



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Varmepumper og elforbrug

*Betydningen af ændrede komfortpraksisser*

Christensen, Toke Haunstrup; Gram-Hanssen, Kirsten; Petersen, Poul Erik; Munter, Preben; Marsh, Rob; Larsen, Troels Fjordbak; Gudbjerg, Erik; Rasmussen, Lisbeth Stryhn

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Christensen, T. H., Gram-Hanssen, K., Petersen, P. E., Munter, P., Marsh, R., Larsen, T. F., Gudbjerg, E., & Rasmussen, L. S. (2011). *Varmepumper og elforbrug: Betydningen af ændrede komfortpraksisser*. (1 udg.) SBI forlag. SBI Bind 2011 Nr. 24

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SBi 2011:24

# Varmepumper og elforbrug

Betydningen af ændrede komfortpraksisser





# Varmepumper og elforbrug

Betydningen af ændrede komfortpraksisser

Toke Haunstrup Christensen

Kirsten Gram-Hanssen

Poul Erik Petersen

Preben Munter

Rob Marsh

Troels Fjorbak Larsen

Erik Gudbjerg

Lisbet Stryhn Rasmussen

Titel	Varmepumper og elforbrug
Undertitel	Betydningen af ændrede komfortpraksisser
Serietitel	SBi 2011:24
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2011
Forfattere	Toke Haunstrup Christensen, Kirsten Gram-Hanssen, Poul Erik Petersen, Preben Munter, Rob Marsh, Troels Fjorbak Larsen, Erik Gudbjerg og Lisbet Stryhn Rasmussen
Sprog	Dansk
Sidetæl	162
Litteratur-henvisninger	Side 162
Emneord	Varmepumper, elforbrug, komfort, energieffektivitet, klimaforandringer
ISBN	978-87-563-1548-7
Omslag	Foto: Toke Haunstrup Christensen
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post <a href="mailto:sbi@sbi.dk">sbi@sbi.dk</a> <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a>

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven

# Indhold

Forord .....	6
Sammenfatning og konklusion .....	7
Læsevejledning .....	8
TRE INTERNATIONALE ARTIKLER .....	9
Heat pumps and user practices – energy reductions or increased comfort? 10	
Paper presented at 6th Dubrovnik Conference .....	10
Abstract.....	10
Introduction .....	10
Methods .....	11
Analysis of permanently occupied dwellings .....	13
Analysis of summerhouses.....	19
Technical inspektions .....	22
Conclusion and discussion .....	22
References.....	23
Air-to-air Heat Pumps: A Wolf in Sheep’s Clothing? .....	25
Paper presented at ECEEE 2011 summer study .....	25
Abstract.....	25
Introduction .....	26
Theoretical approach .....	26
Method .....	28
Comfort practices in Denmark and other countries .....	29
Heat pumps in dwellings.....	29
Results from survey and analysis of metering data .....	29
Results from interviews .....	32
Heat pumps in summerhouses.....	34
Results from survey and analysis of metering data .....	34
Results from interviews .....	36
Changing practices and consequences for electricity consumption .....	39
Conclusion .....	40
References.....	41
Energy Savings with Air-to-Air Heat Pumps – True or False? Findings and Policy Implications from a Danish Study .....	43
Paper presented at eedal, Copenhagen,.....	43
Abstract.....	43
Introduction .....	44
Methods .....	45
Analysis of permanently occupied dwellings .....	46
Analysis of survey dataset on permanently occupied dwelling.....	46
Use of the heat pump and changing norms of comfort in all-year houses.....	47
Analysis including electricity consumption, permanently occupied dwellings .....	49
Analysis of summerhouses.....	53
Analysis of summerhouse survey dataset .....	53
Use of the heat pump in summerhouses and change in norms of comfort .....	54
Analysis of dataset with electricity consumption, summerhouses.....	55
Further calculations on summerhouses.....	56
Discussion.....	56
Conclusion .....	57
References.....	59
BAGGRUNDSNOTATER .....	61

Spørgeskemaundersøgelse af brug og komfortvaner knyttet til luft/luft varmepumper.....	62
Indledning.....	62
Boliger.....	65
Hvem er respondenterne?.....	65
Hvordan bor respondenterne? .....	68
Motivation for at installere varmepumpe og tilfredshed .....	70
Opvarmningsform før/efter installering af varmepumpe.....	71
Kombination af varmepumpe med andre opvarmningsformer .....	74
Installeringen af varmepumpen – producent og tidspunkt .....	75
Betyder varmepumpen ændrede komfortvaner? .....	77
Sommerhuse.....	79
Hvem er respondenterne.....	79
Hvordan bor de?.....	82
Motivation for at installere varmepumpe og tilfredshed .....	83
Opvarmningsform før/efter installering af varmepumpe.....	84
Kombination af varmepumpe med andre opvarmningsformer .....	87
Installeringen af varmepumpen – producent og tidspunkt .....	87
Betyder varmepumpen ændret komfortvaner? .....	88
Resultaterne af follow-up undersøgelsen.....	90
Sammenfatning.....	92
Referencer .....	93
Bilag 1: Invitation til varmepumpekunder (brev) .....	94
Bilag 2: Spørgeskema (boliger) .....	95
Bilag 3: Spørgeskema (sommerhuse) .....	98
Analyse af elforbrug i husstande med Varmepumper – før og efter .....	101
Indledning.....	101
Data.....	101
Supplerende variable .....	101
Outliers.....	105
Graddagekorrektion .....	105
Delkonklusion.....	107
Dataanalyse .....	107
Parvis t-test .....	107
Generel besparelseeffekt.....	112
Fuld regression med alle supplerende variable .....	113
Udvælgelse af variabelmængde .....	116
Regression for boliger med primær elvarme og varmepumpe. ....	118
Adfærd efter installation af varmepumpen.....	123
Konklusion.....	125
Appendiks A: Sommerhuse .....	126
Luft/luft varmepumpers effektivitet.....	131
Formål.....	131
Data.....	131
Effektivitet under køling.....	137
Dellastdata .....	137
Sammenfatning.....	138
Bilag – Analyse af testresultater fra /1/ .....	139
Referencer .....	139
Analyse af energi- og indeklimaforhold i eksisterende parcelhuse og sommerhuse.....	140
Introduktion .....	140
Forudsætninger.....	140
Parcelhuse .....	140
Sommerhuse .....	142
Analyse af elbesparelsepotentiale ved brug af varmepumper i eksisterende parcelhuse og sommerhuse .....	144
Beregningsparametre.....	144
Resultater .....	144

Analyse af årsager til overophedning i eksisterende parcelhuse og sommerhuse .....	147
Beregningsparametre.....	147
Resultater .....	148
Referencer .....	161



# Forord

Denne rapport sammenfatter resultaterne af projektet "Varmepumper og elforbrug – betydningen af ændrede komforttemperaturer" finansieret af Elforsk i 2009. Seniorforsker Kirsten Gram-Hanssen og forsker Toke Haunstrup Christensen fra SBi har stået for ledelsen af projektet, som blev gennemført i samarbejde med SEAS-NVE, Lokalenergi og IT-Energy. Projektets resultater har været præsenteret på tre internationale forskningskonferencer, og nærværende rapport indeholder disse tre konferencepapirer, delrapporter fra projektets forskellige delanalyser samt en kort sammenfatning af resultaterne.

Der rettes hermed en stor tak til de husstande, der har bidraget til projektets gennemførelse ved at svare på vores spørgeskemaundersøgelse samt i særlig grad til de familier, der deltog i de kvalitative interview og tekniske undersøgelser af deres varmepumper.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
By, bolig og erhverv  
September 2011

Hans Thor Andersen  
*Forskningschef*

## Sammenfatning og konklusion

For elopvarmede huse kan varmepumper ved korrekt brug reducere elforbruget til opvarmning med en faktor 3-4 sammenholdt med traditionelle elpaneler. De udgør derfor et væsentligt element i den danske energieffektiviseringsstrategi. Formålet med dette projekt har været at undersøge, hvorvidt denne besparelse opnås i praksis eller om besparelspotentialet omsættes til øget komfort i form af højere inde-temperatur, øget opvarmningsareal, længere opvarmnings sæson, brug til køling i sommerperioden el. lign.

Projektet har fokuseret på luft-til-luft varmepumper der er opsat som erstatning for traditionelle elpaneler, dels i huse til helårsbeboelse og dels i sommerhuse. Projektets resultater baserer sig på en spørgeskemaundersøgelse (survey) blandt 450 ejere af helårshus eller sommerhus med en luft-til-luft varmepumpe installeret. For de huse, hvor det har været muligt, er survey-resultaterne sammenholdt med husenes årlige elforbrug årene før og efter installeringen af varmepumpen. Blandt de deltagende husstande er desuden udvalgt 12 familier til nærmere studier i form af kvalitative interview og en teknisk inspektion af deres varmepumper. Projektet inkluderer desuden en analyse af det potentielle kølebehov i danske boliger under forskellige forudsætninger.

På baggrund af projektets resultater konkluderes det, at den gennemsnitlige elbesparelse i helårshusenes elforbrug er ca. 23%, hvilket er noget mindre end den teoretisk potentielle besparelse. Forklaringen på den manglende besparelse skal findes i en række forskellige forhold knyttet til ændrede komfortpraksisser. Herunder at boligejerne holder en højere temperatur efter at de har anskaffet varmepumpen, at de opvarmer arealer som ikke tidligere har været opvarmet, fx udestuer, samt at de i mindre omfang også benytter varmepumpen til køling af huset på varme sommerdage. For sommerhusene er konklusionen, at der gennemsnitligt set blandt de deltagende sommerhusejere slet ikke er sparet el ved opsætning af varmepumpen. Dette skyldes hovedsageligt at mange sommerhusejere ved opsætning af varmepumpen samtidigt er begyndt at opvarme deres sommerhus i hele vinterperioden i modsætning til tidligere, hvor de enten lukkede sommerhuset helt ned for vinteren (dvs. uden nogen form for opvarmning) eller holdt sommerhuset opvarmet ved en lavere temperatur. De varmepumpe-modeller, som indgår i undersøgelsen, har 16 grader celsius som laveste set-punkt, hvilket betyder, at de ikke kan sænkes til en lavere temperatur. Den tekniske inspektion af udvalgte varmepumper giver ikke anledning til at formode, at tekniske fejl eller forkert anvendelse af varmepumperne kan forklare den manglende besparelse.

Delanalysen af hvilken betydning fremtidige klimaforandringer kan få for brugen af køling i den danske boligmasse viser, at elforbruget til køling kan komme til at udgøre en ikke uvæsentlig del af boligens samlede primære energiforbrug for nyere huse bygget efter år 2000, hvorimod den ældre bygningsmasse i mindre grad er udsat for overophedning.

# Læsevejledning

De enkelte elementer i projektet er yderligere uddybet i de følgende konferencepapirer og notater. Først bringes tre internationale konferencepapirer, som med lidt forskellig vægtning sammenfatter og analyserer resultaterne fra delanalyser i projektet.

## *Heat pumps and user practices – energy reductions or increased comfort?*

Dette konferencepapir inkluderer såvel survey, elforbrugsanalyser og kvalitative interview. Fokus er på størrelsen af rebound-effekten ved introduktion af luft-til-luft varmepumper, særligt for helårshuse som primært var opvarmet med elvarme før installeringen og primært er opvarmet med varmepumpen efter. Papiret undersøger også de ændrede praksisser, som er skyld i denne rebound-effekt, og forsøger at give mere sociologiske forklaringer på disse ændrede praksisser.

## *Air-to-air Heat Pumps: A Wolf in Sheep's Clothing?*

Dette konferencepapir lægger hovedvægten på analysen af survey og kvalitative interview. Papiret undersøger med afsæt i et praksisteoretisk perspektiv de ændringer i komfortpraksisser, som følger efter installeringen af en luft-til-luft varmepumpe.

## *Energy Savings with Air-to-Air Heat Pumps – True or False? Findings and Policy Implications from a Danish Study*

Dette konferencepapir fokuserer på analyser af elforbrug før og efter installation af luft-til-luft varmepumper i såvel sommerhuse som helårshuse.

Dernæst følger fire baggrundsnotater med en detaljeret præsentation af de enkelte delanalyser i projektet

## *Spørgeskemaundersøgelse af brug og komfortvaner knyttet til luft/luft varmepumper*

Dette notat indeholder en samlet beskrivelse og analyse af survey for både sommerhuse og helårshuse.

## *Analyse af elforbrug i husstande med varmepumper – før og efter*

Dette notat indeholder en samlet analyse af elforbrugsdata kombineret med surveydata fra helårshuse og i mindre omfang også sommerhuse.

## *Luft/luft varmepumpers effektivitet*

Dette notat indeholder en gennemgang af effektiviteten af luft-til-luft varmepumper der har været på det danske marked i de sidste 10-15 år.

## *Kølebehov i danske boliger*

Dette notat indeholder en analyse af kølebehovet i typiske danske boliger og sommerhuse under forskellige forudsætninger.

# TRE INTERNATIONALE ARTIKLER

# Heat pumps and user practices – energy reductions or increased comfort?

Paper presented at 6th Dubrovnik Conference

6th Dubrovnik Conference: Sustainable development of energy , water and environment systems September 25 – 29 2011, in Dubrovnik, Croatia.

Kirsten Gram-Hanssen\*  
Danish Building Research Institute  
Aalborg University, Denmark  
e-mail: [kgh@sbi.dk](mailto:kgh@sbi.dk)

Toke Haunstrup Christensen  
Danish Building Research Institute  
Aalborg University, Denmark  
e-mail: [thc@sbi.dk](mailto:thc@sbi.dk)

Poul Erik Petersen  
IT-energy A/S  
e-mail: [pep@it-energy.dk](mailto:pep@it-energy.dk)

## Abstract

This paper deals with individual air-to-air heat pumps in dwellings and summerhouses and the question of to what extent they deliver actual savings in energy consumption<sup>1,2</sup>. Results show that 40% of the expected reduction in electricity consumption is transferred into increased comfort in the homes, including increased heating areas, keeping a higher temperature and a longer heating season and using the heat pump for air-conditioning. Data include electricity consumption in 185 households before and after installation of heat pumps together with survey results of 480 households. Furthermore 12 households are selected for in-depth analysis including technical inspection and qualitative interviewing. Especially for summerhouses results indicate that there on average is no reduction in electricity consumption, as energy efficiency is outbalanced by increased comfort. These results have to be taken into account when making long term energy planning for a sustainable energy system.

## Introduction

The sale of air-to air heat pumps has been quite high, notably in Norway where there are sold some hundred thousand [1] but also in Sweden and

---

\* Corresponding author

<sup>1</sup> The project team included besides the authors also Troels Fjorbak Larsen, IT Energy; Erik Gudbjerg and Lisbeth Rasmussen, Lokalenergi and Preben Munter, Seas-nve.

<sup>2</sup> The initial project was financed by Elforsk.dk and further analysis for this article was related to the Research Centre for Zero Energy Buildings (<http://www.zeb.aau.dk>).

France expanding sales figures of heat pumps are reported. In Sweden domestic heat pump sale rose from approximately 20000 to 80000 per year between 2006 and 2007 and in France from approximately 50000 to 70000 per year [2]. Studies from several different European countries has pointed out that there is good economical reason for the consumers to install air-to-air heat pumps [3, 4, 5]. The question of what role air-to-air heat pumps play in a future sustainable energy system have to be discussed together with other technical changes of the whole energy system including to what extent electricity is produced by renewable energy [6,7] and the energy renovation of the building stock [6]. Replacing direct electric heating with air-to-air heat pumps are, however, always more energy efficient because heat pumps can provide 2-5 times more heat than the electricity they use as driving force [3]. In a scenario for future 100% renewable energy systems in Denmark individual heat pumps are thus also included for areas not covered by district heating [9]. From a socio-technical point of view it can, however, be expected that the full technical potential for energy efficiency will not be met because of changes in user practices towards still higher expectations and norms of comfort [1] as is also known from studies of other types of households' technologies [10]. Within a techno-economic perspective a corresponding phenomenon is known as the rebound effect focusing on how the economic gains that households get from implementing more efficient technologies will be used to increase consumption in other areas or within the same area resulting in higher standards and thus increased energy consumption. There has been a debate about the size of the rebound effect within the household sector and a recent review suggest a rebound effect on 20% meaning that 20% of the energy savings gained from efficient technologies within the household sector are transformed into increased energy consumption and thus not realised as energy savings [11, 12]. The purpose of the study presented in this paper was to analyse to what extent the potential reduction from installation of air-to-air heat pumps are realised or transformed into increased consumption. Furthermore, it was to go more into detail in explaining within which areas more precisely the increases in comfort is seen and to understand in more sociological terms why and how these changes occur.

Today, 8% of houses in Denmark [13] and 84% of summerhouses are heated by direct electric heating [14]. The majority of these are not placed near city centres and thus reachable by district heating and the most relevant future heating supply for these homes is thus individual heat pumps [9]. As these houses have not installed central heating based on water-borne systems, the economically most attractive choice will most often be to install air-to-air heat pumps. Another argument for looking at air-to-air heat pumps in relation to changes in comfort norms is that these can easily be used for air-conditioning as well. Air-conditioning has until now not been normal in Danish households, however, having available technologies installed in the home might contribute to change this.

In the following, we will first describe the methods of the study and then, in the main part of the paper, present findings and analysis for permanently occupied dwellings and summerhouse respectively. In the conclusion, results are discussed in relation to the implications for interaction between heating technologies and renewable energy systems.

## Methods

Data presented in this paper are based on a survey from 2010 among house owners in two Danish regions who have installed air-to-air heat-pumps. The

survey population of 2793 households was drawn from the customer lists from two Danish regional energy companies that participated in this study. A sample of 681 house owners or 24.4% within the population completed the online-questionnaire with questions on heating technology, heating practices, other electric appliances and characteristics of the household before and after purchase of heat pump. The questions towards summerhouses differed slightly from those to all-year houses. People were asked to indicate the type and fabrication of heat-pump and only households which for certain have an air-to air heat pump are kept in the analysis. This includes 481 houses, whereof 76 are summerhouses. In order to detect changes in energy consumption following the installation of the heat pump, the questionnaires are combined with available energy consumption data from the years 1990 to 2009 delivered by the energy companies. Some questionnaires are removed from this part of the survey if the year of installation of the heat pump is unknown, or if the installation year is too recent or too old in order to have metering data for at least one year before and after installation. This results in a dataset of 138 questionnaires, whereof 42 are for summerhouses. Finally, a follow-up survey was carried out among the summerhouse owners asking questions on how they keep their summerhouse heated in wintertime as this turned out to be an important question (however, it was only possible to get in contact with 35 of the 76 summerhouse owners). These datasets are summarized in table 1.

Twelve respondents were selected for in-depth analysis including face-to-face qualitative interviews and technical inspections of their heat pump. The aim of the technical inspection was to detect to what extent technical issues could explain lacking reductions in electricity consumption. The technical inspections focused on visible conditions that might affect the efficiency of the heat pump: the condition of the evaporator/condenser (physical damages or dirt obstructing air flow) and risks of “thermal short-circuit” due to the placing of the evaporator/condenser. The aim of the interviews was to provide detailed descriptions of the use of the heat pumps and how they had been integrated into the comfort practices of the household. Respondents were chosen in order to ensure variety in the sample with regard to heating system, development in electricity consumption and household composition. The interviews, which lasted about one hour each and were carried out as semi-structured interviews [15], were recorded and afterwards thematically transcribed and analysed.

Table 1. Number of households in dataset

	Total	Permanently occupied dwellings	Summer houses	Follow up on summerhouses
Questionnaire survey	481	405	76	35
Survey incl. electricity data	180	138	42	
In depth analysis	12	8	4	

Results from this project has previously been presented in two conference papers, one focusing on the qualitative material [16], and another focusing on the quantitative material [17], whereas this paper include both approaches. Analyses of the results are in the following divided into two sections dealing with permanently occupied dwellings and summerhouses respectively

## Analysis of permanently occupied dwellings

From technical specifications of the effect of air-to-air heat pumps it should be expected that electricity for heating purpose is reduced by two third if the house was heated by direct electric heating before installation and only by the use of heat pump after installation (these calculations take into account reduced efficiency, COP, at low outdoor temperatures). If we assume that 64% of a households' electricity consumption is used for heating, it should be expected to have approximately 43% reduction of households' electricity consumption after installation of the heat pump. The rebound effect is then the difference between these 43% reduction and the actual measured reduction.

To estimate the actual reduction, electricity consumption has to be degree day correction. As electricity is used for other purposes than just heating, the share of electricity used for other purposes is estimated for each household on the basis of information about the number of people in the household and the size of the building and the rest of the electricity consumption is then degree day corrected. In figure 1 electricity consumption before and after installation of the heat pump is compared. It is seen that the slope is below one, indicating that for the majority of the households electricity consumption after installation of heat pump is lower than before, as would be assumed. However, especially households with lower levels of prior electricity consumption do in general not realise a lower level of consumption after installation.

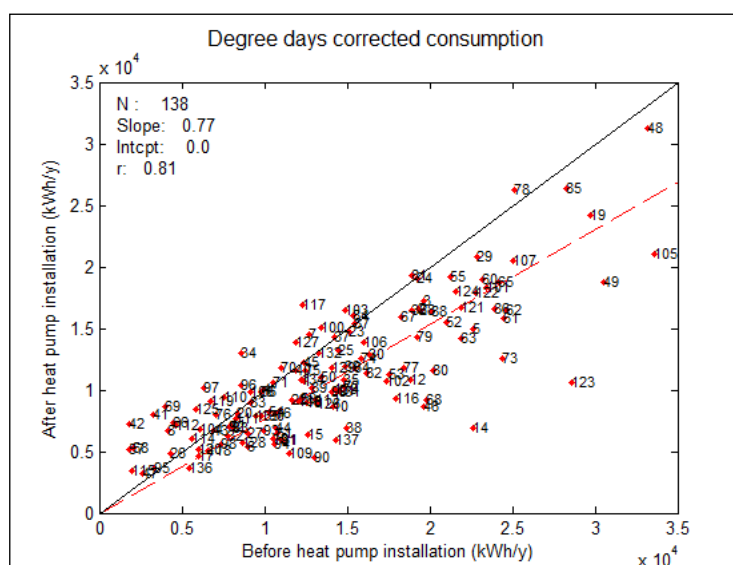


Figure 1. Comparing annual household electricity consumption before and after heat pump was installed. Electricity consumption for heating is degree day corrected.

A major explanatory variable is expected to be the question of what the primary heating source was before and after installation of the heat pump. In figure 2 the average savings in all households are shown together with combinations of what the primary heating source was before and after installation of heat pump. Besides a degree day correction, these average saving values are also corrected for a yearly decrease in consumption of 5%. These 5% reduction are calculated on the basis of comparing one year with the following for the years where the surveyed households did not install the heat pump.



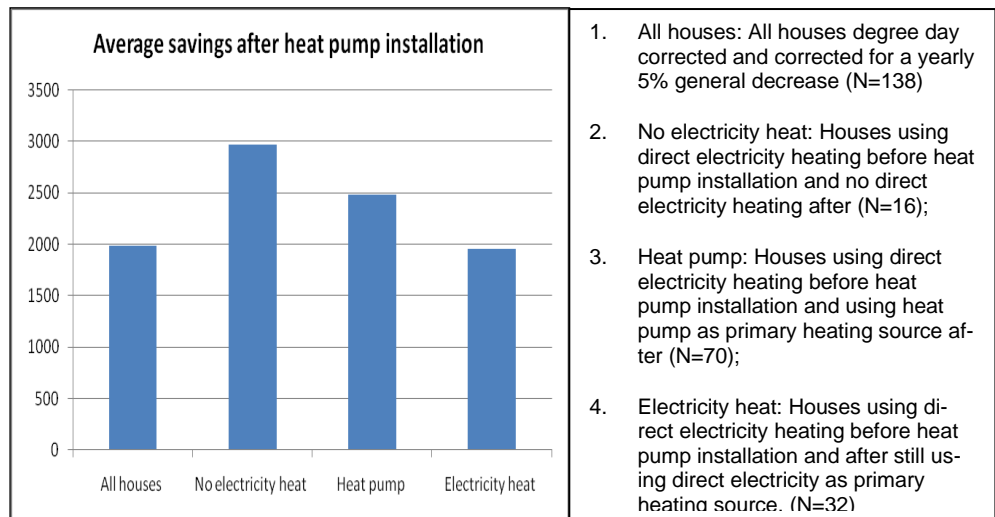


Figure 2. Average savings in annual household electricity consumption (kWh) before and after heat pump was installed, for different combinations of heat supply before and after installation of heat pump. For all four cases the savings are significantly different from zero.

In all four cases in figure 2 a paired samples test shows that the savings is significantly different from zero (not shown here), though there are big variations for the savings especially among the second case, which is also where we see the biggest average savings and where we have a low number of households. The biggest average savings (and the biggest variation) are thus not surprisingly seen in households where they used direct electric heating before they installed the heat pump, and where they do not use any direct electric heating after the heat pump is installed.

The group of households that used direct electric heating before installation of heat pump and primarily heated by heat pump after installation is thus the group that can be compared to the expected theoretical reduction of 43%. The slope of the red line in figure 3 indicates that on average the reduction in electricity consumption for these households is 26%. Comparing this with the expected 43% reduction thus suggest that 40% of the expected saving is used for increase in other consuming practices ((43-26/43=39,5%). In the following of the analysis we will go deeper into explaining this missing reduction or rebound effect of approximately 40%.

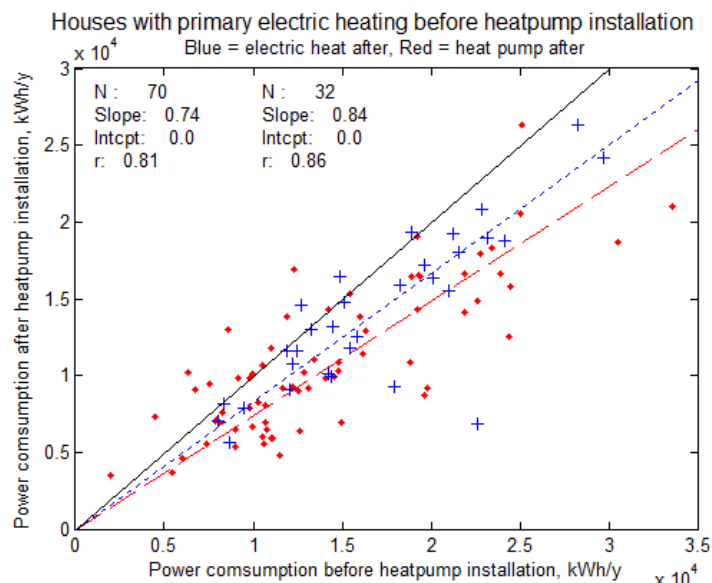


Figure 3. Comparing annual household electricity consumption before and after heat pump was installed for households that used direct electric heating before and divided on what type of heating they used after. Electricity consumption for heating is degree day corrected.

As there are numerous variables which might influence change in electricity consumption other than the installation of the heat pump, the following will show results of regression analysis with all available and relevant variables from the survey. These variables include change in primary heat supply, number of household members, number of rooms, heating period, heating temperature, cooling days, electrical appliances, house insulation, consumption of firewood and installation of wood burning stove. Furthermore there are some descriptive variables on the household members such as number of children and adults and household income as well as descriptions of the house such as size and age and heated area. The regression analysis can be described by the equation:

$$X_{after_i} = a + b \cdot X_{before_i} + \sum_{j=1}^N c_j \cdot X_{cov_{i,j}} + \varepsilon_i$$

Where  $X_{after}$  is the electricity consumption after heat pump installation,  $X_{before}$  is the consumption before, and  $X_{cov}$  are the different other variables. Results of the full regression analysis are shown in appendix. The  $b$  coefficient to  $X_{before}$  is a measure for the heat pump effect and possible other effects not included in  $X_{cov}$ . No variables from the  $X_{cov}$  matrix are found significant. Using forward selection and stepwise regression noisy variables are removed from the regression thus revealing that three variables are significant, which are household income, cooling days and change of appliances. Thus the equation for the significant explaining variables is:

$$X_{after} = 0.60 \cdot X_{before} + 2.7 \cdot Income\_household + 199 \cdot Cooling\_days + 616 \cdot Appliances\_chn$$

where the intercept remains insignificant. The coefficient for change in appliances (white goods) is rather high and this may be interpreted as the variable cover for a more general increase in wealth and not only for the white goods. This prediction model also turns out to offer an improved explanation of the electricity consumption as the correlation coefficient  $r$  is 0.86 as compared to figure 2 where we had  $r=0,81$ . However, the number of observations decreases to 67 because some answers to the explaining variables are missing.

It is thus interesting that what seem to explain change in electricity consumption other than the installation of the heat pump are variables related to general wealth and to change in heating practices represented by the  $Cooling\_days$  variable. The combination of these three variables is the best explainable combination we can get on the available data. This does not mean that the excluded variables do not have any influence for some of the specific cases. However the amount of independent variables in the study compared to the amount of households included is a limitation in this analysis.

Still, the main effect arising from  $X_{before}$  is strongly significant and the corresponding coefficient is estimated to 0.6 as seen from the equation. This means that the effect of the heat pump together with the 5% general annual decrease gives a reduction of 40% of the electricity consumption. Thus the heat pump alone gives a 35% reduction in electricity consumption.

In the previous analysis electricity before and after installation has been summarized for several years from 1990 to 2009 depending on when in the period the heat pump was purchased. Another approach to study the impact on electricity consumption after installing a heat pump is to analyse how electricity consumption develops in the years after the purchase. Figure 4 show how the average annual consumption develops year by year after installation separated into which year the household purchased the heat pump. In this figure all households independent on their primary heating type before and after installation is included. We see that electricity consumption

is rather low the first year after installation, and then the following years it rises. This is potentially interesting as it might indicate that people save more the first year after installation, and then when they have got used to the lower electricity consumption, they start to use more. Furthermore it is seen that year 2003 is a year where all lines (except the black representing those who just installed the heat pump) has a peak. When looking for characteristic of this year it should be remembered that data are already degree day corrected, so extreme winters are taken into account. Instead, the peak in 2003 might be explained by the fact that it was actually an extraordinary hot summer, where many people might have used the heat pump for air conditioning. If we discard the 2003 point in figure 4, the tendency seems to be energy savings within the first year after the installation, which is followed by a small increase, then a stable period and finally a new reduction of consumption. In general it is seen that there are several increases and decreases which are not related to purchase of heat pump.

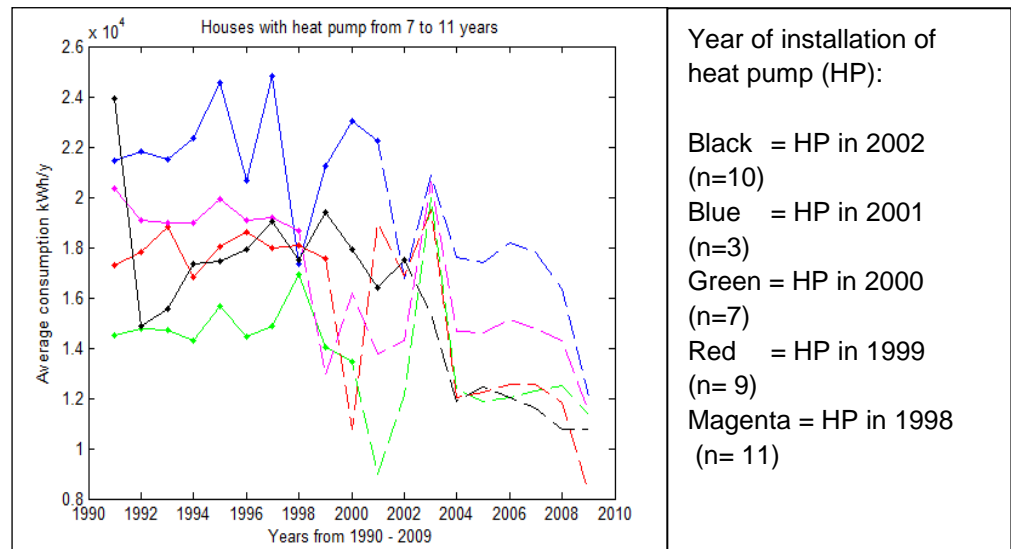


Figure 4. The average household electricity consumption, distinguishing between the years of installation of heat pump. Dotted line indicate purchase of heat pump.

In the following, the results from the survey and the qualitative interviews will be analysed in order to provide a more detailed understanding of changes in heating practices. As described in the methods section, there are more households in the survey than in the dataset with electricity metering data, and it is therefore interesting to analyse the survey more detailed.

Respondents have been asked why they purchased the heat pump. As seen in table 2, the majority has done this to save money and energy, and to a lower degree to improve their comfort. More than two-third of the respondents indicate that they are very satisfied with their heat pump and only one per cent that they are very unsatisfied with it (not shown in table).

Table 2. Reasons to purchase the heat pump

	Number	Per cent
To save money on heat consumption	290	72%
To save energy	257	63%
To improve comfort	152	38%
Contributing to reduced pollution	92	23%
Heating system needed renewing	14	3%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	39	10%
Others	27	7%

The qualitative in-depth interviews provide a more detailed picture of how the use of heat pumps is experienced. Seven out of eight interviewees in permanently occupied dwellings explain that the indoor air quality and comfort have improved since the installation of the heat pump. The interviewees typically mention benefits like less moisture, “cleaner air” and better air “circulation”. For instance, a couple in their seventies experience that they do not need to air their living room as often as before. The interviewees in general emphasised the non-economic advantages of the heat pump, while the energy saving aspect was put more in the background. This indicates that even though the economical aspects seem to play an important role for the decision to purchase a heat pump (cf. table 2), other aspects like better indoor comfort play a more central role for the interviewees’ later experience of the heat pump.

The survey results shows that the majority (86%) of the respondents used electricity for heating before they bought the heat pump and most of them (approximately 60%) use the heat pump as primary heat source now, though only 11% indicate that the heat pump is their only source for heating purpose. Approximately 50% of the households combine heat pumps with a wood burning stove and the majority use electric heating, with either heat pump or direct electric heating, as the primary source. 164 respondents had a wood burning stove before they got the heat pump and among those there are 39% who indicate that they use less wood after they got the heat pump, 39% indicate that it has not influenced their firewood consumption, 31% do not know and only 3% indicate that they use more wood after they got the heat pump. It seems thus that heat pumps in some households have substituted wood rather than electricity for heating purpose.

Table 3. Changing heating practices related to heating season after purchase of heat pump

	Number of households	Per cent
No change	206	50,9%
Shorter heating period of the year than previous	93	23,0%
Longer heating period of the year than previous	69	17,0%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	37	9,1%
Total	405	100%

Table 4. Changing heating practices related to temperature after purchase of heat pump

	Num-ber of house holds	Per cent
Same temperature as previously	223	55,1%
Temperatures generally kept higher than previously	123	30,4%
Temperatures generally kept lower than previously	19	4,7%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	40	9,9%
Total	405	100%

The question if people change their heating practices and norms of comfort after purchase of the heat pump is a main research question in this paper. In table 3 it is seen that 50% of respondents do not believe that they have changed habits in relation to how much of the year they heat their house, and more people (23%) believe they heat for a shorter period after they have got the heat pump than the percentage (17%) who believe they now heat for a longer period than before. There is thus no reason to believe that the heat pump in general entail a longer heating season in permanently occupied dwellings. If we look at table 4, there is however indication that approximately one-third of the households established a higher temperature setting after they purchased the heat pump, while only 5% think they keep a lower temperature. The in-depth interviews indicate that this temperature increase might be closely related to the understanding that heat pumps is a less expensive form of heating compared with direct electric heating, which most of the interviewees regarded as very expensive. This can be illustrated by one of the interviewed families (a couple aged 49- and 55-years with two children) whose heat pump replaced direct electric heating in their kitchen and living room. However, their electricity consumption had only been reduced moderately by 10%, which might partly be explained by higher indoor temperatures. As the couple explains:

Husband: We have probably got a higher temperature in here.

Wife: Yeah, previously we were satisfied with 20 degrees (...)

Husband: (...) now it's 21.5, so we have actually raised the indoor (...) temperature since we have got the heat pump. In a way, we have allowed ourselves a bit of luxury.

This quote illustrates how the users' understanding of economical characteristics of different heating forms influences their heating and comfort practices.

Another way of raising the comfort is to enlarge the heated area, e.g. start to heat rooms which were not previously heated. 13% of the respondents indicate that more rooms are heated after the purchase of the heat pump, and these rooms are typically 10-30 m<sup>2</sup>. Two of the interviewed families had installed their heat pump in connection with a new-built extension to their house. One of them had built 30 m<sup>2</sup> extension (garden room) to their house. They choose a heat pump as this was cheaper than radiators (due to costly piping work) and more simple than a wood burning stove that needs a chimney. Also, they liked that the heat pump can be used for air conditioning in the summer as the garden room can be very hot on sunny days. The household's electricity consumption has increased by 60% since the installation (the rest of the house is still heated by district heating).

Following this example a last issue to be raised relates to the question to what extent people use their heat pump for air conditioning. First question is if people know about the possibility that their heat pump can be used for air conditioning. 76% of the respondents indicate that their heat pump can be used for air conditioning, 22% state that it cannot (which is probably wrong)

and only 3% say that they do not know. Among the 306 respondents who know that their heat pump can be used for air conditioning, 21% of households have actually used it and those 64 households have furthermore estimated how much they use it for air-conditioning. In table 5 it is seen that one-third use it only a few days and that 17% uses it more than 15 days during a normal summer.

Table 5. Number of days the heat pump is used for air conditioning during ordinary summer

Number of days	Number of households	Per cent
1-4 days	24	38%
5-9 days	17	27%
10-14 days	12	19%
15 days or more	11	17%
Total	64	100%

## Analysis of summerhouses

When combining survey results on summerhouses with data on electricity consumption we have 42 cases. This number is unfortunately too small for proper statistical analysis including all available variables. Figure 5 shows a comparison of electricity before and after purchase of the heat pump for these 42 summerhouses. It is seen that the slope of the line is below 1 thus showing an over-all reduction in electricity consumption after installing the heat pump. Even though we detect a slope by the regression, a pair-wise test shows that the mean difference is not significant different from zero. The slope thus arises from high consumption cases having high leverage. Among summerhouses with low electricity consumption there seems to be a tendency that they have an increase in electricity consumption after purchase of the heat pump. Regression analysis including supplementary variables confirms that it is a significant relation that summerhouses with low levels of electricity consumption experience an increase in electricity consumption, an increase which cannot be explained by any of the supplementary variables. It is reasonable to assume that some summerhouses with electricity consumption below 3000 kWh only to a limited degree did heat their house with electricity during the winter before installing the heating pump, and that the increase in electricity consumption partly is a result of an increase in heating season and temperature in wintertime.

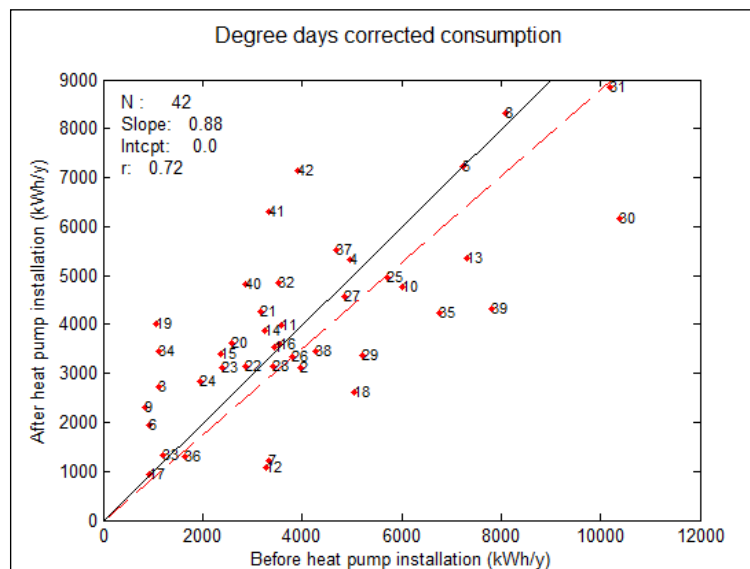


Figure 5. Comparing annual household electricity consumption before and after heat pump was installed in summerhouse. Electricity consumption for heating is degree day corrected.

Table 6. Reasons to purchase the heat pump in summerhouse

	Number of households	Per cent
To save energy	46	61%
To improve comfort	40	53%
In order to frost-proof the house in the winter	39	51%
To save money on heat consumption	38	50%
Contributing to reduced pollution	16	21%
Heating system needed renewing	0	0%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	2	3%
Others	6	8%

In table 6 are listed the answers to the question of why people have purchased their heat pump for the summerhouse. A majority of 61% indicate to save energy as a reason, and the second and third most often indicated options are to increase comfort and to frost-proof the summerhouse in wintertime. Half of the respondents indicate saving money on heat consumption, and if we compare with table 2 we see that 72% of owners in permanently occupied dwellings indicate that the reason to purchase a heat pump was to save money on energy. It thus seems that there are slightly different reasons involved when purchasing a heat pump for the summerhouse and for the permanently occupied dwelling, which is also displayed in the qualitative answers respondents have filled in under "Others". These includes: "Having a nice temperature when we arrive at the summerhouse"; "Better use of the summerhouse in winter time"; "Higher temperatures in wintertime with lower consumption". The qualitative interviews with owners of four summerhouses show that in all four cases, the owners used the heat pump to keep the house heated during the winter, and this had actually played an important role for the informants' original decision about purchasing a heat pump. Before the installation of the heat pump, the interviewees had either "shut down" their summerhouse in the winter or kept it heated up to 5 deg. C by use of direct electric heating. The interviewees explained that the low temperatures in the winter had resulted in problems with moisture and mould. Now, their houses are heated to 16 deg. C the entire winter, which makes it more comfortable to use the house also in the wintertime. As a consequence, most interviewees use their house more often during the winter.

The survey show that in more than two-third (72%) of the summerhouses the heat pump is the primary heat supply and more than half of the respondents indicate that they used direct electric heating as their primary heat supply before installation of the heat pump. Furthermore, 80% indicate that they also use firewood for heating, and among those who had firewood burning stove both before and after installation of the heat pump half of them (47%) indicate that they use less firewood after purchase of the heat pump. The respondents were asked about changes in their heating practices and norms of comfort following the purchase of the heat pump. Table 7 and 8 summarise the answers. Here it is seen that more than half of the respondents indicate that they heat for a longer period and keep a higher temperature after purchase of the heat pump.

Table 7. Changing heating practices related to heating season after purchase of heat pump

	Number of households	Percent
No change	25	33%
Heat is turned on a shorter period than previous	5	7%
Heat is turned on a longer period than previous	42	55%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	4	5%
Total	76	100%

Table 8. Changing heating practices related to temperature after purchase of heat pump

	Number of households	Percent
Same temperature as previously	32	42%
Temperatures are kept higher than previously	40	53%
Temperatures are kept lower than previously	1	1%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	3	4%
Total	76	100%

In the follow-up survey it is confirmed that 23 out of 27 people heat their summerhouse to more than 10 deg. C after purchasing the heat pump, whereas all of these, except one, closed the house completely or kept it heated to a lower temperature before installation of the heat pump. This supports the previous mentioned findings from the qualitative interviews. It is interesting to notice that for the majority of the types of heat pumps, which people have installed, it is not technically possible to have a set-point temperature lower than 16 deg. C, meaning that many of the summerhouses now are heated to 16 deg C the entire winter.

The respondents were also asked if they were aware that their heat pump could be used for air conditioning. Only about half of the respondents are aware of this, and among these, less than half (41%) has actually used it for air conditioning. In table 9, it is seen that only 6 households indicate that they have used the heat pump for air-conditioning more than 5 days a year.



Table 9. Number of days the heat pump has been used for air conditioning in summerhouses

Number of days	Number	Per cent
1-4 days	10	63%
5-9 days	4	25%
10-14 days	2	13%
Total	16	100%

## Technical inspektion

In relation to the qualitative interviews in both permanently occupied dwellings and summerhouses a technical inspection of the heat pumps was carried through. This, however, only revealed few examples of technical problems that might have influenced the efficiency of the heat pumps: In two cases there were a risk of thermal air short-circuits in relation to the condenser and evaporator respectively, which potentially could result in an estimated 10-20% increase in electricity consumption. In a third case, dirt on the evaporator could potentially increase energy consumption by app. 10%. No visual problems were observed in the other 9 cases. Also, almost 60% of the survey respondents indicate that they have regularly servicing for their heat pump (buyers of heat pumps from the electricity utilities are normally offered a yearly servicing scheme). Therefore, it can be expected that the heat pumps covered by this study in general have a high maintenance-standard, and there are no indications of technical defects being an important factor in explaining the missing energy savings.

## Conclusion and discussion

In this paper it is shown that expected reductions in electricity consumption by substituting direct electric heating with air-to-air heat pumps in individual households are only to some extent reached in real life settings. It is found that in many cases households expand their comfort practices rather than realise energy savings or expand other energy consuming practices. This on one hand confirms the expectations based on socio-technical research indicating that new technological solutions are always accompanied by new norms and practices. In a techno-economic perspective this has been discussed within the frame of the rebound effect. Previous research indicates a direct rebound effect of 20% in households [12]. Based on the results presented in this paper the rebound effect for air-to-air heat pumps installed in summerhouses can be estimated to 100% as on average there is no realised reduction, whereas in permanently occupied dwellings there is seen on average a 26% reduction, which indicate a rebound effect of app. 40%. In future energy planning it is important to be aware of these socio-economic processes which entail growing energy consumption when introducing new and more efficient technologies. There are basically two different approaches to deal with this. Either the rebound effect and the growing consumption following from new norms have to be included in modelling and planning. Or, preferably, measures which have proven successful in real life on how to introduce new efficient technologies to users without carrying changes in practices towards higher norms and expectations and thus growing energy consumption, have to be developed. One way of doing this could be by introducing progressive energy tariffs and soft loans together with the more efficient technologies [18].

## References

1. Heimdal, S.I, Reliability of air to air heat pumps and their contribution to energy savings in Norway. In *Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society. Proceedings of the ECEEE summer study 2011*, pp 1807-1813.
2. Singh H., Muetze, A Eames P.C. Factors influencing the uptake of heat pump technology by the UK domestic sector. *Renewable Energy* 35 (2010): 873-878.
3. Torekov M.S, Bahnsen N., Quale, B., The relative competitive positions of the alternative means for domestic heating. *Energy* 32 (2007): 627-633
4. Suerkemper F., Thomas, S. Osso D, Baudry P. Switching from fossil fuel boilers to heat pumps: A multi-perspective benefit-cost analysis including an uncertainty assessment. In *Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society. Proceedings of the ECEEE summer study 2011*, pp 1685-1695
5. Terlizzese T, Zanchini E. Economic and exergy analysis of alternative plants for a zero carbon building complex. *Energy and Buildings* 43 (2011): 787-795
6. Johansson P., Nylander, A., Johnsson F. Electricity dependency and CO<sub>2</sub> emissions from heating in the Swedish building sector – Current trends in conflict with governmental policy? *Energy Policy* 34 (2006): 3049-3064
7. Bojic, M., Nikolic, N. Nikolic D., Skerlic J., Miletic I., A simulation appraisal of performance of different HVAC systems in an office building. *Energy and Buildings* 43(2011): 1207-1215
8. Sartori I., Wachenfeldt, B.J. Hestnes, A.G. Energy Demand in the Norwegian building stock: Scenarios on potential reductions. *Energy Policy* 37 (2009): 1614-1627
9. Mathiesen B. V., Lund H., Karlsson K., 100% Renewable energy systems, climate mitigation and economic growth. *Applied Energy*, 88 (2011) 488-501
10. Shove E. *Comfort, cleanliness and convenience. The social organization of normality*. Oxford: Berg (2003).
11. Greening L. A., Greene D.L., Digilio C. Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey. *Energy Policy* 28 (2000): 389-401
12. Sorrell, S., Dimitropoulos, J. and M. Sommerville (2009) 'Empirical estimates of the direct rebound effect: A review', *Energy Policy* 37(4): 1356-71.
13. Dansk Energi (2010) *Dansk Elforsyning Statistik 2009*. Copenhagen: Dansk Energi.
14. Kofoed, N., Rasmussen, E.R., Weldingh, P., Worm, J., Rasmussen, L.A., Reuss, M., Ellehauge, K., Kjærgaard, C., and O.M. Jensen *Elbesparelser i sommerhuse her og nu*. Hørsholm: Danish Building Research Institute, Aalborg University (SBI 2010:54)
15. Kvale, S. *Interviews: An Introduction to Qualitative Research Interviewing*. Thousand Oaks, CA: Sage. 1996
16. Christensen, T. H., Gram-Hanssen, K., Petersen, P. E., Larsen, T. F., Gudbjerg, E., Rasmussen, L. S., Munter, P. 2011. Air-to-air heat pumps: A wolf in sheep's clothing. In "Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society" eceee 2011 Summer Study 6–11 June 2011, Belambra Presqu'île de Giens, France
17. Gram-Hanssen, K., Christensen, T. H., Petersen, P. E., Larsen, T. F., Gudbjerg, E., Rasmussen, L. S., Munter, P. 2011 Energy Savings with Air-to-Air Heat Pumps – True or False? Findings and Policy Implications from a Danish Study. EEDAL Copenhagen June 2011
18. Allibeá, B., Laurenta, M-H, Osso D. Bound the rebound! How the combination of progressive energy tariffs and adapted soft loans can curb rebound effect and promote energy sufficiency. In *Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society. Proceedings of the ECEEE summer study 2011*, pp 89-96

Appendix: Full regression analysis and t-test to determine which variable are significant.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	19814.026	31685.786		.625	.537
Xbefore	.502	.085	.649	5.915	.000
Adults	-70.960	810.033	-.010	-.088	.931
Children	-422.075	677.919	-.081	-.623	.538
House_size	15.712	19.902	.097	.789	.436
House_age	-10.594	15.900	-.064	-.666	.510
Person_changes	-738.384	1702.737	-.038	-.434	.668
HeatPump_only	-1852.963	1117.192	-.159	-1.659	.108
HeatedArea	15.238	18.933	.084	.805	.427
NewRooms	.426	23.776	.002	.018	.986
Fireplace	-477.153	1027.360	-.050	-.464	.646
HeatPeriod_chng	-1024.791	823.045	-.122	-1.245	.223
HeatTemp_increase	-428.353	893.299	-.056	-.480	.635
Cooling_days	191.214	128.039	.156	1.493	.146
Appliances_chng	399.078	337.810	.133	1.181	.247
CFL	-731.567	818.226	-.077	-.894	.379
Appliances_new	430.671	418.707	.101	1.029	.312
Settopbox_new	392.997	710.540	.051	.553	.584
TV_extra	951.408	1290.617	.087	.737	.467
PC_extra	433.857	900.332	.048	.482	.634
InsolateHouse	486.183	911.352	.047	.533	.598
Income_household	2.919	2.316	.136	1.260	.218
Firewood_save	64.071	1193.305	.006	.054	.958

a. Dependent Variable: Xafter

# Air-to-air Heat Pumps: A Wolf in Sheep's Clothing?

Paper presented at ECEEE 2011 summer study

ECEEE 2011 summer study, Belambra Presqu'île de Giens, Frankrig, 07-06-11 - 11-06-11,

Toke Haunstrup Christensen & Kirsten Gram-Hanssen  
Danish Building Research Institute, Aalborg University  
Dr. Neergaards Vej 15  
DK-2970 Hørsholm  
Email: thc@sbi.dk

Poul Erik Petersen & Troels Fjordbak Larsen  
IT Energy ApS  
Hørkær 14A  
DK-2730 Herlev  
Email: pep@itenergy.dk

Erik Gudbjerg & Lisbet Stryhn Rasmussen  
Lokalenergi A/S  
Skanderborgvej 180  
DK-8260 Viby J  
Email: eg@lokalenergi.dk

Preben Munter  
SEAS-NVE,  
Hovedgaden 36  
DK-4520 Svinninge  
Email: pm@seas-nve.dk

## Abstract

Air-to-air heat pumps are increasingly promoted as a means for energy saving and a future component in a more flexible electricity demand (load management). At the same time, heat pumps potentially contribute to long-term changes in comfort behaviour and practices, which may undermine the energy saving potential. This paper sums up the findings from a Danish research project on air-to-air heat pumps, electricity use and comfort.

If used properly, heat pumps can provide high efficient heating of houses. However, a Danish spot test indicates that air-to-air heat pumps not always result in energy savings. The use of heat pumps might involve changes in the residents' thermal comfort practices like higher indoor temperatures in the winter or air-conditioning (cooling) in the summer. The reasons for this might be both technical and behavioural.

The paper examines the comfort practices that influence the electricity consumption related to air-to-air heat pumps: How do residents use heat pumps? And what are the consequences for the comfort practices and the electricity use? The analysis is based on results from a survey and qualitative interviews among Danish owners of dwellings and summerhouses with focus on their comfort practices. The study also includes results from metering data on the households' actual electricity consumption and technical inspections of heat pumps. The paper draws on a practice theoretical approach, which understands energy consumption as an integral part of everyday practices that integrate different elements, including habits and technologies.

## Introduction

In Denmark, air-to-air heat pumps are promoted by energy authorities and in energy saving campaigns as an energy-efficient alternative to direct electric heating (usually convection heaters) in dwellings and summerhouses. Thus, visitors to the website of the Danish Energy Saving Trust (an independent, public sector authority that promotes energy savings) can read that “air-to-air heat pumps are a good and cost-efficient alternative to direct electric heating, especially if you also use your summerhouse outside the summer season” (Danish Energy Saving Trust 2011). There are about 215,000 summerhouses in Denmark (Statistics Denmark 2010), and the majority of these (app. 84%) have direct electric heating installed while only about one out of ten has an air-to-air heat pump (Kofoed et al. 2010). Furthermore, app. 119,000 dwellings, or 8% of all single-detached, semi-detached, terraced and farm houses, are heated by direct electric heating, while only 7,700 have a heat pump as their primary heating form (Dansk Energi 2010). Thus, the total potential for substituting electric heating with air-to-air heat pumps is considerable. The Danish Energy Agency estimates that the number of installed air-to-air heat pumps is about 75,000 (Wittrup 2010). Many of these probably supplement other forms of heat supply (e.g. direct electric heating).

Typical air-source heat pumps deliver an amount of energy for space heating that is 3 to 4 times the electricity consumed. Thus, replacing direct electric heating with an air-to-air heat pump should ideally reduce the electricity consumption for heating by about two-third. However, as documented by studies of the so-called rebound effect (see review in Sorrell et al. 2009), theoretical energy savings from energy efficiency improvements are in general only partly realized due to increased quantities of consumption or a general increase in consumption standards (Shove 2003). Furthermore, an unpublished spot test carried out by one of the energy companies participating in this study and including metering data of 81 customers indicated that the replacement of direct electric heating with air-to-air heat pumps resulted in an average reduction of only 11%. The aim of this paper is therefore to examine the technical and behavioural aspects that influence the electricity consumption related to air-to-air heat pumps by assessing to what extent the installation of heat pumps is followed by changes in comfort practices and how this influence the actual electricity consumption and energy savings.

Heat pumps are in Denmark sold by private firms as well as energy companies. The energy companies have been actively involved in consultancy, sale, financing, promotion and service of heat pumps since the energy crises in the 1970s. Heat pumps (especially ground-source heat pumps) were at that time promoted as an alternative to oil-fired central heating. The energy companies have especially succeeded in selling heat pumps to electric heated dwellings and summerhouses; energy prizes are relatively high in Denmark and private customers pay about 0.24 Euro/kWh, which makes it economically attractive for this group to invest in heat pumps.

This study combines a questionnaire-based survey with qualitative interviews, analysis of electricity metering data and technical inspections of heat pumps. The study includes both dwellings as well as summerhouses with air-to-air heat pumps. The user context for dwellings and summerhouses are quite different and the results are therefore presented and discussed in separate sections in the following.

The paper starts by presenting the theoretical approach and the methods employed in this study. Then, in order to contextualise the empirical findings, follows a general description of the Danish (Scandinavian) comfort practices compared with other countries. Then, the results are presented in the following two sections (for dwellings and summerhouses). The findings are analyzed and summarised in a more general discussion before the paper ends with conclusions. The study has been funded by the Danish research programme “Elforsk” and is based on collaboration between two regional energy companies (Lokalenergi A/S and SEAS-NVE), IT-Energy and the Danish Building Research Institute at Aalborg University.

## Theoretical approach

Except for studies within the socio-technical tradition, studies of residential energy consumption in general tend to focus on either the *technical* aspects, e.g. related to

heating systems or the level of building insulation, or the *behavioural and attitudinal* aspects like the residents' environmental awareness and motivation for adopting more environmental friendly behaviours. Both approaches illuminate important aspects that determine the actual energy consumption in households. However, due to their focus on either the technical or the behavioural/attitudinal aspects, these studies often fail to take into account how the social and the technical are co-determined.

In order to transcend this classical dualism between the material and the social, it is relevant to shift focus from either the technical or the social to the *practices* that the residents carry out on a daily basis and that determine the level of energy consumption. This is done in the so-called *practice theory approach* that has gained ground in e.g. consumer studies within recent years (Warde 2005; Shove and Pantzar 2005). Practice theorists argue that the social practices, people's doings and sayings, should be at the centre of the analysis (Schatzki et al. 2001). For instance, the way people make their homes comfortable with regard to the indoor climate can be regarded as an everyday practice that determines the household's energy consumption for heating. The practice of comfort is made up of many different sayings and doings that relate to understandings of what a comfortable home is and how to achieve this. For instance, routines of adjusting thermostat settings or airing are part of the overall comfort practices.

The emphasis on bringing practice theory into consumer and environment studies mainly draws on practice theory as formulated by Schatzki (1996) and further elaborated by Reckwitz (2002). The approach resembles early Giddens (1984) and Bourdieu (1976) in its efforts to overcome the structure-actor dualism and that it emphasises how practices rather than e.g. signs or abstract structures are the basis for both the constitution and understanding of the social. Furthermore, both Schatzki and Reckwitz accentuate the collective aspect of practices. Reckwitz states that the single individual acts as a carrier of practices, while Schatzki says that practices are coordinated entities, i.e. a temporally unfolded and spatially dispersed nexus of doings and sayings. Saying that a practice forms a nexus also means that there are certain elements holding it together; however, in the work of Schatzki, Warde and Shove/Pantzar there are slightly different descriptions of the elements holding a practice together.

Schatzki (1996) writes that *practical understanding*, also described as embodied know-how or routines (the body knowing how to act), is one element in holding a practice together, whereas *explicit rules, principles and instructions* e.g. traffic rules are a second. A third element is the *teleo-affective structure*, which is a compound of something that is goal-oriented and has meaning in a substantial or ethical sense. Teleo-affective structures include purposes, beliefs and emotions. Warde and Shove/Pantzar are obviously inspired by Schatzki; however, they rename the elements and, in the case of Shove and Pantzar, combine practical understandings and explicit rules, principles and instructions into one element called competences. With reference to Reckwitz (2002), they further add *material items* as an element, i.e. things and products. The simplest approach is thus found in Shove and Pantzar (2005), as they operate with just three elements: competences, meanings and products. Shove and Pantzar make an important observation of how material items like products play a significant role in constituting practices. However, for the purpose of understanding energy consuming practices, their conceptualisation of competences as one single category seems too simple as they do not distinguish between on the one hand know-how or non-verbal knowledge and on the other hand explicit, rule-based or theoretical-abstract knowledge.

In an empirical study of comfort practices and energy consumption, the following four elements have been used and proven valuable in empirical investigations of indoor climate (Gram-Hanssen 2010a) and standby consumption practices (Gram-Hanssen 2010b): 1) Know-how and embodied habits; 2) institutionalised knowledge and explicit rules; 3) engagements; 4) technologies. It is the first element (know-how and embodied habits) that, together with technologies, forms the direct link between practices and energy consumption; it is through our bodily habits ("the way we do things") and our interaction with technology that we activate flows of materials and energy. Thus, differences in comfort practices have important consequences for the level of energy consumption for heating.

## Method

The results presented in this paper are based on a survey and qualitative interviews carried out in 2010 among house owners with an air-to-air heat pump. In the survey, 2,793 households were invited by mail to participate in the survey. The sample included both summerhouses and permanently occupied dwellings and was drawn from a customer list from the two Danish regional energy companies that participated in this study. Thus, the study only includes dwellings and summerhouses from two Danish regions (eastern Jutland and the western and southern part of Zealand). 681 completed the online-questionnaire, resulting in a response-rate of 24%. However, these also included customers with other types of heat pumps than air-to-air, and therefore only heat pumps from manufactures from which the energy companies had been selling air-to-air heat pumps were included in the analysis. The final sample included 481 respondents (405 with a heat pump installed in their dwelling and 76 in their summerhouse).

The questionnaire included 35 questions organized in seven thematic sections that ranged from introducing questions about the installation of the heat pump (e.g. year of installation) and general questions about the household and the house (e.g. year of construction) to questions about the use of the heat pump and changes in comfort practices. With a few exceptions, the questions in the two questionnaires (for dwellings and summerhouses) were identical.

The questionnaires were later combined with metering data delivered by the two energy companies that participated in the study. These data cover the annual, billed electricity consumption for the houses and were used for statistical analyses of the impact of air-to-air heat pumps on the houses annual electricity consumption. However, the sample for this part of the study was narrowed down from the original 481 respondents to 180 respondents (houses); only houses with metering data for at least one year prior to as well as subsequent to the year of heat pump installation were included. Only the main results from the analysis of the electricity consumption are presented in this paper (see Gram-Hanssen et al., forthcoming for a more detailed presentation).

Twelve respondents were selected for face-to-face qualitative interviews and technical inspections of their heat pump on the basis of the questionnaires and the metering data. The aim of these interviews was to provide detailed descriptions of the use of the heat pumps and how they had been integrated into the comfort practices of the household (including changes in heating and/or air-conditioning practices). Only respondents with an air-to-air heat pump installed within the latest five years (2005 or later) were included in the interviews. Furthermore, respondents were chosen in order to ensure variety in the sample with regard to heating system (both houses with a heat pump as the only heating source as well as heat pumps in combination with other heating sources), development in electricity consumption (both increase and decrease), household composition (families with children as well as couples/singles without children living at home), an approximate even distribution between dwellings and summerhouses, and at least three respondents who stated in the questionnaire that they use air-conditioning 5 days or more during an ordinary summer. The respondents, who participated in the interviews, are named "informants" in the following.

The interviews lasted about one hour each and were carried out as semi-structured interviews (Kvale 1996) covering a number of overall themes: General information about the dwelling/summerhouse, daily comfort practices and changes in these, the purchase and use of the heat pump, other changes in energy consumption (in order to identify other possible explanations for changes in the households electricity consumption), interest in environment and energy consumption, and general information about the household. Informants with a heat pump installed in their summerhouse were furthermore asked about how they frost-proof their summerhouse in the winter. In six interviews, also the spouse participated. Therefore, 18 informants were interviewed in total.

## Comfort practices in Denmark and other countries

Comfort practices vary considerably between countries and between different regions of the world due to differences in tradition, cultural norms as well as different building traditions and socio-technical systems. For instance, a cross-cultural study by Wilhite et al. (1996) shows great differences between Japan and Norway in end-use patterns for space heating (as well as lighting and hot water use). Norwegians tend to heat all rooms in their homes except for the bedroom: “The entire house is made into a heated envelope which allows the occupants to move freely from one room to another without experiencing discomfort” (ibid.: 797). Also, high indoor temperatures are in Norway closely related to a cultural idea of “cosiness”. Different from this practice of “full-house heating”, the Japanese tend to heat just one room or even to restrict the heat to the part of the room they occupy. The latter is done by using either an “electrical carpet” or a traditional “person heater” called a “kotatsu”, which is a heating unit placed under the dining table which, in combination with a comforter, warms the lower torsos of those sitting around the table. These practice differences between Norway and Japan are obviously due to a complex of reasons including cultural differences as well as differences in buildings traditions and socio-technical systems (e.g. inexpensive electricity in Norway).

In an international perspective, the Norwegian (and Scandinavian) practice of “full-house heating” seems to differ from many other countries with a tradition for heating only few rooms, typically the living room. Thus, a New Zealand study based on detailed monitoring of 400 houses (Isaacs et al. 2010) shows that the New Zealand houses in general are subject to what is named “zone heating” with only the living room being heated during winter evenings. Other rooms, like bedrooms, are seldom heated.

Wilhite et al.’s study also shows interesting differences with regard to the practice of night temperature set-back; less than half of the interviewed Norwegian households set back temperatures at night and about one-third do not lower their thermostat settings while away for a weekend trip or a holiday, whereas every household in the Japanese sample turn the heat down or off in the night and when they leave the house. Similarly, only about one-third of the New Zealand households heat their living room or other rooms during night, morning or daytime (Isaacs et al. 2010), and the use of timer-controlled central heating systems are widespread in UK (Shipworth et al. 2010).

Like in Norway, “full-house heating” is also a dominant practice in Danish homes. Furthermore, it is widespread to heat most of the house to a comfortable temperature; a recent survey-based study finds that the mean self-reported temperature of Danish home-owners’ living room is 21.1 degrees Celsius (Adjei et al. 2011). However, the temperature in bedrooms is often somewhat lower than in the living-room. Also, temperature set-back during night and daytime is less widespread in Danish households compared to for instance New Zealand and UK; only about one-fourth (24%) of the Danish dwellings are subject to the practice of temperature set-back (ELMODEL-bolig 2011).

In Denmark, water-based heating-systems dominate. 62% of Danish dwellings are heated by district heating and 32% has central heating based on e.g. oil or natural gas. Wood-burning stoves as primary heating are atypical.

## Heat pumps in dwellings

### Results from survey and analysis of metering data

The majority (76%) of the 405 respondents with an air-to-air heat pump installed in their dwelling live in a single-detached house, while 14% live in a farm house and 10% in a terraced or semi-detached house. The age and income distribution of the respondents differ significantly from the overall distribution of the population and house owners in the two regions. There is an overrepresentation of older people in the survey (table 1), which also influences the rate of employment with 44% of the respondents being retired persons receiving pension (cf. 26% of the Danish population) and only 51% in employment (cf. 65% of the Danish population older than 15 years in 2008). As a result, households belonging to low-income groups (less than



400,000 DKK/year or app. 53,000 Euro/year) are overrepresented; 45% of the respondents belong to this group (cf. 34% of the house owners in the two regions). (Statistics Denmark 2010)

**Table 1. Age distribution in survey and in general in the regions of the survey**

	Survey	Population in regions
0-40 years	5,4%	32,1%
41-60 years	46,0%	38,0%
61- years	47,9%	29,0%
Not answered	0,7%	-

However, it is not possible to conclude whether the overrepresentation of older (retired) persons and low-income households reflects the actual socio-demographic characteristics of air-to-air heat pump owners or a methodological bias. Still, when interpreting the following results it should be kept in mind that the respondents in general are older than the rest of the population and less affluent than the house owners in the regions.

The respondents were asked about the reasons for their decision to purchase a heat pump. As seen in table 2, the majority indicate that they wanted to save money and energy, while considerable less chose “to improve comfort”. Thus, the economic rationale has a high priority – at least in the respondents’ own post-rationalization of the reasons for the purchase of the heat pump. More than two-third of the respondents indicate that they are very satisfied with their heat pump, and only one percent are very unsatisfied with it (not shown here).

**Table 2. Reasons to purchase the heat pump (respondents could indicate more than one alternative)**

	Number	Percent
To save money on heat consumption	290	72%
To save energy	257	63%
To improve comfort	152	38%
Contributing to reduced pollution	92	23%
Heating system needed renewing	14	3%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	39	10%
Others	27	7%

The majority (86%) used electricity (direct electric heating) as their primary heating source prior to the installation of the heat pump. This probably reflects that most campaigns and commercials for heat pumps are targeted owners of electric heated houses. Of the respondents with prior direct electric heating, many (44%) indicate that they now use the heat pump as their primary heat source, while almost as many (41%) indicate that direct electric heating is still their primary heating. Only 11% of all respondents state that the heat pump is their only heating source. This shows that the majority of respondents combine heat pumps with other heating sources – predominantly direct electric heating (at least 36% of all respondents) and/or a wood-burning stove (49% of all respondents).

The heat pump in most cases heats the living room (81% of all respondents), the kitchen (56%) and hallway/corridor (50%). Only 38% of the respondents report that it heats bedrooms. This indicates that the heat pumps are mostly installed in the central and common rooms of the household.

164 respondents had a wood-burning stove before they got the heat pump, and of these 39% report that they use less wood after they got the heat pump, 39% that it has not influenced their firewood consumption, 31% do not know and only 3% indicate that they now use more wood. This indicates that heat pumps in some dwellings partly substitute firewood.

**Table 3. Changing practices related to heating season after purchase of heat pump**

	Number	Percent
No change	206	51%
Heat is turned on for a shorter period of the year than previous	93	23%
Heat is turned on for a longer period of the year than previous	69	17%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	37	9%
Total	405	100%

**Table 4. Changing practices related to temperature after purchase of heat pump**

	Number	Percent
Same temperature as previously	223	55%
Temperatures are generally kept lower than previously	19	5%
Temperatures are generally kept higher than previously	123	30%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	40	10%
Total	405	100%

Whether people change their comfort practices and norms after the purchase of the heat pump is a main research question in this paper. Table 3 shows that 50% of the respondents do not believe that they have changed habits in relation to how much time of the year they heat their house, while 23% believe they heat for a shorter period and 17% believe they heat for a longer period. Thus, heat pumps do not in general result in an extended heating season. Table 4, however, indicates that about one third of the households have raised the indoor temperature after the installation of the heat pump, while only 5% think they keep a lower temperature.

51 respondents (13%) report that the heat pump heats rooms that were not previously heated. More than half of these (29) indicate the size of the previously un-heated floor space to be between 11 and 40 m<sup>2</sup>. As the interviews indicate (next section) many of these medium-sized rooms may be (new-built) extensions like garden rooms.

With regard to air-conditioning, a potential new comfort practice and energy consumption driver, we asked the respondents if their heat pump could be used for air-conditioning. As air-to-air heat pumps in general can be used for cooling, the aim of this question was to measure to what extent the heat pump owners were aware of this. Surprisingly, only 76% indicate this as possible, while 22% answer “no” and only 3% “do not know”. Among the 306 respondents who know that their heat pump can be used for air-conditioning, only 21% (64 households) have actually used it. Table 5 shows that the majority of these respondents (55%) only use the air-conditioning 1-9 days during an ordinary summer, while 17% use it for 15 days or more. Thus, the use of air-conditioning is not widespread, although 16% of all respondents do it one or more times during an ordinary summer.

**Table 5. Number of days the heat pump is used for air-conditioning during ordinary summer. Dwellings.**

Number of days	Number	Percent
1-4 days	24	38%
5-9 days	17	27%
10-14 days	12	19%
15 days or more	11	17%
Total	64	100%

Thus, the results from the survey indicate that only minor changes in comfort practices take place after the installation of heat pumps in dwellings. In most cases, the heat pump (partly) replaces existing heating sources in parts of the house (mostly the living room, kitchen and adjacent hallways) without profound effect on overall practices in relation to the length of the heating season and temperature. However, it is important to notice that a substantial minority (23%) reduces the length of the heating season (possible added energy saving) while 30% indicates higher temperatures (possible reduced energy saving).

All in all, this indicates that substantial reductions in electricity consumption should be expected with the installation of the heat pump. The analysis of the metering data for 138 of the dwellings shows that the installation of the heat pump results in an av-

average annual electricity saving of app. 2,000 kWh the first year after the installation. This is based on the degree days corrected consumption and corresponds to a reduction in the average total household electricity consumption (including consumption for other purposes than heating) of 14%. For houses with direct electric heating prior to the installation of the heat pump and the heat pump as the primary heating source now (N = 70), the energy saving is somewhat higher, about 2,500 kWh, which corresponds to a 18% reduction in the average total household electricity consumption. Besides a degree day correction, these average saving values are also corrected for a general trend among the participating dwellings of a yearly and heat pump independent decrease in consumption of 5%. (See Gram-Hanssen et al. Forthcoming for further details)

Figure 1 shows the degree days corrected electricity consumption before and after the installation of the heat pump. The figure shows the general tendency towards lower electricity consumption. A remarkable exception is dwellings with low electricity consumption before the installation of the heat pump, which seem to have a tendency toward *increased* energy consumption. A possible explanation for this is that these households did not have electric heating before they purchased the heat pump.

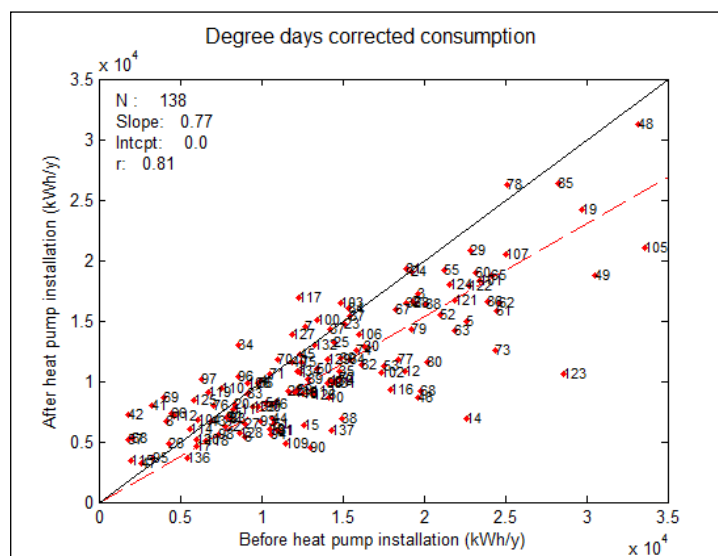


Figure 1. Annual electricity consumption before and after heat pump installation. Degree days corrected.

A multiple linear regression analysis that takes into account different variables other than the installation of the heat pump that might influence the development of the households electricity consumption (e.g. change in household members, preferred temperature, heating period, improved insulation etc.) indicates that the effect of the installation of the heat pump in itself is a reduction of about 35%, and that the influence of the variables extra TV, income level and change in heating season partly explains why the actual electricity reduction is lower than 35%. (See Gram-Hanssen Forthcoming for further details on the regression analysis)

## Results from interviews

Informants from eight dwellings were interviewed; two of these were actually summerhouses that had been turned into permanently occupied dwellings (see table 6 at the end of this section for more details on the informants). Only two dwellings had the heat pump as the only heating source. One of these was occupied by Erling Jacobsen (all informant names are pseudonyms) who lives in a 50 m<sup>2</sup> house, actually a summerhouse used as his dwelling. The heat pump replaced direct electric heating and resulted in almost a halving in his annual electricity consumption. Erling explains that he decided to purchase the heat pump because he received “a good bargain” from the local energy company. His main interest was to save money. Except that he believes the heat pump distributes the heat more evenly in the house, he has not experienced any comfort changes. In this respect he differs from most of the other informants, who feel that the heat pump has improved the indoor comfort. Typically, the informants mention benefits like less moisture, better air quality and a better “circulation” of the indoor air. For example, Richard & Irene Rasmussen experience that they do not need to air their living room as often as before; they think

that the heat pump clean the air (air-to-air heat pumps are equipped with dust filters). The informants often emphasised these non-economic advantages of the heat pump, while the energy saving was put more in the background. This indicates that even though the economical aspect may play an important role for the decision to purchase a heat pump, other things such as improved indoor air quality play a more central role for the informants' later experience of the heat pump.

In four of the eight dwellings the installation of the heat pump has been followed by an *increase* in the annual electricity consumption, but for various reasons. In two dwellings, the heat pump was installed in connection with a new-built extension to the house: Frank & Grete Henriksen installed their heat pump in a 25 m<sup>2</sup> garden room or conservatory that was built in 2007. Their present dwelling was originally their summerhouse, which they have used as their dwelling since 2008. Building the extension was part of their decision of turning the summerhouse into their dwelling as they needed more space for this. Heating the garden room makes it possible to use it also in the winter (the rest of the house is heated by a wood-pellets stove and electrical under-floor heating). Grete explains that if the garden room had not been heated in the winter "then you would have had to close this off, and that's not what was the idea – that's not why we built this. The idea is that we should be able to use this as an extra room." The heat pump was chosen as an "economically okay" alternative to other forms of heating (e.g. direct electric heating). Their electricity consumption has increased by 30-40%, although a significant part of this is due to the couple's increased use of the house.

Ellen & Michael Andreasen also built a similar 30 m<sup>2</sup> extension (garden room) to their house. The rest of the house is heated by district heating. They decided to install a heat pump in the garden room because it was cheaper in installation costs compared to central heating (due to costly piping work), it was a more simple solution than a wood-burning stove (no need for a chimney), and it could be used for air-conditioning in the summer. Their annual electricity consumption has increased about 60% since the heat pump installation. The technical inspection and calculations of the theoretical energy need for heating the garden room indicate that heating only explains about half of this increase. The rest (about 1,000 kWh/year) may partly be due the residents' frequent use of the heat pump for air-conditioning in the summer. Ellen and Michael switch on the air-conditioning if it is hot in the garden room and/or in the house, and in the questionnaire they state that they use the air-conditioning more than 15 days pr. year.

The third example of increased electricity consumption is Richard & Irene Rasmussen. In their case, the heat pump replaced oil-based central heating in their living room and kitchen. They installed the heat pump in order to reduce their expenditures on fuel oil. This resulted in a moderate increase (app. 20%) in their electricity consumption and a significant reduction in the fuel oil consumption from app. 2,000 litres/year to 1,000 litres/year.

Finally, the fourth example of increased electricity consumption is Jesper Holm. He and his wife live in their former summerhouse, and they installed two heat pumps in relation with a thorough renovation that was carried out before they moved into the summerhouse. Like in the case of Frank & Grete Henriksen, the increased electricity consumption seems to be close related to the change in the use of the house.

The above examples illustrate the complexity of reasons behind changes in electricity consumption. Besides this general observation, they also illustrate two different ways in which the potential energy saving effect of heat pumps in some cases is out-balanced by changed practices and general increases in standards and norms: By an extension of the heated floor area or by using the heat pump for air-conditioning in the summer. However, the latter seems not to be an important driver of increased electricity consumption in general. Besides the Andreasen family, only Helene & Kenneth Hansen used air-conditioning, and in their case only occasionally on warm summer days (if they have guests and it is too hot to be outside). Several of the informants are even quite sceptical about air-conditioning. For instance, Jacob Adamsen thinks it is unnecessary to use air-conditioning as the summers are not too hot in Denmark. On the other hand, some of the informants who do not use air-conditioning are less reserved to the idea of using air-conditioning sometime in the future. Thus, Richard & Irene Rasmussen think that as they get older they might benefit from using air-conditioning in order to avoid draught from open windows and doors. Similarly, Heidi Hemmingsen imagines that she and her husband would

have used air-conditioning in warm summer nights, if the heat pump had been installed in the bedroom (and not in their living room).

A third example of increasing standards is Helene & Kenneth Hansen, whose heat pump replaced direct electric heating in their kitchen and living room, but with only about 10% reduction in the household's electricity consumption. The moderate decrease might partly be explained with higher temperatures:

Kenneth: We have probably got a higher temperature in here [in the living room and kitchen].

Helene: Yeah, previously we were satisfied with 20 degrees (...)

Kenneth: (...) now it's 21.5, so we have actually raised the indoor climate – the temperature, right, since we have got the heat pump. In a way, we have allowed ourselves a bit of luxury.

Previously, the Hansen family kept the indoor temperature at 20 degrees in order to save money, but now they have increased the temperature as they think of the heat pump as less expensive than direct electric heating. The metering data indicates that this change in comfort practice has resulted in a smaller energy saving that would have been expected. Increased temperatures, and the previous example of air-conditioning, are both examples of “rebound effect”.

**Table 6: Informants with a heat pump installed in their dwelling. All names are pseudonyms.**

Name (age of informants)	Household size (adults and children living at home)	Replace direct electric heating?	Development in electricity consumption (approximate electricity consumption before)	Technical inspection (comments, e.g. risk of unintended cooling)
Heidi Hemmingsen (49)	2 adults, 3 child.	No	App. 25% reduction (12,000 kWh/year)	No unintended cooling
Frank & Grete Henriksen (62 & 60)	2 adults	No	App. 30% increase (6,000 kWh/year)	Lower efficiency due to physical obstruction of indoor component + risk of unintended cooling
Jacob & Ruth Adamsen (55 & 58)	2 adults	Yes	App. 10% reduction (10,000 kWh/year)	No unintended cooling
Erling Jacobsen (61)	1 adult	Yes	App. 50% reduction (7,200 kWh/year)	No unintended cooling
Helene & Kenneth Hansen (49 & 55)	2 adults, 2 child.	Yes	App. 10% reduction (14,000 kWh/year)	No unintended cooling
Ellen & Michael Andreassen (50 & 53)	2 adults, 3 child.	No	App. 60% increase (4,200 kWh/year)	No unintended cooling
Jesper Holm (68)	2 adults	Yes	App. 90% increase (3,500 kWh/year)	No unintended cooling
Richard & Irene Rasmussen (72 & 70)	2 adults	No	App. 20% increase (3,700 kWh/year)	No unintended cooling

## Heat pumps in summerhouses

### Results from survey and analysis of metering data

The survey includes only 76 respondents with an air-to-air heat pump in their summerhouses, and the statistical results are therefore associated with higher uncertainties. With regard to age, there is an over representation of old respondents. 91% are older than 50 years; the national figure for summer house owners is 78% (Andersen and Vacher 2009). More than 75% of the respondents are older than 60 years, which means that the majority (62%) of the respondents are pensioners.

Most of the Danish summerhouses were built during the welfare boom in the 1960s and 70s and often in coastal areas or close to lakes and forests. Danish summerhouses, which typically have a floor space of 60-70 m<sup>2</sup>, are mainly used by their owners in holidays and weekends during the summer and less often in the winter. About 15% of the summerhouses are used (legally or illegally) as permanently occupied dwellings, mainly by old-age pensioners (Andersen & Vacher 2009; Hjalager 2009). It therefore seems likely that some of the respondents in this survey live in their summerhouse throughout the year. Unfortunately, the questionnaire did not include a question on this. A “follow-up” survey was therefore carried out by calling the re-

spondents by telephone in order to ask about this (and a few other follow-up questions, see later). We only succeeded in getting in contact with 35 respondents. Of these, 8 respondents (app. 23%) use their summerhouse as their dwelling. Even though the number of respondents is very low (and the uncertainty very high), this indicates that roughly estimated 15-30% of the respondents in the original survey use their summerhouse as their dwelling.

Similar to dwellings, most respondents indicate the possibility of saving energy and money as a reason for purchasing the heat pump (table 7). However, the interest in getting a better comfort is more pronounced among the summerhouse owners (53%) than was the case for dwellings (38%). Also, 51% states that they intended to use the heat pump to keep the summerhouse frost-proof in the winter. Thus, these results show a more complex picture of reasons for purchasing a heat pump compared to dwelling owners, who primarily focused on saving money and energy. As we will show later, this seems to reflect that heat pumps in the case of summerhouses form part of a more thorough change of the comfort standards than is the case for dwellings.

**Table 7. Reasons to purchase the heat pump (respondents could indicate more than one alternative)**

	Number	Percent
To save energy	46	61%
To improve comfort	40	53%
In order to frost-proof the house in the winter	39	51%
To save money on heat consumption	38	50%
Contributing to reduced pollution	16	21%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	2	3%
Heating system needed renewing	0	0%
Other	6	8%

In more than two-third (72%) of the summerhouses the heat pump is the primary heat supply, and about three-quarter (78%) report that they used direct electric heating as their primary heat supply prior to the heat pump. Thus, more than half of the respondents (59%) have changed from direct electric heating to heat pump. Furthermore, 80% indicate that they also use firewood for heating, and half of those (47%) who had a wood-burning stove also before the installation of the heat pump indicate that they use less firewood now, while 35% states that it is unchanged. This shows that the heat pump in many cases (32% of all respondents) partly substitutes firewood consumption.

With regard to comfort practices (table 8 and 9), more than half of the respondents indicate that the heat is turned on for a longer period of the year (55%) and that they have increased the temperature (53%) since they got the heat pump. This indicates that the installation of heat pumps is followed by more extensive changes in comfort practices in summerhouses than was the case for dwellings. Thus, some of the potential energy saving might be offset by increased energy use due to higher comfort standards.

**Table 8. Changing practices related to heating season after purchase of heat pump**

	Number	Percent
No change	25	33%
Heat is turned on for a shorter period of the year than previous	5	7%
Heat is turned on for a longer period of the year than previous	42	55%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	4	5%
	76	100%

**Table 9. Changing practices related to temperature after purchase of heat pump**

	Number	Percent
Same temperature as previously	32	42%
Temperatures are generally kept lower than previously	1	1%
Temperatures are generally kept higher than previously	40	53%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	3	4%
Total	76	100%

It is likely that some of the increase in the length of the heating season is related to changes in the winter heating practice. The answers to the question “In which way is the heat pump used for heating in the winter months?” show that 24 respondents (32%) primarily use the heat pump to frost-proof their house during the winter, while 38 respondents (50%) states that they use the heat pump as their primary heating. As it was only possible for the respondents to give one answer, the share of respondents that uses their heat pump to frost-proof the house is probably higher. In order to clarify this, a few questions on the winter heating practices were included in the follow-up survey. This showed that among the 27 respondents who did not use their summerhouse as their dwelling 23 respondents (85%) state that they heat their summerhouse to 10-16 degrees Celsius the entire winter. Only 2 respondents “shut down” their summerhouse for the winter (i.e. turn off all heat and frost-proof water installations), while 2 respondents heat their summerhouse to about 5 degrees Celsius. Interestingly, only 13 respondents (48%) heated their summerhouse before the heat pump, and all of these (except one) report that they have increased the temperature. Despite high uncertainties, the follow-up survey seems to support the finding that it is common to use the heat pump to keep the summerhouse heated up to 10-16 degrees during the winter, and that most of the summerhouses previously either were “shut down” for the winter or heated to lower temperatures. This indicates a significant increase in heating standards that might partly outweigh the potential energy saving of the heat pump.

With regard to air-conditioning, only 39 respondents (51%) are aware that their heat pump can be used to this. Of these, only two respondents use air-conditioning 10-14 days during an ordinary summer and no respondents use it for more than 14 days. This indicates that the use of air-conditioning is moderate and probably not (yet) a driver behind increased electricity consumption.

To sum up, the survey indicates a number of changes in comfort practices (increased temperature, longer heating seasons, less firewood consumption and a widespread use of heat pumps to keep the house heated in the winter) that potentially can outweigh the energy saving potentials. This observation is supported by the analysis of the metering data for 42 summerhouses (figure 2), which shows no significant reduction in the average electricity consumption. A more detailed study of the metering data shows that summerhouses with low electricity consumption before the heat pump installation actually tend to increase their consumption (probably because they are now heated during the winter), while houses with previous high consumption tend to achieve a reduction. See Gram-Hanssen et al. Forthcoming for further details.

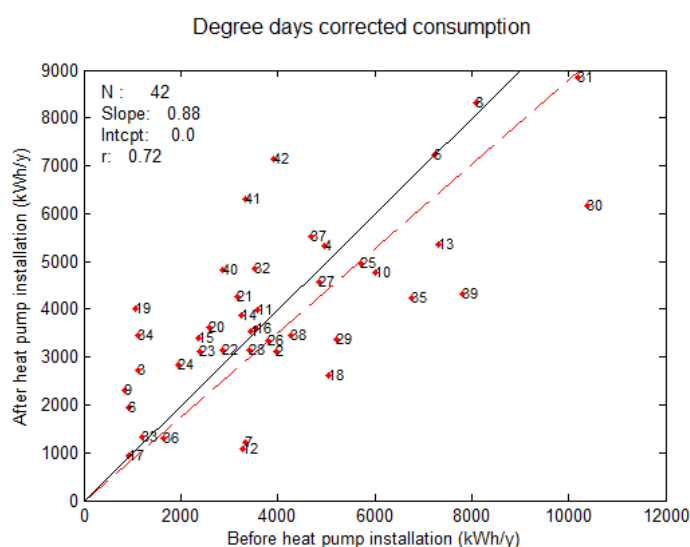


Figure 2. Annual electricity consumption before and after heat pump installation. Degree days corrected.

## Results from interviews

Four interviews concerning summerhouses were carried out (see table 10). In all four cases, the summerhouse owners used their heat pump to keep their summerhouse heated during the winter (this had not been a criterion for selection of inform-

ants). Actually, this played an important role for the informants' original decision about purchasing a heat pump. One example is the 72 year-old Nora Poulsen, who has her own summerhouse (her husband died a few years earlier), which she uses 2-3 months per year in total –although, only a few days per month during the winter. Nora explains that before the installation of the heat pump, the summerhouse would only be heated in the winter if she used it. However, there had been some problems with moisture and mould in the house, and this played an important role for her decision on getting a heat pump. Now, these problems have disappeared, and: "... that was why I got it [the heat pump]. Because I thought 'I won't take the risk of spoiling the house because it is not used [in the winter]' (...). And I thought 'but then I must spend the money it costs'. In any case, it has been good for the house." The summerhouse previously had direct electric heating, and when asked if it would have been an alternative to use this for heating the house during the winter, Nora answers: "But that I wouldn't have done (...) it is simply too expensive."

It was a widespread assumption among the informants that it was good for the house (the building materials) to be heated during the winter. For instance, John Nørgaard had been told by the heat pump salesperson that it would be the best for the walls if they were not exposed to high temperature fluctuations. Similarly, the couple Edith and Tonny Karlsen had been told the same by the carpenter who built the extension to their summerhouse.

All informants explain that it is nice to arrive to a heated summerhouse. Several told about how they (prior to the heat pump) had developed special routines for heating up the cold house. For instance, John Nørgaard and his wife would turn up the direct electric heating and light a fire in the wood-burning stove as the very first thing upon their arrival to the house. When they would drive to their daughter's place (she lives close to the summerhouse) and stay there for a few hours until the summerhouse had got a comfortable temperature. Now, with a heat pump heating the house to about 16 degrees Celsius, it has become much easier and faster for them to heat the house to a comfortable temperature. Edith and Tonny Karlsen also tell about how it previously had been uncomfortable and inconvenient to arrive to a cold house. They experienced problems with moisture and the wooden floor and the walls almost "sweat" when they turned on the heat:

Tonny: And we had to drive down here [to the summerhouse] the day before [they intended to stay in the house] and take all our bedclothes and everything – take it back home [to their dwelling] and put it in the tumble dryer. Because otherwise she [Edith] would get nettle rash.

Edith: I'm allergic to house dust mites...

Thus, heating up the house to about 15 degrees Celsius during the winter is generally experienced as both more comfortable and convenient by the informants. As a consequence, all informants (except for John Nørgaard and his wife) use the house more often during the winter. This actually played an important role for Jens Panduro and his wife's decision on purchasing a heat pump. They saw the heat pump as a possibility for heating the house during the entire winter without spending too much money on electricity, and thus avoid the troubles of shutting down the house for the winter and also make it more attractive to use the house more often for short stays during the winter. However, Jens and his family only use their summerhouse for 6-8 days in total during the winter. Only John Nørgaard and his wife stay in their summerhouse frequently during the winter (about three out of four weekends).

Prior to the heat pump, John Nørgaard and Edith and Tonny Karlsen kept their summerhouses heated up to 5 degrees Celsius by use of direct electric heating, while Nora Poulsen and Jens Panduro "shut down" their houses for the winter (frost-proofing water installations etc.). In the case of John Nørgaard, the electricity consumption almost halved with the installation of the heat pump, while the Karlsen couple experienced a reduction of about a quarter. Contrary to this, Jens Panduro experienced a trebling in the annual electricity consumption, which is most likely due to changed winter heating practices (however, a minor part of this – about 10% of the electricity consumption – can be due to technical problems with the installation of the heat pump; in order to prevent theft, John had built a box of wooden bars around the outer part of the heat pump, which may reduce the heat pumps efficiency). Finally, Nora Poulsen experienced almost a halving of the electricity consump-



tion, but this is most likely due to a change in her use of the summerhouse, as she used it as her dwelling the years before the installation of the heat pump.

All informants keep their summerhouse heated up to 16 degrees Celsius during the winter because the air-to-air heat pumps cannot be set at a lower setpoint temperature. This is a remarkable example of how the characteristics of technologies co-determine the development of (new) practices. Besides John Nørgaard, the informants explain that they would have preferred 10-12 degrees Celsius as setpoint instead; they think it is an unnecessary energy consumption to keep the house heated at 16 degrees. On the other hand, all informants appreciate that the house is well-heated and it only takes little time to raise the temperature to a comfortable level. Thus, there is some ambiguity between wanting to save (or: not wasting) energy and money while, at the same time, taking pleasure in the comfort and convenience of a well-heated house. Nora Poulsen explains: "... if it [the temperature] was four degrees lower, it would save some electricity, wouldn't it. Even though, I don't think it's unreasonable that I have to pay about forty hundred [Danish kroner] to keep the house heated all year around – you can say – (...) everything is running on electricity."

Two of the informants (John Nørgaard and Nora Poulsen) also mention another type of comfort improvement. In the evenings they often light a fire in the wood-burning stove, but a few hours after they have gone to bed, the fire goes out and without other heating the house would be cold in the morning. Before the heat pump, they generally refrained from using the expensive direct electric heating to keep the house heated in the night, but now they use the heat pump for this. As Jens explains, it is an unpleasant "way to start your day" with a low temperature in the house.

John Nørgaard and Edith and Tonny Karlsen are the only informants who have used their heat pump for air-conditioning. Edith and Tonny explain that their summerhouse can reach temperatures of about 30 degrees Celsius on hot summer days. They therefore turn on the air-conditioning in the evening in order to make it comfortably cool when they go to sleep. The air-conditioning did not play a role in their original decision of purchasing the heat pump, but they appreciate this possibility. They estimate that they used the air-conditioning 7-8 days in 2010 (not a warm summer in Denmark). John Nørgaard and his wife only use the heat pump for air-conditioning 3-4 times in the summer. However, as they use the automatic control feature of the heat pump (at which the heat pump either heats or cools if the indoor temperature gets lower or higher than a specific temperature range) the heat pump sometimes turns on the air-conditioning if the temperature in the living room gets high due to the heat from the wood-burning stove. When asked if they do something to avoid this, John explains that the air-conditioning is only running for a short time and he compares it with other types of consumption that could potentially be avoided if people cared about it: "you could also turn of the light [every time you do not use it] – but you don't".

Nora Poulsen and Jens Panduro never use air-conditioning. Like the majority of the informants in general, Jens rejects the idea and expresses an understanding of air-conditioning as an unnecessary and superfluous consumption: "It is also a kind of principle that I have. That is, you should not use energy on cooling – I think that is luxury (...). If you sweat [on hot summer days], you just have a swim or you can take something to drink and sit down in the shadow."

**Table 10. Informants with a heat pump installed in their summerhouse. All names are pseudonyms.**

Name (age of informants)	Household size (adults and children living at home)	Replace direct electric heating?	Development in electricity consumption (approximate electricity consumption before)	Technical inspection (comments, e.g. risk of unintended cooling)
Nora Poulsen (72)	1 adult	Yes	App. 50% reduction (4,400 kWh/year)	No risk of unintended cooling
John Nørgaard (63)	2 adults	Yes	App. 50% reduction (5,500 kWh/year)	Risk of unintended cooling
Jens Panduro (56)	2 adults, 2 child.	Yes	App. 300% increase (1,000 kWh/year)	Lower efficiency due to physical obstruction of outdoor component + no unintended cooling
Edith & Tonny Karl- sen (63 & 68)	2 adults	Yes	App. 10% reduction (7,700 kWh/year)	No unintended cooling

## Changing practices and consequences for electricity consumption

The survey and interviews indicate that the installation of air-to-air heat pumps in *dwelling*s is followed by only moderate changes in the residents' comfort practices. Thus, the installation of heat pumps generally results in electricity savings as showed by the metering data. However, the actual savings are smaller than the "potential". As the metering data analysis indicates, only about the half of the potential saving from changing to heat pumps is realised. The survey and the qualitative interviews indicate at least three reasons for this: First, in about 10% of the dwellings the heat pump is used to heat rooms that have not previously been heated, such as new-built extensions like conservatories or garden rooms. As the interviews suggest, dwelling owners might choose heat pumps to heat extensions because of the image of heat pumps as a cost-efficient heating form. Secondly, this image also seems to motivate a subgroup of heat pump owners to increase the indoor temperature in their dwelling. Thirdly, about 15% of the respondents use air-conditioning in the summer, although frequent use is rare. However, the use of air-conditioning is not widespread, which might be closely related to an understanding of this as an expensive, unnecessary and superfluous luxury. Rather than due to economic constraints, the informants seem to limit their use of air-condition because of a more general normative rejection of the necessity of cooling in Denmark. Similar non-economic limits to the use of air-conditioning have also been found in other studies, e.g. an older study from US (Kempton et al. 1992). This is an example of how engagements, as an element of practices, co-construct comfort practices.

Compared to dwellings, the changes in comfort practices are much more significant in relation to *summerhouses*. Actually, the metering data analysis indicates that the potential energy savings is outbalanced by increased convenience and comfort standards. The interviews show that the purchase of heat pumps is an integrated element of a general improvement of the comfort in summerhouses. This finding is supported by the survey; compared to the dwelling owners, the summerhouse owners indicate a much more diverse range of reasons for their purchase of a heat pump, including saving money and energy as just two among other reasons (table 7). Improving the comfort and frost-proofing the house were also important reasons. In the case of the summerhouse owners, the heat pump (with its image as inexpensive heating) forms part of a general project aimed at making the summerhouse more comfortable by heating it during the winter and improving the air quality (reduce problems with moisture). Similarly, informants with a wood-burning stove appreciate that the heat pump can be used to keep the house heated during the night so they avoid to wake up to a cold house.

These examples of increased comfort standards show that the purchase and use of heat pumps form part of a general change of comfort practices in summerhouses that make these almost identical to the comfort practices in dwellings, i.e. characterised by "full-house heating" and by minimal temperature variations during day and night. This "normalisation" of the summerhouse comfort practices parallels the general in-

crease in the building standards of summerhouses that have taken place within the last 20-30 years. Investments in summerhouse renovations have been extensive and more and more houses are equipped with facilities like internet, television, fully equipped bathrooms and white goods. Also, the gardens are more well-kept (in many cases similar to the gardens to single-detached family houses) than were the case a few decades ago (Andersen & Vacher 2009; Hjalager 2009). The adoption of “full-house heating” comfort practices in summerhouses increase the energy needed for space heating, which outweigh the electricity saving potentials of replacing direct electric heating with heat pumps. As a result, heat pumps seem to be a questionable solution to achieve higher energy efficiency in summerhouses.

Interestingly, the understanding of heat pumps as cost-effective and good for the indoor air quality, and the very idea of heating the summerhouse the entire winter, closely reflects the images communicated in the regional energy companies’ heat pump campaigns targeted summerhouse owners with direct electric heating. In these campaigns, the companies typically emphasizes the possibility of saving money with heat pumps as well as the benefits of heating the summerhouse during the winter such as smaller risk of frost injuries, a better indoor climate and that it is more attractive to use the house. For instance, a 2006 advertisement in the customer magazine from one energy company had the title: “Save cold cash on the heating bill – and enjoy a nicely warm summerhouse all the year round”. Several of the informants actually still remembered these campaigns, and the interviews indicate that these campaigns succeeded in influencing the summerhouse owners’ understanding of how the heat pumps can be used (and in forming new comfort practices). The “side-effect”, however, is that the potential energy savings is outbalanced by increased comfort standards.

With regard to the elements that hold the studied comfort practices together, it is interesting to notice how decisive the institutionalised knowledge of the heat pump as an energy-efficient and cost-effective alternative to direct electric heating is; this knowledge is disseminated in campaigns etc. and acts as a mediator or “midwife” for thorough practice changes in summerhouses, which in the end level the differences between comfort practices and standards in summerhouses and dwellings. This also shows how important it is to include also other elements than just the technical aspects in a coherent and comprehensive energy policy.

Also the technical characteristics – the design and operation modes – of the heat pumps play a particular important role as a constituting element of the practices studied here. Again, this is seen most strongly in relation to the practices in summerhouses. As described, most of the summerhouse owners would have liked to heat their house up to only 10-12 degrees Celsius, but due to technical limitations of the heat pumps, this was not possible.

## Conclusion

Heat pumps are increasingly assigned a central role in energy planning and energy policy. Not only as a means to save energy and reduce the environmental impact related to space heating, but also as part of the realization of the “smart grid” through load management. However, this study points out a number of pitfalls that might, if not taken into account, undermine the potential advantages of replacing direct electric heating with heat pumps. For summerhouses, the analysis of metering data shows no significant reduction in the average electricity consumption. As the interviews and the survey show, this can be explained by a general increase in the comfort standards in summerhouses subsequent to the installation of the heat pump (e.g. higher temperatures or keeping the house heated during the winter in order to prevent moisture problems and making it more comfortable to use for short periods during the winter). The higher comfort standards imply an increase in the need for space heating that outweighs the potential electricity saving of replacing direct electric heating with heat pumps. The most important practice change is related to the widespread use of the heat pump for heating the summerhouse during the entire winter. The purchase of the heat pump is followed by changes in comfort practices that make these similar to the comfort practices in dwellings.

With regard to dwellings, the analysis of metering data shows that the installation of heat pumps is followed by a significant reduction in the actual electricity consump-

tion (app. 35%). Thus, heat pumps in this case contribute to higher energy efficiency. However, the actual energy saving is significant lower than the potential energy saving. Also in this case increasing comfort standards seem to explain at least some of this (e.g. increased indoor temperature).

## References

- Adjei, A., Hamilton, L., Roys, M. (2011): *A study of homeowners' energy efficiency improvements and the impact of the Energy Performance Certificate (Deliverable 5.2 from the Intelligent Energy Europe project IDEAL-EPBD)*. Download from: <http://www.ideal-epbd.eu> (17 March 2011)
- Andersen, H.S. and M. Vacher (2009) *Sommerhuse i Danmark. Hvem har dem og hvordan bruges de?* Copenhagen: Center for Bolig og Velfærd.
- Bourdieu, P. (1976) *Outline of a Theory of Practice*. Cambridge: Cambridge University Press
- Danish Energy Saving Trust (2011) *Erstat elvarme med en luft til luft-varmepumpe*. Retrieved from the website of Danish Energy Saving Trust (<http://www.goenergi.dk>). Access date: 2011-01-10
- Dansk Energi (2010) *Dansk Elforsyning Statistik 2009*. Copenhagen: Dansk Energi.
- ELMODEL-bolig (2011) Retrieval from the ELMODEL-bolig database. Copenhagen: IT Energy. Access date: 2011-01-12.
- Giddens, A. (1984) *The Constitution of Society*. Cambridge: Polity
- Gram-Hanssen, K. (2010a) 'Residential heat comfort practices: Understanding users'. *Building Research and Information* 38(2): 175-86.
- Gram-Hanssen, K. (2010b) 'Standby consumption in households analysed with a practice theory approach'. *Journal of Industrial Ecology* 14(1): 150-65.
- Gram-Hanssen, K., Christensen, T.H., Larsen, T.F., Petersen, P.E., Gudbjerg, E., Rasmussen, L.S. and P. Munter (forthcoming) *Energy savings with air-to-air heat pumps – True or false?*
- Hjalager, A. (2009) *Udviklingsdynamikker i sommerhusektoren*. Copenhagen: Center for Bolig og Velfærd.
- Kempton, W., Feuermann, D. and A.E. McGarity (1992) "'I always turn it on super": user decisions about when and how to operate room air conditioners'. *Energy and Buildings* 18(3-4): 177-191.
- Kofoed, N., Rasmussen, E.R., Weldingh, P., Worm, J., Rasmussen, L.A., Reuss, M., Ellehauge, K., Kjærgaard, C., and O.M. Jensen (2010) *Elbesparelser i sommerhuse her og nu*. Hørsholm: Danish Building Research Institute, Aalborg University (SBI 2010:54)
- Kvale, S. (1996) *Interviews: An Introduction to Qualitative Research Interviewing*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Reckwitz, A (2002) 'Toward a Theory of Social Practices', *European Journal of Social Theory* 5(2): 243-63.
- Schatzki, T.R. (1996) *Social Practices. A Wittgensteinian approach to human activity and the social*. Cambridge: University Press.
- Shove E. (2003) *Comfort, cleanliness and convenience. The social organization of normality*. Oxford: Berg.
- Shove, E and M. Pantzar (2005) 'Consumers, Producers and practices. Understanding the invention and reinvention of Nordic walking', *Journal of Consumer Culture* 5(1): 43-64.
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J. and M. Sommerville (2009) 'Empirical estimates of the direct rebound effect: A review', *Energy Policy* 37(4): 1356-71.
- Statistics Denmark (2010) *Statistisk Årbog 2010*. Copenhagen: Statistics Denmark.
- Warde, A (2005) 'Consumption and Theories of Practice', *Journal of Consumer Culture* 5(2): 131-53.
- Wilhite, H., Nakagami, H., Masuda, T. and Y. Yamaga (1996) 'A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway', *Energy Policy* 24(9): 795-803.

Wittrup, S. (2010) 'Fejldimensionerede varmepumper skæmmer markedet', *Ingeniøren Energi & Miljø*, 10 September 2010 (p. 3).

# Energy Savings with Air-to-Air Heat Pumps – True or False? Findings and Policy Implications from a Danish Study

Paper presented at eedal, Copenhagen,

eedal, Copenhagen Denmark, 24-05-11 - 26-05-11

Kirsten Gram-Hanssen and Toke Haunstrup Christensen  
Danish Building Research Institute, Aalborg University

Poul Erik Petersen and Troels Fjordbak Larsen,  
IT Energy ApS

Erik Gudbjerg and Lisbet Stryhn Rasmussen  
Lokalenergi A/S

Preben Munter,  
SEAS-NVE

## Abstract

Air-to-air heat pumps are increasingly promoted as a means for energy savings – but do they “keep their promise?”

If installed, maintained, and used properly, air-to-air heat pumps can provide high efficiency heating of dwellings as compared to direct electric heating. The latest Danish energy agreement therefore includes heat pumps as one of the measures. However, energy savings not only depend on efficient appliances, but also on installation, maintenance, and user practices. Examples of user practices which can counteract the energy savings include changes in the residents’ thermal comfort practices such as higher indoor temperatures and air conditioning in the summer. Maintenance and installation defects include restricted airflow, leaky ducts, long line sets etc., but can also include wrong default settings or incorrect operation due to a difficult user-interface. Thus, reasons for inefficiency might be technical as well as practice-related.

This paper presents results from a survey of user practices combined with information from utilities on electricity consumption among households with air-to-air heat pumps. The study explores to what extent households realise actual energy savings when installing heat pumps. Results indicate that in permanently occupied dwellings there are significant energy savings even though they are less important as compared to what should be expected from a technical view. This can be explained by some households raising their comfort norms, including some the use of the heat pump for air conditioning. In summerhouses, however, results indicate that energy savings are only realised for some households whereas others realize increased electricity consumption following from new habits such as heating the summerhouse all year, even it is primarily used in the summertime.

## Introduction

According to technical specification of heat pumps they typically convey a reduction of two-thirds of the electricity consumption as compared to direct electric heating. The question, however, is to what extent these reductions are actually realised on the field. From research in energy efficiency and consumer behaviour it is well documented that when efficient technologies are put into use the potential savings are not necessarily met. The so-called “rebound effect” is an economically based interpretation of how (some of) the money saved on efficiency will be used on increases in more consumption, e.g. higher comfort temperatures. A comprehensive review study of the rebound effect within energy efficiency in the household sector concludes that approximately 20% of the potential savings for heating is transformed into higher consumption rather than savings [1]. Also studies with a socio-technical approach have studied how development of new technologies goes hand in hand with development of new norms and expectations of what is convenient and comfortable and thus leads towards still higher expectations [2]. Though there are not published studies focusing explicitly on the use of heat pumps within these approaches, there are reasons to believe that the same tendencies may be found when installing heat pumps. For instance an unpublished spot test among 80 heat pump customers showed only on average 11% reduction in electricity consumption after installation of heat pumps.

The purpose of the present study is thus to explore to what extent the potential energy savings from the use of heat pumps are reached when used in real life or if changes in comfort practices, wrong use and installation or maintenance of the technology or other factors are responsible for reduced savings. When answering these questions it is relevant to distinguish between use of heat pumps in permanently occupied dwellings and in summerhouses as it must be anticipated that the use in these two different settings are qualitatively different and furthermore they have also been marketed in different ways.

There are about 215,000 summerhouses in Denmark [3] and most of these were built during the welfare boom in the 1960s and 70s, often in coastal areas or close to lakes and forests. Danish summerhouses, which typically have a floor space of 60-70 m<sup>2</sup>, are mainly used by their owners in holidays and weekends during the summer and less often in the winter. About 15% of the summerhouses are used (legally or illegally) as permanently occupied dwellings, mainly by old-age pensioners [4] [5]. The majority of the summerhouses (app. 84%) have direct electric heating installed while only about one out of ten has an air-to-air heat pump [6].

The majority of the permanently occupied dwellings in Denmark have central heating, based on district heating, gas or oil. Though, app. 119,000 dwellings, or 8% of the total Danish dwelling stock (only single-detached, semi-detached, terraced and farm houses included here), are heated by direct electric heating, while only 7,700 have a heat pump as their primary heating form [7]. The Danish Energy Agency estimates that the number of installed air-to-air heat pumps is about 75,000 [8]. Many of these probably supplement other forms of heat supply (e.g. direct electric heating). Thus, the total potential for further substituting electric heating with air-to-air heat pumps is considerable, which is also why Danish energy authorities at the moment subsidy installation of heat pumps. This makes it further relevant to research to what extent heat pumps actually delivers energy savings.

The following of this article first explain the methods of the study and then go into details on the analysis of first the permanently occupied dwellings and secondly the summer houses, and then in the discussion and conclusions results are considered in an energy policy perspective.

## Methods

Data presented in this paper are based on a survey from 2010 among house owners in two Danish regions who installed air-to-air heat-pumps. The survey population of 2793 households was obtained from two Danish energy companies with sales information on heat-pump ownership including summerhouses and permanently occupied dwellings with heat pumps. A sample of 681 house owners or 24.4% within the population completed the questionnaires. The questions towards summerhouses differed slightly from those to all-year houses. In the questionnaire people are asked to indicate the type and fabrication of heat-pump, and based on this, only questionnaires from households which for certain have an air-to air heat pump are kept in the analysis. This includes 481 houses, whereof 76 are summerhouses. Analysis of these questionnaires is provided in the following section, including questions on heat pump usage and comfort practices.

The questionnaires are also combined with energy consumption data, as delivered from the energy companies, from the years 1990 to 2009 to be able to detect any changes in energy consumption in the households following the installation of the heat pump. Some questionnaires are removed from this part of the survey if the year of installation of the heat pump is unknown, or if the installation year is too recent or too old in order to have at least one whole year of energy consumption both before and after installation. This results in a dataset of 185 questionnaires, whereof 47 are for summerhouses. Among summerhouses a follow-up survey was conducted with some additional questions. Survey data thus include different sets of data, one consisting of 481 households, where electricity consumption is not included, and one consisting of 185 households where survey results are combined with energy consumption information. The survey dataset are summarized in table 1.

**Table 1. Number of households in survey dataset**

	<b>Total</b>	<b>Permanently occupied dwellings</b>	<b>Summer houses</b>	<b>Follow-up on summer houses</b>
Questionnaire survey	481	405	76	35
Survey including electricity consumption	185	138	42	16

SPSS statistical analysis has been used on the four different datasets [10].<sup>3</sup> For the questionnaire data set descriptive analysis have been carried through and for the survey including electricity consumption descriptive analysis as well as regression models have been used. The follow-up survey is only used for commenting on other analysis and not analysed quantitatively due to the limited number of respondents.

The study also includes qualitative interviews with twelve households selected from the survey and visual inspections of the operation and maintenance-standard of these households' heat pumps. The technical inspections focused on visible conditions that might reduce the efficiency of the heat pump, including the condition of the evaporator/condenser (physical damages or dirt obstructing air flow) and risks of "thermal short-circuit" due to the

---

<sup>3</sup> Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) software was first released in 1968 after being developed by Norman H. Nie and C. Hadlai Hull. SPSS is used for statistical analysis in social science. The original SPSS manual was written by Nie, Bent & Hull in 1970.



placing of the evaporator/condenser. Results from the interviews and inspections are further described in Christensen et al [9].

The last part of the project looks into a future potential cooling demand from Danish households including scenario estimates on the correspondingly energy demand. This part has not yet been published.

Analyses of the results are divided into two sub samples, where the first focuses on results from permanently occupied dwellings and the second focuses on results from summerhouses. Both of these parts will be distinguished between the two datasets of questionnaires by analysis without electricity consumption and analysis explicitly related to questions of changes in electricity consumption.

## Analysis of permanently occupied dwellings

### Analysis of survey dataset on permanently occupied dwelling

This section provides descriptions of the households answering the survey. As shown in table 2, on the age distribution, those answering the survey are older than the population in general in these regions. This also influences the rate of employment, where 44% of those participating in the survey are retired persons receiving pension where the same only apply to 26% of the population on a national level (not shown here in table). This can also be retrieved in the income distribution among those answering the survey. In table 3 it is seen that those answering the survey to a higher extend are in the lower income groups as compared to all house owners in the region. The problem with these descriptions of the survey respondents in comparison with the general population is that we do not know to what extent they show, that it is a special segment of the population that are having heat pumps or if there is a special segment of those having heat pumps that has answered the questionnaire. When interpreting results it is of importance to notice that the respondents in general are quite old and not among the wealthiest of the house owners.

**Table 2. Age distribution in survey and in general in the regions of the survey**

	Survey	Population in regions
0-40 years	5,4%	32,1%
40-60 years	45,9%	38,0%
60- years	48,6%	29,0%

**Table 3. Income distribution in survey and among house owners in the regions of the survey**

Income per year, DKK	Income per year, euro	Survey	House owners in the regions
Less than 200.000	Less than 26.000	10,2%	9,3%
200-399.000	26-53.000	35,1%	24,5%
400-599.000	53-80.000	24,9%	22,5%
More than 600.000	More than 80.000	29,9%	43,7%

**Table 4. Reasons to purchase the heat pump**

	<b>Number</b>	<b>Per cent</b>
To save money on heat consumption	290	72%
To save energy	257	63%
To improve comfort	152	38%
Contributing to reduced pollution	92	23%
Heating system needed renewing	14	3%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	39	10%
Others	27	7%

Respondents have been asked why they purchased the heat pump. As seen in table 4, the majority has done this to save money and energy, and to a lower degree to improve their comfort. More than two third of the respondents indicate that they are very satisfied with their heat pump, and only one percent that they are very unsatisfied with it (not shown in table).

### **Use of the heat pump and changing norms of comfort in all-year houses**

The majority (86%) of the respondents used electricity for heating before they bought the heat pump and many of them (approximately 60%) use the heat pump as primary heat source now, though only 11% indicate that the heat pump is their only source for heating purpose. Approximately 50% of the households combine heat pumps with a wood burning stove and the majority use electric heating, with either heat pump or electricity as the primary source. 164 respondents had a wood burning stove before they got the heat pump and among those there are 39% who indicate that they use less wood after they got the heat pump, 39% indicate that it has not influenced their wood burning habits, 31% do not know and only 3% indicate that they use more wood after they got the heat pump. It seems thus that heat pumps in some households have substituted wood rather than electricity for heating purpose.

**Table 5. Changing heating practices related to heating season after purchase of heat pump**

	<b>Number of households</b>	<b>per cent</b>
No change	206	50,9%
Heat is turned on for a shorter period of the year than previous	93	23,0%
Heat is turned on for a longer period of the year than previous	69	17,0%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	37	9,1%
Total	405	100%

**Table 6. Changing heating practices related to temperature after purchase of heat pump**

	<b>Number of households</b>	<b>Per cent</b>
Same temperature as previously	223	55,1%
Temperatures are generally kept higher than previously	123	30,4%
Temperatures are generally kept lower than previously	19	4,7%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	40	9,9%
Total	405	100%

The question if people change their heating practices and norms of comfort after purchase of the heat pump is a main research question in this paper. In table 5 it is seen that 50% of the households themselves do not believe that they have changed habits in relation to how much of the year they heat their house, and more people (23%) believe they heat for a shorter period after they have got the heat pump, than the percentage (17%) who believe they now heat for a longer period than before they purchased the heat pump. There is thus no reason to believe that the heat pump in general entail a longer heating season. If we look at table 6, there is however indication that approximately app.one third of the households established a higher temperature setting after they purchased the heat pump compared to previously, and only 5% think they keep a lower temperature.

Another way of raising the comfort is to enlarge the heated area, e.g. start to heat rooms which were not previously heated. 13% of the respondents indicate that more rooms are heated after the purchase of the heat pump, and these rooms are typically 10-30 m<sup>2</sup>.

A last and major issue related to the question of changing norms of comfort is the question if people use their heat pump for air conditioning. First question is if people know about the possibility that their heat pump can be used for air conditioning. 76% of the respondents indicate that their heat pump can be used for air conditioning, 22% state that it cannot (which is probably wrong) and only 3 % say that they do not know. Among the 306 respondents who know that their heat pump can be used for air conditioning, 21% of households have actually used it and those 64 households have furthermore estimated how much they use it as an air-conditioner. In table 7 it is seen that one third use it only a few days and that 17% of those who knew their heat pump could be used for air conditioning used it more than 15 days during a normal summer.

**Table 7. Number of days the heat pump have been used for air conditioning**

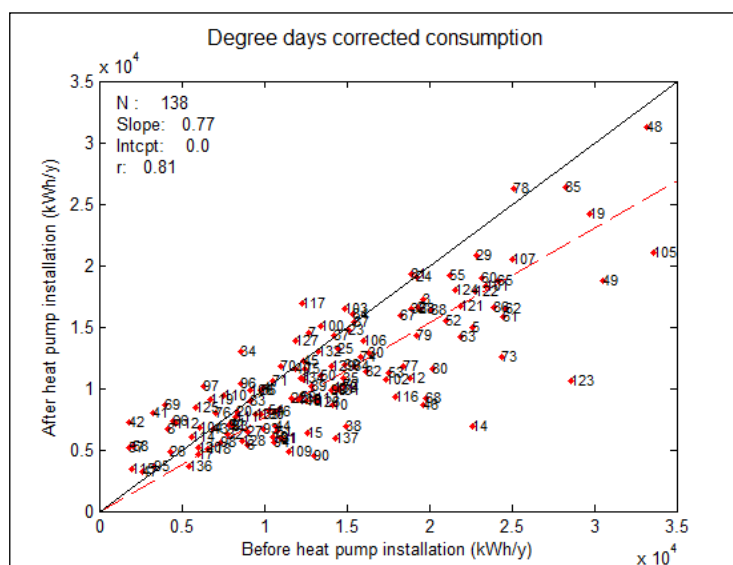
Number of days	Number of households	Per cent
1-4 days	24	38%
5-9 days	17	27%
10-14 days	12	19%
15 days or more	11	17%
Total	64	100%

Summarizing the results based on the survey among permanently occupied dwellings, there is some evidence for changes in habits relating to heating and indoor climate. First it seems that those who combined wood burning stove with electricity for heating before they installed the heat pump, to some extent reduced their use of the wood burning stove. This means that the reduction in electricity consumption will not be as big as otherwise anticipated. Whether substituting wood burning with the use of heat pump should be considered environmentally sound is open for debate. There does not seem to be any evidence that people in general will extend the heating season because they acquire a heat pump, maybe even the contrary, though there is some evidence that some households raise their indoor temperature following the acquisition as well as there are some households who start to heat more indoor space. Only a minority of the households use the heat pump for air conditioning, though for some of the households it is more than two weeks a year and thus must influence their electricity consumption. With these summaries in mind, we will now continue to look at the data analysis where survey results are combined with electricity consumption, to see if we can detect any correlation between reduction in electricity consumption and purchase of heat pump.

## Analysis including electricity consumption, permanently occupied dwellings

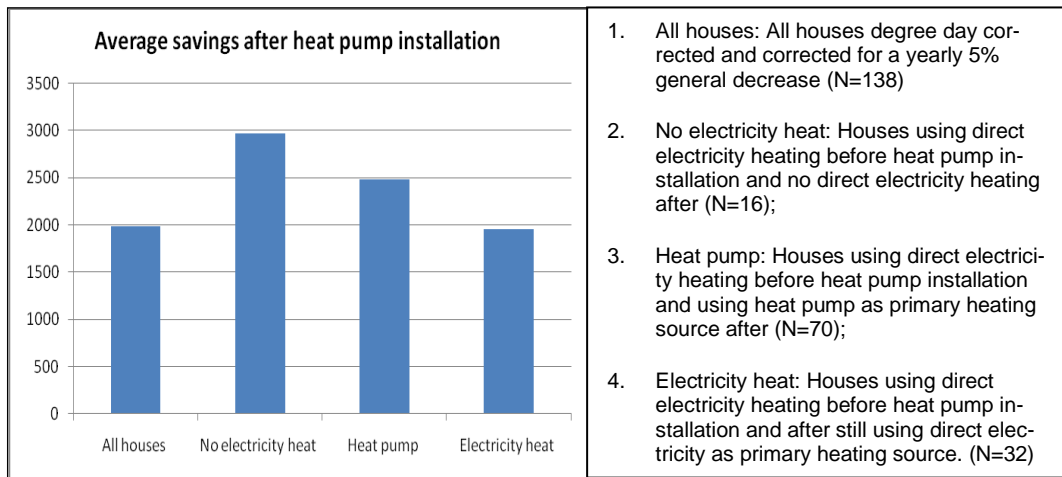
When analysing to what extent purchase of heat pump is followed by a reduction in electricity consumption, several other variables and factors have to be included in the comparison. First is that the outdoor temperatures varies from one heating season to another, which imply that data for electricity consumption for heating purpose have to be corrected according to degree days. As electricity is used for other purposes than heating we have to estimate the share of electricity in each household that is used for heating purpose and only make degree day correction for this. Knowledge of the number of people in the households and the size of the building has been used to estimate the share of electricity which is not used for heating purpose, and the rest are thus degree day corrected. It is this degree day corrected electricity consumption that is used in all the following analyses.

In figure 1 each household's degree day corrected electricity consumption before and after installation of the heat pump is compared. It is seen that the slope is below one, indicating that for the majority of the households' electricity consumption after installation of heat pump is lower than before, as would be assumed. However, especially households with lower levels of electricity consumption before installation of heat pump do not necessarily realise a lower level of consumption after installation. As described in the previous paragraph there might be different explanations that a household does not display reduced electricity consumption when installing a heat pump, which will be further analyzed.



**Figure 1. Comparing yearly household electricity consumption before and after heat pump was installed. Electricity consumption for heating is degree day corrected.**

A major explanatory variable is expected to be the question of what the primary heating source was before and after installation of the heat pump. In figure 2 the average savings in all households are shown together with combinations of what the primary heating source was before and after installation of heat pump. Besides a degree day correction, these average saving values are also corrected for a yearly decrease in consumption of 5%. These 5% reduction are calculated on the basis of comparing one year with the following for the years where the surveyed households did not install the heat pump.



**Figure 2. Average savings in annual household electricity consumption (kWh) before and after heat pump was installed, for different combinations of heat supply before and after installation of heat pump. For all four cases the savings are significantly different from zero.**

In all four cases in figure 2 a paired samples test shows that the savings is significantly different from zero (not shown here), though there are big variations for the savings especially among the third case, which is also where we see the biggest average savings and where we have a low number of households. The biggest average savings (and the biggest variation) are thus not surprisingly seen in households where they used direct electric heating before they installed the heat pump, and where they do not use any direct electric heating after the heating pump is installed.

As there are numerous variables which might influence change in electricity consumption other than the installation of the heat pump, the following will show results of regression analysis with all available variables known from the survey. These variables include change in primary heat supply, in household's members, in numbers of rooms, in heating period, in heating temperature, in cooling days, in appliances, in isolation of the house, in installation of wood burning stove or in saved firewood. Furthermore there are some descriptive variables on the household members as number of children and adults, and household income and descriptions of the house as size and age of house and the heated area. The regression analysis can be described by the equation:

$$X_{after_i} = a + b \cdot X_{before_i} + \sum_{j=1}^N c_j \cdot X_{cov_{i,j}} + \varepsilon_i$$

Where  $X_{after}$  is the electricity consumption after heat pump installation,  $X_{before}$  is the consumption before, and  $X_{cov}$  are the different other variables. Results of the full regression analysis are shown in appendix. The  $b$  coefficient to  $X_{before}$  is a measure for the heat pump effect and possible other effects not included in  $X_{cov}$ . The only variables from the  $X_{cov}$  matrix that are found significant are if people have bought an extra TV, and the income level of the household.

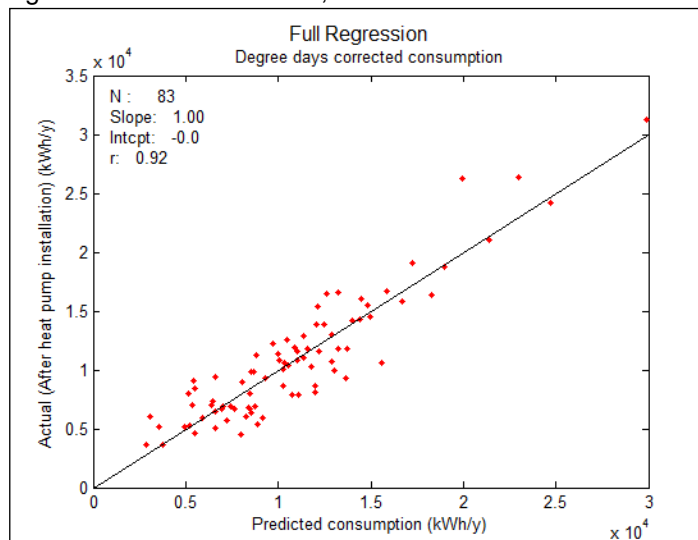
Using forward selection and stepwise regression noisy variables are removed from the regression thus revealing an extra variable to be significant. This is the variable for change in heating period. In the appendix it is seen that this was almost significant in the full regression analysis. It is thus interesting that what seem to explain change in electricity consumption other than the installation of the heat pump are variables related to general wealth, consumer behavior and to change in heating practices.

The combination of the four variables is the best explainable combination we can get by these methods on these data. However, it is possible to collect another combination of variables (by some other method) that may explain  $X_{after}$  equally or almost equally well. When such a new variable combination is collected no other variable can contribute to make a significantly better

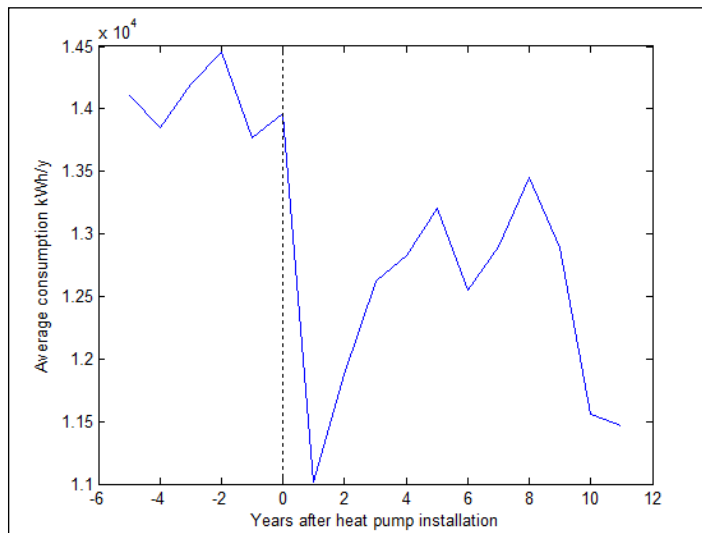
explanation. This does not mean that the excluded variables do not have any influence for some of the specific cases. For instance, we know that cooling contributes to the energy consumption. Why is this not significant in the model?

There are several reasons for the variable exclusion of the model. First of all, the amount of data cases is crucial. If we have infinite data we may also detect very small effects from other variables. One reason is that correlations among variables tend to decrease when data cases increase. Thus, the variables become independent. However, some non-known events may also interfere. This could be changes in behaviour such as winter holidays and other things that will contribute to the noise in the model because we do not have the information. Such 'noise' may hide or counteract effects for some other variables that thereby become insignificant. Furthermore, the accuracy of the variables may be important. For instance, a variable as temperature increase is better in degrees with high accuracy than just categories as higher, normal, and lower. Thus, the insignificant variables may still be interesting to study. Their quantitative effect may be blurred in the study, but the effect has not disappeared in the real world.

However, the main effect arising from  $X_{before}$  is strongly significant and the corresponding coefficient is estimated to 0.6 as seen in the appendix. This means that the effect of the heat pump together with the 5% general yearly decrease gives a reduction of 40% of the electricity consumption. Thus the heat pump alone gives a 35% reduction in electricity consumption. In figure 3 results from the full regression analysis is shown and it is seen that the prediction of the electricity consumption is much higher ( $r=0.92$ ) as compared to figure 1 where we had  $r=0,81$ .



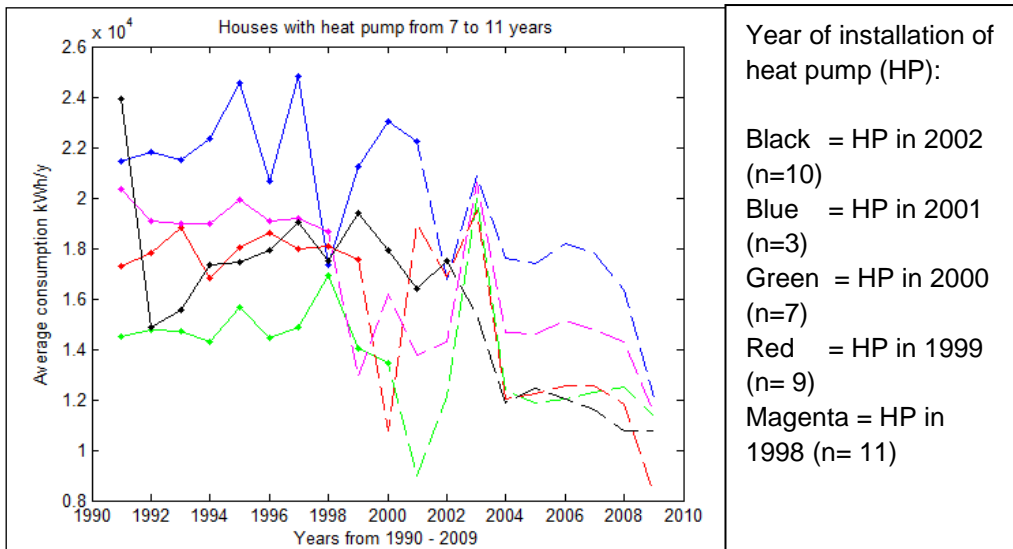
**Figure 3. Comparing yearly household electricity consumption after installation of heat pump with predicted electricity consumption based on full regression analysis.**



**Figure 4. Following the average household electricity consumption year by year before and after installation of heat pump**

In the previous analysis electricity before and after installation has been summarized for several years from 1990 to 2009 depending on when in the period the heat pump was purchased. Another approach to study the impact on electricity consumption after installing a heat pump is to analyze how electricity consumption develops in the year after the purchase. Figure 4 show how the average yearly consumption develops year by year after installation. Please notice that there are more observations covering the first years after installation than the last years. We see that electricity consumption are rather low the first year after installation, and then the following years it rises, falls a bit, and rises again, and then after 9-10 years it falls again. This is potentially interesting as it might indicate that people save more the first year after installation, and then when they have got used to the lower electricity consumption, they start to use more.

Figure 4, however, includes many different possibilities of misinterpretation, as it summarizes and shows average consumption. In figure 5 the x-axis is the actual calendar year, thus allowing us to follow if there are some years that all people behave different. Here, it is seen that year 2003 is a year where all lines (except the black) has a peak. When looking for characteristic of this year it should be remembered that data are already degree day corrected, so extreme winters are taken into account. Though the peak might be explained by the fact that it was actually an extraordinary hot summer, where many people might have used the heat pump for air conditioning. If we discard the 2003 point in figure 5, the tendency seems to be a first year of energy saving after installation, followed by a small increase, then a stable period and finally a new reduction of consumption.



**Figure 5. Following the average household electricity consumption after installation of heat pump, distinguishing between the years of installation of heat pump**

## Analysis of summerhouses

### Analysis of summerhouse survey dataset

The survey included 76 summerhouses with an air-to-air heat pump installed. The respondents of the survey on summerhouses are quite old and also older than the average summerhouse owner. 91% of the respondents are more than 50 years, the national corresponding figure for summer house owners more than 50 years is 78% [4] and in the survey more than 75% of the respondents are older than 60 years. This also means that the majority of the respondents are pensioners.

**Table 8. Reasons to purchase the heat pump in summerhouse**

	Number	Per cent
To save energy	46	61%
To improve comfort	40	53%
To keep the summerhouse non-freezing in wintertime	39	51%
To save money on heat consumption	38	50%
Contributing to reduced pollution	16	21%
Heating system needed renewing	0	0%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	2	3%
Others	6	8%

In table 8 are listed the answers to the question of why people have purchased their heat pump for the summerhouse. A majority of 61% indicate to save energy as a reason, and the second and third most often indicated options are to increase comfort and to be able to keep the summerhouse non-freezing in wintertime. Half of the respondents indicate saving money on heat consumption, and if we compare with table 4 we see that 72% of owners in permanently occupied dwellings indicate that the reason the purchase a heat pump was to save money on energy. It thus seems that there are slightly different reasons involved when purchasing a heat pump for the summer house and for the permanently occupied dwelling, which is also displayed in the answers respondents have filed in under "Others", which includes: "Having a nice temperature when we arrive at the summerhouse"; "Better use of the summerhouse in winter time"; "Higher temperatures in wintertime with lower consumption".

In more than two third (72%) of the summerhouses the heat pump is the primary heat supply, and more than half of the respondents indicate that



they used electric heating as their primary heat supply before installation of the heat pump. Furthermore 80% indicate that they also use firewood for heating, and among those who had firewood burning stove both before and after installation of the heat pump half of them (47%) indicate that they use less firewood after purchase of the heat pump.

### Use of the heat pump in summerhouses and change in norms of comfort

People were asked about changes in their heating practices and norms of comfort following their purchase of the heat pump. Table 9 and 10 summarise the answers. Here it is seen that more than half of the respondents indicate that they heat for a longer period and keep a higher temperature after purchase of the heat pump.

**Table 9. Changing heating practices related to heating season after purchase of heat pump**

	Number	Per cent
No change	25	33%
Heat is turned on for a shorter period of the year than previous	5	7%
Heat is turned on for a longer period of the year than previous	42	55%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	4	5%
Total	76	100%

**Table 10. Changing heating practices related to temperature after purchase of heat pump**

	Number	Per cent
Same temperature as previously	32	42%
Temperatures are generally kept higher than previously	40	53%
Temperatures are generally kept lower than previously	1	1%
Not applicable, Heat pump installed before we moved in	3	4%
Total	76	100%

In the follow-up survey it is confirmed that 23 out of 27 people heat their summerhouse to more than 10 deg. C, after purchasing the heat pump, whereas some closed the house completely before installation of the heat pump and most of the others kept a lower temperature, just securing non-freezing. It is interesting to notice that for the majority of the types of heat pump, which people indicate they have installed, it is not technically possible to have a set-point of the temperature lower than 16 deg. C, meaning that a majority of the summerhouses now are heated to 16 deg C, through all wintertime.

**Table 11. Number of days the heat pump has been used for air conditioning in summerhouses**

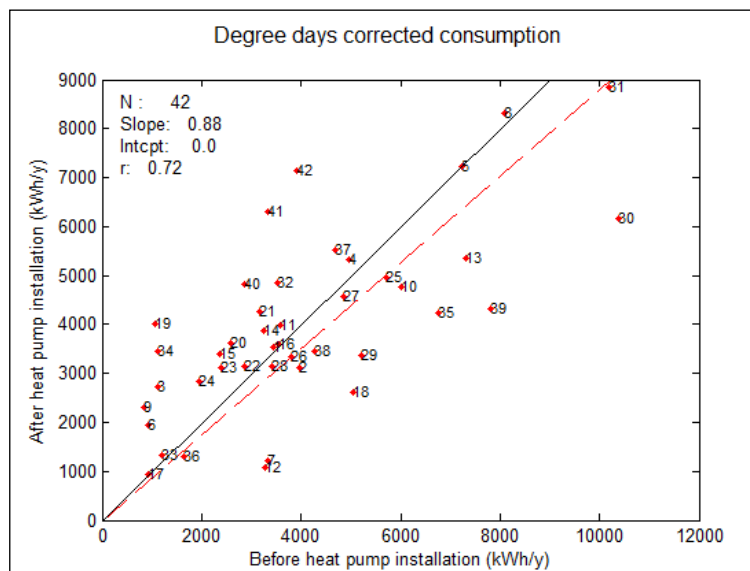
Number of days	Number	Per cent
1-4 days	10	63%
5-9 days	4	25%
10-14 days	2	13%
Total	16	100%

The respondents have been asked if they were aware that their heat pump could also be used for air conditioning. Only about half of the respondents are aware of this, and among these, less than half (41%) has actually used it for air conditioning. In table 11, it is seen that only 6 households indicate that

they have used the heat pump for air-conditioning more than 5 days a year. In the follow-up questionnaire only 4 out of 35 respondents indicate that the fact that the heat pump can be used for air-conditioning was part of the reason that they bought it. The survey thus indicates that air conditioning is not a major explanation for missing reduction in electricity consumption with heat pump installation.

Summarising about heat pumps in summerhouses it must first be noticed that the statistical basis of 76 respondents is quite small. However, survey results indicate that the reasons to buy a heat pump differ slightly from permanently occupied dwellings to summer houses. In summerhouses the owners to a higher degree indicate higher comfort as a reason to purchase the heat pump and this is confirmed by the responses to questions on changes in heating practices. In summerhouses more than half of the respondents keep a higher temperature and heat for a longer period after purchase of the heat pump as compared to previously.

### Analysis of dataset with electricity consumption, summerhouses



**Figure 6. Comparing yearly household electricity consumption before and after heat pump was installed in summerhouse. Electricity consumption for heating is degree day corrected.**

When combining survey results on summerhouses with knowledge on electricity consumption we have 42 cases. This number is a bit small for proper statistical analysis including all available variables, and the number of the supplementary variables is too high relative to the cases. Figure 6 show a comparison of electricity before and after purchase of the heat pump for these 42 summerhouses. It is seen that the slope of the line is below 1 thus showing an over-all reduction in electricity consumption after installing the heat pump. Although, we detect a slope by the regression a pair-wise test shows that the mean difference is not significant different from zero. The slope thus arises from high consumption cases having high leverage.

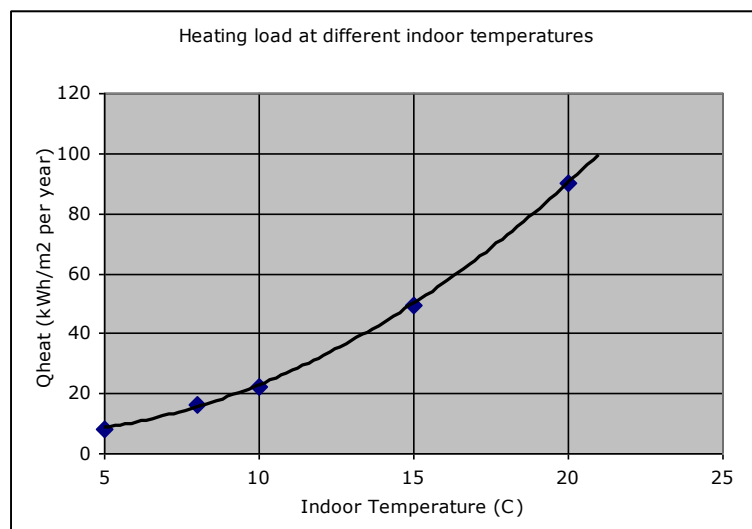
Among summerhouses with low electricity consumption there seems to be a tendency that they have an increase in electricity consumption after purchase of the heat pump. Regression analysis including supplementary variables confirms that it is a significant relation that summerhouses with low levels of electricity consumption experience an increase in electricity consumption, an increase which cannot be explained by any of the supplementary variables. It is reasonable to assume that some summerhouses with electricity consumption below 3000 kWh, only to a limited degree did heat their house with electricity before installing the heating pump, and that the

increase in electricity partly is a result of an increase in heating season and temperature in wintertime.

## Further calculations on summerhouses

As there are a limited number of cases in the data set on summerhouses which also include information of electricity consumption we have carried out theoretical calculations on a model summerhouse to answer the question of how much more electricity it takes to maintain 15 deg. C rather than 5 deg. C. throughout a winter. In order to estimate the heating load at different indoor temperatures for typical Danish summer houses, a number of assumptions are established. The summer house model has the following primary parameters: Floor area: 100 m<sup>2</sup>; U-value for walls/roof/floor: 0.15 W/(m<sup>2</sup>\*K); U-value for windows: 1.5 W/(m<sup>2</sup>\*K); Windows area: 20 m<sup>2</sup>; No pool or sauna is installed; No internal heat sources from appliances are assumed at reduced indoor temperatures when the summer house is unoccupied; Solar insulation during windows is taken into account. The data chosen should correspond to a typical 5-10 years old Danish summer house.

As a tool for the calculation of the yearly heating loads the Be05 program has been used [please include reference for Be05 program]. The normalized heating load (kWh/m<sup>2</sup>) – using the Design Reference Year for Denmark – is presented in the graph below at different average indoor temperatures. The average outdoor temperature during the heating period in Denmark is some 4 C.



**Figure 7. Calculation of heat demand in a model summerhouse dependent on indoor temperature**

A summerhouse of 100 m<sup>2</sup> that is heated to 15 deg. C throughout the winter thus require 5000 kWh to be heated by direct electric heating or 1333 kWh/year to be heated by a heat pump (seasonal factor 3.75). A summerhouse that is heated by direct heating to 5 deg C. throughout the winter requires 800 kwh/year.

## Discussion

When discussing results presented in this paper, there are some methodological challenges to bear in mind. First challenge is to get in contact with households having installed a heat pump. In this project we benefitted from customer lists from two local energy companies, which potentially could provide address and yearly energy consumption for 2793 households. In the end this resulted in 681 answered surveys and for 185 of them it was possi-

ble to retrieve electricity consumption. This last figure is not completely satisfactory for a proper analysis. Furthermore it is difficult to retrieve to what extent the households in the survey are representative of the total population of households having a heat pump installed. On the other hand this is a condition when researching a case like households use of heat pumps. As it probably is less than 10% of the Danish house owners that has a heat pump installed, a normal representative survey among house owners would need several thousand respondents to include a reasonable number of households with a heat pump. Furthermore, retrieving actual electricity consumption of these households afterward would need contact with many different electricity companies and in reality not be possible. Based on these conditions it must thus be concluded that the material presented in this paper is the best possible and the conclusions, even though those related to summerhouses can only be indicative, are of high relevance.

These methodological challenges is also supported by review of literature showing that studies including energy consumption before and after installation of efficient technologies most often suffer from a rather low number of observations. From a recent review of literature on rebound effect including 12 studies of this kind, some of the reviewed studies included only 3, 13, 59 or 79 households whereas a few studies included some hundred households [1].

## Conclusion

The overall research questions in this paper were to what extent installation of heat pumps in private households is followed by actual reduced electricity consumption or if changes in comfort practices would include a rebound effect and thus outweigh potential savings. Of special interest was the question if the heat pump was used for air conditioning and if this use could explain higher electricity consumptions than expected. From technical specifications of the effect of air-to-air heat pumps it should be expected that electricity for heating purpose is reduced by two third if the house was heated by direct electric heating before installation and only by the use of heat pump after installation (these calculations take into account reduced efficiency, COP, at low outdoor temperatures). If we assume that 64% of a households electricity use is used for heating, then it should be expected to see approximately 50% reduction of households' electricity consumption after installation of the heat pump.

Analyses of electricity consumption in 138 permanently occupied dwellings confirm that the amount of saved electricity is dependent on how the house is heated before and after installation of the heat pump. The highest average reduction was seen in households that primarily used direct electric heating before and primarily used heat pump after. Reduction in electricity consumption was here 2481 kwh/year corresponding to 18% reduction. The average reduction in electricity consumption for all 138 households is 1985 kWh/year, corresponding to 14% reduction. However, based on the regression analysis we showed that the heat pump alone accounted for a reduction of 35%.

These analyses thus on one hand conclude that installation of air-to-air heat pumps do carry substantial energy reductions, though analysis also point out that these reductions are lower than what could be expected from a technical approach.

Survey analysis of 405 respondents confirms that households do change their comfort practices after having purchased a heat pump. First, we see a reduction in wood burning for households who are using wood as a supplement. Furthermore, there is evidence that some households raise their indoor temperatures after installing the heat pump and also that a minority of the households use it for air conditioning. Together these changes in fuel

shifting and comfort practices might contribute to the explanation of why the assumed potential based on simplistic energy reductions are not reached in households who installed a heat pump.

Regression analysis on 138 households have been used to test to what extent these types of change in comfort practices can explain the differences in electricity consumption before and after the purchase of the heat pump. The analysis points out that the change in heating period contributes to the explanation together with variables related to general wealth, consumer behaviour and to change in heating practices. Installation and maintenance defects might potentially also contribute to reduced savings. However, the visual inspections in relation to the qualitative interviews (6 dwellings and 6 summerhouses) only revealed few examples of technical problems that might influence the efficiency of the heat pumps: In two cases there were a risk of thermal air short-circuit in relation to the condenser or evaporator respectively, which potentially could result in an estimated 10-20% increase in electricity consumption. In a third case, dirt on the evaporator could potentially increase energy consumption by app. 10%. No visual problems were observed in the other cases. Also, almost 60% of the survey respondents answer yes to the question whether they have regularly servicing for their heat pump (buyers of heat pumps from the electricity utilities are normally offered a yearly servicing scheme). Therefore, it can be expected that the heat pumps covered by this study in general have a high maintenance-standard. All in all, there are no indications of technical defects being an important factor.

Furthermore, it is interesting to follow how electricity consumption develops over time in the households having installed a heat pump. There seem to be a pattern where the first year after installation show an immediate reduction, which is followed by a small increase the next year and then a stable period in some years followed by a reduction again after some years. Even if it is difficult to explain this pattern satisfactorily, it indicates that differences in user practices strongly influence the energy savings that can be gained from installing heat pumps. The differences might also partly be due to degradation of performance due to maintenance faults such as restricted airflow, restricted refrigerant, condenser/evaporator coil blockage, low charge, etc. However, as already mentioned, the general maintenance-standard seem to be high for these air pumps making this a less likely explanation.

Finally, this study has also resulted in some interesting observations with regard to heat pumps installed in summerhouses. Although the data basis for summerhouses is limited, the results indicate some potentially problematic consequences of installing heat pumps in summerhouses. This is related to the habits of "closing down" the summer house in the winter period, frost-proofing the summerhouse in wintertime, or of maintaining an indoor temperature which is close to a comfort level, meaning that it is comfortable to arrive to the summerhouse if it occasionally is used in wintertime. Results show that often installation of an air-to-air heat pump in Danish summerhouses are connected to a change in these practices, and data suggest that a majority of those installing a heat pump in their summerhouse change habits and start to maintain a much higher indoor temperature during wintertime. Furthermore it is interesting to notice that most of the heat pumps sold to these summerhouses is not designed to have a lower temperature set point than 16 deg. C, which means that even though people might prefer to keep a lower indoor temperature this is not technically possible. Analysis of the electricity consumption in summerhouses confirms that there are no reductions in annual electricity consumption when installing heat pumps in summerhouses. Model calculations indicate that it costs more energy to maintain 16 C by the use of a heat pump than maintaining 5 C by the use of direct heating.

## References

- [1] Sorrell, S., Dimitropoulos, J. and M. Sommerville (2009) '*Empirical estimates of the direct rebound effect: A review*', Energy Policy 37(4): 1356-71.
- [2] Shove E. (2003) *Comfort, cleanliness and convenience. The social organization of normality*. Oxford: Berg.
- [3] Statistics Denmark (2010) *Statistisk Årbog 2010*. Copenhagen: Statistics Denmark.
- [4] Andersen, H.S. and M. Vacher (2009) *Sommerhuse i Danmark. Hvem har dem og hvordan bruges de?* Copenhagen: Center for Bolig og Velfærd.
- [5] Hjalager, A. (2009) *Udviklingsdynamikker i sommerhussektoren*. Copenhagen: Center for Bolig og Velfærd.
- [6] Kofoed, N., Rasmussen, E.R., Weldingh, P., Worm, J., Rasmussen, L.A., Reuss, M., Ellehauge, K., Kjærgaard, C., and O.M. Jensen (2010) *Elbesparelser i sommerhuse her og nu*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet (SBI 2010:54)
- [7] Dansk Energi (2010) *Dansk Elforsyning Statistik 2009*. Copenhagen: Dansk Energi.
- [8] Wittrup, S. (2010) '*Fejldimensionerede varmepumper skæmmer markedet*', Ingeniøren Energi & Miljø, 10 September 2010 (p. 3).
- [9] Christensen, T. H., Gram-Hanssen, K., Petersen, P. E., Larsen, T. F., Gudbjerg, E., Rasmussen, L. S., Munter, P. 2011. Air-to-air heat pumps: A wolf in sheep's clothing. In "Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society" eceee 2011 Summer Study 6–11 June 2011, Belambra Presqu'île de Giens, France
- [10] Levesque, R. SPSS Programming and Data Management: A Guide for SPSS and SAS Users, Fourth Edition (2007), SPSS Inc., Chicago Ill. PDF ISBN 1568273908

**Appendix: Full regression analysis and t-test to determine which variable are significant.**

Coefficients <sup>a</sup>					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	7767.307	23158.526		.335	.739
Xbefore	.559	.068	.730	8.205	.000
PrimaryAfter_not_elheat	-	1222.823	-.172	-	.105
	2012.748			1.646	
PrimaryAfter_elheat	1066.528	925.510	.081	1.152	.254
PrimaryBefore_not_elheat	3563.225	3899.641	.252	.914	.365
PrimaryBefore_elheat	2417.948	3905.136	.175	.619	.538
Adults	-461.929	603.701	-.048	-.765	.447
Children	-59.842	441.250	-.010	-.136	.893
House_size	16.239	10.657	.115	1.524	.133
House_age	-4.933	12.102	-.025	-.408	.685
Person_changes	1800.260	1365.837	.098	1.318	.193
HeatedArea	-7.107	12.656	-.038	-.562	.577
NewRooms	-3.142	21.338	-.010	-.147	.883
Fireplace	-	887.956	-.096	-	.254
	1022.652			1.152	
HeatPeriod_chng	-	533.758	-.119	-	.062
	1016.633			1.905	
HeatTemp_increase	281.046	650.248	.028	.432	.667
Cooling_days	85.050	80.368	.070	1.058	.294
Appliances_chng	106.592	253.996	.031	.420	.676
CFL	-	683.312	-.091	-	.131
	1048.031			1.534	
Appliances_new	-216.478	686.176	-.022	-.315	.754
Settopbox_new	36.928	633.955	.004	.058	.954
TV_extra	2297.504	812.431	.196	2.828	.006
PC_extra	302.535	678.122	.029	.446	.657
InsulateHouse	-544.083	795.562	-.045	-.684	.497
Income_household	4.357	1.847	.180	2.359	.022
Fireplace_instal	194.599	1946.206	.008	.100	.921
Firewood_save	1119.234	875.294	.091	1.279	.206

# BAGGRUNDSNOTATER



# Spørgeskemaundersøgelse af brug og komfortvaner knyttet til luft/luft varmepumper

Af Toke Haunstrup Christensen

## Indledning

I dette notat præsenteres resultaterne af en spørgeskemaundersøgelse om luft/luft varmepumper og komfort gennemført blandt varmepumpekunder hos SEAS-NVE og elselskaberne bag Lokalenergi A/S (Brabrand EI-selskab, Galten Elværk, Viby El-værk og Østjysk Energi).

Undersøgelsen omfatter både kunder, som har luft/luft varmepumpe installeret i boligen, såvel som kunder, som har luft/luft varmepumpe installeret i sommerhuset. Der blev udarbejdet to forskellige spørgeskemaer (ét for boliger og ét for sommerhuse). Med enkelte undtagelser er langt hovedparten af spørgsmålene dog fælles for de to skemaer.

Inden for Lokalenergis område var det muligt på forhånd at opdele kunderne efter type af varmepumpe (luft/luft eller jord/vand) og efter om pumpen var installeret i en bolig eller et sommerhus. Udsendelsen af skemaer kunne derfor målrettes kunder med luft/luft varmepumper og afhængigt af om pumpen var installeret i deres bolig eller sommerhus. Der blev således både sendt en papirudgave af skemaet samt brev med link-adresse til online-udgaven af skemaet, så kunderne selv kunne vælge om de ville udfylde på papir eller på nettet.

Hos SEAS-NVE var det desværre ikke muligt at sortere kunderne efter type af varmepumpe eller efter bolig hhv. sommerhus. Det blev derfor opgivet at udsende spørgeskemaet i papir. I stedet udsendtes et brev med invitation til at deltage og internet-adressen på online-udgaven af spørgeskemaet. Alle besvarelser fra SEAS-NVE's område er derfor foregået via internettet.

Hver kunde fik tildelt et unik ID-nummer, som skulle benyttes ved besvarelsen. Derved var der mulighed for efterfølgende at sammenligne med elselskabernes data for husstandens/sommerhusets elforbrug over de seneste år.

Spørgeskemaundersøgelsen blev gennemført over to runder:

- Den 18-19. februar 2010 udsendtes breve til alle SEAS-NVE's kunder (i alt 2.179 kunder) og til de kunder inden for Lokalenergis område, som havde luft/luft varmepumpe installeret i boligen (i alt 484 kunder). Sidste frist for at besvare skemaet var den 15. marts 2010 – online-skemaet blev dog reelt først lukket omkring den 19. april 2010.
- Den 5. maj 2010 udsendtes breve til de kunder inden for Lokalenergis område, som havde luft/luft varmepumpe installeret i sommerhuset (i alt 130 kunder). Sidste frist for at besvare skemaet var den 17. maj 2010 – online-skemaet blev dog først lukket omkring den 1. juni 2010.

Alt i alt blev der udsendt invitationer til 2.793 kunder. I alt 710 kunder besvarede skemaet (heraf langt de fleste online på internettet). Af disse var der 29 besvarelser, som var ufuldstændige – dvs. at respondenterne ikke afsluttede spørgeskemaet. Tilbage var der således 681 afsluttede besvarelser, hvilket svarer til en samlet svarprocent på 24,4%.

Tabellen nedenfor giver et overblik over besvarelsens fordeling på selskaber samt hvorvidt varmepumpen var installeret i boligen og/eller sommerhuset.

Gruppe / Område	Antal udsendte	Antal besvarelser	Svarprocent
<b>Lokalenergi – boliger</b>	<b>484</b>	<b>170</b>	<b>35%</b>
- heraf "Både i bolig og sommerhus"	-	3	-
- heraf "I boligen"	-	166	-
- heraf "I sommerhus"	-	1	-
- Ingen af stederne	-	0	-
- Ikke angivet hvor	-	0	-
<b>Lokalenergi – sommerhus</b>	<b>130</b>	<b>54</b>	<b>42%</b>
- heraf "Både i bolig og sommerhus"	-	0	-
- heraf "I sommerhus"	-	54	-
- heraf "I boligen"	-	0	-
- Ikke angivet hvor	-	0	-
<b>SEAS NVE</b>	<b>2179</b>	<b>457</b>	<b>21%</b>
- heraf "Både i bolig og sommerhus"	-	16	-
- heraf "I sommerhus"	-	17	-
- heraf "I boligen"	-	361	-
- Ingen af stederne	-	82	-
- Ikke angivet hvor	-	8	-
<b>Total</b>	<b>2793</b>	<b>681</b>	<b>24%</b>

Tabel 1: Oversigt over udsendelser og besvarelser på spørgeskemaundersøgelsen (kun fuldendte besvarelser). Bemærk, at enkelte kunder både har en varmepumpe i boligen og i sommerhuset – enkelte af disse har derfor udfyldt begge skemaet.

På baggrund af en gennemgang af respondenternes angivelser af navnet på producenten af deres varmepumper kunne det efterfølgende konkluderes, at der blandt de 681 afsluttede besvarelser var en del respondenter med en varmepumpe, hvor det ikke med fuldstændig sikkerhed kunne konkluderes, at der var tale om en luft/luft varmepumpe (i enkelte tilfælde kunne det ud fra producentnavnet endog med sikkerhed konkluderes, at der *ikke* var tale om en luft/luft type – fx varmepumper fra Vølund). Der blev derfor udarbejdet en "positivliste" med navnene på de producenter, hvor det med sikkerhed kunne forventes, at der var tale om en luft/luft varmepumpe. Listen omfattede følgende producenter: Panasonic, Toshiba, Airwell, Compi Compact DCC, Daikin, Fujitsu, IVT og Sanyo.

Den følgende statistik er således baseret alene på de respondenter, som har en varmepumpe fra en af disse producenter. Følgende tabel giver et overblik over disse respondents fordeling i forhold til område hhv. om der er tale om bolig eller sommerhus.

	Lokalenergi	SEAS-NVE	I alt
Bolig	160	245	405
Sommerhus	57	19	76
I alt	217	264	481

Tabel 2: Oversigt over antal besvarelser fra respondenter med "sikre" luft/luft varmepumper

Da det efter den indledende analyse af besvarelserne stod klart, at spørgeskemaet havde flere mangler i forhold til gruppen af sommerhusejere (fx indeholdt skemaet ikke spørgsmål om respondenternes vaner mht. til opvarmningen af huset i vinterhalvåret før installeringen af varmepumpen), blev det besluttet at gennemføre en "follow-up" undersøgelse. Her blev alle sommerhusejere, som havde besvaret spørgeskemaet, kontaktet (pr. telefon) for at besvare seks opfølgende spørgsmål. Trods gentagne opkald var det desværre ikke muligt at komme i kontakt med alle 76 sommerhus-respondenter. I alt 34 respondenter besvarede spørgsmålene (dvs. blot 45% af respondenterne fra det første skema). Resultaterne fra follow-up undersøgelsen har derfor kun en "indikerende" karakter.

Bilag 1 viser invitationen, som blev sendt til varmepumpekunderne. Papirudgaven af spørgeskemaerne er gengivet i bilag 2 (boliger), 3 (sommerhuse) og 4 (follow-up for sommerhuse). Spørgeskemaerne for boliger og sommerhuse havde følgende overordnede struktur:

- Indledende spørgsmål om tidspunkt for installering af varmepumpe og husets primære opvarmningsform før og efter installering af varmepumpe.
- Oplysninger om huset (typen af bolig, byggeår, størrelse, antal beboere mv.)
- Anskaffelse og installering af varmepumpe (herunder navn på producent af varmepumpe, hvor stort et areal pumpen opvarmer samt oplysninger om evt. brug af brændeovn i kombination med varmepumpe)
- Brugen af varmepumpen (herunder hvor stor en del af året varmepumpen benyttes, ændrede komfortvaner, brug af aircondition mv.)
- Årsager til anskaffelse (herunder også om ejeren er tilfreds med varmepumpen)
- Ændringer i det øvrige elforbrug efter installering af varmepumpe med betydning for tolkningen af data for elforbruget (herunder om der er anskaffet nye elapparater, antal fjernsyn og computere og ændrede vaner med særlig stor betydning for størrelsen af husets elforbrug)
- Baggrundsoplysninger om husstanden (respondentens alder, køn, antal personer i husstanden, uddannelse og indkomst)

Der blev gennemført en indledende pilot-test af spørgeskemaet, hvor venner og bekendte med luft/luft varmepumper i projektdeltagernes egne netværk blev bedt om at udfylde online-udgaven af skemaet. På baggrund af kommentarerne fra pilot-testen gennemførtes enkelte ændringer og præciseringer af skemaet. For at fremme besvarelsesprocenten blev der blandt besvarelserne udloddet præmier i form af en termofotografering, gavekort til en dagligvarebutik samt solcelleopladere.

I det følgende gennemgås først resultaterne for respondenter med luft/luft varmepumpe i boligen (afsnit 2) og derefter for respondenter med varmepumpe i sommerhuset (afsnit 3).

## Boliger

### Hvem er respondenterne?

Følgende præsenteres respondenternes fordeling på køn, alder, beskæftigelse, indkomst og husstandsstørrelse.

	Antal	Procent
Kvinde	102	25,2%
Mand	303	74,8%
<b>Total</b>	<b>405</b>	<b>100%</b>

Tabel 3: Respondenternes fordeling på køn.

Der er en betydelig overvægt af mænd (tabel 3). Blot 25% af respondenterne er kvinder. Da langt over halvdelen af de deltagende husstande består af to personer uden hjemmeboende børn (se senere), må det i hovedparten af tilfældene være ægtefamilien i husstanden, som har udfyldt skemaet. Den skæve kønsfordeling afspejler en tilsvarende skævhed i kundelisterne fra SEAS-NVE og Lokalenergi, som ligger til grund for udsendelsen af invitationerne til at deltage i undersøgelsen. Her er der også en betydelig overvægt af mænd, som står anført som kunde.

	Antal	Procent	Befolkningen i Region Sjælland og Midtjylland (procent)
0-20 år	0	0,0%	-
21-30 år	5	1,2%	14,3%
31-40 år	17	4,2%	17,8%
41-50 år	60	14,8%	20,0%
51-60 år	126	31,1%	18,0%
61-70 år	126	31,1%	16,4%
71-80 år	59	14,6%	8,7%
81-90 år	8	2,0%	4,1%
Mere end 90 år	1	0,2%	0,7%
Ikke besvaret	3	0,7%	-
<b>Total</b>	<b>405</b>	<b>100,0%</b>	<b>100%</b>

Tabel 4: Respondenternes fordeling på alder. Kolonnen yderst til højre viser befolkningen i Region Sjælland og Region Midtjylland fordelt på alder – kun dem over 20 år. (Danmarks Statistik 2010a)

Mht. aldersfordelingen er der en markant overvægt af midaldrende og ældre. 46% tilhører aldersgruppen 41-60 år, mens 48% er ældre end 60 år. Kun hver tyvende respondent (5%) er yngre end 41 år. Dette antyder, at der er ganske få småbørnsfamilier blandt de deltagende husstande.

Aldersfordelingen for befolkningen i Region Sjælland og Region Midtjylland opgjort pr. januar 2010 er angivet i kolonnen yderst til højre i tabellen. Heraf fremgår det, at blot 38% procent tilhører aldersgruppen 41-60 år, mens kun 30% er ældre end 60 år. Altså væsentlig mindre end for gruppen af respondenter. Omvendt er 32% i aldersgruppen 21-40 år (mod 5% af respondenterne).

	Antal	Procent
Selvstændig eller medhjælpende ægtefælle	17	4,2%
Ansæt som overordnet funktionær, akademiker, konsulent eller lignende	67	16,5%
Ansæt som funktionær (fx HK'er eller lærer)	60	14,8%
Ansæt som faglært arbejder, montør eller lignende	41	10,1%
Ansæt som specialarbejder eller lignende	23	5,7%
Modtager dagpenge, kontanthjælp eller lignende	5	1,2%
Er pensionist eller efterlønsmodtager	180	44,4%
Er under uddannelse	2	0,5%
Andet	7	1,7%
Ikke besvaret	3	0,7%
Total	405	100%

Tabel 5: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvad er din beskæftigelse?"

Næppe overraskende afspejler overvægten af ældre respondenter sig i respondenternes beskæftigelse (tabel 5). Næsten halvdelen (44%) af respondenterne er enten pensionister eller efterlønsmodtagere. Derefter følger (men med langt færre respondenter) gruppen af overordnede funktionærer, akademikere, konsulenter el.lign. (17%), funktionærer som HK'ere og lærere (15%), faglærte arbejdere, montører o. lign. (10%) og specialarbejdere o. lign. (6%). Alle øvrige beskæftigelsesgrupper udgør tilsammen mindre end 9% af respondenterne. Det er måske lidt overraskende, at overordnede funktionærer, akademikere, konsulenter o. lign. udgør den næststørste gruppe og dermed er større end både funktionærer og faglærte/ufaglærte arbejdere.

Beskæftigelse	Respondenter	Befolkningen
Pensionist eller efterlønsmodtager	44%	26%
Under uddannelse og modtager SU	1%	9%
Modtager dagpenge, kontanthjælp eller lig.	1%	8%
I arbejde	51%	53%
Andet	2%	5%
Alle	100%	100%

Tabel 6: Fordelingen på beskæftigelse blandt respondenterne opgjort efter kategorier anvendt i nationale statistikker og sammenholdt med fordelingen for befolkningen som helhed.

Sammenholdt med befolkningen som helhed (tabel ovenfor) er der blandt respondenterne en betydelig overrepræsentation af pensionister og efterlønsmodtagere og en underrepræsentation af personer under uddannelse samt modtagere af overførselsindkomst (ud over pension og efterløn). Andelen af beskæftigede respondenter er dog stort set lige så stor som for befolkningen som helhed.

	Antal	Procent	Procent af besvarede
Mindre end 200.000 kr.	39	9,6%	10,2%
200-399.000 kr.	134	33,1%	35,1%
400-599.000 kr.	95	23,5%	24,9%
600-799.000 kr.	71	17,5%	18,6%
800-999.000 kr.	30	7,4%	7,9%
Mere end 1 mio. kr.	13	3,2%	3,4%
Ved ikke	20	4,9%	-
Ikke besvaret	3	0,7%	-
Total	405	100%	100%

Tabel 7: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvad er husstandens samlede, årlige bruttoindtægt (dvs. før skat og arbejdsmarkedsbidrag)?"

Mht. husstandens samlede, årlige bruttoindtægt (før skat og arbejdsmarkedsbidrag) svarer noget over halvdelen (60%) at husstandens indtægt tilhører lav- til mellemindtægtsgrupperne 200-399.000 kr. (35%) eller 400-599.000 kr. (25%). Hver tiende angiver mindre end 200.000 kr. årligt, mens knap en tredjedel (30%) angiver mere end 600.000 kr.

Husstandenes fordeling på indkomstgrupper i Region Midtjylland og Region Sjælland fremgår af tabellen nedenfor (her kun medtaget boligejere):

	Region Midtjylland og Sjælland (procent)	Respondenter med varmepumpe (procent)
Mindre end 200.000 kr.	9,3%	10,2%
200-399.000 kr.	24,5%	35,1%
400-599.000 kr.	22,5%	24,9%
Mere end 600.000 kr.	43,7%	29,9%
Total	100%	100%

Tabel 8: Sammenligning mellem fordelingen af husstandenes fordeling på indkomst i Region Midtjylland og Region Sjælland (2008) og fordelingen blandt de respondenter, som har oplyst indkomststørrelse. For Region Midtjylland og Region Sjælland er kun medtaget ejerboliger. (Danmarks Statistik 2010b)

Af tabellen fremgår det, at respondenterne adskiller sig fra de øvrige husstande (ejerboliger) i Region Midtjylland og Region Sjælland ved generelt at have en lavere bruttoindkomst; dels er der markant flere i indkomstgruppen 200-399.000 kr., mens der er færre i gruppen 600.000 eller derover.

	Antal	Procent
1	60	14,81%
2	262	64,69%
3	37	9,14%
4	35	8,64%
5	10	2,47%
Flere end 5 personer	1	0,25%
Total	405	100,00%

Tabel 9: Respondenternes fordeling på antal personer i husstanden

En betydelig andel (65%) bor i en 2-personers husstand, mens 20% bor i en husstand med 3 eller flere personer. 70 respondenter (17%) angiver, at der

bor 1 eller flere personer yngre end 18 år i husstanden (se tabellen nedenfor). Med andre ord udgør børnefamilier ca. 17% af husstandene i undersøgelsen. I Region Midtjylland og Region Sjælland udgør andelen af husstande med børn 28,4% (Danmarks Statistik 2010c). Der er således en underrepræsentation af børnefamilier i denne undersøgelse.

	Antal	Procent
Ingen	275	79,71%
1 person	28	8,12%
2 personer	31	8,99%
3 personer	11	3,19%
Total	345	100,00%

Tabel 10: Fordelingen af respondenternes besvarelse af spørgsmålet "Hvor mange personer i husstanden er yngre end 18 år?" (kun husstande med mere end én person)

### Hvordan bor respondenterne?

I dette afsnit gives en overordnet beskrivelse af respondenternes boliger.

	Antal	Procent
Parcelhus	308	76,05%
Rækkehus eller dobbelthus	42	10,37%
Stuehus	55	13,58%
Total	405	100,00%

Tabel 11: Fordelingen af respondenternes efter type af hus.

Det fremgår af ovenstående tabel, at tre-fjerdedele af respondenterne bor i et parcelhus. Derefter følger stuehus med 14% og række/dobelthus med 10%.

	Region Midtjylland og Sjælland	Hele landet
Parcelhus	70,1%	68,4%
Rækkehus eller dobbelthus	21,7%	24,3
Stuehus	8,2%	7,3%
Total	100%	100%
Antal boliger i alt	640.520	1.516.986

Tabel 12: Fordelingen af boliger på boligtype (etageboliger ikke medtaget) for Region Midtjylland og Region Sjælland hhv. hele landet. Opgjort for 2010. (Danmarks Statistik 2010d)

Sammenholdt med fordelingen på landsplan hhv. for Region Midtjylland og Region Sjælland (tabel 12) er der blandt respondenterne en overvægt af parcelhuse og stuehuse, mens andelen af række- og dobbelthuse kun er knapt det halve af gennemsnittet for regionerne og landet som helhed.

	Antal	Procent
Før 1930	99	24,44%
1930-1959	26	6,42%
1960-1972	58	14,32%
1973-1979	127	31,36%
1980-2000	85	20,99%
Efter 2000	6	1,48%
Ved ikke	4	0,99%
Hovedtotal	405	100,00%

Tabel 13: Fordelingen af respondenternes boliger efter år for opførelse.

Omkring en fjerdedel af respondenterne bor i huse opført før 1930. Flest bor dog i nyere huse; næsten en tredjedel (31%) i huse opført i perioden 1973-79 og omkring en femtedel (21%) i huse opført i perioden 1980-2000. Dette kan meget vel afspejle, at man netop i 1970'erne og i starten af 1980'erne førte en aktiv politik for at fremme brugen af elvarme i nybyggede boliger. Derved er der en overvægt af boliger fra denne periode med elvarme, som samtidig udgør den primære målgruppe for bl.a. elselskabernes varmepumpe-kampagner.

Sammenholdt med den danske bestand af parcel-, stue-, række- og dobbelt-huse er der en betydelig overrepræsentation af boliger opført i perioden 1960-79, mens der omvendt er en betydelig underrepræsentation af huse opført i perioden 1930-59. Respondenterne bor med andre ord i generelt nyere huse end resten af boligejerne.

	Respondenter	Hele landet
Før 1930	24,4%	21,5%
1930-1959	6,4%	17,8%
1960-1979	45,7%	35,6%
1980-2000	21,0%	17,9%
Efter 2000	1,5%	7,2%
Ved ikke / Uoplyst	1%	0,1%
Total	100%	100%
Antal boliger i alt	405	1.516.986

Tabel 14: Fordelingen af respondenternes boliger efter år for opførelse sammenholdt med fordelingen for alle parcelhuse, stue-, række- og dobbelthuse i Danmark på opførelsesår (opgjort for 2010). (Danmarks Statistik 2010d)

Over halvdelen af respondenterne (57%) har boet i deres nuværende bolig i 20 år eller mere, hvilket synes at være en stor andel. Dette afspejler sandsynligvis, at der generelt er tale om ældre respondenter. En del har boet i boligen i 5-14 år (28%).



	Antal	Procent
0-4 år	22	5,43%
5-9 år	56	13,83%
10-14 år	57	14,07%
15-19 år	38	9,38%
20 år eller mere	232	57,28%
Total	405	100,00%

Tabel 15: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvo mange år har du boet i din nuværende bolig?"

### Motivation for at installere varmepumpe og tilfredshed

Omkring en tiendedel af respondenterne var ikke selv involveret i beslutningen om at installere en varmepumpe, idet pumpen blev installeret før de overtog huset (se nedenstående tabel).

	Antal	Procent
Ja	45	11%
Nej	360	89%
Total	405	100%

Tabel 16: Respondenternes besvarelse på spørgsmålet "Blev varmepumpen installeret før du overtog huset?"

Følgende tabel viser respondenternes angivelse af årsager til at de fik installeret varmepumpe.

	Antal	Procent
For at spare penge på varmen	290	72%
For at spare energi	257	63%
For at få en bedre komfort i huset	152	38%
For at bidrage til mindre forurening	92	23%
Stod alligevel over for at skulle udskifte husets varmeinstallation	14	3%
Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved indflytning	39	10%
Andet	27	7%

Tabel 17: Respondenternes besvarelse af spørgsmålet "Hvad var den oprindelige årsag til beslutningen om at installere varmepumpe i huset?". Respondenter havde mulighed for at sætte flere kryds.

De vigtigste årsager til beslutningen om at installere luft/luft varmepumpe var helt entydigt at spare penge (72%) og at spare energi (63%) – hvilket for mange nok kommer ud på ét. Det økonomiske spiller altså en central rolle som motivation. Men det bør også bemærkes, at ønsket om bedre komfort i huset spiller en rolle for mere end en tredjedel af alle respondenter (38%).

Respondenter, som angav "Andet", havde mulighed for at uddybe dette. Der angives mange forskellige årsager – og generelt kan der ikke siges at være én type begrundelse, som går igen. Dog nævnes flere gange forbedret fordeling af varme via luftcirkulation (herunder også cirkulation af varmen fra brændeovn) og højere luftkvalitet i form af "luftrensning" og ventilation. Flere nævner også muligheden for tilskud, hvilket kan hænge sammen med at man i en periode før år 2000 kunne få tilskud til installation af varmepumpe. Flere af de ældre varmepumper i undersøgelsen kan således være installeret med tilskud.

	Antal	Procent
Ja, i høj grad tilfreds	280	69%
Ja, i nogen grad tilfreds	101	25%
Nej, i nogen grad utilfreds	18	4%
Nej, meget utilfreds	6	1%
Total	405	100%

Tabel 18: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Er du alt i alt tilfreds med varmepumpen?"

Respondenterne virker overraskende tilfredse med deres luft/luft varme-pumpe. Kun 5% er enten i nogen grad utilfredse eller meget utilfredse. De resterende 95% er i høj grad tilfredse (69%) eller i nogen grad (25%).

### Opvarmningsform før/efter installering af varmepumpe

Følgende krydstabel viser dels husstandenes nuværende primære opvarmningsform (rækker), dels den primære opvarmningsform før installeringen af varmepumpen (kolonner).

Nuværende primær opvarmningsform	Primær opvarmningsform før installering af varmepumpe								Total	Procent
	Brænde-ovn	Elvarme (fx elradia-torer)	Fjernvarme	Naturgas	Oliefyr	Pillefyr, koks eller lignende	Varmepumpe (fx jordvarme)	Ved ikke		
Brændeovn	15	38			2		1	1	57	14,1%
Elvarme (fx elradia-torer)	1	144			1				146	36,1%
Fjernvarme		6	6		1				13	3,2%
Naturgas		3		2					5	1,2%
Oliefyr					5				5	1,2%
Pillefyr, koks eller lignende	1	5			1				7	1,7%
Varmepumpe (fx jordvarme)	4	154			8	1	4	1	172	42,5%
Total	21	350	6	2	18	1	5	2	405	100%
Procent	5,2%	86,4%	1,5%	0,5%	4,4%	0,3%	1,2%	0,5%	100%	

Tabel 19: Respondenternes besvarelse af spørgsmålene "Hvad er den nuværende primære opvarmningsform i huset?" hhv. "Hvad var den primære opvarmningsform i huset før varmepumpen blev installeret?"

Langt hovedparten af respondenterne (86%) havde elvarme som primær opvarmningsform før installeringen af varmepumpen, og kun ganske få (1%) benyttede tidligere varmepumpe som primær opvarmningsform. Med installeringen af varmepumpen angiver 154 respondenter (38%) at de går fra elvarme til varmepumpe som primær opvarmningsform, mens næsten lige så mange (144 respondenter – svarende til 36%) fortsat beholder elvarme som primær opvarmning. Det bemærkes, at andelen af husstande med brændeovn som primær opvarmning er steget fra 5% før installeringen af varmepumpen til 14% i dag. I konkrete tal svarer dette til en stigning fra 21 til 57 husstande.

Kombinationen af varmepumpe og elvarme er udbredt. Det ses af tabellen, at godt en tredjedel (36%) angiver, at de har elvarme som deres nuværende

primære opvarmningsform. Hertil kommer, at en del af husstandene formodentlig også har elvarme som supplerende opvarmningskilde (dette fremgår dog ikke af direkte tabellen eller undersøgelsen).

	Antal	Procent
Som husets primære opvarmningsform	286	70,6%
Kun i perioder, hvor der er slukket for anden opvarmning af huset	33	8,2%
Kun lejlighedsvist (fx hvis vejret er særlig koldt eller i rum, der benyttes sjældent)	25	6,2%
Primært til frostsikring	6	1,5%
Andet	55	13,6%
<b>Total</b>	<b>405</b>	<b>100%</b>

Tabel 20: Respondenternes besvarelse af spørgsmålet "På hvilken måde benyttes varmepumpen til opvarmning i vintermånederne? (sæt kryds ud for det svar, der passer bedst).

Tabel 20 viser respondenternes angivelse af, hvordan varmepumpen benyttes til opvarmning i vintermånederne. Det bemærkes, at 71% af respondenterne angiver, at varmepumpen benyttes som primær opvarmningsform, hvilket er bemærkelsesværdigt højere end den andel (43%) som tidligere angav, at varmepumpe udgjorde husets nuværende primære opvarmningsform. Mulige forklaringer på denne uoverensstemmelse: 1) I det tidligere spørgsmål om primær opvarmningsform (se tabel 19) var angivet "Varmepumpe (fx jordvarme)" som svarmulighed – eksemplet med jordvarme kan have misledt folk til at tro, at der blev spurgt specifikt til jordvarme. 2) Spørgsmålet, som ligger til grund for ovennævnte tabel, kommer midtvejs i spørgeskemaet og efter at der har været en del spørgsmål om husets varmepumpe – dette kan have "sporet" respondenternes tanker ind på varmepumpe og give et bias i forhold til besparelsen af spørgsmålet om den primære opvarmningsform. 3) Svarmulighederne i spørgsmålet kan have været mangelfulde (dvs. ikke udtømmende), hvilket kan have medført, at en del respondenter har følt sig "tvunget" til at vælge et svar, som de ikke oplevede som fuldt dækkende (se også nedenfor). Endelige 4) kan der være en reel forskel på at spørge til husets primære opvarmningsform hhv. at spørge til brugen af varmepumpen i vintermånederne (fx hvis en stor del af respondenterne først og fremmest bruger varmepumpen i vintermånederne og ellers andre former for opvarmning i forår og efterår). Sidstnævnte forklaring støttes delvist af at kun 37% hhv. 20% angiver, at de altid benytter varmepumpen til opvarmning i april hhv. september måned, hvor især april og til dels også september ellers normalt må regnes for at ligge i varmesæsonen (se senere tabel).

Det vurderes, at uoverensstemmelsen kan skyldes en kombination af alle fire nævnte forhold, hvilket indikerer, at respondenternes angivelse af deres primære opvarmningsform (tabel 19) skal tolkes med forsigtighed.

Omkring hver syvende respondent (14%) angav svaret "Andet". Der var i den forbindelse mulighed for at uddybe svaret, hvilket langt de fleste valgte at gøre. Respondenternes "kvalitative" besvarelser antyder, at de forudbestemte svarkategorier ikke har været udtømmende. Især to typer af kommentarer gik igen under "Andet":

- Mange oplyste, at de benyttede varmepumpen som supplement til anden opvarmning (typisk elvarme). Eksempelvis til at holde en minimumstemperatur i huset, som så suppleredes op med fx brændeovn eller elpanel.
- Desuden angav en del, at varmepumpen fungerede som primær opvarmning i bestemte rum i boligen – men ikke i huset som helhed. Fx kunne de have varmepumpen til at opvarme kun den ene af etagerne i boligen.

	Antal	Procent
Ja	44	11%
Nej	361	89%
Total	405	100%

Tabel 21: Respondenternes svar på spørgsmålet "Opvarmes huset udelukkende ved hjælp af varmepumpe?"

Kun 11% angiver, at de udelukkende opvarmer huset vha. varmepumpe.

Rum der opvarmes med varmepumpe	Antal	Procent
Stue	291	81%
Køkken	225	56%
Gang eller entre	181	50%
Værelser	136	38%
Bryggers	50	14%
Bad/toilet	40	11%
Udestue eller lignende tilbygning	13	4%
Udhus, værksted, garage eller lignende	6	2%
Andet	34	9%

Tabel 22: Respondenternes besvarelse på spørgsmålet "Hvilke rum i huset opvarmes med varmepumpe?". Respondenterne havde mulighed for at sætte flere kryds. Kun respondenter, som ikke angiver, at hele huset er opvarmet udelukkende vha. varmepumpe, har besvaret dette spørgsmål. I alt 361 respondenter har kunnet besvare spørgsmålet.

Det ses, at luft/luft varmepumperne hovedsageligt bruges til at opvarme stue, køkken og gang/entre – samt til dels også øvrige værelser i huset. Dvs. primært boligernes fælles rum.

	Antal	Procent
Mindre end 10 kvadratmeter	2	0,55%
10-19 kvadratmeter	9	2,49%
20-29 kvadratmeter	29	8,03%
30-49 kvadratmeter	84	23,27%
50-79 kvadratmeter	120	33,24%
80 kvadratmeter eller mere	109	30,19%
Ved ikke	8	2,22%
Total	361	100,00%

Tabel 23: Respondenternes besvarelse på spørgsmålet "Hvor stort et areal er opvarmet med varmepumpe?" (Kun respondenter, som ikke har angivet, at hele huset udelukkende er opvarmet vha. varmepumpe)

Det ses, at for langt hovedparten af de respondenter, som ikke benytter varmepumpe som eneste varmekilde, opvarmes et betydeligt areal i boligen vha. af deres luft/luft varmepumpe.

På spørgsmålet om, hvorvidt varmepumpen opvarmede et eller flere rum, som ikke tidligere var opvarmet på anden måde, svarede 348 respondenter nej (86%), 51 svarede ja (13%), mens 6 respondenter (1%) undlod at svare. Hvis svaret var ja, blev respondenterne bedt om at angive den omtrentlige størrelse af dette/disse rum. Tabellen nedenfor viser fordelingen af de 51 besvarelser.

Areal	Antal
1-10 m2	4
11-20 m2	11
21-30 m2	10
31-40 m2	8
41-50 m2	5
51-60 m2	7
61-70 m2	1
71-80 m2	4
81 eller mere m2	1
Total	51

Tabel 24: Fordelingen af det tidligere uopvarmede areal, som opvarmes vha. varmepumpe

I de fleste tilfælde er der tale om mindre til mellemstore arealer (29 angiver arealet til mellem 11 og 40 m<sup>2</sup>), men der også en del, som angiver større arealer. Det vurderes, at der i nogle af disse tilfælde kan være tale om nybyggede huse født med varmepumpe, hvilket kan forklare de usædvanligt høje arealangivelser.

### Kombination af varmepumpe med andre opvarmningsformer

Som tidligere anført, er det kun 11% af respondenterne, som angiver, at deres bolig udelukkende opvarmes vha. luft/luft varmepumpe. Dette viser, at det mest almindelige er at kombinere luft/luft varmepumper med andre former for opvarmning.

Opvarmning udelukkende vha. varmepumpe	Brændeovn i huset		
	Ja	Nej	Total
Ja	8	36	44
Nej	192	169	361
Total	200	205	405

Tabel 25: Respondenternes besvarelser på spørgsmålene "Opvarmes huset udelukkende ved hjælp af varmepumpe?" hhv. "Er der brændeovn i huset?"

Det ses, at af de 361 respondenter, som angiver, at deres bolig ikke udelukkende opvarmes vha. varmepumpe, oplyser 192 (53%), at de har brændeovn i huset. Af alle respondenter svarer 200 (49%), at de har brændeovn. Kombinationen af varmepumpe og brændeovn synes således udbredt.

Af de 200 husstande med brændeovn angiver 164 (82%), at brændeovnen var sat op før installeringen af varmepumpen, mens kun 26 (13%) angiver at brændeovnen var sat op efter eller samtidig med varmepumpen (5% angav "Ved ikke"). Af de 164, hvor brændeovnen var sat op før varmepumpen, angiver 64 (39%) at installeringen af varmepumpen ikke har haft indflydelse på forbruget af brænde, mens lige så mange (64) angiver at forbruget af brænde er faldet. Kun 5 respondenter (3%) angiver, at de bruger mere brænde. (31 respondenter oplyser "Ved ikke"). For en ganske betydelig del af husstandene med brændeovn har varmepumpen altså betydet et lavere brændeforbrug – varmepumpen synes således delvist at substituere opvarmningen med brænde i ca. 16% af alle husstande, som deltog i undersøgelsen.

Brændeovn i huset?	Nuværende primær opvarmningsform							Total
	Brændeovn	Elvarme (fx elradiatorer)	Fjernvarme	Naturgas	Oliefy	Pillefy, koks eller lignende	Varmepumpe (fx jordvarme)	
Ja	57	61	5	2	2	6	67	200
Nej		85	8	3	3	1	105	205
Total	57	146	13	5	5	7	172	405

Tabel 26: Respondenternes besvarelser på spørgsmålene "Er der brændeovn i huset?" hhv. "Hvad er den nuværende primære opvarmningsform i huset?"

Som det fremgår af tabel 26, er der en betydelig andel af dem, der har brændeovn, som benytter elvarme som primær opvarmningsform (61 respondenter svarende til 31%). Af alle husstande, som deltog i undersøgelsen, er der således 15% (61 ud af 405), som har elvarme som primær opvarmningsform i kombination med *både* brændeovn og varmepumpe. Det bemærkes, at der i undersøgelsen ikke er spurgt direkte til om der er installeret elvarme i huset. Andelen, som kombinerer brændeovn, varmepumpe og elvarme må således antages at være højere i praksis.

Det ses også, at for 29% af dem, som har brændeovn i huset, udgør brændeovnen husets primære opvarmningsform (57 ud af 200) – dette svarer til 14% af alle respondenter.

Opsummerende om husstandenes opvarmning (herunder varmepumpe):

- Kun 11% af husstandene opvarmes udelukkende vha. luft/luft varmepumpe. Langt det hyppigste er således at kombinere varmepumpe med andre opvarmningsformer. Samtidig angiver næsten halvdelen (43%), at varmepumpe er deres primære opvarmningsform (senere angives dog en langt højere værdi, 71%).
- Omkring halvdelen (49%) har brændeovn i huset – heraf benytter 57 husstande (svarende til 14% af alle respondenter) brændeovnen som primær opvarmningsform.
- Godt en tredjedel (36%) af alle husstandene angiver at have elvarme som primær opvarmningsform. (Andelen af husstande med elvarme er formodentlig højere, men der er ikke spurgt specifikt til om husstandene har elvarme installeret)
- 15% af alle husstande kombinerer elvarme som primær opvarmningsform med brændeovn og varmepumpe.
- Kun ganske få kombinerer varmepumpe med andre opvarmningsformer end elvarme eller brændeovn (fx fjernvarme, naturgas, pillefy el.lign.).

### Installeringen af varmepumpen – producent og tidspunkt

Toshiba og Panasonic er de langt mest dominerede producenter af respondenternes varmepumper. Derefter følger producenter IVT, Fujitsu, Daikin, Sanyo, Airwell og Compi.

	Antal	Procent
Toshiba	206	50,9%
Panasonic	175	43,2%
IVT	11	2,7%
Fujitsu	5	1,2%
Daikin	3	0,7%
Sanyo	3	0,7%
Airwell	1	0,3%
Compi	1	0,3%
Total	405	100%

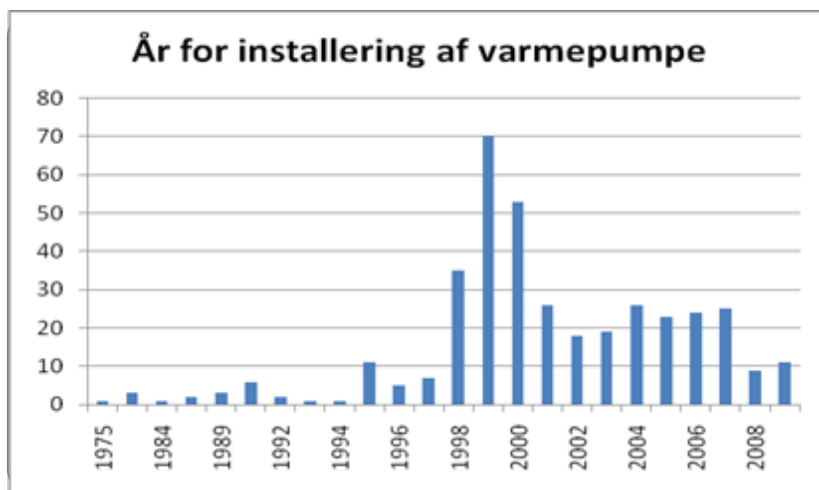
Tabel 27: Husstandenes fordeling på producent af varmepumpe.

Mht. året for installeringen af varmepumpe angiver 10 respondenter (2,5%), at dette skete før 1990. De fleste har fået installeret deres varmepumpe i årene omkring årtusindeskiftet – 17% i 1999, 13% i 2000 og 9% i 1998. Dette falder tidsmæssigt sammen med at SEAS-NVE kørte en større varmepumpekampagne i 1999-2000 målrettet deres kunder. Lokalenergi har gennem årene kørt flere kampagner og har haft et gennemgående stabilt salg uden de store udsving fra år til år.

45% har fået installeret varmepumpen i perioden 2001-2009.

År	Antal	Procent
1975-1979	1	0,25%
1980-1984	4	0,99%
1985-1989	5	1,23%
1990-1994	10	2,47%
1995	11	2,72%
1996	5	1,23%
1997	7	1,73%
1998	35	8,64%
1999	70	17,28%
2000	53	13,09%
2001	26	6,42%
2002	18	4,44%
2003	19	4,69%
2004	26	6,42%
2005	23	5,68%
2006	24	5,93%
2007	25	6,17%
2008	9	2,22%
2009	11	2,72%
Andet	23	5,68%
<b>I alt</b>	<b>405</b>	<b>100,00%</b>

Tabel 28: Året for installeringen af respondenternes nuværende varmepumpe



Figur 1: Husstandenes fordeling på år for installering af varmepumpe

### Betyder varmepumpen ændrede komfortvaner?

Indledningsvist lidt om brugen af varmepumpen i sommerhalvåret:

	Aldrig	Sjældent	For det meste	Altid	Ved ikke	Total
April	25	76	147	148	9	405
Maj	100	146	72	77	10	405
Juni	244	83	16	47	15	405
Juli	271	66	11	43	14	405
August	250	79	19	44	13	405
September	79	150	84	81	11	405

Tabel 29: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "I hvilket omfang benyttes varmepumpen til opvarmning i følgende måneder?"

Ovenstående tabel viser, i hvilket omfang respondenterne benytter varmepumpe i sommerhalvåret. Heraf fremgår det, at kun ganske få altid benytter varmepumpen i sommermånederne juni, juli og august (omkring 45 i alle tre måneder – svarende til 11% af alle husstande). Dog er der en noget større andel, som lejlighedsvist ("sjældent" eller "for det meste") benytter varmepumpen i perioden (99 i juni, 77 i juli og 98 i august – svarende til 24%, 19% hhv. 24%). Dette kan tyde på, at i alt omkring en tredjedel af husstandene bruger varmepumpe i sommermånederne som opvarmning på kolde dage. Dermed synes der at være knyttet et mere "fleksibelt" brugsmønster til opvarmning vha. varmepumpe end traditionelle centralvarme-baserede løsninger (fx olie- og naturgasfyr), der ofte lukkes ned i sommerhalvåret. Sammenlignet med centralvarme er det ulige nemmere at tænde for en varmepumpe for kortere perioder ad gangen. På dette punkt minder brugen af luft/luft varmepumper måske om brugen af brændeovn.



	Antal	Procent
Der er ikke sket nogen ændring	206	50,9%
Der er tændt for varmen i en mindre del af året end tidligere	93	23,0%
Der er tændt for varmen i en større del af året end tidligere	69	17,0%
Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	37	9,1%
Total	405	100%

Tabel 30: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Har installeringen af varmepumpen haft betydning for, hvor stor en del af året der er tændt for varmen i huset? (sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)"

På spørgsmålet om, hvorvidt installeringen af varmepumpen har haft betydning for, hvor stor en del af året der er tændt for varmen, svarer halvdelen (51%), at der ikke er sket nogen ændring. Næsten en fjerdedel (23%) svarer, at der er tændt for varmen i en mindre del af året, mens lidt mindre (17%) mener, at der er tændt for varmen i en større del. For 37 af respondenterne er spørgsmålet irrelevant, da varmepumpen blev installeret før de overtog deres nuværende bolig.

Besvarelserne tyder således ikke på, at brugen af luft/luft varmepumper generelt får folk til at opvarme deres bolig en større del af året.

	Antal	Procent
Der er samme temperatur som tidligere	223	55,1%
Temperaturen er generelt lavere end tidligere	19	4,7%
Temperaturen er generelt højere end tidligere	123	30,4%
Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	40	9,9%
Total	405	100%

Tabel 31: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Har installeringen af varmepumpen haft betydning for den indendørs temperatur? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)"

Mht. den indendørs temperatur svarer godt halvdelen (55%), at de har samme temperatur i dag, som de havde før installeringen af varmepumpen. I et energiperspektiv er det dog værd at bemærke, at næsten en tredjedel (30%) mener, at de generelt har fået en højere indendørs temperatur efter varmepumpen blev installeret, mens kun ca. 5% angiver, at temperaturen er lavere. Noget tyder således på, at for en stor del af husstandene har installeringen af varmepumpen medført et højere komfortniveau i form af en højere temperatur.

	Antal	Procent
Ja	306	76%
Nej	88	22%
Ved ikke	11	3%
Total	405	101%

Tabel 32: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Kan varmepumpen også bruges til køling af huset (aircondition)?"

Luft/luft varmepumper kan generelt anvendes til køling/aircondition. I den sammenhæng er det værd at bemærke, at næsten hver fjerde respondent ikke tror, at deres varmepumpe også kan køle (se ovenstående tabel). De synes at være "sikre i deres sag", da kun ganske få respondenter (3%) har valgt svarmuligheden "Ved ikke". For nogle af disse kan der være tale om

varmepumper installeret med tilskud (jf. tidligere); det indgik som betingelse for tilskuddet, at varmepumpens kølefunktion blev "plomberet".

Hovedparten af respondenterne (76%) svarer dog bekræftende på spørgsmålet. Af disse svarer 21%, at de har benyttet deres varmepumpe til køling (tabel 33). Ofte dog kun ganske få gange i løbet af en almindelig sommer – 38% svarer 1-4 dage og 27% svarer 5-9 dage (se tabel 34).

På denne baggrund kan de konkluderes, at brugen af varmepumpe til køling (endnu) ikke synes udbredt – men dog er det en ikke-ubetydelig undergruppe (21%) af dem, der rent faktisk véd, at de kan benytte varmepumpen til at køle med, som bruger den til dette formål. Det vil med andre ord sige (og under forudsætning af at respondenterne udgør et repræsentativt udsnit af danske luft/luft varmepumpe-ejere), at det kan formodes, at ca. hver femte danske husstand med luft/luft varmepumpe i større eller mindre grad benytter varmepumpen til aircondition.

	Antal	Procent
Ja	64	21%
Nej	242	79%
Total	306	100%

Tabel 33: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Har du/l brugt varmepumpen til køling om sommeren?"

Antal dage	Antal	Procent
1-4 dage	24	38%
5-9 dage	17	27%
10-14 dage	12	19%
15 dage eller mere	11	17%
Total	64	100%

Tabel 34: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvor mange dage i løbet af en almindelig sommer benyttes varmepumpen til køling?"

## Sommerhuse

### Hvem er respondenterne

	Antal	Procent
Kvinde	18	23,7
Mand	58	76,3
Total	76	100,0

Tabel 35: Respondenternes fordeling på køn.

I lighed med respondenterne, som har varmepumpe installeret i boligen, er der også her tale om en betydelig overvægt af mandlige respondenter.

	Antal	Procent
1	7	9,2
2	62	81,6
4	5	6,6
5	2	2,6
Total	76	100,0

Tabel 36: Respondenterne fordelt efter husstandsstørrelse.

Hos respondenterne med varmepumpe i sommerhuset er overvægten af husstande bestående af to personer endog endnu mere udtalt end tilfældet var med respondenter med varmepumpe i boligen. Hele 82% af respondenterne bor i en 2-personshusstand (mod 65% for boliger). Bemærk desuden, at ingen af respondenterne bor i en husstand med 3 personer. 7 respondenter bor i en husstand med 4 eller 5 personer. Kun 7 respondenter (svarende til 9% af besvarelserne) angiver at have hjemmeboende børn yngre end 18 år. Til sammenligning bor 20% af de danske sommerhusejere i en børnefamilie (Andersen & Vacher 2009) – hvilket opgjort på husstands niveau svarer til ca. 15% af de danske husstande, som ejer et sommerhus.<sup>4</sup> Det skal dog understreges, at det relativt lave antal besvarelser for sommerhuse gør det problematisk at sammenligne disse værdier. En problematik, som også gælder for mange af de øvrige resultater.

Sammenholdt med aldersfordelingen blandt respondenterne (se næste tabel) tegner der sig et billede af respondenterne som langt overvejende ældre par. Langt hovedparten af respondenterne (91%) er ældre end 50 år – og mere end halvdelen tilhører aldersgruppen 61-70 år (respondenterne er nogenlunde ligeligt fordelt på årene inden for denne aldersgruppe). Dvs. at en stor del er enten efterlønnerne eller pensionister (hvilken understøttes af tabel 38).

For Danmark som helhed gælder, at 78% af de danske sommerhusejere er over 50 år (Andersen & Vacher 2009).

	Antal	Procent
0-20 år	0	0%
21-30 år	1	1%
31-40 år	0	0%
41-50 år	5	7%
51-60 år	12	16%
61-70 år	40	53%
71-80 år	15	20%
81-90 år	2	3%
Ikke oplyst	1	1%
Total	76	101%

Tabel 37: Respondenternes fordeling på alder

<sup>4</sup> Ifølge Hjalager (2009) ejes 68% af sommerhusene af 1 person, 29% ejes af 2 personer og 4% af 3-10 personer.

	Antal	Procent
Selvstændig eller medhjælpende ægtefælle	6	8%
Ansæt som overordnet funktionær, akademiker, konsulent eller lignende	8	11%
Ansæt som funktionær (fx HK'er eller lærer)	11	15%
Ansæt som faglært arbejder, montør eller lignende	3	4%
Ansæt som specialarbejder eller lignende	1	1%
Modtager dagpenge, kontanthjælp eller lignende	0	0%
Er pensionist eller efterlønsmodtager	47	62%
Er under uddannelse	0	0%
Andet	0	0%
Total	76	101

Tabel 38: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvad er din beskæftigelse?"

Det er uklart, hvor mange af de pensionerede respondenter, som benytter deres sommerhus som helårsbeboelse (der spørges ikke direkte til dette i undersøgelsen). På baggrund af Hjalager 2009 (s. 68-69) kan andelen af danske sommerhuse, som (lovligt eller ulovligt) benyttes som helårsbolig, opgøres til ca. 15% (inklusive sommerhuse, som lovligt anvendes som helårsbeboelse og dermed skifter anvendelseskode i BBR-registeret til enfamiliehus).

Det må formodes, at der også i materialet fra vores undersøgelse optræder sommerhuse, der benyttes som helårsbeboelse. Det er imidlertid vanskeligt alene ud fra besvarelserne af spørgeskemaet at fastslå, i hvilket omfang sommerhuset har karakter af helårsbeboelse eller ej. Set isoleret kan respondenternes besvarelse af det indledende spørgsmål "Er der installeret en eller flere luft/luft varmepumper i din/jeres bolig eller evt. sommerhus?" umiddelbart tyde på, at det kun gælder en mindre andel af respondenterne (se tabel nedenfor). Her svarer 84% "Ja, i sommerhuset" – og har dermed fravalgt bl.a. det alternative svar "Ja, i boligen". Men omvendt antyder den markante overvægt af pensionerede par, at der kan være en del, som i henhold til "pensionistreglen" i planlovens §40 har tilladelse til helårsbeboelse. En mulighed er, at det umiddelbart falder disse respondenter mest naturligt at omtale deres hjem som "et sommerhus" snarere end som "en bolig" (hvilket det jo er strengt definatorisk).

	Total	Procent
Ja, både i boligen og sommerhuset	12	16%
Ja, i sommerhuset	64	84%
Total	76	100%

Tabel 39: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Er der installeret en eller flere luft/luft varmepumper i din/jeres bolig eller evt. sommerhus?"

Mht. husstandens samlede, årlige bruttoindtægt ligger hovedparten af husstandene (55%) mellem 200.000 kr. og 599.000 kr. (se tabel 40).

I 2005 udgjorde husstande med under 400.000 kr. i årlig bruttoindkomst 35% af de danske husstande, som ejede et sommerhus (Hjalager 2009: 34). Til sammenligning tilhørte praktisk talt lige så mange – 34% – af respondenterne denne indkomstgruppe. På landsplan tilhørte 25% af husstandene med sommerhus indkomstgruppen 400-599.000 kr. (til sammenligning 29% af respondenterne i denne undersøgelse), 20% indkomstgruppen 600-799.000

kr. (mod 15% i denne undersøgelse) og 20% over 800.000 kr. (mod 13% i denne undersøgelse). Med andre ord synes indkomstfordelingen blandt respondenterne i grove træk at afspejle indkomstfordelingen blandt danske husstande med sommerhuse.

	Antal	Procent
Mindre end 200.000 kr.	6	7,9
200-399.000 kr.	20	26,3
400-599.000 kr.	22	28,9
600-799.000 kr.	11	14,5
800-999.000 kr.	6	7,9
Mere end 1 mio. kr.	4	5,3
Ved ikke	5	6,6
Ikke besvaret	2	2,6
Total	76	100,0

Tabel 40: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvad er husstandens samlede, årlige bruttoindtægt (dvs. før skat og arbejdsmarkedsbidrag)?"

### Hvordan bor de?

Hovedparten af sommerhusene er bygget i årene efter 1960 (88%).

	Antal	Procent
Før 1930	2	2,6
1930-1959	5	6,6
1960-1972	16	21,1
1973-1979	16	21,1
1980-2000	22	28,9
Efter 2000	13	17,1
Ved ikke	2	2,6
Total	76	100,0

Tabel 41: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvornår blev huset bygget?"

Ifølge Andersen & Vacher (2009) er over halvdelen af de danske sommerhuse opført netop i perioden 1960-79 (med maksimum i 1973), mens hvert fjerde sommerhus er bygget efter 1980 og 19% før 1960. Sammenholdes disse tal med aldersfordelingen for sommerhusene i tabel 41, ses det, at respondenternes sommerhuse generelt er yngre end den danske sommerhusbestand som helhed. Hele 46% er bygget efter 1979 (mod ca. 25% af danske sommerhuse) – og omvendt er andelen af ældre sommerhuse mindre end for landet som helhed.

	Antal	Procent
0-4 år	12	15,8
5-9 år	14	18,4
10-14 år	13	17,1
15-19 år	7	9,2
20 år eller mere	30	39,5
Total	76	100,0

Tabel 42: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvor mange år har du/I ejet sommerhuset?"

En betydelig andel (40%) har ejet sommerhuset i 20 år eller derover. Men samtidig er der også en stor gruppe (51%), som har ejet sommerhuset i mindre end 15 år. Respondenterne synes på denne vis at dele sig i to grupper mht. hvor længe de har ejet sommerhuset.

Der ser ud til at være en vis sammenhæng mellem at dem, som har ejet sommerhuset længst, også har de ældste sommerhuse (tabel 43) – om end billedet ikke er ganske entydigt.

Hvor længe ejerskab						
Byggeår	0-4 år	5-9 år	10-14 år	15-19 år	20 år eller mere	Total
Før 1930	2					2
1930-1959			2	1	2	5
1960-1972	2	3	1		10	16
1973-1979		4	4	2	6	16
1980-2000	1	3	6	3	9	22
Efter 2000	6	4		1	2	13
Ved ikke	1				1	2
Total	12	14	13	7	30	76

Tabel 43: Krydstabellen viser respondenternes besvarelser på spørgsmålene "Hvornår blev huset bygget?" hhv. "Hvor mange år har du/l ejet sommerhuset?". Bemærk, at enkelte respondenter angiver at have ejet sommerhuset længere tid end alderen på sommerhuset. Mulige forklaringer på disse uoverensstemmelser kan være enten fejl i besvarelsen eller at respondenterne har revet tidligere hus ned og bygget nyt.

### Motivation for at installere varmepumpe og tilfredshed

Langt de fleste af respondenterne har installeret varmepumpen i tiden efter at de overtog huset. Kun 5% angiver, at varmepumpen allerede var installeret før de købte huset.

	Antal	Procent
Ja	4	5%
Nej	72	95%
Total	76	100%

Tabel 44: Respondenternes besvarelse af spørgsmålet "Blev varmepumpen installeret før du overtog huset?"

	Antal	Procent
For at spare energi	46	61%
For at få en bedre komfort i huset	40	53%
For at kunne holde sommerhuset frostfrit om vinteren	39	51%
For at spare penge på varmen	38	50%
For at bidrage til mindre forurening	16	21%
Stod alligevel over for at skulle udskifte husets varmeinstallation	0	0%
Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	2	3%
Andet	6	8%

Tabel 45: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvad var den oprindelige årsag til beslutningen om at installere varmepumpe i sommerhuset?"

Det fremgår af tabel 45, at for godt halvdelen af respondenterne handler anskaffelsen af varmepumpen om at spare energi (og dermed penge), at øge komforten i huset samt at kunne holde sommerhuset frostfrit om vinteren. Ved angivelse af "Andet" havde respondenterne mulighed for at uddybe svaret, og her finder man begrundelser som: Ønsket om en behagelig temperatur ved ankomst til sommerhuset, bedre udnyttelse af huset om vinteren, højere temperatur om vinteren til mindre forbrug (af energi) og at "hus og møbler ikke bliver ødelagt" (her henvises sandsynligvis til lave temperaturer og mindre fugt).

En betydelig andel af varmepumperne kan også benyttes til køling om sommeren og det er derfor muligt, at en del af sommerhusejerne anskaffede varmepumpen for at kunne benytte den til aircondition. Desværre var denne mulighed ikke medtaget i det oprindelige design af spørgeskemaet. Den efterfølgende follow-up undersøgelse omfattede derfor spørgsmålet: "I hvilket omfang havde det betydning for din beslutning om at anskaffe en luft/luft varmepumpe, at den også kan benyttes til køling (aircondition)?" Besvarelsene på dette spørgsmål viser, at muligheden for aircondition synes at have en stærkt begrænset betydning for sommerhusejernes oprindelige beslutning om at anskaffe en varmepumpe. 30 respondenter (88%) svarede "slet ingen betydning", mens kun 3 (9%) svarede "nogen betydning" og 1 svarede "stor betydning". Ingen svarede "afgørende betydning".

	Antal	Procent
Ja, i høj grad tilfreds	61	80%
Ja, i nogen grad tilfreds	13	17%
Nej, i nogen grad utilfreds	1	1%
Nej, meget utilfreds	1	1%
Total	76	100%

Tabel 46: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Er du alt i alt tilfreds med varmepumpen?"

Ligesom tilfældet var for boliger, er der også en meget udbredt tilfredshed med varmepumpen blandt sommerhusejerne. Kun 2 respondenter er enten i nogen grad utilfreds eller meget utilfreds.

### Opvarmningsform før/efter installering af varmepumpe

Krydstabellen nedenfor viser dels sommerhusenes nuværende primære opvarmningsform (rækker), dels den primære opvarmningsform før installeringen af varmepumpen (kolonner).

Nuværende primær opvarmningsform	Primær opvarmningsform før installering af varmepumpe					Total
	Brændeovn	Elvarme (fx elradiatorer)	Oliefyr	Varmepumpe (fx jordvarme)	Ved ikke	
Brændeovn	6	6				12
Elvarme (fx elradiatorer)		8			1	9
Varmepumpe (fx jordvarme)	3	45	2	3	2	55
Total	9	59	2	3	3	76

Tabel 47: Respondenternes besvarelse af spørgsmålene "Hvad er den nuværende primære opvarmningsform i huset?" hhv. "Hvad var den primære opvarmningsform i huset før varmepumpen blev installeret?" (Her er kun medtaget de opvarmningsformer, som er angivet af respondenterne)

Mere end to-tredjedele angiver at varmepumpe er deres nuværende primære opvarmningsform (55 respondenter svarende til 72%). 12 respondenter

(16%) angiver brændeovn, mens 9 (12%) angiver elvarme. Sammenlignet med boligerne er der således næsten dobbelt så stor en andel af sommerhusejerne, som angiver at varmepumpen er deres primære opvarmning.

For mere end halvdelen af respondenterne gælder det, at de tidligere havde elvarme som primær opvarmning. Skiftet fra elvarme til varmepumpe gælder for 45 respondenter (59%).

	Antal	Procent
Som husets primære opvarmningsform	38	50,0
Primært til frostsikring	24	31,6
Kun lejlighedsvist (fx hvis vejret er særlig koldt eller i rum, der benyttes sjældent)	3	3,9
Kun i perioder, hvor der er slukket for anden opvarmning af huset	3	3,9
Andet	8	10,5
Total	76	100,0

Tabel 48: Respondenternes besvarelse af spørgsmålet "På hvilken måde benyttes varmepumpen til opvarmning i vintermånederne? (sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)".

Mht. opvarmningen i vintermånederne oplyser halvdelen (50%) at de benytter varmepumpen som husets primære opvarmningsform, hvilket faktisk er mindre end andelen, der i tabel 47 angav varmepumpe som den primære opvarmningsform. Årsagen til at andelen i tabel 48 ligger lavere kan dog tænkes at hænge sammen med, at respondenterne ved besvarelsen af dette spørgsmål kun kunne sætte ét kryds, og at mange måske benytter varmepumpen *både* som en primær opvarmningsform og til frostsikring gennem en stor del af vinteren. Dermed kan begge svarmuligheder have fremstået som lige relevante for denne gruppe af respondenter (se også senere). En tredjedel angiver frostsikring som svar. Blandt de 8 respondenter, som angiver "Andet" som svar, uddyber et par stykker netop deres svar med, at de *både* benytter varmepumpen som primær opvarmning og til frostsikring. En enkelt anfører "som frostsikring og bekvemmelighed med 16 grader", en anden skriver "Er tændt fra oktober til april på 16 grader, hvis huset ikke benyttes, ellers er det en kombination mellem varmepumpe og brændeovn."

Tabel 48 bekræfter i store træk resultaterne fra tidligere: at varmepumpen i hovedparten af sommerhusene udgør den primære opvarmningsform (men i mange tilfælde ikke den eneste – jf. senere) og at varmepumpen for en betydelig andel er anskaffet og anvendes med det formål at sikre mod frost. Sidstnævnte handler i øvrigt nok ikke alene om at sikre mod frost; jf. ovenstående citater fra respondenternes uddybende kommentarer, som antyder, at det også i en vis udstrækning handler om at holde en vis minimumstemperatur, som ligger noget over frysepunktet – dels af hensyn til huset og inventaret (fx forebygge fugt), dels for at gøre huset mere komfortabelt, når man ankommer.

	Antal	Procent
Ja	27	36%
Nej	49	65%
Total	76	100%

Tabel 49: Respondenternes besvarelser af spørgsmålet "Opvarmes huset udelukkende ved hjælp af varmepumpe?"



Som det ses af tabellen ovenfor, udgør varmepumpen eneste opvarmningsform i blot en tredjedel af sommerhusene. Dette er dog en noget højere andel sammenlignet med boligerne, hvor kun 11% svarede ja.

Rum der opvarmes med varmepumpe	Antal	Procent
Stue	48	98%
Køkken	43	88%
Værelser	28	57%
Gang eller entre	26	53%
Bad/toilet	11	22%
Bryggers	3	6%
Udestue eller lignende tilbygning	3	6%
Udhus, værksted, garage eller lignende	0	0%
Andet	1	2%

Tabel 50: Respondenternes besvarelse på spørgsmålet "Hvilke rum i huset opvarmes med varmepumpe?". Respondenterne havde mulighed for at sætte flere kryds. Kun respondenter, som ikke angiver, at hele huset er opvarmet udelukkende vha. varmepumpe, har besvaret dette spørgsmål. I alt 49 respondenter har kunnet besvare dette spørgsmål.

Praktisk talt alle respondenter anvender varmepumpen til at opvarme stue og køkken (disse lå også i top ved boligerne, men ikke helt så dominerende). Opvarmning af værelser og gang/entre er også udbredt. I det hele taget synes varmepumpen hos sommerhusejerne i højere grad at blive anvendt til opvarmning af stort set hele sommerhuset i modsætning til boligerne, hvor det i højere grad var bestemte rum, som opvarmedes (især stue, køkken og gang/entre – dvs. boligens fællesrum).

Resultatet i tabel 50 stemmer på denne måde godt overens med det generelle billede fra tidligere af, at sommerhusejerne i højere grad benytter varmepumpen til generel (primær) opvarmning end tilfældet er for boligerne.

	Antal	Procent
Mindre end 10 kvadratmeter	0	0%
10-19 kvadratmeter	0	0%
20-29 kvadratmeter	3	6%
30-49 kvadratmeter	12	24%
50-79 kvadratmeter	25	51%
80 kvadratmeter eller mere	9	18%
Total	49	99%

Tabel 51: Respondenternes besvarelse på spørgsmålet "Hvor stort et areal er opvarmet med varmepumpe?" (Kun respondenter, som ikke har angivet, at hele huset udelukkende er opvarmet vha. varmepumpe)

Tabellen ovenfor viser, at flest benytter varmepumpen til at opvarme mellem 30 og 80 kvadratmeter af sommerhuset.

På spørgsmålet om, hvorvidt varmepumpen opvarmede et eller flere rum, som ikke tidligere var opvarmet på anden måde, svarer et overvejende flertal på 69 respondenter nej (91%), mens 7 svarer ja (9%). Af sidstnævnte angiver 3, at det tidligere uopvarmede areal er på 70 m<sup>2</sup> eller derover (i alle tre tilfælde angiver respondenterne, at deres sommerhus er bygget i perioden 1960-72, hvorfor der næppe er tale om nybyggede huset – det er dermed

uklart, om respondenterne har misforstået spørgsmålet). De øvrige fire respondenter angav: 6 m<sup>2</sup>, 15 m<sup>2</sup> og 20 m<sup>2</sup> (to respondenter).

### Kombination af varmepumpe med andre opvarmningsformer

Også hos sommerhusejerne synes det meget udbredt at kombinere varmepumpe med anden opvarmningsform. 61 respondenter (80%) angiver, at de har brændeovn, mens 15 respondenter (20%) svarer nej. Af de 61 respondenter med brændeovn svarer hovedparten (51 respondenter), at brændeovnen var sat op *før* installeringen af varmepumpen. Kun 9 svarer "Blev sat op efter (eller samtidig med) installeringen af varmepumpen" – 1 svarer "Ved ikke".

Af de 51 respondenter, hvor brændeovnen var sat op før varmepumpen, angiver 18 (35%) at installeringen af varmepumpen ikke har haft indflydelse på forbruget af brænde, mens 24 (47%) angiver, at forbruget af brænde er faldet. Ingen svarer, at de bruger mere brænde (9 respondenter oplyser "Ved ikke"). For næsten halvdelen har varmepumpen altså betydet et lavere brændeforbrug – varmepumpen synes således delvist at substituere opvarmningen med brænde i ca. 32% af *alle* deltagende sommerhuse.

Ud over at kombinationen af varmepumpe og brændeovn synes meget udbredt, er det også spørgsmålet om, hvorvidt en del af respondenterne også benytter traditionel elvarme (elpaneler) som supplerende opvarmning. Dette afdækkes desværre ikke direkte gennem spørgeskemaet, men den høje andel af respondenter, som tidligere benyttede elvarme som primær opvarmning rejser spørgsmålet om, hvorvidt en del af disse fortsat har elpaneler i sommerhuset (og om disse med mellemrum benyttes til opvarmning).

### Installeringen af varmepumpen – producent og tidspunkt

Langt de fleste (80%) af respondenterne har en varmepumpe fra Panasonic. Derefter følger med 12% Toshiba. De resterende 6 respondenter er fordelt på fire andre producenter.

	Antal	Procent
Daikin	2	2,6
Fujitsu	1	1,3
IVT	1	1,3
Panasonic	61	80,3
Sanyo	2	2,6
Toshiba	9	11,8
Total	76	100,0

Tabel 52: Respondenternes fordeling på producenter af varmepumpe.

Varmepumperne er generelt af nyere dato. To-tredjedele af varmepumperne er installeret efter 2005 – flest i 2006 (17% af alle) og 2007 (28%). Sammenlignet med boligerne, har sommerhusejerne overordnet set yngre varmepumper.

År	Antal
1999	1
2000	2
2001	2
2002	1
2003	5
2004	8
2005	8
2006	13
2007	21
2008	8
2009	5
Ikke besvaret	2
Total	76

Tabel 53: Året for installeringen af respondenternes nuværende varmepumpe

### Betyder varmepumpen ændret komfortvaner?

Indledningsvist lidt om brugen af varmepumpen i sommerhalvåret:

	Aldrig	Sjældent	For det meste	Altid	Ved ikke	Total
<b>April</b>	1	15	21	37	2	76
<b>Maj</b>	12	16	27	18	3	76
<b>Juni</b>	29	25	6	10	6	76
<b>Juli</b>	33	25	2	10	6	76
<b>August</b>	26	28	7	11	4	76
<b>September</b>	6	26	19	21	4	76

Tabel 54: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "I hvilket omfang benyttes varmepumpen til opvarmning i følgende måneder?"

Ovenstående tabel viser, i hvilket omfang respondenterne benytter varmepumpen i sommerhalvåret. Langt de fleste benytter varmepumpen altid eller for det meste i både april og september. Bemærk, at 16 respondenter (21%) altid eller for det meste benytter varmepumpen i juni måned, mens dette gælder for lidt mindre (12 respondenter – svarende til 16%) i juli måned.

	Antal	Procent
Der er ikke sket nogen ændring	25	32,9
Der er tændt for varmen i en mindre del af året end tidligere	5	6,6
Der er tændt for varmen i en større del af året end tidligere	42	55,3
Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	4	5,3
Total	76	100,0

Tabel 55: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Har installeringen af varmepumpen haft betydning for, hvor stor en del af året der er tændt for varmen i huset? (sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)"

Mere end halvdelen af respondenterne angiver (tabel 55), at de – efter installeringen af varmepumpen – har tændt for varmen i en større del af året end tidligere. Dette adskiller sig noget fra boligerne, hvor kun 17% svarede

dette. En tredjedel angiver, at der ikke er sket nogen ændring, mens 7% mener, at de har mindre tændt for varmen.

Dette resultat er interessant, idet det peger på, at der med varmepumperne følger en højere komfortstandard i form af, at der er varme på huset i en større del af året. En del af forklaringen på dette kan hænge sammen med det forhold, at mange benytter varmepumpen til at holde en minimumstemperatur i huset, når de ikke er der (se også senere). Dermed kan forskellen mellem boliger og sommerhuse hænge sammen med forskellige brugsmønstre; boligen bruges mere eller mindre hele tiden, mens sommerhuset kun bruges i perioder.

Hvis ovennævnte tolkning holder, kan man undre sig over, hvorfor respondenterne, som for hovedpartens vedkommende tidligere benyttede elvarme som primær opvarmning, ikke før installeringen af varmepumpen benyttede elvarme på tilsvarende vis til at holde en minimumstemperatur. En mulig forklaring på dette "paradoks" kan være, at traditionel elvarme opfattes som meget dyrt, og at dette har afholdt mange af respondenterne fra at benytte det som "grundvarme". Varmepumper opfattes (og markedsføres) omvendt som et billigt alternativ til netop traditionel elvarme, og dette kan måske ansøre nogen til at øge graden af opvarmning (en form for "rebound effekt" – både konkret økonomisk og på et fortolkningsmæssigt plan).

Disse spørgsmål er uddybet yderligere i det senere afsnit om resultaterne af follow-up undersøgelsen samt i de kvalitative interview gennemført efter spørgeskemaundersøgelsen.

	Antal	Procent
Der er samme temperatur som tidligere	32	42,1
Temperaturen er generelt højere end tidligere	40	52,6
Temperaturen er generelt lavere end tidligere	1	1,3
Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	3	3,9
Total	76	100,0

Tabel 56: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Har installeringen af varmepumpen haft betydning for den indendørs temperatur? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)"

Mht. den indendørs temperatur svarer knapt halvdelen (42%), at den indendørs temperatur ikke har ændret sig med installeringen af varmepumpen. Til gengæld angiver godt halvdelen (53%), at temperaturen generelt er højere. Dermed indikeres nok en gang, at der følger ændrede komfortvaner med varmepumpen. Det er også værd at bemærke, at andelen af respondenter, som angiver højere temperatur, er noget større for sommerhuse sammenlignet med boliger (30%). Igen er der noget, der tyder på, at varmepumper har en større umiddelbar indflydelse på komfortvanerne i sommerhuse end i boliger.

	Antal	Procent
Ja	39	51,3
Nej	35	46,1
Ved ikke	2	2,6
Total	76	100,0

Tabel 57: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Kan varmepumpen også bruges til køling af huset (aircondition)?"

På spørgsmålet om, hvorvidt varmepumpen kan bruges til køling af huset, svarer kun halvdelen (51%) ja, mens 46% svarer nej. Dette er lidt overraskende, da netop kun respondenter med "sikre" luft/luft varmepumpeproducenter er udvalgt (jf. afsnit 1) – og umiddelbart skulle langt hovedparten derfor have varmepumper med kølemulighed.

	Antal	Procent
Ja	16	41%
Nej	23	59%
Total	39	100%

Tabel 58: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Har du/l brugt varmepumpen til køling om sommeren?" (Kun respondenter, som har angivet, at varmepumpe kan benyttes til køling)

Af de 39 respondenter, som angiver, at deres varmepumpe kan bruges til køling, svarer 16 (41%), at de har benyttet air conditioning. Denne andel er noget større end for boliger. Dog må tallene tages med stort forbehold, da det samlede antal respondenter er lille.

	Antal	Procent
1-4 dage	10	63%
5-9 dage	4	25%
10-14 dage	2	13%
Total	16	100%

Tabel 59: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvor mange dage i løbet af en almindelig sommer benyttes varmepumpen til køling?" (Kun respondenter, som har benyttet air conditioning)

Af de 16 respondenter, som har benyttet air conditioning, angiver flest (10), at de kun benytter kølefunktionen 1-4 dage i løbet af en almindelig sommer. 4 angiver 5-9 dage, mens 2 angiver 10-14 dage.

### Resultaterne af follow-up undersøgelsen

Følgende præsenteres resultaterne af follow-up undersøgelsen mht. sommerhuse (da der kun er besvarelser fra 35 respondenterne skal resultaterne tages med store forbehold):

	Antal	Procent
Ja	8	23%
Nej	27	77%
Ved ikke	0	0%
Total	35	100%

Tabel 60: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Benyttes sommerhuset som helårsbeboelse (dvs. ingen anden fast bopæl)?"

Omkring en fjerdedel af respondenterne i follow-up undersøgelsen oplyser, at de benytter deres sommerhus som helårsbeboelse. Det skønnes (Hjalager 2009), at omkring 15% af de danske sommerhuse benyttes til helårsbeboelse. Follow-up undersøgelsen antyder, at noget lignende kan gælde for vores materiale.

	Antal	Procent
Mindre end 1 måned	0	0%
1-2 måneder	6	22%
3-6 måneder	13	48%
Mere end 6 måneder	7	26%
Ved ikke	1	4%
Total	27	100%

Tabel 61: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvor mange måneder om året benyttes sommerhuset (af jer selv eller andre)?" Kun respondenter, som ikke benytter sommerhuset som helårsbeboelse.

Flest benytter sommerhuset i sammenlagt 3-6 måneder om året.

	Antal	Procent
Lukkes helt ned om vinteren (der lukkes for vand mv.)	2	7%
Frostfrit ved opvarmning til ca. 5 gr. C	2	7%
Opvarmet til ca. 10-16 gr. C	23	85%
Opvarmet til stuetemperatur – klar til brug	0	0%
Total	27	99%

Tabel 62: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Når du/l ikke benytter sommerhuset i vinterhalvåret: Hvordan sikres sommerhuset mod frostskafer o.lign.? (Vælg det svar, der passer bedst)". Kun respondenter, som ikke benytter sommerhuset som helårsbeboelse.

Brugen af varmepumpe til at holde sommerhuset opvarmet, mens det ikke benyttes om vinteren, synes meget udbredt. Kun hen ved en tiendedel lukker huset helt ned om vinteren (ingen opvarmning). Hovedparten opvarmer sommerhuset til 10-16 gr. C gennem hele vinteren. Det må antages, at langt de fleste holder en temperatur på ca. 16 gr. C, da de varmepumpe-modeller, der er solgt til denne gruppe af sommerhusejere, i de fleste tilfælde ikke har et lavere set-punkt.

Bemærk i øvrigt, at en af respondenterne oplyser, at de anvender en SMS-service til at starte varmepumpen før de ankommer til sommerhuset.

	Antal	Procent
Brugte elvarme til at holde sommerhuset frostfrit	13	48%
Sommerhuset blev lukket helt ned	8	30%
Ikke relevant, varmepumpen var installeret før vi overtog sommerhuset	3	11%
Andet	3	11%
Total	27	100%

Tabel 63: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Før varmepumpen blev installeret: Hvordan sikrede du/l tidligere sommerhuset mod frostskafer o.lign., når sommerhuset ikke blev benyttet?" Kun respondenter, som ikke benytter sommerhuset som helårsbeboelse.

	Antal	Procent
Nej, temperaturen er uændret	1	8%
Ja, temperaturen er generelt højere	12	92%
Ja, temperaturen er generelt lavere	0	0%
Ved ikke	0	0%
Total	13	100%

Tabel 64: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "Hvis elvarme tidligere benyttedes til at holde huset frostfrit: Har skiftet til varmepumpe betydet en ændring i den minimumstemperatur, som benyttes til at holde huset frostfrit?" Kun respondenter, som ikke benytter sommerhuset som helårsbeboelse og som har svaret, at de tidligere benyttede elvarme til at holde sommerhuset frostfrit.

Tabel 63 og 64 viser, at omkring halvdelen tidligere benyttede elvarme til at holde sommerhuset opvarmet om vinteren, men ved en lavere temperatur end i dag. Omkring en fjerdedel lukkede tidligere helt ned om vinteren (dvs. helt uden opvarmning).

	Antal	Procent
Slet ingen betydning	31	89%
Nogen betydning	3	9%
Stor betydning	1	3%
Afgørende betydning	0	0%
Total	35	101%

Tabel 65: Respondenternes besvarelser på spørgsmålet "I hvilket omfang havde det betydning for din beslutning om at anskaffe en luft/luft varmepumpe, at den også kan benyttes til afkøling (aircondition)?"

Muligheden for at kunne benytte varmepumpen til køling synes overordnet set ikke at have nogen afgørende betydning for sommerhusejernes beslutning om at installere varmepumpe i sommerhuset.

## Sammenfatning

Helt overordnet kan det konkluderes, at resultaterne fra spørgeskemaundersøgelsen tyder på, at installeringen af luft/luft varmepumpe resulterer i ændrede komfortvaner, som til dels kan indebære et øget opvarmningsbehov. Dette er dog mest markant for sommerhuse, hvor installeringen af varmepumpen indebærer, at mere end halvdelen af sommerhusejerne har tændt for varmen i længere tid og generelt har en højere indendørstemperatur. Resultaterne for boliger er lidt vanskeligere at tolke, da der på den ene side er 23%, som angiver, at de har tændt for varmen en mindre del af året, mens 17% angiver, at de har tændt for varmen i længere tid – men samtidig er der 30%, som angiver, at de generelt har fået en højere indendørstemperatur.

Når de ændrede komfortvaner (og stigende opvarmningsbehov) er særligt markante for sommerhuse hænger dette sandsynligvis sammen med de forskellige brugsmønstre, der er mellem sommerhuse og boliger. I sommerhuse synes varmepumper især at blive benyttet til at sikre en vis minimumstemperatur i huset i de perioder, hvor sommerhuset ikke benyttes. Således antyder follow-up undersøgelsen, at langt hovedparten af sommerhusejerne benytter varmepumpen til at holde sommerhuset opvarmet, og dermed fri for frost (og fugt), gennem hele vinteren.

En ikke ubetydelig andel af respondenterne benytter også deres varmepumpe til køling i sommerperioden. For boliger gælder det for 21% af dem, som

oplyser, at deres varmepumpe kan benyttes til køling – af alle boligrespondenterne svarer dette til 16%. For sommerhuse gælder det for ca. 40% af dem, som angiver, at varmepumpen kan benyttes til køling - svarende til 21% af alle sommerhusejerne. Således synes der også på dette punkt at knytte sig de mest markante ændringer i komfortvanerne til installationen af varmepumpe i sommerhuse.

Undersøgelsen viser også, at luft/luft varmepumper i reglen kombineres med andre former for (supplerende) opvarmning. Mest udbredt er brændeovn, men også elvarme forekommer hyppigt. I mange tilfælde synes varmepumpen delvist at substituere brændeovn som varmekilde. 32% af sommerhusejerne angiver, at de har reduceret deres brændeforbrug efter installationen af varmepumpen, mens det tilsvarende tal er 16% for boliger.

## Referencer

Andersen, Hans Skifter & Mark Vacher (2009): *Sommerhuse i Danmark. Hvem har dem og hvordan bruges de?* Center for Bolig og Velfærd.

Danmarks Statistik (2010a): Udtræk fra Statistikbanken. FOLK1: Folketal 1. januar, 1. april, 1. juli og 1. oktober efter kommune/region, køn, alder, civilstand, herkomst, oprindelsesland og statsborgerskab. Udtræk 04.10.2010.

Danmarks Statistik (2010b): Udtræk fra Statistikbanken. INDKF2: Familiernes indkomst i alt efter område, enhed, ejer/lejer af bolig, familietype og indkomstinterval. Udtræk 04.10.2010.

Danmarks Statistik (2010c): Udtræk fra Statistikbanken. FAM44N: Familier pr. 1. januar efter kommune/region, familietype, familiestørrelse og antal børn. Udtræk 04.10.2010.

Danmarks Statistik (2010d): Udtræk fra Statistikbanken. BOL22: Beboede boliger efter område, boligart, opførelsesår og installationsforhold. Udtræk 04.10.2010.

Hjalager, Anne-Mette (2009): *Udviklingsdynamikker i sommerhussektoren.* Center for Bolig og Velfærd.



## Bilag 1: Invitation til varmepumpekunder (brev)

N.N.  
Adresse  
Postnummer + by

**Deltagernummer: xxxxxx**

*Kære varmepumpekunde*

*Vil du hjælpe os ved at besvare et spørgeskema om brug af luft/luft varmepumpe?*

Dit lokale elselskab er med i et forskningsprojekt, der sætter fokus på sammenhænge mellem elforbrug, indendørs komfort og brugen af varmepumper. Vi vil gerne have din besvarelse. Det tager ca. 10-15 minutter at besvare spørgeskemaet. Oplysningerne vil blandt andet indgå i arbejdet for at sænke energiforbruget i boliger og sommerhuse. Din besvarelse vil være et værdifuldt bidrag til undersøgelsen.

Udfyld spørgeskema på [www.lokalenergi.dk/vp-undersogelse.aspx](http://www.lokalenergi.dk/vp-undersogelse.aspx) .

Du vil blive bedt om at indtaste dit **deltagernummer**, som du finder øverst på denne side.

Har du udfyldt spørgeskemaet inden **den 15. marts**, deltager du i lodtrækningen om:

- En termofotografering af din bolig eller dit sommerhus med et varmekølsomt kamera
- 5 gavekort á 500 kr. til en dagligvarebutik
- 10 solcelleopladere, der kan oplade bl.a. mobiltelefon og iPod.

For at vi kan undersøge sammenhængen mellem elforbrug og brugen af varmepumper, indhenter vi oplysninger om dit elforbrug for de seneste år fra dit elselskab. Alle oplysninger behandles naturligvis fuldt fortroligt. Forskningsprojektet gennemføres i et samarbejde mellem Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), IT Energy og elselskaberne Lokalerenergi og SEAS-NVE. Har du spørgsmål til undersøgelsen, er du velkommen til at kontakte Toke Haunstrup Christensen fra SBI på tlf. 9940 2256 eller e-mail [thc@sbi.dk](mailto:thc@sbi.dk).

På forhånd tak for hjælpen!

Med venlig hilsen

Toke Haunstrup Christensen

Aalborg Universitet  
Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for By, Bolig og Ejendom  
Dr. Neergaards Vej 15  
2970 Hørsholm

Tlf. 4586 5533  
Web: [www.sbi.dk](http://www.sbi.dk)

## Bilag 2: Spørgeskema (boliger)

### Spørgeskema: Varmepumpe i boligen

Sæt kun 1 kryds ud for hvert spørgsmål, medmindre andet er angivet.

#### Indledende spørgsmål

1.1 Hvornår blev luft/luft varmpumpen installeret i din bolig?	Angiv så præcist årstal som muligt: _____
1.2 Blev varmpumpen installeret før du flyttede ind i huset?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej
1.3 Hvad er den nuværende primære opvarmningsform i huset?	<input type="checkbox"/> Elvarme (fx radiatorer) <input type="checkbox"/> Varmepumpe (fx jordvarme) <input type="checkbox"/> Fjernvarme <input type="checkbox"/> Oliefyr <input type="checkbox"/> Naturgas <input type="checkbox"/> Brændeovn <input type="checkbox"/> Pillefyr, koks eller lignende
1.4 Hvad var den primære opvarmningsform i huset før varmpumpen blev installeret?	<input type="checkbox"/> Elvarme (fx radiatorer) <input type="checkbox"/> Varmepumpe (fx jordvarme) <input type="checkbox"/> Fjernvarme <input type="checkbox"/> Oliefyr <input type="checkbox"/> Naturgas <input type="checkbox"/> Brændeovn <input type="checkbox"/> Pillefyr, koks eller lignende <input type="checkbox"/> Ved ikke

#### Oplysninger om huset

2.1 Hvilken slags bolig bor du i?	<input type="checkbox"/> Parcelhus <input type="checkbox"/> Rækkehus eller dobbelthus <input type="checkbox"/> Stuehus
2.2 Hvornår blev huset bygget?	<input type="checkbox"/> Før 1930 <input type="checkbox"/> 1930-1959 <input type="checkbox"/> 1960-1972 <input type="checkbox"/> 1973-1979 <input type="checkbox"/> 1980-2000 <input type="checkbox"/> Efter 2000 <input type="checkbox"/> Ved ikke
2.3 Hvor mange år har du boet i din nuværende bolig?	<input type="checkbox"/> 0-4 år <input type="checkbox"/> 5-9 år <input type="checkbox"/> 10-14 år <input type="checkbox"/> 15-19 år <input type="checkbox"/> 20 år eller mere
2.4 Hvor stort er huset?	Angiv antal kvadratmeter: _____ (fraregn evt. uopvarmet kælder)
2.5 Hvor mange værelser er der i huset?	Angiv antal værelser fraregnet kælder, køkken og bad/toilet: _____
2.6 Skete der ændringer i antallet af beboere i boligen inden for de første to år efter installationen af varmpumpen?	<input type="checkbox"/> Ja, vi blev flere <input type="checkbox"/> Ja, vi blev færre <input type="checkbox"/> Nej, der skete ingen ændringer <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmpumpen var installeret ved indflytning

#### Anskaffelse og installation af varmpumpe

3.1 Fik du/i råd eller vejledning fra nogen af følgende i forbindelse med udvælgelsen eller købet af varmpumpen? (Sæt evt. flere krydser)	<input type="checkbox"/> Venner og bekendte <input type="checkbox"/> Familie og slægtninge <input type="checkbox"/> VVS'er eller andre professionelle installatører <input type="checkbox"/> Producenten af varmpumpen <input type="checkbox"/> Internettet (fx på hjemmesider) <input type="checkbox"/> TV eller radio <input type="checkbox"/> Brochurer, blade, aviser <input type="checkbox"/> Eiselskabets energirådgiver <input type="checkbox"/> Ved ikke/ikke relevant <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____
3.2 Angiv navnet på producenten af varmpumpen	<input type="checkbox"/> LG <input type="checkbox"/> Panasonic <input type="checkbox"/> Sharp <input type="checkbox"/> Toshiba <input type="checkbox"/> Ved ikke <input type="checkbox"/> Anden producent (angiv venligst): _____
3.3 Opvarmes huset udelukkende ved hjælp af varmpumpe?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <i>Hvis ja, spring frem til spørgsmål 3.6</i>
3.4 Hvilke rum i huset opvarmes med varmpumpe? (Sæt evt. flere krydser)	<input type="checkbox"/> Stue <input type="checkbox"/> Køkken <input type="checkbox"/> Bad/toilet <input type="checkbox"/> Værelser <input type="checkbox"/> Gang/lentre <input type="checkbox"/> Bryggers <input type="checkbox"/> Udhus, værksted, garage eller lignende <input type="checkbox"/> Udestue eller lignende tilbygning <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____
3.5 Hvor stort et areal er opvarmet med varmpumpe?	<input type="checkbox"/> Mindre end 10 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 10-19 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 20-29 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 30-49 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 50-79 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 80 m <sup>2</sup> eller mere <input type="checkbox"/> Ved ikke
3.6 Opvarmer varmpumpen et eller flere rum, som ikke tidligere var opvarmet på anden måde?	<input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ja – angiv den omtrentlige størrelse af dette/disse rum: _____ m <sup>2</sup>
3.7 Er der brændeovn i huset?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <i>Hvis nej, spring frem til spørgsmål 4.1</i>

3.8 Hvornår blev brændeovnen sat op?	<input type="checkbox"/> Var sat op før installering af varmepumpe <input type="checkbox"/> Blev sat op efter (eller samtidig med) installering af varmepumpe <input type="checkbox"/> Ved ikke
3.9 Har forbruget af brænde ændret sig efter installeringen af varmepumpen?	<input type="checkbox"/> Bruger mere brænde <input type="checkbox"/> Bruger mindre brænde <input type="checkbox"/> Bruger lige så meget (uændret) <input type="checkbox"/> Ved ikke

#### Oplysninger om brugen af varmepumpen

4.1 I hvilket omfang benyttes varmepumpen til opvarmning i følgende måneder? (Sæt 1 kryds for hver måned)		Aldrig	Sjældent	For det meste	Aldrig	Ved ikke
	April	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Maj	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Juni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Juli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	August	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	September	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2 På hvilken måde benyttes varmepumpen til opvarmning i vintermånederne? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)	<input type="checkbox"/> Som husets primære opvarmningsform <input type="checkbox"/> Primært til frostsikring <input type="checkbox"/> Kun lejlighedsvist (fx hvis vejret er koldt eller i rum, der benyttes sjældent) <input type="checkbox"/> Kun i perioder, hvor der er slukket for anden opvarmning i huset <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____					
4.3 Har installeringen af varmepumpen haft betydning for, hvor stor en del af året der er tændt for varmen i huset? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)	<input type="checkbox"/> Der er tændt for varmen i en større del af året end tidligere <input type="checkbox"/> Der er tændt for varmen i en mindre del af året end tidligere <input type="checkbox"/> Der er ikke sket nogen ændring <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret før køb af huset					
4.4 Har installeringen af varmepumpen haft betydning for den indendørs temperatur? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)	<input type="checkbox"/> Temperaturen er generelt højere end tidligere <input type="checkbox"/> Temperaturen er generelt lavere end tidligere <input type="checkbox"/> Der er samme temperatur som tidligere <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret før køb af huset					
4.5 Gennemføres der løbende serviceeftersyn på varmepumpen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ved ikke					
4.6 Kan varmepumpen også bruges til køling af huset (aircondition)?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ved ikke <i>Hvis Nej eller Ved ikke, spring frem til spørgsmål 5.1</i>					
4.7 Har du/ I brugt varmepumpen til køling om sommeren?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <i>Hvis Nej, spring frem til spørgsmål 5.1</i>					
4.8 Hvor mange dage i løbet af en almindelig sommer benyttes varmepumpen til køling?	<input type="checkbox"/> 1-4 dage <input type="checkbox"/> 5-9 dage <input type="checkbox"/> 10-14 dage <input type="checkbox"/> 15 dage eller mere					

#### Oplysninger om årsager til anskaffelse

5.1 Hvad var den oprindelige årsag til beslutningen om at installere varmepumpe i huset? (Sæt evt. flere krydser)	<input type="checkbox"/> For at få en bedre komfort i huset <input type="checkbox"/> For at spare energi <input type="checkbox"/> For at spare penge på varmen <input type="checkbox"/> For at bidrage til mindre forurening <input type="checkbox"/> Stod alligevel over for at skulle udskifte husets varmeinstallation <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved indflytning <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____
---	--

5.2 Er du alt i alt tilfreds med varmepumpen?	<input type="checkbox"/> Ja, i høj grad tilfreds <input type="checkbox"/> Ja, i nogen grad tilfreds <input type="checkbox"/> Nej, i nogen grad utilfreds <input type="checkbox"/> Nej, meget utilfreds Uddyb eventuelt:
---	---

#### Ændringer i det øvrige elforbrug efter installering af varmepumpe

6.1 Er en eller flere af følgende apparater blevet udskiftet efter installeringen af varmepumpen? (Sæt kryds ud for de apparater, der er blevet udskiftet)	<input type="checkbox"/> Køleskab/kølefryseskab <input type="checkbox"/> Fryser/kummefryser <input type="checkbox"/> Opvaskemaskine <input type="checkbox"/> Vaskemaskine <input type="checkbox"/> Tørretumbler <input type="checkbox"/> Ny cirkulationspumpe til centralvarmen <input type="checkbox"/> Udskiftning af størstedelen af husets glødepærer med sparepærer																									
6.2 Er der anskaffet nye elapparater efter installeringen af varmepumpen? (Dvs. apparater, som ikke erstatter gamle apparater – sæt kryds ud for de apparater, som er blevet anskaffet)	<input type="checkbox"/> Køleskab/kølefryseskab <input type="checkbox"/> Fryser/kummefryser <input type="checkbox"/> Elkomfur <input type="checkbox"/> Opvaskemaskine <input type="checkbox"/> Vaskemaskine <input type="checkbox"/> Tørretumbler <input type="checkbox"/> Digital modtagerboks til fjernsyn (også kaldet en set-top boks) <input type="checkbox"/> Andre apparater med et stort elforbrug (angiv): _____																									
6.3 Har antallet af fjernsyn i huset ændret sig efter installeringen af varmepumpen? (Kun fjernsyn, som bliver brugt)	<input type="checkbox"/> Antallet af fjernsyn er steget <input type="checkbox"/> Antallet af fjernsyn er faldet <input type="checkbox"/> Antallet af fjernsyn er uændret <input type="checkbox"/> Ved ikke																									
6.4 Har antallet af computere i huset ændret sig efter installeringen af varmepumpen? (Kun computere, som bliver brugt)	<input type="checkbox"/> Antallet af computere er steget <input type="checkbox"/> Antallet af computere er faldet <input type="checkbox"/> Antallet af computere er uændret <input type="checkbox"/> Ved ikke																									
6.5 Er der i tiden efter at varmepumpen blevet installeret sket ændringer mht. hvor ofte du eller andre i husstanden...  (Sæt 1 kryds pr. spørgsmål)	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Uændret</th> <th>Hyppigere</th> <th>Sjældnere</th> <th>Ved ikke</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vasker tøj?</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Arbejder hjemmefra?</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Laver aftensmad?</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Opholder sig hjemme?</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		Uændret	Hyppigere	Sjældnere	Ved ikke	Vasker tøj?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Arbejder hjemmefra?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Laver aftensmad?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Opholder sig hjemme?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Uændret	Hyppigere	Sjældnere	Ved ikke																						
Vasker tøj?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Arbejder hjemmefra?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Laver aftensmad?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Opholder sig hjemme?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
6.6 Er isoleringen af huset blevet forbedret i forbindelse med eller efter installeringen af varmepumpen? (fx efterisolering af vægge og loft, nye og mere energirigtige vinduer el.lign.)	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ved ikke																									

#### Baggrundsoplysninger om husstanden

7.1 Hvor gammel er du?	_____ år	7.2 Er du mand eller kvinde?	<input type="checkbox"/> Mand <input type="checkbox"/> Kvinde
7.3 Hvor mange personer bor i husstanden?	_____	7.4 Hvor mange personer i husstanden er yngre end 18 år?	_____
7.5 Hvad er din beskæftigelse?	<input type="checkbox"/> Selvstændig eller medhjælpende ægtefælle <input type="checkbox"/> Modtager dagpenge, kontanthjælp el.lign. <input type="checkbox"/> Ansat som overordnet funktionær, akademiker, konsulent el.lign. <input type="checkbox"/> Er pensionist eller efterlønsmodtager <input type="checkbox"/> Ansat som funktionær (fx HK'er eller lærer) <input type="checkbox"/> Er under uddannelse <input type="checkbox"/> Ansat som faglært arbejder, montør el.lign. <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____ <input type="checkbox"/> Ansat som specialarbejder el.lign.		
7.6 Hvad er husstandens samlede, årlige bruttoindtægt (dvs. før skat og arbejdsmarkedsbidrag)?	<input type="checkbox"/> Mindre end 200.000 kr <input type="checkbox"/> 200-399.000 kr <input type="checkbox"/> 400-599.000 kr <input type="checkbox"/> 600-799.000 kr <input type="checkbox"/> 800-999.000 kr <input type="checkbox"/> Mere end 1 mio. kr <input type="checkbox"/> Ved ikke		
7.7 Må vi have lov til evt. at kontakte dig senere for et uddybende interview om din varmepumpe og opvarmningen af huset?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej		

Tak for din deltagelse i undersøgelsen.

## Bilag 3: Spørgeskema (sommerhuse)

### Spørgeskema: Varmepumpe i sommerhus

Udfyld dette spørgeskema, hvis der er installeret en luft/luft varmepumpe i dit sommerhus.

- Hvis du ikke har en luft/luft varmepumpe installeret i dit sommerhus, men i din bolig i stedet, bedes du undlade at udfylde nedenstående skema og i stedet udfylde et særligt skema for boliger, som du finder ved at gå ind på hjemmesiden <LINK> .

Sæt kun 1 kryds ud for hvert spørgsmål, medmindre andet er angivet.

#### Indledende spørgsmål

1.1 Hvornår blev luft/luft varmepumpen installeret i sommerhuset?	Angiv så præcist årstal som muligt: _____
1.2 Blev varmepumpen installeret før du overtog huset?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej
1.3 Hvad er den <u>nuværende</u> primære opvarmningsform i huset?	<input type="checkbox"/> Elvarme (fx elradiatorer) <input type="checkbox"/> Varmepumpe (fx jordvarme) <input type="checkbox"/> Fjernvarme <input type="checkbox"/> Oliefyr <input type="checkbox"/> Naturgas <input type="checkbox"/> Brændeovn <input type="checkbox"/> Pillefyr, koks eller lignende
1.4 Hvad var den primære opvarmningsform i huset før varmepumpen blev installeret?	<input type="checkbox"/> Elvarme (fx elradiatorer) <input type="checkbox"/> Varmepumpe (fx jordvarme) <input type="checkbox"/> Fjernvarme <input type="checkbox"/> Oliefyr <input type="checkbox"/> Naturgas <input type="checkbox"/> Brændeovn <input type="checkbox"/> Pillefyr, koks eller lignende <input type="checkbox"/> Ved ikke

#### Oplysninger om huset

2.1 Hvornår blev huset bygget?	<input type="checkbox"/> Før 1930 <input type="checkbox"/> 1930-1959 <input type="checkbox"/> 1960-1972 <input type="checkbox"/> 1973-1979 <input type="checkbox"/> 1980-2000 <input type="checkbox"/> Efter 2000 <input type="checkbox"/> Ved ikke
2.2 Hvor mange år har du du/l ejet sommerhuset?	<input type="checkbox"/> 0-4 år <input type="checkbox"/> 5-9 år <input type="checkbox"/> 10-14 år <input type="checkbox"/> 15-19 år <input type="checkbox"/> 20 år eller mere
2.3 Hvor stort er huset?	Angiv antal kvadratmeter: _____ (fraregn evt. uopvarmet kælder)
2.4 Hvor mange værelser er der i huset?	Angiv antal værelser fraregnet kælder, køkken og bad/toilet: _____
2.5 Hvor ofte benyttes sommerhuset nu sammenlignet med tiden før installeringen af varmepumpe?	<input type="checkbox"/> Huset benyttes oftere <input type="checkbox"/> Huset benyttes sjældnere <input type="checkbox"/> Der er ikke sket nogen ændring <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret før køb af huset
2.6 Hvor mange benytter sommerhuset nu sammenlignet med tiden før installeringen af varmepumpe?	<input type="checkbox"/> Huset benyttes generelt af flere <input type="checkbox"/> Huset benyttes generelt af færre <input type="checkbox"/> Der er ikke sket nogen ændring <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret før køb af huset

#### Anskaffelse og installation af varmepumpe

3.1 Fik du/l råd eller vejledning fra nogen af følgende i forbindelse med udvælgelsen eller købet af varmepumpen? (Sæt evt. flere krydser)	<input type="checkbox"/> Venner og bekendte <input type="checkbox"/> Familie og slægtninge <input type="checkbox"/> VVS'er eller andre professionelle installatører <input type="checkbox"/> Producenten af varmepumpen <input type="checkbox"/> Internettet (fx på hjemmesider) <input type="checkbox"/> TV eller radio <input type="checkbox"/> Brochurer, blade, aviser <input type="checkbox"/> Eiselskabets energirådgiver <input type="checkbox"/> Ved ikke/ikke relevant <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____
3.2 Angiv navnet på producenten af varmepumpen	<input type="checkbox"/> LG <input type="checkbox"/> Panasonic <input type="checkbox"/> Sharp <input type="checkbox"/> Toshiba <input type="checkbox"/> Ved ikke <input type="checkbox"/> Anden producent (angiv venligst): _____
3.3 Opvarmes huset udelukkende ved hjælp af varmepumpe?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <i>Hvis ja, spring frem til spørgsmål 3.6</i>



3.4 Hvilke rum i huset opvarmes med varmepumpe? (Sæt evt. flere krydser)	<input type="checkbox"/> Stue <input type="checkbox"/> Køkken <input type="checkbox"/> Bad/toilet <input type="checkbox"/> Værelser <input type="checkbox"/> Gang/entre <input type="checkbox"/> Bryggers <input type="checkbox"/> Udhus, værksted, garage eller lignende <input type="checkbox"/> Udestue eller lignende tilbygning <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____
3.5 Hvor stort et areal er opvarmet med varmepumpe?	<input type="checkbox"/> Mindre end 10 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 10-19 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 20-29 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 30-49 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 50-79 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 80 m <sup>2</sup> eller mere <input type="checkbox"/> Ved ikke
3.6 Opvarmer varmepumpen et eller flere rum, som ikke tidligere var opvarmet på anden måde?	<input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ja – angiv den omtrentlige størrelse af dette/disse rum: _____ m <sup>2</sup>
3.7 Er der brændeovn i huset?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <i>Hvis nej, spring frem til spørgsmål 4.1</i>
3.8 Hvornår blev brændeovnen sat op?	<input type="checkbox"/> Var sat op før installation af varmepumpe <input type="checkbox"/> Blev sat op efter (eller samtidig med) installation af varmepumpe <input type="checkbox"/> Ved ikke
3.9 Har forbruget af brænde ændret sig efter installation af varmepumpen?	<input type="checkbox"/> Bruger mere brænde <input type="checkbox"/> Bruger mindre brænde <input type="checkbox"/> Bruger lige så meget (uændret) <input type="checkbox"/> Ved ikke

#### Oplysninger om brugen af varmepumpen

4.1 I hvilket omfang benyttes varmepumpen til opvarmning i følgende måneder? (Sæt 1 kryds for hver måned)	Altid	For det meste	Sjældent	Aldrig	Ved ikke
April	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maj	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Juni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Juli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
August	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
September	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2 På hvilken måde benyttes varmepumpen til opvarmning i vintermånederne? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)	<input type="checkbox"/> Som husets primære opvarmningsform <input type="checkbox"/> Primært til frostsikring <input type="checkbox"/> Kun lejlighedsvist (fx hvis vejret er koldt eller i rum, der benyttes sjældent) <input type="checkbox"/> Kun i perioder, hvor der er slukket for anden opvarmning i huset <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____				
4.3 Er der tændt for varmepumpen i de perioder af vinteren, hvor sommerhuset ikke benyttes?	<input type="checkbox"/> Altid <input type="checkbox"/> Ofte <input type="checkbox"/> Sjældent <input type="checkbox"/> Aldrig				
4.4 Benyttes varmepumpens termostatsstyring?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ved ikke				
4.5 Har installationen af varmepumpen haft betydning for, hvor stor en del af året der er tændt for varmen i huset? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)	<input type="checkbox"/> Der er tændt for varmen i en større del af året end tidligere <input type="checkbox"/> Der er tændt for varmen i en mindre del af året end tidligere <input type="checkbox"/> Der er ikke sket nogen ændring <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret før køb af huset				
4.6 Har installationen af varmepumpen haft betydning for den indendørs temperatur? (Sæt kryds ud for det svar, der passer bedst)	<input type="checkbox"/> Temperaturen er generelt højere end tidligere <input type="checkbox"/> Temperaturen er generelt lavere end tidligere <input type="checkbox"/> Der er samme temperatur som tidligere <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret før køb af huset				
4.7 Kan varmepumpen også bruges til køling af huset (aircondition)?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ved ikke <i>Hvis Nej eller Ved ikke, spring frem til spørgsmål 5.1</i>				
4.8 Har du/i brugt varmepumpen til køling om sommeren?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <i>Hvis Nej, spring frem til spørgsmål 5.1</i>				

4.9 Hvor mange dage i løbet af en almindelig sommer benyttes varmepumpen til køling?	<input type="checkbox"/> 1-4 dage <input type="checkbox"/> 5-9 dage <input type="checkbox"/> 10-14 dage <input type="checkbox"/> 15 dage eller mere
--	---

#### Oplysninger om årsager til anskaffelse

5.1 Hvad var den oprindelige årsag til beslutningen om at installere varmepumpe i sommerhuset? (Sæt evt. flere krydser)	<input type="checkbox"/> For at få en bedre komfort i huset <input type="checkbox"/> For at spare energi <input type="checkbox"/> For at spare penge på varmen <input type="checkbox"/> For at bidrage til mindre forurening <input type="checkbox"/> Stod alligevel over for at skulle udskifte husets varmeinstallation <input type="checkbox"/> For at kunne holde sommerhuset frostfrit om vinteren <input type="checkbox"/> Ikke relevant, varmepumpen var installeret før køb af huset <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____
5.2 Er du alt i alt tilfreds med varmepumpen?	<input type="checkbox"/> Ja, i høj grad tilfreds <input type="checkbox"/> Ja, i nogen grad tilfreds <input type="checkbox"/> Nej, i nogen grad utilfreds <input type="checkbox"/> Nej, meget utilfreds Uddyb eventuelt: _____

#### Ændringer i det øvrige elforbrug efter installation af varmepumpe

6.1 Er en eller flere af følgende apparater blevet udskiftet efter installationen af varmepumpen? (Sæt kryds ud for de apparater, der er blevet udskiftet)	<input type="checkbox"/> Køleskab/kølefryseskab <input type="checkbox"/> Fryser/kummefryser <input type="checkbox"/> Opvaskemaskine <input type="checkbox"/> Vaskemaskine <input type="checkbox"/> Tøretumbler <input type="checkbox"/> Ny cirkulationspumpe til centralvarmen <input type="checkbox"/> Udskiftning af størstedelen af husets glødepærer med sparepærer
6.2 Er der anskaffet nye elapparater efter installationen af varmepumpen? (Dvs. apparater, som ikke erstatter gamle apparater – sæt kryds ud for de apparater, som er blevet anskaffet)	<input type="checkbox"/> Køleskab/kølefryseskab <input type="checkbox"/> Fryser/kummefryser <input type="checkbox"/> Elkomfur <input type="checkbox"/> Opvaskemaskine <input type="checkbox"/> Vaskemaskine <input type="checkbox"/> Tøretumbler <input type="checkbox"/> Digital modtagerboks til fjernsyn (også kaldet en set-top boks) <input type="checkbox"/> Andre apparater med et stort elforbrug (angiv): _____
6.3 Har antallet af fjernsyn i huset ændret sig efter installationen af varmepumpen? (Kun fjernsyn, som bliver brugt)	<input type="checkbox"/> Antallet af fjernsyn er steget <input type="checkbox"/> Antallet af fjernsyn er faldet <input type="checkbox"/> Antallet af fjernsyn er uændret <input type="checkbox"/> Ved ikke
6.4 Har antallet af computere i huset ændret sig efter installationen af varmepumpen? (Kun computere, som bliver brugt)	<input type="checkbox"/> Antallet af computere er steget <input type="checkbox"/> Antallet af computere er faldet <input type="checkbox"/> Antallet af computere er uændret <input type="checkbox"/> Ved ikke
6.5 Er isoleringen af huset blevet forbedret i forbindelse med eller efter installationen af varmepumpen? (fx efterisolering af vægge og loft, nye og mere energifølelige vinduer el.lign.)	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej <input type="checkbox"/> Ved ikke

#### Baggrundsplysninger om husstanden

7.1 Hvor gammel er du?	_____ år	7.2 Er du mand eller kvinde?	<input type="checkbox"/> Mand <input type="checkbox"/> Kvinde
7.3 Hvor mange personer bor i husstanden?	_____	7.4 Hvor mange personer i husstanden er yngre end 18 år?	_____
7.5 Hvad er din beskæftigelse?	<input type="checkbox"/> Selvstændig eller medhjælpende ægtefælle <input type="checkbox"/> Modtager dagpenge, kontanthjælp el.lign. <input type="checkbox"/> Ansat som overordnet funktionær, akademiker, konsulent el.lign. <input type="checkbox"/> Er pensionist eller efterlønsmodtager <input type="checkbox"/> Ansat som funktionær (fx HK'er eller lærer) <input type="checkbox"/> Er under uddannelse <input type="checkbox"/> Ansat som faglært arbejder, montør el.lign. <input type="checkbox"/> Andet (angiv venligst): _____ <input type="checkbox"/> Ansat som specialarbejder el.lign. _____		
7.6 Hvad er husstandens samlede, årlige bruttoindtægt (dvs. før skat og arbejdsmarkedsbidrag)?	<input type="checkbox"/> Mindre end 200.000 kr <input type="checkbox"/> 200-399.000 kr <input type="checkbox"/> 400-599.000 kr <input type="checkbox"/> 600-799.000 kr <input type="checkbox"/> 800-999.000 kr <input type="checkbox"/> Mere end 1 mio. kr <input type="checkbox"/> Ved ikke		
7.7 Må vi have lov til evt. at kontakte dig senere for et uddybende interview om din varmepumpe og opvarmningen af huset?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej		

Tak for din deltagelse i undersøgelsen.

# Analyse af elforbrug i husstande med Varmepumper – før og efter

Af Poul Erik Petersen, it-energy

## Indledning

Forbrugere, som opvarmer deres bolig eller sommerhus med elvarme samt enkelte med anden opvarmning, er udvalgt med henblik på at analysere, om der kan registreres en ændring i deres elforbrug som følge af installation af en luft-luft varmepumpe.

Til dette formål er årsforbruget af elektricitet registreret i årene før og efter installationen af varmepumpen. Desuden har forbrugerne besvaret et spørgeskema, så man kan få et indblik i, hvilke andre faktorer end varmepumpen, som har indflydelse på årsforbruget.

Desuden kan det være relevant at se, om der sker en ændring i årsforbruget i tiden efter installation af varmepumpen, og om denne kan forklares med de adfærdsmæssige parametre, som er indsamlet gennem spørgeskemaet.

## Data

Aflæsning af elmålere dækker perioden 1990 til 2009 og resultaterne er angivet i forbrugt kWh/år. Nogle forbrugere kom til senere i perioden end andre og installationen af varmepumper blev foretaget i forskellige år.

Antagelser: Forbrugerne er tilfældigt udvalgt og er repræsentative for den danske befolkning, som har anskaffet luft-luft varmepumper.

## Supplerende variable

Der kan være flere forhold, som kan influere på målingernes værdi:

1. Antal beboere i boligen pr år
2. boligareal pr år
3. boligisolering under måleperioden
4. varierende supplement med andre opvarmningskilder
5. ...

Disse supplerende variable (kaldet covariater eller faktorer) findes i spørgeskemaet, og skal kodes, så de kan anvendes i den statistiske analyse.

F.eks. kan svaret nej kodes som et "0", mens ja kodes som "1". Tabel 1 giver et overblik over disse supplerende variable.



Tabel 1 Variabelnavne med tilhørende spørgsmål og kodning for supplerende variable. Sort tekst er variable tilhørende både boliger og sommerhus mens rød tekst er special for sommerhuse.

Supplerende variable	Spørgsmål	Kodning	Antal (boliger)
PrimaryAfter_not_elheat	Hvad er den nuværende primære opvarmningsform i huset?	1 = ingen el- eller varmepumpe- opvarmning 0 = andre	35 108
PrimaryAfter_elheat	Hvad er den nuværende primære opvarmningsform i huset?	1 = elvarme 0 = andre	33 110
PrimaryAfter_HeatPump	Hvad er den nuværende primære opvarmningsform i huset?	1 = varmepumpe (f.eks. jordvarme) 0 andre	75 68
PrimaryBefore_not_elheat	Hvad var den primære opvarmningsform i huset før varmepumpen blev installeret?	1 = ingen el- eller varmepumpe- opvarmning 0 = andre	21 122
PrimaryBefore_elheat	Hvad var den primære opvarmningsform i huset før varmepumpen blev installeret?	1 = elvarme 0 = andre	121 22
Adults	Antal voksne	Antal personer- antal unge	143
Children	Antal unge under 18 år.	antal	143
House_size	Hvor stor er huset? (angiv antal kvadratmeter, uden evt. uopvarmet kælder)	Kvm.	143
House_age	Hvornår blev huset bygget?	årstal	141
Person_changes	Skete der ændringer i antallet af beboere i boligen inden for de første to år efter installationen af varmepumpen?	1= flere 0=uændret -1= færre Missing = Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved indflytning	4 124 12 3
HeatPump_only	Opvarmes huset udelukkende ved hjælp af varmepumpe?	1= ja 0=nej	15 128
HeatedArea	Hvor stort et areal er opvarmet med varmepumpe?	Areal i kvm. Missing = ved ikke	125
NewRooms	Opvarmer varmepumpen et eller flere rum, som ikke tidligere var opvarmet på anden måde?	Antal kvm 0 = nej	- 118
Fireplace	Er der brændeovn i huset?	1= ja 0=nej	79 64

HeatPeriod_chng	Har installeringen af varmepumpen haft betydning for, hvor stor en del af året der er tændt for varmen i huset?	1=større del 0=uændet -1=mindre del Missing=Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	28 83 31 1
HeatTemp_increase	Har installeringen af varmepumpen haft betydning for den indendørs temperatur?	1= stigning 0= uændret -1= fald Missing = Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	47 86 5 5
Cooling_days	Hvor mange dage i løbet af en almindelig sommer benyttes varmepumpen til køling?	Antal dage	143
Appliances_chng	Er en eller flere af følgende apparater blevet udskiftet efter installeringen af varmepumpen?	Antal hvidevarer udskiftet (0, 1, 2, 3, 4, 5 og 6)	48 31 27 24 10 2 1
CFL	Udskiftning af størstedelen af husets glødepærer med sparepærer	1= udskiftet 0=ikke udskiftet	47 96
Appliances_new	Er der anskaffet nye elapparater efter installeringen af varmepumpen? (Dvs. apparater, som ikke erstatter gamle apparater)	Antal hvidevarer anskaffet (0, 1, 2, 3, 4, 5 og 6)	120 15 3 3 1 1 0
Settopbox_new	Digital modtagerboks til fjernsyn (også kaldet en set-top boks)	1= anskaffet 0= ikke anskaffet	52 91
TV_extra	Har antallet af fjernsyn i huset ændret sig efter installeringen af varmepumpen? (Kun fjernsyn, som bliver brugt)	1= steget 0= uændret -1= faldet Missing= ved ikke	25 107 3 8
PC_extra	Har antallet af computere i huset ændret sig efter installeringen af varmepumpen? (Kun computere, som bliver brugt)	1= steget 0= uændret -1= faldet Missing= ved ikke	40 92 1 10

InsolateHouse	Er isoleringen af huset blevet forbedret i forbindelse med eller efter installeringen af varmepumpen? (fx efterisolering af vægge og loft, nye og mere energirigtige vinduer el.lign.)	1=ja 0=nej Missing = ved ikke	40 95 8
Income_household	Hvad er husstandens samlede, årlige bruttoindtægt (dvs. før skat og arbejdsmarkedsbidrag)?	Indkomst i tusinde Missing = ikke angivet	130 13
Fireplace_instal	Hvornår blev brændeovnen sat op?	1 = efter varmepumpe 0= før varmepumpe Missing = ved ikke	6 135 2
Firewood	Har forbruget af brænde ændret sig efter installeringen af varmepumpen?	1 = bruger mindre 0 = uændret -1 = bruger mere Missing = ved ikke	25 104 2 12
winterheat	<u>Kun sommerhus:</u> På hvilken måde benyttes varmepumpen til opvarming i vintermånederne?	1=primær opvarmning 0=andre svar	
Winterheat_time	<u>Kun sommerhus:</u> Er der tændt for varmepumpen i de perioder af vinteren, hvor sommerhuset ikke benyttes?	1= altid eller ofte 0= sjældent eller aldrig Missing	
House_use	<u>Kun sommerhus:</u> Hvor ofte benyttes sommerhuset nu sammenlignet med tiden før installeringen af varmepumpe?	0 = uændret 1= oftere -1= sjældnere Missing= Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	
House_people	<u>Kun sommerhus:</u> Hvor mange benytter sommerhuset nu sammenlignet med tiden før installeringen af varmepumpe?	0 = uændret 1= flere -1= færre Missing= Ikke relevant, varmepumpen var installeret ved køb af huset	

## Outliers

Der fjernes outliers efter følgende principper:

1. Hvis der ikke er angivet et årsforbrug mindst et år før eller et år efter installationen af varmepumpen.
2. Hvis installationsåret er ukendt

Tabel 2 Outliers i antal, årsag til fjernelse og antal resterende brugbare målerobservationer.

Netselskab	Outliers antal	Outliers årsag	Brugbare observationer
Lokalenergi (ØE og GE)	12	Ukendt installationsår	130
	1	Intet årsforbrug efter VP	
	3	Intet årsforbrug før VP	
	1	Høj leverage	
SEAS	228	Intet årsforbrug før VP	8
	14	Intet årsforbrug efter VP	
Sommerhuse	3	Intet årsforbrug før VP	41
Lokalenergi	2	Høj leverage	
SEAS			

## Graddagekorrektion

Der graddage korrigeres efter graddagetallet (årsværdier) fra DMI. Til beregning af korrektionen beregnes først det graddage uafhængige forbrug (GUF), efter formel fra 'MinBolig':

$$\text{GUF} = 1212 + 7.9 \cdot \text{boligareal} + 950 \cdot \text{voksne} + 430 \cdot \text{unge} \text{ (kWh/år)}$$

Hvor koefficienten, 430, er middeltallet for teenager og børn. GUF beregnet efter denne ligning betegnes i det følgende som den beregnede GUF værdi.

For alle boliger med elvarme som primært varmekilde gives desuden et tillæg på  $850 \cdot \text{personer kWh/år}$  for forbrug af el-vandvarme.

I princippet er det graddage afhængige forbrug resten, dvs.:

$$\text{GAF} = \text{årsforbrug} - \text{GUF}$$

Andre primære varmekilder end elvarme og varmepumpe korrigeres ikke.

Graddagekorrektionen beregnes herefter som:

$$\text{GAF} \cdot \text{normalgraddag} / \text{graddag}_{\text{år}}$$

Hvor normalgraddagen er = 3382, som vist i Figure 1 sammen med graddagetallet for de enkelte år.

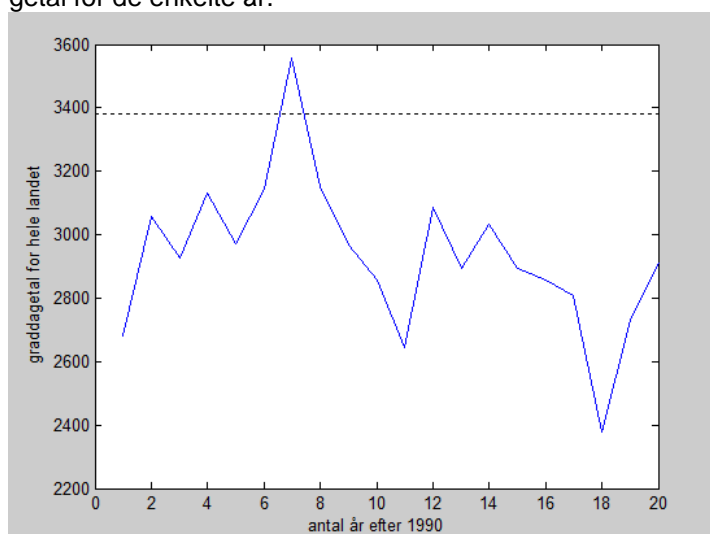


Figure 1 Graddagetallet i perioden 1990-2009 (den stiplede linie er normalgraddagen).

Ved at sammenligne Figure 2 og Figure 3 kan man se effekten af graddagekorrektionen, idet figurerne viser det årlige middel-elforbrug efter installation af varmepumpe som funktion af elforbruget før installationen. Figure 2 er situationen uden graddagekorrektion, mens Figure 3 er med korrektion.

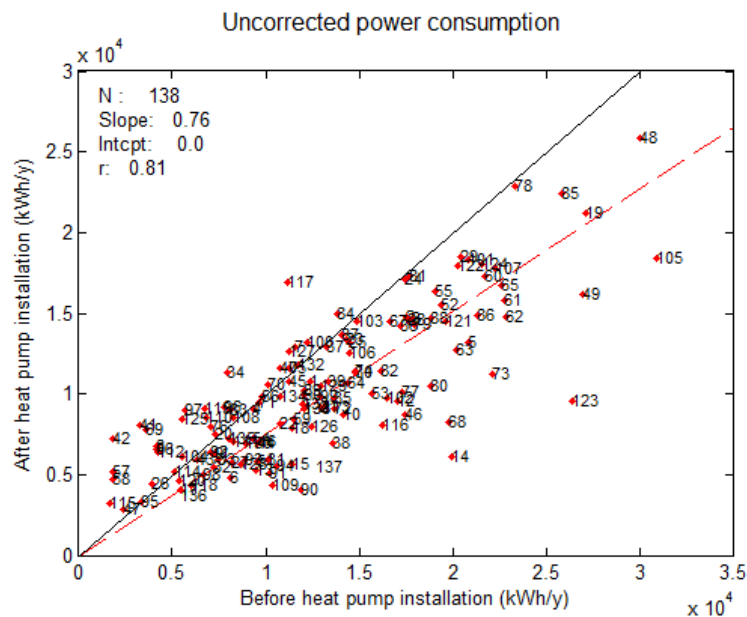


Figure 2 Årsforbrug før og efter installation af varmepumpe (ukorrigerede tal)

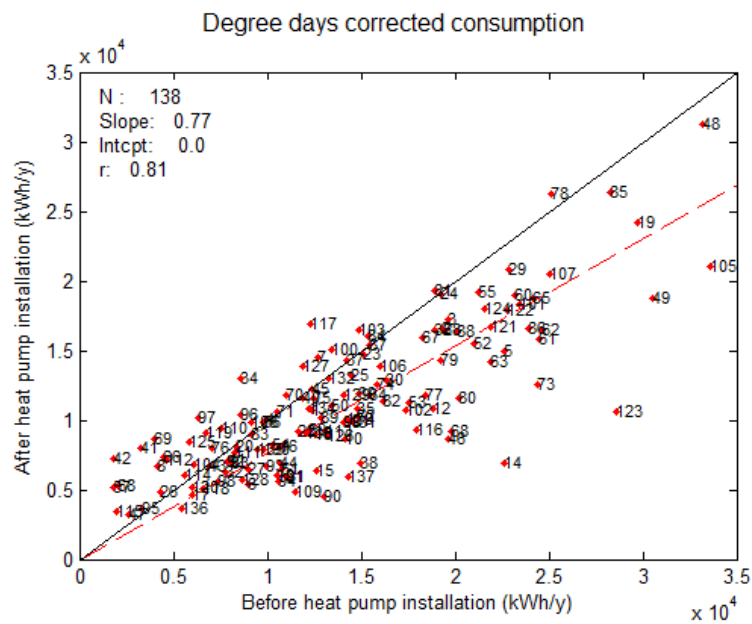


Figure 3 Årsforbrug før og efter installation af varmepumpe (Graddage korrigerede tal)

Denne årsudjævning, som graddage korrektionen er et middel til, har ikke ændret hældningen væsentligt. Korrelationen er også uændret, hvilket betyder at spredningen af punkterne omkring linjen ikke er forbedret. Dette skyldes sandsynligvis, at der er midlet for årsforbrugene i perioden før og i perioden efter installation af varmepumpe, og noget af årsvariationen indgår som støj, da korrektionen ikke er baseret på direkte målinger af GUF i den enkelte bolig.

## Delkonklusion

Antallet af observationer set som antal boliger er meget lavt i forhold til:

- 1) Den danske befolkning med varmepumper. Man kan ikke med 138 boliger forvente at få et repræsentativt billede af danskernes forbrugsmønster omkring installation af luft-luft varmepumper.
- 2) Antallet af supplerende variable. For at få rimeligt sikre estimater af koefficienterne til variablene (dvs, hvor betydende deres effekt er på årsforbruget) skal forholdet mellem antal observationer og antal variable være meget større end 6-7, som er tilfældet i dette studie. Der er således kun 6-7 frihedsgrader til hvert estimat. Dette giver stor risiko for over-fit.

Korrektionen for elvandvarme ved beregning af GUF er noget usikker, da forbrugere, der opgiver brændeovn som primær varmekilde muligvis også kan have en elvandvarmer. Der er ikke spurgt om elvandvarmere i spørgeskemaet, så det vides ikke.

Beregningen af den absolutte GUF beror på en generel formel, hvilket indebærer at de enkelte forbrugere kan have større eller mindre afvigelser i forhold til den beregnede værdi. Anvendelse af den procentvise GUF for lavt årsforbrug er ligeledes udtryk for en generalisering. Det optimale ville være at måle den aktuelle GUF/GAF hos den enkelte forbruger.

## Dataanalyse

Dataanalysen foretages dels med statistiksystemet SPSS dels med beregninger i MATLAB.

## Parvis t-test

Årsforbruget af elektricitet kan opdeles parvist i forbruget før og efter installationen af luft-luft varmepumpe i den enkelte bolig. Dette årsforbrug benævnes med variabelnavnene henholdsvis  $X_{bef\_ucorr}$  og  $X_{aft\_ucorr}$  for de oprindelige værdier, som ikke er graddagekorrigerede. For de graddagekorrigerede værdier benævnes variablene henholdsvis  $X_{before}$  og  $X_{after}$ .

Desuden opdeles de graddagekorrigerede variable efter brug af elvarme og varmepumpe som den primære varmekilde. Vi får herved de variable, der er angivet i Tabel 3

Tabel 3 Opdeling af variable efter graddagekorrektion samt primær varmekilde før og efter installation af varmepumpe

Variable	Graddagekorrigeret	Primær varmekilde	
		før	efter
$X_{bef\_ucorr}$	Nej	alle	alle
$X_{aft\_ucorr}$	Nej	alle	alle
$X_{before}$	ja	alle	alle
$X_{after}$	ja	alle	alle
$X_{bef\_elv}$	ja	elvarme	Ingen el
$X_{aft\_elv}$	ja	elvarme	Ingen el
$X_{bef\_elv\_hp}$	ja	elvarme	varmepumpe
$X_{aft\_elv\_hp}$	ja	elvarme	varmepumpe
$X_{bef\_elv\_elv}$	ja	elvarme	elvarme
$X_{aft\_elv\_elv}$	ja	elvarme	elvarme

Tabel 4 viser t-testet for om de parvise differenser for årsforbrugene før og efter varmepumpe installationen er nul (H0 hypotesen). De relevante værdier til testet er middelværdien for differenserne og spredningen af middelværdien (Std. Error). Sandsynligheden angives under "Sig." til at være under 0.000 for de fleste par bortset for husstande, der ikke bruger en el-baseret varmekilde efter anskaffelsen af varmepumpen (par 3). Alle sandsynligheder er imidlertid under 0.05, hvilket betyder at H0 hypotesen forkastes, og dermed at alle pars differenser er signifikant forskellige fra nul.

Boliger, som går væk fra en primært elbaseret varmekilde efter anskaffelsen af varmepumpen (par 3) har naturligt nok den højeste elbesparelse, her gennemsnitligt på 3654 kWh/år. Den næststørste besparelse findes hos dem, der anvender varmepumpen som primær varmekilde (par 4). Alle el-varmebrugere ser ud til at have en større besparelse end gennemsnittet for alle forbrugere i undersøgelsen (par 2).

Ved at kigge på de supplerende variable kan man få et indtryk af eventuelle forskelle mellem par 4 og par 5. Middelværdierne for de to grupper af boliger, som primært bruger henholdsvis elvarme og varmepumpe efter varmepumpeinstallationen, er vist i

Tabel 6.

Tabel 4 Middel, antal og spredning af årsforbruget, samt spredning af middelværdien for observationer med og uden korrektion for graddage. Enhederne er i kWh/år.

		Paired Samples Statistics			
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Xbef_ucorr	12749.8865	138	6310.38789	537.17589
	Xaft_ucorr	10195.4150	138	4548.48539	387.19279
Pair 2	Xbefore	13856.1595	138	6904.32184	587.73491
	Xafter	11178.4911	138	5167.43053	439.88090
Pair 3	Xbef_elv	13631.7851	16	7208.84476	1802.21119
	Xaft_elv	9977.9599	16	4020.99533	1005.24883
Pair 4	Xbef_elv_hp	14143.6276	70	6425.20998	767.95948
	Xaft_elv_hp	10955.7257	70	4755.70931	568.41598
Pair 5	Xbef_elv_elv	17379.4034	32	6270.13016	1108.41289
	Xaft_elv_elv	14559.9802	32	5925.54319	1047.49794

Tabel 5 Parvis t-test for årsforbrug differensen før og efter installation af varmepumpe

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Xbef_ucorr - Xaft_ucorr	2554.5	3761.4	320.2	1921.3	3187.6	7.978	137	.000
Pair 2	Xbefore - Xafter	2677.7	4046.5	344.5	1996.5	3358.8	7.773	137	.000
Pair 3	Xbef_elv - Xaft_elv	3653.8	5599.3	1399.8	670.2	6637.5	2.610	15	.020
Pair 4	Xbef_elv_hp - Xaft_elv_hp	3187.9	3822.9	456.9	2276.4	4099.4	6.977	69	.000
Pair 5	Xbef_elv_elv - Xaft_elv_elv	2819.4	3237.0	572.2	1652.4	3986.5	4.927	31	.000

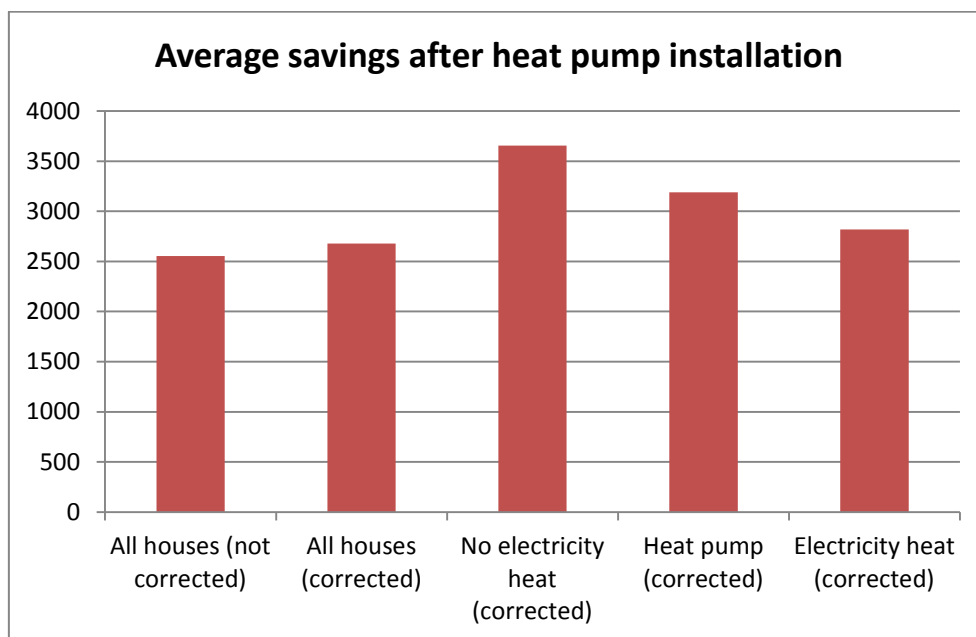


Figure 4A. Gennemsnitlig besparelse for alle boliger samt for boliger, der før varmepumpeinstallationen alle brugte elvarme som primær varmekilde.



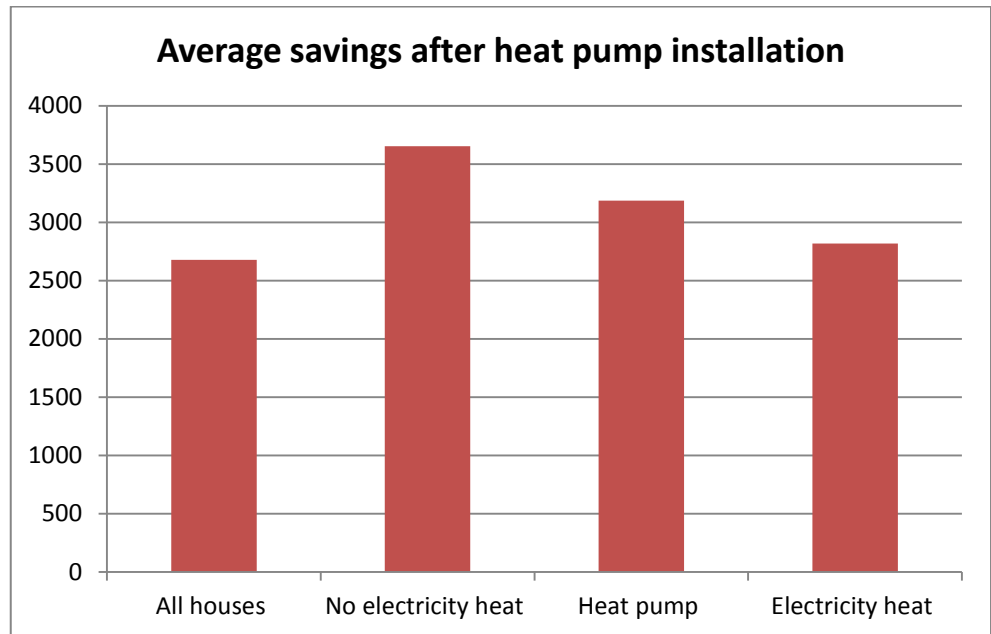


Figure 4B. Gennemsnitlig besparelse for alle boliger samt for boliger, der før varmepumpeinstallationen alle brugte elvarme som primær varmekilde. (Kun graddage korrigerede data)

Tabel 6 Middelværdi af de supplerende variable inddelt i to grupper: 1) anvender primært elvarme efter varmepumpeinstallation, og 2) anvender primært varmepumpe.

HeatPumpAft er	Adults	Children	House_siz e	House_age	Per- son_cha nges	HeatPump_ only	HeatedArea
1 Mean	1.9375	.3750	151.1875	1966.7188	-.0968	.0313	65.1613
N	32	32	32	32	31	32	31
Std. Devi- ation	.61892	.87067	43.54489	25.41937	.39622	.17678	27.33995
2 Mean	1.7429	.3857	129.2429	1964.3478	-.0290	.1714	74.1071
N	70	70	70	69	69	70	56
Std. Devi- ation	.58199	.83913	38.92856	27.39838	.29561	.37960	24.90176
HeatPumpAft er	NewRoom s	Fire- place	HeatPeri- od_chng	HeatTemp_in crease	Cool- ing_day s	Applianc- es_chng	CFL
1 Mean	6.4062	.5313	-.1290	.2759	1.2188	1.4375	.2812
N	32	32	31	29	32	32	32
Std. Devi- ation	20.64424	.50701	.71842	.52757	2.90422	1.41279	.45680
2 Mean	5.8507	.4286	.0286	.3188	1.2571	1.4714	.3571
N	67	70	70	69	70	70	70
Std. Devi- ation	16.37742	.49844	.61317	.58140	3.56995	1.40105	.48262

HeatPumpAft er	Applianc- es_new	Settop- box_new	TV_exst ra	PC_extr a	Insolate House	Income household	Fireplac instal	Fire- wood_s ave
1 Mean	.2500	.5313	.2759	.2667	.3000	520.3704	.0000	.1111
N	32	32	29	30	30	27	32	27
Std. Devi- ation	.62217	.80259	.45486	.44978	.46609	238.28686	.00000	.32026
2 Mean	.3571	.3571	.1061	.2727	.2687	437.3134	.0143	.1719
N	70	70	66	66	67	67	70	64
Std. Devi- ation	.96362	.56558	.39725	.48184	.44661	226.19100	.11952	.41993

Fra

Tabel 6 ser der ikke umiddelbart ud til at være variable, som enkeltvis forklarer forskellen mellem par 4 og par 5. Og ingen af de nævnte forskelle viser statistisk signifikans.

Desuden ser man i tabel 5, at elvarmeboligerne for par 5, er startet fra et højere niveau før varmepumpeinstallationen. Dette indikerer, at det også er de relative besparelser, man skal se på:

1. Alle boliger:  $100 \cdot 2678 / 13856 = 19\%$
2. Elvarme efter:  $100 \cdot 2819 / 17379 = 16\%$
3. Varmepumpe efter:  $100 \cdot 3188 / 14144 = 23\%$

Vi ser her at besparelsen for boliger som fortsætter med elvarme er relativt mindre end for alle boligerne. Vi vil senere vende tilbage til en regressionsmetode, som også tager højde for effekten fra kombinationer af variable.

## Generel besparelseeffekt

Selv om der er korrigeret for varierende vintertemperaturer gennem graddagekorrektionen, er der stadig mulighed for at være en generel tendens til energibesparelse i befolkningen. Denne kan være økonomisk motiveret eller påvirket af oplysningskampagner. For at estimere størrelsen af denne effekt kan vi se på alle års elforbrug som funktion af forrige års elforbrug for alle boligerne før de installerede varmepumpen. Dette viser en generel besparelse på 5% pr år (figur ).

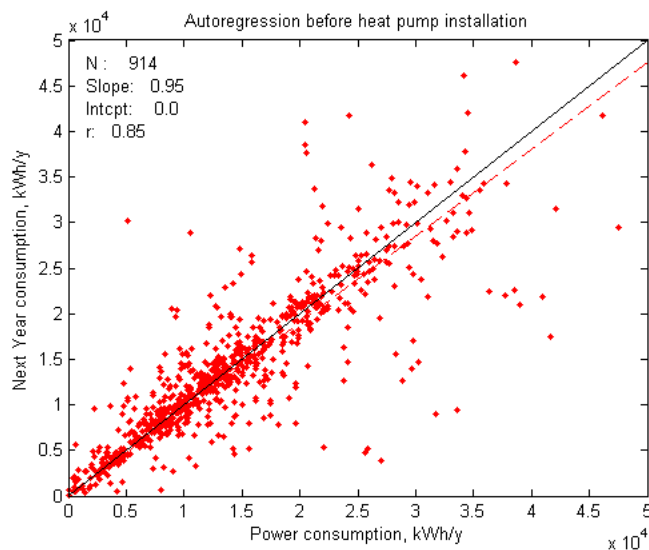


Figure 5 Årligt fald i elforbrug hos boliger før installation af varmepumpe

Det betyder, at alle effekter der tilskrives varmepumpeinstallationen skal nedskrives med de 5%. Således bliver netto-besparelserne for de tre grupper side 12:

1. Alle boliger:  $100 \cdot 2678 / 13856 = 19\%$  nedskrives til  
 $100 \cdot 1985 / 13163 = 14\%$
2. Elvarme efter:  $100 \cdot 2819 / 17379 = 16\%$  nedskrives til  
 $100 \cdot 1950 / 16510 = 11\%$
3. Varmepumpe efter:  $100 \cdot 3188 / 14144 = 23\%$  nedskrives til  
 $100 \cdot 2481 / 13436 = 18\%$

Disse nye besparelser beregnes ved at trække 5% fra forbruget før varmepumpeinstallationen, men forbruget efter er ukorrigeret. Figur 5 B viser besparelserne i kWh/år.

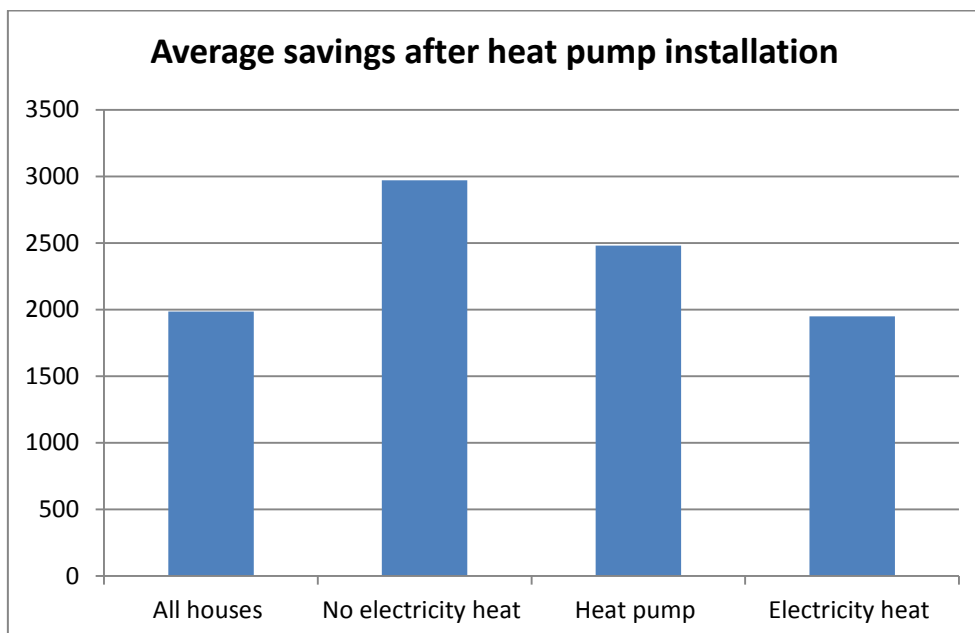


Figure 5B. Gennemsnitlig besparelse for alle boliger samt for boliger, der før varmepumpeinstallationen alle brugte elvarme som primær varmekilde. (Data korrigeret for graddage og generelt årligt fald)

## Fuld regression med alle supplerende variable

Som tidligere nævnt er der en lang række forhold, som spiller ind på det observerede årsforbrug før og efter varmepumpeinstallationen. Vi skal i det følgende se på, hvor stærke disse effekter ser ud til at være, og hvor god en korrelation, vi kan opnå mellem årsforbruget før og efter varmepumpeinstallationen, hvis de omtalte effekter trækkes ud af forbruget, således at kun den 'rene' varmepumpe effekt er tilbage.

Som variable i denne analyse anvendes kun de graddagekorrigerede værdier,  $X_{before}$  og  $X_{after}$ . De effekter som spiller ind på forbruget ud over varmepumpeinstallationen er de supplerende variable, som er nævnt i tabel 1. Som model til at beskrive årsforbruget efter installation af varmepumpen anvendes den multiple lineære regression, som i vores tilfælde kan beskrives således

$$X_{after}_i = a + b \cdot X_{before}_i + \sum_{j=1}^N c_j \cdot X_{cov}_{i,j} + \varepsilon_i$$

Hvor  $X_{cov}$  er de  $N$  supplerende variable i tabel 1. Det antages her at residualerne,  $\varepsilon$ , er normalfordelte med middelværdien 0 og spredning  $\sigma$ , dvs.

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

Hvor  $i$  er observationsnummeret for el-målere. Det skal i den forbindelse gøres opmærksom på, at antallet af disse elmålere bliver reduceret med antal af manglende værdier, som optræder i de supplerende variable.

Endelig forudsætter modellen, at matricen med supplerende variable,  $X_{cov}$ , har fuld rang, således at søjlevektorerne (= de enkelte supplerende variable) er lineær uafhængige. Dette er imidlertid ikke tilfældet, idet intercepten,  $a$ , sammen med de tre første variable, som beskriver hvilken varmekilde boligen primært anvender efter varmepumpeinstallationen, er lineær afhængige. For at løse denne situation fjerner SPSS automatisk den sidste overflødige variabel, som er `PrimaryAfter_HeatPump`. Tilsvarende fjernes også variabelen, `HeatPump_only`, for at opnå fuld rang.

Resultatet af analysen med alle gyldige variable viser en korrelation for årsforbruget før og efter varmepumpeinstallation på 0.92. hvilket er en stigning

fra 0.81, Figure 3. Man kan sige at denne forøgelse er et udtryk for, at man har taget højde for de supplerende variables indflydelse på forbruget. Det kan bemærkes, at der totalt kun er 82 frihedsgrader tilbage efter fjernelse af observationer med manglende værdier fra spørgeskemaet (dvs., de supplerende variable ).

Det kan derefter være af interesse, at se nærmere på effekten af de enkelte variables effekt på årsforbruget. Til det formål skal vi se på de estimerede koefficienter for de enkelte supplerende variable. Disse koefficienter er vist i Tabel 7. De negative koefficienter er et udtryk for påvirkning af årsforbruget med en reducerende effekt. De fleste variable ser ud til at have det forventelige fortegn, mens andre kan være tvivlsomme. Således burde antallet af voksne (variablen 'Adults') ikke give en negativ effekt. Derimod har House\_age negativ effekt, da denne variabel indeholder byggeåret for huset.

Tabel 7 Koefficienter til alle variable i fuld regression samt t-testet for om de er signifikante

Model		Coefficients <sup>a</sup>				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7767.307	23158.526		.335	.739
	Xbefore	.559	.068	.730	8.205	.000
	PrimaryAfter_not_elheat	-2012.748	1222.823	-.172	-1.646	.105
	PrimaryAfter_elheat	1066.528	925.510	.081	1.152	.254
	PrimaryBefore_not_elheat	3563.225	3899.641	.252	.914	.365
	PrimaryBefore_elheat	2417.948	3905.136	.175	.619	.538
	Adults	-461.929	603.701	-.048	-.765	.447
	Children	-59.842	441.250	-.010	-.136	.893
	House_size	16.239	10.657	.115	1.524	.133
	House_age	-4.933	12.102	-.025	-.408	.685
	Person_changes	1800.260	1365.837	.098	1.318	.193
	HeatedArea	-7.107	12.656	-.038	-.562	.577
	NewRooms	-3.142	21.338	-.010	-.147	.883
	Fireplace	-1022.652	887.956	-.096	-1.152	.254
	HeatPeriod_chng	-1016.633	533.758	-.119	-1.905	.062
	HeatTemp_increase	281.046	650.248	.028	.432	.667
	Cooling_days	85.050	80.368	.070	1.058	.294
	Appliances_chng	106.592	253.996	.031	.420	.676
	CFL	-1048.031	683.312	-.091	-1.534	.131
	Appliances_new	-216.478	686.176	-.022	-.315	.754
	Settopbox_new	36.928	633.955	.004	.058	.954
	TV_extra	2297.504	812.431	.196	2.828	.006
	PC_extra	302.535	678.122	.029	.446	.657
	InsulateHouse	-544.083	795.562	-.045	-.684	.497
	Income_household	4.357	1.847	.180	2.359	.022
	Fireplace_instal	194.599	1946.206	.008	.100	.921
	Firewood_save	1119.234	875.294	.091	1.279	.206

a. Dependent Variable: Xafter

Koefficienterne for 'Children', 'HeatedArea', 'NewRooms' og 'Appliance\_new' burde heller ikke være negative. Det er i den forbindelse relevant at se på, hvor signifikante disse koefficienter er. Dette angives i tabellens sidste kolonne, der viser sandsynligheden for, om disse koefficienter er lig med nul. Denne sandsynlighed viser sig at være forholdsvis stor. Man kan heraf konkludere, at de uventede effekter beror på tilfældigheder.

Man kan desuden overraskes over at analysen viser, at det har større effekt på el-besparelsen, hvis man ikke har brugt el-varme før varmepumpeinstal-

lationen, end hvis man har. Denne effekt er heller ikke signifikant, men den kan forstås ved, at disse observationer i forvejen er lave og varmepumpen derefter bidrager positivt til elforbruget. Det er kun 'TV\_extra' og 'Income\_Household', som giver estimer, der er signifikant forskellige fra nul, mens 'HeatPeriod\_chng' er tæt på at være det.

## Udvælgelse af variabelmængde

For estimering af koefficienterne er det vigtigt at have tilstrækkelig antal observationer i forhold til antallet af variable. Man kan derfor prøve at reducere antallet af variable for at finde frem til dem, som har den mest markante betydning på årsforbruget.

For at opnå dette er der brugt tre fremgangsmåder, som kaldes

1. Backward elimination. Her starter man med den fulde model og reducerer denne ved enkeltvis at fjerne den variabel med mindste absolute t-værdi. For hver fjernet variabel beregnes en ny model, hvorfra udtages den variabel, som nu har den laveste t-værdi. Dette fortsætter til et stopkriterium mødes.
2. Forward selection. Her begynder man med den variabel, som har den bedste korrelation til Y-variablen. Derefter tilføjer man den variabel, som sammen med de tidligere udvalgte øger korrelationen mest. Dette fortsætter indtil stopkriteriet mødes.
3. Stepwise procedure. Denne starter som forward selection, men for hvert trin kan der tilføjes, fjernes eller ombyttes variable. Der bruges F-test til at foretage disse valg med en særlig grænse for variable, som skal enten ind eller ud. Dette fortsætter til stopkriteriet mødes.

Ved at lade SPSS foretage disse beregninger fås resultaterne for backward elimination i Tabel 8 og for forward selection og stepwise i

Tabel 9.

Tabel 8 Udvalgte variable ved backward elimination med koefficienter og t-test

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
18 (Constant)	432.697	807.177		.536	.594
Xbefore	.608	.042	.793	14.334	.000
PrimaryAfter_elheat	1949.511	699.090	.148	2.789	.007
Person_changes	2611.431	980.272	.142	2.664	.009
Fireplace	-1654.143	604.045	-.155	-2.738	.008
HeatPeriod_chng	-826.216	435.411	-.097	-1.898	.062
CFL	-1094.759	590.222	-.095	-1.855	.068
TV_extra	1594.851	614.649	.136	2.595	.011
Income_household	5.151	1.276	.213	4.037	.000
Firewood_save	1771.792	706.559	.144	2.508	.014

a. Dependent Variable: Xafter

For Tabel 8 med backward elimination ser vi, at blandt de vigtigste forhold for årsforbruget er, at man har el-varme efter varmepumpeinstallationen. Desuden har ændringer i husstandens personantal, TV og sparepærer betydning, samt om man har brændeovn og har sparet på brændet. De sidste to indgår naturligvis med hvert sit fortegn. Endelig ser det ud til, at man med

større husstandsindkomst har tendens til at øge årsforbruget. Dette kan muligvis også være korreleret til andre supplerende variable, som ikke har været signifikante såsom husstørrelse. Korrelationer mellem supplerende variable kan bestemmes ved en korrelationsmatrix, men den har ikke givet specielt opsigtsvækkende resultater, og er for overblikkets skyld udeladt her.

Tabel 9 Variabel udvælgelse i 5 trin med forward selection eller stepwise proceduren.

Coefficients <sup>a</sup>					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	2292.199	737.020		3.110	.003
Xbefore	.631	.048	.823	13.033	.000
2 (Constant)	2109.515	691.481		3.051	.003
Xbefore	.616	.045	.803	13.540	.000
TV_extra	2464.187	695.993	.210	3.541	.001
3 (Constant)	391.747	863.104		.454	.651
Xbefore	.594	.044	.775	13.549	.000
TV_extra	2143.145	670.130	.183	3.198	.002
Income_household	4.290	1.396	.178	3.073	.003
4 (Constant)	932.423	842.406		1.107	.272
Xbefore	.555	.044	.723	12.660	.000
TV_extra	2251.452	639.834	.192	3.519	.001
Income_household	5.454	1.386	.226	3.934	.000
PrimaryAfter_not_elheat	-	676.260	-.173	-2.989	.004
	2021.672				
5 (Constant)	615.286	827.887		.743	.460
Xbefore	.593	.045	.774	13.060	.000
TV_extra	2806.821	662.019	.239	4.240	.000
Income_household	4.541	1.397	.188	3.249	.002
PrimaryAfter_not_elheat	-	764.322	-.254	-3.884	.000
	2968.823				
PrimaryBefore_not_elheat	2477.504	1025.111	.175	2.417	.018
6 (Constant)	836.539	817.954		1.023	.310
Xbefore	.586	.045	.765	13.136	.000
TV_extra	2593.222	656.641	.221	3.949	.000
Income_household	4.393	1.371	.182	3.205	.002
PrimaryAfter_not_elheat	-	748.796	-.257	-4.007	.000
	3000.518				
PrimaryBefore_not_elheat	2277.745	1008.731	.161	2.258	.027
HeatPeriod_chng	-922.748	447.076	-.108	-2.064	.042

a. Dependent Variable: Xafter



Forward selection og stepwise proceduren gav ens resultater (Tabel 9). Tabellen viser, at proceduren først og fremmest foretrækker stigning i antal fjernsyn som ny variabel. Det er ikke helt det forventede resultat, men meget tankevækkende. Som slutresultat foretrækkes (trin 6 i tabel 9) ikke-anvendt elvarme før og efter varmepumpeanskaffelsen, ekstra TV, ændring i varmeperioden samt husstandens indkomstforhold.

Man kan bemærke at intercept-værdien ikke længere er signifikant efter ekstra TV og husstandsindkomsten er inddraget i analysen. Det betyder, at det, der så ud som en forhøjelse af elforbruget for forbrugere, der i forvejen lå lavt i forbrug, fortrinsvis skal forklares ved ekstra TV og indkomst.

Den rene varmepumpe-effekt (inklusive det generelle årlige fald i elforbruget) repræsenteres ved  $X_{before}$ , som generelt viser en hældning på 0.6, svarende til en relativ besparelse på 40% af elregningen før installation. Herfra skal trækkes det generelle årlige fald på 5%.

For at få et grafisk billede af f.eks. den fulde model fra Tabel 7, kan vi beregne den prædikterede værdi ud fra de estimerede koefficienter i tabellerne. Således viser Figure 6 afbildningen af fuld regression med korrelationen på 0.92,

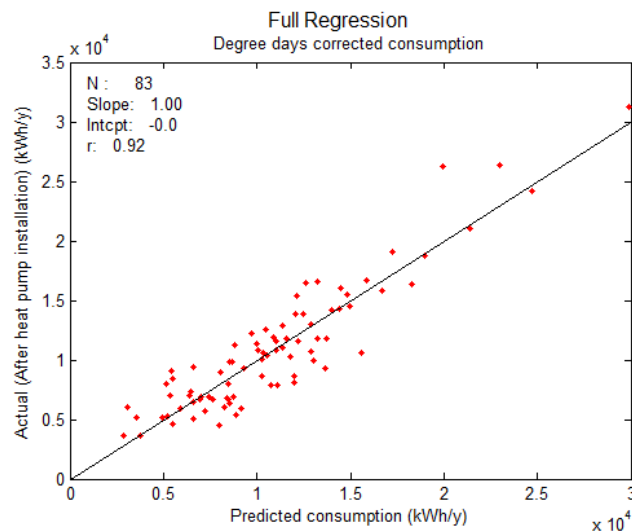


Figure 6 Aktuelt årsforbrug vs. prædikteret med fuld regressionsmodel. Prædiktionsdata er identisk med modelldata.

## Regression for boliger med primær elvarme og varmepumpe.

Ved brug af regressionsmetoden ser vi, hvordan den enkelte variabel spiller ind på årsforbruget i kombination med de øvrige variable i stedet for enkeltvis vurdering. Dette skal nu anvendes på den del af undersøgelsen som primært anvendte elvarme som varmekilde før anskaffelsen af varmepumpen. Anvender vi desuden en selektionsmetode som Backward elimination, får vi frasorteret de mest usikre variable.

Tabel 10 Modelkoefficienter for observationer som før havde elvarme og nu har elvarme eller varmepumpe som primær varmekilde. Backward elimination anvendt som metode.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
15	Xelvbefore	.585	.052	.722	11.159	.000
	Adults	-1037.614	456.556	-.147	-2.273	.028
	House_size	39.854	9.364	.409	4.256	.000
	HeatedArea	-33.778	9.900	-.191	-3.412	.001
	HeatPeriod_chng	-970.873	470.915	-.047	-2.062	.045
	Cooling_days	259.701	84.978	.073	3.056	.004
	Appliances_chng	376.596	192.460	.059	1.957	.056
	CFL	-1316.668	634.169	-.054	-2.076	.043
	Income_household	4.015	1.503	.149	2.671	.010

a. Dependent Variable: Xelvafter

b. Linear Regression through the Origin

Variablene Xelvbefore og Xelvafter betegner her årsforbrug henholdsvis før og efter. Desuden tilføjes en variabel, som angiver om man efterfølgende primært anvender elvarme eller varmepumpe. Ved backward elimination regression ses de mest betydende variable til forklaring af de to gruppers årsforbrug i Tabel 10.

Den nye tilføjede variabel til opdeling mellem varmepumpe og elvarme viser sig ikke at være af betydning. Men trækker man de to grupper ud for sig, får man to forskellige regressionslinjer som vist i Figure 7. De to linjer er dog ikke signifikant forskellige.

Generelt viser den relative besparelse i forhold til årsforbruget at være af betydning. Men for at skelne signifikant mellem boliger med efterfølgende elvarme og varmepumpe skal anvendes flere observationer.

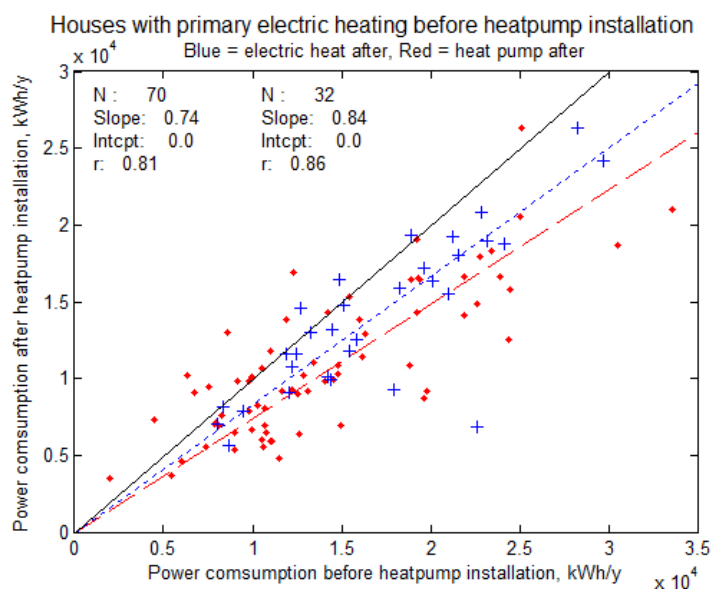


Figure 7 Årsforbrug hos elvarmebrugere, som opdeles i to grupper efter varmepumpeinstallation: 1)Varmepumpe (rød) og 2) elvarme (blå)

**Tilføjet tabel 1: Udvalgelse blandt alle variable. Observationer blandt primært elvarme før og primært VP efter.**

**Coefficients<sup>a,b</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Xbefore	.747	.025	.972	29.422	.000
2	Xbefore	.627	.046	.816	13.557	.000
	Income_household	4.223	1.405	.181	3.005	.004
3	Xbefore	.597	.048	.776	12.518	.000
	Income_household	3.750	1.389	.161	2.700	.009
	Appliances_chng	441.387	226.147	.082	1.952	.057
4	Xbefore	.576	.046	.749	12.549	.000
	Income_household	3.126	1.337	.134	2.338	.024
	Appliances_chng	587.779	221.523	.110	2.653	.011
	Cooling_days	230.547	89.375	.082	2.580	.013

a. Dependent Variable: Xafter

b. Linear Regression through the Origin

**Tilføjet tabel 2: Udvalgelse blandt alle variable. Observationer blandt primært elvarme før og primært VP efter. (Intercept medtaget for korrekt beregning af korrelationskoefficient med SPSS)**

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.831 <sup>a</sup>	.690	.684	2611.14742
2	.849 <sup>b</sup>	.720	.709	2505.68734
3	.860 <sup>c</sup>	.740	.724	2440.89674
4	.879 <sup>d</sup>	.772	.753	2308.22477

a. Predictors: (Constant), Xbefore

b. Predictors: (Constant), Xbefore, Income\_household

c. Predictors: (Constant), Xbefore, Income\_household, Appliances\_chng

d. Predictors: (Constant), Xbefore, Income\_household, Appliances\_chng, Cooling\_days

**Tilføjet tabel 3: Regression for de tidligere udvalgte variable for at få flere frihedsgrader. Observationer blandt primært elvarme før og primært VP efter.**

**ANOVA<sup>c,d</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9.031E9	4	2.258E9	348.373	.000 <sup>a</sup>
	Residual	4.083E8	63	6480850.020		
	Total	9.439E9	67			

**a. Predictors: Income\_household, Cooling\_days, Appliances\_chng, Xbefore**

**b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.**

**c. Dependent Variable: Xafter**

**d. Linear Regression through the Origin**

**Coefficients<sup>a,b</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Xbefore	.602	.039	.785	15.363	.000
	Cooling_days	198.843	96.180	.060	2.067	.043
	Appliances_chng	616.274	230.081	.105	2.679	.009
	Income_household	2.662	1.207	.110	2.205	.031

Tilføjet tabel 4: Regression blandt alle variable. Observationer blandt primært elvarme før og primært VP efter.

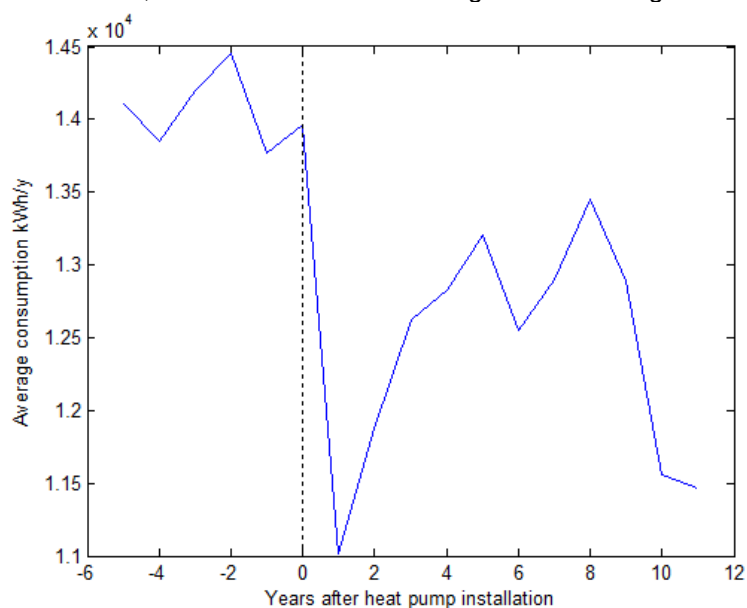
Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients Beta		
1	(Constant)	19814.026	31685.786		.625	.537
	Xbefore	.502	.085	.649	5.915	.000
	Adults	-70.960	810.033	-.010	-.088	.931
	Children	-422.075	677.919	-.081	-.623	.538
	House_size	15.712	19.902	.097	.789	.436
	House_age	-10.594	15.900	-.064	-.666	.510
	Person_changes	-738.384	1702.737	-.038	-.434	.668
	HeatPump_only	-1852.963	1117.192	-.159	-1.659	.108
	HeatedArea	15.238	18.933	.084	.805	.427
	NewRooms	.426	23.776	.002	.018	.986
	Fireplace	-477.153	1027.360	-.050	-.464	.646
	HeatPeriod_chng	-1024.791	823.045	-.122	-1.245	.223
	HeatTemp_increase	-428.353	893.299	-.056	-.480	.635
	Cooling_days	191.214	128.039	.156	1.493	.146
	Appliances_chng	399.078	337.810	.133	1.181	.247
	CFL	-731.567	818.226	-.077	-.894	.379
	Appliances_new	430.671	418.707	.101	1.029	.312
	Settopbox_new	392.997	710.540	.051	.553	.584
	TV_extra	951.408	1290.617	.087	.737	.467
	PC_extra	433.857	900.332	.048	.482	.634
	InsulateHouse	486.183	911.352	.047	.533	.598
	Income_household	2.919	2.316	.136	1.260	.218
	Firewood_save	64.071	1193.305	.006	.054	.958

a. Dependent Variable: Xafter

## Adfærd efter installation af varmepumpen.

Det har vist sig, at en del forbrugere, som følge af anskaffelsen af en billigere varmekilde, har haft en tendens til at øge varmeforbruget.



viser den gennemsnitlige forandring af årsforbruget i tiden efter installation af varmepumpe. Det skal her bemærkes, at der ligger flere observationer til grund for de første end for de sidste gennemsnitlige årsforbrug i figuren.

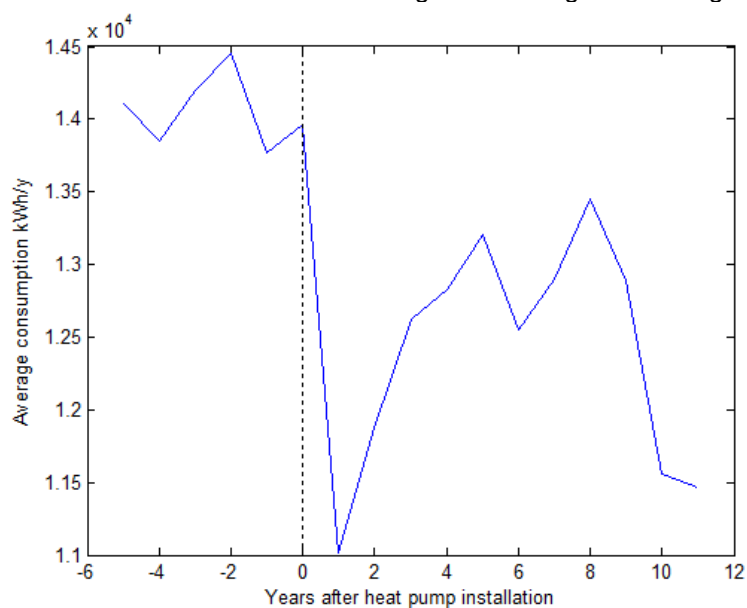


Figure 8 Gennemsnitlig årsforbrug efter installation af varmepumpe

Figuren viser, at første år giver et forholdsvis lavt forbrug, men at dette stiger efterfølgende med ca. 2500 kWh/år. Efter nogle år falder forbruget næsten tilbage til det lave niveau for det første år.

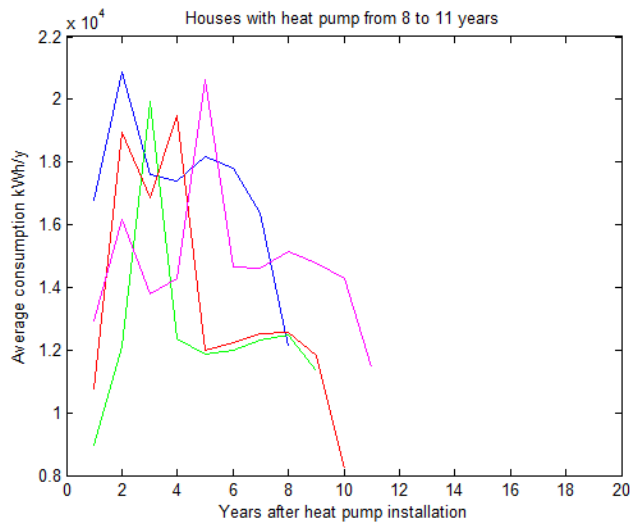


Figure 9 Gennemsnitlig årsforbrug efter installation af varmepumpe opdelt efter forbrugere med henholdsvis 8 (= blå), 9 (= grøn), 10 (=rød) og 11 (=magenta) årsforbrug efter.

Et lignende mønster fremkommer ved at se på kurverne for forbrugere, der har haft varmepumpe i 8, 9, 10 og 11 år (Figure 9). Disse viser, at forbruget 'peaker' efter de første år. Ved anvendelse af en parvis t-test på en variabel, der viser forbruget 3 år efter installation af varmepumpen (=x<sub>top</sub>) og forbruget det sidste år (=x<sub>slut</sub>) findes forskellen signifikant (Tabel 11).

Tabel 11 Parvis t-test mellem 3. års forbrug og slutårs forbruget for boliger med 8-11 års forbrug med varmepumpe.

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 x <sub>top</sub> - x <sub>slut</sub>	6002.2	6780.8	1238.0	3470.2	8534.2	4.848	29	.000

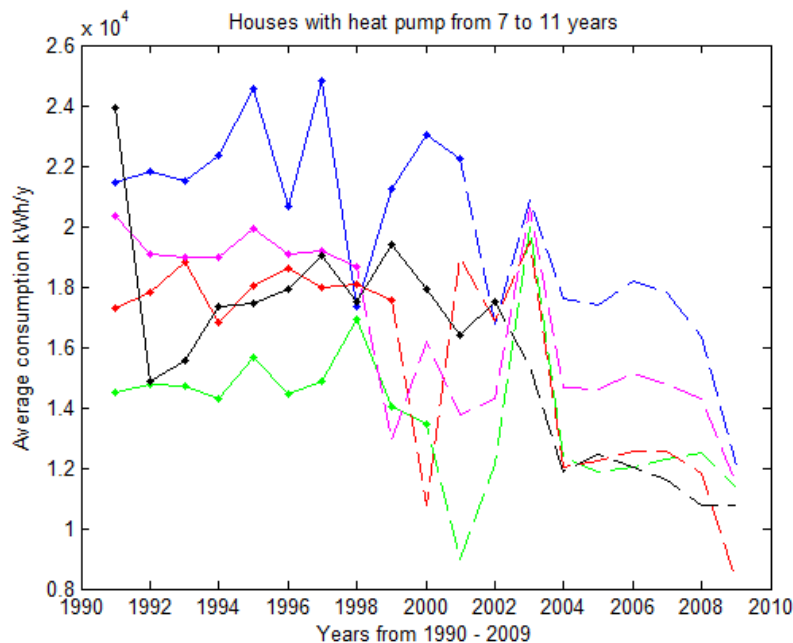


Figure 10 Gennemsnitlig årsforbrug før (optrukket linje) og efter (stiplet linje) installation af varmepumpe opdelt efter forbrugere med henholdsvis 7 (= sort), 8 (= blå), 9 (= grøn), 10 (=rød) og 11 (=magenta) årsforbrug efter.

Ser man på udviklingen i elforbruget hen over årene (figur 11) ses en sammenfaldende form for middelkurverne for år 2003 og frem. Bortset fra boliger, som har fået installeret varmepumpe i år 2002, viser de øvrige med varmepumpe en stigning i elforbruget fra 2002 til 2003. Herudover ser vi, at alle kurver viser et fald i elforbruget året efter varmepumpeinstallation. Næsten alle boliger med installation af varmepumpen før år 2002 viser det andet år en stigning i elforbruget igen.

Forklaringerne kan være dels, at man er mest opsat på at spare elforbrug lige efter installationen, hvilket er den stærkeste effekt, dels at der er en påvirkning for året som slår igennem efterfølgende. Fra graddagetallene i figur 1 ser denne påvirkning ikke ud til at være kuldevariationer. De stigende elpriser kan være med til at forklare det generelle fald i elforbruget, men ikke det forhøjede forbrug i år 2003. Til gengæld var 2003 en meget varm sommer, så det øgede elforbrug stammer muligvis fra køling. De fleste respondenter, angiver imidlertid ikke at have brugt kølingsfunktionen. Muligvis svarer disse ud fra en normalsituation, hvor år 2003 ikke længere 'tæller med'.

## Konklusion

Med elmålerdata fra 138 boliger blev fundet en statistisk signifikant besparelse i elforbruget ved at installere en luft-luft varmepumpe. Denne besparelse var i gennemsnit på 2678 kWh/år. Dette svarer til en relativ besparelse på 19% af forbruget før varmepumpeinstallationen. Da det er et generelt fald i årsforbruget på 5 % bliver den relative besparelse på 14% og det korrigerede gennemsnit på 1985 kWh/år.

Forbrugere som oprindeligt anvendte elvarme opnåede gennemsnitlig en besparelse på 3188 kWh/år svarende til en 23 % af elforbruget (svarende til 2481 kWh/år eller 18% efter fradrag af de generelle årlige 5% besparelser), hvis de primært brugte varmepumpen som varmekilde. Fortsatte man derimod med primært at anvende elvarme kunne kun opnå en gennemsnitlig besparelse på 2819 kWh/år (netto 1950 kWh/år). Derimod faldt den relative besparelse for disse elvarmeforbrugere til 16 % (netto 11%). Forskellene i den relative besparelse blev ikke fundet statistisk signifikant.



Forbrugere i dette studium, som ligger over gennemsnittet i årsforbrug, fik endnu større relative besparelser end de 14%, idet regressionsanalyser angiver med hældning på 0.77, at der blev sparet 23% af det oprindelige elforbrug, eller en nettobesparelse på 18%. Ser man bort fra effekten af supplerende variable, som spiller ind på besparelsen, ser det ud til, at varmepumpe effekten alene kan give en besparelse på omkring 40%, svarende til 35% netto.

Med tilføjelse af op til 25 supplerende variable fra spørgeskemaer blev korrelationen mellem årsforbruget før og efter varmepumpeinstallationen forøget fra 0.81 til 0.92, hvilket giver en høj forklaringsgrad af variationen. Det generelle forbrug, som intercepten er udtryk for, kunne forklares ved at medtage de supplerende variable. Således viste kombinationen af brændeovne, brændebesparelse, ekstra TV, sparepærer, ændring i personantal samt husholdningens indkomst at have den vigtigste indflydelse på det nye årsforbrug.

Det betyder, at øget TV forbrug og brændebesparelsen er en adfærdsændring, som modvirker en del af varmepumpeeffekten. TV forbruget må således henføres til den almindelige velfærdsstigning, mens brændebesparelsen og indkomst er et tab i økonomisk motivation.

Endelig blev der set på, hvordan årsforbruget ændrer sig i tiden efter varmepumpeinstallationen. Først og fremmest ses et tydeligt fald i forbrug året efter installationen. Derefter kan forekomme forskellige fluktuationer. Det har vist sig, at der gennemsnitligt har været stigninger på 2500 kWh/år, som efterfølgende forsvinder igen efter nogle år. Dette er et mønster, man ser hos forbrugere med mere end 8 års brug af varmepumpe, og skyldes en sammenfaldende stigning i elforbruget i år 2003 for boliger med mere end 8 års brug af varmepumpe. Den mest plausible forklaring er elforbrug til afkøling pga en varm sommer. Det forøgede forbrug til afkøling har muligvis overrasket forbrugerne, da det ikke senere gentager sig. Forbrugere med 7 års brug af varmepumpe ser også ud til at være påvirket af denne 2003 effekt, idet der er tale om et mindre fald i årsforbrug end forventet. Faldet fra varmepumpen slår her først helt igennem i år 2004.

I efterfølgende appendiks ses det, at sommerhusene ikke viste nogen gennemsnitlig besparelse, men for lave årsforbrug blev fundet et forøget forbrug efter varmepumpeinstallationen, mens de store årsforbrug gav gennemsnitlig en mindre besparelse. Nogle af disse besparelser kan forklares ved, at der tidligere blev brugt elvarme til at holde sommerhuset frostfrit om vinteren, mens nogle at de forøgede forbrug skyldes at man er gået fra, at holde sommerhuset nedlukket om vinteren til at holde det frostfrit. Der blev imidlertid ikke fundet supplerende variable, som kunne forklare hele det generelle forbrug fra intercepten. Dette kan muligvis tilskrives undersøgelsens få observationer vedrørende interview data.

Der blev hos sommerhusene ikke fundet et signifikant fald i årsforbruget i årene før varmepumpeinstallationen.

## Appendiks A: Sommerhuse

Analysen for sommerhusene består kun af 42 observationer, og viser en noget mindre hældning på 0.88 (dog signifikant) end for boligerne. Dette tyder på en mindre besparelse på 12% for de høje årsforbrug (figur A1 og A2).

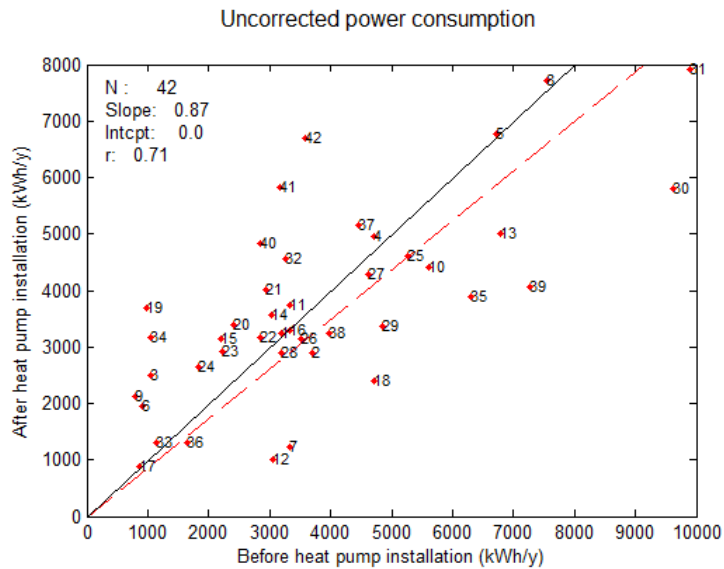


Figure A 1 Årsforbrug før og efter installation af varmepumpe (ukorrigerede tal)

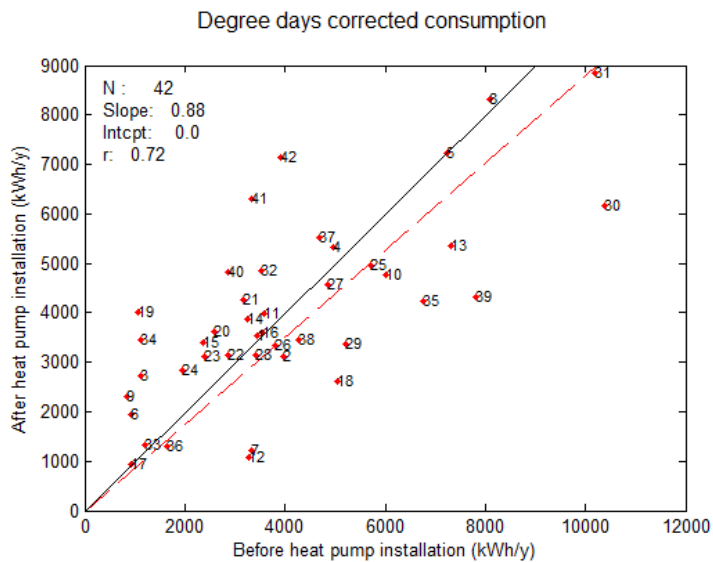


Figure A 2 Årsforbrug før og efter installation af varmepumpe (graddage korrigerede tal)

Tages de supplerende variable i betragtning, viste kun anskaffede hårde hvidevarer signifikans (Tabel A1). Til gengæld viser intercepten også signifikans, hvilket betyder, at de sommerhuse, som før havde et lavt elforbrug, går over til at få et højere elforbrug – et forbrug, som ikke ser ud til at skyldes ændringer i de supplerende variable i modsætning til boligerne. En årsag hertil kan meget vel være, at antallet af gyldige observationer er nede på 19, når man fratrækker de manglende besvarelser.

Tabel A 1 Variabel udvælgelse i 2 trin med forward selection eller stepwise proceduren

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1384.023	620.881		2.229	.040
	Xbefore	.761	.141	.795	5.399	.000
2	(Constant)	1472.657	539.802		2.728	.015
	Xbefore	.661	.128	.691	5.155	.000
	Appliances_new	772.986	301.276	.344	2.566	.021

a. Dependent Variable: Xafter

Fra den parvise t-test i Tabel A2 og A3 ses det, at der som gennemsnit ikke er opnået signifikante besparelser i sommerhusene ved installation af varmepumper.

Tabel A 2 Middel, antal og spredning af årsforbruget, samt spredning af middelværdien for observationer med og uden korrektion for graddage. Enhederne er i kWh/år.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Xbef_ucorr	3754.4285	42	2250.24976	347.22108
	Xaft_ucorr	3729.8688	42	1690.00380	260.77325
Pair 2	Xbefore	3999.0962	42	2403.96469	370.93981
	Xafter	3986.2897	42	1842.36304	284.28279
Pair 3	Xbef_elv	5221.7980	1 <sup>a</sup>	.	.
	Xaft_elv	3355.7230	1 <sup>a</sup>	.	.
Pair 4	Xbef_elv_hp	4020.4783	31	2264.17073	406.65707
	Xaft_elv_hp	4065.0874	31	1510.00154	271.20428
Pair 5	Xbef_elv_elv	6325.9970	4	3369.56811	1684.78405
	Xaft_elv_elv	6069.6930	4	2904.52769	1452.26384

a. The correlation and t cannot be computed because the sum of caseweights is less than or equal to 1.

Tabel A 3 Parvis t-test for årsforbrug differensen før og efter installation af varmepumpe

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Xbef_ucorr - Xaft_ucorr	24.6	1578.4	243.5	-467.3	516.4	.101	41	.920
Pair 2	Xbefore - Xafter	12.8	1680.3	259.3	-510.8	536.4	.049	41	.961
Pair 4	Xbef_elv_hp - Xaft_elv_hp	-44.6	1832.2	329.1	-716.7	627.5	.136	30	.893
Pair 5	Xbef_elv_elv - Xaft_elv_elv	256.3	740.4	370.2	-921.8	1434.4	.692	3	.538

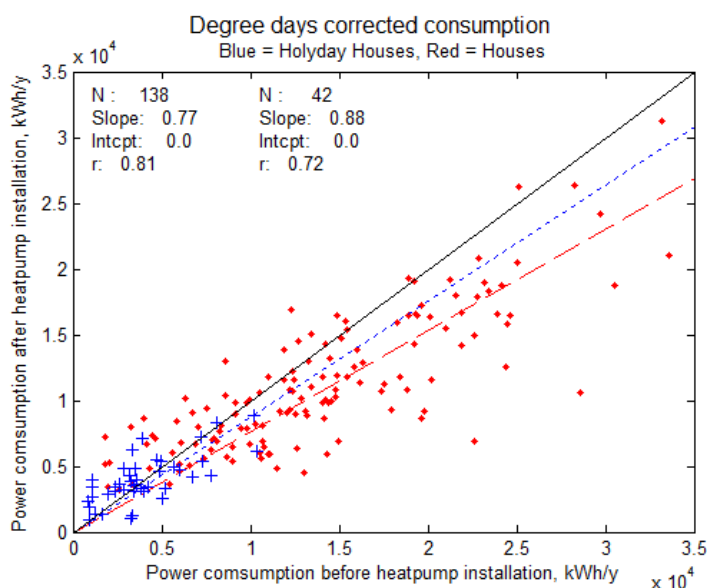


Figure A 3 Årsforbrug opdelt i to grupper før og efter varmepumpeinstallation: 1) Boliger (rød) og 2) sommerhuse (blå)

Ved sammenligning af sommerhuse og boliger i figur A3 ses det, at sommerhusene ligger lavt i elforbrug, men ellers ikke adskilt fra boligerne. En autoregressiv analyse viser, at der ikke blev fundet et signifikant årligt fald i elforbruget før varmepumpe installationen hos sommerhusene (figur A4 og tabel A4)

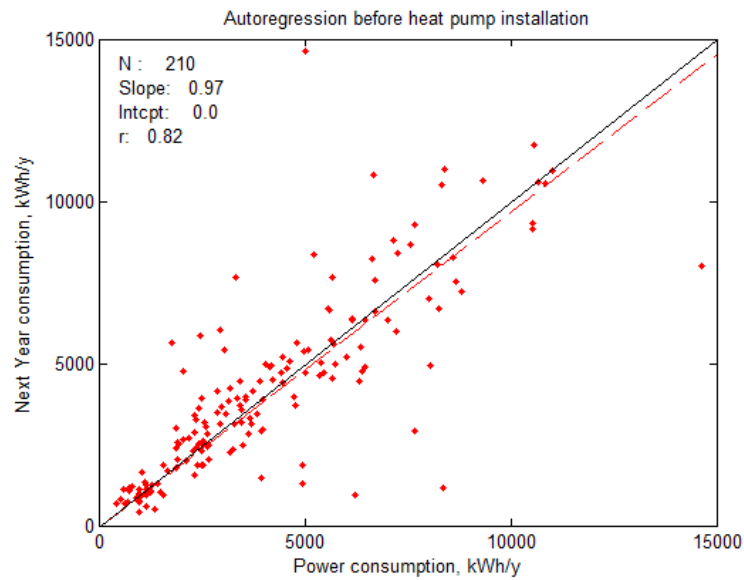


Figure A 4Årlig fald i elforbrug for sommerhuse før installation af varmepumpe

Tabel A 4 Hældning fra figur A4 er ikke signifikant forskellig fra 1.

**Coefficients<sup>a,b</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1 Xsom	.968	.027	.942	36.521	.000	.916	1.021

a. Dependent Variable: Ysom

b. Linear Regression through the Origin

# Luft/luft varmepumpers effektivitet

Af Preben Munter, SEAS-NVE

Version: 30-09-2010

## Formål

At klarlægge effektiviteten hos luft/luft varmepumper (L/L-VP) til opvarmning af énfamiliehuse. Samt vurdere om effektiviteten har ændret sig over de seneste 10-15 år.

Der formuleres herunder simple modeller til brug i den statistiske analyse af energiforbrug i et antal huse med L/L-VP.

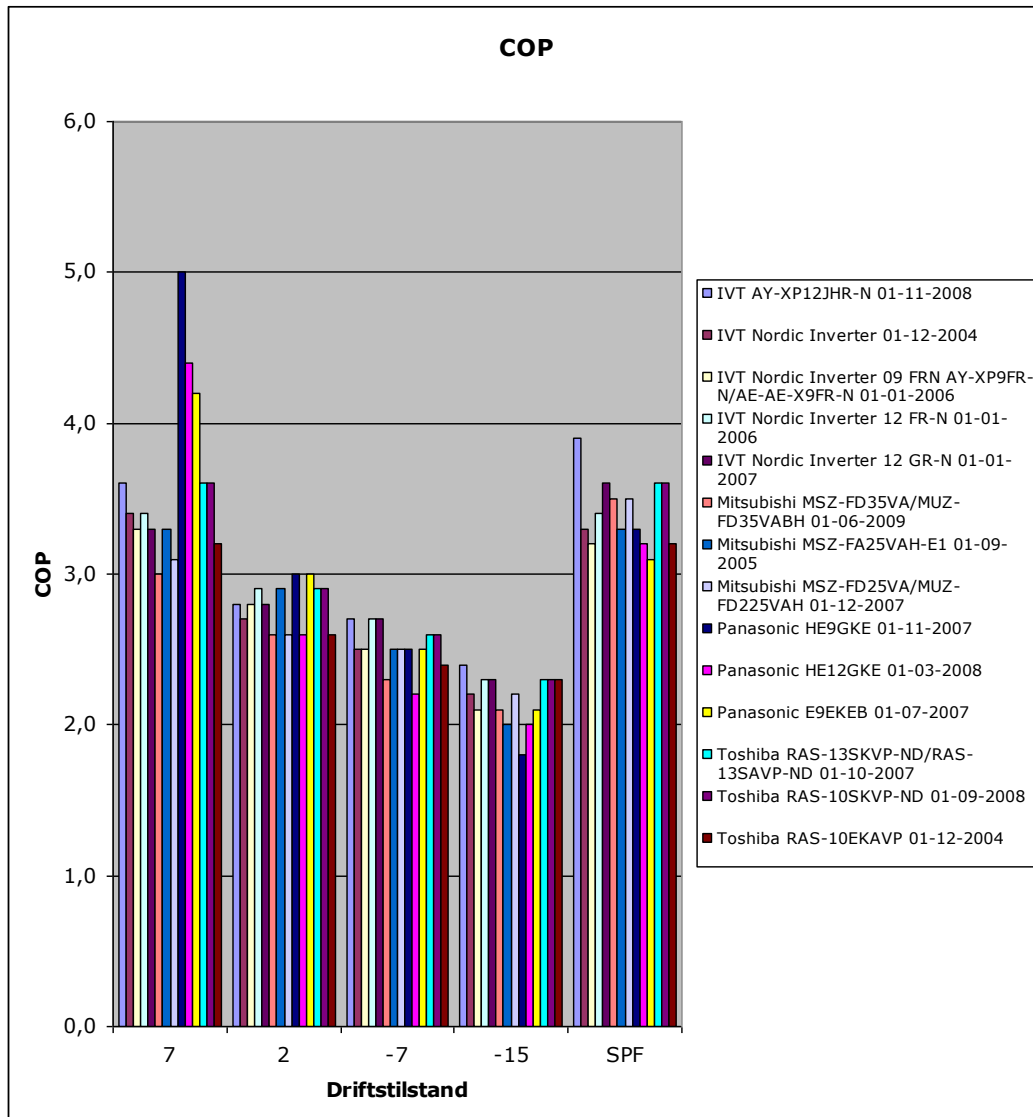
## Data

Fra /1/ er indtastet følgende data over L/L-VP, der skønnes relevante for denne undersøgelse:

Type	Testdato	7	2	-7	-15	SPF
IVT AY-XP12JHR-N	01-11-2008	3,6	2,8	2,7	2,4	3,9
IVT Nordic Inverter	01-12-2004	3,4	2,7	2,5	2,2	3,3
IVT Nordic Inverter 09 FRN AY-XP9I	01-01-2006	3,3	2,8	2,5	2,1	3,2
IVT Nordic Inverter 12 FR-N	01-01-2006	3,4	2,9	2,7	2,3	3,4
IVT Nordic Inverter 12 GR-N	01-01-2007	3,3	2,8	2,7	2,3	3,6
Mitsubishi MSZ-FD35VA/MUZ-FD35	01-06-2009	3,0	2,6	2,3	2,1	3,5
Mitsubishi MSZ-FA25VAH-E1	01-09-2005	3,3	2,9	2,5	2,0	3,3
Mitsubishi MSZ-FD25VA/MUZ-FD22	01-12-2007	3,1	2,6	2,5	2,2	3,5
Panasonic HE9GKE	01-11-2007	5,0	3,0	2,5	1,8	3,3
Panasonic HE12GKE	01-03-2008	4,4	2,6	2,2	2,0	3,2
Panasonic E9EKEB	01-07-2007	4,2	3,0	2,5	2,1	3,1
Toshiba RAS-13SKVP-ND/RAS-13S	01-10-2007	3,6	2,9	2,6	2,3	3,6
Toshiba RAS-10SKVP-ND	01-09-2008	3,6	2,9	2,6	2,3	3,6
Toshiba RAS-10EKAVP	01-12-2004	3,2	2,6	2,4	2,3	3,2

Tabellen viser COP (=leveret nyttig varme / tilført el) for en række driftstilstande – her givet ved udetemperaturerne: 7C; 2C; -7C; -15C. Bemærk, at disse COP-værdier er laboratoriemålinger – ikke fabrikantoplysninger. Desuden er angivet en beregnet årsmiddeleffektfaktor, SPF, for et hus med et rumvarmebehov på ca. 10.000 kWh/år.

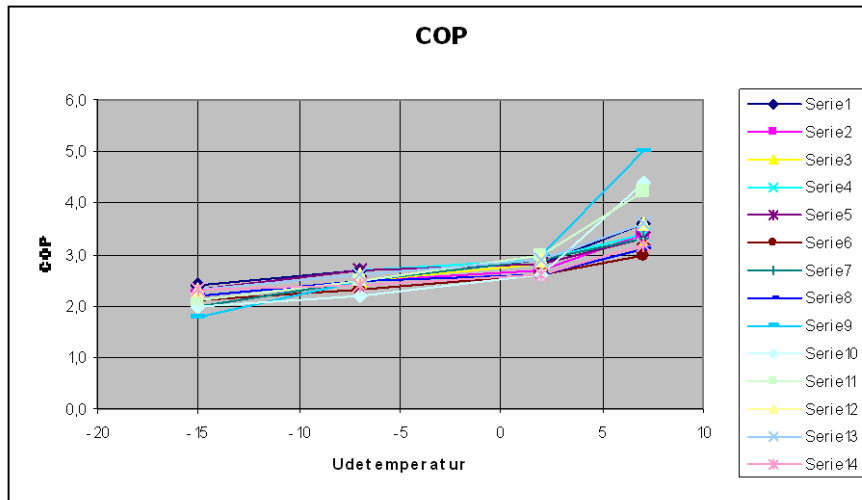
Et samlet overblik over data fås i følgende figur:



Figur 1.

Figuren viser variationen - på tværs af fabrikater og testdato - i COP for de givne driftstilstande. Det bemærkes at de beregnede SPF-værdier ca ligger på niveau med 7/20 prøvningsresultatet, så driften ved høje udetemperaturer (mellem 7C og ca 15C, hvor opvarmningsbehovet slutter) udbalancerer ca driften ved de lave udetemperaturer, hvor COP er lav.

Følgende figur viser kurver over COP i afhængighed af driftstilstanden for alle L/L-VP i skemaet.



Figur 2.

Det ses at COP stiger kraftigere med udetemperaturen, når den er over 2C grundet reduceret behov for afrimning.

Ønskes en simpel model for sammenhængen mellem COP og udetemperaturen, Tude, for en gennemsnits-VP fås følgende lineære model:

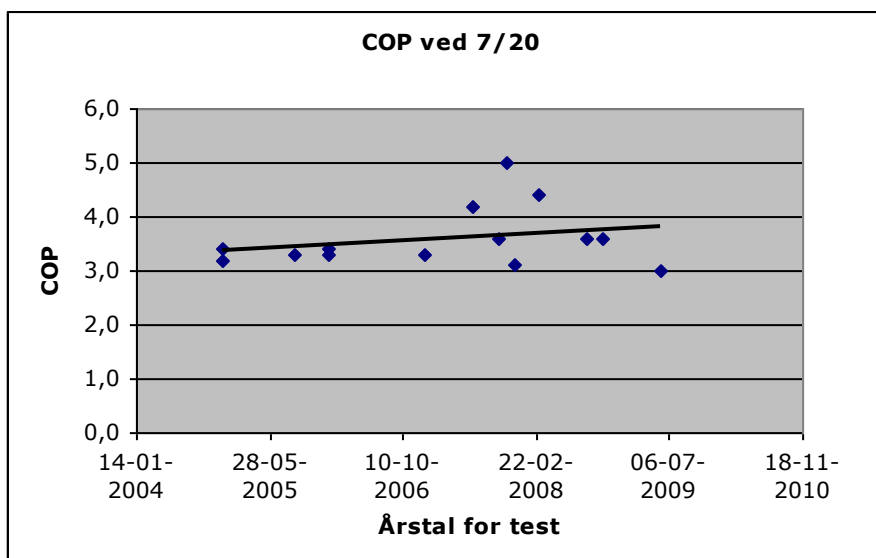
$$\text{COP} = 3,2 + (\text{Tude} - 7) \cdot 0,13 \text{ for } 15\text{C} > \text{Tude} > 7\text{C}$$

$$\text{COP} = 2,6 + (\text{Tude} - 2) \cdot 0,04 \text{ for } 7\text{C} > \text{Tude} > -15\text{C}$$

Beskrives forløbet af COP i stedet med en 2-gradsligning fås:

$$\text{COP} = 0,0021 \cdot \text{Tude}^2 + 0,0717 \cdot \text{Tude} + 2,57 \text{ for } 15\text{C} > \text{Tude} > -15\text{C} \text{ (R}^2 = 0,96)$$

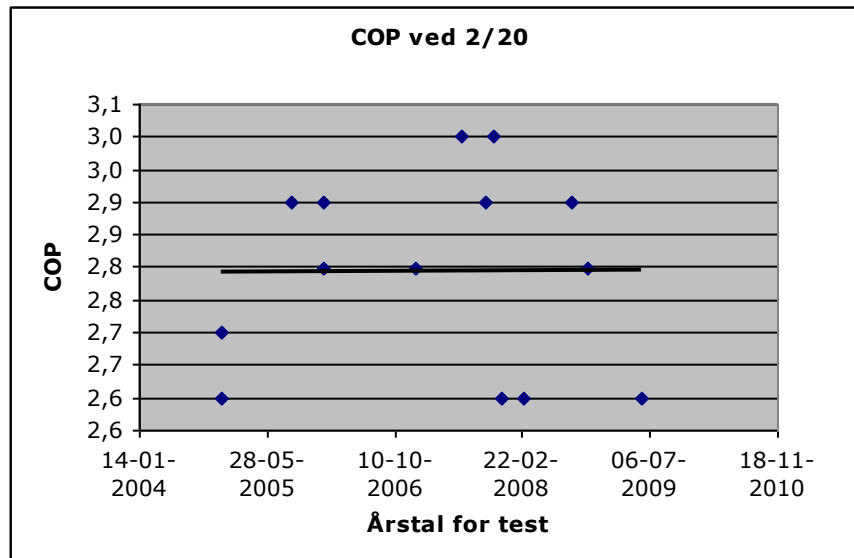
For nærmere at vurdere om effektiviteten har ændret over årene er følgende figurer dannet:



Figur 3.

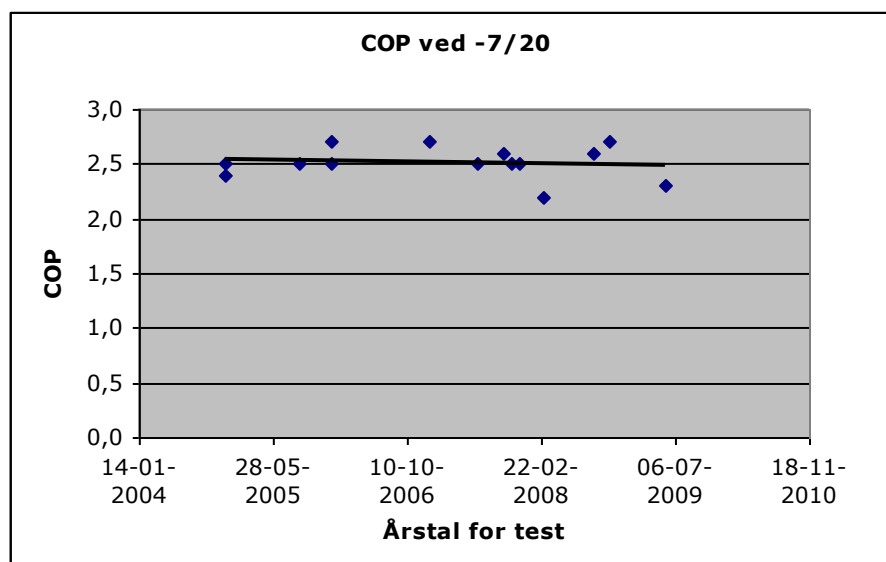
Der ses en svag sammenhæng mellem årstal for laboratorietest og COP-værdi ved driftstilstanden 7/20. Korrelationen er lav ( $R^2 \sim 0,1$ ). Afhængigheden svarer til ca. 2% forbedret COP pr år.





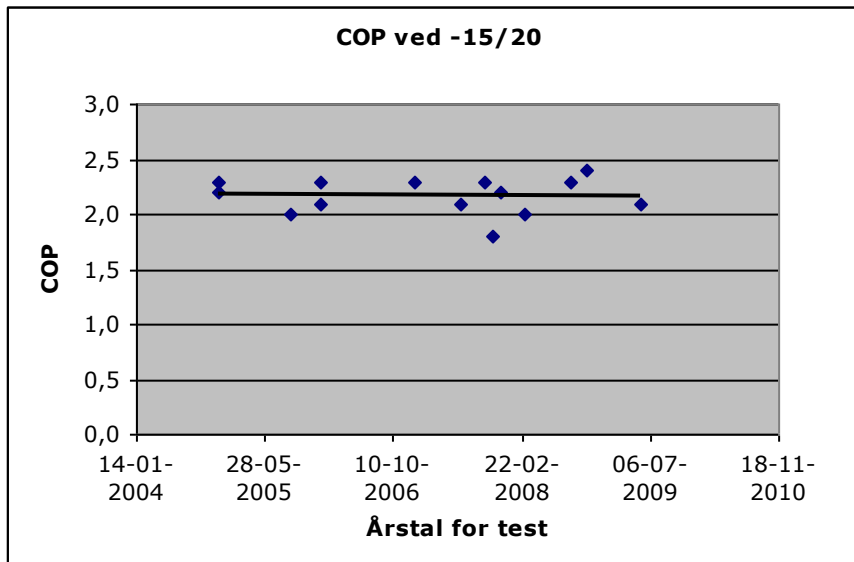
Figur 4.

Der ses ingen sammenhæng mellem årstal for laboratorietest og COP-værdi ved driftstilstanden 2/20. Grafen harmonerer med Elsparefondens krav i 2008 om en minimums COP på 2,8 ved 2/20.



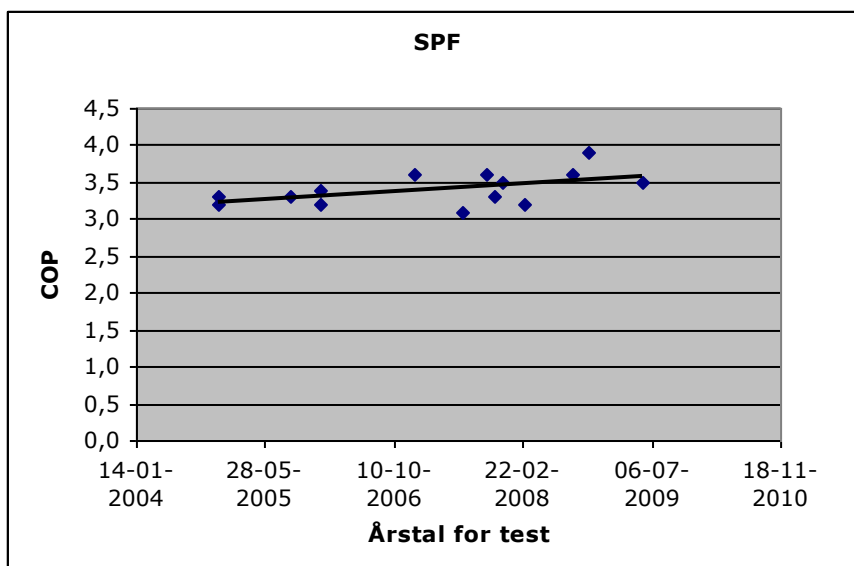
Figur 5.

Der ses ingen sammenhæng mellem årstal for laboratorietest og COP-værdi ved driftstilstanden -7/20. Grafen harmonerer med Elsparefondens krav i 2008 om en minimums COP på 2,5 ved 2/20.



Figur 6.

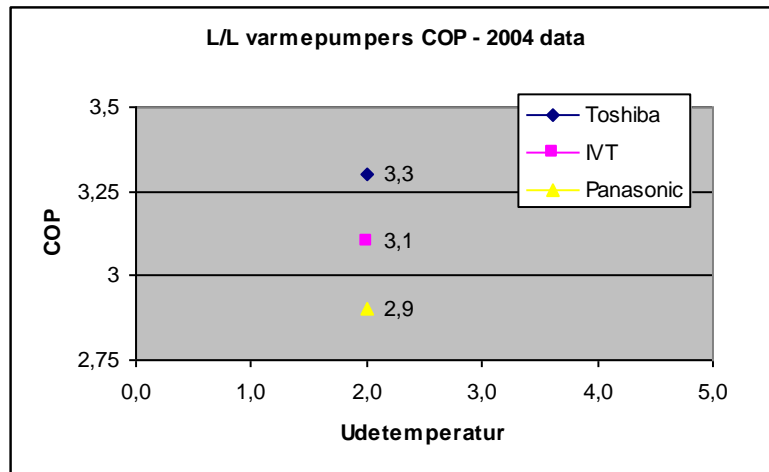
Der ses ingen sammenhæng mellem årstal for laboratorietest og COP-værdi ved driftstilstanden -15/20.



Figur 7.

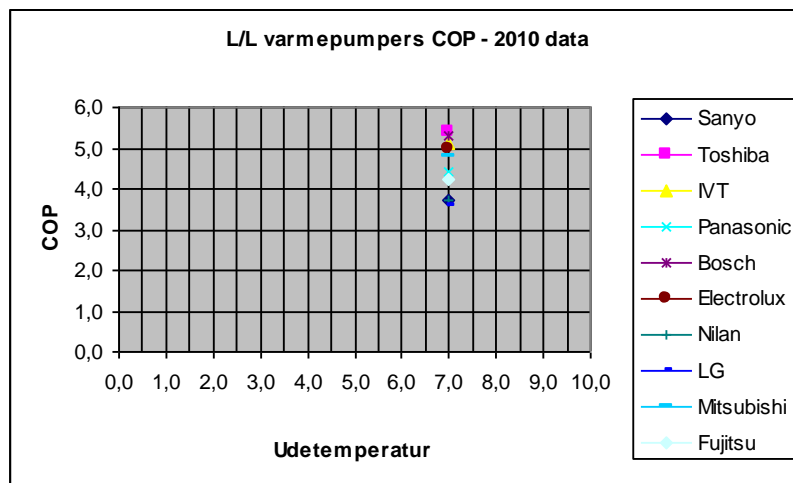
Der ses en vis sammenhæng mellem årstal for laboratorietest og beregnet SPF-værdi. Korrelationen er lav ( $R^2 \sim 0,3$ ). Afhængigheden er ca. 2,5% forbedret SPF pr år.

Som supplement til ovennævnte figurer over COP-værdier over årene ved forskellige driftstilstande kan anføres data fra /2/ og /3/:



Figur 8.

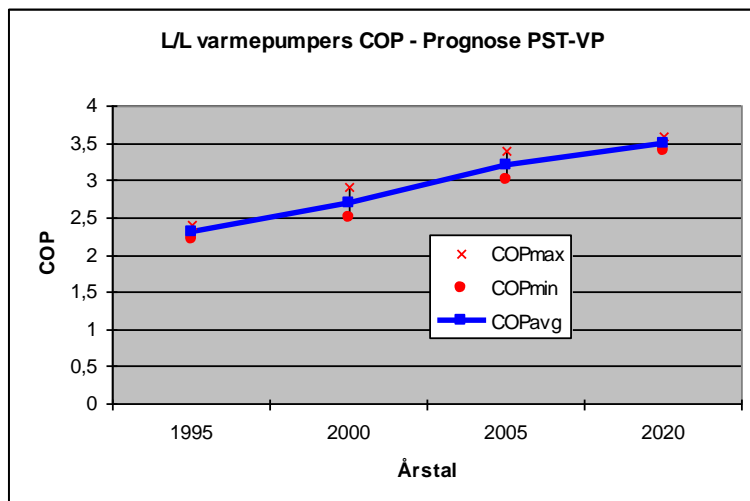
Data fra /3/ TIs positivliste fra 2004. Ej målinger, men fabrikantdata, og kun angivet ved 2/20.



Figur 9.

Data fra /2/ Ej målinger, men fabrikantdata, og kun angivet ved 7/20.

Endelig kan nævnes den tidligere Prøvestation for Varmepumpers prognose, der vel er ca. 10 år gammel:



Figur 10.

## Effektivitet under køling

Den termodynamiske effektivitet kan estimeres ved at se på den typiske COP ved 7/20 på omkring 5,0. Regnes med 10K i temperaturforskel i såvel fordampner som kondensator fås:

$$\text{COP} = 5 = \text{ETA}_C \cdot (273 + 20 + 10) / ((20 + 10) - (7 - 10)) = \text{ETA}_C \cdot 9,2$$

Hvilket giver en carnot-virkningsgrad på:  $\text{ETA}_C = 0,54$ , hvilket forekommer realistisk.

Dette kan udnyttes til at estimere effekt faktoren ved køling – fx ved temperaturerne 25C ude og 22C inde. Grundet høj fordampningstemperatur – og dermed ydelse - regnes med 15K temperaturdifferens.

$$\text{COP}_k = 0,54 \cdot (273 + 22 - 15) / ((25 + 15) - (22 - 15)) = 4,6$$

Så for hver kWh tilført elenergi ydes der altså 4,6 kWh kuldeydelse under disse forhold.

## Dellastdata

Data i beskrivelsen af COP-værdier stammer fra fuldlastdrift – altså med kompressoren på 100% kapacitet og omdrejninger.

Der ligger en potentiel mulighed for væsentlig bedre drift under aktuelle forhold, hvor der ikke er behov for fuld kapacitet for at opretholde rumtemperaturen.

I /1/ er der udført målinger under dellast. Typisk forbedres COP med 30% - 50%, når kompressoren nedreguleres til halv kapacitet.

Dette stemmer i øvrigt meget godt med det tidligere anførte udtryk for COP, hvis det antages at temperaturdifferenserne halveres ved halv kapacitet. Ved 7/20 – hvor COP typisk lå på 5,0 ved fuldlast, fås nu:

$$\text{COP}_{50\%} = 0,54 \cdot (273 + 20 + 5) / ((20 + 5) - (7 - 5)) = 7$$

Hvilket er 40% højere end COP ved 100% kapacitet.

Et enkelt fabrikat, Panasonic, udviser dog beskedne stigninger i COP under dellast. COP øges her med knap 10% ved nedregulering til halv kapacitet.

## Sammenfatning

Forbedringen i årsmiddeleffekt faktoren (SPF) over årene skønnes at ligge på 2,5% pr år generelt. I 2010 er en typisk værdi på 3,6 – i 2004 var en typisk værdi 3,1.

Ændringerne i effekt faktoren, COP, i bestemte driftstilstande forekommer størst ved de højere udetemperaturer. Dette skyldes formodentlig øget fokus hos fabrikanterne på effektiv afrimning med bedre behovsstyring samt øget lamelafstand i fordamperfladen.

Typiske effekt faktorer fra laboratoriemålinger under fuldlast ligger på:

$$3,5 \text{ v. } 7/20; 2,8 \text{ v. } 2/20; 2,5 \text{ v. } -7/20 \text{ og } 2,2 \text{ v. } -15/20$$

Dellast ved 50% kan hæve COP-værdierne med ca. 40% i forhold til fuldlast.

Rumtemperaturer over 20C vil til gengæld reducere de faktiske COP-værdier.

Udfører L/L-VP køling om sommeren kan en typisk køle-effekt faktor ligge på ca 4,6.

**Jämförelse av COP vid olika utetemperaturer enligt konsumentverkets test på SP SVERIGES PROVNINGS- OCH FORSKNING SINSTITUT**  
**PROVNING AV LUFT/LUFT-VÄRMEPUMPAR**

Värmefaktorn har testats vid 7 olika driftsfall.

Om det bästa resultatet vid varje driftsfall får platssiffran 1, näst bästa resultatet platssiffran 2, 3:e bästa resultatet får platssiffran 3 o.s.v. framstår 2 fabriker som överlägsna; MITSUBISHI MAXIMAN och SHARP.

Då samtliga aggregat ingående i testet är ungefär lika stora är värmefaktorn (aggregatets effektivitet) det mest avgörande för besparingen.

	<b>Platspoäng:</b>	
<b>MITSUBISHI MAXIMAN, SHARP</b>	<b>13-14</b>	Bäst ↓ Sämst
<b>TOSHIBA, SANYO, HITACHI</b>	<b>21-24</b>	
<b>SHOFU, PANASONIC, MITSUBISHI ELECTRIC</b>	<b>26-30</b>	
<b>FUJITSU</b>	<b>39</b>	
<b>DAIKIN</b>	<b>46</b>	
<b>FOMA</b>	<b>54</b>	

**Vid utetemperatur +7°C / 50% av maxeffekt**

1. 4,9 SHARP
2. 4,6 MITSUBISHI MAXIMAN, SANYO
3. 4,3 SHOFU
4. 4,2 TOSHIBA, HITACHI
5. 3,9 MITSUBISHI ELECTRIC
6. 3,8 FUJITSU
7. 3,7 PANASONIC
8. 3,5 DAIKIN
9. 3,1 FOMA

**Vid utetemperatur +2°C / 50% av maxeffekt**

1. 3,9 MITSUBISHI MAXIMAN
2. 3,6 MITSUBISHI ELECTRIC
3. 3,5 SANYO, SHARP
4. 3,4 TOSHIBA
5. 3,1 HITACHI
6. 3,0 FUJITSU, PANASONIC
7. 2,8 DAIKIN
8. 2,7 CHOFU
9. 2,2 FOMA

**Vid utetemperatur +7°C / 75% av maxeffekt**

1. 4,2 SHARP
2. 4,0 MITSUBISHI MAXIMAN, SANYO, PANASONIC, SHOFU
3. 3,9 HITACHI
4. 3,7 TOSHIBA
5. 3,5 FUJITSU
6. 3,4 MITSUBISHI ELECTRIC
7. 3,3 DAIKIN
8. 2,8 FOMA

**Vid utetemperatur +2°C / 100% effekt**

1. 2,8 MITSUBISHI MAXIMAN, SHOFU, PANASONIC
2. 2,7 SHARP
3. 2,6 HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI ELECTRIC
4. 2,4 FUJITSU, SANYO
5. 2,3 DAIKIN
6. 2,0 FOMA

**Vid utetemperatur +7°C / 100% effekt**

1. 3,7 PANASONIC
2. 3,4 SHOFU, HITACHI, SHARP
3. 3,2 TOSHIBA
4. 3,1 MITSUBISHI MAXIMAN
5. 3,0 SANYO
6. 2,8 MITSUBISHI ELECTRIC
7. 2,7 DAIKIN, FUJITSU
8. 2,5 FOMA

**Vid utetemperatur -7°C / 100% effekt**

1. 2,6 MITSUBISHI MAXIMAN
2. 2,5 SHARP
3. 2,4 TOSHIBA, HITACHI, SANYO
4. 2,3 MITSUBISHI ELECTRIC, PANASONIC
5. 2,2 FUJITSU, DAIKIN
6. 2,0 CHOFU
7. 1,8 FOMA

**Vid utetemperatur -15°C / 100% effekt**

1. 2,3 TOSHIBA
2. 2,2 SANYO, SHARP
3. 2,1 MITSUBISHI MAXIMAN
4. 2,0 HITACHI, MITSUBISHI ELECTRIC
5. 1,9 PANASONIC
6. 1,8 FUJITSU
7. 1,6 FOMA, DAIKIN
8. 1,4 SHOFU

För utförlig och kompletta testresultat, gå in på Råd&Rön:s hemsida [www.radron.se](http://www.radron.se). Klicka på Tester. Klicka vidare på Test värmepump där de 4 senast testade aggregaten, bl.a. Mitsubishi Maximan är redovisade.

De första 8 testade aggregaten finns redovisade på Konsumentverkets hemsida [www.konsumentverket.se](http://www.konsumentverket.se).

## Referencer

/1/ Prøvningsresultater fra Statens Prøvningsanstalt i Sverige.

<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Tester/Testresultat/Luftluftvarmepumpar>

/2/ Elsparefondens og Teknologisk Instituts liste over luft-luft varmepumper pr 27-09-2010

/3/ Teknologisk Instituts positivliste pr 05-02-2004.

# Analyse af energi- og indeklimaforhold i eksisterende parcelhuse og sommerhuse

Af Rob March

## Introduktion

Den eksisterende boligmasse står for den største del af varmekonsumet i Danmark, og er derfor en oplagt fokus for varmebesparelser. Det er især tilfældet med de mange eksisterende boliger og sommerhuse som er elopvarmet, på grund af det høje CO<sub>2</sub>-udslip som forbindes med den danske elproduktion, og hvor brug af varmepumper kan være en energimæssig fordel. Samtidigt er det blevet dokumenteret at mange nyere lavenergiboliger har problemer med overophedning (Larsen, 2011), så det er også en relevant fokus at undersøge i hvilken grad varmebesparelser i eksisterende boliger giver problemer med overophedning. Denne analyse består derfor af tre del:

- Forudsætninger: En beskrivelse af det fælles grundlag for analyserne, inklusiv beskrivelser af de udvalgte boligtyper samt energi- og indeklimaforhold.
- Analyse af elbesparelspotentiale ved brug af varmepumper i eksisterende parcelhuse og sommerhuse.
- Analyse af årsager til overophedning i eksisterende parcelhuse og sommerhuse.

## Forudsætninger

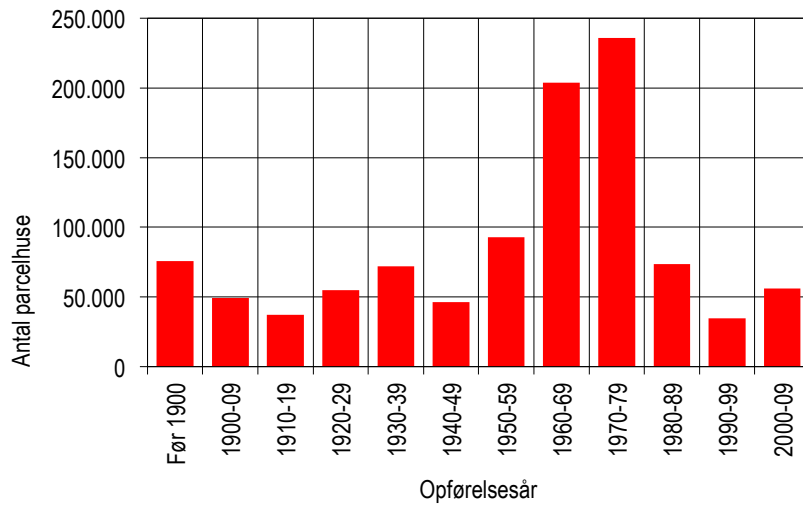
Som grundlag for analyserne er der defineret typiske boligtyper som afspejler den eksisterende bolig- og sommerhusmasse.

### Parcelhuse

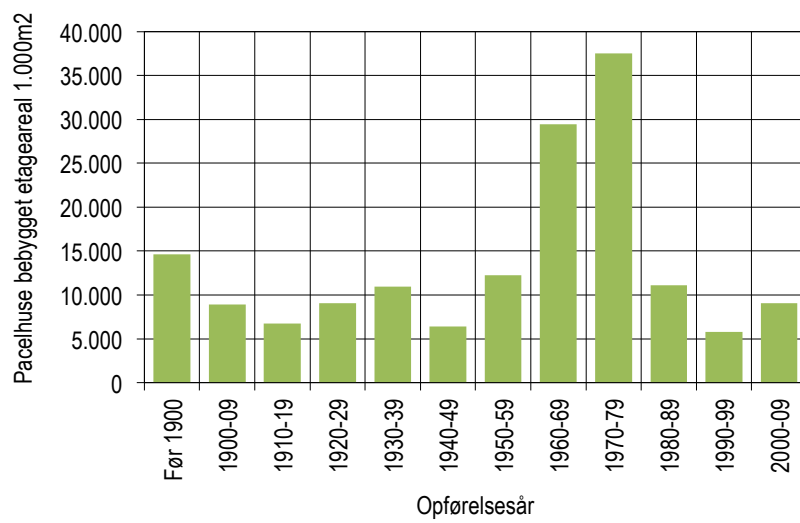
Parcelhuse repræsenterer den største andel af boligmassen med et samlet etageareal på 157 mio m<sup>2</sup>, svarende til 54 % af boligmassen. For parcelhuse er der valgt forskellige kendte typologier fra det nyere tidsrum som omfatter en stor andel af parcelhusmassen, og som afspejler tidens samfundsmæssige, arkitektoniske og byggetekniske udvikling. Der tages udgangspunkt i følgende fire typer:

Parcelhus- type	Antal opført	Andel af samlet	Bebygget etageareal 1.000 m <sup>2</sup>	Andel af samlet
1920'erne	54.500	5 %	9.000	6 %
1950'erne	93.100	9 %	12.200	8 %
1970'erne	235.800	23 %	37.500	23 %
2000'erne	56.000	5 %	9.000	6 %

Figur 1 viser antallet af parcelhuse opført i hvert årti fra 1900 til 2009, mens figur 2 viser det bebyggede etageareal i hvert årti.



Figur 1. Antal parcelhuse efter opførelsesår (Danmarks Statistik, 2011a).



Figur 2. Bebyggede etageareal for parcelhuse efter opførelsesår (Danmarks Statistik, 2011b).



For hvert parcelhus er der defineret en prototypisk model som afspejler den pågældende tids arkitektur og byggeteknik. Følgende grundparametre er brugt for de forskellige boligtyper:

Type	Opvarmet etageareal	Klimaskærmens U-værdi W/m <sup>2</sup> K	Facade	Tag	Terrændæk	Vinduer	Vinduesareal % af etageareal
1920'erne	118 m <sup>2</sup>	0,86	0,39	0,37		2,56	22 %
1950'erne	126 m <sup>2</sup>	0,84	0,32	0,36		2,50	19 %
1970'erne	128 m <sup>2</sup>	0,50	0,26	0,28		2,48	26 %
2000'erne	144 m <sup>2</sup>	0,20	0,15	0,15		1,50	22 %

Data om U-værdier stammer fra Wittchen (2008), mens data om etageareal og vinduesareal stammer fra Faber (1977) og Nygaard (1984). Det forudsættes at det største glasareal er orienteret mod syd. Fordelingen af glasarealerne er følgende:

Type	Glasareal fordelt på boligernes fire facader			
	Nord	Syd	Øst	Vest
1920'erne	6,69 m <sup>2</sup>	6,69 m <sup>2</sup>	7,40 m <sup>2</sup>	7,40 m <sup>2</sup>
1950'erne	7,65 m <sup>2</sup>	11,48 m <sup>2</sup>	2,04 m <sup>2</sup>	2,04 m <sup>2</sup>
1970'erne	12,24 m <sup>2</sup>	16,32 m <sup>2</sup>	2,04 m <sup>2</sup>	2,04 m <sup>2</sup>
2000'erne	11,48 m <sup>2</sup>	16,07 m <sup>2</sup>	2,04 m <sup>2</sup>	2,04 m <sup>2</sup>

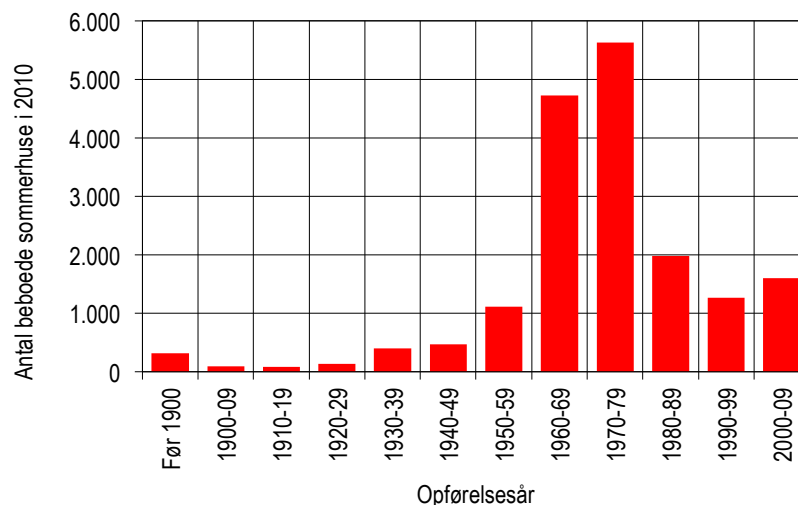
Der antages et typisk luftskifte ved naturlig ventilation på 0,3 l/s.m<sup>2</sup> om vinteren og 0,6 l/s.m<sup>2</sup> om sommeren. Der udføres energiberegninger med Be06 for parcelhusene som helårsboliger.

### Sommerhuse

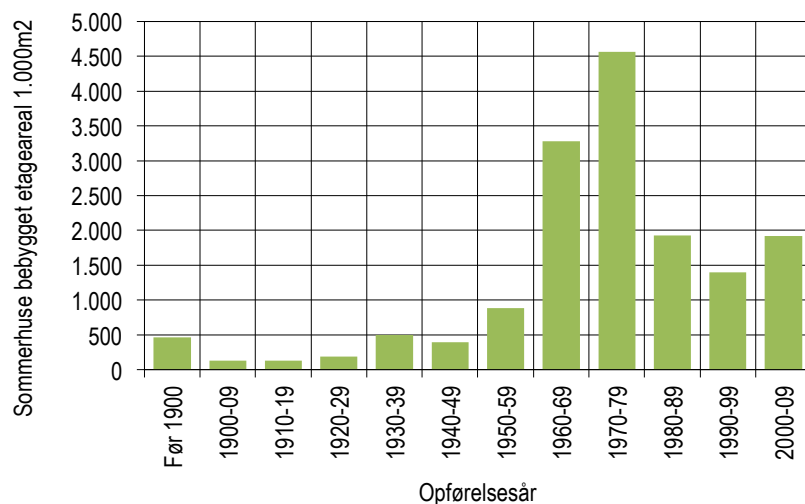
For sommerhusene er der også valgt forskellige typologier fra det nyere tidsrum som omfatter en stor andel af sommerhusmassen. Der tages udgangspunkt i følgende to typer:

Sommerhus-type	Antal opført	Andel af samlet	Bebygget etageareal 1.000 m <sup>2</sup>	Andel af samlet
1970'erne	5.600	32 %	4.500	29 %
2000'erne	1.600	9 %	1.900	12 %

Figur 3 viser antallet af beboede sommerhuse i 2010 opført i hvert årti fra 1900 til 2009, mens figur 4 viser det bebyggede etageareal i hvert årti. Antallet af sommerhuse stammer fra data om beboede sommerhuse, da der ikke findes faste tal om det samlede antal sommerhuse.



Figur 3. Antal beboede sommerhuse i 2010 efter opførelsesår (Danmarks Statistik, 2011a).



Figur 4. Bebyggede etageareal for sommerhuse efter opførelsesår (Danmarks Statistik, 2011b).

For hvert sommerhus er der også defineret en prototypisk model som afspejler den pågældende tids arkitektur og byggeteknik. Følgende grundparametre er brugt:

Type	Etageareal	Klimaskærmens U-værdi W/m <sup>2</sup> K			Vinduesareal	
		Facade	Tag	Terrændæk	Vinduer	% af etageareal
1970'erne	57 m <sup>2</sup>	0,36	0,34	0,37	2,80	37 %
2000'erne	77 m <sup>2</sup>	0,30	0,20	0,20	1,60	24 %

Data stammer fra Jensen (2006). Som udgangspunkt antages at det største glasareal er orienteret mod syd. Fordelingen af glasarealerne er følgende:

Type	Glasareal fordelt på boligernes fire facader			
	Nord	Syd	Øst	Vest
1970'erne	3,75 m <sup>2</sup>	13,50 m <sup>2</sup>	1,95 m <sup>2</sup>	1,95 m <sup>2</sup>
2000'erne	6,77 m <sup>2</sup>	9,02 m <sup>2</sup>	1,31 m <sup>2</sup>	1,31 m <sup>2</sup>

Der udføres to energiberegninger med Be06 for hvert sommerhus:

- Sommerforhold: Det antages at boligen er i konstant brug fra maj til september med typiske forbrugsmønstre for varme, varmt brugsvand og el. Der antages et højere luftskifte ved naturlig ventilation på 0,9 l/s.m<sup>2</sup>.
- Vinterforhold: Det antages at boligen ikke er i brug fra oktober til april, hvor der er nul forbrug til varmt brugsvand og el, men hvor indetemperaturen holdes på 5°C ved brug af elvarme og 10°C ved brug af varmepumper. Der antages et typisk luftskifte ved naturlig ventilation på 0,3 l/s.m<sup>2</sup>.

Det årlige forbrug opsummeres fra de to perioder. Resultaterne viser god overensstemmelse med empiriske og beregnede forbrug fra Jensen (2006).

# Analyse af elbesparelspotentiale ved brug af varmepumper i eksisterende parcelhuse og sommerhuse

## Beregningsparametre

Der er beregnet på alle parcel- og sommerhuse med følgende parametre:

### *Elvarme*

Det antages at parcel- og sommerhusene ligger udenfor fjernevarmenettet, og at der bruges elektricitet til opvarmning og varmt brugsvand. Energiforbruget til eliminering af en eventuel overtemperatur beregnes med Be06's standardforudsætninger som det ækvivalente elbehov til at eliminere temperaturer over 26 °C med et standard køleanlæg. Der bruges typiske data for brugsmønstre og de øvrige installationer.

### *Luft/luft varmepumpe*

For parcelhusene erstattes elvarmen med en luft/luft varmepumpe som bruges til opvarmning. Varmepumpen har en nominel COP på 3,3 (inkl. alle pumper, automatik mv.) og en relativ COP ved 50 % last på 1,0. Der bruges elektricitet til varmt brugsvand.

En eventuel overophedning antages fjernet ved brug af varmepumpen, som beskrives som et mekanisk køleanlæg med en virkningsgrad på 3,5 (inkl. alle pumper, automatik mv.) og en forøgelsesfaktor på 1,1 (som angiver hvor meget kølebehovet forøges på grund af vandudslag på kølefladen). Der bruges typiske data for brugsmønstre og de øvrige installationer.

## Resultater

På følgende sider vises resultaterne som søljedigrammer for både parcelhusene og sommerhusene. Alle resultater viser elforbruget, dvs. det vægtes ikke med faktor 2,5. Følgende generaliserede konklusioner kan drages:

- Alle boligtyper følger samme mønstre i forhold til de to parametre.
- Nyere boligtyper har en betydelig mindre opvarmningsbehov, men de har også en større tendens til overophedning og behov for køling.

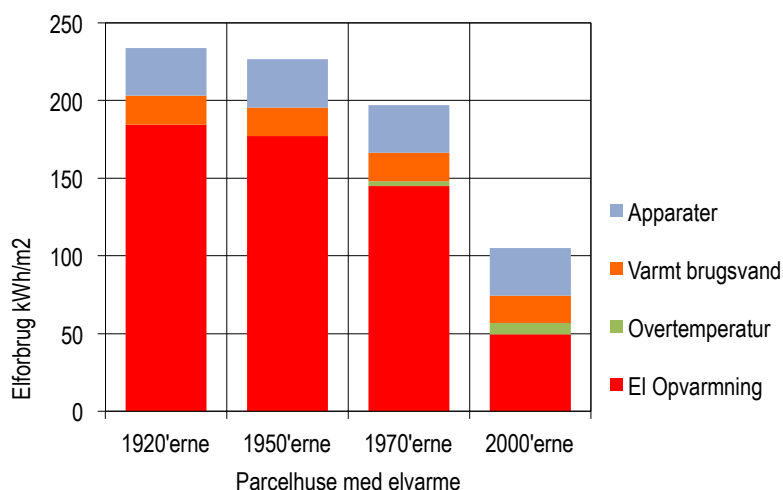
For parcelhusene kan følgende konklusioner drages:

- Varmepumper reducerer elforbruget til opvarmning med ca. 65 %.
- I de ældre parceltyper bliver det samlede elforbrug reduceret med ca 50 % ved brug af varmepumper.
- I den nyeste parcelhustype fra 2000'erne fylder opvarmning mindre i det samlede elforbrug på grund af det bedre isoleringsniveau. Det betyder at det samlede elforbrug kun bliver mindsket med ca. 30 % ved brug af varmepumper.
- Der er ingen overophedning i 1920'ernes og 1950'ernes parcelhuse. Overophedning i 1970'ernes parcelhus svarer til 5 % af året, dvs. ca. 18 dage om året med temperaturer over 26 °C. Overophedning i 2000'ernes parcelhus svarer til 13 % af året, dvs. ca. 47 dage om året over 26 °C.

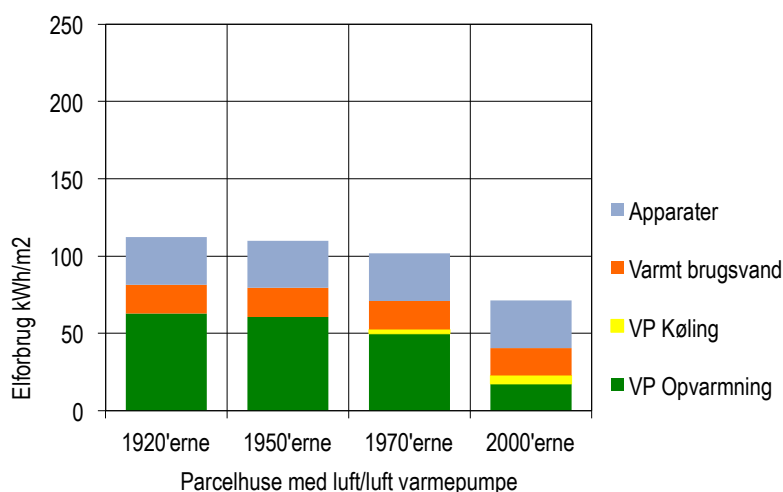
For sommerhusene kan følgende konklusioner drages:

- Elbesparelsen ved brug af varmepumper er forholdsvis lav fordi sommerhusene ikke bruges om vinteren og fordi minimumstemperaturen om vinteren er højere ved brug af varmepumper end ved elvarme (10°C ift. 5°C).
- I 2000'ernes sommerhus fylder opvarmning mindre i det samlede elforbrug på grund af den bedre isolering. Det betyder at det samlede elforbrug kun bliver reduceret med ca. 5 % ved brug af varmepumper.
- Der er ingen overophedning i 1970'ernes sommerhus. Overophedning i 2000'ernes sommerhus svarer til 5 % af året, dvs. ca. 18 dage om året med temperaturer over 26 °C.

## Resultater for parcelhusene



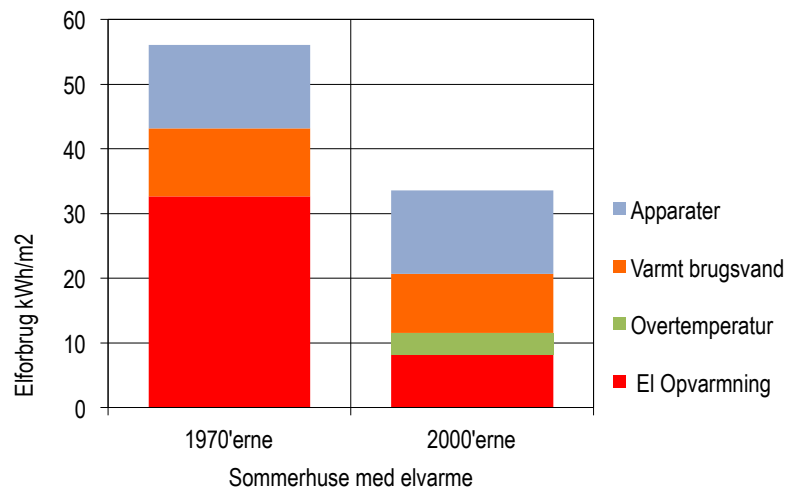
Figur 5. Beregnet elforbrug for parcelhuse med elvarme til opvarmning



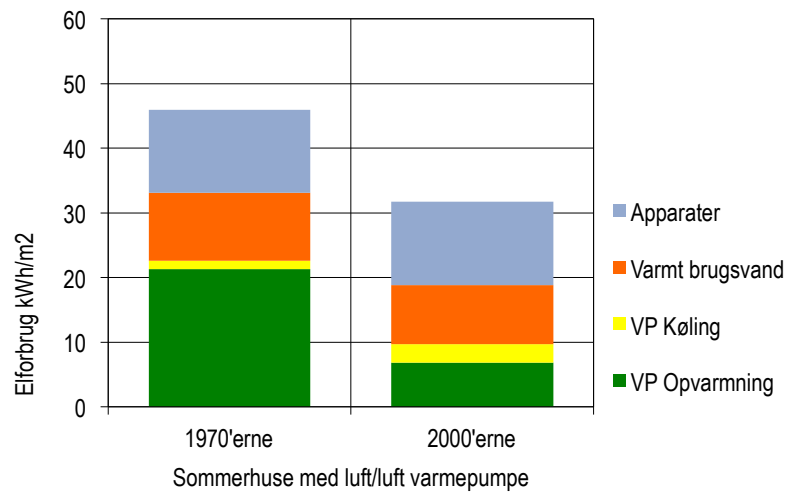
Figur 6. Beregnet elforbrug for parcelhuse med luft/luft varmepumpe til opvarmning

Parcelhustype	Elforbrug (kWh/m <sup>2</sup> )			
Med elvarme	1920'erne	1950'erne	1970'erne	2000'erne
Apparater	30,7	30,7	30,7	30,7
Varmt brugsvand	18,5	18,7	18,4	17,8
Overtemperatur	0,0	0,0	3,2	7,0
El opvarmning	184,5	144,0	144,8	49,6
I alt	233,7	226,4	197,0	105,0
<b>Med varmepumpe</b>				
Apparater	30,7	30,7	30,7	30,7
Varmt brugsvand	18,5	18,7	18,4	17,8
VP Køling	0,0	0,0	2,8	5,2
VP Opvarmning	63,0	60,6	49,8	17,5
I alt	112,2	110,0	101,8	71,2
<b>Elbesparelse ved brug af varmepumpe:</b>				
I opvarmning	66 %	66 %	66 %	65 %
I alt	52 %	51 %	48 %	32 %

## Resultater for sommerhusene



Figur 7. Beregnet elforbrug for sommerhuse med elvarme til opvarmning



Figur 8. Beregnet elforbrug for sommerhuse med luft/luft varmepumpe til opvarmning

Parcelhustype	Elforbrug (kWh/m <sup>2</sup> )	
	1970'erne	2000'erne
<b>Med elvarme</b>		
Apparater	12,8	12,8
Varmt brugsvand	10,5	9,1
Overtemperatur	0,0	3,4
El opvarmning	32,6	8,2
<b>I alt</b>	<b>56,0</b>	<b>33,5</b>
<b>Med varmepumpe</b>		
Apparater	12,8	12,8
Varmt brugsvand	10,5	9,1
VP Køling	1,3	2,9
VP opvarmning	21,3	6,8
<b>I alt</b>	<b>46,0</b>	<b>31,7</b>
<b>Elbesparelse ved brug af varmepumpe:</b>		
I opvarmning	35 %	17 %
<b>I alt</b>	<b>18 %</b>	<b>6 %</b>

# Analyse af årsager til overophedning i eksisterende parcelhuse og sommerhuse

## Beregningsparametre

En væsentlig faktor i boligens energiforbrug er variationer i elforbrug på grund af brugeradfærd (Gram-Hanssen, 2005). Et højt elforbrug kan have positive virkninger ved at minimere opvarmningsbehovet, men den kan også have en negativ effekt ved at skabe problemer med overophedning (Larsen, 2011). Denne analyse er derfor udført med tre elforbrugsprofiler for hver boligtype, svarende til et lavt, almindeligt (typisk) og højt elforbrug.

For *parcelhusene* reguleres elforbruget i Be06 ved at fastsætte forskellige profiler for apparaternes elforbrug. Data stammer fra ELMODEL-bolig's datasæt for danske parcelhuse for 2008 og 2010:

<u>Profil</u>	<u>Forbrug (kWh/m<sup>2</sup>)</u>	<u>Standard Deviation</u>
Typisk elforbrug	30,9	20,6 (+/- 66,7 %)
Lavt elforbrug (Typisk - SD)	10,3	
Højt elforbrug (Typisk + SD)	51,5	

For *sommerhusene* er størstedelen af elforbruget til opvarmning og varmt brugsvand. Elforsbrugsprofilerne opnås derfor ved at variere perioden hvor sommerhuset er i brug om sommeren:

<u>Profil</u>	<u>Brugsperioden om sommeren</u>
Lavt elforbrug	Juli
Typisk elforbrug	Maj - september
Højt elforbrug	April - oktober

For hver elforbrugsprofil udføres følgende variationer. Parametre B til E er altid variationer af grundmodel A, mens Parameter F er kumulativ.

### A: Default

De forskellige boligtyper beregnet med grunddata. Der antages at fjernvarme bruges til opvarmning og varmt brugsvand i parcelhusene, mens elforbruget bruges i sommerhusene.

Energiforbruget til eliminering af en eventuel overtemperatur beregnes med Be06's standardforudsætninger som det ækvivalente elbehov til at eliminere temperaturer over 26 °C med et standard køleanlæg. Der bruges typiske data for brugsmønstre og de øvrige installationer.

### B: Øst/vest orientering

Boliger kan have vidt forskelligt orienteringer. Husene drejes derfor 90° så det største glasareal orienteres mod vest, dvs. mod eftermiddagssolen.

### C: Solorientering

Fordelingen af glasarealer kan variere i forhold til typiske løsninger. Vinduesarealerne gøres derfor 50 % større mod syd og 50 % mindre mod nord.

### D: Energirenovering

Parcelhusenes klimaskærm energirenoveres til et niveau svarende til scenarie 1 i Wittchen (2009). I dette scenarie tages der udgangspunkt i investeringer i energibesparende foranstaltninger som forventes at have en rentabilitet som ligger inden for grænserne for hvad der kan tilbagebetales ved hjælp af energibesparelser inden for en periode af 15-25 år. Typologien fra 2000'erne energirenoveres ikke. Følgende U-værdier er brugt:

<u>Type</u>	<u>U-værdi:</u>	<u>Facade</u>	<u>Tag</u>	<u>Terrændæk</u>	<u>Vinduer</u>
1920'erne		0,56	0,23	0,34	1,65
1950'erne		0,57	0,21	0,34	1,65
1970'erne		0,46	0,21	0,28	1,59

Sommerhusenes klimaskærm energirenoveres til et niveau defineret i Jensen (2006). Der isoleres med 10 cm ekstra på taget, ligesom der finder en udskiftning sted af alle vinduer til lavenergiruder af nutidig standard. Isole-ringstykkelsen er valgt ud fra den standardtykkelse, der forekommer på byg-gemarkedet. Det skønnes urealistisk at der foretages merisolering i vægge og gulv, da dette vil være for omkosteligt. Typologien fra 2000'erne energi-renoveres ikke. Følgende U-værdier er brugt:

Type	U-værdi:	Facade	Tag	Terrændæk	Vinduer
1970'erne		0,36	0,18	0,47	1,60

#### *E: Klimaændring*

Energiberegninger foretages med klimadata svarende til det forventede klima i 2050 ifølge DMI's prognoser. Klimaændringer er beregnet på baggrund af gennemsnit af A2- og B2-scenarier fra Jørgensen, Christensen & May (2006), som svarer til en 1,4°C stigning både om vinteren og om sommeren. Man forventer at problemer med overophedning i eksisterende bygninger bliver løst i fremtid ved brug af mekanisk køleanlæg (Regeringen, 2008).

#### *F: Kumulativ effekt*

Der regnes på den kumulative effekt af parametre B til E.

### **Resultater**

På de følgende sider vises resultaterne som søljudiagrammer for både parcelhusene og sommerhusene. Alle resultater viser primærenergiforbrug som beskrevet i bygningsreglementet 2010, dvs. hvor varme vægtes med faktor 1,0 og strøm vægtes med faktor 2,5.

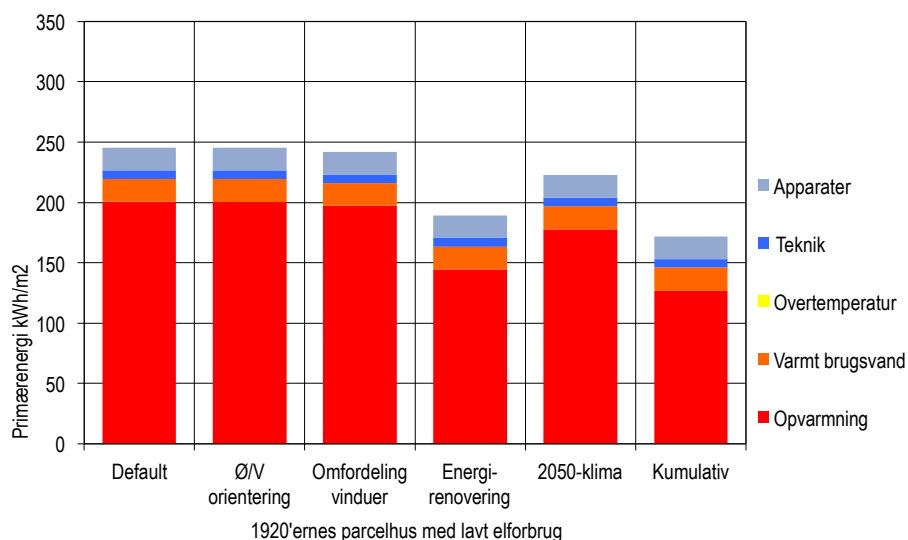
For parcelhusene kan følgende konklusioner drages:

- Et højere elforbrug resulterer i et reduceret opvarmningsbehov for alle parcelhustyper på tværs af alle parametre.
- For de nyere parcelhustyper (1970'ernes og 2000'ernes) resulterer et højere elforbrug i større problemer med overophedning og et voksende kølebehov.
- Nyere parcelhustyper (1970'ernes og 2000'ernes) har en større sandsynlighed for overophedning.
- En orientering af parcelhustyperne mod øst/vest resulterer i et højere opvarmningsbehov på grund af en reduceret udnyttelse af passiv solvarme om vinteren samt et højere kølebehov på grund af større problemer med overophedning på grund af den lave øst/vestvendte sol om for/eftermiddagen.
- For de ældre parcelhustyper med en omfordeling af glasarealerne mod syd er reduktionen i opvarmningsbehovet på grund af passiv solvarme større end væksten i overophedning.
- For de nyere parcelhustyper med en omfordeling af glasarealerne mod syd er reduktionen i opvarmningsbehovet på grund af passiv solvarme mindre end væksten i overophedning.
- Med stigende temperaturer på grund af klimaændringer i 2050 er resultatet en reduktion i energiforbrug. Opvarmningsbehovet falder hurtigere end overophedning stiger.

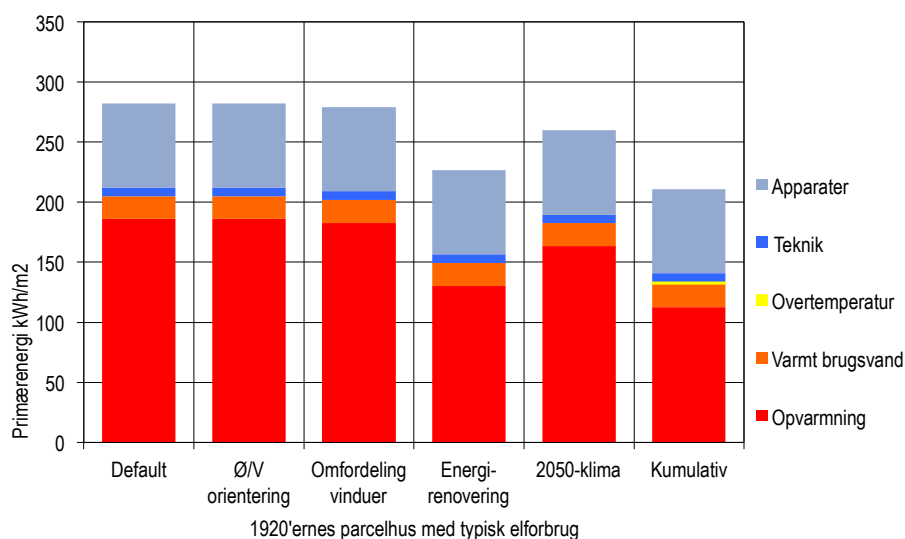
For sommerhusene kan følgende konklusioner drages:

- Brugsperioden er afgørende for elforbruget, hvor lange brugsperioder resulterer i et større forbrug.
- Nyere sommerhustyper (2000'ernes) har en større sandsynlighed for overophedning.
- Med stigende temperaturer på grund af klimaændringer i 2050 er resultatet en reduktion i energiforbrug. Opvarmningsbehovet falder hurtigere end overophedning stiger.

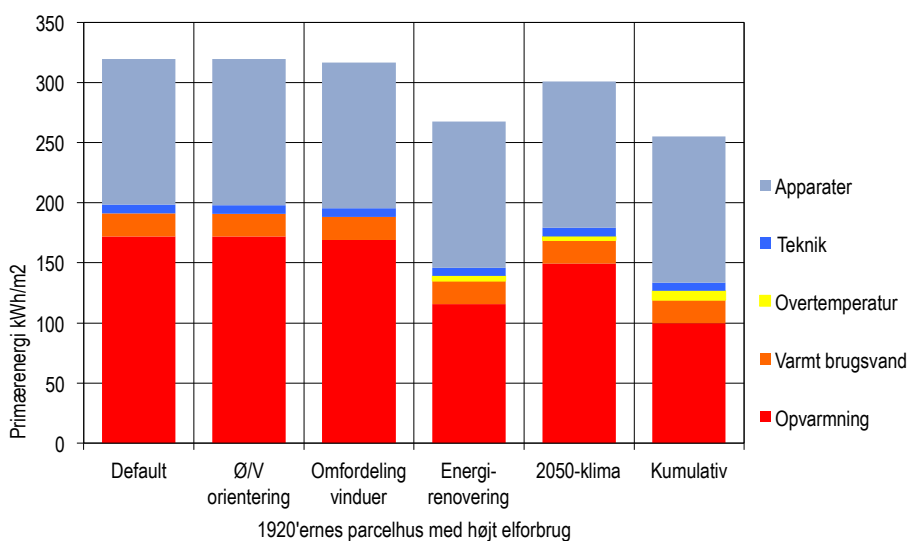
## Resultater for 1920'ernes parcelhus



Figur 9. Beregnet primærenergiforbrug for 1920'ernes parcelhus med lavt elforbrug



Figur 10. Beregnet primærenergiforbrug for 1920'ernes parcelhus med typisk elforbrug



Figur 11. Beregnet primærenergiforbrug for 1920'ernes parcelhus med højt elforbrug



**1920'ernes parcelhus**

**Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>)**

Lavt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- renovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,8
Teknik	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,0
Overtemperatur	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Varmt brugsvand	19,0	19,0	19,0	19,0	19,2	19,2
<b>Opvarmning</b>	<b>200,5</b>	<b>200,4</b>	<b>197,1</b>	<b>144,5</b>	<b>177,8</b>	<b>126,9</b>
I alt	245,3	245,2	241,9	189,3	222,8	171,9
Forskel ift. Default	-	0,0 %	-1,4 %	-22,8 %	-9,2 %	-29,9 %

Typisk elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- renovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	77,3	77,3	77,3	77,3	77,3	77,0
Teknik	7,3	7,3	7,3	7,3	7,0	6,8
Overtemperatur	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
Varmt brugsvand	19,0	19,0	19,0	19,0	19,2	19,2
<b>Opvarmning</b>	<b>186,0</b>	<b>185,9</b>	<b>182,8</b>	<b>130,2</b>	<b>163,3</b>	<b>112,5</b>
I alt	282,3	282,2	279,1	226,5	259,8	211,0
Forskel ift. Default	-	0,0 %	-1,1 %	-19,8 %	-8,0 %	-25,3 %

Højt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- renovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	121,5	121,5	121,5	121,5	121,5	121,8
Teknik	7,3	7,3	7,3	7,0	7,0	6,8
Overtemperatur	0,0	0,0	0,0	4,3	3,8	8,0
Varmt brugsvand	19,0	19,0	19,0	19,0	19,2	19,2
<b>Opvarmning</b>	<b>172,0</b>	<b>171,9</b>	<b>169,0</b>	<b>115,8</b>	<b>149,2</b>	<b>99,7</b>
I alt	319,8	319,7	316,8	267,6	300,7	255,2
Forskel ift. Default	-	0,0 %	-0,9 %	-16,3 %	-6,0 %	-20,2 %

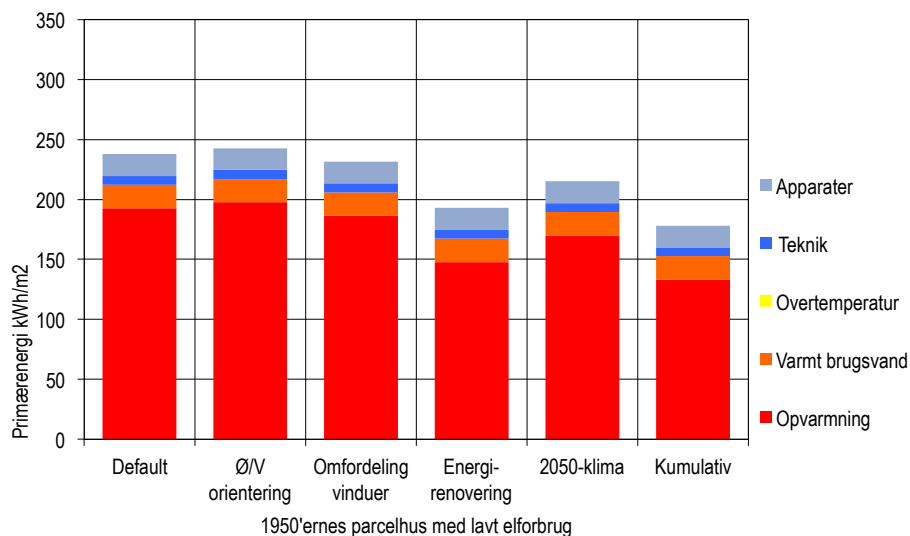
Lavt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	-	-	-	-	-	-
Opvarmning	8%	8%	8%	11%	9%	13%
I alt	-13%	-13%	-13%	-16%	-14%	-19%

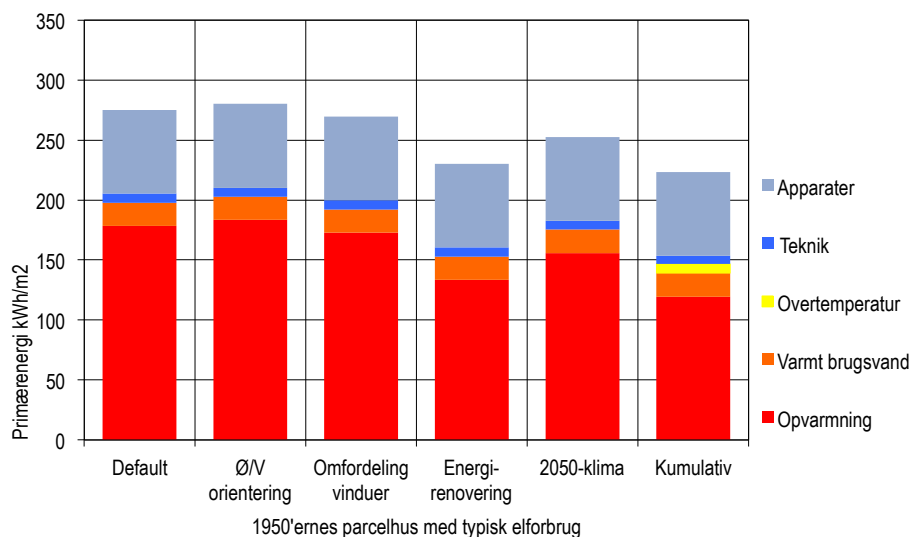
Højt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	-	-	-	-	-	256%
Opvarmning	-8%	-8%	-8%	-11%	-9%	-11%
I alt	13%	13%	14%	18%	16%	21%

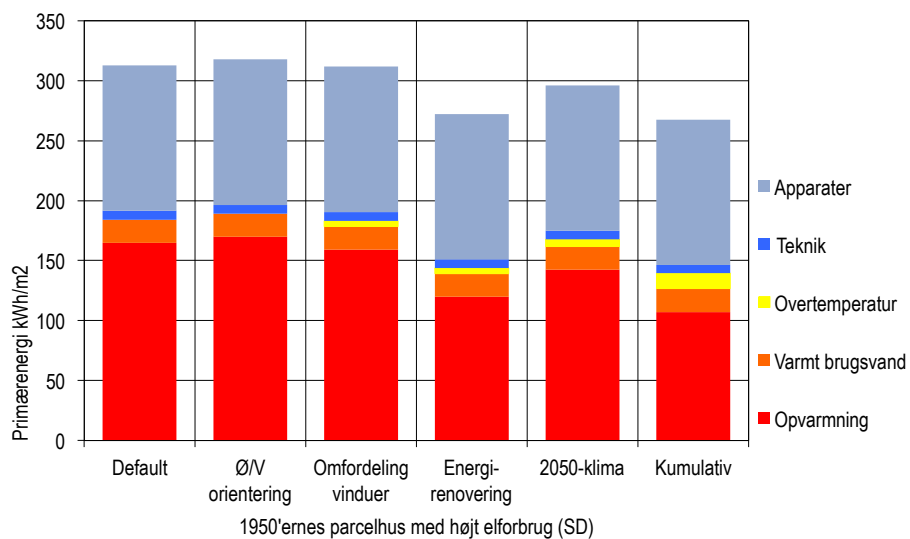
## Resultater for 1950'ernes parcelhus



Figur 12. Beregnet primærenergiforbrug for 1950'ernes parcelhus med lavt elforbrug



Figur 13. Beregnet primærenergiforbrug for 1950'ernes parcelhus med typisk elforbrug



Figur 14. Beregnet primærenergiforbrug for 1950'ernes parcelhus med højt elforbrug

**1950'ernes parcelhus**
**Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>)**

Lavt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- renovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
Teknik	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,3
Overtemperatur	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Varmt brugsvand	19,3	19,3	19,3	19,3	19,5	19,5
<b>Opvarmning</b>	<b>192,7</b>	<b>197,7</b>	<b>186,5</b>	<b>147,8</b>	<b>170,0</b>	<b>133,1</b>
I alt	237,8	242,8	231,6	192,9	215,3	178,1
Forskel ift. Default	-	2,1%	-2,6%	-18,9%	-9,5%	-25,1%

Typisk elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- renovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	69,8	69,8	69,8	69,8	69,5	69,8
Teknik	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,0
Overtemperatur	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
Varmt brugsvand	19,3	19,3	19,3	19,3	19,5	19,5
<b>Opvarmning</b>	<b>178,5</b>	<b>183,4</b>	<b>172,8</b>	<b>133,6</b>	<b>155,9</b>	<b>119,6</b>
I alt	275,1	280,0	269,4	230,2	252,4	223,4
Forskel ift. Default	-	1,8%	-2,1%	-16,3%	-8,2%	-18,8%

Højt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- renovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	121,3	121,3	121,0	121,3	121,0	121,3
Teknik	7,5	7,5	7,5	7,3	7,3	6,8
Overtemperatur	0,0	0,0	4,7	4,6	6,0	12,8
Varmt brugsvand	19,3	19,3	19,3	19,3	19,5	19,5
<b>Opvarmning</b>	<b>164,8</b>	<b>169,7</b>	<b>159,1</b>	<b>119,7</b>	<b>142,3</b>	<b>107,2</b>
I alt	312,9	317,8	311,6	272,1	296,1	267,5
Forskel ift. Default	-	1,6%	-0,4%	-13,0%	-5,4%	-14,5%

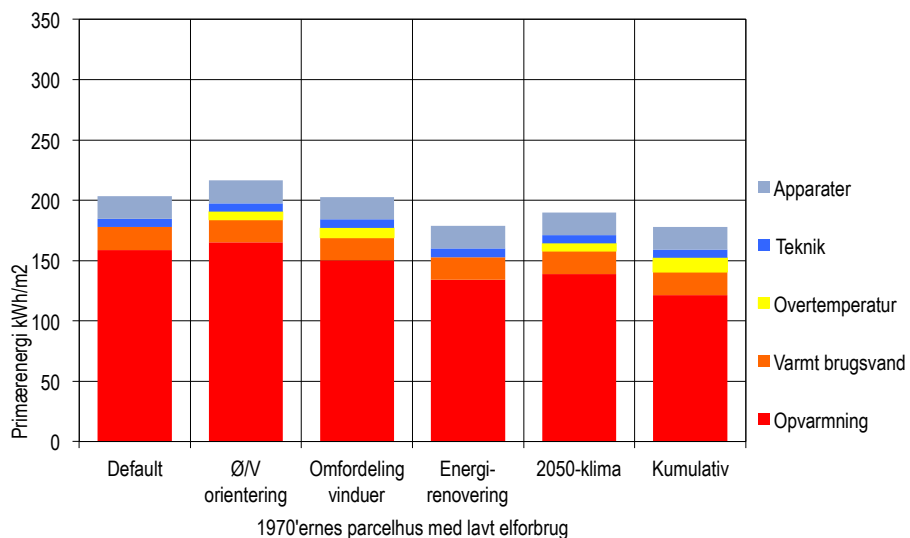
**Lavt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug**

Overtemperatur	-	-	-	-	-	-
Opvarmning	8%	8%	8%	11%	9%	11%
I alt	-14%	-13%	-14%	-16%	-15%	-20%

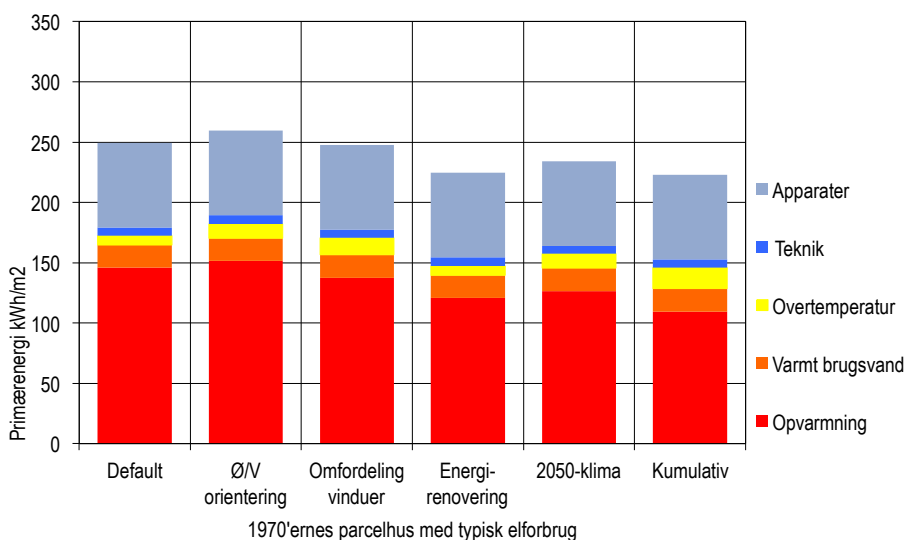
**Højt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug**

Overtemperatur	-	-	-	-	-	70%
Opvarmning	-8%	-7%	-8%	-10%	-9%	-10%
I alt	14%	14%	16%	18%	17%	20%

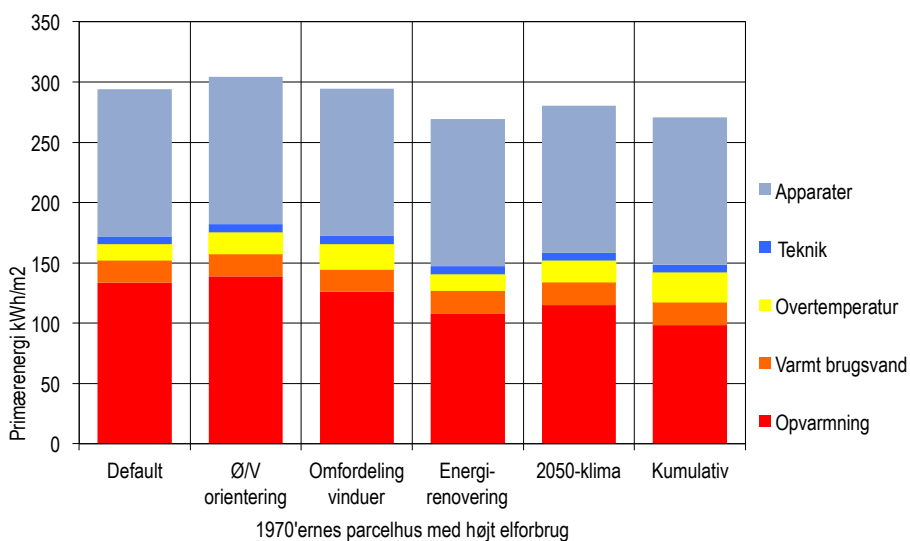
## Resultater for 1970'ernes parcelhus



Figur 15. Beregnet primærenergiforbrug for 1970'ernes parcelhus med lavt elforbrug



Figur 16. Beregnet primærenergiforbrug for 1970'ernes parcelhus med typisk elforbrug



Figur 17. Beregnet primærenergiforbrug for 1970'ernes parcelhus med højt elforbrug

**1970'ernes parcelhus**

**Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>)**

Lavt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	18,8	18,8	18,5	18,8	18,8	18,8
Teknik	7,0	7,0	7,0	7,0	6,8	6,5
Overtemperatur	0,0	6,6	8,2	0,0	6,3	12,3
Varmt brugsvand	18,9	18,9	18,9	18,9	19,1	19,1
<b>Opvarmning</b>	<b>159,0</b>	<b>165,2</b>	<b>150,1</b>	<b>134,0</b>	<b>138,9</b>	<b>121,2</b>
I alt	203,7	216,5	202,7	178,7	189,8	177,8
Forskel ift. Default	-	6,3%	-0,5%	-12,3%	-6,8%	-12,7%

Typisk elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3
Teknik	7,0	7,0	6,8	7,0	6,5	6,5
Overtemperatur	7,4	12,0	14,3	7,7	11,8	17,8
Varmt brugsvand	18,9	18,9	18,9	18,9	19,1	19,1
<b>Opvarmning</b>	<b>146,0</b>	<b>151,5</b>	<b>137,6</b>	<b>120,8</b>	<b>126,5</b>	<b>109,3</b>
I alt	249,6	259,7	247,8	224,7	234,1	222,9
Forskel ift. Default	-	4,0%	-0,7%	-10,0%	-6,2%	-10,7%

Højt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	122,0	122,0	122,0	122,0	122,0	122,0
Teknik	6,8	6,8	6,5	6,8	6,5	6,3
Overtemperatur	13,0	17,8	20,9	13,5	17,8	25,0
Varmt brugsvand	18,9	18,9	18,9	18,9	19,1	19,1
<b>Opvarmning</b>	<b>133,5</b>	<b>138,7</b>	<b>126,0</b>	<b>108,3</b>	<b>115,2</b>	<b>98,3</b>
I alt	294,2	304,2	294,3	269,5	280,6	270,7
Forskel ift. Default	-	3,4%	0,1%	-8,4%	-4,6%	-8,0%

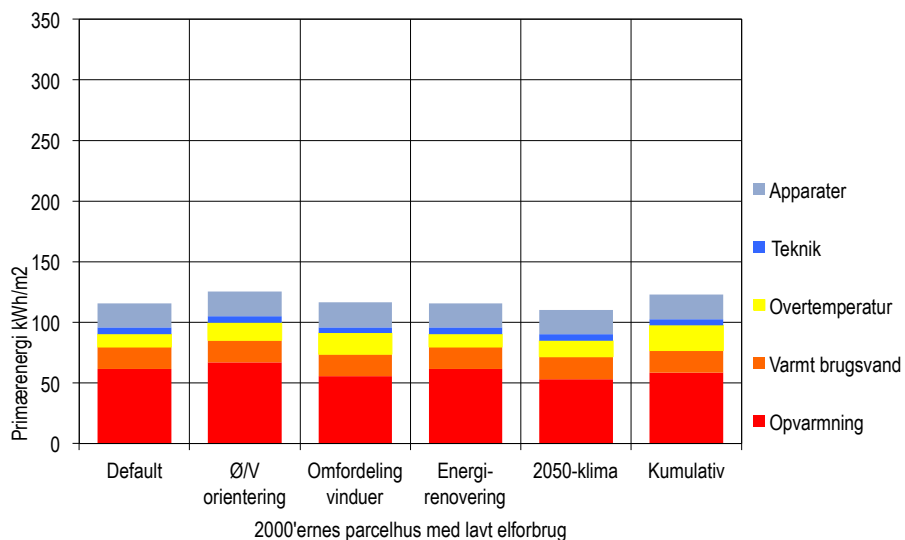
Lavt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	-	-45%	-43%	-	-47%	-31%
Opvarmning	9%	9%	9%	11%	10%	11%
I alt	-18%	-17%	-18%	-20%	-19%	-20%

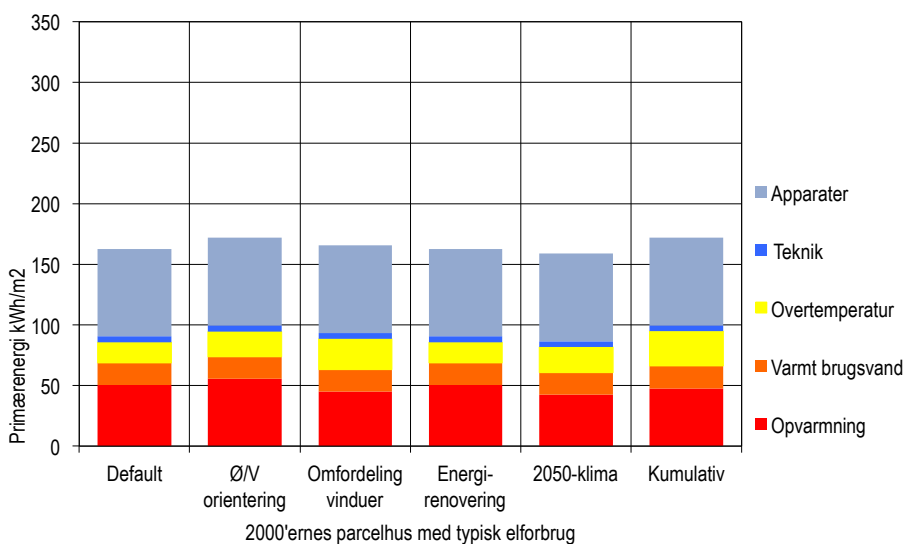
Højt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	76%	48%	46%	75%	51%	41%
Opvarmning	-9%	-8%	-8%	-10%	-9%	-10%
I alt	18%	17%	19%	20%	20%	21%

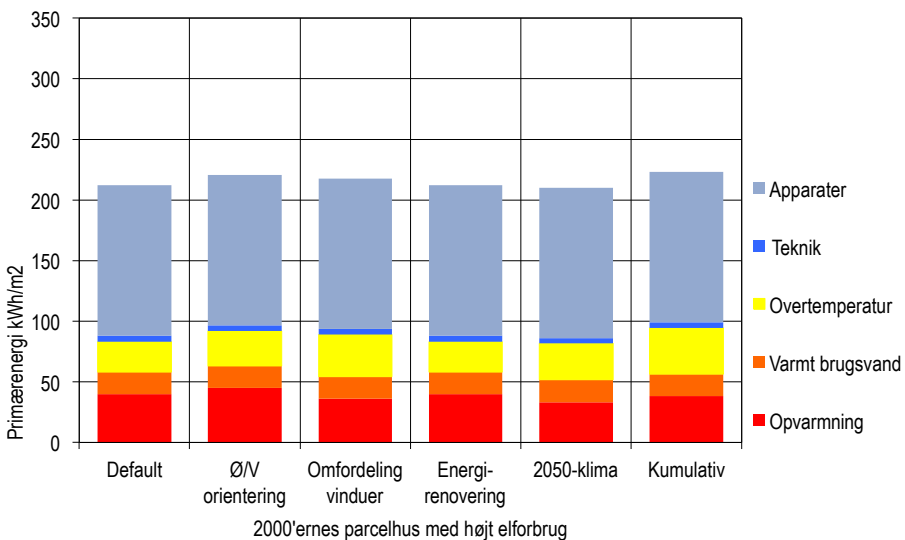
## Resultater for 2000'ernes parcelhus



Figur 18. Beregnet primærenergiforbrug for 2000'ernes parcelhus med lavt elforbrug



Figur 19. Beregnet primærenergiforbrug for 2000'ernes parcelhus med typisk elforbrug



Figur 20. Beregnet primærenergiforbrug for 2000'ernes parcelhus med højt elforbrug

**2000'ernes parcelhus**
**Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>)**

Lavt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	20,3	20,3	20,5	20,3	20,3	20,3
Teknik	5,5	5,5	5,0	5,5	5,3	5,0
Overtemperatur	10,3	14,2	17,3	10,3	13,3	20,8
Varmt brugsvand	18,2	18,2	18,2	18,2	18,4	18,4
<b>Opvarmning</b>	<b>61,6</b>	<b>67,2</b>	<b>55,5</b>	<b>61,6</b>	<b>53,2</b>	<b>58,5</b>
I alt	115,9	125,4	116,5	115,9	110,4	122,9
Forskel ift. Default	-	8,2%	0,6%	0,0%	-4,7%	6,1%

Typisk elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	72,3	72,3	72,3	72,3	72,3	72,3
Teknik	5,0	5,0	4,8	5,0	4,8	4,8
Overtemperatur	17,0	21,0	25,4	17,0	21,0	28,8
Varmt brugsvand	18,2	18,2	18,2	18,2	18,4	18,4
<b>Opvarmning</b>	<b>50,3</b>	<b>55,4</b>	<b>44,9</b>	<b>50,3</b>	<b>42,3</b>	<b>47,7</b>
I alt	162,8	171,9	165,5	162,8	158,7	171,9
Forskel ift. Default	-	5,6%	1,7%	0,0%	-2,5%	5,6%

Højt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	124,0	124,0	124,0	124,0	124,0	123,8
Teknik	4,8	4,8	4,5	4,8	4,5	4,8
Overtemperatur	25,1	29,0	34,8	25,1	30,0	38,0
Varmt brugsvand	18,2	18,2	18,2	18,2	18,4	18,4
<b>Opvarmning</b>	<b>40,0</b>	<b>44,8</b>	<b>36,0</b>	<b>40,0</b>	<b>33,3</b>	<b>38,2</b>
I alt	212,1	220,8	217,5	212,1	210,2	223,1
Forskel ift. Default	-	4,1%	2,6%	0,0%	-0,9%	5,2%

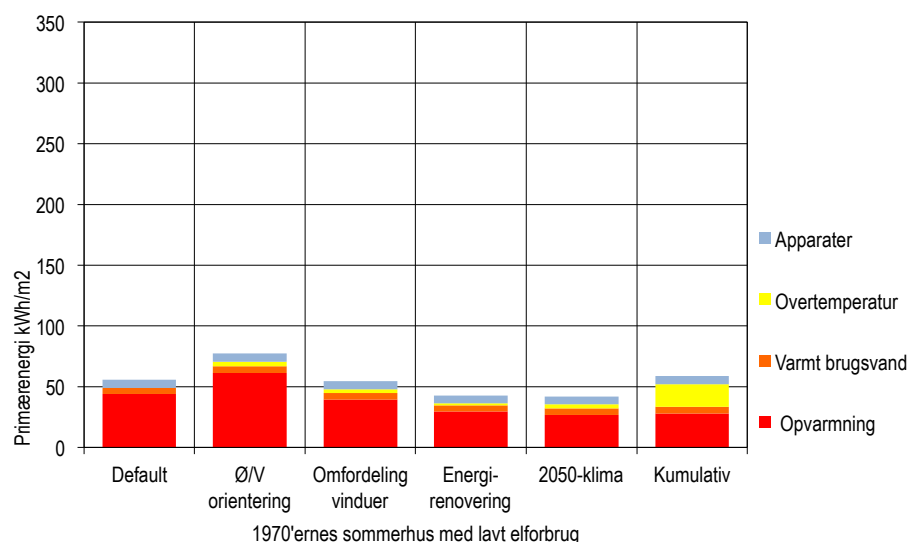
**Lavt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug**

Overtemperatur	-39%	-32%	-32%	-39%	-37%	-28%
Opvarmning	22%	21%	24%	22%	26%	23%
I alt	-29%	-27%	-30%	-29%	-30%	-28%

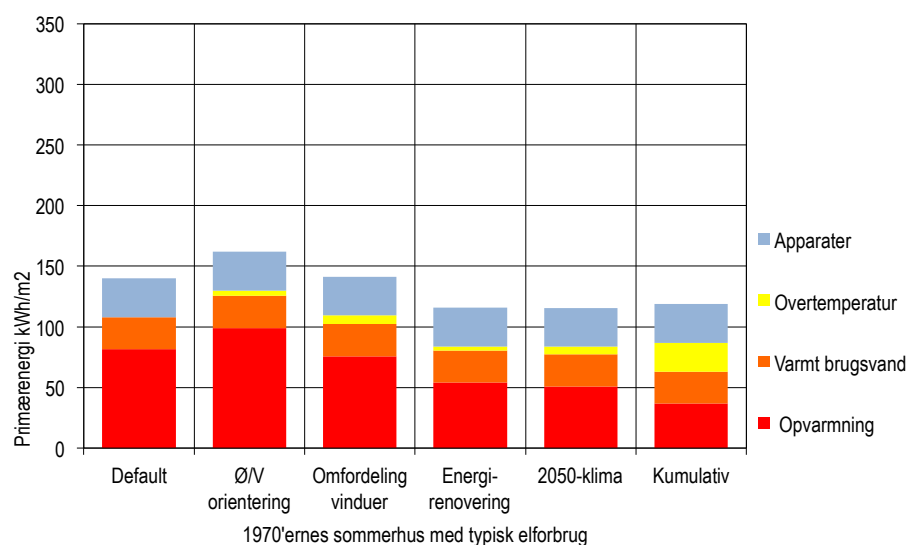
**Højt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug**

Overtemperatur	48%	38%	37%	48%	43%	32%
Opvarmning	-20%	-19%	-20%	-20%	-21%	-20%
I alt	30%	28%	31%	30%	32%	30%

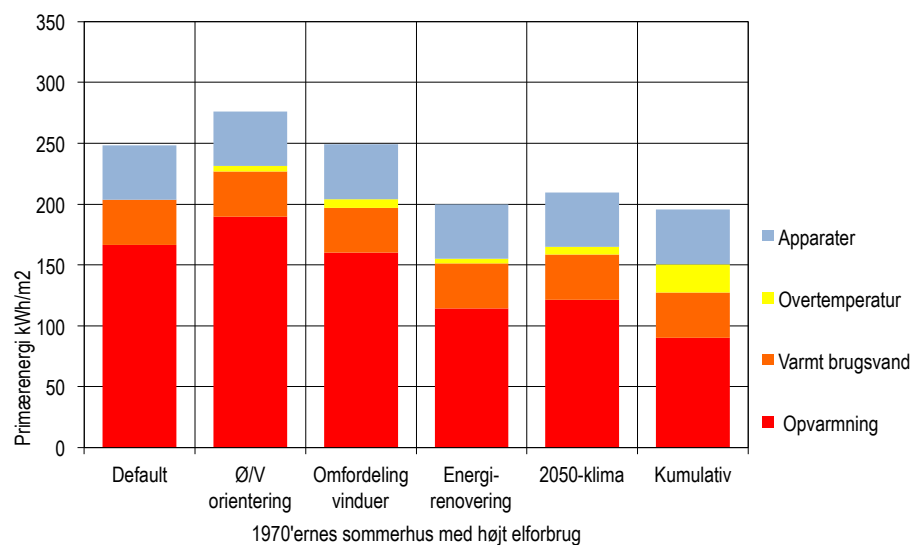
## Resultater for 1970'ernes sommerhus



Figur 21. Beregnet primærenergiforbrug for 1970'ernes sommerhus med lavt elforbrug



Figur 22. Beregnet primærenergiforbrug for 1970'ernes sommerhus med typisk elforbrug



Figur 23. Beregnet primærenergiforbrug for 1970'ernes sommerhus med højt elforbrug



**1970'ernes sommerhus**

**Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>)**

Lavt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Overtemperatur	0,0	4,0	3,2	1,6	3,5	18,8
Varmt brugsvand	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
<b>Opvarmning</b>	<b>43,9</b>	<b>61,4</b>	<b>39,5</b>	<b>29,4</b>	<b>26,8</b>	<b>28,1</b>
I alt	55,6	77,2	54,4	42,7	42,0	58,6
Forskel ift. Default	-	38,8%	-2,2%	-23,2%	-24,5%	5,4%

Typisk elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1
Overtemperatur	0,0	4,6	7,2	3,7	6,4	23,4
Varmt brugsvand	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
<b>Opvarmning</b>	<b>81,6</b>	<b>99,1</b>	<b>75,9</b>	<b>53,9</b>	<b>50,9</b>	<b>36,8</b>
I alt	140,0	162,1	141,5	116,1	115,7	118,7
Forskel ift. Default	-	15,8%	1,1%	-17,1%	-17,4%	-15,2%

Højt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9
Overtemperatur	0,0	4,6	7,2	3,7	6,4	23,4
Varmt brugsvand	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8
<b>Opvarmning</b>	<b>166,7</b>	<b>189,9</b>	<b>160,1</b>	<b>114,5</b>	<b>121,5</b>	<b>90,4</b>
I alt	248,4	276,2	249,0	199,9	209,6	195,5
Forskel ift. Default	-	11,2%	0,2%	-19,5%	-15,6%	-21,3%

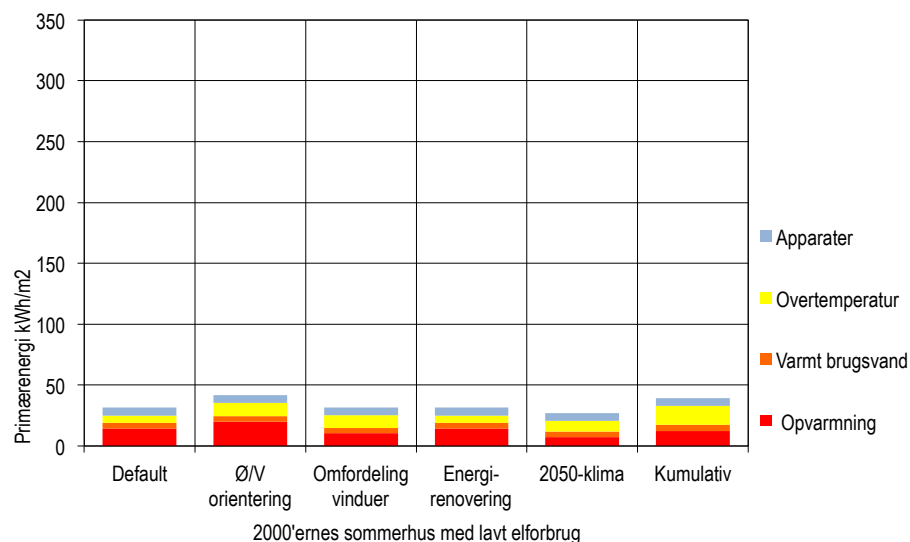
Lavt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	-	-12%	-56%	-57%	-46%	-20%
Opvarmning	-46%	-38%	-48%	-46%	-47%	-24%
I alt	-60%	-52%	-62%	-63%	-64%	-51%

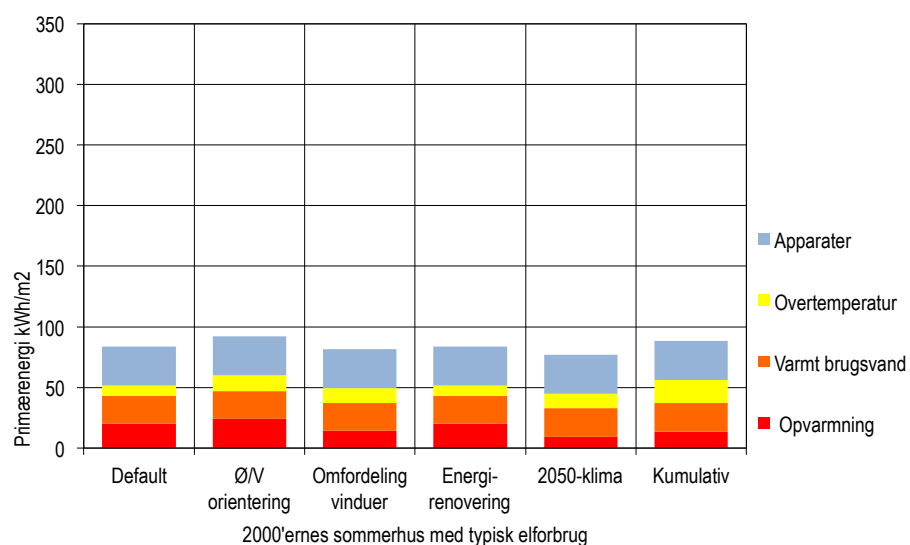
Højt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	-	0%	0%	0%	0%	0%
Opvarmning	104%	92%	111%	112%	139%	145%
I alt	77%	70%	76%	72%	81%	65%

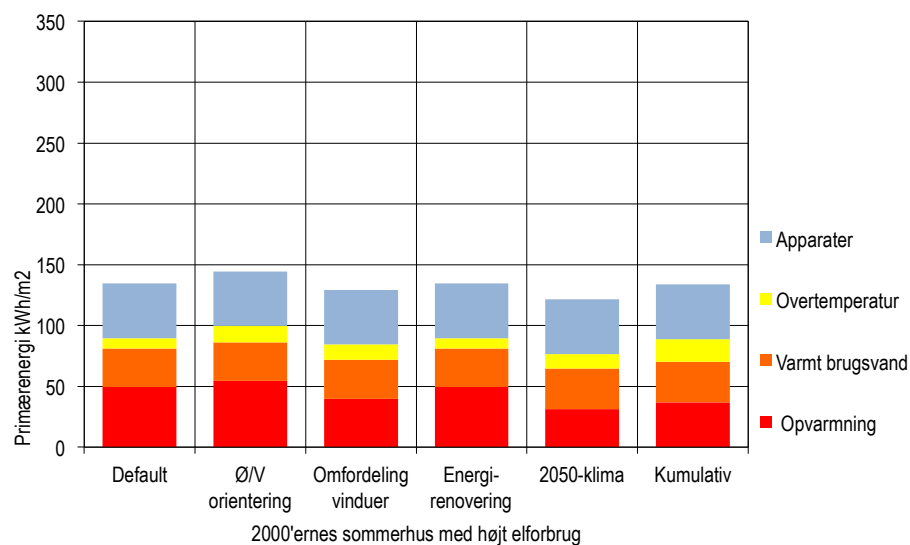
## Resultater for 2000'ernes sommerhus



Figur 24. Beregnet primærenergiforbrug for 2000'ernes sommerhus med lavt elforbrug



Figur 25. Beregnet primærenergiforbrug for 2000'ernes sommerhus med typisk elforbrug



Figur 26. Beregnet primærenergiforbrug for 2000'ernes sommerhus med højt elforbrug

**2000'ernes sommerhus**

**Primærenergiforbrug (kWh/m<sup>2</sup>)**

Lavt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Overtemperatur	6,1	11,0	10,3	6,1	8,6	15,5
Varmt brugsvand	4,5	4,5	4,5	4,5	4,9	4,9
<b>Opvarmning</b>	<b>14,3</b>	<b>19,8</b>	<b>10,4</b>	<b>14,3</b>	<b>7,1</b>	<b>12,3</b>
I alt	31,5	41,9	31,7	31,5	27,1	39,3
Forskel ift. Default	-	33,2%	0,8%	0,0%	-13,7%	24,8%

Typisk elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2
Overtemperatur	8,4	13,1	12,6	8,4	11,9	18,7
Varmt brugsvand	22,7	22,7	22,7	22,7	23,7	23,7
<b>Opvarmning</b>	<b>20,5</b>	<b>24,4</b>	<b>14,3</b>	<b>20,5</b>	<b>9,1</b>	<b>13,6</b>
I alt	83,8	92,4	81,8	83,8	76,9	88,2
Forskel ift. Default	-	10,2%	-2,4%	0,0%	-8,3%	5,3%

Højt elforbrug	Default	Ø/V orientering	Omfordel vinduer	Energi- reovering	2050- klima	Kumulativ
Apparater	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
Overtemperatur	8,4	13,1	12,6	8,4	11,9	18,7
Varmt brugsvand	31,8	31,8	31,8	31,8	33,1	33,1
<b>Opvarmning</b>	<b>49,4</b>	<b>54,5</b>	<b>39,9</b>	<b>49,4</b>	<b>31,5</b>	<b>37,0</b>
I alt	134,6	144,5	129,4	134,6	121,5	133,8
Forskel ift. Default	-	7,3%	-3,9%	0,0%	-9,7%	-0,6%

Lavt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	-28%	-16%	-19%	-28%	-28%	-17%
Opvarmning	-30%	-19%	-27%	-30%	-21%	-10%
I alt	-62%	-55%	-61%	-62%	-65%	-56%

Højt elforbrug forskel ift Typisk elforbrug

Overtemperatur	-	0%	0%	0%	0%	0%
Opvarmning	141%	124%	180%	141%	246%	171%
I alt	61%	56%	58%	61%	58%	52%

## Referencer

Danmarks Statistik (2011a). *BOL22: Beboede boliger efter område, anvendelse, areal og opførelsesår*. København. Lokaliseret 20110412 på: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1024>.

Danmarks Statistik (2011b). *BYGB33: Bygningsbestandens areal efter område, boligart, opførelsesår og installationsforhold*. København. Lokaliseret 20110412 på: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1024>.

Faber, T. (1977). *Dansk Arkitektur* (2. rev. udg.). København: Arkitektens Forlag.

Gram-Hanssen, K. (2005). *Husholdningers elforbrug - hvem bruger hvor meget, til hvad og hvorfor?* (SBI: 2005:12). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Jensen, O.M. (red.) (2006). *Elforbrug i sommerhuse. Fremskrivning og scenarier*. SBI 2006:06. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Jørgensen, A.M., Christensen, O.B. & May, W. (2006). *Klimascenarier for Danmark (Projektrapport)*. København: Danmarks Meteorologiske Institut.

Larsen, T.S. (2011). *Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri*. (DCE Contract Report No. 100). Aalborg: Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg.

Nygaard, E. (1984) *Tag over hovedet*. København: Arkitektens Forlag.

Regeringen (2008). *Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark*. København: Energistyrelsen.

Wittchen, K. (2009) *Potentelle energibesparelser i det eksisterende byggeri*. SBI 2009:05. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.





Denne rapport sammenfatter resultaterne af projektet 'Varmepumper og elforbrug – betydningen af ændrede komforttemperaturer'. Projektets resultater har været præsenteret på tre internationale forskningskonferencer, og nærværende rapport indeholder disse tre konferencepapirer, delrapporter fra projektets forskellige delanalyser samt en kort sammenfatning af resultaterne.

1. udgave, 2011

ISBN 978-87-563-1548-7