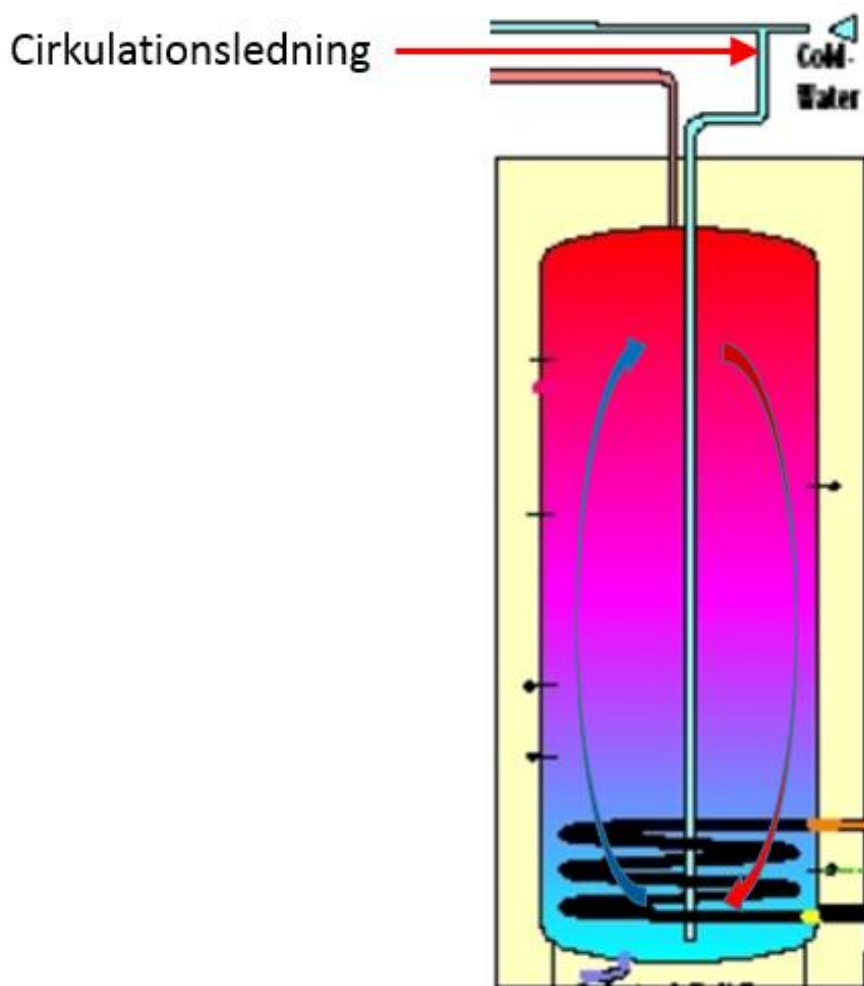
I private boliger er brugsvandscirkulation almindeligvis ikke nødvendigt, da afstanden fra varmtvandsbeholder til tappested er relativ kort.

Brugsvandscirkulation ses ofte i nyere boliger, men i disse er det varme vand typisk fremført i rør med relativ lille lysning med deraf følgende højere strømningshastighed, hvilket reducerer behovet for brugsvandscirkulation.

Nogle typer af varmtvandsbeholdere til varmepumper er konstrueret på en måde, så det indstrømmende kolde vand ikke opblandes u hensigtsmæssigt med det varme vand i toppen. Der er således en meget fin lagdeling i beholderen. Varmveksleren er i disse beholdere placeret nederst, således at når varmepumpen varmer på det varme brugsvand, starter opvarmningsforløbet med en relativt lav temperatur og dermed bedre COP. Efterhånden som temperaturen i bunden af beholderen stiger, falder varmepumpens virkningsgrad, men det samlede opvarmningsforløb får en bedre COP ved lagdelingen i beholderen.

Denne lagdeling ødelægges, hvis der laves brugsvandscirkulation, og cirkulationen laves via beholderens koldt vandstilslutning – se figur 4.2 Da mange beholdere ikke har separat tilslutningsstuds til brugsvandscirkulation, ses denne problematik ofte.

Endnu værre går det, hvis den ønskede temperatur på det varme vand er indstillet højere, end hvad varmepumpen kan levere. Nogle varmepumpestyringer er lavet således, at hvis den ønskede brugsvandstemperatur ikke er opnået, når varmepumpen når sin maksimale fremløbstemperatur, så stoppes kompressoren for at undgå højtryksfejl på tryksiden af kompressoren. Det sidste stykke op til sætpunktet for varmt vandtemperaturen opvarmes så med varmepumpens indbyggede el-patron. Hvis lagdelingen i beholderen i denne situation er ødelagt af brugsvandscirkulation, og temperaturen i bunden af beholderen er højere end den temperatur, der kan opnås med opvarmning fra kompressoren, kan man risikere, at stort set al opvarmning til varmt vand inkl. cirkulationstab vil blive dækket af ren el-patron drift (COP = 1).



Figur 4.2 Varmtvandsbeholder med opblanding (Kilde: Best Green A/S).

4.3 Indregulering af varmeanlæg

For at opnå de optimale driftsforhold for varmepumpen er det af afgørende betydning, at varmeanlægget er indreguleret og i balance. Centralvarmevandet, som cirkuleres i varmeanlægget, løber igennem der, hvor det er lettest, og er anlægget ikke ordentligt i balance, vil flowet i nogle varmeafgivere være for stort med den umiddelbare konsekvens, at flowet kan blive for lille i andre varmeafgivere. For at kompensere for det manglede flow er man nødt til at hæve fremløbstemperaturen med deraf følgende ringere COP.

Et generelt opmærksomhedspunkt i forhold til indregulering af varmeanlæg er cirkulationspumpen(r). Moderne selvregulerende cirkulationspumper har et meget lille energiforbrug, og en af metoderne til at sænke energiforbruget er netop, at pumpen selv regulerer og således sænker pumpetrykket, når pumpens styring finder det muligt.

Når der installeres en varmepumpe, vil man af hensyn til varmepumpens virkningsgrad gerne sænke fremløbstemperaturen så meget som muligt. Dette opnås til dels ved at øge flowet i varmeanlægget, således at forskellen mellem fremløbs- og returtemperatur mindskes.

Det er derfor ikke hensigtsmæssigt, hvis cirkulationspumpen automatisk sænker trykket, og pumpernes AUTO indstilling vil typisk give et for lavt flow. Varmepumpen kører bedst med stort flow, men en ulempe ved stort flow kan være støj fra radiatorventiler.

På ældre varmeanlæg kan det være svært at opnå eller konstatere, om balancen og fordelingen af vand er god, men et simpelt og pålideligt tegn på, at der er en fornuftig balance, er ved at kigge på indstillingen af radiatorernes termostatventiler. Hvis disse er indstillet forholdsvis ens i rum, hvor der ønskes samme rumtemperatur, er der sandsynligvis en god balance i anlægget. En radiatorventil, der er indstillet meget højt, kan også indikere, at radiatoren er for lille.

I gulvvarmesystemer er det vigtigt, at alle gulvvarmekredse er indreguleret korrekt. Man kan indimellem opleve, at dette ikke er tilfældet. Hvis bygningen tidligere har været opvarmet med kedel, kan der have været kompenseret for den dårlige balance ved at indstille gulvvarmens blandeshunt til en højere temperatur, hvorved der ikke nødvendigvis har været oplevet nogen dårligere komfort ved den manglende indregulering. Denne, for funktionen, højere fremløbstemperatur er problematisk for varmepumpen i forhold til at opnå den bedst mulige virkningsgrad.

Almindeligvis er gulvvarmesystemer indreguleret efter fabrikantens anvisninger. Disse beregninger er typisk udført ud fra nogle forudsætninger om gulvtype, rummets varmetab pr. m² og den ønskede rumtemperatur. Hvis enkelte rum senere viser sig at have langt større varmetab end forventet, måske på grund af vindpåvirkning og store glasarealer i facaden, er denne indregulering ikke altid hensigtsmæssig.

Nogle gulvvarmeleverandører tilbyder gulvvarmesystemer, som ikke skal indreguleres. Ved at åbne og lukke telestaterne i et beregnet pulserende mønster, kan gulvvarmestyringen kompensere for den manglende indregulering af korte og lange gulvvarmeslanger. Denne form for regulering er ikke særlig hensigtsmæssig til brug sammen med en varmepumpe, dels fordi flowet vil svinge meget op og ned, og dels fordi denne form for regulering kræver en vis overtemperatur på centralvarmevandet for at fungere.

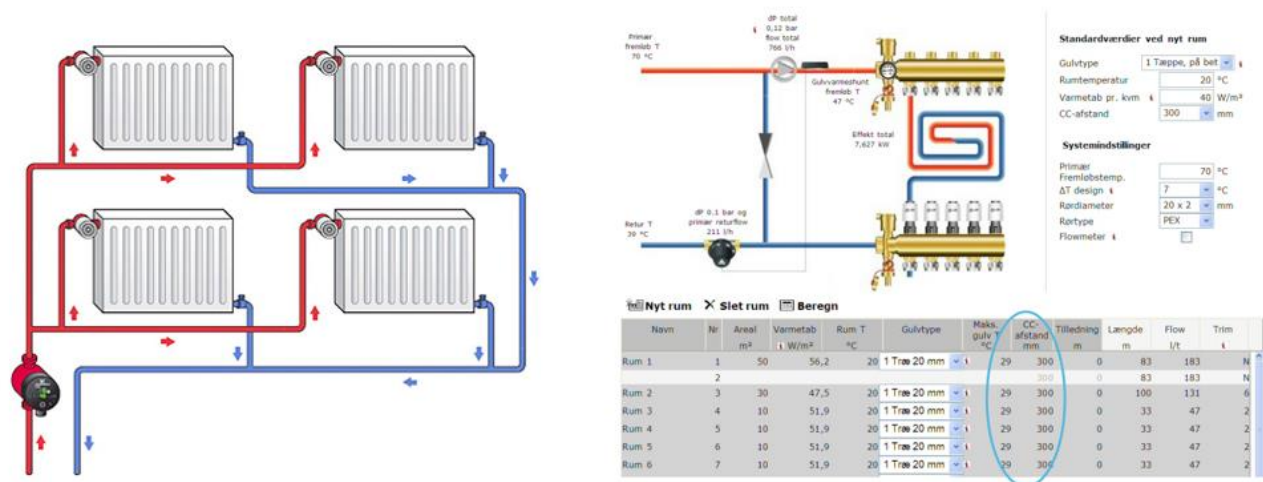
En metode til umiddelbart at konstatere en dårlig fordeling af flow i gulvvarmekredse er at sammenligne returtemperaturen på de gulvvarmekredse, som har været åbne i en periode. Hvis en gulvvarmekreds har markant lavere returtemperatur end andre åbne kredse, er flowet for lille.

En håndklædetørrer er en varmeafgiver, som ofte kan ødelægge balancen i et varmeanlæg. Håndklædetørreren er typisk opbygget af et antal parallelle rør med forholdsvis stor diameter. Tryktabet i håndklædetørreren er således minimalt sammenlignet med en radiator eller gulvvarmekreds.

Når der installeres en varmepumpe, hvor fremløbstemperaturen er udetemperaturkompenseret, vil håndklædetørreren ikke blive så varm, som da man havde en kedel. Den naturlige reaktion på dette er, at håndklædetørrerens reguleringsventil lukkes helt op. Hvis der ikke er monteret en returventil på håndklædetørreren, eller hvis denne ikke er indreguleret, kan man risikere, at en stor del af flowet i varmeanlægget løber igennem håndklædetørreren, hvilket resulterer i et manglende flow til resten af varmeanlægget.

Hvis man ikke er opmærksom på denne problematik, vil man kompensere for det manglende flow i varmeanlægget med en højere fremløbstemperatur og en deraf følgende lavere COP.

Figur 4.3 viser et eksempel på et beregningsværktøj til brug ved indregulering af varmeanlæg.



Figur 4.3 Beregningsværktøj til brug ved indregulering af varmeanlæg. (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

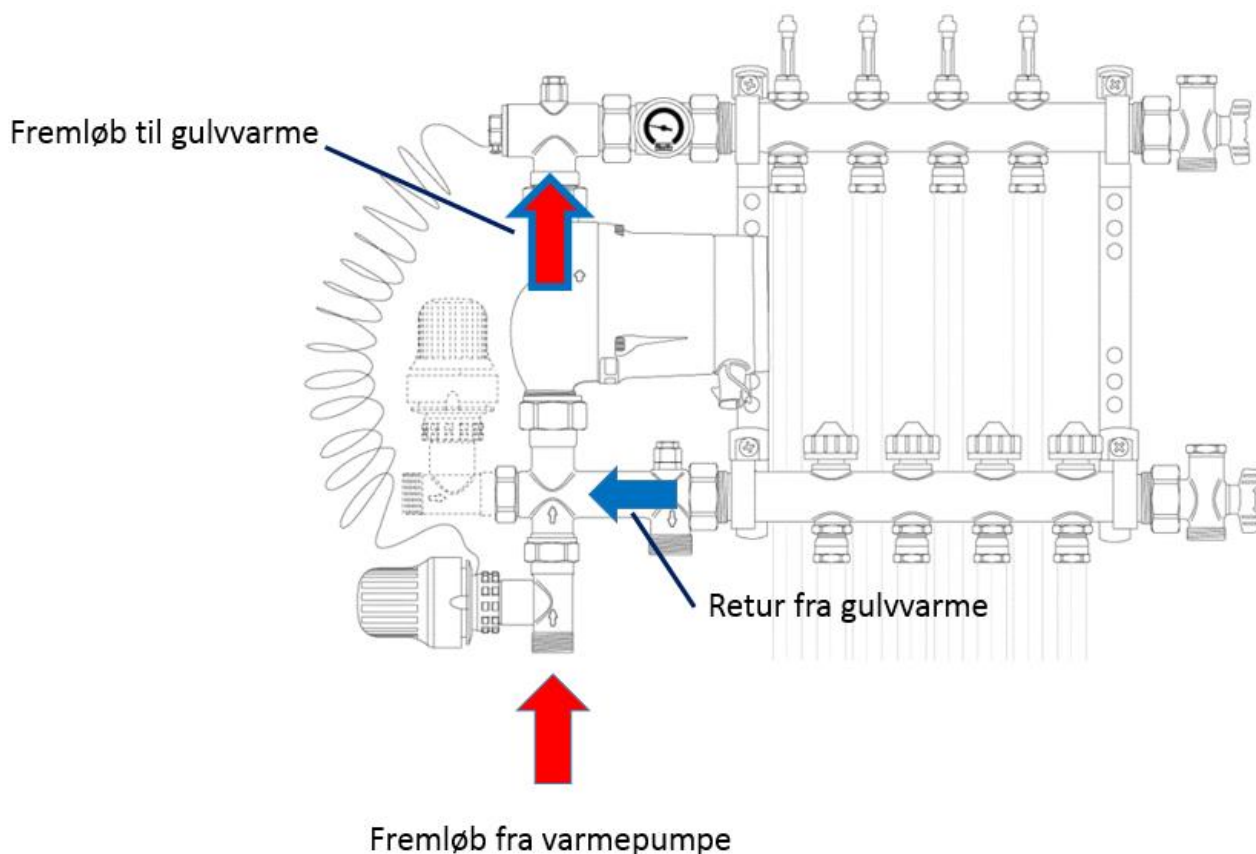
4.4 Gulvvarmeshunt

Gulvvarmeshuntens primære opgave er at reducere temperaturen på fremløbet ved at blande vandet fra en kedel med koldere vand fra varmeafgiversystemet, da man ikke ønsker den høje fremløbstemperatur fra kedelanlægget direkte ud i gulvene. Shunten virker ved, at en pumpe cirkulerer vandet i gulvvarmekredsene, samtidig med at en termostatventil lukker varmt fremløb ind i kredsen, i forhold til den på termostaten indstillede temperatur. Pumpen suger således en blanding af varmt fremløb fra kedlen og koldt returvand fra gulvvarmen. En tegning af en gulvvarmeshunt er vist i figur 4.4.

I huse med 100% gulvvarme bliver gulvvarmeshunten overflødig, når der installeres en varmepumpe, idet varmepumpens varmekurve indstilles til den ønskede (lave) fremløbstemperatur. I disse huse bør shunten derfor fjernes. Opblanding i shunten kan aldrig forhindres helt, hvis shunten ikke fjernes. Uanset indstilling af termostaten vil shuntpumpen have lettere ved at suge det kolde returvand end det varme fremløb igennem termostatventilen, hvorved der vil være et temperaturfald hen over shunten. Det er ikke ualmindeligt med et temperaturfald på 5-10 K over shunten. Konsekvensen af dette er, at varmepumpen skal køre med en højere fremløbstemperatur og dermed ringere COP.

Hvis shunten ikke fjernes, kan ulemperne delvist modvirkes ved at fjerne termostatelementet fra fremløbsventilen, således at den åbner så meget som muligt. Det er desuden vigtigt, at pumpetrykket på primærpumpen er højt i forhold til trykket på shuntpumpen, således at denne suger så lidt som muligt af det kolde returvand fra gulvvarmekredsene.

I huse med både gulvvarme og radiatorer vil det være en vurderingssag, om blandeshunten er nødvendig. Typisk vil der i nyere huse med gulvvarme i stueetagen og radiatorer på 1. sal ikke være behov for shunten, hvis radiatorerne er dimensioneret til lav fremløbstemperatur.



Figur 4.4 Gulvvarmeshunt. (Kilde: Roth håndbogen)

4.5 Bufferbeholder

Mange varmepumper kan med fordel kombineres med en bufferbeholder.

Bufferbeholderen kan monteres parallelt med varmepumpen eller som en seriebuffer i varmepumpens retur. Som seriebuffer fungerer beholderen udelukkende som en volumenforøger, der sikrer varmepumpen fornuftige driftsperioder. Hvilket betyder færre start/stop. Start og stop som slider på varmepumpen og reducerer effektiviteten af varmepumpen på grund af kapacitetstab.

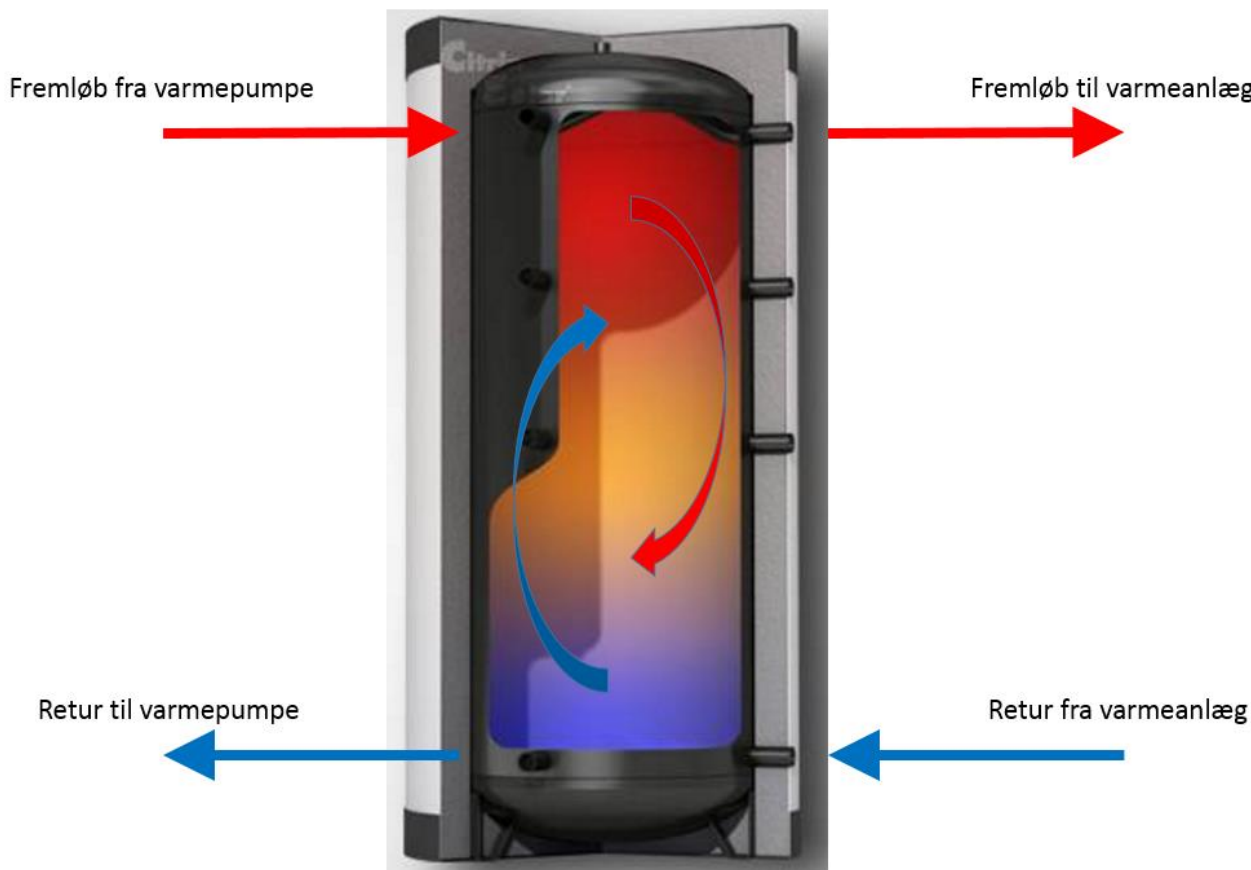
Den parallelle buffer, se figur 4.5, afkobler flowet i varmepumpen fra flowet i centralvarmeanlægget, og den kan således være af afgørende betydning for varmepumpens drift i forbindelse med varmeanlæg, hvor flowet er problematisk i forhold til varmepumpens drift.

Især i forbindelse med on/off luft/vand varmepumper kan bufferbeholderen være med til minimere den umiddelbare problematik, der kan ligge i, at varmepumpens varmeeffekt stiger med udetemperaturen, når husets varmebehov samtidig falder. Bufferbeholderen bevirker, at varmepumpen starter og stopper færre gange, hvilket giver en bedre COP og mindre slitage på varmepumpen. En bufferbeholder kan desuden være af afgørende betydning for Luft/Vand varmepumpens afrimningsfunktion, da den lagrede varme sikrer en hurtigere afrimning.

Ud over den problematik, der kan ligge i det øgede pladsbehov til en bufferbeholder, kan der for nye huse, hvor der skal laves energirammeberegning, også ligge en problematik i den ekstra cirkulationspumpe, som skal anvendes ved parallelbufferen plus den del af varmetabet fra bufferbeholderen, som evt. ikke kan nyttiggøres.

Når der laves buffer, er det vigtigt at være opmærksom på rørdimension og bufferens fysiske udformning.

I relativt små bufferbeholdere, hvor den fysiske afstand mellem top og bund er lille, vil der alt andet lige ske en større opblanding af koldt returvand i det varme fremløb – se figur 4.5. Denne u hensigtsmæssige opblanding forværres, jo højere hastigheden er på det indstrømmende vand. Det er ikke ualmindeligt med et temperaturfald på 5-10 K fra varmepumpens fremløb til udløb af bufferbeholder. Mange bufferbeholdere har af samme grund forholdsvis store tilslutningsstuds, og det kan derfor være gunstigt at anvende store rørdimensioner frem til bufferen for at reducere vandets hastighed og dermed opblandingen i beholderen.



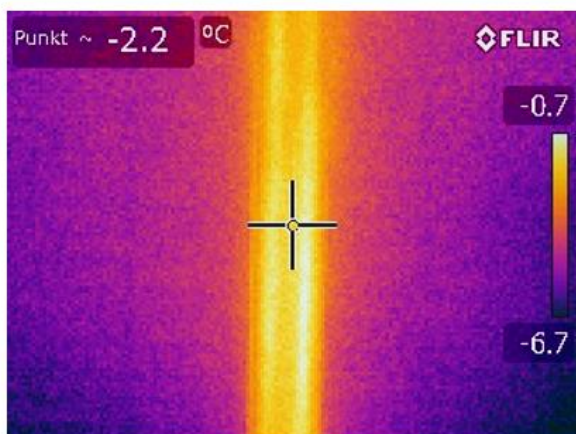
Figur 4.5 Bufferbeholder. [Pilene er tegnet oven på en beholdertegning udført af Citrinsolar]

4.6 Isolering af rør

Det er på flere Luft/Vand varmepumper ved termografering konstateret, at isoleringen af rørene fra varmepumpen og ind til indemodulet har været mangelfuld, - se figur 4.6. Især hvis afstanden er stor, kan dette forårsage et u hensigtsmæssigt stort varmetab. På enkelte installationer vurderes det, at varmetabet fra varmepumpen og ind er så stort, at det påvirker både energiforbruget og varmepumpens COP markant.

Isoleringen bør selvfølgelig udføres forskriftsmæssigt og i materialer, som er velegnet til brug uden for klimaskærmen. Almindeligt anvendte rørskåle til isolering er aldeles uegnede til brug udendørs, da de dels kan suge fugt og dels nærmest "forvitre" over tid.

Føres rørene under terræn, skal der også vælges materialer, som er velegnet til dette.



Figur 4.6 Eksempel på mangelfuld isolering af rør fra varmepumpen og ind til indemodulet. Øverst med dårlig isolering og nederst med korrekt udført isolering.

4.7 Placering af Luft/Vand varmepumpe

Når Luft/Vand varmepumpen placeres udendørs, er det vigtigt, at dette gøres under hensyntagen til gældende støjkraV. Støjniveaueu fra de fleste varmepumper er meget lavt, men typisk kræver de alligevel en afstand på 5-10 meter til skel for at overholde støjkraVene.

Det er ikke kun naboen, man skal tage hensyn til. Det er også u hensigtsmæssigt at placere varmepumpen umiddelbart uden for soverum, hvor man måske har vinduer stående på klem.

Der skal altid etableres afløb for Luft/Vand varmepumpens afrimningsvand. Det er meget u hensigtsmæssigt bare at lade vandet løbe ud i terrænet, da varmepumpens afrimningsfunktion i kolde perioder kan blive påvirket, og da der typisk i hele vinterperioden vil være is og dermed glat rundt om varmepumpen, fordi dens afkastluft typisk vil være 10 K under udetemperaturen, - se figur 4.7. Der er desuden risiko for, at afløbet stopper til, hvilket vil kunne føre til yderligere isdannelse på fordampere.



Figur 4.7. Afrimningsvandet ledes ud på jorden i stedet for til et afløb, som det burde

4.8 Sammenfatning af generelle erfaringer om fejl i installationer

På baggrund af undersøgelserne i nærværende projekt samt generel erfaring med varmepumpeinstallationer vurderes det, at SPF for gode og rigtig gode varmepumpeinstallationer er som vist i tabel 4.1.

Varmepumpe type	SPF for en god installation	SPF for en rigtig god installation
Luft/vand varmepumpe	3	3,5
Væske/vand varmepumpe	3,5	4

Tabel 4.1. Forventet SPF for henholdsvis gode og rigtig gode varmepumpeinstallationer

Af tabel 4.1 fremgår det, at den årlige effektivitet (SPF) for en varmepumpeinstallation bør ligge mellem 3 og 4 for at kunne karakteriseres som god eller meget god. Undersøgelserne, der ligger til grund for denne rapport, har dog vist, at SPF ofte er lavere, end det kan forventes (som det vises i figur 5.1-5.4 i det følgende kapitel).

At en varmepumpeinstallation ikke har den forventede SPF, skyldes fejl og mangler ved installationen og normalt ikke, at der er anvendt en dårlig varmepumpe, da varmepumper i dag typisk er effektive. De fejl og mangler, der findes ved inspektion af varmepumpeanlæg, kan principielt opdeles i følgende tre grupper:

- Fejl og mangler i den fysiske udformning af installationen
- Manglende eller forkert indstilling af varmeanlægget
- Manglende eller forkert indstilling af varmepumpen

4.8.1 Fejl og mangler i den fysiske udformning af installationen

Fejl og mangler i installationen kan både forekomme i varmeafgiversystemet og i selve installationen af varmepumpen.

Varmeafgiversystemet skal være velegnet til at aftage varme fra en varmepumpe. I eksisterende varmesystemer, der før har fået varme fra en kedel, er fremløbstemperaturen typisk for høj i forhold til at opnå en god SPF for varmepumpen. Det skal derfor sikres, at varmeafgiverne kan levere den nødvendige varme i rummene ved en lav fremløbstemperatur. Det kan her f.eks. være nødvendigt at skifte nogle radiatorer. Det skal også sikres, at en evt. shunt ikke leder til behov for en højere fremløbstemperatur end nødvendigt. Det er desuden vigtigt, at der er et tilstrækkeligt højt flow gennem varmesystemet. Her skal man være opmærksom på små rørdimensioner, ventiler der hænger, mm.

Erfaringen hos Best Green¹, der installere varmepumper og sælger varmen fra disse til bygningsejeren, er, at i private huse koster det ofte ikke mere end op til 5.000 kr. - ud over selve installationen af varmepumpen - at sikre, at varmesystemet er velegnet til at aftage varme fra en varmepumpe.

Varmepumpen skal installeres efter leverandørens forskrifter, og det skal f.eks. sikres, at en luft/vand varmepumpe altid kan komme af med kondensvand, og at rør er isoleret tilstrækkeligt og med velegnede materialer.

4.8.2 Manglende eller forkert indstilling af varmeanlægget

Selv om et varmesystem principielt er velegnet til at aftage varme fra en varmepumpe, ses det ofte, at varmesystemet ikke er indreguleret, så det er muligt at køre frem med en lav temperatur til varmesystemet. I anlæg med flere strenge – specielt ved gulvvarmeanlæg, er det vigtigt at indregulere de enkelt strenge korrekt, hvilket gøres ved at indregulere efter fabrikantens beregninger. Alternativt kan man indregulere, så returtemperaturen i alle åbne kredse er den samme. Dette gøres ved at justere flowet gennem de enkelte strenge ved hjælp af indreguleringsventilerne.

4.8.3 Manglende indstilling af varmepumpen

Når det er sikret, at varmesystemet er velegnet til at aftage varme fra en varmepumpe, og varmesystemet er indreguleret korrekt, så der kan køres frem med en så lav temperatur som muligt, skal det derefter sikres, at varmekurven i varmepumpen er indstillet korrekt. Den indstilling af varmepumpen, som varmepumpen bliver leveret med fra fabrikken, er sjældent den optimale.

4.8.4 Installatøren

Undersøgelserne i denne rapport og generelle erfaringer viser, at når en erfaren person tjekker en varmepumpeinstallation, kan vedkommende ofte hurtigt udpege fejl og mangler, der leder til en dårlig SPF for installationen. Fejl og mangler, der burde være udbedret eller forebygget allerede ved installationen af varmepumpen. Påbegyndes installation af en varmepumpe om sommeren, kan det være, at den først kan afsluttes om vinteren, fordi ordentlig indregulering først kan ske i varmesæsonen – men denne indregulering synes ikke altid at have fundet sted. Det kan også dreje sig om problemer, som er opstået senere og ikke er blevet rettet ved det årlige lovpligtige servicebesøg, hvor installatøren skal kontrollere funktionen af kølemiddel-pressostaten. Ved samme lejlighed bør han kontrollere, at indstillingerne i varmepumpen ikke er

¹ Best Green er et firma under Insero gruppen

fejlljusteret af ejeren siden sidste servicebesøg. Det sker f.eks., at en varmepumpeejer går ind i styringen og ukyndigt skruer helt op for varmekurven og måske også starter elpatronen, fordi huset en dag føles lidt for koldt, hvorefter denne indstilling får lov til at stå. Installatøren bør også gå en hurtig runde i huset og kontrollere, at varmeanlægget er indstillet til varmepumpedrift, f.eks. at radiatorventilerne står fornuftigt åbne.

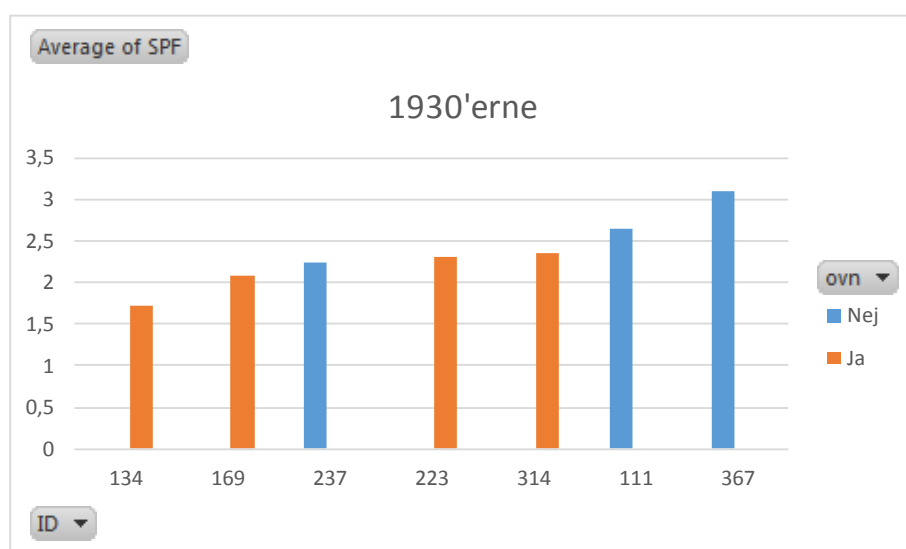
Konklusionen på undersøgelserne er, at der er et væsentligt potentiale for forbedringer i varmepumpernes SPF, og at dette i langt overvejende grad hører under installatørernes ansvarsområde.

5 Hvor er det en god idé at installere varmepumper?

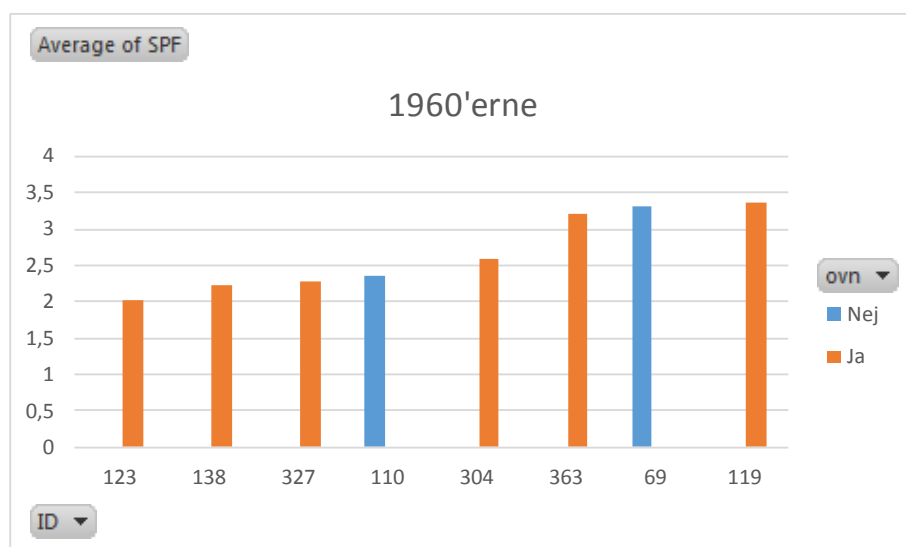
Et af formålene med nærværende projekt var at undersøge i hvilke huse, det er en god ide at installere en varmepumpe. Dette er i det følgende gjort dels ved at undersøge måledata fra StyrDinVarmepumpe, og dels ved at gennemføre økonomiberegninger for varmepumper og alternative opvarmningsformer.

5.1 Hvilken SPF kan man forvente i forskellige huse?

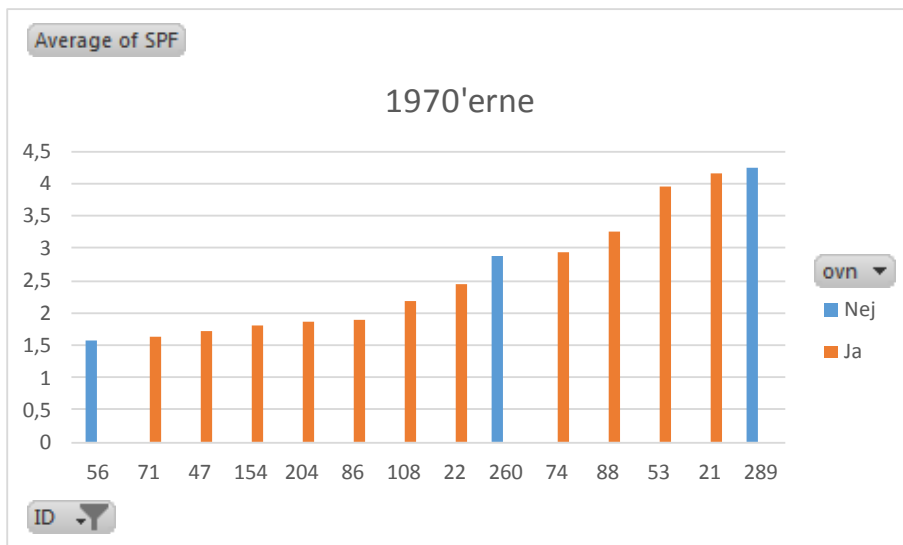
I dette afsnit undersøges det ved hjælp af målingerne, om der er forskel på den opnåede SPF for huse fra forskellige byggeår. Figurene 5.1-5.4 viser de målte SPF'er for huse bygget i fire forskellige årtier: 1930'erne, 1960'erne, 1970'erne og 1980'erne. For at lette overskueligheden er SPF'erne sorteret efter stigende værdi i figurene. Med 'ovn' menes der, om huset har brændeovn eller ej. Bemærk, at skalaerne ikke er ens. Tallene på x-akserne er id-nummeret for det pågældende anlæg.



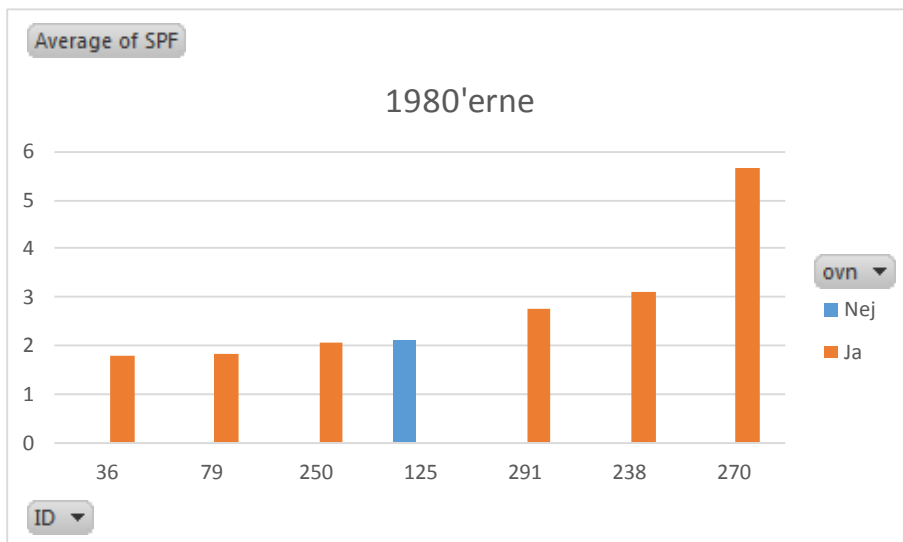
Figur 5.1. Målte SPF'er for huset opført i 1930'erne.



Figur 5.2. Målte SPF'er for huset opført i 1960'erne.



Figur 5.3. Målte SPF'er for huset opført i 1970'erne.



Figur 5.4. Målte SPF'er for huset opført i 1980'erne

Som det ses, ligger størstedelen af værdierne i figurene 5.1-4 i intervallet mellem 1,6 og 3,4. For 1970 er der dog også fire værdier i intervallet 4-5,1, mens der for 1980 er én værdi på 5,6.

Det store antal værdier mellem 1,6 og 3,4 indikerer, at opførelsesåret ikke har den store indflydelse på den opnåede SPF, mens de høje værdier for 1970 og 1980 indikerer, at det måske er lettere at opnå en høj SPF i nyere byggeri. Der er dog opnået en SPF på op mod 4 i et hus fra 1830, som er gennemrenoveret med ekstra isolering og gulvvarme i en del af huset samt nye radiatorer i andre dele af huset. Ejeren, der er ingeniør med speciale i køle-/varmepumpe teknik, har selv stået for renoveringen.

Ud fra figur 5.1-4 ser det desuden ud som om, at brændeovne ikke har indflydelse på de viste varmepumpers SPF.

I kapitel 4 argumenteres der for, at varme anlæggets udformning og styring har stor indflydelse på den opnåelige SPF. Ældre huse har et varmesystem, der er dimensioneret til at kunne dække opvarmningsbehovet på

opførelsestidspunktet. Dog har mange ældre huse gennemgået en eller anden form for energirenovering f.eks. i form af nye og bedre vinduer, ekstra isolering på loftet og andre energirenoveringstiltag typisk i den billigere ende. Det betyder, at det oprindelige opvarmningssystem er overdimensioneret, hvilket ofte betyder, at det kan klare husets opvarmningsbehov ved en lavere fremløbstemperatur, end det oprindeligt er dimensioneret til. Reduktion af fremløbstemperaturen til varmeanlægget øger som allerede nævnt en varmepumpes SPF.

På baggrund af ovenstående antages det derfor, at en varmepumpes SPF ikke er afhængig af husets byggeår eller tilstedeværelse af en brændeovn, men af husets og specielt varmeanlæggets tilstand.

Når det overvejes at anskaffe en varmepumpe, er det derfor en god ide også at vurdere, om der samtidigt bør gennemføres en energirenovering af huset for at skabe bedst mulige forhold for varmepumpen. Ved mere gennemgribende energirenovering vil det måske ovenikøbet være muligt at reducere opvarmningsbehovet så meget, at man kan nøjes med en mindre og dermed billigere varmepumpe, end det er nødvendigt, hvis huset ikke energirenoveres.

5.2 Hvor er det rentabelt at installere varmepumper?

For at kunne vurdere, om det er rentabelt at installere en varmepumpe i et bestemt hus, er det nødvendigt at gennemføre økonomiske beregninger. Det kræver dog en del at gennemføre de nødvendige økonomiske beregninger, idet der skal tages hensyn til mange faktorer. Der er derfor i det følgende udviklet en metode til hurtigt at kunne vurdere, om det er rentabelt at installere en varmepumpe i et aktuelt hus, samt hvilken SPF varmepumpen som minimum skal have for at sikre denne rentabilitet. Der kan desuden være andre fordele ved at skifte til en varmepumpe, som metoden ikke tager højde for, f.eks. bedre komfort og indeklima.

Der er udført sammenlignende beregninger for: V/V-varmepumper, L/V-varmepumper, olie-, naturgas- og pillefyr. For varmepumperne er beregningerne gennemført for forskellige effektiviteter (SPF), som i beregningerne varieres i spring af 0,5 fra 1,5 til 4,0. SPF-værdierne inden for dette spænd vurderes at være realistiske for en meget stor del af de danske varmepumpeanlæg.

Bygningens tilstand afspejles i det årlige opvarmningsbehov, som består af både rumopvarmning og opvarmning af brugsvand. Der er udført beregninger for rumopvarmningsbehovene: 5, 10, 20, 30 og 40 MWh svarende til 8, 13, 23, 33 og 43 MWh inkl. varmt brugsvand. Dette spænd vurderes at dække gængse huse i området fra helt moderne og energioptimerede bygninger til ældre bygninger, hvor der kun er udført energirenovering i et beskedent omfang. Det skal bemærkes, at varmeleverancer til varmt brugsvand inkluderer dækning af tab fra en varmtvandsbeholder. Det samlede opvarmningsbehov er anvendt til at vurdere, hvor stor den dimensionerende effekt skal være for de undersøgte varmekilder for at dække det samlede årlige opvarmningsbehov, hvilket muliggør en prissætning af den aktuelle størrelse af varmekilden.

I alt er der 75 beregningscases.

Der er gjort en lang række forudsætninger, som der er redegjort for i Bilag 3. Forudsætningerne omfatter bl.a.

- Årligt rumopvarmningsbehov
- Årligt termisk energibehov til varmt brugsvand og varmetab fra varmtvandsbeholderen
- Dimensionerende termisk effekt af varmekilderne i forhold til en given årlig varmeleverance
- Varmekildernes effektivitet
- Varmepumpernes dækningsgrad af årligt termisk energibehov
- Elforbrug til hjælpeudstyr (herunder elpatron i forbindelse med varmepumpen)
- Anlægspriser

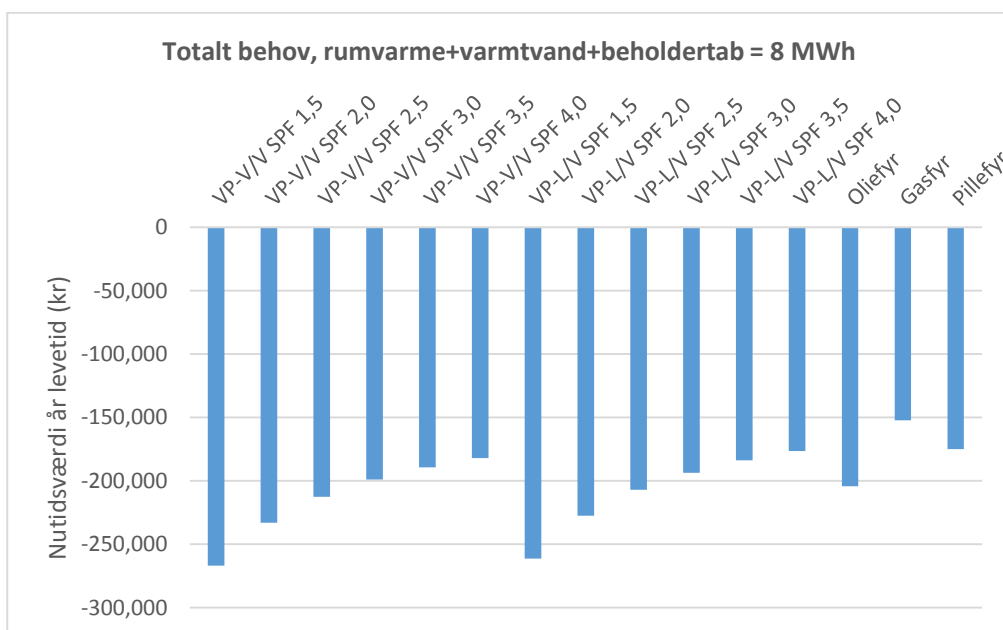
- Drift og vedligehold
- Tekniske levetider
- Energipriser og stigningstakt – der er taget hensyn til den besluttede lempelse af PSO-tariffen på el
- Inflation
- Der er ikke medregnet lån til at finansiere installationen af varmekilderne

Det er ikke muligt at forudsige PSO-tariffen præcist, da denne fastlægges løbende under hensyntagen til elproduktionen, ligesom der er dele af aftalen om lempelse af PSO-tariffen, der endnu ikke er endeligt afklaret. Tabel 5.1 er derfor et skøn foretaget af Energistyrelsen. Tabel 5.1 viser dels PSO-tariffen med og uden lempelse. De følgende beregninger og grafer i dette kapitel er udført med den antagelse, at PSO-tariffen lempes (sidste række i tabel 5.1). For at kunne vurdere, hvad lempelsen af PSO-afgiften betyder for rentabiliteten af varmepumper, er der i Bilag 4 også udført beregninger, hvor PSO-tariffen ikke lempes (midterste række i tabel 5.1). Dette giver kun en svag fordel til varmepumper, som ikke forrykket billeder i de følgende beregninger. Der henvises til Bilag 4 for at se sammenligningen med og uden lempelse af PSO-tariffen.

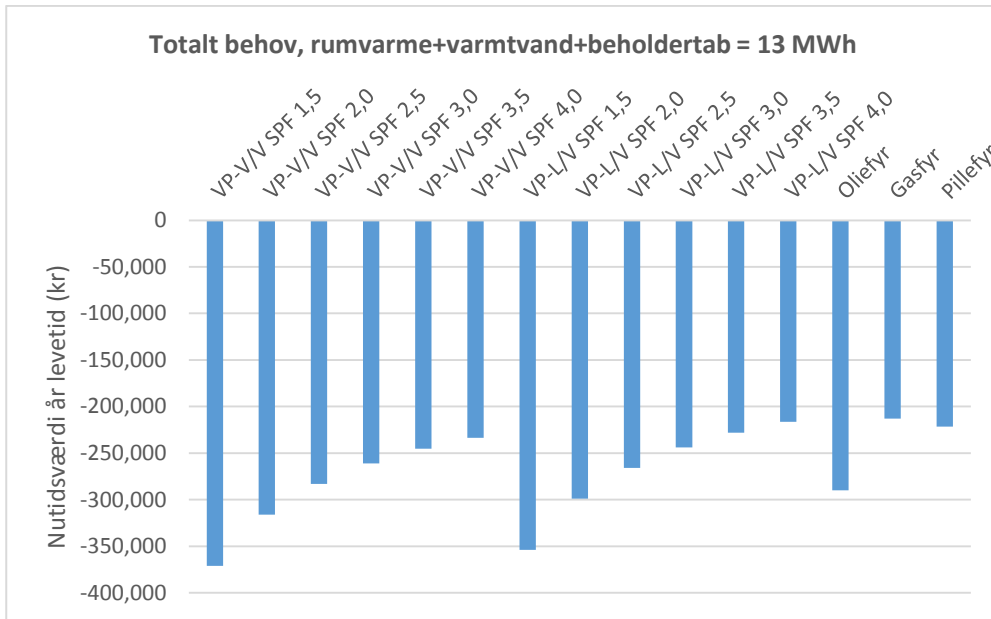
Kr./MWh	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
PSO-tarif før lempelse	251	270	214	210	204	200	180	155	135
PSO-tarif efter lempelse	173	176	100	54	12	0	0	0	0

Tabel 5.1. Skønnet udvikling i PSO-tariffen med og uden lempelse (kilde: Energistyrelsen, januar 2017).

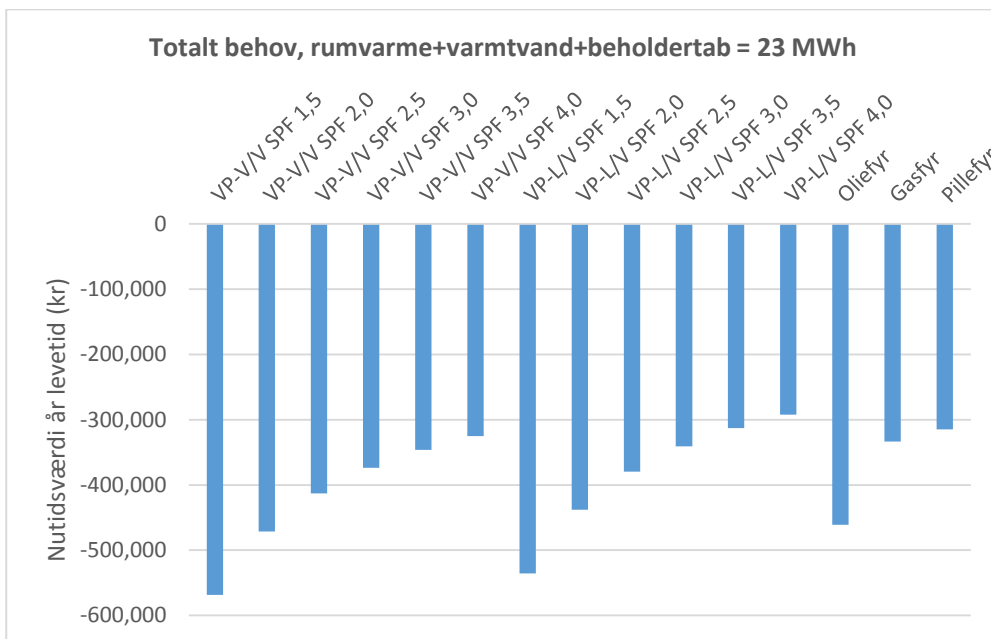
Resultatet af en beregning er en nutidsværdi i kr. af omkostningerne ved etablering af en varmekilde og drift af denne over den tekniske levetid. I Bilag 3 er der vist et skema med inddata og resultat for et beregningseksempel. Nutidsværdien præsenteres som et negativt tal. Ved sammenligning mellem de forskellige løsninger er den mest rentable løsning den, som har den mindst negative værdi. Alle resultater er præsenteret i figur 5.5-5.11. Figur 5.5-5.9 viser de beregnede nutidsværdier som søjler, mens disse værdier i figur 5.10-5.11 er omsat til kurver, som kan anvendes til bestemmelse af, om det er rentabelt at installere en varmepumpe i et bestemt hus, samt hvilken SPF der er nødvendig.



Figur 5.5. Nutidsværdien for installation og drift af forskellige varmekilder i et hus med et årligt totalt opvarmningsbehov på ca. 8 MWh.



Figur 5.6. Nutidsværdien for installation og drift af forskellige varmekilder i et hus med et årligt totalt opvarmningsbehov på ca. 13 MWh.



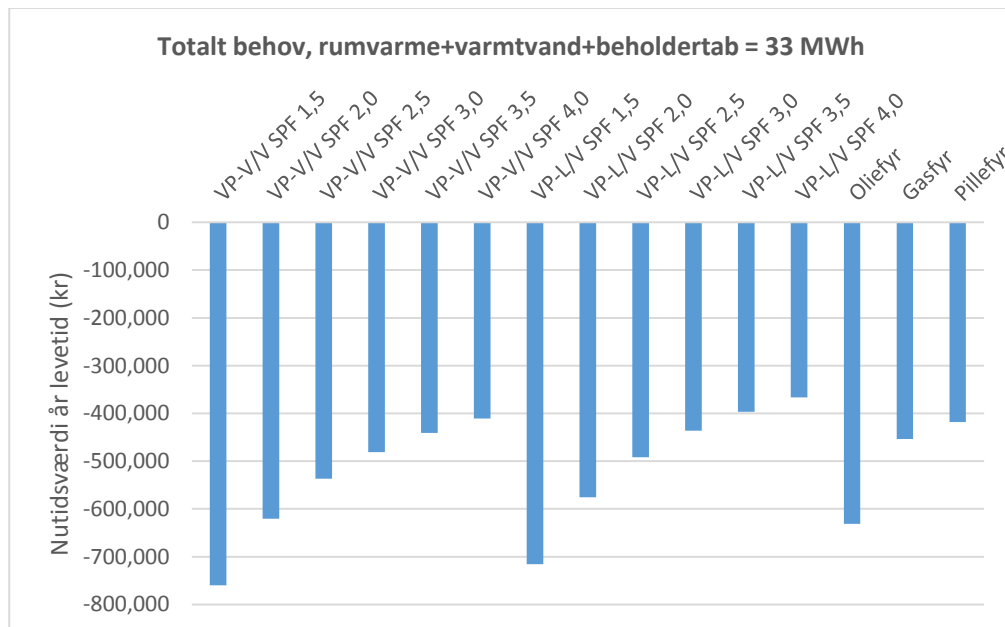
Figur 5.7. Nutidsværdien for installation og drift af forskellige varmekilder i et hus med et årligt totalt opvarmningsbehov på ca. 23 MWh.

5.2.1 Økonomisk sammenligning af varmepumpeinstallationer med gas-, olie- og pillefyr

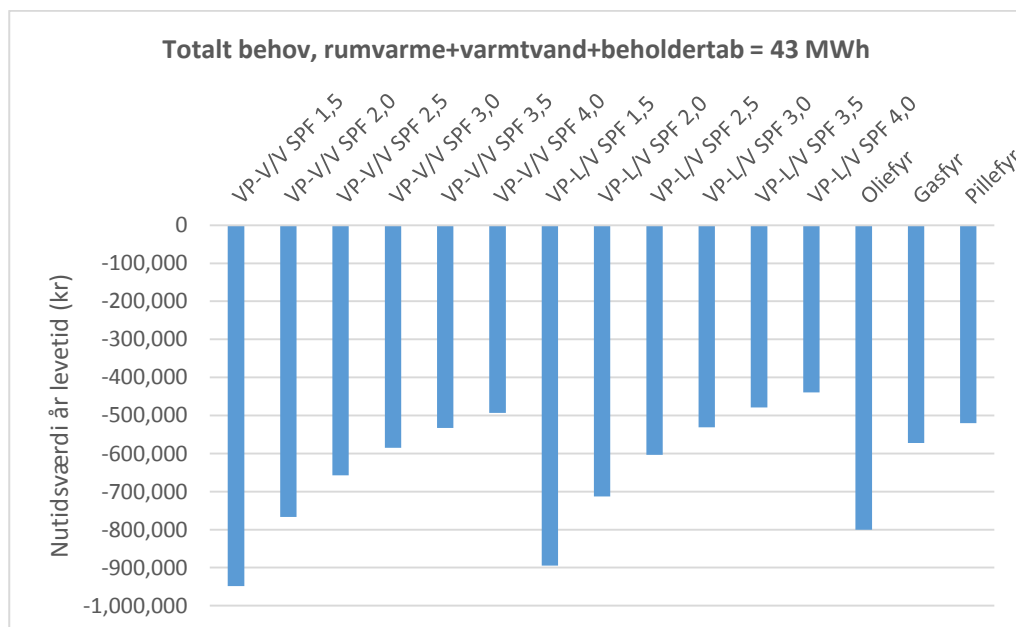
I figur 5.10 er installation og drift af en væske/vand-varmepumpe sammenlignet med installation og drift af henholdsvis et nyt oliefyr, et nyt gasfyr og et nyt pillefyr. Figur 5.11 viser det samme, blot for en luft/vand-varmepumpe.

Da der indgår mange parametre i beregningerne, der ligger til grund for figur 5.5-5.11 - parametre der ofte er behæftet med ret stor usikkerhed - må figurerne kun anvendes indikativ for at få en fornemmelse af, om det er

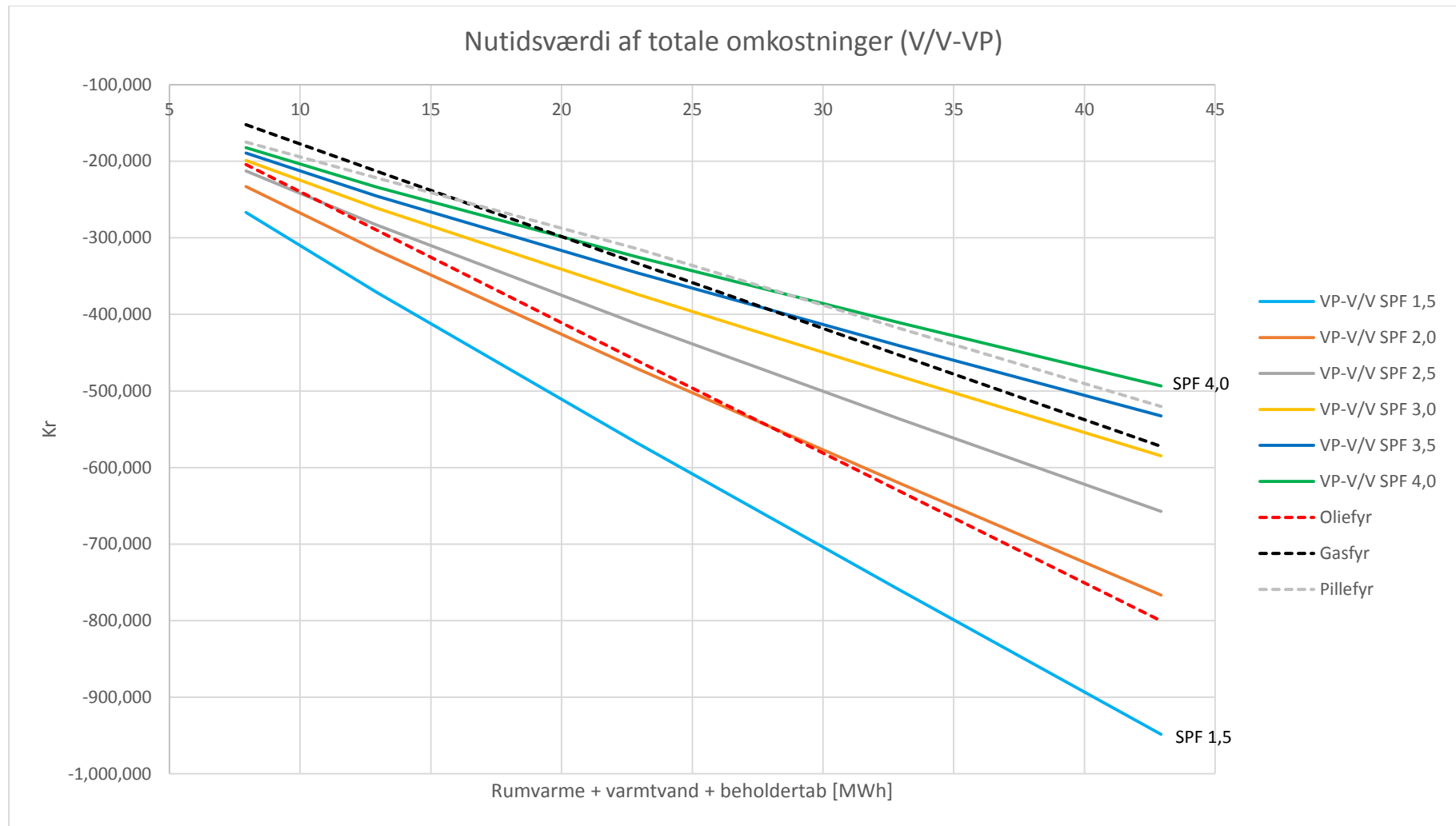
en god idé at installere en varmepumpe i et hus eller ej. Hvis man herefter beslutter sig for, at en varmepumpe nok er en god ide, skal man kontakte en installatør for at få oplyst den helt præcise pris for anlægget samt hvilket årligt elforbrug, varmepumpen vil have. Det årlige forventede elforbrug kan efterfølgende anvendes til at vurdere, om varmepumpen kører som forventet



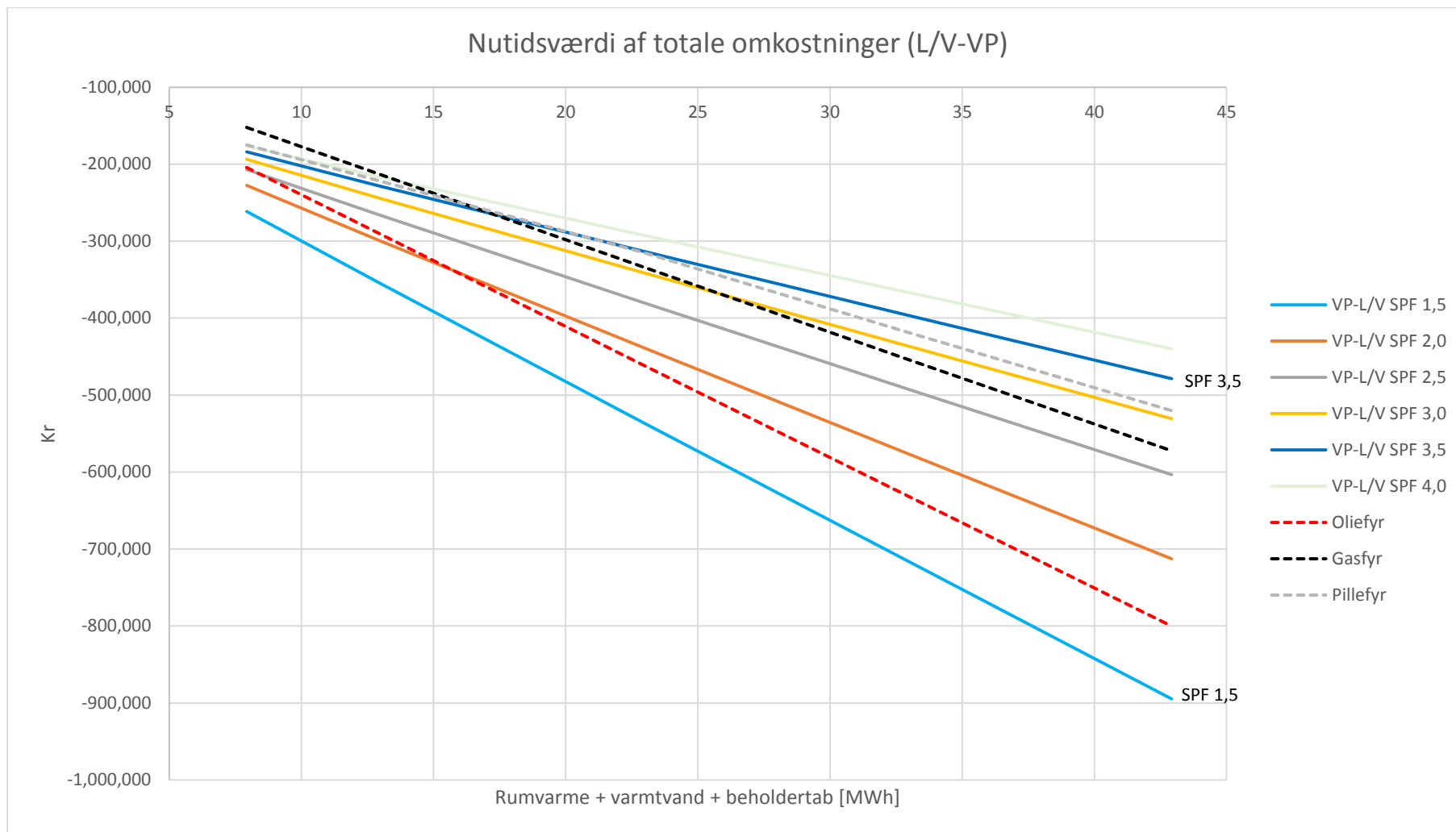
Figur 5.8. Nutidsværdien for installation og drift af forskellige varmekilder i et hus med et årligt totalt opvarmningsbehov på ca. 33 MWh.



Figur 5.9. Nutidsværdien for installation og drift af forskellige varmekilder i et hus med et årligt totalt opvarmningsbehov på ca. 43 MWh.



Figur 5.10. Nutidsværdien for installation og drift af væske/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr.



Figur 5.11. Nutidsværdien for installation og drift af luft/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr. Kurven for SPF = 4 er vist i en gråtone, da SPF for en rigtig god L/V-varmepumpeinstallation er 3,5 ifølge Tabel 4.1.

5.2.1.1 Vurdering af figur 5.10-5.11

Kurverne i figur 5.10-11 er som nævnt behæftet med ret stor usikkerhed. Det beregnede primære energiforbrug (el, olie, gas og træpiller) er nok det mest sikre i beregningerne. Anlægspriser kan derimod variere meget afhængig af installatør og eventuelle rabatter (der er f.eks. ikke medregnet håndværkerfradrag i beregningerne). Det er også vanskeligt at forudsige fremtidige drifts- og vedligeholdelsesomkostninger, ligesom det er vanskeligt at forudsige energipriser: i dag er der ca. 0,63 kr./kWh fradrag i elprisen for elforbrug over 4000 kWh/år i el- og varmepumpe-opvarmede huse. Vil det ændre sig i fremtiden? Gasprisen er i øjeblikket historisk lav, se figur 5.13. Hvordan vil energipriserne udvikle sig i det hele taget?

På trods af ovenstående usikkerheder vurderes det dog, at figur 5.10-11 giver et rimeligt billede af, i hvilke huse det i dag er rentabelt at installere en varmepumpe:

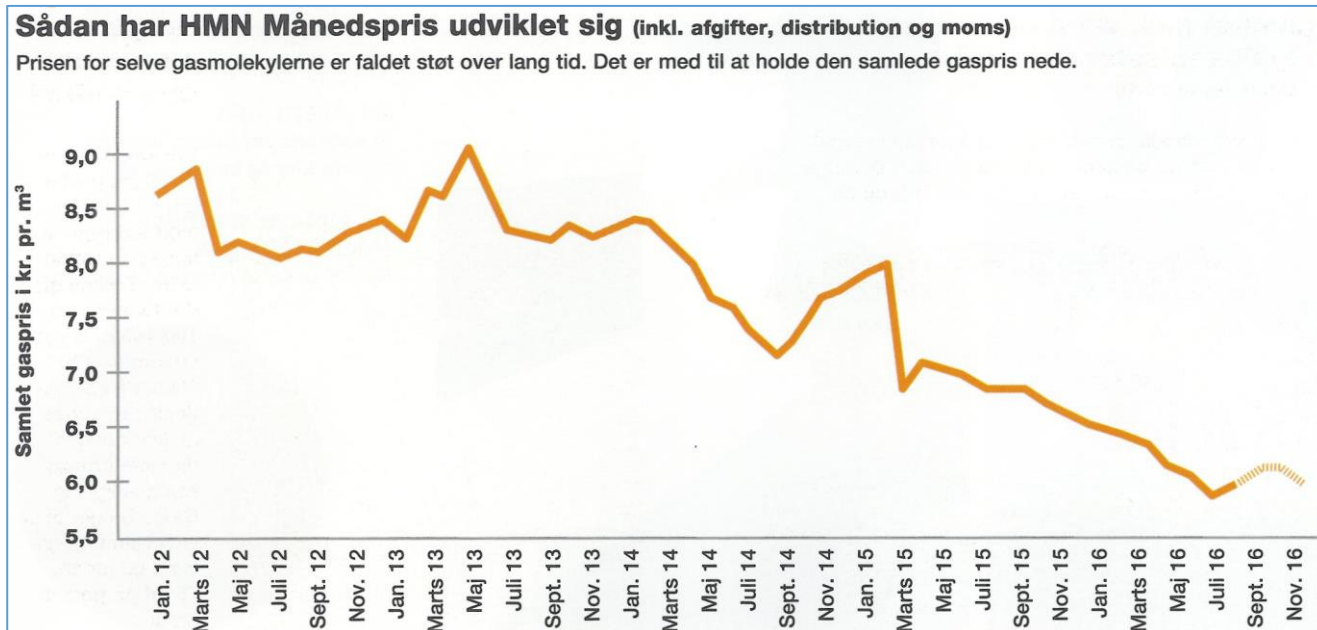
- L/V-varmepumper er uanset bygningens varmebehov mere rentable end V/V-varmepumper ved samme SPF på grund af en lavere installationspris. Men typisk er SPF 0,5 lavere for en L/V-varmepumpe end for en V/V-varmepumpe. Når dette medregnes, er de to typer af varmepumpeinstallationer ca. lige rentable
- Oliefyr er den mindst rentable løsning, så længe varmepumpernes SPF er over 2,5-2,8 for V/V-varmepumper og 2,5 for luft/vand-varmepumper ved helt lave opvarmningsbehov og SPF er over 1,7 ved høje opvarmningsbehov
- For årlige varmebehov under ca. 15 MWh er gasfyr den mest rentable løsning
- Rigtigt gode væske/vand-varmepumper (SPF = 4) er lidt mindre rentable end pillefyr for årlige opvarmningsbehov op til 27 MWh, hvorefter varmepumperne er mere rentable
- Rigtig gode luft/vand-varmepumper (SPF = 3,5) er lige så gode som pillefyr op til et årligt opvarmningsbehov på 20 MWh, hvorefter varmepumperne er mere rentable
- En rigtig god væske/vand-varmepumpeinstallation med en SPF på 4 er mere rentabel end et gasfyr for et årlige opvarmningsbehov på over 20 MWh. En god væske/vand-varmepumpeinstallation (SPF= 3,5) er mere rentabel end et gasfyr for et årlige opvarmningsbehov på over 27 MWh.
- En rigtig god luft/vand-varmepumpeinstallation med en SPF på 3,5 er mere rentabel end et gasfyr for et årlige opvarmningsbehov på over 17 MWh. En god væske/vand-varmepumpeinstallation (SPF= 3) er mere rentabel end et gasfyr for et årlige opvarmningsbehov på over 25 MWh.

Af ovenstående kan udledes, at et varmepumpeanlæg skal have en meget høj SPF for at kunne konkurrere med gas- og pillefyr. I lavenergihuse med et årligt opvarmningsbehov på under 5 MWh kan varmepumper ikke konkurrere med et gasfyr, men sandsynligvis godt med pillefyr, da et pillefyr er en stor installation i forhold til det lille opvarmningsbehov.

Pillefyr har en økonomisk fordel i forhold til de andre opvarmningsformer, idet der pt. ikke er skatter og afgifter på træpiller. Mange fravælger dog pillefyr, fordi de fylder for meget, der er en del arbejde ved et pillefyr (der skal jævnlige hældes piller i beholderen), det griser at håndtere træpillerne, og pillefyr virker forurenende på grund af røgen fra forbrændingen.

Gasfyret har i øjeblikket en fordel på grund af lave gaspriser samt mindre afgifter end el, se figur 5.12.

Generelt er energiforbruget væsentligt højere på el end på de andre energiformer, hvilket virker hæmmende på udbredelsen af varmepumper.



Figur 5.12. Gasprisens udvikling (Kilde: Gasmagasinet fra HMN, sep. 2016)

5.2.2 Hvordan anvendes figur 5.10-5.11

I det følgende gives der eksempler på, hvordan metoden kan anvendes.

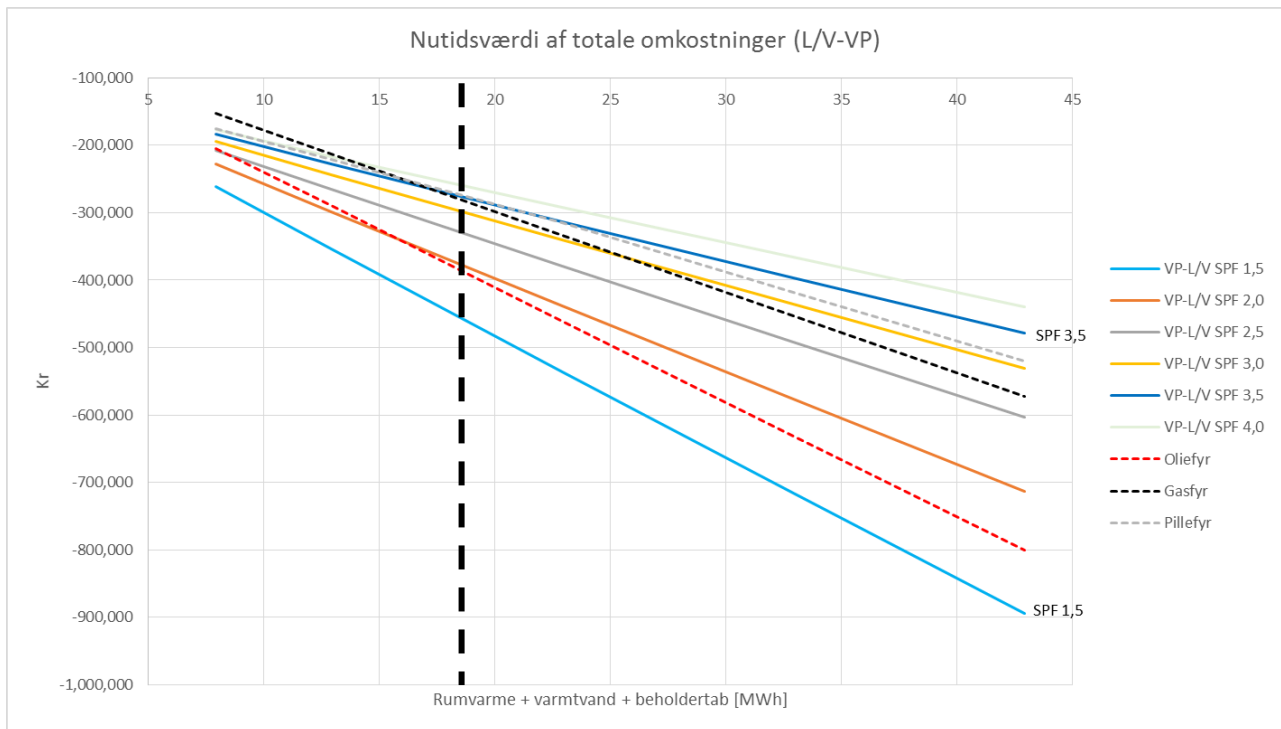
Først skal husets varmebehov findes. Dette kan f.eks. gøres ved at kikke på gamle olieregninger for huse, der pt. er opvarmet via et oliefyr. Ud fra nogle års olieregninger kan man danne sig et indtryk af, hvor mange liter olie olietfyret årligt bruger.

Eksempel: Lad os sige, at huset årligt anvender 2200 l olie. Dette tal ganges med brændværdien af olie, som er 10 kWh/l. Husets opvarmningsbehov er dog ikke 22.000 kWh, da et fyr har nogle tab, herunder røgtab op gennem skorstenen. Tabel 5.2 giver et groft skøn over effektiviteten af olietfyr. I dette eksempel er fyret en ikke-kondenserende kedel fra ca. 1980, hvilket giver en gennemsnitlig effektivitet på 82,5 %. Husets årlige opvarmningsbehov er derfor $22.000 \times 0,825 = 18.150$ kWh eller 18,2 MWh. Derefter skal man bestemme, om man er interesseret i jordvarmeanlæg (V/V-varmepumpe) eller en luft/vand-varmepumpe. I figur 5.13 undersøges rentabiliteten for en luft/vand varmepumpe. Der tegnes en lodret streg ved 18,2 MWh som vist i figur 5.13.

Årgang	Effektivitet %
Før 1970 herunder støbejernskedler	65-70
Efter 1976 ikke kondenserende	80-85
Kondenserende	95

Tabel 5.2. Olietfyr's årligt gennemsnitlige effektivitet afhængig af årgang/type.

For dette eksempel viser figur 5.13, at for det undersøgte opvarmningsbehov er en rigtig god luft/vand-varmepumpeinstallation med en SPF på 3,5 lige så rentabel som nye gas- og pillefyr, mens en varmepumpe med en SPF på 1,9 er lige så rentabel som et nyt olietfyr.



Figur 5.13. Nutidsværdien for installation og drift af luft/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr med eksempel for et hus med et opvarmningsbehov på 18,2 MW.

I kapitel 3 blev installationerne i husene ID309, ID434 og ID459 beskrevet. Disse huses opvarmningsbehov er vist i tabel 5.3 sammen med typen af varmepumpe samt varmepumpens elforbrug og SPF.

Hus	Opvarmningsbehov MWh	Varmepumpe type	Varmepumpens elforbrug kWh/år	Varmepumpens SPF
ID309	23,2	V/V	7.900	2,9
ID434	17,9	L/V	6.700	2,7
ID459	16,6	L/V	6.100	2,7

Tabel 5.3. Oplysninger om hus og varmepumpe for tre af de inspicerede anlæg (afsnit 3.1-3). Værdierne i de grå felter anvendes til at plote anlægget ind i figur 5.10-11.

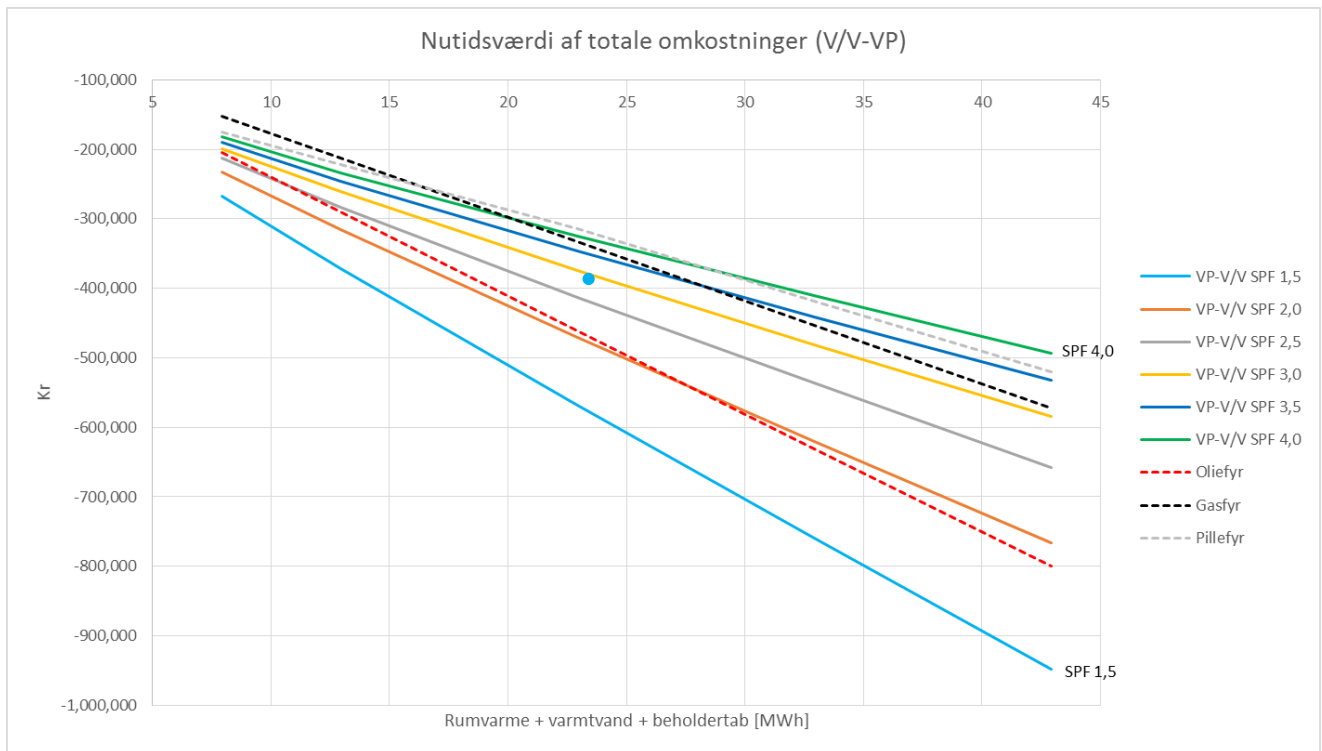
Figur 5.14-15 viser, at varmepumpeinstallationerne i ID309, ID434 og ID459 (blå prikker) er mere rentable end et olieforbrændingsfyr, men som forventet mindre rentable end gas- og pilleforbrændingsfyr. En rigtig god installation i ID309 (SPF = 4) ville her gøre varmepumpeinstallationen lidt mere rentabel end et gasfyr, men lidt mindre rentabel end et pillefyr. En rigtig god installation i ID434 og ID459 (SPF = 3,5) ville her gøre varmepumpeinstallationerne lige så rentabel som et gasfyr og et pillefyr.

5.2.3 Kan man selv vurdere SPF for en varmepumpeinstallation?

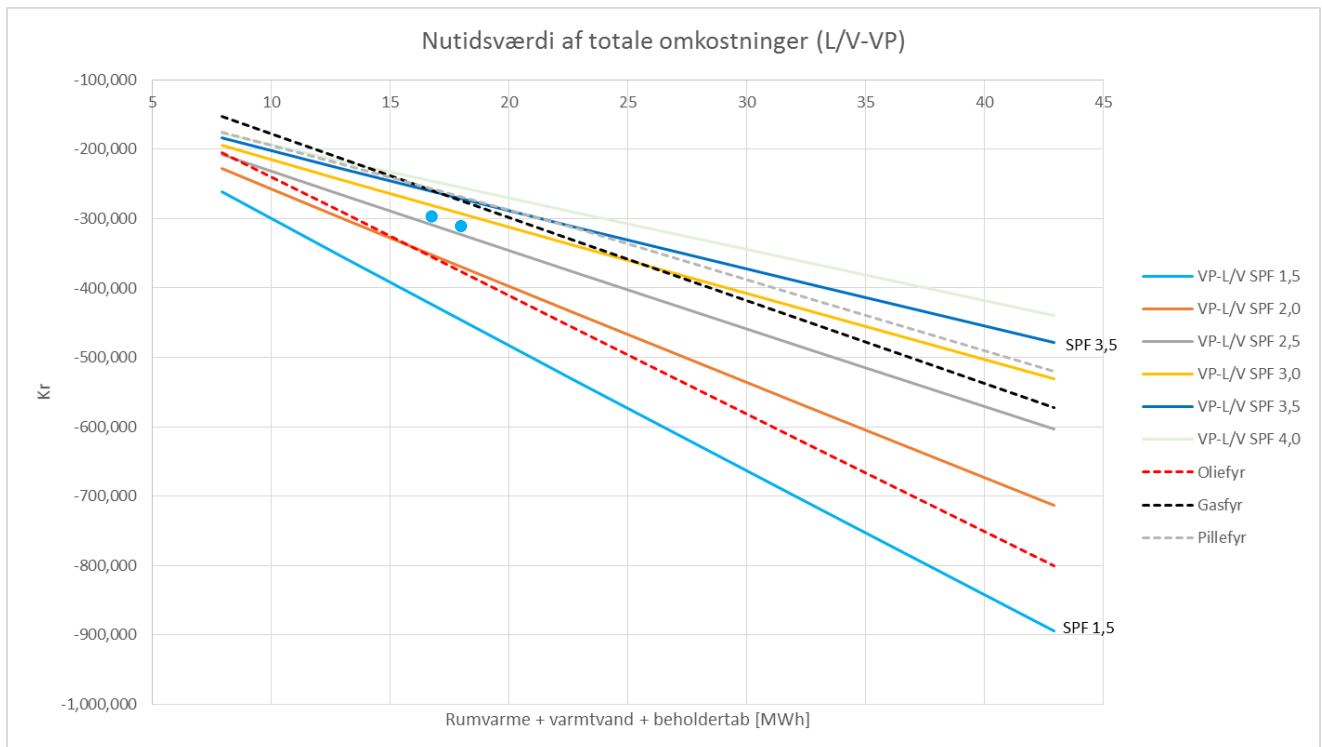
Det er ofte muligt selv at danne sig et overblik over, hvilken SPF en varmepumpeinstallation har, - specielt i eksisterende huse, som har fået udskiftet et olie- eller gasfyr med en varmepumpe.

Der er brug for husets opvarmningsbehov og merforbruget af el, som varmepumpen har givet anledning til.

I et hus, der før havde olieforbrændingsfyr, kan opvarmningsbehovet findes som beskrevet i afsnittet ovenfor: ved at gange det årlige olieforbrug med 10 kWh/l samt et estimat over olieforbrændingsfyrrets effektivitet.



Figur 5.14. Nutidsværdien for installation og drift af væske/vand varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr med huset ID309.



Figur 5.15. Nutidsværdien for installation og drift af luft/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr med husene ID434 og ID459.

I et hus, der før havde gasfyr, findes det årlige gasforbrug i m³ i regningen fra gasselskabet. Dette tal ganges med 11 kWh/m³ for at få husets energiforbrug til opvarmning. Som ved oliefyr er det også her nødvendigt at vurdere fyrets effektivitet, som derefter ganges med husets energiforbrug for at få opvarmningsbehovet.

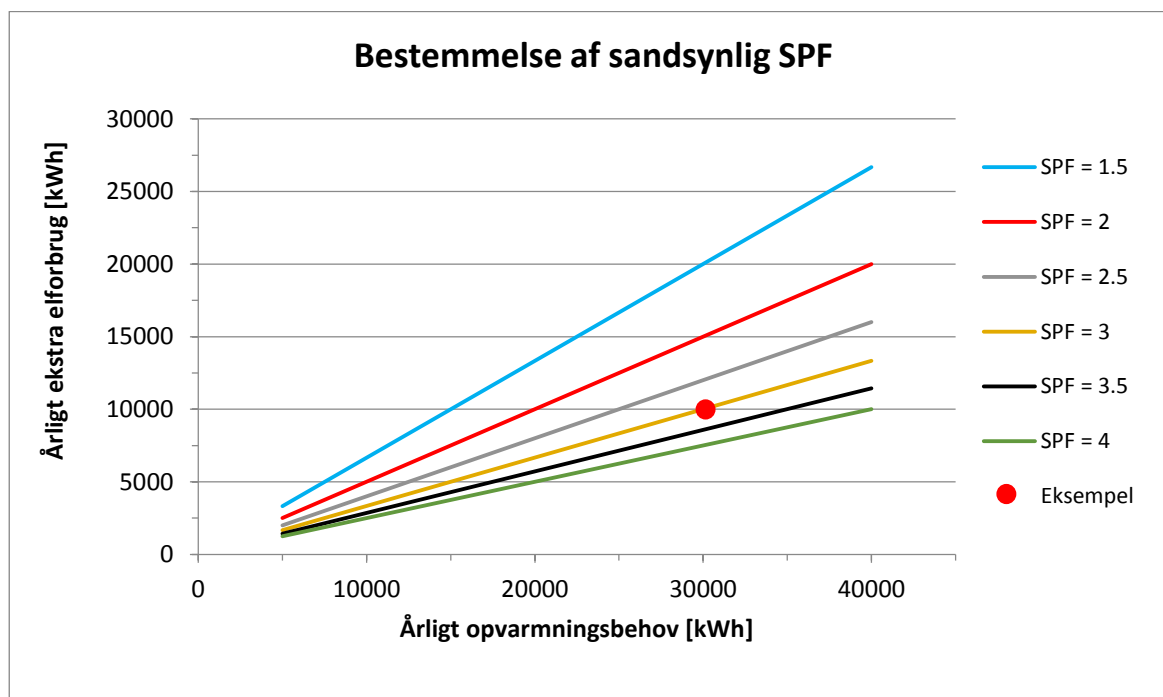
I et nybygget hus er det straks sværere, da der her ikke findes tidligere olie- eller gasregninger. I forbindelse med godkendelsen af huset, er der gennemført en energiberegning med programmet Be10 eller Be15. Denne beregning er dog udført under nogle standardforudsætninger om bl.a. rumtemperatur (lavere end de fleste foretrækker), brugsvandsforbrug, infiltration, mm. Denne beregning giver typisk et lavere opvarmningsbehov, end det beboeren oplever. Anvendelse af opvarmningsbehov fra Be10/Be15 beregninger vil derfor typisk i figur 5.16 lede til en lavere SPF end i virkeligheden.

Elforbruget for en varmepumpe kan findes ved at aflæse den lovpligtige bimåler på varmepumpen. Hvis varmepumpen ikke har en bimåler, kan det findes ved at trække det årlige elforbrug for en elregning for året før installation fra det årlige elforbrug fra en elregning, hvor varmepumpen har været installeret i hele det anvendte år.

Opvarmningsbehovet og det ekstra elforbrug, begge i kWh, kan derefter plottes ind i figur 5.16.

Eksempel: Det årlige opvarmningsbehov er her 30.000 kWh og elforbruget (ekstra elforbrug) er 10.000 kWh, - vist i figur 5.16 som en rød prik. Varmepumpen har her en SPF på 3. Er det godt eller dårligt? Det kan man vurdere ved at sammenligne denne SPF med varmepumpens SCOP.

SCOP opgives i dag for alle varmepumper. SCOP er en årlig effektivitet beregnet ud fra nogle standardforudsætninger om hvilke forhold, varmepumpen kører under. SCOP er desværre kun for rumopvarmning dvs. det er ekskl. brugsvandsopvarmning. Da opvarmning af brugsvand typisk foregår ved en højere temperatur end rumopvarmning, vil en beregnet SPF være lavere end den opgivne SCOP for radiatoranlæg, da SCOP for gulvvarmeanlæg vurderes for høj til denne anvendelse.



Figur 5.16. Bestemmelse af SPF ud fra årligt opvarmningsbehov samt ekstra elforbrug efter at varmepumpen er installeret.

I Danmark har vi tidligere anvendt en Norm-effektfaktor, som kan sammenlignes med en målt SPF, idet der indgår brugsvandsopvarmning i Norm-effektfaktoren. Norm-effektfaktoren er beskrevet i (Pedersen, 2009) og er sammenlignet med målte SPF værdier i (Pedersen og Jacobsen, 2013). (Pedersen og Jacobsen, 2013) viste, at Norm-effektfaktoren på fornuftig vis repræsenterer middelværdien af målte SPF for 170 varmepumper, men giver ikke nødvendigvis SPF for den aktuelle installation.

Det er muligt at gå fra SCOP til Norm-effektfaktoren på følgende måde (BR10, 2014):

- for V/V-varmepumper ved at gange SCOP med 0,9
- for L/V-varmepumper ved at gange SCOP med 0,85

Hvis SPF fundet i figur 5.16 er væsentligt lavere (f.eks. 10-20 % lavere) end Norm-effektfaktoren fundet på baggrund af SCOP, bør man overveje, om man skal få sin varmepumpeinstallation eftersat for at få fastlagt, om nogle af fejlene beskrevet i kapitel 4 eller andre fejl er tilstede.

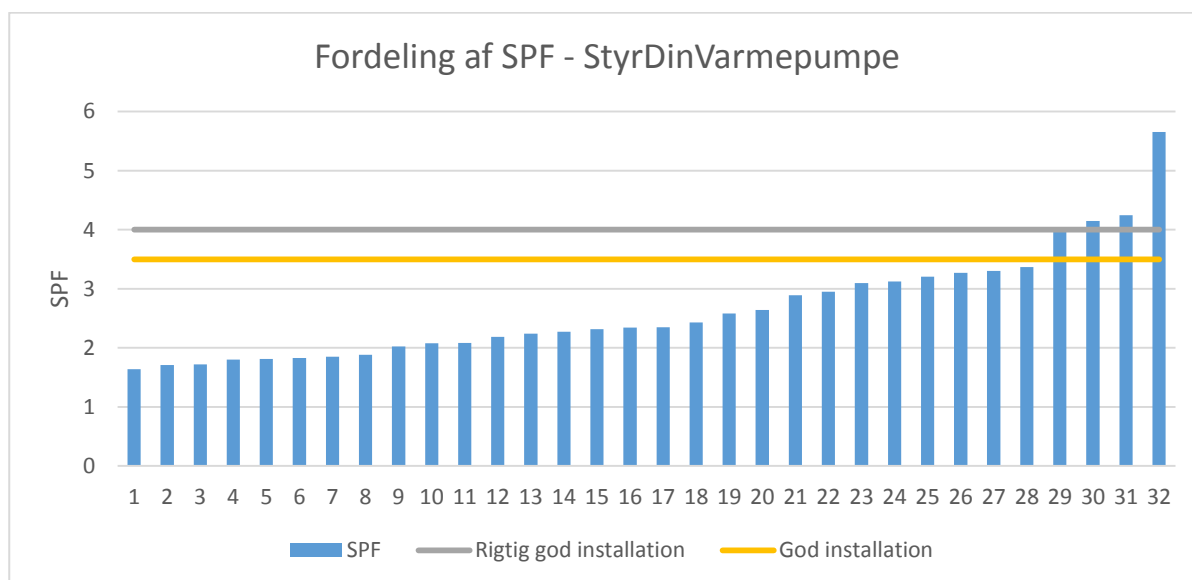
Der er dog nogle forhold, der kan gøre bestemmelsen af SPF ved hjælp af figur 5.16 misvisende. Det anvendte opvarmningsbehov og ekstra elforbrug kan være forkert, f.eks. fordi:

- Rumopvarmningsbehovet øges måske, fordi det er billigt at opnå en højere rumtemperatur og dermed bedre komfort, end før varmepumpen blev installeret. Det vil lede til en for lav beregnet SPF
- Der er sket energiforbedringer på huset samtidigt med eller efter, at varmepumpen er installeret, så opvarmningsbehovet i virkeligheden er lavere end antaget. Det vil lede til en for høj beregnet SPF
- Der er sket indkøb af udstyr med et væsentligt elforbrug samtidigt med eller efter, at varmepumpen er installeret. Det ekstra elforbrug, som registreres på afregningsmåleren, indeholder ikke kun varmepumpens elforbrug, men det hele vil måske blive tilskrevet varmepumpen alene, hvilket vil lede til en for lav beregnet SPF. Nye varmepumpeanlæg skal have en bimåler, og på disse anlæg er der derfor mindre risiko for fejlaflæsning af varmepumpens elforbrug.
- Er husstanden blevet reduceret f.eks. som følge af fraflytning af voksne børn samtidigt med eller efter, at varmepumpen er installeret? Det vil lede til et lavere opvarmningsbehov primært som følge af et mindre varmtvandsforbrug, men sandsynligvis også til et lavere elforbrug på grund af mindre forbrug af elforbrugende apparater som TV, radio, pc'er, mm. Hvor meget det vil ændre SPF afhænger af, hvilket forbrug, der er reduceret mest.

6 Potentialet for besparelser ved forbedring af varmepumpeinstallationer

Konklusionen i afsnit 5.2 var, at en varmepumpeinstallation skal være rigtig god (SPF på 4 for V/V- og 3,5 for L/V-varmepumper) for i dag at kunne konkurrere med nye gas- og pillefyr. For at kunne konkurrere med et nyt oliefyr, skal varmepumpens SPF være 2,5 for lave opvarmningsbehov og 1,7 for høje opvarmningsbehov.

Figur 5.1-5.4 viser dog, at de undersøgte varmepumper sjældent er rigtig gode. I figur 6.1 er figur 5.1-5.4 lagt sammen i én figur med kun V/V-varmepumper (da kun fire ud af de 36 varmepumper i figur 5.1-5.4 var L/V-varmepumper). Samtidigt er der lagt en linie ind for gode og rigtig gode varmepumpeinstallationer (fra tabel 4.1). Figur 6.1 viser, at kun fire ud af 32 installationer er gode/rigtigt gode, hvilket betyder, at omkring 88 % af installationerne ikke lever op til betegnelsen ”en god varmepumpeinstallation”. Datagrundlaget i StyrDin Varmepumpe er dog relativt beskedent. Derfor er der her inddraget data fra en anden undersøgelse, hvor der er målt på 170 varmepumper (Pedersen og Jacobsen, 2013). I (Pedersen og Jacobsen, 2013) var der brugbare data for 132 af de undersøgte varmepumper V/V-varmepumper. Det blev derfor besluttet primært at fokusere på V/V-varmepumper i den følgende undersøgelse, dog inddrages L/V-varmepumper sidst i undersøgelsen.

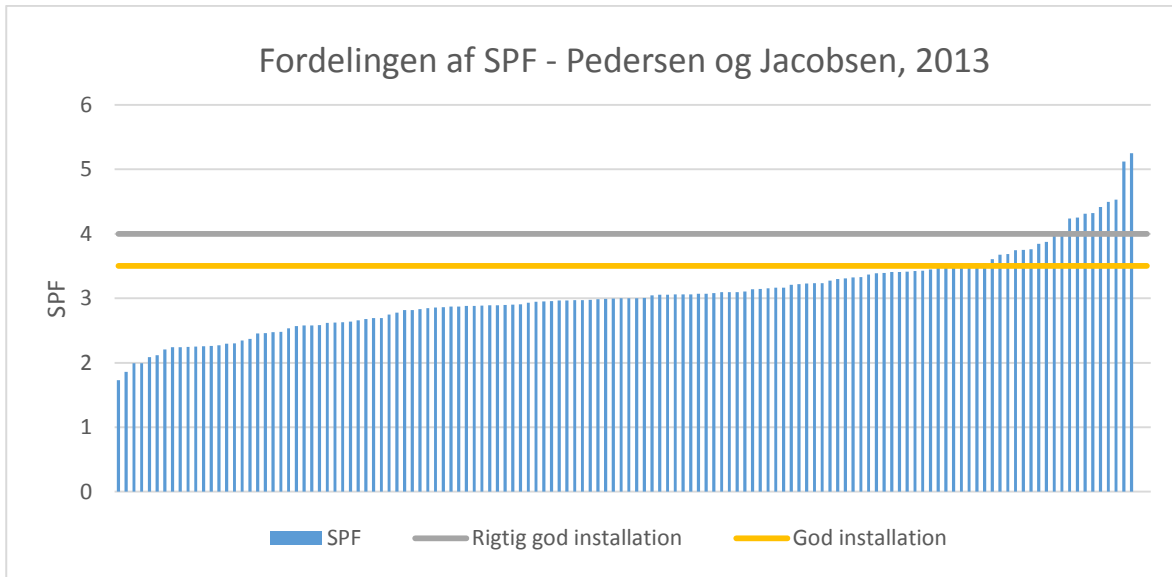


Figur 6.1. Værdierne fra figur 5.1-5.4 (minus L/V-varmepumper).

Dataene fra (Pedersen og Jacobsen, 2013) er opsamlet gennem 2 måleperioder, hver af et års varighed. Måleperiode 1 strækker sig fra november 2010 til oktober 2011 og måleperiode 2 fra november 2011 til oktober 2012. Kun data fra væske/vand varmepumperne i måleperiode 2 vil blive analyseret i det følgende fordi:

- antallet af luft/vand-varmepumpeinstallationer er for lille
- under måleperiode 1 blev der stadig tilsluttet og justeret målere
- nyinstallerede væske/vand-varmepumper forbruger mere elektricitet det første år, indtil jorden omkring slangerne har ”sat sig”.

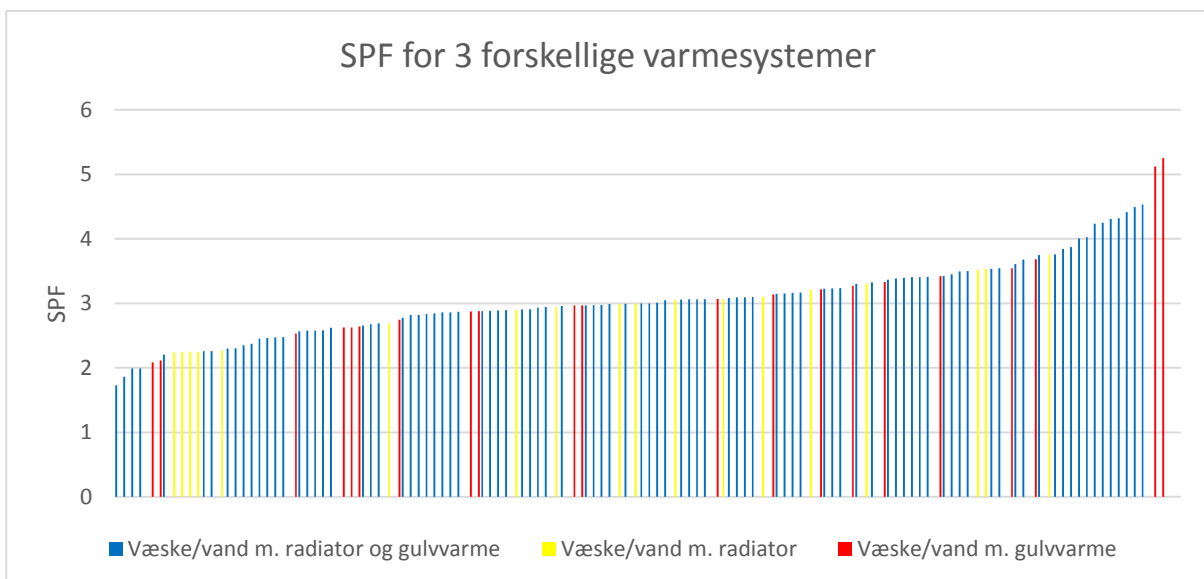
De undersøgte 132 væske/vandvarmepumper er installeret i følgende typer af varmesystem: 18 stk. m. radiator, 93 stk. m. radiator og gulvvarme, 21 stk. m. gulvvarme. For yderligere information om datagrundlaget henvises til (Pedersen og Jacobsen, 2013). Figur 6.2 viser, lige som Figur 6.1, SPF i stigende orden.



Figur 6.2. Målt SPF for 132 V/V-varmepumper fra (Pedersen og Jacobsen, 2013).

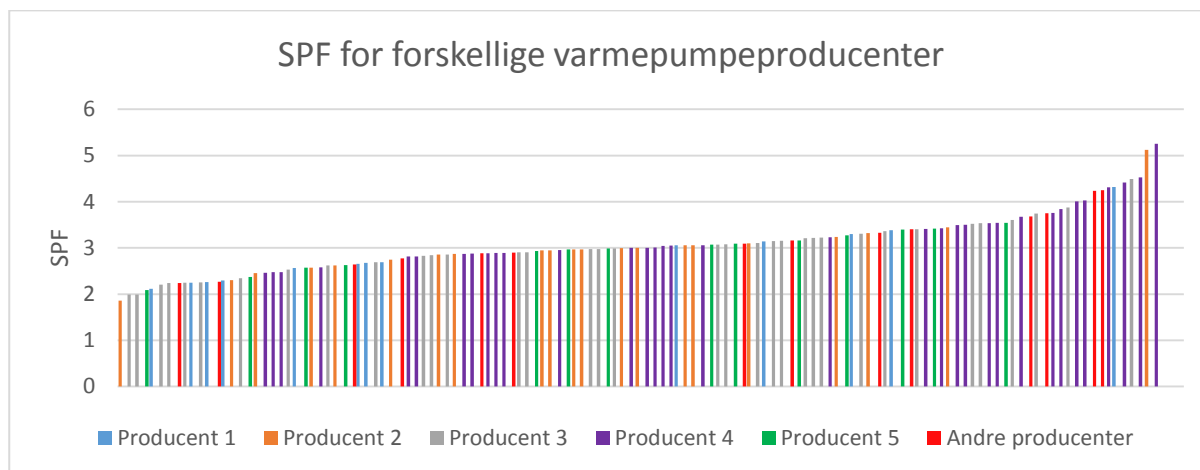
Ved sammenligning af figur 6.1 og 6.2, ses det, at SPF værdierne i begge grafer holder sig indenfor det samme område: 1,8-5,5. Værdier under en SPF på 3,5 i figur 6.2 udgør 84 %, hvilket er i samme størrelsesorden som i figur 6.1. Dog nås en SPF på 3 lidt hurtigere i figur 6.2 end i figur 6.1. Der arbejdes i det følgende videre med dataene i figur 6.2, da datagrundlaget her er størst.

Som nævnt ovenfor, er varmepumperne installeret i forbindelse med tre forskellige varmesystemer: kun radiatorer, kun gulvvarme og en kombination af radiatorer og gulvvarme. Dette kan have indflydelse på den målte SPF. Derfor viser figur 6.3 samme værdier som figur 6.2, men hvor der er differentieret mellem de tre typer af varmesystemer, som varmepumperne er koblet sammen med. Som det ses, er de tre typer af opvarmningssystemer spredt jævnt ud over grafen, hvilket indikerer, at det ikke er typen af varmeafgiver, der har været bestemmende for den målte SPF.



Figur 6.3. Værdierne fra figur 6.2 markeret med hvilket type varmesystem, der er i huset.

Fabrikatet af varmepumpen kan også have indflydelse på den resulterende SPF for opvarmningssystemet, da de forskellige fabrikanter sandsynligvis anvender forskellige komponenter i deres produkter. Derfor er værdierne fra figur 6.2 delt ud på forskellige fabrikanter i figur 6.4. Også her ses en jævn spredning, hvilket bestyrker opfattelsen af, at det i højere grad er opvarmningssystemet (og hvordan varmepumpen er koblet til varmesystemet) samt indreguleringen af dette og varmepumpen, som er den primære årsag til en dårlig SPF.

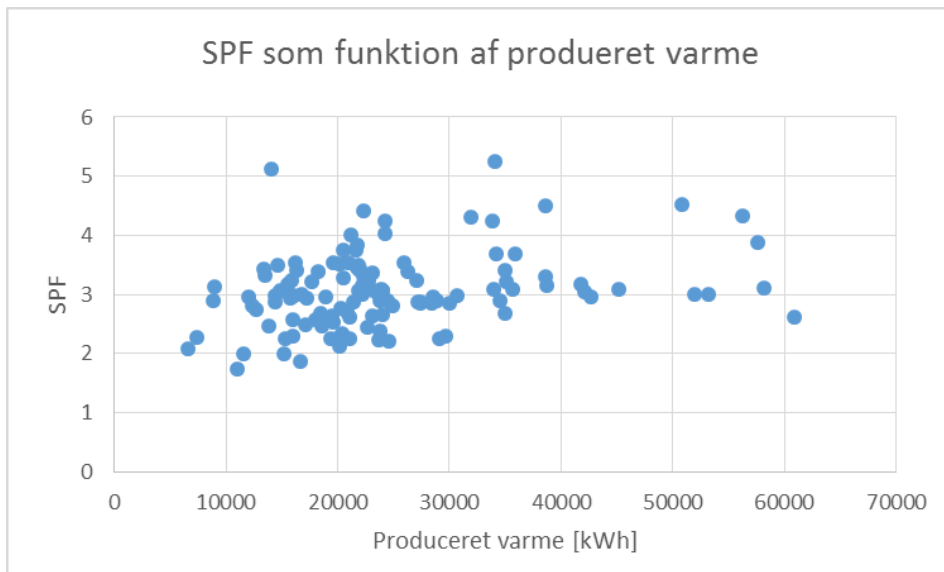


Figur 6.4. Værdierne fra figur 6.2 markeret med hvilken fabrikant, der har leveret varmepumpen.

Det har ikke ud fra dataene været muligt at fastlægge om frekvensregulerede varmepumper giver en højere samlet SPF end on/off styrede varmepumper. Frekvensregulerede varmepumper har et mindre kapacitetstab i drift på grund af færre start/stop, hvilket leder til en højere COP for varmepumpen. Der er desværre få frekvensregulerede varmepumper i de to datasæt (det er desuden usikkert, om der er flere, end der er registreret som frekvensregulerede) til, at en sådan undersøgelse giver mening. Dog kan man vurdere det lidt ud fra figur 6.5, hvor SPF er vist som funktion af den producerede varme. Hvis det antages, at varmepumper med meget stor varmeproduktion kører længere tid af gangen end varmepumper med lille varmeproduktion (her ses bort fra forskellige størrelser af varmepumperne), burde der være en tendens til højre SPF ved højere varmeproduktion. Der er en svag tendens for dette i figur 6.5, men der er til gengæld også varmepumper med stor varmeproduktion, der har en lav SPF. Dette giver mening, da det som allerede nævnt er varmesystemet samt indreguleringen af dette og varmepumpen, som har størst indflydelse på den samlede SPF, - hvilket figur 6.3 også indikere.

For dog at give et indtryk af, hvor meget bedre en frekvensreguleret varmepumpe er i forhold til en on/off styret varmepumpe, er der gennemført nogle beregninger med beregningsprogrammet Be10 (SBI, 2013) med den model af et parcelhus, der følger med Be10. Huset har et årligt opvarmningsbehov inkl. brugsvand på ca. 12.000 kWh. Varmesystemet i modellen er velegnet til varmepumpedrift med en fremløbstemperatur på 45°C ved en udelufttemperatur på -12°C. Den frekvensregulerede luft/vand varmepumpe har i modellen en relativ COP på 0,94 ved 50 % dellast. Den on/off styrede varmepumpe, der sammenlignes med antages at have en relativ COP på 0,8. I dette tilfælde vil den frekvensregulerede varmepumpe have et 10-12 % lavere årligt elforbrug end den on/off styrede varmepumpe, men meget af denne forbedring tabes, hvis varmepumpen ikke er koblet sammen med et fornuftigt varmesystem.

Det vurderes på baggrund af ovenstående undersøgelser, at figur 6.2 er rimelig repræsentativ for varmepumper installeret i danske huse i dag.



Figur 6.5. Værdierne i figur 6.2 vist som funktion af den årlige mængde varme produceret af varmepumperne.

6.1 Beregning af besparelsespotentialiet

I måleperiode 2 brugte de 132 varmepumper i figur 6.2 tilsammen 1.067.940 kWh elektricitet. Det er i gennemsnit 8.090 kWh pr. installation. Hvis det antages, at varmepumpeinstallationerne kan bringes op til at være ”gode installationer”, dvs. at alle de installationer, som har en SPF på under 3,5 kan bringes op til 3,5, vil det samlede årlige elforbrug blive reduceret til 897.013 kWh. Dette elforbrug er fundet ved at dividere den målte varmeproduktion fra varmepumperne med 3,5. På den måde kommer varmepumper med en stor produktion retmæssigt til at veje tungere i vurderingen af besparelsespotentialiet. At bringe varmepumpernes SPF op på 3,5 giver anledning til en gennemsnitlig reduktion af varmepumpernes elforbrug på 16 %.

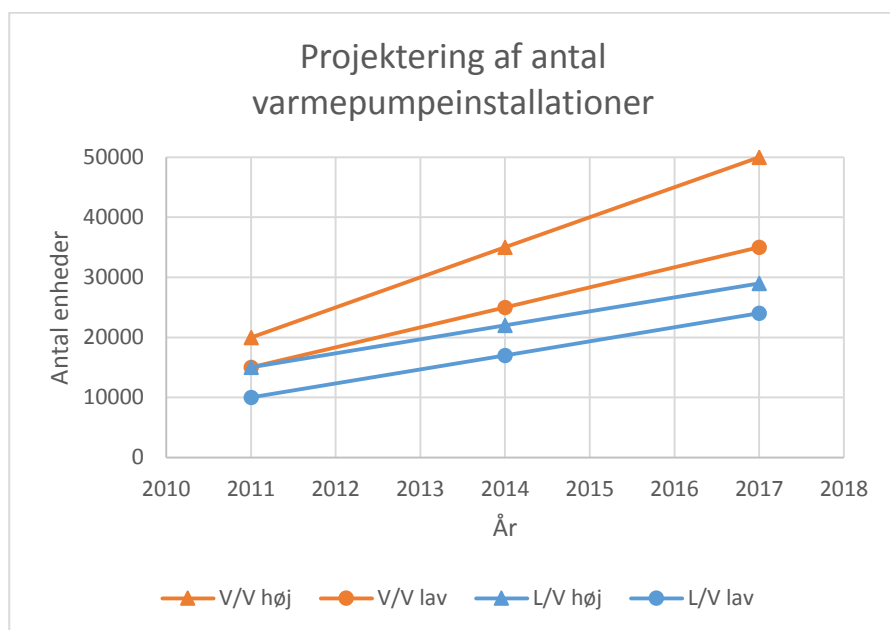
Det giver i gennemsnit en årlig besparelse på 1.300 kWh pr. varmepumpe eller med en elpris på 1,56 kr./kWh i 2016 for el til opvarmningen: 2.000 kr./år. I afsnit 4.8.1 nævnes, at det ofte ikke koster mere end 5.000 kr. at sikre, at et opvarmningssystem er velegnet til at aftage varme fra en varmepumpe, når dette gøres samtidigt med installationen af varmepumpen (det vil være lidt dyrere, hvis dette skal gøres efterfølgende). Det er en tilbagebetalingstid på under 3 år, hvilket må siges at være rimeligt.

Dog er ovenstående en gennemsnitsbetragtning. Der vil være mange steder, hvor det ikke kan betale sig at forbedre en varmepumpes SPF, fordi det kræver for store tiltag. Det vurderes også, at det ofte i forbindelse med installation af en varmepumpe i et eksisterende hus vil kræve alt for mange ændringer at bringe SPF op fra god til rigtig god. Det skal desuden medregnes, at nogle personer ikke har råd eller lyst til at få foretaget de nødvendige ændringer, selvom det kan betale sig i det lange løb.

I tabel 6.1 er det samlede besparelsespotentialie beregnet for varmepumper installeret i Danmark under antagelse af:

- at besparelsespotentialiet for L/V-varmepumper procentvis er lige så stor som for V/V-varmepumper, hvilket vurderes at være en rimelig antagelse, da det som nævnt flere gange er varmesystemet samt indreguleringen af dette og varmepumpen, som primært bestemmer SPF
- at der med udgangen af 2016 samlet var installeret mellem 59.000 og 79.000 varmepumper i Danmark (både V/V- og L/V-varmepumper), og der vil være 178.000 varmepumper i 2035. Disse tal er fremkommet på følgende måde:

I 2011 skønnes i Teknologikataloget (Energistyrelsen, 2011), at der i Danmark var installeret mellem 10.000 og 15.000 luft/vand varmepumper og mellem 15.000 og 20.000 væske/vand varmepumper. I august 2016 udsender Energistyrelsen et opdateringsblad til Teknologikataloget (Energistyrelsen, 2016). Her vurderes det, at der var henholdsvis 17.000 – 22.000 luft/vand varmepumper og 25.000 – 35.000 væske/vand varmepumper først i 2014. På baggrund af disse tal er antallet af varmepumper i Danmark i slutningen af 2016 estimeret ved lineær ekstrapolation - som vist i figur 6.6 - til mellem 59.000 og 79.000 varmepumper. Disse tal er dog behæftet med stor usikkerhed. I (Ea, 2016) er antallet af huse med varmepumpe som primær opvarmningsform opgjort til 121.753. Dette tal indeholder dog også luft/luft-varmepumper, som ikke indgår i nærværende undersøgelse. De 121.753 varmepumper i (Ea, 2016) er opgjort på baggrund af spørgsmål til 40.000 husstande, og der var i spørgsmålet om varmepumpe ikke differentieret mellem de tre typer af varmepumper: væske/vand-, luft/vand- og luft/luft-varmepumpe. Antallet af væske/vand- og luft/vand-varmepumper kan derfor ikke udtrages af (Ae, 2016), men hvis det kunne, ville tallet nok være højere end de 59-79.000, som er fundet i figur 6.6. I det følgende er det dog valgt at arbejde videre med det mere konservative skøn i figur 6.6.



Figur 6.6. Installerede varmepumper i Danmark - estimeret.

I (Dansk Energi, 2013) vurderes det, at der i 2035 vil være installeret 178.000 individuelle varmepumper i Danmark. Det antages i tabel 6.1, at uden tiltag vil SPF ikke forbedres i fremtidige varmepumpeinstallationer.

Tabel 6.1 angiver både det samlede årlige besparelse ved at bringe alle varmepumpe op til at være ”gode installationer” (SPF for V/V-varmepumper på 3,5 og 3 for L/V-varmepumper) og den årlige besparelse, hvis kun det halve potentiale udnyttes. Det halve potentiale kommer af en vurdering af, at det ikke i alle tilfælde vil være økonomisk realistisk at bringe installationen op til ”god”. Det gennemsnitlige potentiale er ovenfor beregnet til 16 %. Det halve af dette er 8 %, hvilket er den besparelse, der i kapitel 3 blev opnået for de to varmepumpeinstallationer ID309 og ID434 ved justeringer af anlæggene. For ID459 blev der opnået en komfortforbedring uden reduktion af SPF. På baggrund af dette samt kapitel 4 vurderes det, at det bør være muligt at opnå det halve besparelspotentiale.

Besparelsen for 2035 i tabel 6.1 kan blive højere, hvis de fleste varmepumper i fremtiden bliver frekvensregulerede. Yderligere besparelser kan opnås, hvis styringen af opvarmningsystemerne bliver mere intelligente således, at varmepumpen altid kan køre med lavest mulige fremløbstemperatur. Et sådant system er

ved at blive udviklet i EUDP projektet Optimering af gulvvarme og varmepumpesystemer. Det er derfor ikke urealistisk, at besparelsen i 2035 kan blive højere end max besparelsen i tabel 6.1.

Besparelserne i tabel 6.1 kommer dog ikke af sig selv. Specielt ikke for eksisterende anlæg, hvor ejerne ikke ved, at deres anlæg ikke kører optimalt. Ved de 21 besøgte anlæg i nærværende projekt kunne der næsten alle steder påpeges fejl og mangler samt foretages simple justeringer (ofte ændring i varmepumpens varmekurve). Desværre får alle varmepumpeejere ikke tilsvarende besøg, der ellers typisk ville resultere i forbedringer.

Antal varmepumper	2017		2035
	59.000	79.000	178.000
Årligt elforbrug pr. varmepumpe			
Før forøgelse af SPF [MWh/år]	8,1	8,1	8,1
Efter forøgelse af SPF [MWh/år]	6,8	6,8	6,8
Samlet årligt elforbrug			
Før forøgelse af SPF [MWh/år]	477.300	639.100	1.440.000
Efter forøgelse af SPF [MWh/år]	401.000	536.900	1.209.700
Max besparelse [MWh/år]	76.300	102.200	230.300
”Halv” besparelse [MWh/år]	38.200	51.100	115.200
Max besparelse [udledt tons CO ₂ /år] ¹	14.700	19.600	0 ²
”Halv” besparelse [udledt tons CO ₂ /år] ¹	7.400	9.800	0 ²

Tabel 6.1. Besparelspotentialet ved at gøre varmepumpeinstallationer ”gode”.

¹ (Energinet, 2017)

² hvis der i 2035 ikke anvendes fossilt brændsel til elproduktionen i Danmark.

Ifølge Bekendtgørelse om anvendelse af trykbærende udstyr (BEK 100) står: ”Det skal ved passende eftersyn og vedligeholdelse m.v. sikres, at køleanlæg til stadighed under anvendelse holdes i forsvarlig stand.

Ud over undersøgelserne af trykbeholdere og rørsystemer efter kapitel 5 og 9 skal anlæg med fyldning større end 1 kg kølemiddel efterses mindst 1 gang årlig.

Ved det årlige eftersyn kontrolleres det, at anlæggets beskyttelsesforanstaltninger mod overskridelse af de tilladte grænser fungerer korrekt.

Eftersyn og vedligeholdelse m.v. af køleanlæg skal udføres af en person, som har fået den fornødne instruktion og øvelse i eftersyn og vedligeholdelse m.v. af den pågældende anlægstype.” Jordvarmeanlæg skal desuden årligt have efterset jordslangen jf. Bekendtgørelse om jordvarmeanlæg (BEK 1612)

Alle væske/vand og luft/vand varmepumper installeret i Danmark har minimum 1 kg fyldning og er derfor omfattet af ovennævnte bekendtgørelse. I økonomiberegningerne i figur 5.10 og 5.11 er udgiften til dette årlige eftersyn medregnet (se Bilag 3).

Da alle varmepumpeejere allerede har mindst et årligt, lovpligtigt eftersyn af deres varmepumpe, bør dette eftersyn foretages af en person, der samtidigt kan vurdere og ændre indstillingen af varmepumpe og varmesystem samt foreslå tiltag, der yderligere kan optimere driften af anlægget. F.eks. kunne det kræves, at eftersynene skal foretages af godkendte VE-installatører (<http://veinstallatoer.dk/hvad-er-en-ve-installatoer>) eller godkendte VPO-installatører (www.vp-ordning.dk/). Da BEK 100 hører under Lov om Arbejdsmiljø, er det dog nok ikke denne bekendtgørelse, der skal ændres for at gøre et årligt eftersyn af varmepumpeinstallationens effektivitet lovpligtig.

6.2 Konklusion

Beregningerne i dette kapitel er foretaget under mange antagelser, som samlet set leder til, at besparelsespotentialet, ved at sørge for at alle varmepumpeinstallationer er gode (SPF for V/V-varmepumper på 3,5 og for L/V-varmepumper på 3,0), vurderes at være i størrelsesordenen 16 %.

Der vil være mange steder, hvor det ikke kan betale sig at forbedre en varmepumpes SPF, fordi det kræver for store tiltag. Det vurderes også, at det ofte i forbindelse med installation af en varmepumpe i et eksisterende hus vil kræve alt for mange ændringer at bringe SPF op fra god til rigtig god. Det skal desuden medregnes, at nogle personer ikke har råd eller lyst til at få foretaget de nødvendige ændringer, selvom det kan betale sig i det lange løb. Derfor er udnyttelse af det ”halve” potentiale også beregnet. Ud fra undersøgelserne i kapitel 3 og 4 vurderes det, at det ”halve” potentiale bør kunne nås. Men det sker ikke af sig selv.

Det vurderes også, at uden tiltag for at forbedre danske varmepumpeinstallationer vil fremtidige installationer fortsat have et gennemsnitligt merforbrug af el på 16 %.

Besparelsespotentialet (det ”halve” potentiale) vurderes for eksisterende installationer at være mellem 38 og 51 GWh/år og stigende til over 100 GWh/år frem mod 2035 uden indførelse af forbedret teknologi. Mere effektive varmepumper og bedre styring af varmeanlæggene vurderes at kunne mere end fordoble besparelsen i 2035

Med en elpris på 1.56 kr./kWh i 2016 til opvarmningsformål svarer dette til en besparelse på 60-80 mio. kr./år i 2017 og 180-400 mio. kr./år i 2035.

Besparelserne kommer dog ikke af sig selv. Det er nødvendigt, at en erfaren installatør gør opmærksom på optimeringsmulighederne. Da alle varmepumpeejere allerede har mindst et årligt, lovpligtigt eftersyn af deres varmepumpe, bør dette eftersyn foretages af en person, der samtidigt kan vurdere og ændre indstillingen af varmepumpe og varmesystem samt foreslå tiltag, der yderligere kan optimere driften af anlægget. Det kunne f.eks. gøres til et krav, at varmepumperne skal tilses af en godkendt VE- eller VPO-installatør. Dette kræver dog ændring i en eller flere Bekendtgørelser.

7 Konklusion og perspektivering

Undersøgelserne i nærværende rapport viser, at den gennemsnitlige årlige effektivitet (SPF) af varmepumpeinstallationer ofte er for lav i forhold til, hvad man kunne forvente ud fra varmepumpernes effektfaktorer (COP) fra certificerede test. Af de 164 undersøgte væske/vand-varmepumpeanlæg var det kun omkring 15 %, der levede op til en forventet god SPF. Denne undersøgelse viste desuden, at den årlige effektivitet af et varmepumpeanlæg ikke, som det kunne forventes, var afhængig af, om varmepumpen var koblet til et radiatorsystem, gulvvarme eller en kombination af gulvvarme og radiatorer. Undersøgelsen af de 164 varmepumpeanlæg viste også, at SPF ikke er afhængig af den valgte leverandør/producent. Det er i højere grad den aktuelle udformning af opvarmningssystemet (og hvordan varmepumpen er koblet til varmesystemet) samt indreguleringen af dette og varmepumpen, som er den primære årsag til en dårlig SPF.

Varmepumpeinstallationen i 21 udvalgte huse er blevet gennemgået, og det er blevet konstateret, at der var fejl og mangler på de fleste af disse installationer. Fejlene går fra, at det eksisterende varmesystem ikke er ændret fysisk (så det bedre passer til varmepumpedrift), at der er nogle fysiske fejl ved installationen af selve varmepumpen, til mangelfuld/manglende indregulering af varmeafgiversystemet (radiatorer og/eller gulvvarme) og af selve varmepumpen.

Et varmesystem, der tidligere har fået varme fra en kedel, er traditionelt dimensioneret til en højere fremløbstemperatur end, hvad der er optimalt for en varmepumpe. Det er derfor vigtigt først at sikre, at varmesystemet kan levere tilstrækkeligt med varme til huset ved en lav fremløbstemperatur. Det kan f.eks. betyde, at det er nødvendigt at skifte en eller flere af husets radiatorer. I mange huse er der dog foretaget forskellige energigrenoveringstiltag (f.eks. nye, bedre vinduer, ekstra isolering på loftet, mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding, mm), hvilket ofte betyder, at varmesystemet kan levere den nødvendige varme til huset ved en lavere fremløbstemperatur. Fremløbstemperaturen er dog ikke blevet sænket, da dette ikke betyder så meget for en kedel. En shunt, der var fornuftig i et kedelsystem, vil virke dræbende for effektiviteten i et varmepumpesystem.

Herefter skal det sikres, at varmesystemet er indreguleret, så alle rum har behov for den samme fremløbstemperatur. Hvis der bare er et rum, der har behov for en højere fremløbstemperatur, betyder dette, at effektiviteten for varmepumpen forringes. Det skal samtidigt sikres, at der er et tilstrækkeligt flow igennem systemet for at opnå, at det nødvendige flow i varmepumpen er tilstede.

Til sidst skal varmepumpens varmekurve tilpasses det nu optimerede varmesystem - igen for at sikre en så lav fremløbstemperatur som muligt. Varmekurven indstillet fra fabrikken er sjældent den optimale varmekurve.

Ovenstående skal gøres af installatøren og er for en erfaren varmepumpeinstallatør indlysende, hurtigt og ofte billigt at gennemføre samtidigt med installationen af varmepumpen.

Konklusionen på undersøgelserne i kapitel 3 og 4 er, at der er et væsentligt potentiale for forbedringer i varmepumpernes årlige gennemsnitlige effektivitet (SPF), og at dette i langt overvejende grad hører under installatørernes ansvarsområde.

I forbindelse med nybyggeri er det vigtigt, at installatøren af varmesystem og varmepumpe snakker sammen, hvis det ikke er den samme person.

Både undersøgelserne i dette projekt og generelle erfaringer fra kontrol af varmepumpeinstallationer peger på to årsager til problemerne.

Den ene årsag er for dårlig uddannelse og for ringe viden om varmepumper og disses sammenspil med varmeinstallationerne i husene. Mange installatører installerer alt for få varmepumper til, at de opnår tilstrækkelig ekspertise, og endnu færre kunder er i stand til at vurdere, om deres anlæg kører med en teknisk set acceptabel SPF. De er rigtig glade for at slippe af med oliefyret, og holder de varmen, uden at elregningen stikker helt af, nå ja, så er det vel ikke så skidt.

En uddannelse af installatører kunne bygges op omkring de mange problemstillinger beskrevet i nærværende rapport. Det er da også planen at udvikle uddannelsesmateriale baseret på erfaringerne beskrevet i rapporten.

En anden årsag er formentlig en lidt sløset indstilling hos visse installatører. De går på kompromis med deres faglige stolthed og sikrer sig blot, at kunderne har rigelig varme, så de slipper for klager og ekstra besøg. Mangel på indregulering synes ikke altid at skyldes mangel på viden.

Dette leder direkte til et andet behov, som rækker ud over mere og bedre uddannelse af installatørerne, nemlig behovet for dels et kvalitetssikringssystem, dels en løbende kontrol af anlæggene.

I forbindelse med installation af en varmepumpe burde installationen enten systematisk eller ved stikprøver kontrolleres af uvildige eksperter, og der burde være en sanktionsmulighed over for installatører, der ikke lever op til et vist kvalitetsniveau i installationer og service. Her kan man lade sig inspirere af den tyske støtteordning, som administreres af Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Støtten gradueres her efter, hvor god en virkningsgrad, der opnås i praksis. Husene bliver klassificeret efter hvor god en virkningsgrad, der forventeligt kan opnås, således at et gammelt hus med radiatorer ikke skal opnå samme virkningsgrad som et nyt med gulvvarme. Når varmepumpen har kørt et år, bliver el- og varmemåleren aflæst, og SPF bliver beregnet. Jo bedre SPF, der er opnået i forhold til forventet, jo højere støtte opnås der. Konsekvensen af dette er, at hele kæden, fra varmepumpeleverandør og installatør til slutbruger, er opmærksom på varmepumpens drift. Ingen er interesseret i at være årsag til, at de forventede støttemidler ikke bliver udløst, når første drift år er gået.

Da alle varmepumpeejere skal have mindst et årligt, lovpligtigt eftersyn af deres varmepumpe (BEK 100 og 1612), bør dette eftersyn foretages af en person, der samtidigt kan vurdere og ændre indstillingen af varmepumpe og varmesystem samt foreslå tiltag, der yderligere kan optimere driften af anlægget. Det kunne f.eks. gøres til et krav, at varmepumperne skal tilses af en godkendt VE- eller VPO-installatør. Dette kræver dog ændring i en eller flere Bekendtgørelser.

Der er foretaget en vurdering af besparelspotentialet ved at sørge for, at alle varmepumpeinstallationer bliver gode (SPF for V/V-varmepumper på 3,5 og for L/V-varmepumper på 3,0). Vurderingen indeholder mange antagelser, men samlet set leder det til, at besparelspotentialet er i størrelsesordenen 16 %.

Der vil dog være mange steder, hvor det ikke kan betale sig at forbedre en varmepumpes SPF, fordi det kræver for store tiltag. Det vurderes også, at det ofte i forbindelse med installation af en varmepumpe i et eksisterende hus vil kræve alt for mange ændringer at bringe SPF op fra god til rigtig god. Det skal desuden medregnes, at nogle personer ikke har råd eller lyst til at få foretaget de nødvendige ændringer, selvom det kan betale sig i det lange løb. Derfor er udnyttelse af det "halve" potentiale også beregnet. Ud fra undersøgelserne i kapitel 3 og 4 vurderes det, at det "halve" potentiale bør kunne nås.

Det vurderes også, at uden tiltag for at forbedre danske varmepumpeinstallationer vil fremtidige installationer fortsat have et gennemsnitligt merforbrug af el på 16 %.

Besparelsespotentialiet (det "halve" potentiale) vurderes for eksisterende installationer at være mellem 38 og 51 GWh/år og stigende til over 100 GWh/år frem mod 2035 uden indførelse af forbedret teknologi. Mere effektive varmepumper og bedre styring af varmeanlæggene vurderes at kunne mere end fordoble besparelsen i 2035

Med en elpris på 1.56 kr./kWh i 2016 til opvarmningsformål svarer dette til en besparelse på 60-80 mio. kr./år i 2017 og 180-400 mio. kr./år i 2035.

De økonomiske beregninger som medtager en lempelse af PSO-tariffen viser dog, at en meget høj SPF for en varmepumpeinstallation er nødvendig for gøre denne lige så rentabel som gas- og pillefyr. Varmepumpen kæmper mod energiafgiftsfritagelse på træpiller og en i øjeblikket lav gaspris med lavere energiafgifter end på el. Rammebetingelser og afgiftsstrukturen er derfor afgørende for rentabiliteten i en varmepumpeinstallation.

8 Referencer

- BEK 1612. Bekendtgørelse om jordvarmeanlæg. <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=176268>
- BEK 100. Bekendtgørelse om anvendelse af trykbærende udstyr. <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=31045>
- BR10, 2014. Bygningsreglement 2010. Byggecentrum.
- Dansk Energi et al, 2013. Varmepumper i Danmark – Udviklingsforløb for omstilling af oliefyr frem mod 2035. Dansk Energi, Energinet.dk og Dong, juli 2013. http://www.danskeenergi.dk/Analyse/Analyser/06_Varmepumpe.aspx
- Ea, 2016. Brændeforbrug i Danmark 2015. Ea Energianalyse. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/braende_2015.pdf
- Energinet, 2017. Miljødeklarering af 1 kWh el. Januar 2017. www.energinet.dk/DA/KLIMA-OG-MILJOE/Miljoedeklarationer/Sider/Miljoedeklarering-af-1-kWh-el.aspx.
- Energistyrelsen, 2012. Technology Data for Individual Heating Plants and Energy Transport.
- Energistyrelsen, 2016. Technology Data for Individual Heating Plants and Energy Transport Updated chapters.
- Pedersen, P.H., 2009. Norm-effektfaktorer. Teknologisk Institut. Januar 2009. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/forbrug-besparelser/byggeriets-energiforbrug/varmepumper/krav-varmepumpers-effektivitet/Normeffektfaktor-formel.pdf>
- Pedersen, S.V. and Jacobsen, E., 2013. Godkendelse af tilskudsberettigede anlæg, måling, dataindsamling og formidling. Teknologisk Institut. November 2013. <http://docplayer.dk/7782113-Godkendelse-af-tilskudsberettigede-anlaeg-maaling-dataindsamling-og-formidling.html>.
- SBi, 2013. Bygningers Energiforbrug. SBi-Anvisning 213. Statens Byggeforskningsinstitut.

Bilag 1: Kontrolpunkter til brug for inspektion af varmepumpeinstallationer

Besigtigelse

Udført af (navn, kontaktinfo):	
Dato:	
Aktuelt vejr (udetemp, sol, vind..):	

Stamdata

ID-nummer:			
Adresse:			
Kontaktperson:			
Tlf. nr.:		Mobil nr.	
Mail:			

Hustype:		Energiklasse:	
Opførselsår:		Renoveret år:	
Bebygget areal:		Opvarmet areal:	
Antal plan:		Kælder:	
Antal beboere:		Aldersfordeling:	

	Ja	Nej	Ved ikke
Ændring i antal beboere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja – fra hvor mange?			
Hvis ja – hvornår?			

Bygning	Ja	Nej	Ved ikke
Plantegning eller skitse over bygning?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tidligere opvarmning:			
Tidligere energiforbrug:			
Er bygningen blevet energirenoveret?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja – hvilket år:			
Vinduestype i bygningen:			
Er der problemer med at holde temperaturen i nogle rum? Hvilke? Hvornår?			
Brændeovn eller anden supplerende varme såsom solvarme)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brændeovn: Brændselstype og årligt forbrug af brænde i m ³ :			
Solvarme: Hvilken anlægstype, størrelse brugstank separat fra varmepumpe:			
Beskrivelse af ventilation(naturlig/VGV/?):			
Effektivitet af evt. varmeveksler i ventilationssystemet el. fabrikat/type:			
Beskriv husets eksponering for vind og sol:			

Måleudstyr	Ja	Nej	Ved ikke
Er volumenflowsmålere korrekt monteret?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er temperaturfølere placeret og isoleret korrekt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er rumtemperatursensoren placeret hensigtsmæssigt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er udetemperatursensoren placeret hensigtsmæssigt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Varmepumpe	Ja	Nej	Ved ikke
Installatør:			
Kontakt:			
Varmepumpe (mærke/model/type):			
Har der været udført årlig service?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja – af hvem?			
Volumen af brugsvandstank:			
Er der brugsvandscirkulation?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatur i top af brugsvandstank:			
Cirkulationspumpe (mærke/model/trin):			
Beskriv korrektion af cirkulationspumpe – hvis korrektion er foretaget under inspektion:			
Kører cirkulationspumpen altid? (Ja/kun når varmpumpen kører)			
Volumen af evt. buffertank:			
Matcher ydelseskapaiciteten det dimensionerende varmebehov?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er rørtilslutninger for frem og retur korrekt monteret?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varmeoptager:			
(L/V) Er udeluftaggregat placeret iht. fabrikantens forskrifter?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(V/V) Jordslangelængde i meter:			
(V/V) Brinetemperatur? (Frem/retur)			
Er tryk/påfyldning af brine korrekt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Varmepumpestyring	Ja	Nej	Ved ikke
Er brugsvandsproduktionen indstillet til kun at varme med elpatron?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er varmekurve (fremløbstemperatur) korrigeret under besigtigelsen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja, beskriv korrektionen:			
Logning af drift			
Driftstid kompressor:			
Driftstid el-patron:			
Driftstid brugsvand:			
Er legionella-funktion aktiveret?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Styrer Neogrid varmpumpen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Varmeafgiver	Ja	Nej	Ved ikke
Radiator, gulvvarme, eller kombination?			
Er der en shunt til at reducere fremløbstemperaturen til varmesystemet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvilken type termostater – analoge eller elektroniske?			
Vurdering af varmeafgiver: (Tilfredsstillende/mangelfuld)			

Et- eller tostrengsanlæg?			
Er der komponenter der begrænser flowet uhensigtsmæssigt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja – hvilke?			
Er radiatortermostater fuldt åbne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er gulvvarmefordelerrør indreguleret?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er der håndklædetørrer?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er der et filter på jordkredsen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja – er det blevet rensat?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er der filter på centralvarmen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja – er det blevet rensat?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er tryk/påfyldning af centralvarme korrekt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frem- og returtemp. i centralvarmen (under VP-drift)			

Bemærkninger
Bemærkninger i forbindelse med inspektion:

Huskeliste til fotos:
<ul style="list-style-type: none"> - Varmepumpe - Pumpeindstillinger - Varmekurve

Bilag 2: Oversigt over gennemgåede anlæg

I tabellerne ses udvalgte stamdata og nogle få driftsdata fra de gennemgåede varmepumpeinstallationer.

Første tabel er fra Teknologisk Institut. Den anden er fra Insero.

inst_id	elforbrug (kWh)	varmeprod (kWh)	COP	info_voksne	info_born	info_unge	Total habitants	ejendom_opvarmet_areal	ejendom_opfort	Rennovated	Beregnete enhedsforbrug	ejendom_olieforbrug (l)	ejendom_ydervaege material	ejendom_indervaege	ejendom_gulvkonstruktion	ejendom_gulvvarme	ejendom_radiatorer	ejendom_primaer_opvarmning	ejendom_kaelder	ejendom_1_sal	ejendom_vinduesareal_syd	ejendom_braendeovn	ejendom_braendeforbrug (m3)	ejendom_energimaerke	Source	varmepumpe_lagertank_kapacitet	Capacity (kW_th)	varmepumpe_solvarme	varmepumpe_ventilation
899	18076	45363	2,51	2			2	170	1900		154,8	1500	Mursten	Gips	Beton	Ja	Ja	Gulvvarme	Nej	Ja	Ja	8	Nej	20	Nej	V/V	400	9	Ja
991	22607	52793	2,34	2			2	132	1936		182,3	1500	Mursten	Beton	Tr	Nej	Ja	Radiatorer	Ja	Ja	7,8	Nej		Nej	L/V	200	10	Ja	
1046	17015	40157	2,36	2	2		4	288	2010		48,17		Mursten	Beton	Beton	Ja	Nej	Gulvvarme	Nej	Ja	16	Nej		Ja	V/V	185	10	Nej	
1114	15707	54302	3,46	2	2	1	5	240	1962	2009	136,4	3000	Mursten	Gasbeton	Beton	Ja	Ja	Gulvvarme	Ja	Nej	5	Ja	2	Nej	V/V	150	10	Ja	
1240	28442	72369	2,54	2			2	210	1997		85,68	1900	Mursten	Mursten	Beton	Ja	Nej	Gulvvarme	Ja	Ja	21	Nej	5	Nej	L/V	270	12	Nej	
1559	38752	84316	2,18	2			2	247	1850		147,4	3500	Mursten	Mursten	Beton	Ja	Ja	Gulvvarme	Nej	Ja	14	Ja	5	Nej	L/V	300	14	Nej	
1870	32918	81440	2,47	2			2	240	1802		147,4	Ejld, tom	Mursten	Mursten	Tr	Nej	Ja	Radiatorer	Nej	Ja	8	Ja	3	Nej	V/V	300		Nej	
1901	29033	49974	1,72	3			3	280	1985		85,68	2200	Mursten	Gasbeton	Tr	Ja	Ja	Radiatorer	Nej	Ja	11,5	Nej			V/V	300	8	Ja	
1937	14590	38264	2,62	2	1		3	230	1970		136,4	3000	Mursten	Mursten	Tr	Nej	Ja	Radiatorer	Ja	Nej	14	Nej		Nej	V/V	185	9	Nej	
1985	16586	55494	3,35	2			2	140	1924		154,8	2500	Mursten	Mursten	Tr	Nej	Ja	Radiatorer	Ja	Ja	6	Nej			V/V	130	10	Nej	

Tablel x.x

Udvalgte huse (Teknologisk Institut) - udvalgte stamdata og driftsdata trukket ud fra databasen for de 300 demo-anlæg i styrinvarmepumpe-projekterne

Gule kolonner er tal beregnet ud fra driftsdata opsamlet over længere tid i Styrinvarmepumpe demonstrationsprogrammet.

Grønne rækker er jordvarmeanlæg

Blå rækker er luftvarmeanlæg

Gule kolonner er tal beregnet ud fra driftsdata opsamlet over længere tid i Styrindvarmepumpe demonstrationsprogrammet.

Grønne rækker er jordvarmeanlæg

Blå rækker er luftvarmeanlæg

boks_id	elforbrug[kWh]	varmeprod[kWh]	COP	info_postnummer	info_voksne	info_born	info_unge	ejendom_numme	ejendom_opvarmet_area	ejendom_opfort	Rennovated	Beregnete_enhedsforbrug	Ejendomolieforbrug[L]/gas[m3]	ejendom_ydervægge/outwalls materia	ejendom_indervægge/inwall	ejendom_gulvkonstruktor	ejendom_gulvvarme	ejendom_radiatore	ejendom_primaer_opvarmnin	ejendom_kaelde	ejendom_1_sa	ejendom_vinduesareal_syd	ejendom_braendeovn	ejendom_braendeforbrug(m3)	ejendom_energimærk	Source	varmepumpe_lagertank_kapacite	Extra tank	Capacity (kW)	varmepumpe_solvarme	varmepumpe_ventilation
36	708	1655	2,34	8600	2	1	1	4	150	1987	0	85,68	1500	Træ	Gips	Andet	Ja	Ja	Gulvvarme	Nej	Ja	12	Ja	1	13240	V/V	120		6	Nej	Nej
89	6065	10880	1,79	8660	3	1	1	4	178	1877	0	154,86	2200	Mursten	Gips	Beton	Ja	Ja	Gulvvarme	Nej	Ja	8	Ja	1	2001	L/V	170		9	Ja	Nej
101	7051	48954	6,94	8766	2	2	205	1887	0	154,86	0	154,86	2500	Mursten	Andet	Beton	Ja	Ja	Gulvvarme	Nej	Ja	7	Ja	5	-	V/V	150		8,3	Nej	Nej
130	4172	9499	2,28	8700	2	2	136	1975	0	111,18	0	111,18	2600	Mursten	Gasbeton	Beton	Ja	Ja	Beton	Nej	Nej	10	Nej	8	Nej	V/V	500		8	Nej	Nej
309	7444	31484	4,23	8300	2	2	190	1906	0	154,86	0	154,86	1600	Mursten	Mursten	Træ	Ja	Ja	Radiatorer	Ja	Ja	13	Ja	3		V/V	180		12	Nej	Nej
315	2540	8560	3,37	8740	2	1	3	225	2010	0	0	0	0	Mursten	Træ	Beton	Ja	Nej	Gulvvarme	Nej	Ja	11,3	Nej	10		V/V	160		12	Nej	Nej
331	5805	16669	2,87	6040	2	1	3	130	1877	0	154,86	3000	Mursten	Beton	Beton	Ja	Ja	Gulvvarme	Nej	Ja	5,3	Nej	12		V/V	180		12	Nej	Nej	
424	7872	23204	2,56	7120	2	1	150	1969				1750	[m3]	Mursten			Ja	Ja	Radiatorer	Nej	Nej				L/V	180		12	Nej	Nej	
425	6085	13237	2,18	8700	2	2	143	1965				1350	[m3]	Mursten			Ja	Nej	Strålevarme	Nej	Nej				L/V	180		12	Nej	Nej	
434	10007	22176	2,22	8660	2	2	226	2007				2000	Mursten		Beton	Ja	Nej	Gulvvarme	Nej	Nej					L/V	180		12	Nej	Nej	
459	7853	20168	2,57	8660	2	1	179	2005				2100	Mursten		Beton	Ja	Nej	Gulvvarme	Nej	Nej					L/V	180		12	Nej	Nej	

Udvalgte huse (insero) - udvalgte stamdata og driftsdata trukket ud fra databasen for de 300 demo-anlæg i styrindvarmepumpe-projekterne

Bilag 3: Forudsætninger for økonomiberegninger

Introduktion

Bilaget beskriver forudsætningerne for økonomiberegningerne i kapitel 5.

Der henvises i teksten til kilde x således: [x], idet x er et af følgende listenumre:

1. ”Technology Data for Energy Plants - Individual Heating Plants and Energy Transport”, Energistyrelsen, oktober 2013
2. ”DREAM Phase 1 - Økonomisk model og finansieringsmetoder”, ForskEL projekt nr. 10744, december 2014
3. ”Økonomisk feasibility studie af opvarmning med varmepumper og elvarme i nye enfamiliehuse”, Teknologisk Institut for Det Strategiske Forskningsråd, maj 2014
4. Håndbog for Energikonsulenter 2012
5. ”Varmekapacitet i bygninger i forbindelse med energimæssig renovering og fleksibelt elforbrug”, Lars Olsen, Teknologisk Institut, 2014
6. Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut
7. Christian Holm Christiansen, Teknologisk Institut
8. www.bolius.dk/pillefyr-18510
9. energi-service.dk
10. pillefyrservice.dk
11. BE10-kursus ved Teknologisk Institut, foråret 2011
12. bolius.dk/det-koster-de-forskellige-opvarmningsformer-887
13. www.seas-nve.dk/privat/el-og-varme/varme/elvarme
14. V&S Prisdata, Bygningsrenovering/Husbygning, 2015
15. din-skorstensfejer.dk
16. hedestoker.dk/pillefyr_inkl_montering.html
17. energitilsynet.dk/fileadmin/Filer/0_-_Nyt_site/EL/Prisstatistik/2016/2.Q.2016_elprisstatistik_v_1_3.pdf
18. energitilsynet.dk/fileadmin/Filer/0_-_Nyt_site/GAS/Prisstatistik/2016/Naturgasstatistik_2._kvt._2016.pdf
19. fyringsolie-online.dk (06-09-2016)
20. Torben Hansen, Teknologisk Institut

Der udføres beregninger for huse med forskellige typer af varmekilde og forskellige årlige varmebehov. En oversigt over beregningerne er vist i tabel Bilag 3.1. Varmebehovene dækker spændet for typiske villaer i Danmark. Priser er estimeret for anlæg, som dækker alle de i tabel Bilag 3.1 viste beregningscases.

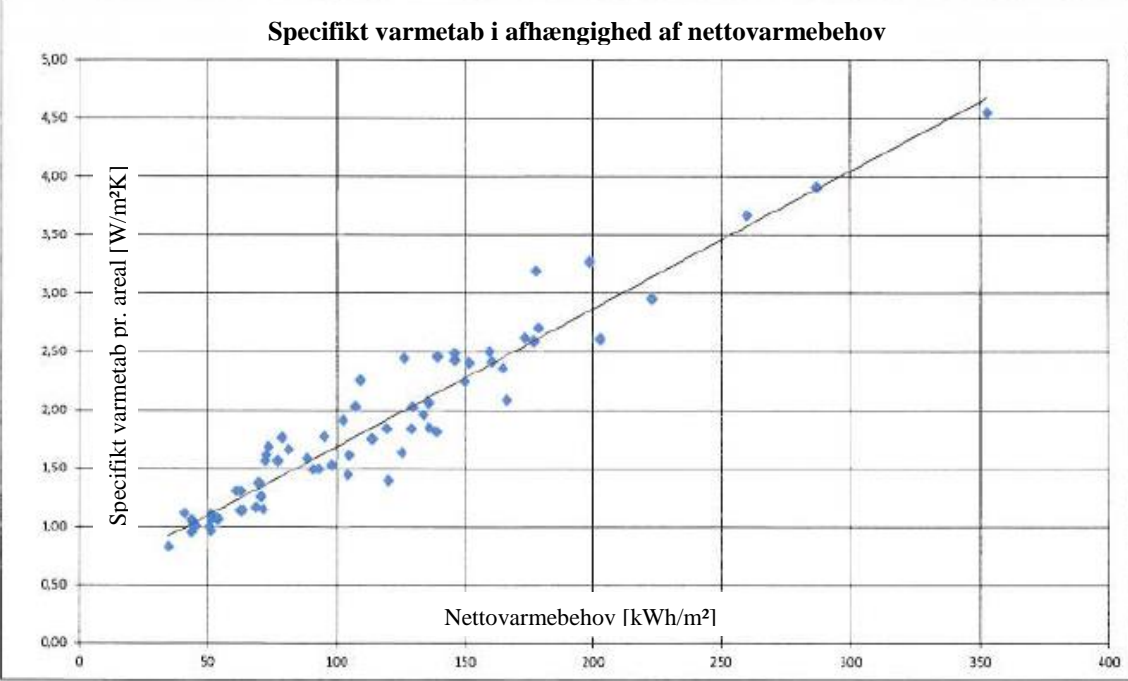
Cases til beregninger					
Husets rumopvarmningsbehov [MWh]	5	10	20	30	40
Varmekilde-typer					
VP-V/V COP 1,5	X	X	X	X	X
VP-V/V COP 2,0	X	X	X	X	X
VP-V/V COP 2,5	X	X	X	X	X
VP-V/V COP 3,0	X	X	X	X	X
VP-V/V COP 3,5	X	X	X	X	X
VP-V/V COP 4,0	X	X	X	X	X
VP-L/V COP 1,5	X	X	X	X	X
VP-L/V COP 2,0	X	X	X	X	X
VP-L/V COP 2,5	X	X	X	X	X
VP-L/V COP 3,0	X	X	X	X	X
VP-L/V COP 3,5	X	X	X	X	X
VP-L/V COP 4,0	X	X	X	X	X
Olie	X	X	X	X	X
Gas	X	X	X	X	X
Piller	X	X	X	X	X

Tabel Bilag 3.1

I øvrigt gælder:

- Alle resulterende beløb er inkl. moms.
- Kursen på Euro sættes til 7,5kr./€.
- I beregningerne på varmepumper forudsættes det, at husets øvrige elforbrug er minimum 4000 kWh/år, således at al elforbrug til varmepumpen købes til afgiftslettet pris.

Forudsætninger

Parameter	Kilde
<p><u>Omregning fra årligt rumvarmebehov i MWh til dimensionerende effekt i kW på varmekilde:</u></p>  <p>Eks: Hus 100 m² med et rumvarmebehov på 20.000 kWh => 200 kWh/m² Aflæsning 2,8 W/m²/K => Spec. varmetab for huset 280 W/K Dim temp -12°C og indetemp 20°C => Dim varmetab 32*280 = 8960 W Dim varmeeffekt i kW fås ved at gange varmebehov i MWh med 8960/20000 = 0,45</p>	<p>[5]</p>
<p><u>Tillæg til dimensionerende termisk effekt for varmekilde hidrørende fra varmtvandsforbrug</u></p> <p>Varmtvandsforbrug 150 l/døgn Indløbstemp. 10°C, varmtvandstemperatur 50°C Spec. varmekapacitet 4200 J/K</p> <p>Tillæg: 150 liter * 40 K * 4200 J/K/l / 3,6*10⁶ J/kWh / 24 timer = 0,292 kW. Rundes op til 0,5 kW for også at tage hensyn til varmetabet fra brugsvandsbeholderen</p>	<p>[6]</p>
<p>Varmepumpe dækningsgrad af dimensionerende effektbehov: 85 % Det resterende effektbehov dækkes af elpatron.</p>	<p>[1]</p>
<p>Varmt brugsvand, årligt [MWh]: 150 liter/døgn * 40 K * 4200 J/K/l / 3,6*10⁶ J/kWh * 365 døgn * 1000 = 2,56 MWh</p>	<p>[6]</p>

<p><u>Varmetab fra varmtvandsbeholder, W</u></p> <p>Lagertemperatur 50°C, rumtemperatur 20°C => $\Delta T=30$ K</p> <p>Varmepumpe og pillefyr (middel af beholder på 150 og 200 l med 75 mm isolering): Volumen: 175 l Varmetab: 1,75 W/K => Totalt 1,75 W/K * 30 K = 52,5 W Varmetab (MWh) => $52,5 \text{ W} * 8760 \text{ t/år} / 10^6 = \mathbf{0,46 \text{ MWh}}$</p> <p>Olie og gas (middel af beholder på 50 og 100 l med 75 mm isolering): Volumen: 75 l Varmetab: 1,1 W/K => Totalt 1,1 W/K * 30 K = 33 W Varmetab (MWh) => $33 \text{ W} * 8760 \text{ t/år} / 10^6 = \mathbf{0,29 \text{ MWh}}$</p>	<p>[4], s. 57</p>																				
<p><u>Brændværdi (kWh/enhed)</u></p> <table border="0"> <tr> <td>V/V-varmepumpe</td> <td>kWh el</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L/V-varmepumpe</td> <td>kWh el</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Oliefyr</td> <td>liter</td> <td>10</td> <td>[8]</td> </tr> <tr> <td>Gasfyr</td> <td>m³</td> <td>11</td> <td>[8]</td> </tr> <tr> <td>Pillefyr</td> <td>kg</td> <td>5</td> <td>[8]</td> </tr> </table>	V/V-varmepumpe	kWh el	1		L/V-varmepumpe	kWh el	1		Oliefyr	liter	10	[8]	Gasfyr	m ³	11	[8]	Pillefyr	kg	5	[8]	
V/V-varmepumpe	kWh el	1																			
L/V-varmepumpe	kWh el	1																			
Oliefyr	liter	10	[8]																		
Gasfyr	m ³	11	[8]																		
Pillefyr	kg	5	[8]																		
<p><u>Drift og vedligehold [kr./år]</u></p> <table border="0"> <tr> <td>V/V-varmepumpe</td> <td>1500</td> <td>[2], s. 12</td> </tr> <tr> <td>L/V-varmepumpe</td> <td>1500</td> <td>[2], s. 12</td> </tr> <tr> <td>Oliefyr</td> <td>1500 (inkl. skorstensfejer)</td> <td>[9], [15]</td> </tr> <tr> <td>Gasfyr</td> <td>1000</td> <td>[9]</td> </tr> <tr> <td>Pillefyr</td> <td>2000 (inkl. skorstensfejer)</td> <td>[10], [15]</td> </tr> </table>	V/V-varmepumpe	1500	[2], s. 12	L/V-varmepumpe	1500	[2], s. 12	Oliefyr	1500 (inkl. skorstensfejer)	[9], [15]	Gasfyr	1000	[9]	Pillefyr	2000 (inkl. skorstensfejer)	[10], [15]						
V/V-varmepumpe	1500	[2], s. 12																			
L/V-varmepumpe	1500	[2], s. 12																			
Oliefyr	1500 (inkl. skorstensfejer)	[9], [15]																			
Gasfyr	1000	[9]																			
Pillefyr	2000 (inkl. skorstensfejer)	[10], [15]																			
<p>Tekniske levetider (år)</p> <table border="0"> <tr> <td>V/V-varmepumpe</td> <td>20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L/V-varmepumpe</td> <td>20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Oliefyr</td> <td>20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gasfyr</td> <td>20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pillefyr</td> <td>20</td> <td></td> </tr> </table>	V/V-varmepumpe	20		L/V-varmepumpe	20		Oliefyr	20		Gasfyr	20		Pillefyr	20		<p>[2], s. 9</p>					
V/V-varmepumpe	20																				
L/V-varmepumpe	20																				
Oliefyr	20																				
Gasfyr	20																				
Pillefyr	20																				
<p><u>Effektivitet, årsgnsn. (moderne)</u></p> <table border="0"> <tr> <td>V/V-varmepumpe</td> <td>100 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L/V-varmepumpe</td> <td>100 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Oliefyr</td> <td>95 %</td> <td>[20]</td> </tr> <tr> <td>Gasfyr</td> <td>100 %</td> <td>[11]</td> </tr> <tr> <td>Pillefyr</td> <td>85 %</td> <td>[8]</td> </tr> </table>	V/V-varmepumpe	100 %		L/V-varmepumpe	100 %		Oliefyr	95 %	[20]	Gasfyr	100 %	[11]	Pillefyr	85 %	[8]						
V/V-varmepumpe	100 %																				
L/V-varmepumpe	100 %																				
Oliefyr	95 %	[20]																			
Gasfyr	100 %	[11]																			
Pillefyr	85 %	[8]																			
<p><u>Elforbrug hjælpeudstyr [kWh/år]</u></p> <table border="0"> <tr> <td>V/V-varmepumpe</td> <td>250</td> <td>[3], s. 10¹⁾</td> </tr> <tr> <td>L/V-varmepumpe</td> <td>0</td> <td>[3], s. 9²⁾</td> </tr> <tr> <td>Oliefyr</td> <td>250</td> <td>[11]³⁾</td> </tr> <tr> <td>Gasfyr</td> <td>150</td> <td>[1], s. 31⁴⁾</td> </tr> <tr> <td>Pillefyr</td> <td>500</td> <td>[11]⁵⁾</td> </tr> </table>	V/V-varmepumpe	250	[3], s. 10 ¹⁾	L/V-varmepumpe	0	[3], s. 9 ²⁾	Oliefyr	250	[11] ³⁾	Gasfyr	150	[1], s. 31 ⁴⁾	Pillefyr	500	[11] ⁵⁾						
V/V-varmepumpe	250	[3], s. 10 ¹⁾																			
L/V-varmepumpe	0	[3], s. 9 ²⁾																			
Oliefyr	250	[11] ³⁾																			
Gasfyr	150	[1], s. 31 ⁴⁾																			
Pillefyr	500	[11] ⁵⁾																			

<u>Energipriser</u>		
El, kr./kWh	2,29 ¹	
El, varmepumpe, kr./kWh	1,56 ¹	[17] ⁶⁾
Olie, kr./l	8,0	[13]
Naturgas, kr./m ³	6,5	[19] ⁸⁾
Piller, kr./kg	1,98	[18]
¹ PSO-tariffen med og uden lempelse er medtaget som beskrevet i Bilag 4		[12]
<u>Energipriser, inflation (%)</u>		[2] s. 29
El	2,0%	
El, varmepumpe	2,0%	
Olie	2,0%	
Naturgas	2,0%	
Piller	2,0%	
<u>Anlægspriser: Varmepumper</u>		
Der er fundet oplysninger om størrelser og priser for husstands-varmepumper i kilderne [1], [3] og [14], se herunder. Ved regression på disse tal er udledt formler til beregning af priser for anlæg, som matcher de forskellige beregningscases (opvarmningsbehov).		
V/V-varmepumpe:		
[1] side 87 tabel 5.22 hhv. side 90 tabel 5.24		
Størrelser og –priser for varmepumpe til en eksisterende hhv. ny bolig (år 2015, pris tillagt moms samt 10.000 kr. inkl. moms til varmtvandsbeholder)		
Eksisterende:	10 kW	141.250 kr.
Ny:	5 kW	113.125 kr.
[14] side 471 (tillagt moms):		
	4, kWh	93.250 kr.
	5,3 kWh	100.500 kr.
	7,5 kWh	108.875 kr.
	9,4 kWh	117.500 kr.
	11 kWh	125.000 kr.
L/V-varmepumpe:		
[1] side 77 tabel 5.18 hhv. side 80 tabel 5.20		
Størrelser og –priser for varmepumpe til en eksisterende hhv. ny bolig (år 2015, pris tillagt moms)		
Eksisterende:	10 kW	103.125 kr.
Ny:	5 kW	78.750 kr.
[3] side 13 og 15 (priser aflæst på figur 3.1, varmepumpe tillagt moms):		
Tre vurderede varmepumpestørrelser og priser		
BR10:	5,7 kW	103.750 kr.
Lavenergiklasse 2015:	3,4 kW	96.250 kr.
Bygningsklasse 2020:	2,6 kW	92.500 kr.

<p style="text-align: center;">Investering i varmepumpe</p>		
<p>Anlægspriser: Gasfyr Der er fundet oplysninger om størrelser og priser for gasfyr i forskellige kilder. Ved regression for disse tal er der udledt formler til beregning af priser for anlæg, som matcher de forskellige beregningscases.</p>		[1], s. 31 [2], s.7-9 [7] [12] ⁷⁾
<p>Anlægspriser: Oliefyr Der er fundet oplysninger om størrelser og priser for oliefor i forskellige kilder. Ved regression for disse tal er der udledt formler til beregning af priser for anlæg, som matcher de forskellige beregningscases. Olie- og gasfyrspriserne har vist sig at ligge meget tæt op ad hinanden og er derfor sat ens for samme effekt.</p>		[1], s. 20 [2], s.7-9 [12] ⁷⁾
<p>Anlægspriser: Pillefyr Der er fundet oplysninger om størrelser og priser for pillefyr i forskellige kilder. Ved regression for disse tal er der udledt en formel til beregning af priser for anlæg, som matcher de forskellige beregningscases.</p>		[1], s. 45 [12] ⁷⁾ [16]

Noter til tabel:

- 1) 100 W 1/3 af tiden (brinepumpe)
- 2) Ventilatorer inkl. i COP
- 3) 'Varmeanlæg s. 13'
- 4) Middelværdien af angivet interval
- 5) 'Varmeanlæg s. 14'
- 6) Til hjælpeudstyr
- 7) Se figur Bilag 3.1 (næste side)
- 8) Vurdering ud fra kilden

	Anskaffelses- pris	Energipris brutto	Årligt forbrug	Varme- udgift kr./år	Varmeudgift på 10 år inkl. nyt varmeanlæg beregnet ud fra nuværende energipris
Træpillefyr	Fra 35.000 kr.	1,75-2,20 kr./kg	4.100 kg	7.175- 9.020 kr.	106.750- 125.200 kr.
Fjernvarme	40.000- 100.000 kr.	617 kr./MWh	18,1 MWh	11.168 kr.	151.680- 211.680 kr.
Varme- pumpe (luft til vand)	80.000- 120.000 kr.	2,20 kr./kWh**	6.050 kWh	13.310 kr.	213.100-253.100 kr.
Nyt naturgasfyr	40.000- 50.000 kr.	9,50 kr./m ³	1.700 m ³	16.150 kr.	201.500- 211.500 kr.
Jordvarme	120.000- 150.000 kr.	2,20 kr./kWh**	5.300 kWh	11.660 kr.	236.600- 266.600 kr.
Nyt olie- fyr	35.000- 50.000 kr.	8 kr./l	1.850 liter	14.800 kr.	183.000- 198.000 kr.
Gammelt oliefyr		8 kr./l	2.400 liter	19.200 kr.	192.000 kr.

Kilde: Beregningerne er lavet af Rados Nenadovic, fagekspert i Bolius, februar 2016.

Der er regnet med et standard parcelhus 1960'erne-1970'er hus på 130 m², og der er tale om ca. priser.

Figur Bilag 3.1. Kun anlægsprisen for pilefyr anvendes fra dette skema.

** der er i Bolius' beregninger ikke taget hensyn til reduktionen i elprisen til opvarmningsformål på 0,73 kr./kWh (se øverst i skemaet på side 62) eller reduktion i PSO afgiften, som er beskrevet i Bilag 4.

Beregninger

Resultatet af en beregning er en nutidsværdi i kr. af omkostningerne ved etablering af en varmekilde og drift af denne over den tekniske levetid. Nutidsværdien præsenteres som et negativt tal. Ved sammenligning mellem de forskellige løsninger er den mest rentable løsning den, som har den mindst negative værdi.

Herunder ses et eksempel på inddata og resultater (kopi fra det udviklede regneark). I eksemplet er regnet på en V/V-varmepumpe med SPF 3,5. Der kan også regnes med lån i beregningsmodellen, men dette er ikke gjort i beregningerne i rapporten.

Inddata	(VP-L/V SPF 4,0 ; 40 MWh)	
Investering	kr	103,176
Levetid	år	20
Lån (annuitet)	kr	0
Lån løbetid	år	20
Lån rente	%	4.00
Rentefradrag	%	33.0%
Energiforbrug	enh/år	11,721.56
Energipris år 0	kr/enhed	1.56
Energi prisudvikl	%/år	2.00%
Elforbr, hjælpeudst	kWh/år	0
Elpris	kr/kWh	1.56
Elprisens udvikling	%/år	2.00%
D&V år 0	kr	1,500.00
Inflation	%/år	2%
Resultater		
Nuværdi år levetid	kr	<u>-439,817</u>
Restgld ult år levetid	kr	0

Bilag 4: Økonomiberegning med og uden lempelse af PSO-tariffen

I dette bilag gennemføres der økonomiske beregninger med og uden en lempelse af PSO-tariffen for at vurdere, hvilken indflydelse lempelsen af PSO-tariffen vil have på varmepumpers rentabilitet set i forhold til gas-, olie- og pillefyr.

Figur B4.1 og B.4.3 er identiske med figur 5.10 og 5.11, hvor PSO-tariffen er lempet (sidste række i tabel B4.1), mens figur B4.2 og B4.4 viser resultatet af beregninger hvor PSO-tariffen fortsættes som i midterste række i tabel B4.1).

Kr./MWh	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
PSO-tarif før lempelse	251	270	214	210	204	200	180	155	135
PSO-tarif efter lempelse	173	176	100	54	12	0	0	0	0

Tabel B4.1. Skønnet udvikling i PSO-tariffen med og uden lempelse (kilde: Energistyrelsen, januar 2017).

Tabel B4.1 angiver kun PSO-tariffen uden lempelse for 9 år, mens økonomiberegningerne er for 20 år. Da der er en lineær udvikling i PSO-tariffen uden lempelse mellem år 2022 og 2025 i tabel B4.1, anvendes dette til en lineær fremskrivning (reduktion) af PSO-tariffen mellem 2025 og 2036. Ifølge denne ekstrapolation ville PSO-tariffen have være væk i 2032.

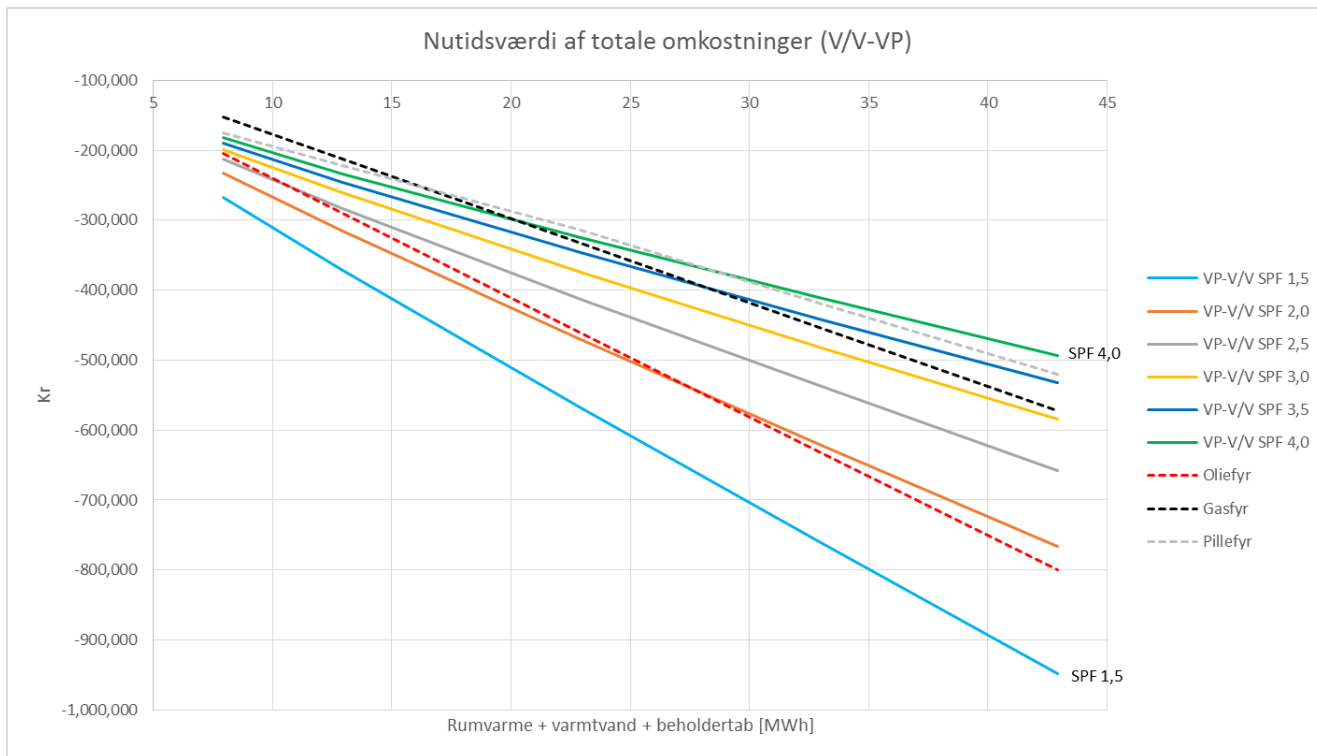
Kr./MWh	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
PSO-tarif før lempelse	113	91	69	47	25	3	0
PSO-tarif efter lempelse	0	0	0	0	0	0	0

Tabel B4.1. Skønnet udvikling i PSO-tariffen med og uden lempelse og udfasning.

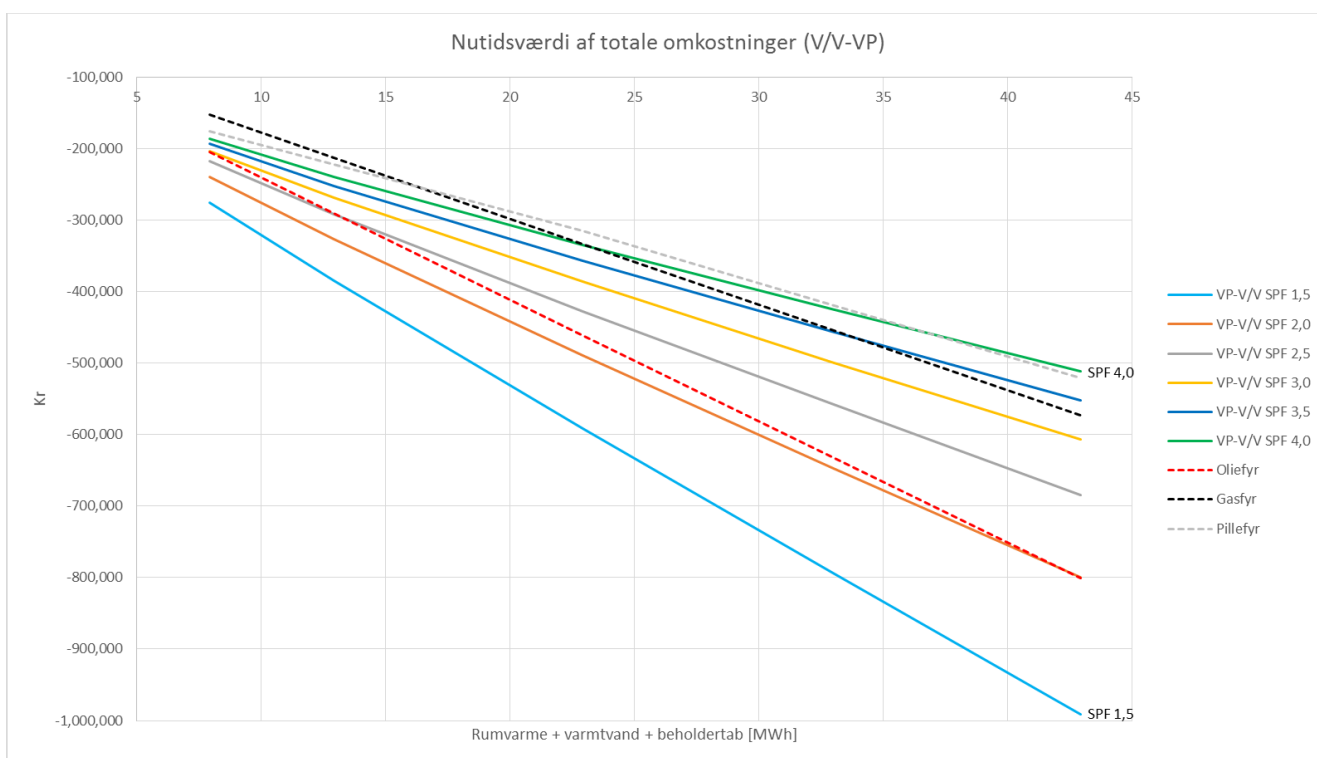
For både at tage hensyn til en generel stigning i energipriserne (her 2 %) og PSO-tariffen, er elprisen først fremskrevet for alle 20 år med den procentvise stigning af energiprisen. Herefter er PSO-tariffen lagt til for de enkelt år.

Som det ses af figur B4.1-B4.4, ændres nutidsværdien ikke for olie-, gas- og pillefyr, da disse kun har et lille elforbrug. Lempelsen af PSO-tariffen giver en svag fordel til varmepumperne, da deres energikilde udelukkende er elektricitet. Nutidsværdien mindskes dog kun med lige under 5%.

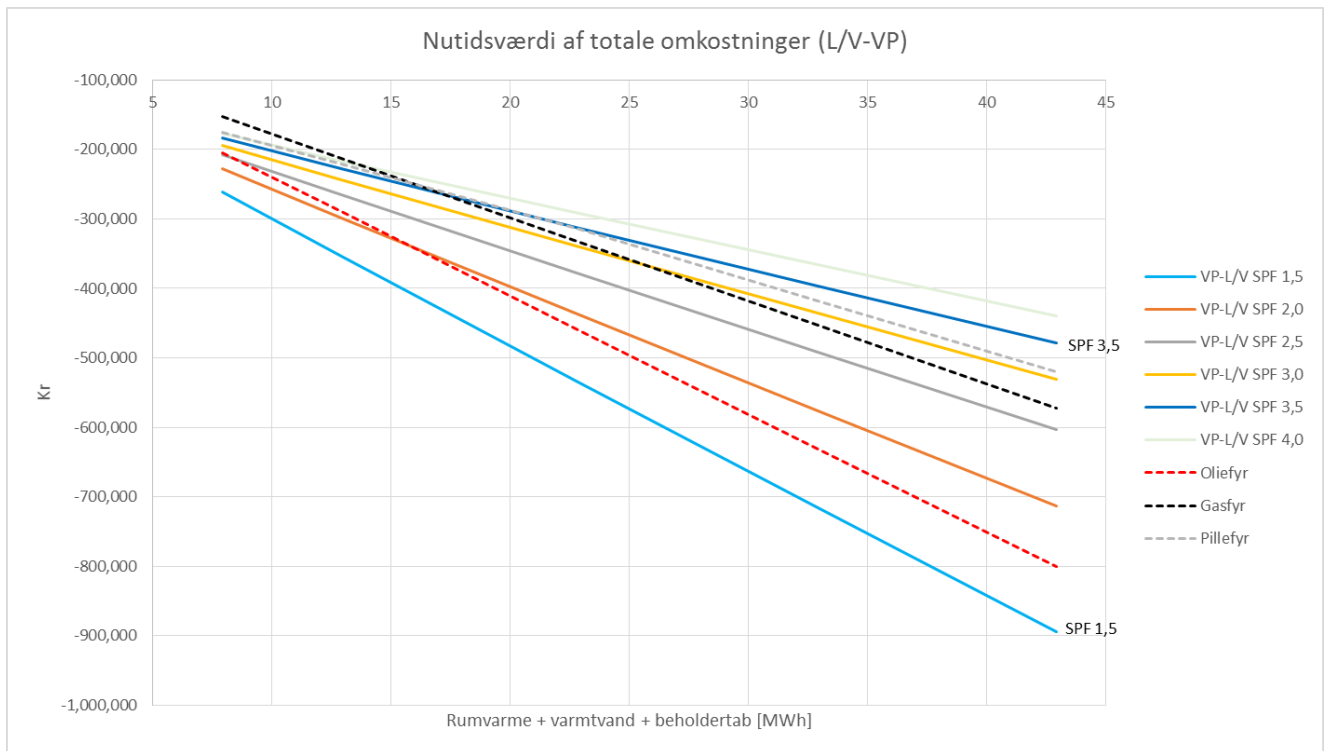
Grunden til en kun lille fordel til varmepumperne er, at nok reduceres PSO-tariffen relativt meget, men denne udgør kun en mindre del af den samlede elpris. Desuden er der indregnet en energiprisstigning på 2 %. Figur B4.5 viser elprisens udviklingen under de ovenstående antagelser.



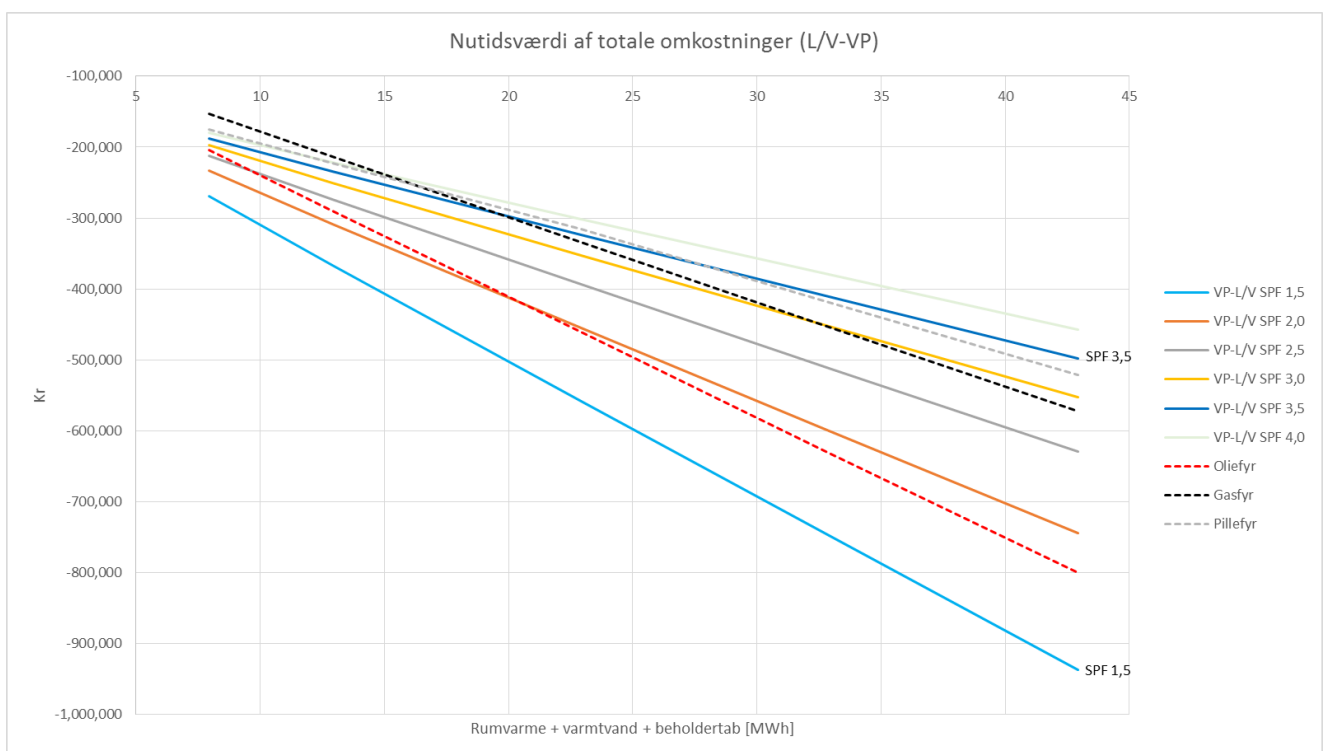
Figur B4.1. Nutidsværdien for installation og drift af væske/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr **med** lempelse af PSO-tariffen.



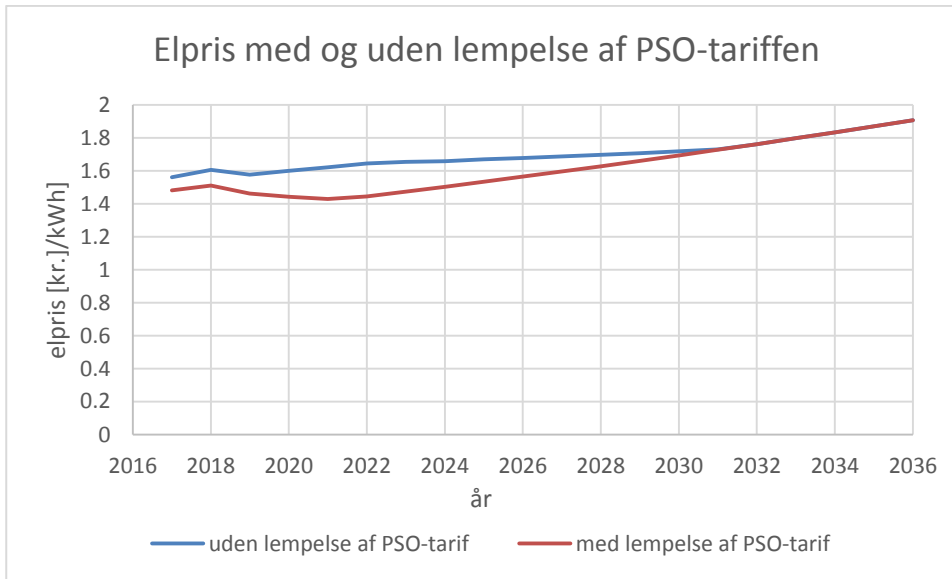
Figur B4.2. Nutidsværdien for installation og drift af væske/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr **uden** lempelse af PSO-tariffen.



Figur B4.3. Nutidsværdien for installation og drift af luft/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr **med** lempelse af PSO-tariffen.



Figur B4.4. Nutidsværdien for installation og drift af luft/vand-varmepumper sammenlignet med installation og drift af olie-, gas- og pillefyr **uden** lempelse af PSO-tariffen.



Figur B4.5. Elprisens udvikling over de næste 20 år under de givne antagelser.