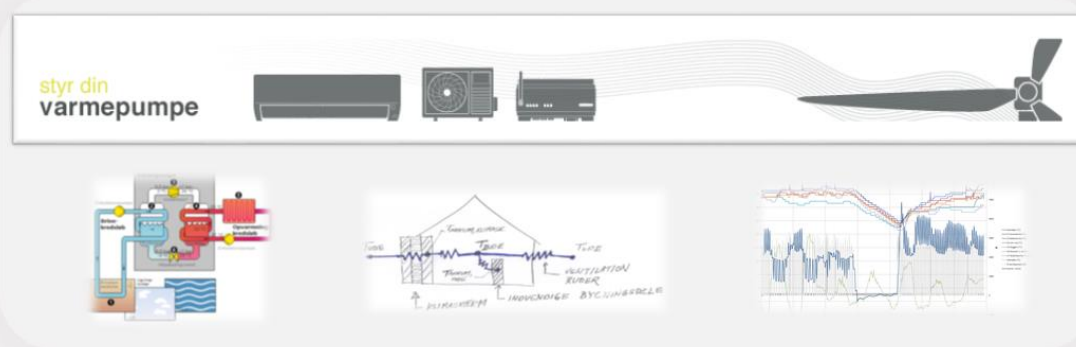


# Varmepumper – et aktiv i fremtidens energisystem

“VAFE”



## Bilagsrapport

# Tvangsstoptest af varmepumper

PSO ForskEl projekt nr. 2010-1-10490

Juni 2015

Teknologisk Institut  
Køle- og Varmepumpeteknik

# **Varmepumper – et aktiv i fremtidens energisystem**

**“VAFE”**

## **Bilagsrapport**

**Lars Olsen**

**Søren Poulsen**

**Frederik Bramsen**

**Køle- og Varmepumpeteknik**

**Teknologisk Institut**

**Juni 2015**

## Forord

I bilaget beskrives og analyseres en række resultater fra test af varmepumper, hvor varmepumperne stoppes i en periode. Rapporten indgår som en del af et projekt, hvor varmepumper anvendes som en del af et fleksibelt elsystem.

Husene, som ligger til baggrund for data og analyser, er anonymiseret i rapporten, hvilket betyder, at de anvendte ID-koder ikke er direkte sammenlignelige med ID-koder anvendt i databasen for de 300 demoanlæg i ”Styr din Varmepumpe”, [www.styrdinvarmepumpe.dk](http://www.styrdinvarmepumpe.dk). Personer med autorisation til at arbejde med stamdata og måledata i databasen kan få en liste med de rigtige koder.

Følgende personer har deltaget i denne del af projektet:

Lars Olsen, civilingeniør, ph.d., Teknologisk Institut (ansvarlig)

Søren Poulsen, civilingeniør, Teknologisk Institut

Frederik Bramsen, Studentermedhjælper, Teknologisk Institut

Bilaget er udarbejdet som et led i gennemførelsen af projektet ”Varmepumper – et aktiv i fremtidens energisystem” (VAFE).

Projektet er støttet af PSO ForskEl og har projekt nr. 2010-1-10490.

VAFE er gennemført af Teknologisk Institut (projektledelse), Varmepumpefabrikantforeningen, SEAS-NVE, SE (tidl. Syd Energi) samt en lang række varmepumpefabrikanter og -leverandører.

For en beskrivelse af projektet VAFE henvises til slutrapporten:

[www.teknologisk.dk/projekter/projekt-varmepumper-et-aktiv-i-fremtidens-energisystem-vafe/31366](http://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-varmepumper-et-aktiv-i-fremtidens-energisystem-vafe/31366)

”Varmepumper – et aktiv i fremtidens energisystem (VAFE), slutrapport 1. udgave, juni 2015

Køle- og Varmepumpeteknik

Energi og Klima

© Teknologisk Institut

# Indhold

<b>Forord</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Introduktion til målingerne</b> .....	<b>5</b>
1.1 Udvalgelse af måleserier.....	5
1.1.1 Huse med detaljerede målinger .....	5
1.1.2 Huse med én temperatursensor.....	6
1.2 Analysemetode .....	6
1.2.1 Tidskonstanter i bygninger .....	6
1.2.2 Eksempel på tidskonstanter .....	6
1.2.3 Tidskonstanter bestemt fra måldata .....	7
1.2.4 Teoretisk tidskonstant.....	7
1.3 Analyse af målte data .....	8
<b>2 Resultater fra huse med detaljerede målinger</b> .....	<b>10</b>
2.1 Hus nr. 5791 .....	10
2.2 Hus nr. 8480 .....	14
2.3 Hus nr. 431 .....	18
2.4 Hus nr. 1590 .....	27
2.5 Hus nr. 8331 .....	30
<b>3 Huse med én temperatursensor</b> .....	<b>37</b>
3.1 Hus nr. 919 .....	37
3.2 Hus nr. 3501 .....	41
3.3 Hus nr. 2201 .....	44
3.4 Hus nr. 1041 .....	47
3.5 Hus nr. 178 .....	49
3.6 Hus nr. 7591 .....	51
3.7 Hus nr. 8291 .....	53
3.8 Hus nr. 141 .....	55
3.9 Hus nr. 2501 .....	57
3.10 Hus nr. 496 .....	62
3.11 Hus nr. 1391 .....	65
3.12 Hus nr. 3781 .....	69
<b>4 Resultater</b> .....	<b>71</b>
4.1 Sammenligning af temperaturforløb.....	71
4.2 Sammenfatning af målinger.....	72
4.3 Teoretisk estimerede tidskonstanter. ....	74
4.4 Analyse af tidskonstanter.....	77
4.4.1 Huse med detaljerede målinger .....	77
4.4.2 Konklusioner ved huse med detaljerede målinger.....	79
4.4.3 Huse med enkelte målinger .....	80
4.4.4 Konklusion på baggrund af enkeltmålinger .....	82
4.5 Samlet opsummering .....	84
<b>5 Referenceliste</b> .....	<b>85</b>

# 1 Introduktion til målingerne

I dette bilag er detaljeret beskrevet en række test udført i et antal gængse huse med varmepumper, hvor varmepumpen bevidst er stoppet i et tidsrum for at kunne undersøge forløbet af faldet i rumtemperaturerne.

Formålet med testene er at opnå viden om huses varmelagringssevne. Den har betydning for, om og hvor lang tid en varmepumpes drift kan tidsforskydes ud fra præmissen om, at det ikke må gå ud over brugerens temperaturkomfort. Jo større varmelagringssevne, desto større mulig tidsforskydning og dermed potentiale for at tilbyde fleksibilitet i forhold til elforsyningen.

Resultaterne analyseres både ud fra et afkølings- og et genopvarmningsforløb. De undersøgte afkølingsforløb har en varighed på 3 til 12 timer. Forløbet af rumtemperaturfaldet er karakteriseret ved:

- En tidsforsinkelse før rumtemperaturen begynder at falde i forhold til stoppet af varmepumpen
- En tidskonstant for rumtemperaturen, der udtrykker, hvor hurtigt rumtemperaturen falder i forhold til udetemperaturen.

Der ses også på genopvarmningsforløbet, der viser, hvor hurtigt rumtemperaturen stiger igen i forhold til setpunktstemperaturen, som antages at være rumtemperaturen før varmepumpestoppet.

Ved målingerne kan der også observeres forhold vedrørende regulering af rumtemperaturer og af varmepumpen.

Målingerne og analyserne er opdelt i to grupper af huse:

I den første gruppe er der installeret ekstra måleudstyr og udført detaljerede målinger i 5 huse, hvor der er afbrudt for varmen i et vist tidsrum (huse med detaljerede målinger). I denne gruppe af målinger er der målt rumtemperaturer i flere rum.

I den næste gruppe af huse er der udvalgt 9 huse, hvor der er installeret standardudgaven af måleudstyret (huse med én temperatursensor). I disse huse er der målt rumtemperaturer i ét rum. Blandt disse huse er der udvalgt et antal måleperioder med afbrydelse af varmen, hvor data er blevet analyseret.

## 1.1 Udvalgelse af måleserier

### 1.1.1 Huse med detaljerede målinger

I denne gruppe er måleserierne udvalgt i de perioder, hvor der har været afbrudt for eltilførslen for varmepumperne. Selve udvælgelsen af husene er sket for at sikre en variation af bygningstyper og fabrikat af varmepumper. Der er udvalgt en periode for hvert hus, som er undersøgt nærmere.

### 1.1.2 Huse med én temperatursensor

For at kunne udvælge måleserier i denne gruppe er der benyttet en procedure som beskrevet nedenfor. Firmaet Neogrid har leveret en logfil med 65.000 scenarier over styring af varmepumper placeret i hele landet. Start-stop scenarierne har fundet sted i perioden fra 2012-2014 og er af variabel længde og tid på dagen. Logfilen er benyttet til at opstille følgende kriterier for udvælgelsen af relevante måleserier for analyse af tidskonstanter for de givne huse:

- Periodelængden mellem start og stop af varmepumpen er mellem 3 og 12 timer. Baggrunden er, at der i næsten alle tilfælde kan accepteres en afbrydelse af varmepumpen på op til 3 timer. En afbrydelse, der er større end 12 timer, vil normalt ikke være relevant.
- Varmepumpestoppet er sat i gang efter kl. 16.00 og før kl. 05.00. Lange perioder, som går fra tidlig morgen og ud på eftermiddagen, er fravalgt for at undgå for store forstyrrelser fra solindfald gennem vinduerne.
- De udvalgte måleserier ligger i månederne fra november og frem til marts for at have tilstrækkeligt lave udetemperaturer. Helst 5 °C eller lavere. I nogle af tilfældene har det vist sig nødvendigt at medtage målinger med udetemperaturer et par grader over det ønskede. Ved efterfølgende at se på de udvalgte data, kunne det konstateres, at afbrydelserne i perioden december til marts har været af relativt kort varighed. Typisk mindre end 4 timer. Derfor er der også udvalgt en række eksempler i månederne november 2013 og april 2014.

## 1.2 Analysemetode

Den nøgleparameter, der er fokus på i analyserne, er hastigheden af faldet af rumtemperaturerne. På grundlag af forløbet af rumtemperaturerne bedømmes tidskonstanter fra måledata. Der bestemmes ligeledes teoretiske tidskonstanter ud fra informationer om de specifikke huse.

### 1.2.1 Tidskonstanter i bygninger

Tidskonstanterne er opstillet ud fra teori omkring varmelagring i bygninger og giver et simplificeret udtryk for temperaturfaldet i afhængighed af udetemperaturen  $\theta_e$ . Tidskonstanten kan beskrives ved

$$\tau = \frac{C}{H} \quad (1)$$

hvor C er varmekapaciteten i bygningen og H er det specifikke varmetab.

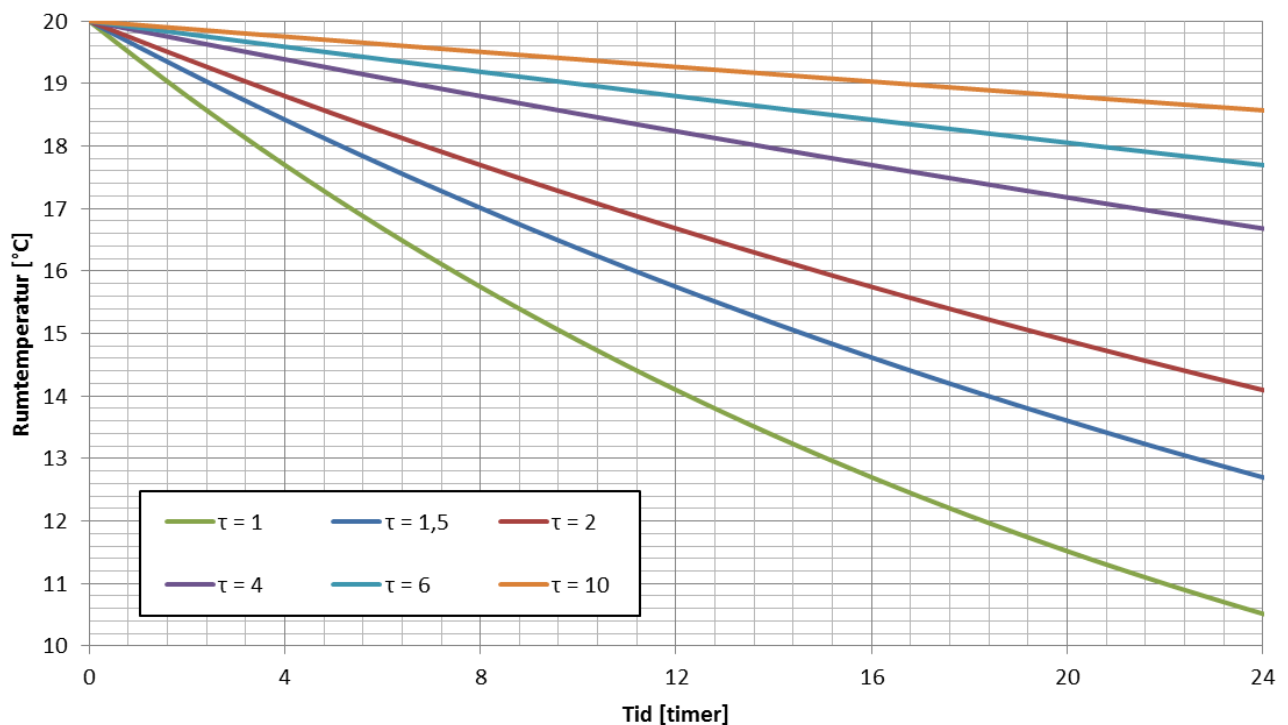
Temperaturen i bygningen ( $\theta_i$ ) ved stop af varmetilførslen kan beskrives ved

$$\theta_i = (\theta_{i0} - \theta_e) \cdot e^{-(t/\tau)} + \theta_e \quad (2)$$

hvor  $\theta_{i0}$  er starttemperaturen,  $\theta_e$  er omgivelsernes temperatur og t er tiden efter stoppet af varmetilførsel.

### 1.2.2 Eksempel på tidskonstanter

For at få et overblik over tidskonstanternes størrelse og deres indflydelse på rumtemperaturen er der på figur 1.1 vist 6 tidskonstanter ( $\tau$ ) variende fra 1 til 10 døgn. Starttemperaturen i rummet er sat til 20 °C, hvilket er normal opvarmning i familiehuse. Udetemperaturen er sat til 5 °C.



Figur 1.1: Illustration af forskellige tidskonstanter ( $\tau$ ) udtrykt i døgn. Figuren viser rumtemperaturens fald fra en starttemperatur på 20 °C som funktion af tiden. Udetemperaturen er 5 °C.

Figur 1.1 viser, at hvis der tillades 2 K rumtemperaturfald og udetemperaturen er 5 °C, vil det ske efter 3,2 timer ved en tidskonstant på 1 døgn. Er tidskonstanten 2 døgn tager det 6,5 time, mens det ved en tidskonstant på 4 døgn tager 13 timer.

### 1.2.3 Tidskonstanter bestemt fra måledata

For at kunne generalisere temperaturfaldet er der ud fra måledata søgt bestemt både en tidsforsinkelse, hvor temperaturen ikke falder, og en tidskonstant, der bedst muligt beskriver forløbet af temperaturfaldet efter tidsforsinkelsen. Ved at bestemme disse størrelser vil det være muligt med tilnærmelse at kunne forudsige temperaturfaldet ved andre udetemperaturforhold.

### 1.2.4 Teoretisk tidskonstant

For hvert af de analyserede huse er der søgt bestemt de teoretiske tidskonstanter. Disse er baseret på en beskrivelse af de enkelte indvendige bygningsdele i husene, som er benyttet til at finde varmekapaciteterne for de enkelte bygningsdele (som beskrevet i afsnit 4.3 samt /1/ og /2/). Med standardforudsætninger for bygningernes indvendige geometriske udformning er der beregnet en samlet varmekapacitet for hele huset. Varmekapaciteten opgøres pr. bruttoetageareal.

Den anden parameter, der skal bestemmes for at finde husets tidskonstant teoretisk, er det specifikke varmetab pr. etageareal (se ligning (1)). Det bestemmes på tre måder (metode A, B og C). Ved den ene metode benyttes varmepumpens kapacitet (Metode A). Denne bør i det store og hele svare til det

dimensionerende varmetab. Varmepumper dimensioneres typisk med en kapacitet lidt mindre end det dimensionerende varmetab, men da der kan være spring i modelstørrelser og indregning af behov til opvarmning af varmt brugsvand, vurderes det, at varmepumpernes kapacitet vil være et godt udgangspunkt for bestemmelsen af det dimensionerende varmetab.

Den anden måde til fastlæggelse af det dimensionerende varmetab er en generisk bestemmelse ud fra analysen af energimærker, der viser afhængigheden af opførelsesår. En række af bygningerne er dog energirenoverede og dette vil reducere varmetabet. Ved metode B er det specifikke varmetab beregnet på baggrund af opførelsesåret, og ved metode C er beregningen sket på baggrund af renoveringsåret.

Med disse tre metoder kan der bestemmes tre teoretiske tidskonstanter. Disse vil blive sammenstillet med de analytisk fundne tidskonstanter baseret på målingerne for at se, om der kan ses en sammenhæng.

### 1.3 Analyse af målte data

For hver bygning vurderes de målte temperaturer og varmeafgivelser først visuelt. Der udvælges et tidsinterval omkring afbrydelsen af varmen. Det har en udstrækning, der starter ved det første hele døgn før afbrydelsen, og strækker sig til det efterfølgende hele døgn efter afbrydelsen. Det er derved muligt at vurdere, hvordan rumtemperaturerne varierer normalt og se på variationen af udetemperaturen. Det er også muligt at se, hvor hurtigt rumtemperaturerne bliver normale igen efter afbrydelsen af varmepumpen.

Tidspunktet for afbrydelsen af eltilførslen til varmepumpen bestemmes. Dernæst ses på temperaturkurverne. Det tidspunkt, hvor temperaturen begynder at falde, bestemmes. Forskellen mellem disse to tidspunkter kaldes *tidsforsinkelsen*. Tidsforsinkelsen har forskellige årsager. Det tager et stykke tid, før varmen i selve varmeafgiverne bliver afgivet til rummet, og temperaturen i varmeafgiverne falder væsentligt. Især hvis der er gulvvarme, kan det tage lang tid, før temperaturen begynder at falde. Hvis varmepumpen kører on/off, vil det have betydning, hvornår i en on/off-cyklus, eltilførslen afbrydes. Er varmepumpen tæt på at skulle starte, men alligevel ikke bliver startet, vil temperaturen begynde at falde relativt hurtigt. Hvis det modsatte er tilfældet, at varmepumpen kører, og eltilførslen bliver afbrudt tæt på, at varmepumpen alligevel skal stoppe, vil der gå et stykke tid, før et temperaturfald kan registreres. I nogle tilfælde kan tidsforsinkelsen i princippet være negativ, dvs. at temperaturfaldet starter, før eltilførslen til varmepumpen afbrydes. I dette tilfælde sættes tidsforsinkelsen til 0.

Når tidspunktet for temperaturfaldets start er bestemt, indlægges en eksponentielkurve, der lader temperaturen falde i samme takt som i målingerne. Værdierne på kurven bestemmes på grundlag af temperaturen ved starten af temperaturfaldet og en gennemsnitlig udetemperatur, som er skønnet ud fra udetemperaturerne under temperaturfaldet og ca. 6 timer før for at tage hensyn til den tidsforsinkelse, der er ved varmetransmission gennem klimaskærmen. I nogle tilfælde er kurven for temperaturfaldet ikke veldefineret, fx hvis der er sket ændringer af forholdene i rummet. For at tage hensyn til dette indlægges i nogle tilfælde flere kurver, der afgrænser variationen. Ud fra kurverne findes en tidskonstant for temperaturfaldet. Tidskonstanterne afrundes med spring på et døgn for at udtrykke den usikkerhed, de bliver bestemt med. I nogle tilfælde er der også udført en analyse af forløbet af genopvarmningen og bestemt en tidskonstant for dette.

Tidskonstanter for genopvarmning relateres til sluttemperaturen. Sluttemperaturen er sat til temperaturen før afbrydelsen af varmepumpen, som er det bedste bud på en setpunktstemperatur for rummet. De bestemte tidskonstanter for afkøling og genopvarmning kan derfor ikke sammenlignes. Tidskonstanterne er fundet for de rum, hvor det har været muligt. I nogle rum har der enten været slukket for varmen, eller det er vurderet,



at der har været mulig brug af brændeovn, og i disse tilfælde er der ikke indlagt tidskonstanter for opvarmningen.

## 2 Resultater fra huse med detaljerede målinger

### 2.1 Hus nr. 5791

Stamoplysninger	
ID	5791
Opførelsesår	1912 (renoveret 2010)
Areal	100 m <sup>2</sup> + 70 m <sup>2</sup> 1. sal med elvarme
Varmepumpe	Bosch Compress EPH 11 LW – 11 kW
Varmeafgivere	Gulvvarme (primær), elradiatorer
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne, 3 børn
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Træ
Vinduer mod syd	4 m <sup>2</sup>
Supplerende oplysninger	Olieforbrug 2009: 3.000 liter

#### Beskrivelse af stop og genstart

Varmepumpen er stoppet fra den 01-04-2014 kl. 20.55 til den 02-04 kl. 05.00. I alt 8 timer og 5 min. Varmepumpen har været genstartet i en periode fra 00.40 til 02.40, hvorefter den har været stoppet igen indtil kl. 05.00. Dette ses på el til varmpumpen og varmen frem og retur, og det kan måske beskrives med en integreret elpatron (se figur 2.1.1), der opvarmer en varmtvandsbeholder, da der ikke ses en indflydelse på rumtemperaturerne. Udetemperaturen har i perioden gennemsnitligt været 4 °C.

Efter at varmpumpen er stoppet, falder temperaturen i alle rum efter en varierende forsinkelse af størrelsen 1,5 time før til 2 timer og 50 minutter efter stoppet (se figur 2.1.2 og figur 2.1.3). Den største forsinkelse ses for rum 12 og 15. I rum 11 og 13 begynder temperaturfaldet, inden varmpumpen slukkes (svarende til tidspunktet omkring 19.45). I rum 16 starter faldet også inden slukningen omkring kl. 19.00. Ser man på døgnnet før slukningen, er der i rum 11, 13 og 16 en tendens til let temperaturstigning efterfulgt af et let fald i temperaturen omkring tidspunktet 19.00-20.00. Det kan skyldes øget aktivitet i disse rum (madlavning i køkken som eventuelt påvirker værelset nr. 13, som ligger ovenover køkkenet, da de begge ligger mod nord). På figur 2.1.2 ses det, at værelse 14 har en anden tendens end de andre rum ved slukningen (idet temperaturen stiger). Studeres temperaturforløbet i dette rum for en længere periode, ses det, at temperaturen falder allerede fra morgenstunden og ligger lavt i forhold til normalen for det rum i en lang periode. I døgnene omkring d. 31-03 og d. 03-04 ligger temperaturen i rum 14 omkring 19-20 °C og i døgnnet i og omkring måleperioden ligger rummet i hele perioden lavt omkring de 16-18 °C, uden indflydelse fra stop og genstart af varmpumpen. Det kan forklares med, at rummene ovenpå er opvarmet med elvarme, og at dette rum har været helt uden opvarmning i perioden. Temperaturvariationen for rummet kan måske forklares med, at rummet er uopvarmet, og at varmetilførsel sker fra de andre rum og eventuelt solindfald.

I perioder med normal opvarmning i huset ligger rumtemperaturerne mellem 18 og 22 °C, med badeværelset (rum 12) som det varmeste og værelse 1. sal syd (rum 14) som det koldeste. For alle rum sker der et temperaturfald ved stop af varmpumpen (med undtagelse af det omtalte rum 14). Faldet fortsætter kort tid efter genstart af varmpumpen efterfulgt af en udfladning af temperaturen. Sluttemperaturerne, inden temperaturstigningen begynder, ligger for de fleste rum mellem 17,9 og 20 °C. Temperaturen efter temperaturfaldet for Badeværelse Vest (nr. 16) og Soveværelse Vest (nr. 13) ligger omkring samme niveau i den høje ende (omkring de 19,5-20 °C), hvor resten af rummene er omkring de 18 °C.

### **Tidskonstanter ved afkøling**

For at karakterisere temperaturfaldet i de enkelte rum er der indlagt kurver med forskellige tidskonstanter, der tilnærmer temperaturfaldet. Der er forudsat en gennemsnitlig udetemperatur på 4 °C for perioden med stoppet varmepumpe samt et temperaturfald nogle timer før. Temperaturforløbet i værelset på 1. sal syd (nr. 14) er ikke analyseret, da det sandsynligvis ikke har været opvarmet under perioden med stop af varmepumpen.

I køkkenet (måling nr. 11) er der målt en starttemperatur på 19,9 °C og at temperaturfaldets start er 1,5 time før stoppet. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på ca. 3-3,5 døgn.

I badeværelset (måling nr. 12), er der bestemt en starttemperatur på 21,8 °C og en forsinkelse på temperaturfaldet på 2 timer og 50 minutter. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 3-3,5 døgn.

I værelset 1. sal nord (måling nr. 13) er der bestemt en starttemperatur på 19 °C og en forsinkelse på 1 time og 10 minutter. Temperaturudviklingen svarer til en tidskonstant på ca. 3,5 døgn.

I soveværelset 1. sal øst (måling nr. 15) er der fundet en starttemperatur på 18,7 °C og en forsinkelse på ca. 2,5 time. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på ca. 2,5-3 døgn.

I stuen syd (måling nr. 16) er starttemperaturen bestemt til 20,1 °C og temperaturfaldets start ca. 2 timer efter stoppet. Der sker som beskrevet et temperaturfald inden stoppet af varmepumpen, men en klar forskel i temperaturfaldet ses i perioden, hvor varmepumpen har været stoppet. Temperaturudviklingen svarer til en tidskonstant på ca. 2 døgn.

### **Tidskonstanter ved genopvarmning**

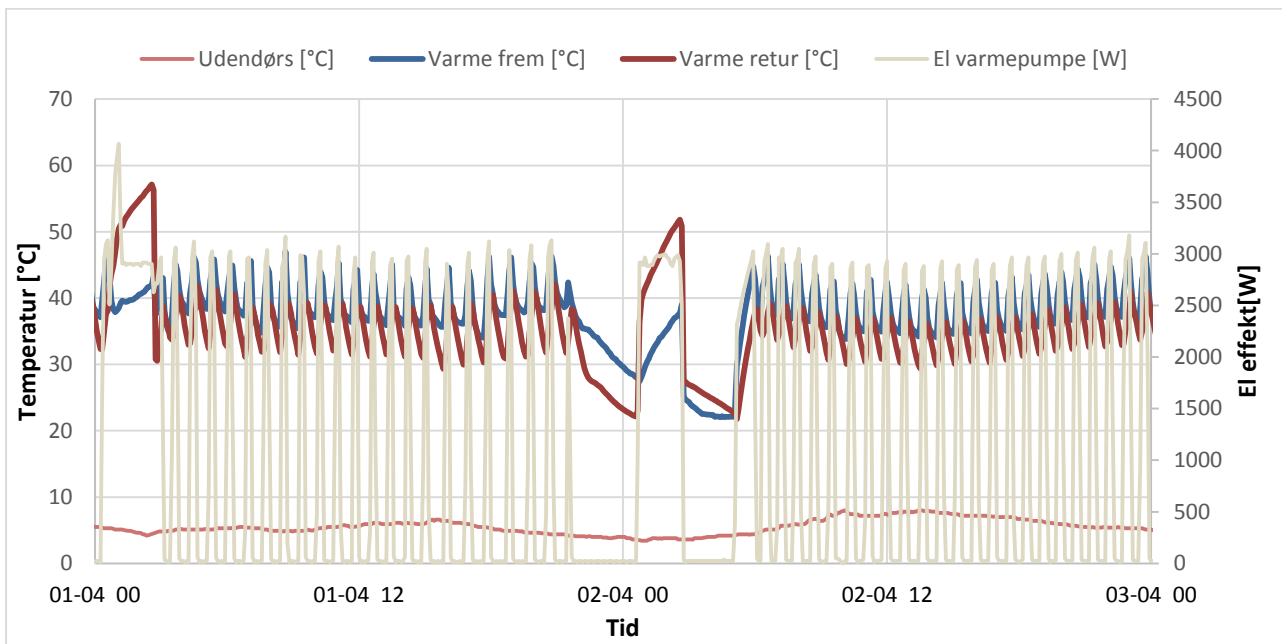
Der er indlagt tidskonstanter for genopvarmningen i rum 11 og 16 (se figur 2.1.4). De resterende rum ligger på det samme niveau i en lang periode efter genstart af varmepumpen (se figur 2.1.2). Ser man længere frem i perioden, ser det ud til, at rummenes temperaturstigning først sker, når de bliver påvirket af enten solindfald eller brændeovnen midt på dagen omkring d. 03-44.

Starttemperaturen for rum nr. 11 er sat til 18,1 °C, og setpunktet er sat til 19,9 °C (temperaturen lige inden slukning). Temperaturstigningen svarer til en tidskonstant på 14 timer.

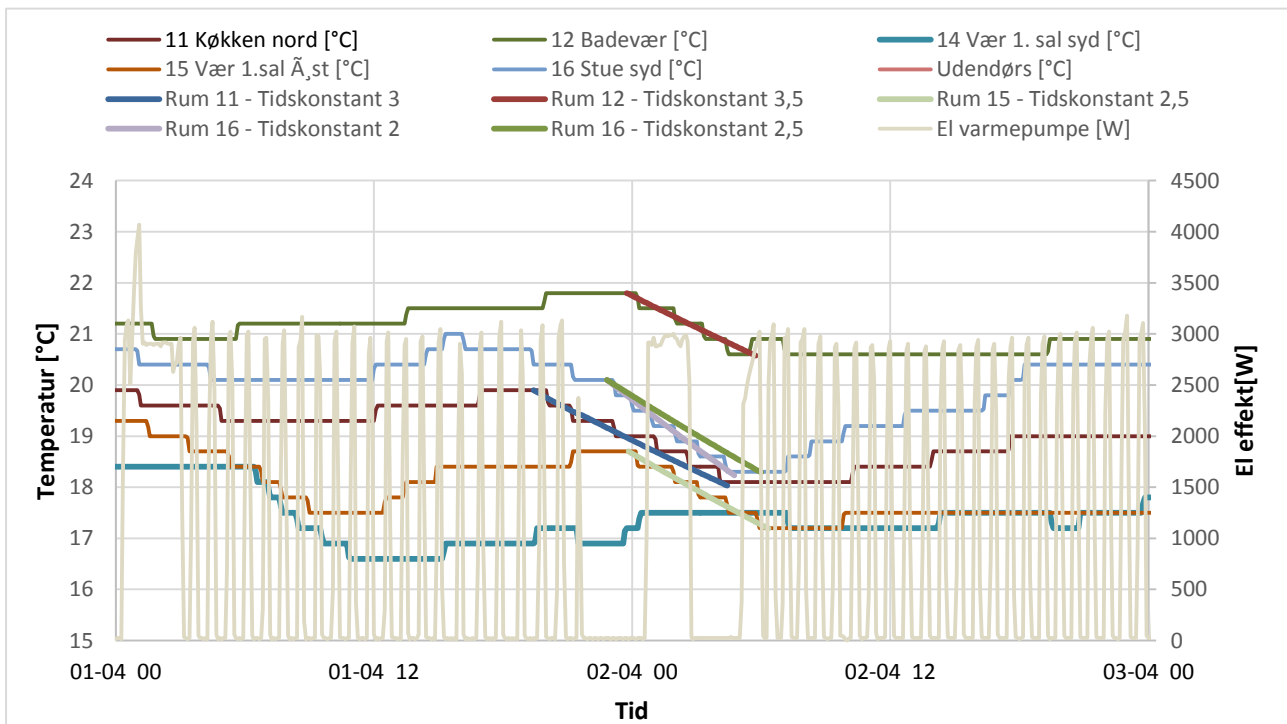
For rum nr. 16 er der sat en starttemperatur på 18,3 °C og setpunktet er sat til 20,1 °C. Tidskonstanten for opvarmningen er på 6 timer.

### **Samlet vurdering**

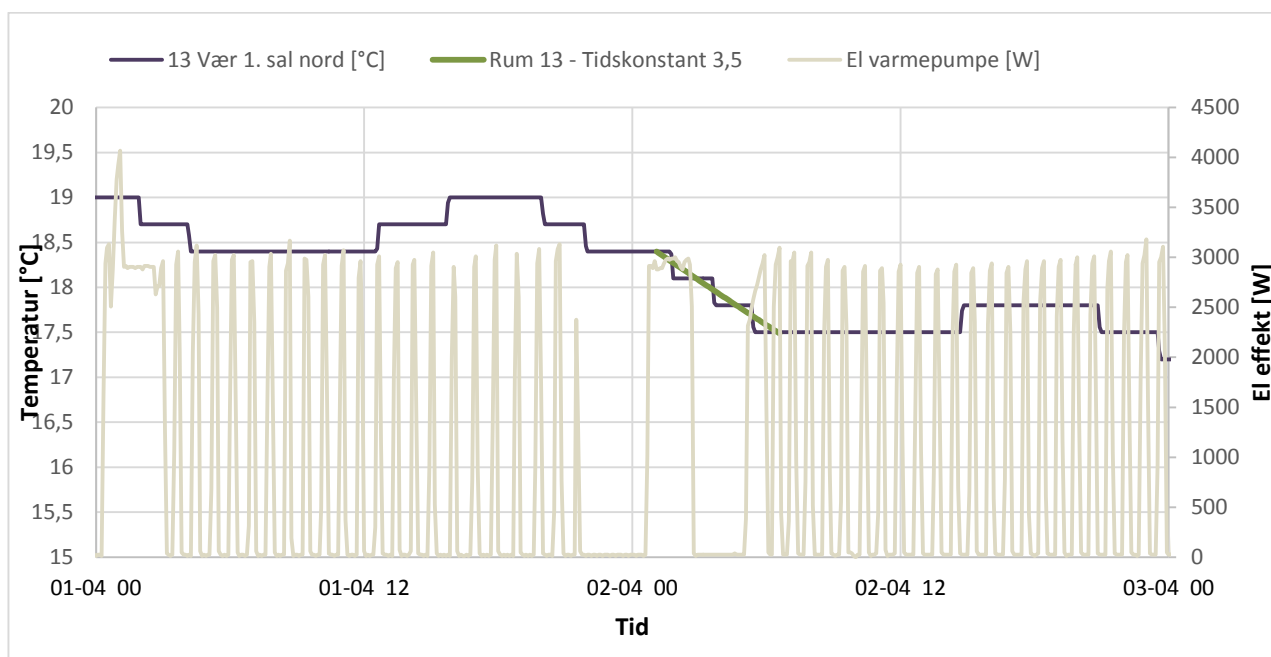
Resultaterne fra målingerne viser, at temperaturfaldet i de forskellige rum svarer til tidskonstanter mellem 2,5 og 3,5 døgn.



Figur 2.1.1 - Varmepumpestop i hus nr. 5791

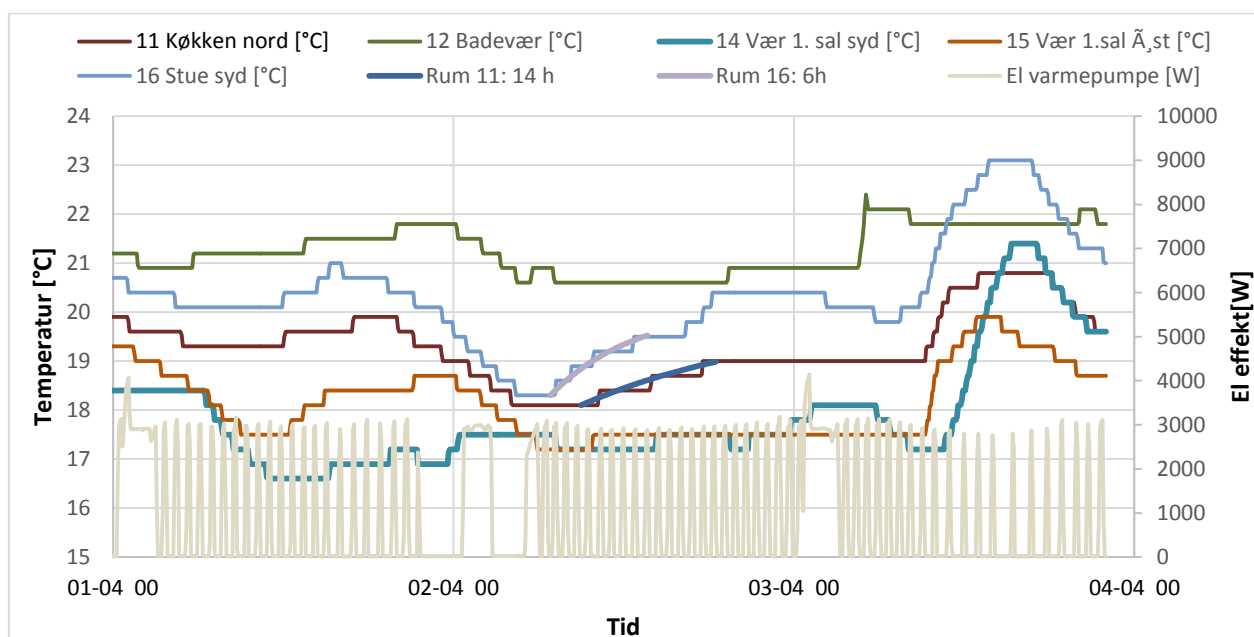


Figur 2.1.2 - Temperaturudvikling i rum 11, 12, 14, 15 og 16 med indlagte tidskonstanter i hus nr. 5791



Figur 2.1.3 - Temperaturudvikling i rum 13 og indlagt tidskonstant i hus nr. 5791

### Opvarmning



Figur 2.1.4 - Temperaturudvikling i rum 11 og 16 med indlagte tidskonstanter for genopvarmning i hus nr. 5791

## 2.2 Hus nr. 8480

Stamoplysninger	
ID	8480
Opførelsesår	1948
Areal	118 m <sup>2</sup> + 20 m <sup>2</sup> kælder
Varmepumpe	Vølund Fighter 1145, 10 kW
Varmeafgivere	Radiatorer (primær), gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne, 1 ung og 1 barn
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Træ
Vinduer mod syd	3 m <sup>2</sup>
Supplerende oplysninger	Loft: Trælister Olieforbrug 2009: 3.200 liter afspejler 2 uisolerede brænde og oliefyrskedler i kælder

### Beskrivelse af stop og genstart

Varmepumpen har været stoppet fra d. 02-04 kl. 22.25 til d. 03-04 kl. 5.00. I alt 6,5 time. I perioden har udetemperaturen haft en middelværdi på 3,5 °C (se figur 2.2.1).

Efter stoppet af varmpumpen, afgives der stadig varme fra anlægget i kælderen, hvor brændeovn og oliefyrr står uisolert (se figur 2.2.2). Stoppet sker midt i en lang cyklus for varmpumpen. Kælderrummet har først en faldende temperatur meget sent i perioden. De resterende rum har et temperaturfald med en mindre forsinkelse (se figur 2.2.2, 2.2.3 og 2.2.4).

Der er normal opvarmning i de fleste rum med temperaturer på mellem 18 og 22 °C. Der holdes en lavere temperatur i entreen (ca. 17,9 °C) og i værkstedet (ca. 18,3 °C).

Temperaturen begynder at falde i alle rum (med undtagelse af kælderen) og vedbliver med at falde, til der sættes varme på anlægget. Sluttemperaturerne ved genstart af varmpumpen ligger for de fleste rum mellem 17 og 20 °C. Temperaturfaldet fortsætter i en kort periode efter genstart. Kælderen temperatur fortsætter med at falde også efter genstart og fortsætter, imens resten af rummene begynder at stige til et normalt niveau.

For at karakterisere konsekvenserne af afbrydelsen af varmpumpen kan man sige, at huset er opvarmet til vidt forskellige temperaturer. Kælderen har en anderledes temperaturprofil end resten af husets rum, hvilket medfører, at temperaturfaldet er svært at karakterisere, da de enkelte rum kan være påvirket af kælderen højere temperatur.

### Tidskonstanter ved afkøling

For at karakterisere temperaturfaldet i de enkelte rum er der indlagt kurver med forskellige tidskonstanter, der tilnærmer temperaturfaldet. Der er forudsat en gennemsnitlig udetemperatur på 3,5 °C. Der er i første omgang set bort fra værelset i kælderen (måling nr. 11), da temperaturen synes at være påvirket af brændeovnen.

I badeværelset (måling nr. 12) er der bestemt en starttemperatur på 21,7 °C og en forsinkelse på 45 minutter. Temperaturfaldet er sat til at starte 45 minutter senere end afbrydelsen af varmen. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på mellem 2 og 2,5 døgn.

I værelset på 1. sal nord (måling nr. 13), er der fundet en starttemperatur på 20,8 °C og en forsinkelse på 1 time og 10 minutter fra afbrydelsen af varmpumpen. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 2 døgn.

I soveværelset mod syd på 1. sal (måling nr. 14) er der bestemt en starttemperatur på 20,5 °C og en forsinkelse på 2 timer og 10 minutter. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 2 døgn.

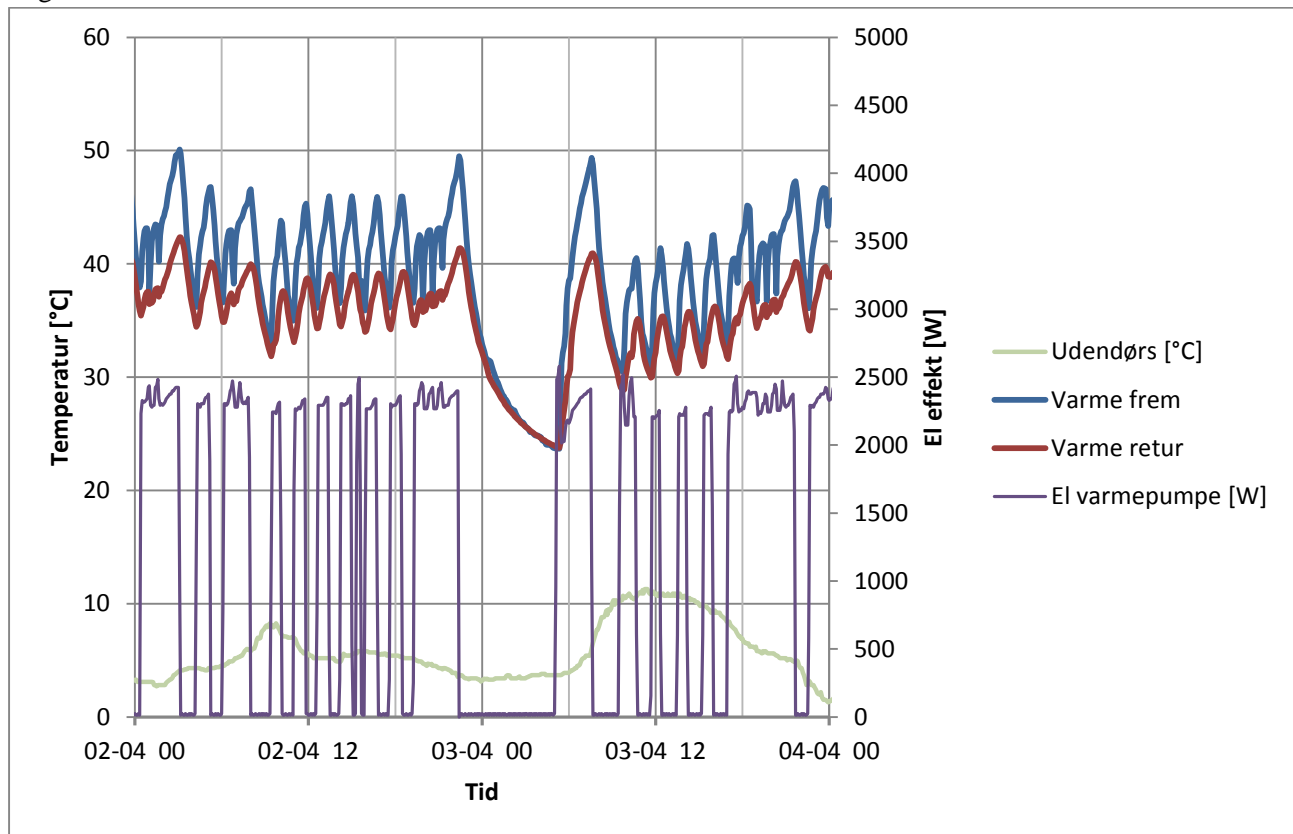
I entreen (måling nr. 15) er der sat en starttemperatur på 17,9 °C og en forsinkelse på 10 minutter. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på ca. 4 døgn.

I værelset på 1. sal (måling nr. 16) mod vest er starttemperaturen fundet til 20,4 °C og en forsinkelse på 1,5 time. Temperaturudviklingen svarer til en tidskonstant på ca. 3 døgn.

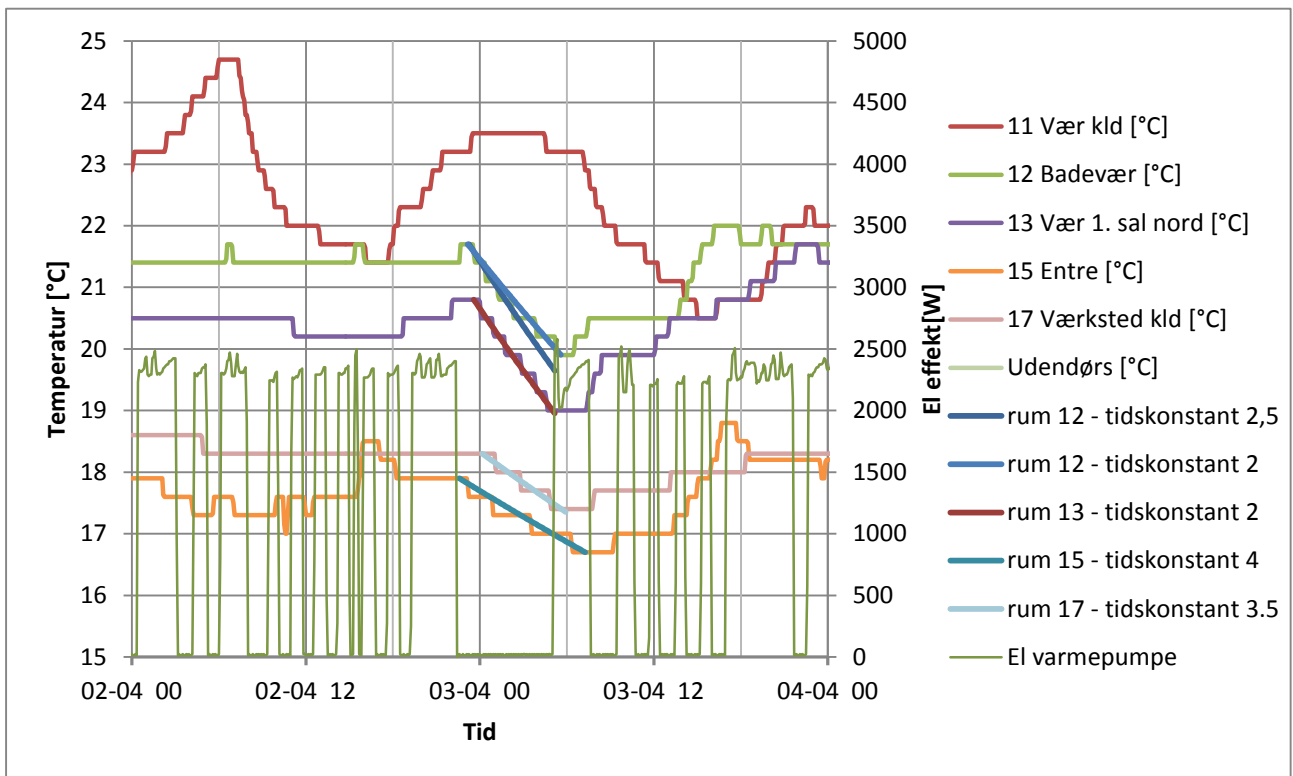
I værkstedet i kælderen (måling nr. 17) er starttemperaturen bestemt til 18,3 °C og en forsinkelse på 1 time og 45 minutter. Tidskonstanten er ca. 3,5 døgn.

### Samlet vurdering

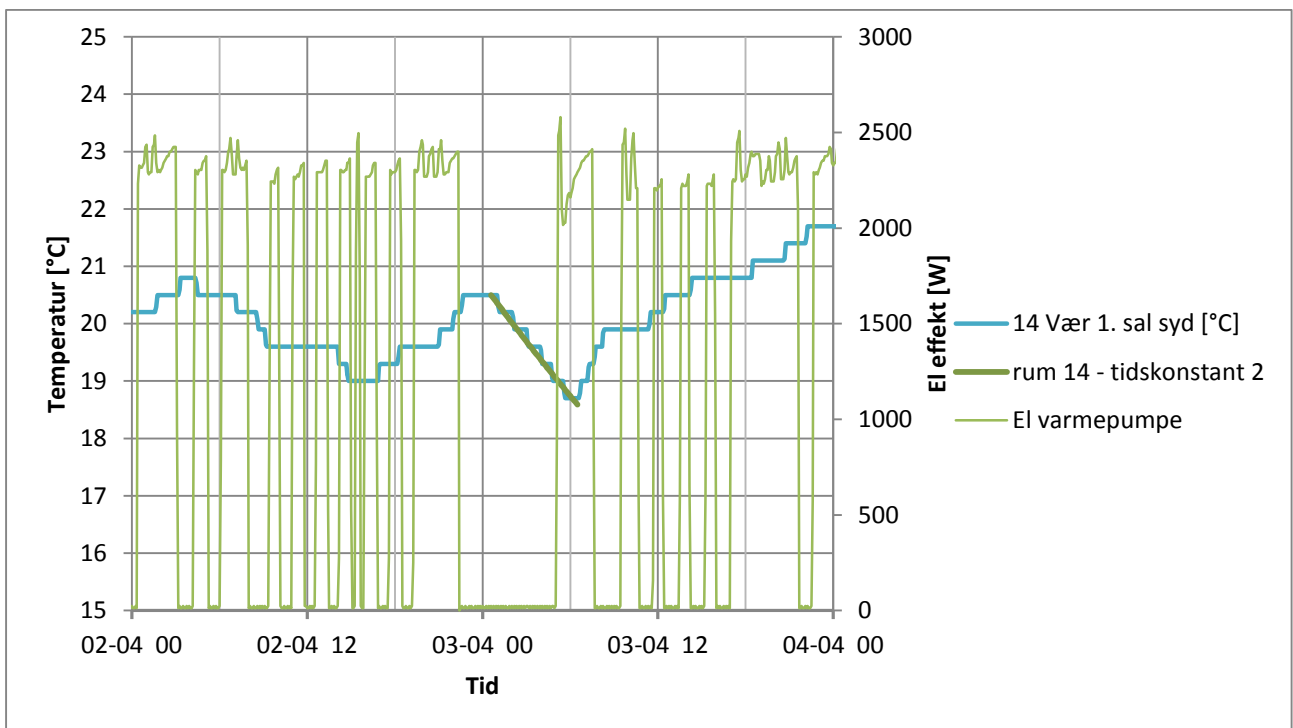
Resultaterne fra målingerne viser, at temperaturfaldet i mange rum svarer til tidskonstanter mellem 2 og 4 døgn.



Figur 2.2.1 - Varmepumpestop i hus nr. 8480

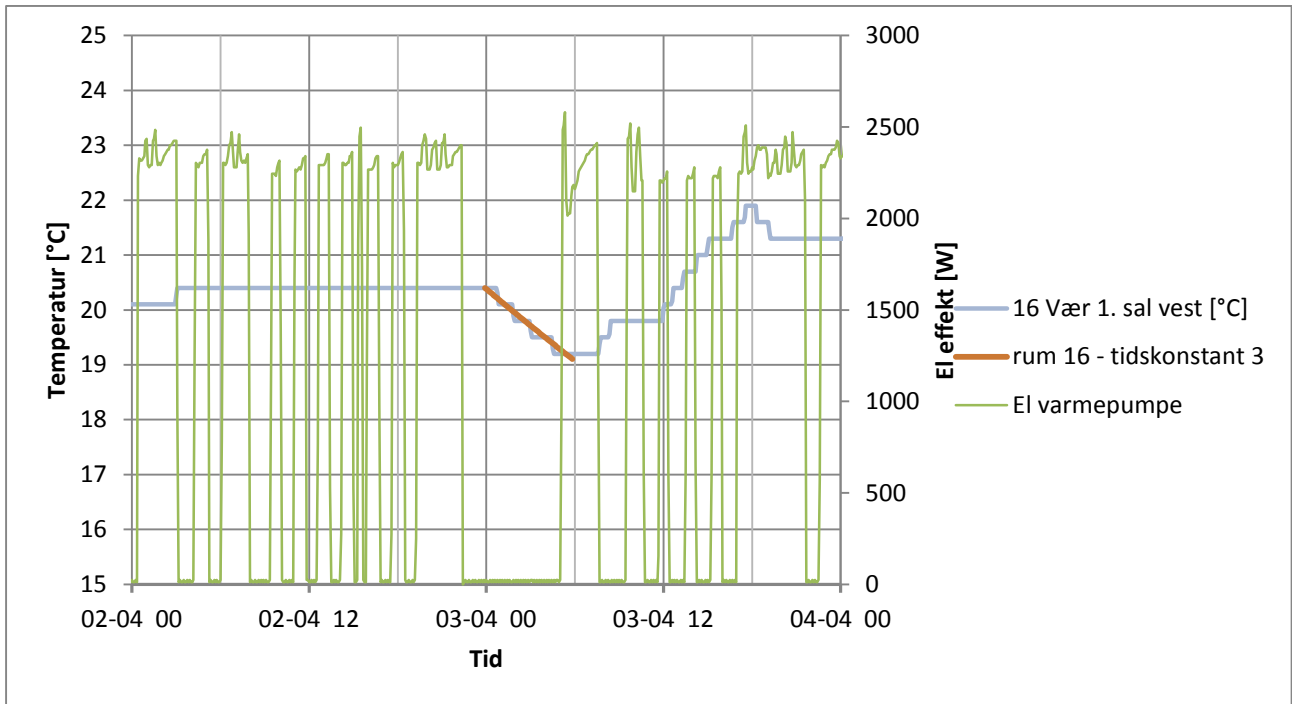


Figur 2.2.2 - Temperaturudvikling i rum 11, 12, 13, 15 og 17 med indlagt tidskonstant i hus nr. 8480



Figur 2.2.3 - Temperaturudvikling i rum 14 med indlagt tidskonstant i hus nr. 8480





Figur 2.2.4 - Temperaturudvikling i rum 16 med indlagt tidskonstant i hus nr. 8480

## 2.3 Hus nr. 431

Stamoplysninger	
ID	0431
Opførelsesår	1902 (1970 ombygget)
Areal	193m <sup>2</sup>
Varmepumpe	IVT Greenline HT+ C9 - 8,4 kW
Varmeafgivere	Radiatorer (primær), gulvvarme i badeværelse
Brændeovn	Ja
Beboere	1 voksen
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Gasbeton
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	6 m <sup>2</sup>
Supplerende oplysninger	Olieforbrug 2009: 2.000 liter

### Beskrivelse af stop og genstart

Varmepumpen har været stoppet fra den 01-04 kl. 20.25 til den 03-04 kl. 5.15. I alt 32,5 timer.

Udetemperaturen har haft en middelværdi på ca. 5 °C.

Efter varmepumpestop afgives der ikke varme fra anlægget. Varmen bliver afbrudt midt i en cyklus for varmepumpen efter ca. 10-15 minutter, hvor den plejer at køre i ca. 30 minutter (se figur 2.3.1).

Rumtemperaturen begynder derfor at falde relativt hurtigt efter afbrydelsen.

Der er normal opvarmning i de fleste rum med temperaturer på mellem 19 og 21 °C (se figur 2.3.2, 2.3.3 og 2.3.4). Der holdes en lavere temperatur i 'Lars' rum (nr. 14, ca. 18,5 til 19,5 °C) og i stue (nr. 12, ca. 17 – 19 °C).

Det øjeblik varmetilførslen afbrydes, er der forskellige temperaturer i de enkelte rum, som svarer til ovenstående temperaturer. Temperaturen begynder at falde i alle rum og vedbliver med at falde, til der sættes varme på anlægget. Sluttemperaturerne efter genstart af opvarmningen ligger for de fleste rum mellem 15 og 16 °C. I stuen er temperaturen faldet til 11, 5 °C. Efter at der sættes varme på anlægget, vedbliver varmen med at falde i et kortere tidsrum med op til 0,3 K. I nogle rum er temperaturen konstant ved den lave temperatur i op til 4 timer. Derefter begynder temperaturen at stige, og det varer et par døgn, før billedet af rumtemperaturerne er identisk med temperaturerne før afbrydelsen af varmeanlægget.

Faldet i rumtemperaturerne er påvirket af solindfald gennem vinduerne d. 02.04 og af, at udetemperaturerne er højere midt på dagen. Påvirkningen er dog relativt beskedent.

For at karakterisere konsekvenserne af afbrydelsen af varmen fra varmepumpen, kan man sige, at huset er opvarmet til vidt forskellige temperaturer. Der ser ud til, at der er sat varme på brændeovnen umiddelbart før afbrydelsen. Dette medfører, at temperaturfaldet er svært at karakterisere.

For at karakterisere temperaturfaldet i de enkelte rum, er der indlagt kurver med forskellige tidskonstanter, der tilnærmer temperaturfaldet. Der er forudsat en gennemsnitlig udetemperatur på 5 °C.

I badeværelset (måling nr. 13) er der fundet en starttemperatur på 20,5 °C. Temperaturfaldet er bestemt til at starte 1 time senere end afbrydelsen af varmen, hvilket skyldes gulvvarmen, hvor badeværelsesgulvet er af beton og medfører, at der afgives varme til badeværelset i et stykke tid efter afbrydelsen af varmepumpen. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 4 døgn.

I soveværelset (måling nr. 11) er der fundet en starttemperatur på 20,0 °C. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 4 døgn.

I soveværelset på 1. sal (måling nr. 16) er der bestemt en starttemperatur på 20,0 °C. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 3 døgn.

I stuen (måling nr. 12) er der fundet en starttemperatur på 17,5 °C. Temperaturfaldet svarer i starten af forløbet til en tidskonstant på 1,5 døgn. Midt på dagen sker der et knæk på kurven, der sandsynligvis skyldes solindfald. Resultatet bliver, at temperaturfaldet kan tilnærmes med en tidskonstant på 2 døgn.

I 'Lars' rum (måling nr. 14) er der bestemt en starttemperatur på 18,5 °C. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 4,5 døgn.

Genopvarmningen tager i princippet flere døgn. Fra kurverne ses, at driftstiden for varmepumpen udgør ca. halvdelen af tiden. Når varmepumpen kører, afgiver den en effekt på op til ca. 8 kW, hvilket svarer til det forventede. I princippet burde varmepumpen køre med fuld effekt, indtil genopvarmningen er afsluttet. Af årsager til dette kan nævnes, at varmepumpen stopper, når returtemperaturen bliver højere end den indstillede. Så en mulighed er at anvende indstillinger af varmepumpen, som giver højere fremløbstemperaturer. Dette vil dog nedsætte effektiviteten af varmepumpen. En anden mulighed er at øge arealet af varmeafgiverne (radiatorerne) for derved at øge den effekt, der kan afgives til bygningen. Af kurverne kan ses, at d. 03-04 under genopvarmningen bliver den afgivne varme reduceret efter middag, selvom at rumtemperaturerne ikke er oppe på det normale niveau. Dette kan måske skyldes, at solindfaldet eller eventuelt de høje udetemperaturer påvirker reguleringen.

### **Indlagte tidskonstanter ved genopvarmning**

Der er indlagt tidskonstanter for genopvarmningen af de forskellige rum. Tidskonstanterne er fundet ved at benytte starttemperaturen og setpunktet. Setpunktet er antaget til at være temperaturen i det respektive rum lige inden slukning af varmepumpen.

På figur 2.3.5 ses temperaturudviklingen og den indlagte tidskonstant for genopvarmningen for rum 11 og 1-6.

Rum nr. 16 har en starttemperatur på 14,6 °C og en setpunktstemperatur på 20 °C. Genopvarmningen svarer til en tidskonstant på 10 timer.

Rum nr. 11 har en starttemperatur på 15,6 °C og en setpunktstemperatur på 20 °C. Genopvarmningen svarer til en tidskonstant på 14 timer.

På figur 2.3.6 ses temperaturudviklingen samt den indlagte tidskonstant for genopvarmningen for rum nr. 12 og 13. Rum nr. 12 har en starttemperatur på 11,4 °C og en setpunktstemperatur på 17,5 °C. Tidskonstanten for genopvarmningen er bestemt til 10 timer.

Rum nr. 13 har en starttemperatur på 16 °C og en setpunktstemperatur på 20,5 °C. Genopvarmningen svarer til en tidskonstant på 18 timer.

Figur 2.3.7 illustrerer tidskonstanter indlagt for genopvarmningen af rum nr. 14 og 15. Rum nr. 14 har starttemperatur 15 °C og går mod setpunktet 18,6 °C. Genopvarmningen svarer til en tidskonstant på 10 timer.

Rum nr. 15 har en starttemperatur på 15,6 °C og en setpunktstemperatur på 19,8 °C. Temperaturstigningen svarer til en tidskonstant på 16 timer for rum nr. 15.

Figur 2.3.8 viser temperaturudviklingen og indlagt tidskonstant for genopvarmningen for rum nr. 17. Der er sat en starttemperatur på 15,1 °C og en setpunktstemperatur på 20,2 °C. Temperaturudviklingen svarer til en tidskonstant på 12 timer for rum nr. 17.

### **Skøn over tidskonstant**

For at få en ide om bygningens tidskonstant teoretisk skal man kende bygningens specifikke varmetab. Dvs. varmetab i forhold til forskellen mellem ude- og indetemperatur. Den anden parameter er bygningens varmekapacitet. Begge størrelser er vanskelige at bestemme uden større analyser. For at få et skøn over det specifikke varmetab benyttes varmepumpens maksimale ydelse (eksklusiv elpatron). Det er oplyst, at det er en IVT Greenline HT plus C9. Fra producentens datablad og fra måledata skønnes, at det er model 9 med en

ydelse på 8,4 kW med et elinput på 2,6 kW (ved temperatursættet 0/55 °C). Der er ikke kendskab til, hvorledes den aktuelle varmepumpe er dimensioneret. Varmepumpens kapacitet er skønnet at svare til det dimensionerende varmetab ved -12 °C ude. Dermed kan det specifikke varmetab skønnes til:

$$8.400 \text{ W} / (20 - (-12)) = 262,5 \text{ W/K.}$$

Med et bruttoetageareal på 193 m<sup>3</sup> er det specifikke varmetab pr. bruttoetageareal på:

$$H = 262,5 / 193 = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K.}$$

Det skal bemærkes, at denne metode kun giver en indikation, da der kan være valgt at under- eller overdimensionere varmepumpen, samt at der ofte er begrænsede oplysninger til rådighed ved dimensioneringen.

Huset varmekapacitet er også vanskelig at bestemme: For at få et skøn benyttes DS/INF 418-2: Beregning af bygningers varmetab – Del 2: Beregning af effektiv varmekapacitet for bygninger. 2014.

I denne publikation er der givet en række typiske værdier af varmekapaciteten for sammensatte konstruktioner. Publikationen har til hensigt at bestemme varmekapacitet, som kan anvendes som inddata til programmet Be10. Det vurderes, at værdierne også vil give anvendelige resultater i forbindelse med tidskonstanter relateret til varmetabet fra bygninger.

I tabel 3 i denne publikation benyttes følgende forudsætninger ved sammensætning af data:

*Gulv:* Det antages at den dominerende gulvkonstruktion er tæppe på beton. Alternativt beton uden trægulv eller tæppe, som er relevant på badeværelsesgulve.

For de to alternativer kan varmekapaciteten for hele huset beregnes:

1: 60 Wh/(m<sup>2</sup>K) for trægulv med filt på beton

2: 87 Wh/(m<sup>2</sup>K) for betongulv uden træ eller tæppe.

Hvis opvarmningen af betonen i gulvet sker fra rummet vil alternativ 1 være mest relevant. Hvis varme tilføres som gulvvarme, skønnes det, at alternativ 2 vil være relevant. Da der i huset opvarmes både med gulvvarme eller radiatorer, vælges en middelværdi på 73,5 Wh/(m<sup>2</sup>K) af de to alternativer. Arealandelen udgør 82 %, idet gulvarealet typisk udgør 82 % af bruttoetagearealet.

Dermed kan bidraget til varmekapaciteten bestemmes til: 60,3 Wh/(m<sup>2</sup>K).

For de øvrige konstruktionsdele findes:

*Ydervægge:* Murværk. Varmekapacitet: 37,8 Wh/(m<sup>2</sup>K). Arealandel: 0,66. Bidrag: 24,9 Wh/(m<sup>2</sup>K)

*Skillevægge:* Porebeton. Varmekapacitet: 7,4 Wh/(m<sup>2</sup>K). Arealandel: 1,38. Bidrag: 10,2 Wh/(m<sup>2</sup>K)

*Loft:* Gipsplader. Varmekapacitet: 3,6 Wh/(m<sup>2</sup>K). Arealandel: 0,82. Bidrag: 3,0 Wh/(m<sup>2</sup>K)

*Inventar:* I værdierne er inkluderet en standardværdi på 10 Wh/(m<sup>2</sup>K) fra inventar mv.

Den samlede varmekapacitet for bygningen pr. m<sup>2</sup> bruttoetageareal kan summeres til: 108,4 Wh/(m<sup>2</sup>K).

Med disse forudsætning kan tidskonstanten skønnes som varmekapaciteten divideret med det specifikke varmetab:

$$\tau = 108,4 \text{ Wh/(m}^2\text{K)} / 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)} = 77 \text{ h} = 3,2 \text{ døgn.}$$

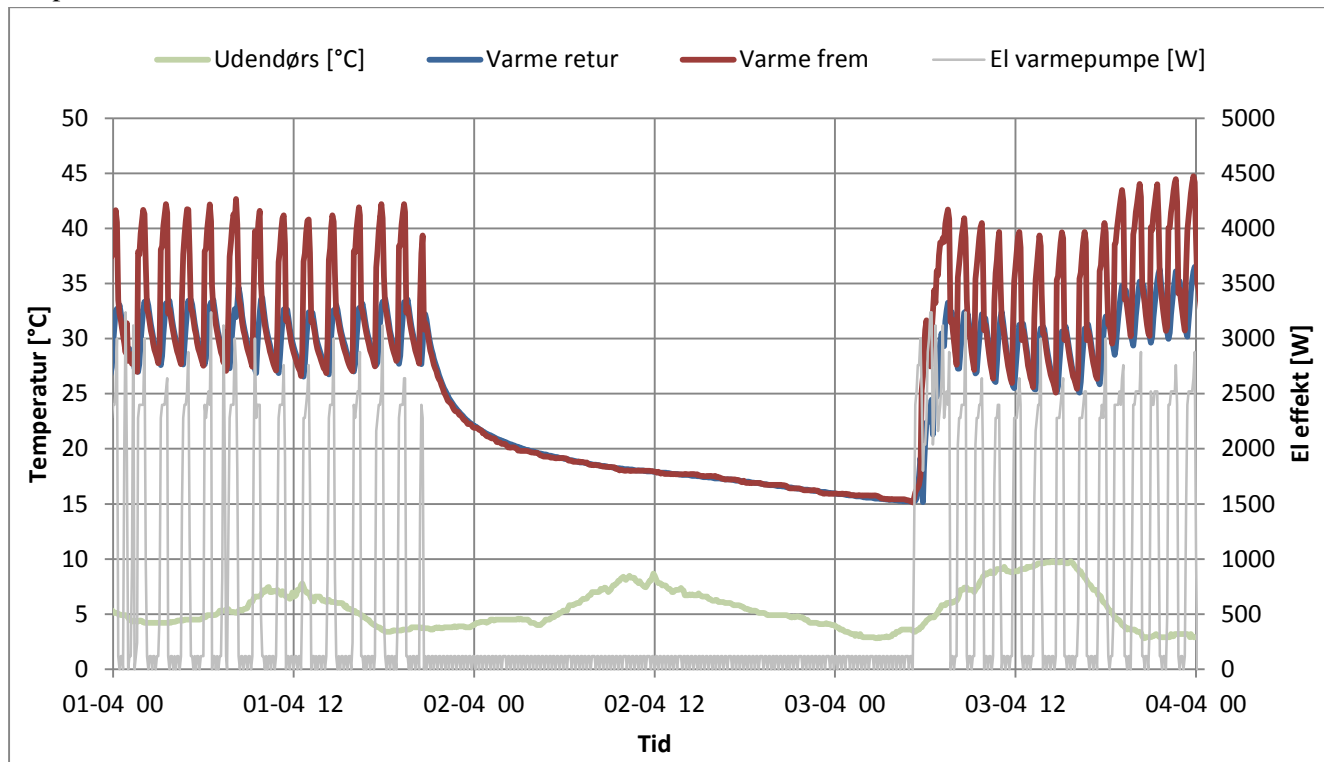
### Samlet vurdering

Resultaterne fra målingerne viser, at temperaturfaldet i mange rum svarer til tidskonstanter på mellem 3 til 4,5 døgn. I stuen er der en mindre tidskonstant på 1,5 til 2 døgn.

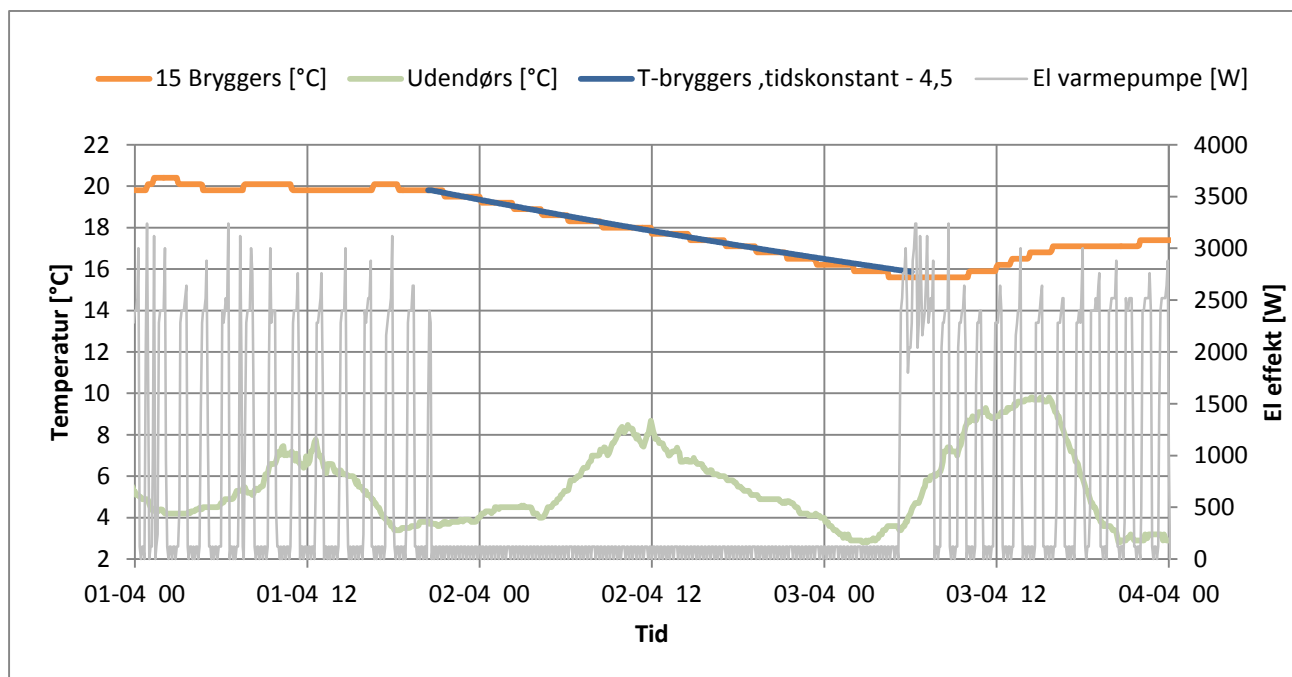
I de teoretiske overvejelser ligger tidskonstanterne på 3,2 døgn.

Årsagerne til de store tidskonstanter både i målinger og teoretisk ligger sandsynligvis i effekten af gulvvarme, der giver en stor tidskonstant. I stuen kan der være større varmetab eller andre forhold, som giver en kortere tidskonstant. Stuen er også speciel, da udgangstemperaturen er lav.

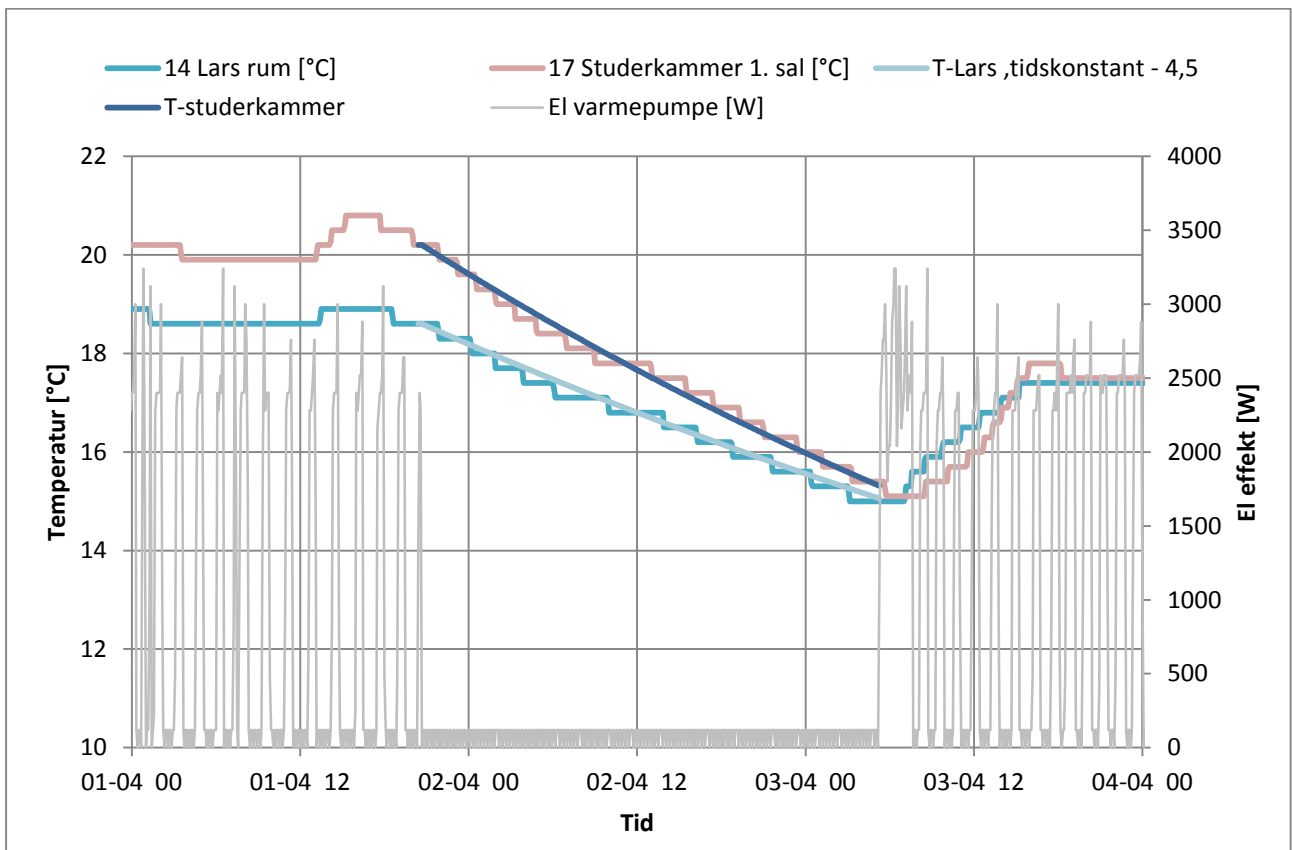
Bygningen er uens opvarmet, hvilket samlet set gør det vanskeligere at bestemme tidskonstanterne både teoretisk og praktisk. Det der kan udledes af eksemplet er, at tidskonstanterne er så store, at det er muligt at stoppe varmetilførslen i et antal timer, uden at dette giver store problemer med ændringer af temperaturforholdene.



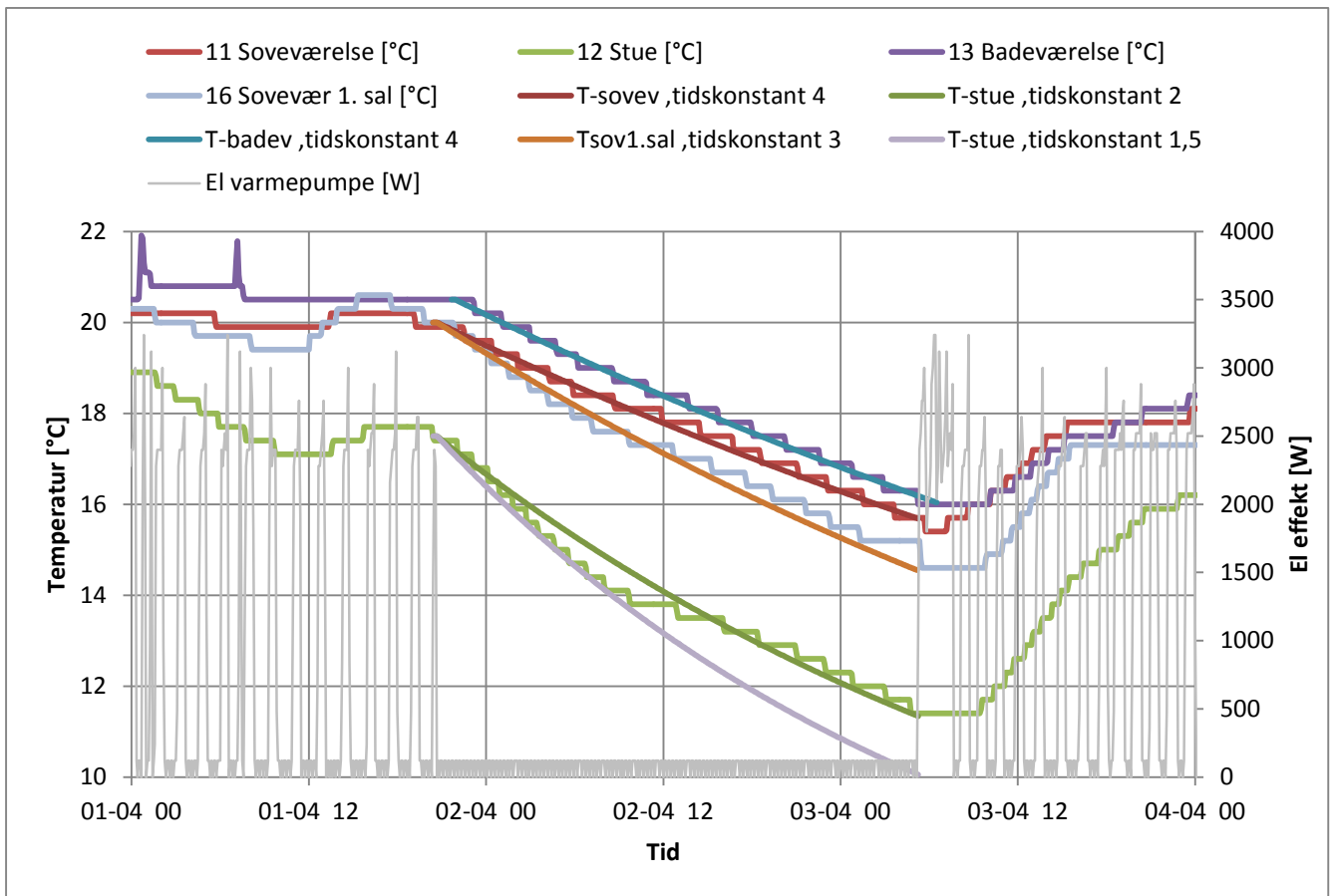
Figur 2.3.1 - Varmepumpestop i hus nr. 431



Figur 2.3.2 - Temperaturudvikling i rum 15 med indlagt tidskonstant i hus nr. 431

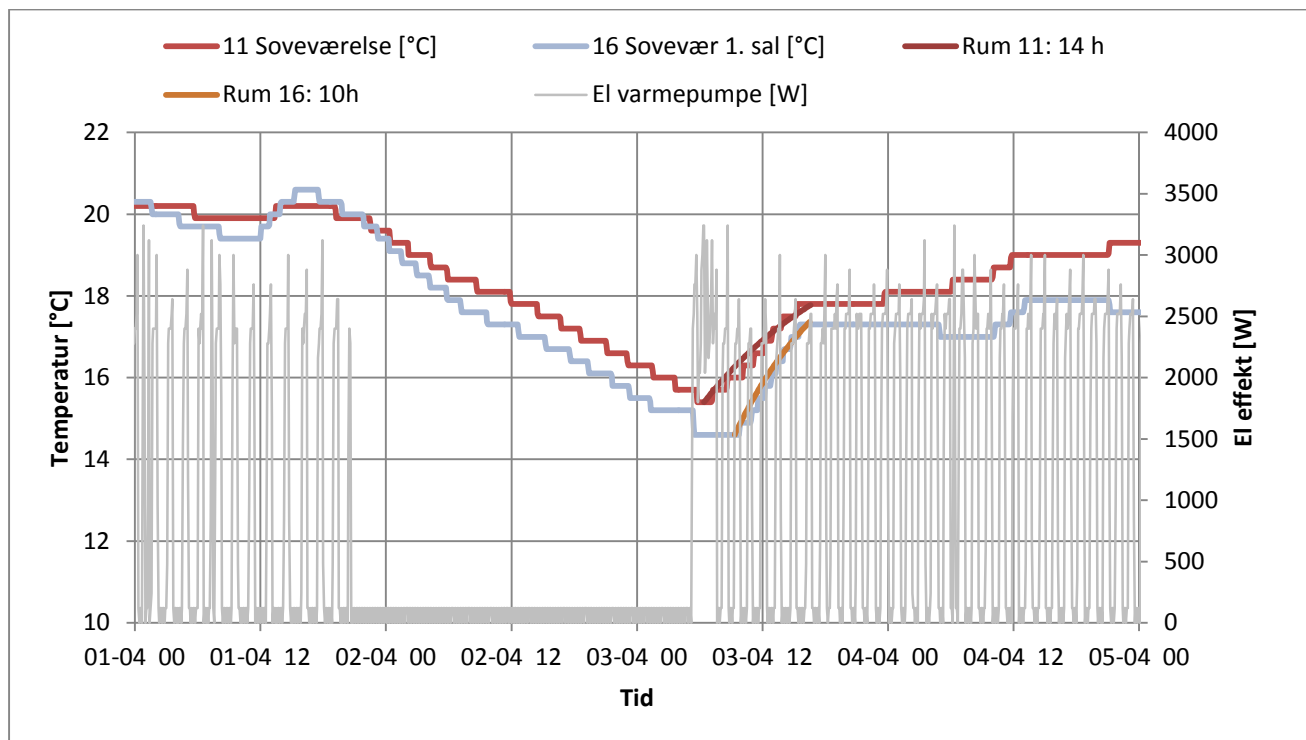


Figur 2.3.3 - Temperaturudvikling i rum 14 og 17 med indlagt tidskonstant i hus nr. 431

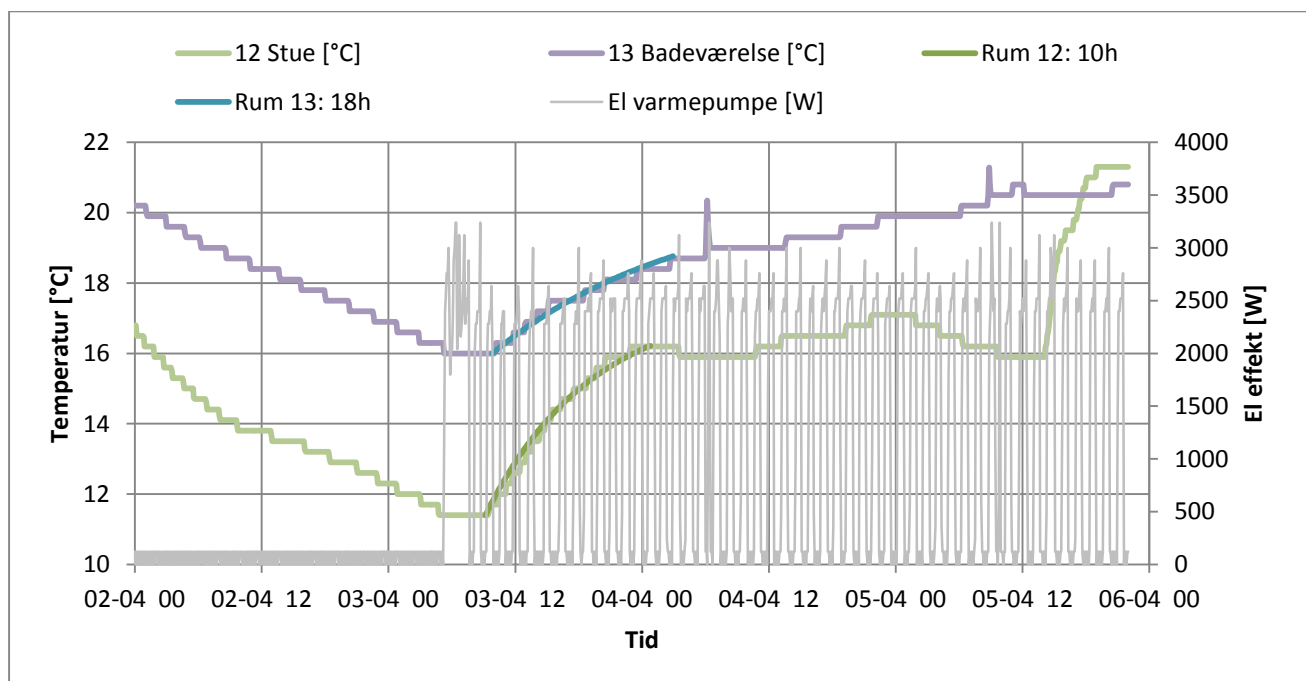


Figur 2.3.4 - Temperaturudvikling i rum 11, 12, 13 og 16 med indlagt tidskonstant i hus nr. 431

## Genopvarmning

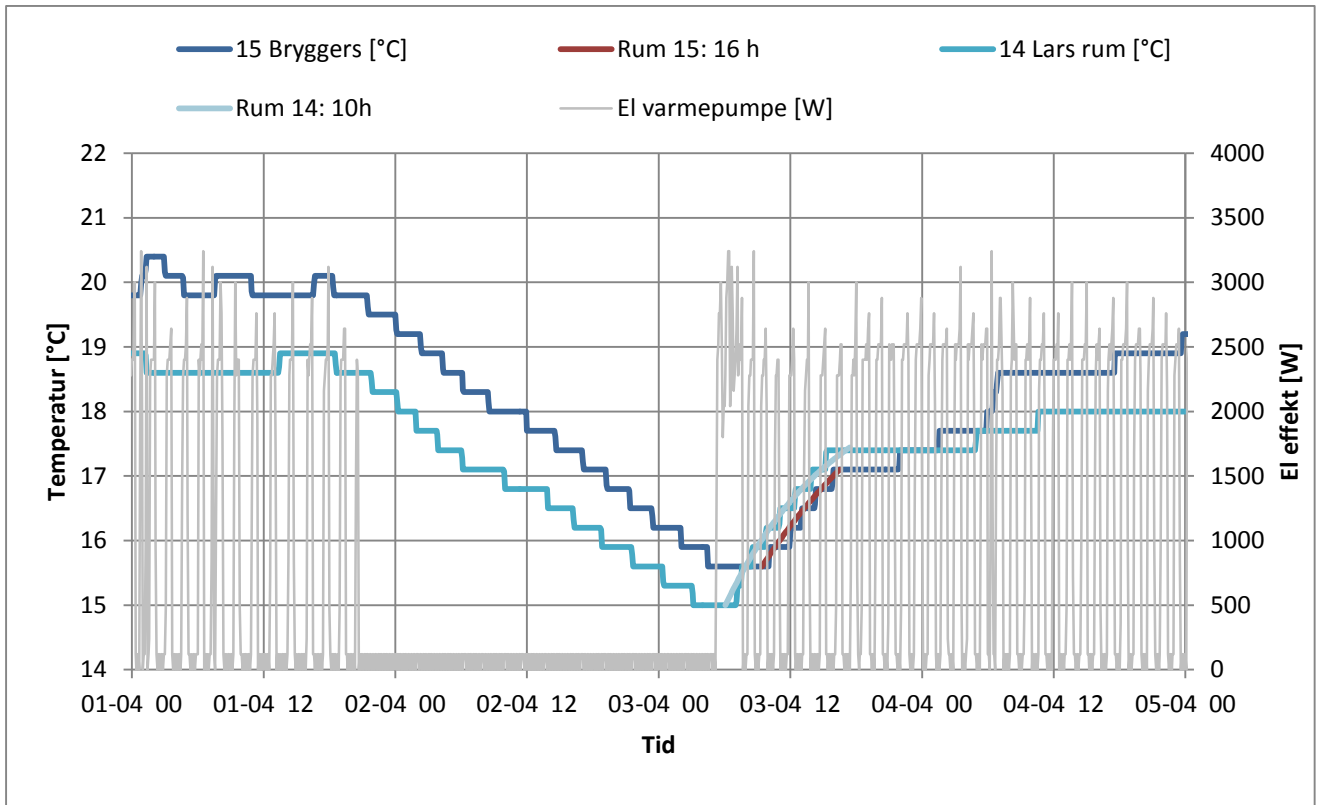


Figur 2.3.5 – Tidskonstanter ved genopvarmning for rum 11 og 16 i hus nr. 431

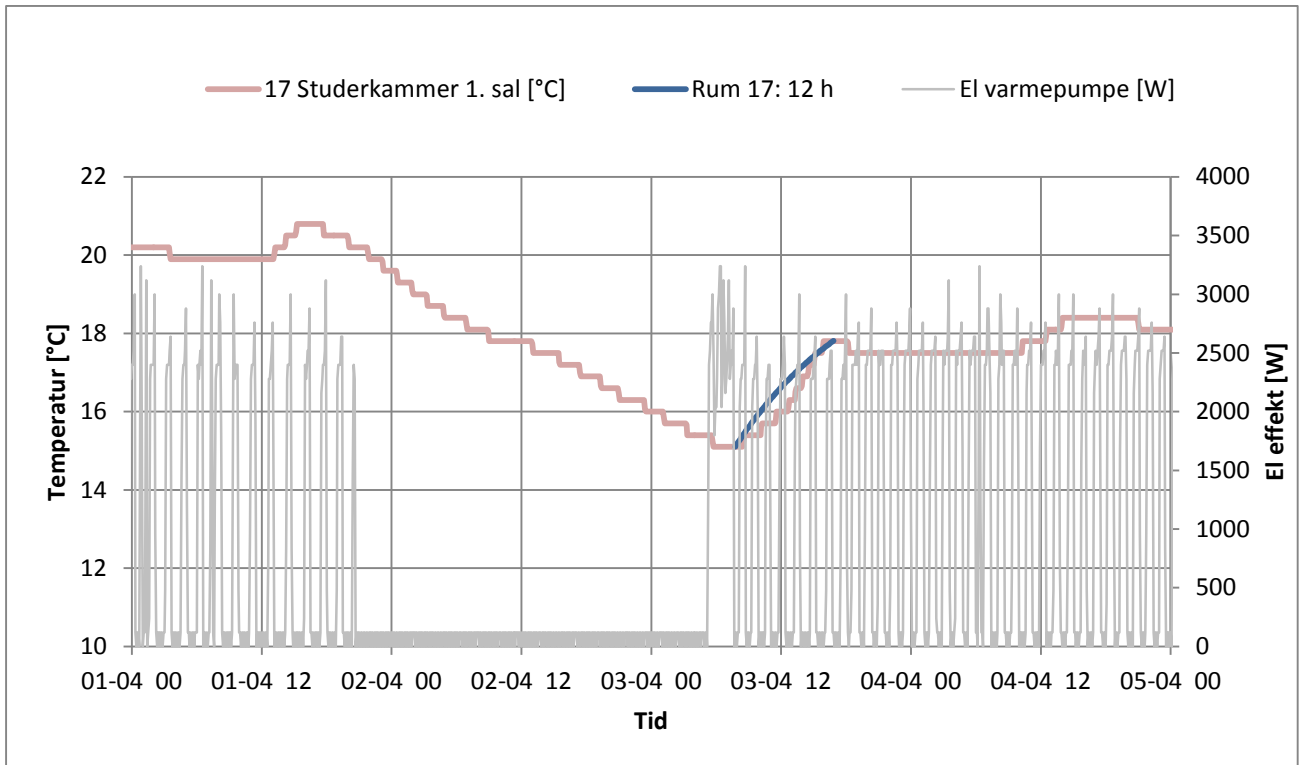


Figur 2.3.6 – Tidskonstanter ved genopvarmning for rum 12 og 13 i hus nr. 431





Figur 2.3.7 – Tidskonstanter ved genopvarmning for rum 14 og 15 i hus nr. 431



Figur 2.3.8 – Tidskonstant ved genopvarmning for rum 17 i hus nr. 431

## 2.4 Hus nr. 1590

Stamoplysninger	
ID	1590
Opførelsesår	1995/2010
Areal	210 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Dansk Varmepumpe industri – Queen VV9DC, 9 kW
Varmeafgivere	Radiatorer, gulvvarme (primær)
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne, 1 ung og 1 barn
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Træ
Vinduer mod syd	3 m <sup>2</sup>
Supplerende oplysninger	Olieforbrug 2009: 2.500 liter

### Beskrivelse af stop og genstart

Varmepumpen har været stoppet fra den 01-04 kl. 21.30 til den 02-04 kl. 05.00. I alt 7,5 time.

Udetemperaturen har i perioden haft en middelværdi på 3,5 °C (se figur 2.4.1).

Efter slukningen falder temperaturen i alle rum med en varierende forsinkelse (se figur 2.4.2 og 2.4.3).

Temperaturen i værelset 1. sal sydvest (nr. 15), er konstant igennem hele måleperioden på 20,8 °C, og der ses derfor bort fra dette rum. Den største forsinkelse, før temperaturen falder, ses for badeværelset mod øst (nr. 12) på ca. 4 timer.

Inden slukningen ligger rumtemperaturerne mellem ca. 20,5 og 22 °C. Værelset på 1. sal mod øst (nr. 14) ligger med den højeste temperatur omkring de 22 °C, og værelset mod nord på 1. sal (nr. 13) ligger lavest omkring 20,5 °C.

Temperaturen begynder at falde i alle rum (med undtagelse af det omtalte rum 15), indtil varmpumpen startes igen, og temperaturen flader ud. Sluttemperaturerne, inden temperaturstigningen begynder, ligger mellem 19,5 og 20,9 °C. Det største temperaturfald sker for storrum 1. sal mod vest (nr. 16), som falder fra 21 til 19,5 °C.

### Tidskonstanter ved afkøling

For at karakterisere temperaturfaldet i de enkelte rum er der indlagt kurver med forskellige tidskonstanter, der tilnærmer temperaturfaldet. Kurverne ses på figur 2.4.2 og 2.4.3. Der er forudsat en gennemsnitlig udetemperatur på 3,5 °C for perioden med temperaturfald. Der er set bort fra værelset på 1. sal sydvest (nr. 15), da temperaturen har været konstant igennem hele måleperioden.

I kontoret mod sydøst (måling nr. 11) er der målt en starttemperatur på 21,3 °C og en forsinkelse på 0,5 time. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant ca. 4-4,5 døgn.

I badeværelset mod øst (måling nr. 12), er der bestemt en starttemperatur på 21,1 °C og en forsinkelse på temperaturfaldet på lidt under 4 timer. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant hele 8-9 døgn.

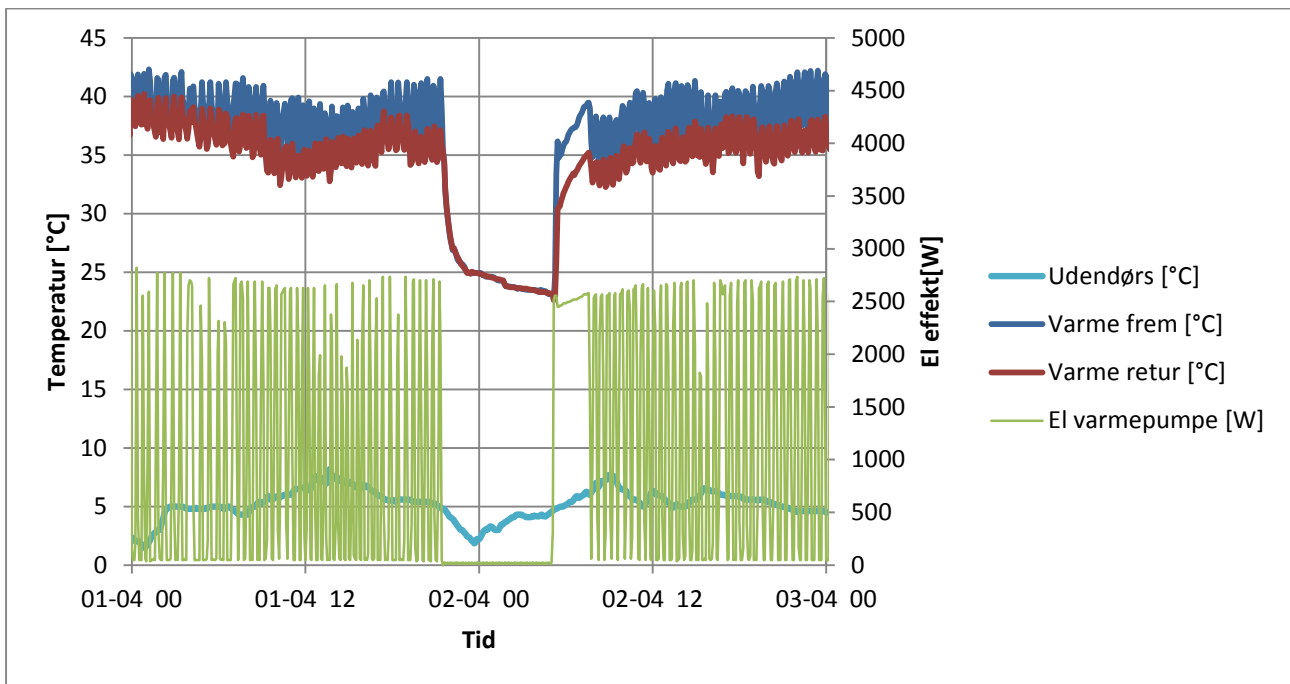
I soveværelset 1. sal nord (måling nr. 13) er der fundet en starttemperatur på 20,5 °C og en forsinkelse på 2 timer og 50 minutter. Temperaturudviklingen svarer til en tidskonstant mellem 5 og 5,5 døgn.

I værelset 1. sal øst (måling nr. 14) er der bestemt en starttemperatur på 21,8 °C og en lille forsinkelse på 10 minutter. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på ca. 5,5 døgn.

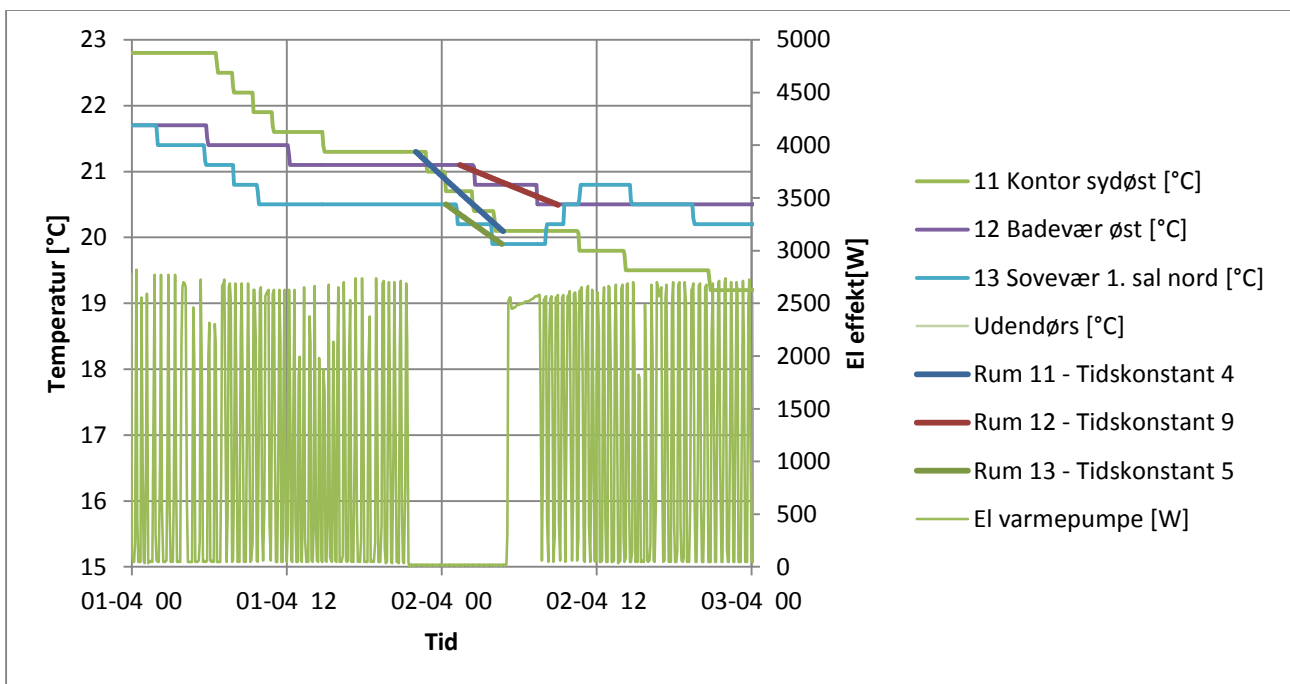
I storrum på 1. sal mod vest (måling nr. 16) er start temperaturen bestemt til 21 °C og en forsinkelse på 1 time. Temperaturudviklingen svarer til en tidskonstant mellem 3 og 3,5 døgn.

### Samlet vurdering

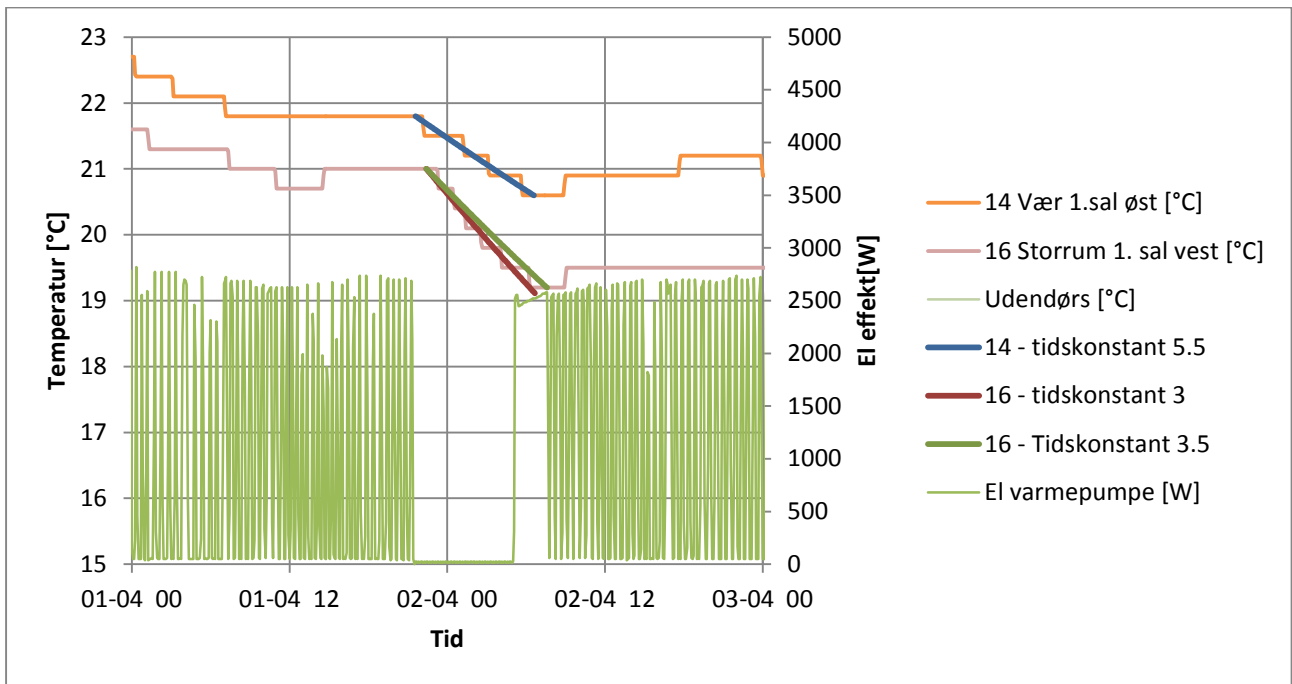
Resultaterne fra målingerne viser, at temperaturfaldet i de forskellige rum svarer til tidskonstanter mellem 3 og 9 døgn. Tendensen i rummene er, at tidskonstanten er på ca. 4-5 døgn, med storrummet i den lave ende omkring 3 døgn og badeværelset i den høje omkring 8-9 døgn.



Figur 2.4.1 - Varmepumpestop i hus nr. 1590



Figur 2.4.2 - Temperaturudvikling i rum 11, 12 og 13 med indlagt tidskonstant i hus nr. 1590



Figur 2.4.3 - Temperaturudvikling i rum 14 og 16 med indlagt tidskonstant i hus nr. 1590

## 2.5 Hus nr. 8331

Stamoplysninger	
ID	8331
Opførelsesår	1830 (2010)
Areal	273 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss DHP-H Opti Pro 12 – 12 kW
Varmeafgivere	Radiatorer (primær), gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	3 voksne
Ydervæg	Mursten (Tegl, kalksten, cementsten)
Indervægge	Træ
Gulv	Beton – belægning: klinker eller træ
Vinduer mod syd	4 m <sup>2</sup>
Supplerende oplysninger	Olieforbrug 2009: 4.000 liter Tag: Stråtag

### Beskrivelse af stop og genstart

Stoppet varmepumpe fra d. 30-01 kl. 13.45 til d. 30-01 kl. 22.25. I alt 8 timer og 40 min. Der har været en udetemperatur i perioden på -3,5 °C.

Efter udkoblingen af varmepumpen falder temperaturen i alle rum med en varierende forsinkelse. Den største forsinkelse ses på annekset (nr. 11, figur 2.5.3) og badeværelset (nr. 14, figur 2.5.4). I soveværelset vest (nr. 13), begynder temperaturfaldet, inden varmepumpen slukkes (svarende til tidspunktet omkring 8.45).

Studerer temperaturforløbet i dette rum igennem en længere periode (figurer 2.5.6), ses, at det påbegyndte temperaturfald er en regelmæssig tendens, som måske kan skyldes udluftning efter natten. Langt størstedelen af temperaturfaldet i rum 13 sker, inden varmepumpen stoppes, og derfor er der ikke indlagt tidskonstant for dette rum.

Der er normal opvarmning i de fleste rum med temperaturer på mellem 19 og 22,5 °C. Annekset ligger i den lave ende omkring 19,5 °C. Efter slukningen og temperaturfaldet stiger temperaturen i dette rum voldsomt i forhold til tidligere.

Temperaturen begynder at falde i alle rum, til der sættes varme på anlægget, hvorefter temperaturfaldet fortsætter kort efterfulgt af udfladning af temperaturen. Sluttemperaturene ved genstart af opvarmningen ligger for de fleste rum mellem 17,9 og 20 °C. Temperaturen efter faldet for badeværelset vest (nr. 16), og soveværelset vest (nr. 13) ligger omkring samme niveau i den høje ende (omkring de 19,5-20 °C), hvor resten af rummene er omkring 18 °C.

### Tidskonstanter ved afkøling

For at karakterisere temperaturfaldet i de enkelte rum er der indlagt kurver med forskellige tidskonstanter, der tilnærmer temperaturfaldet. Der er forudsat en gennemsnitlig udetemperatur på -3,5 °C for perioden med temperaturfald.

I annekset (måling nr. 11) er der bestemt en starttemperatur på 19,7 °C og en forsinkelse på 1 time og 35 minutter. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant ca. 6,5 døgn.

I kontor nordvest (måling nr. 12), er der fundet en starttemperatur på 22,4 °C, og temperaturfaldet sker umiddelbart uden forsinkelse fra afbrydelsen af varmepumpen. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på mellem 1,5 og 2 døgn.

I badeværelset ved soveværelset vest (nr. 14) er der fundet en starttemperatur på 22,2 °C og en forsinkelse på ca. 2,5 time. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på mellem 4 og 4,5 døgn. Niveautet ender på omtrent samme temperatur som soveværelset vest (måling nr. 13).

I soveværelset 1. sal vest (måling nr. 15) er der bestemt en starttemperatur på 20,5 °C og en forsinkelse på 40 minutter. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på ca. 3,5 døgn.

I badeværelset entre vest (måling nr. 16) mod vest er start temperaturen fundet til 21,4 °C og en forsinkelse på 1 time og 15 minutter. Temperaturudviklingen svarer til en tidskonstant mellem 3,5 og 4,5 døgn.

### **Tidskonstanter ved genopvarmning**

For måling nr. 11 er der ikke indlagt tidskonstanter for genopvarmningen, grundet en tydelig indflydelse fra brændeovn eller lignende (se figur 2.5.3). For rum nr. 13 (se figur 2.5.6) er der heller ikke medtaget tidskonstanter ved genopvarmning grundet, at den ikke var relevant for perioden med varmepumpestoppet, da temperaturforløbet var tydeligt påvirket af andet end varmepumpestoppet.

På figur 2.5.7 ses den indlagte tidskonstant for rum 12. Starttemperaturen for rum nr. 12 er sat til 17,9 °C og setpunktet er sat til 22,4 °C (temperaturen lige inden slukning). Temperaturstigningen svarer til en tidskonstant på 8 timer.

På figur 2.5.7 ses den indlagte tidskonstant for opvarmningen af rum 14. Starttemperaturen for rum nr. 14 er sat til 20,4 °C og setpunktet er sat til 22,2 °C. Temperaturstigningen svarer til en tidskonstant på 16 timer. Den opnåede temperatur er en del under temperaturen, inden varmepumpen blev slukket (henholdsvis 21,3 og 22,2 °C).

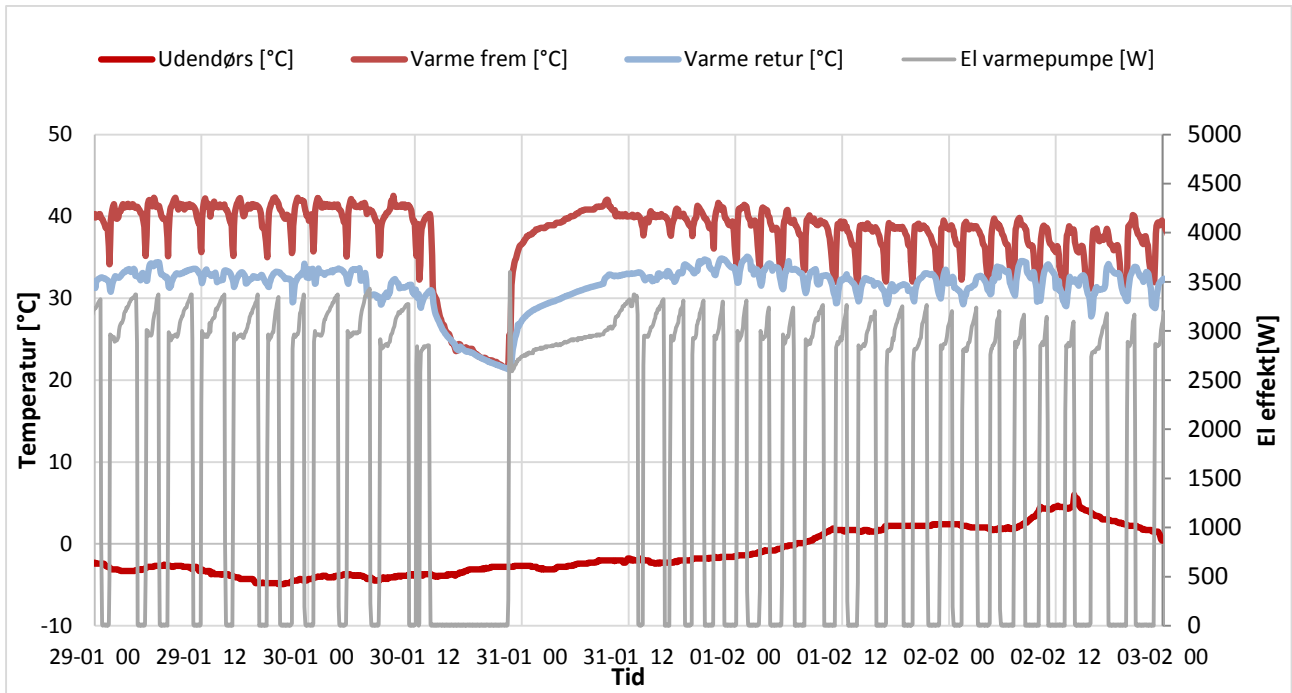
Figur 2.5.6 viser den indlagte tidskonstant for opvarmningen af rum 15. Starttemperaturen for soveværelset på 1. sal vest (nr. 15) er sat til 18,1 °C og setpunktet er sat til 20,5 °C. Temperaturstigningen svarer til en tidskonstant på 10 timer. Den opnåede temperatur er lidt under temperaturen, inden varmepumpen blev slukket (henholdsvis 20,2 og 20,5 °C).

På figur 2.5.8 ses tidskonstanten for opvarmningen af rum nr. 16. Starttemperaturen for rum nr. 16 er sat til 19,6 °C og setpunktet er sat til 21,4 °C. Temperaturstigningen svarer til en tidskonstant på 8 timer. Den opnåede temperatur er lidt under temperaturen, inden varmepumpen blev slukket (henholdsvis 21,1 og 21,4 °C).

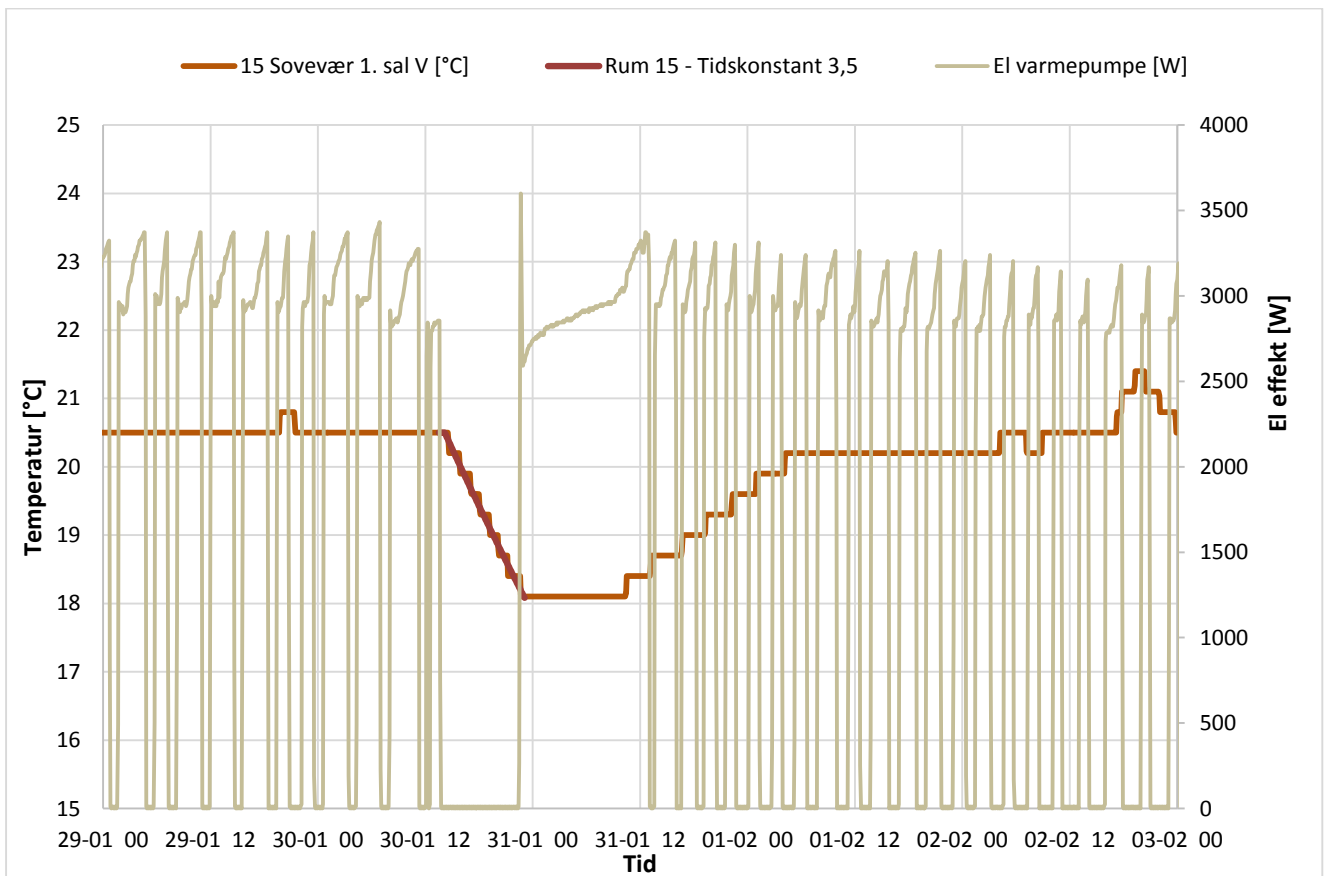
### **Samlet vurdering**

Resultaterne fra målingerne viser, at temperaturfaldet i rum i hovedhuset svarer til tidskonstanter mellem 3,5 til 4,5 døgn. I kontoret i nordvest (nr. 12) er tidskonstanten dog i den lavere ende på omkring 1,5 til 2 døgn. I annekset (nr. 11) er tidskonstanten oppe på omkring 5,5 døgn.

Fire tidskonstanter er fundet for genopvarmningen af et givent rum (nr. 12, 14, 15 og 16). Tidskonstanterne for genopvarmning er mellem 8 og 16 timer.

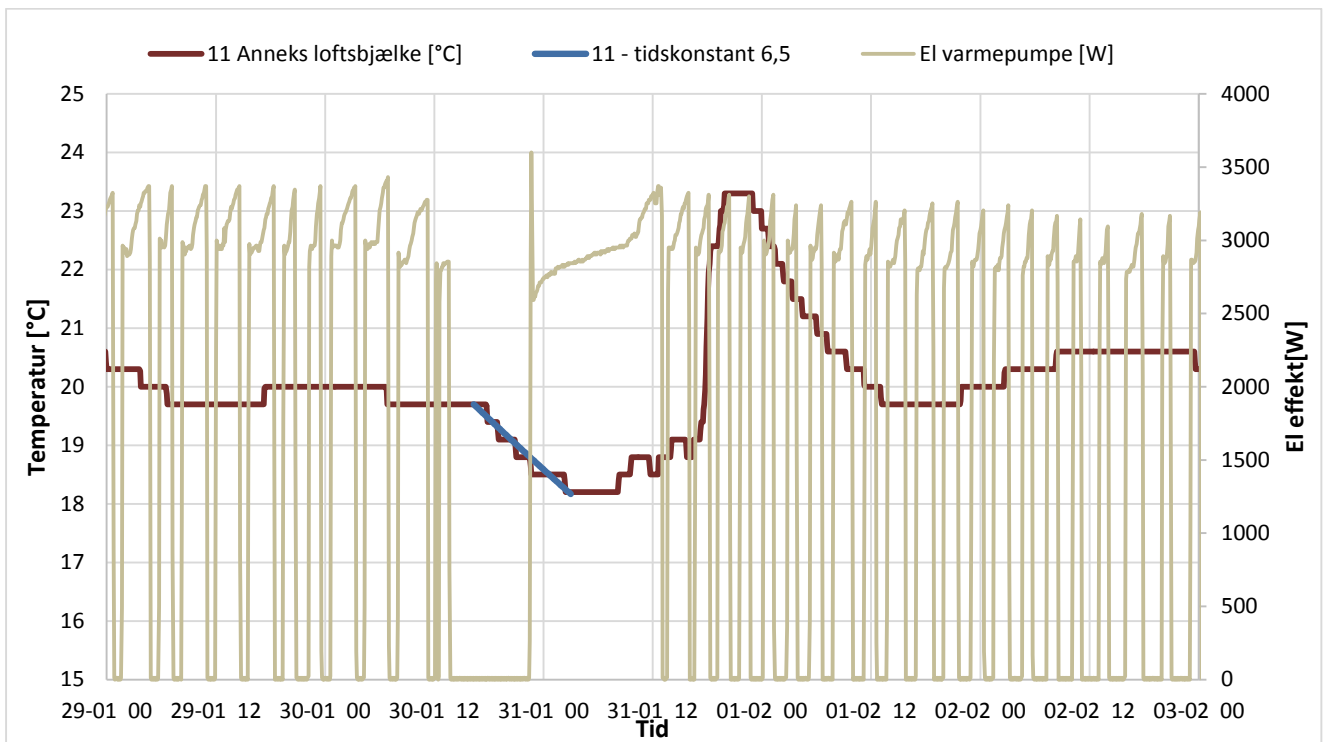


Figur 2.5.1 - Varmepumpestop i hus nr. 8331

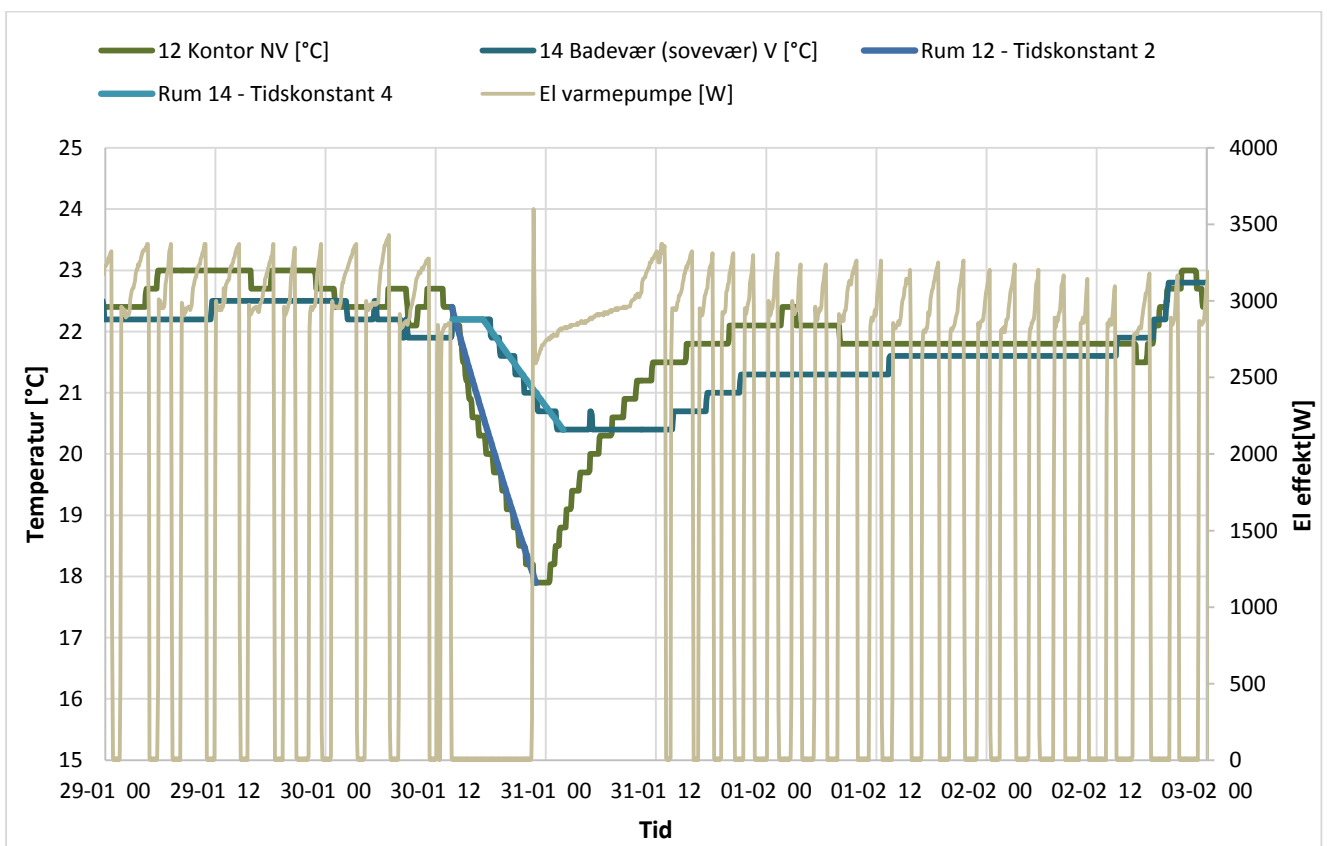


Figur 2.5.2 - Temperaturudvikling i rum 15 med indlagt tidskonstant i hus nr. 8331

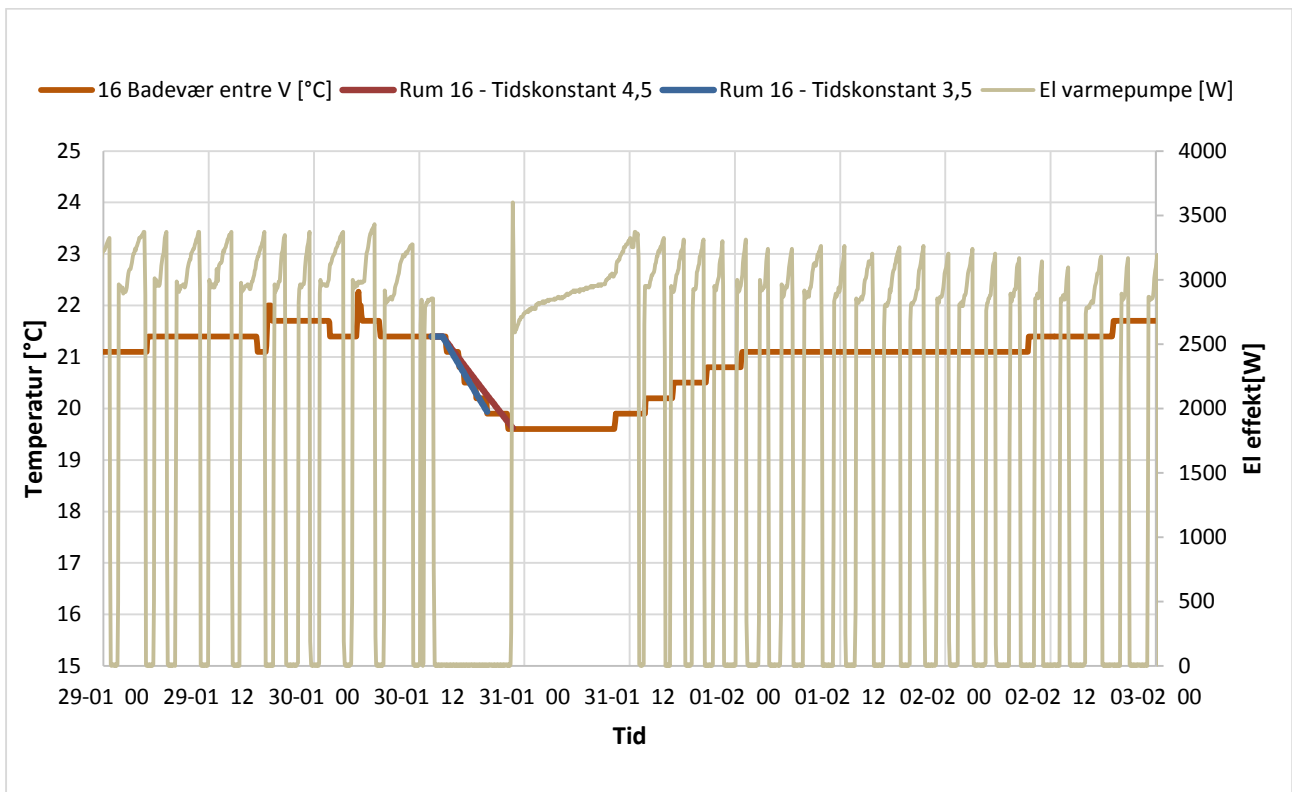




Figur 2.5.3 - Temperaturudvikling i rum 11 med indlagt tidskonstant i hus nr. 8331

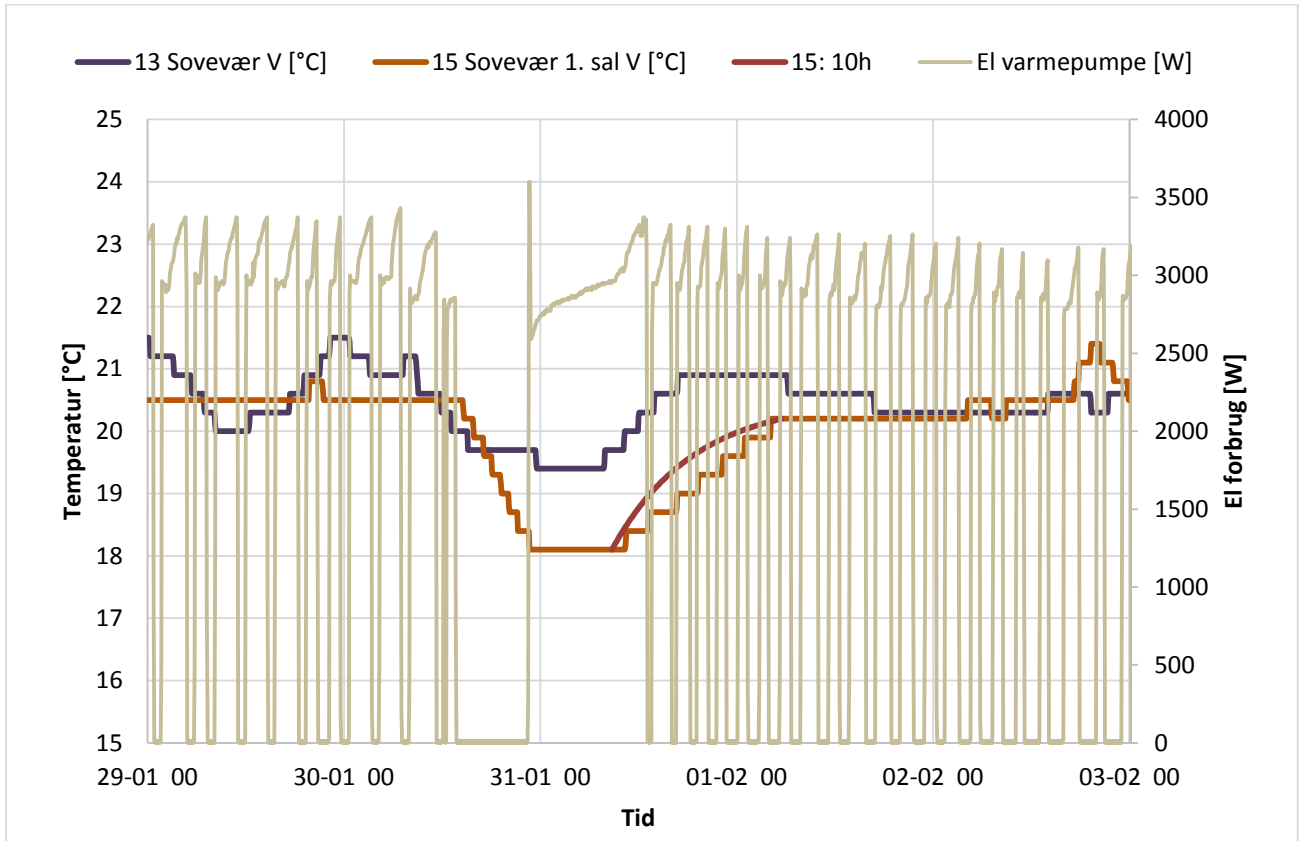


Figur 2.5.4 - Temperaturudvikling i rum 12 og 14 med indlagt tidskonstant i hus nr. 8331

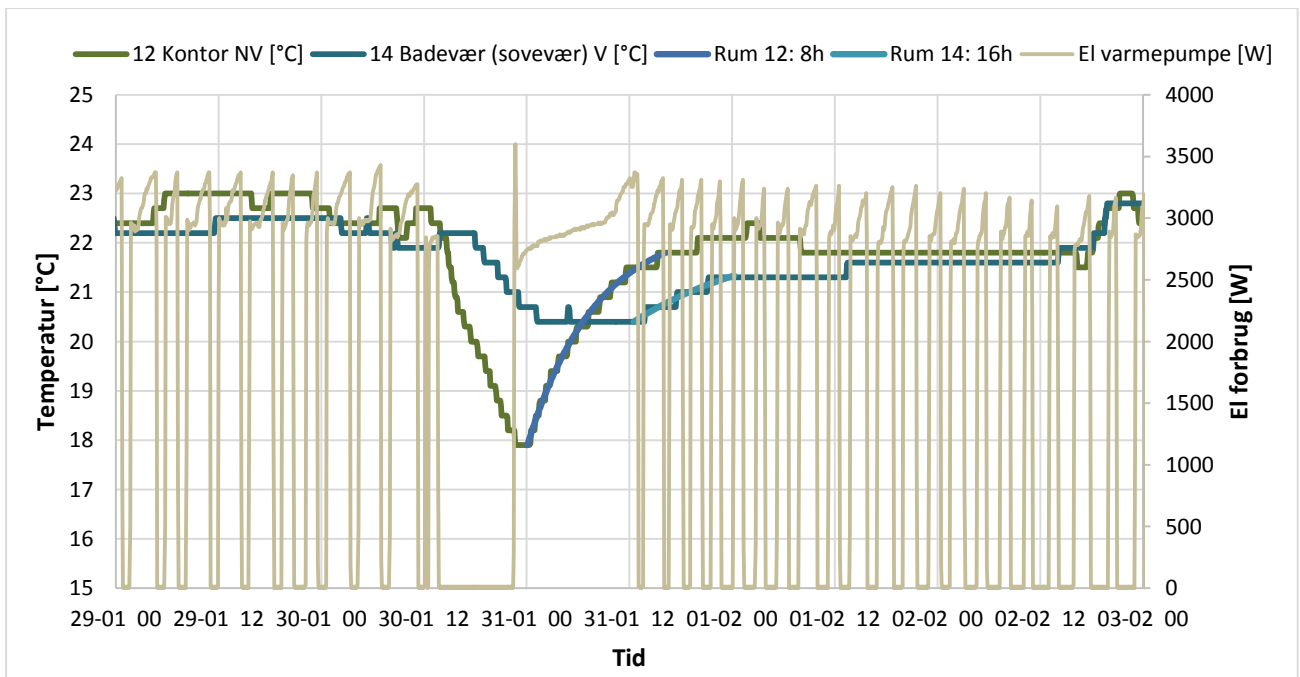


Figur 2.5.5 - Temperaturudvikling i rum 16 med indlagt tidskonstant i hus nr. 8331

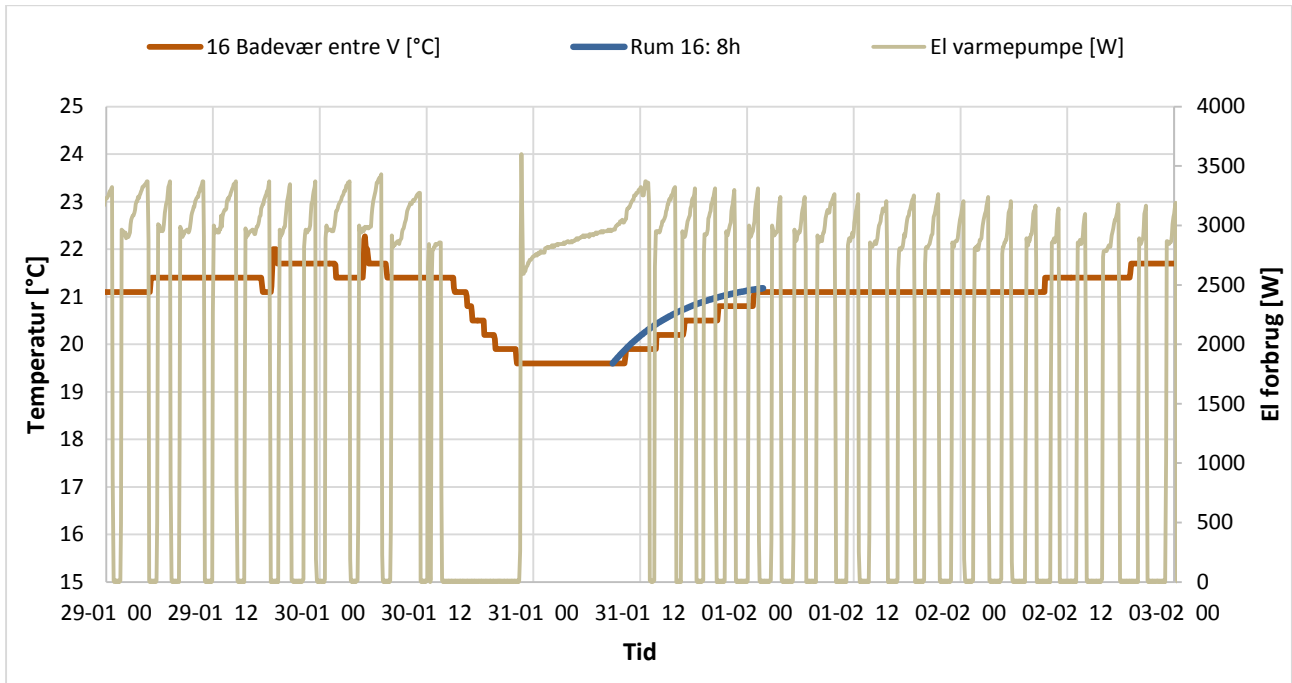
## Opvarmning



Figur 2.5.6 - Temperaturudvikling rum 15 med indlagt tidskonstant for genopvarmningen i hus nr. 8331



Figur 2.5.7 - Temperaturudvikling i rum 12 og 14 med indlagt tidskonstanter for opvarmningen i hus nr. 8331



Figur 2.5.8 - Temperaturudvikling i rum 16 med indlagt tidskonstanter for opvarmningen i hus nr. 8331

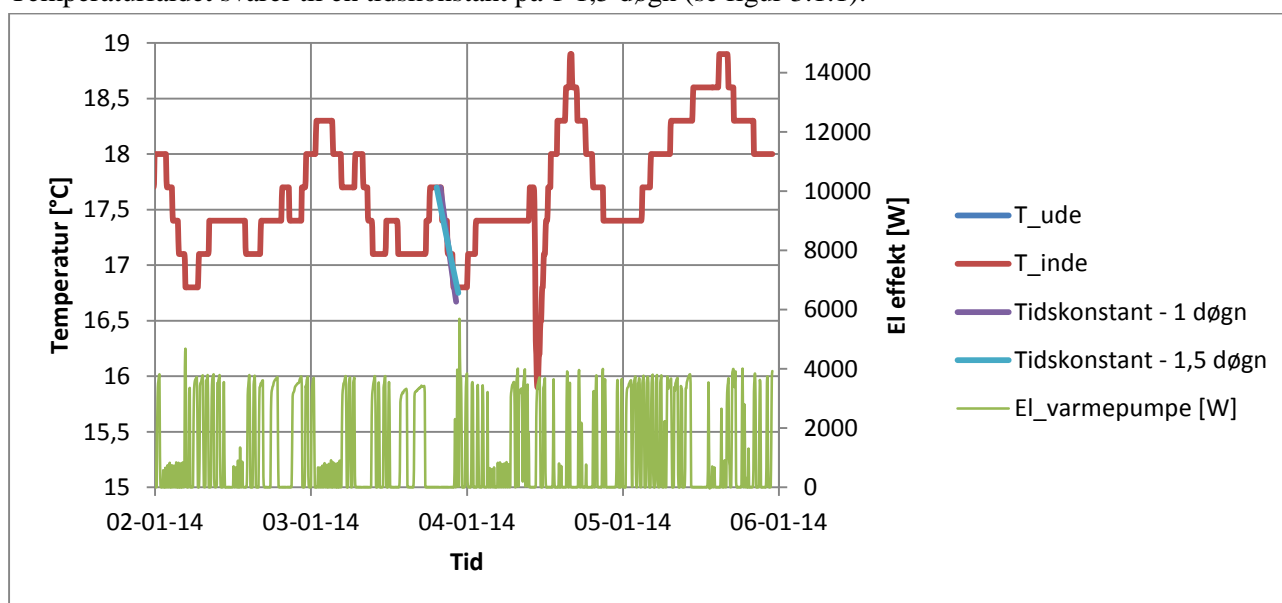
### 3 Huse med én temperatursensor

#### 3.1 Hus nr. 919

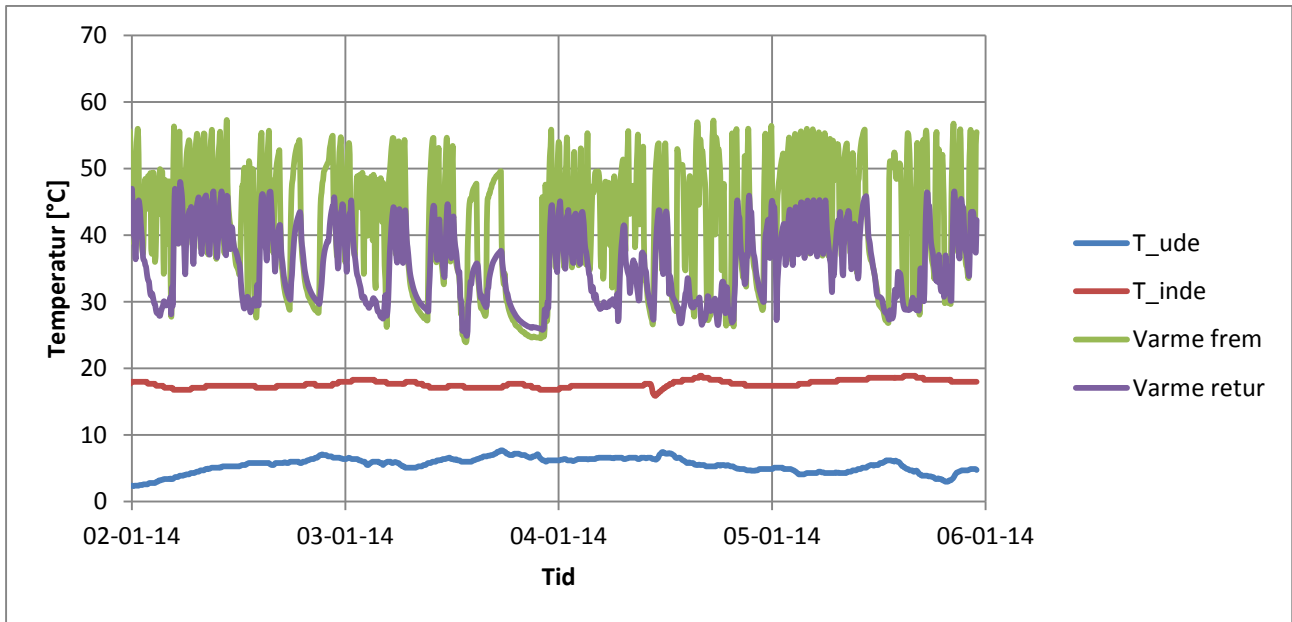
Stamoplysninger	
ID	919
Opførelsesår	1877 (senest renoveret i 1997 fra BBR)
Areal	188 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss Opti pro 12 kW
Varmeafgivere	Gulvvarme (primær), radiatorer
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne og 2 børn
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Gibs
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	Ikke oplyst

#### 03-01-2014

Varmepumpen stoppes d. 03-01-2014 kl. 17.35 og er slukket i 4 timer og 25 minutter. Middeltemperaturen i perioden har været ca. 7 °C, hvilket er 2 K over den maksimale udetemperatur (se figur 3.1.2). En temperaturstigning påbegyndtes, lige da varmpumpen stoppes, svarende til 0,6 K på 50 min. Dernæst er der en periode med konstant temperatur efterfulgt af et temperaturfald, så det i alt er en forsinkelse på 2,5 time. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 1-1,5 døgn (se figur 3.1.1).



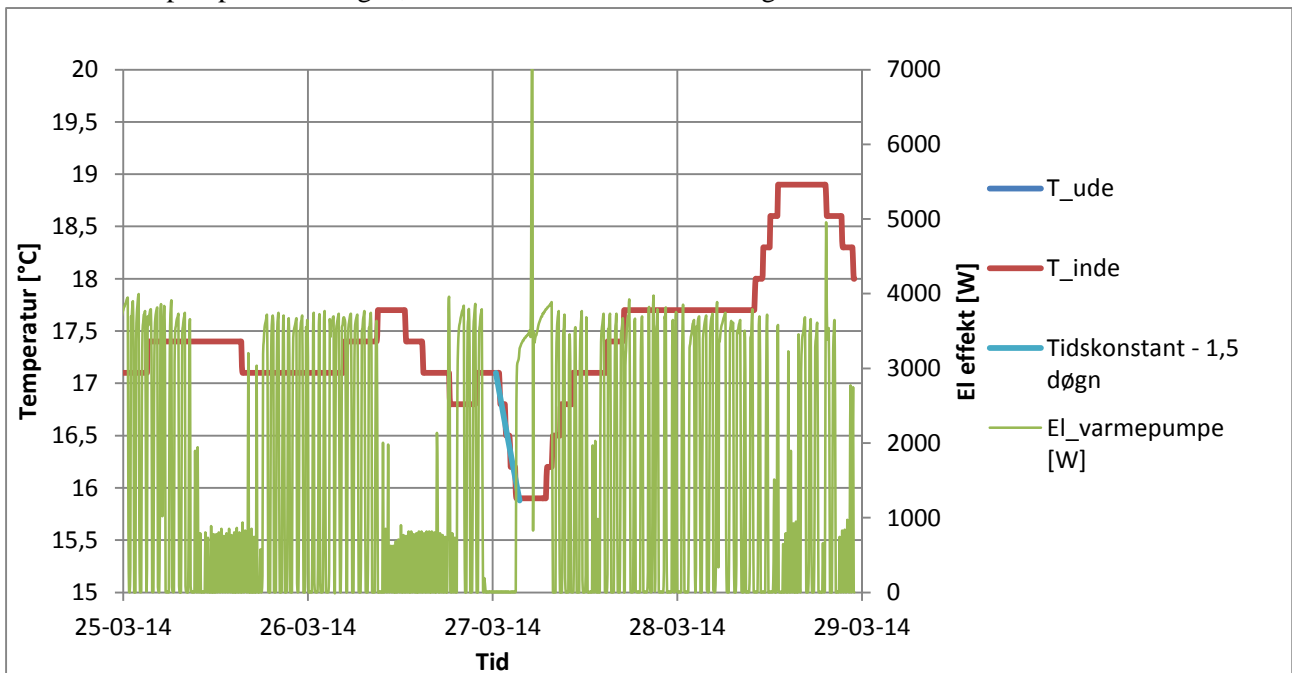
Figur 3.1.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 919 for varmpumpestop d. 03-01-2014



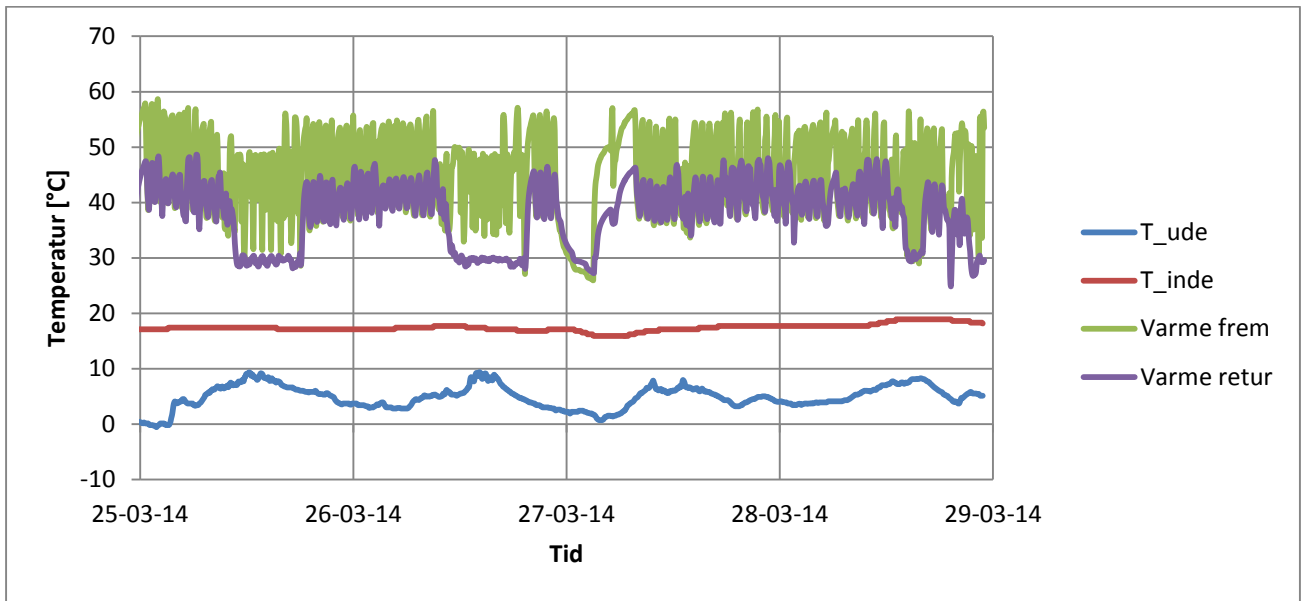
Figur 3.1.2 – Varmepumpestop d. 03-01-2014, med varme frem og retur samt temperatur indendørs og udendørs for hus nr. 919

### 26-03-2014

Varmepumpen har været stoppet i en periode på 4 timer og 15 minutter d. 26-03-2014 kl. 22.40 (se figur 3.1.4). Middeludetemperaturen i perioden har været 2,2 °C. I perioden inden det kontrollerede stop, har varmpumpen kørt med en regelmæssig konstant on/off-regulering. Temperaturen i rummet er forholdsvis lav op til den kontrollerede slukning (omkring 17-18 °C, se figur 3.1.3). Temperaturfaldet i slukningsperioden har en forsinkelse på ca. 1 time og 40 min, hvorefter den falder indtil varmpumpen genstartes. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på ca. 1,5 døgn med et temperaturfald helt ned til 15,9 °C. Da varmpumpen starter igen, kører den konstant i 4 timer og 40 minutter.



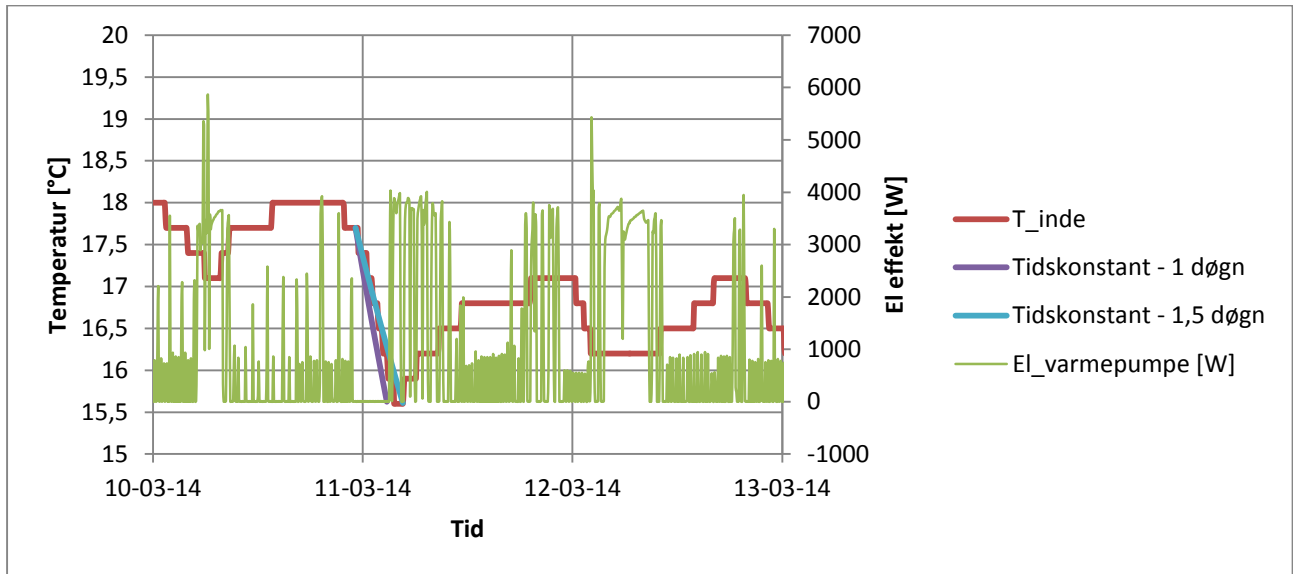
Figur 3.1.3 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 919 for varmpumpestop d. 26-03-2014



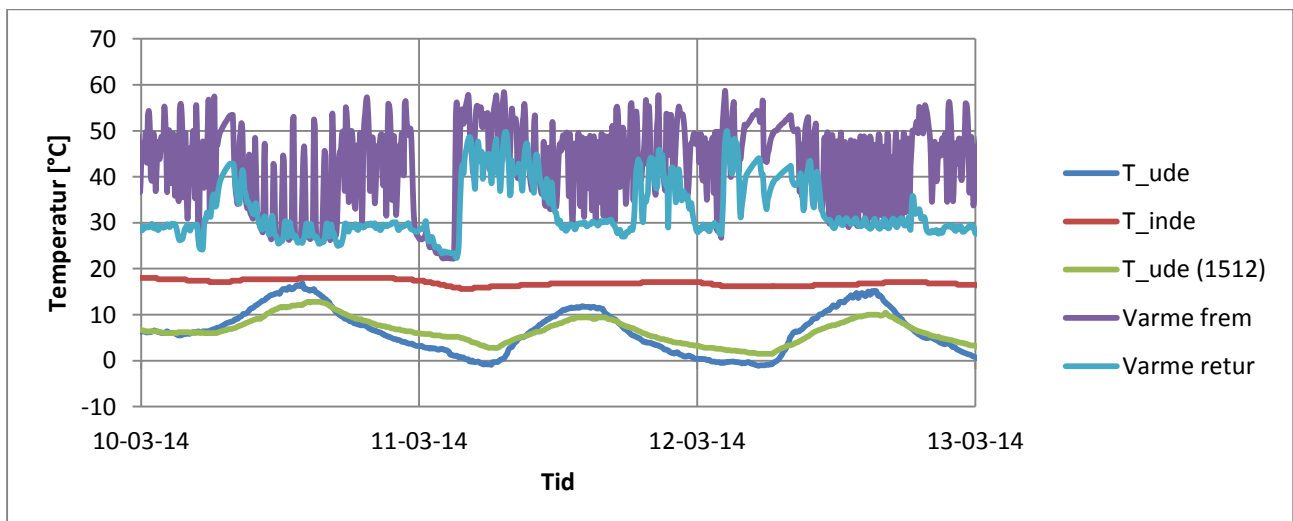
Figur 3.1.4 – Varmepumpestop d. 26-03-2014, med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 919

### 10-03-2014

Varmepumpen er blevet stoppet d. 10-03-2014 kl. 22.50 og har været slukket i en periode på 4 timer og 10 minutter. Værdierne fra udtemperaturmålingerne er blevet importeret fra et nærliggende hus, da store temperatursvingninger gav en mistanke om, at temperatursensoren var påvirket af solstråling. En middelludetemperatur i slukningsperioden er  $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (se figur 3.1.6). Temperaturen er for rummet igen relativ lav omkring  $17\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$  inden det kontrollerede stop. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på omkring 1,5 døgn (se figur 3.1.5).



Figur 3.1.5 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 919 for varmepumpestop d. 10-03-2014



Figur 3.1.6 – Varmepumpestop d. 10-03-2014, med varme frem og retur samt temperatur indendørs og udendørs for hus nr. 919.  $T_{ude}(1512)$  er hentet fra et nærliggende hus for at validere temperaturmålingernes relativt store udsving.

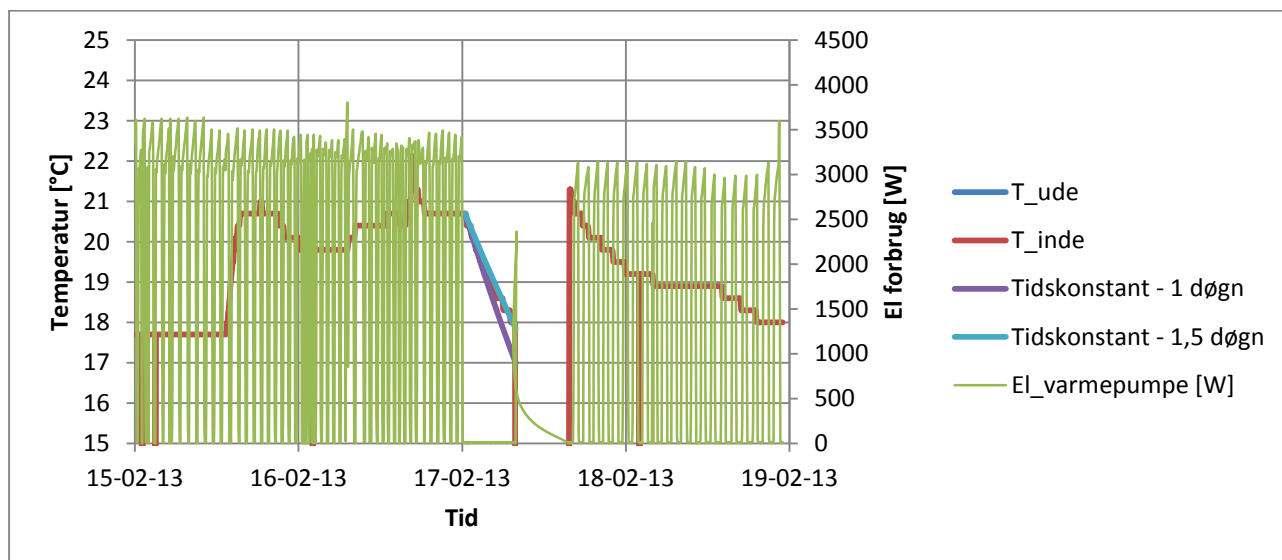


### 3.2 Hus nr. 3501

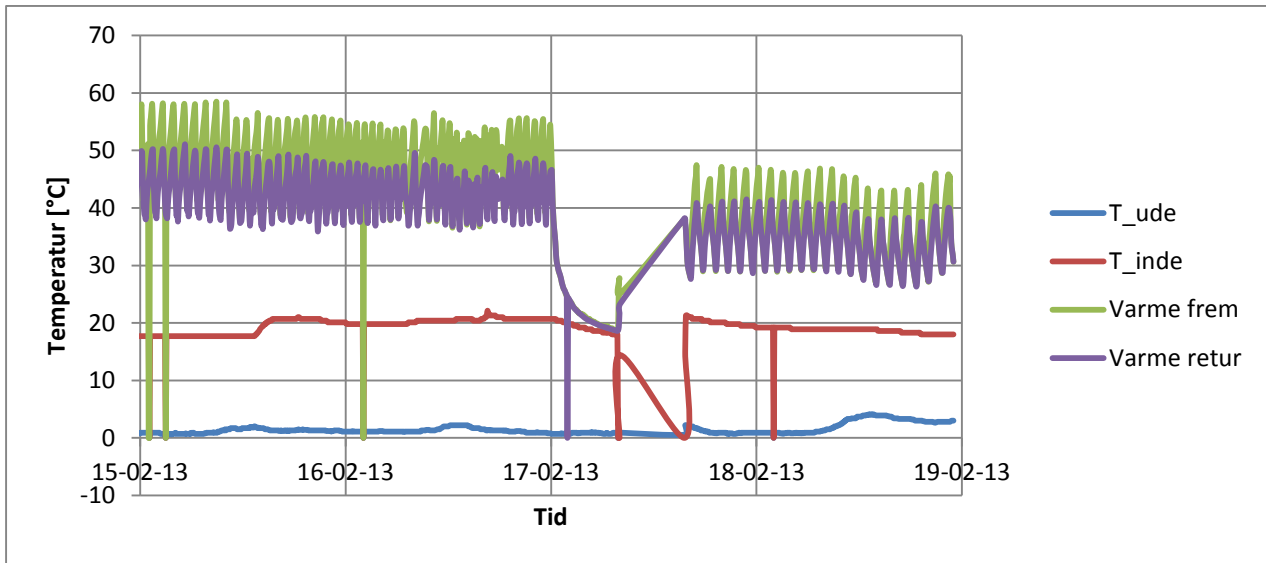
Stamoplysninger	
ID	3501
Opførelsesår	1906
Areal	190 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss DHP-H Opti Pro 12 kW
Varmeafgivere	Radiatorer (primær), gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Træ
Vinduer mod syd	13 m <sup>2</sup>

#### 17-3-2013

Varmepumpen har været stoppet d. 17-03-2013 kl. 00.05 og forblev slukket i 7 timer og 45 minutter. Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på ca. 1 °C i slukningsperioden (se figur 3.2.2). I perioden inden slukningen har varmpumpen kørt konstant forbrug og en regelmæssig on/off-regulering. Da varmpumpen slukkes, er der en forsinkelse på 20 minutter, før temperaturen i rummet falder fra 20,7 °C til 18 °C (se figur 3.2.1). Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 1,5 døgn. Efter slukningsperioden ses en mystisk udvikling i alle data, som skyldes manglende data fra genstart kl. 08.05 og indtil kl. 15.35. De data, der er fra kl. 15.35, viser, at varmpumpen er tilbage i regelmæssig on/off-regulering.



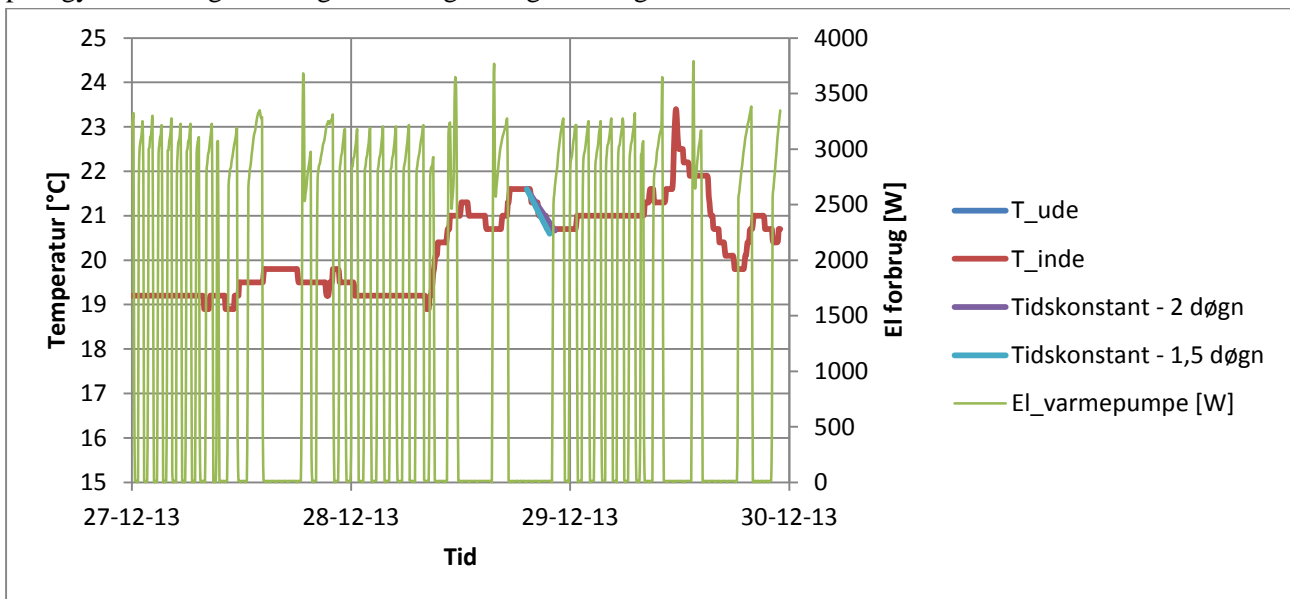
Figur 3.2.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 3501 for varmpumpestop d. 17-03-2013



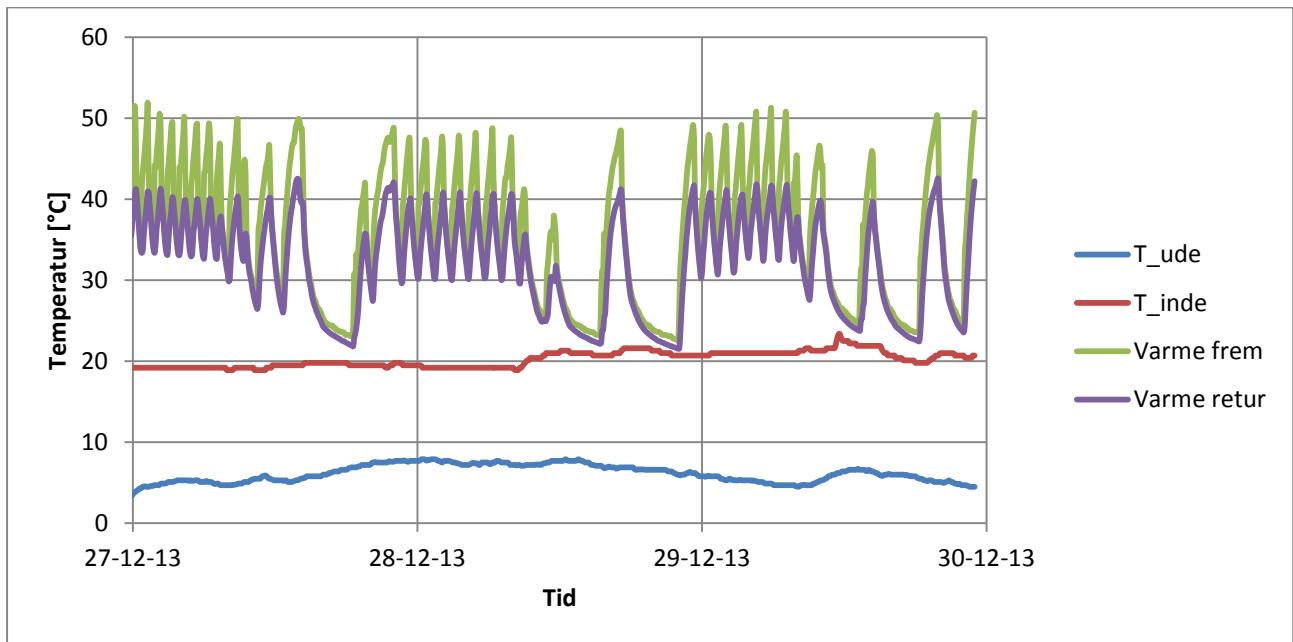
Figur 3.2.2 – Varmepumpestop d. 17-03-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udedørs for hus nr. 3501

### 28-12-2013

Varmepumpen har været slukket d. 28-12-2013 kl. 17.15 i 4 timer og 45 minutter. Middeludetemperaturen i slukningsperioden har været 6,5 °C, hvilket er 1,5 K over den foretrukne maksimale udetemperatur (se figur 3.2.4). Inden den kontrollerede slukning, har varmpumpen i løbet af dagen været slukket i 3 timer og 40 minutter fra kl. 11.45. Inden slukningen har varmpumpen kørt konstant i 1 time og 40 minutter (se figur 3.2.3). Natten til d. 28-12-2013 har varmpumpen kørt med en regelmæssig on/off-regulering, som fortsætter, da varmpumpen igen startes efter den kontrollerede slukning. Da varmpumpen slukkes, er der en forsinkelse på 2 timer, før der sker et temperaturfald indendørs. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 1,5-2 døgn. Efter slukningsperioden, kører varmpumpen konstant i 1 time og 15 minutter, hvorefter den påbegynder en regelmæssig on/off-regulering som døgnet før.



Figur 3.2.3 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 3501 for varmpumpestop d. 28-12-2013



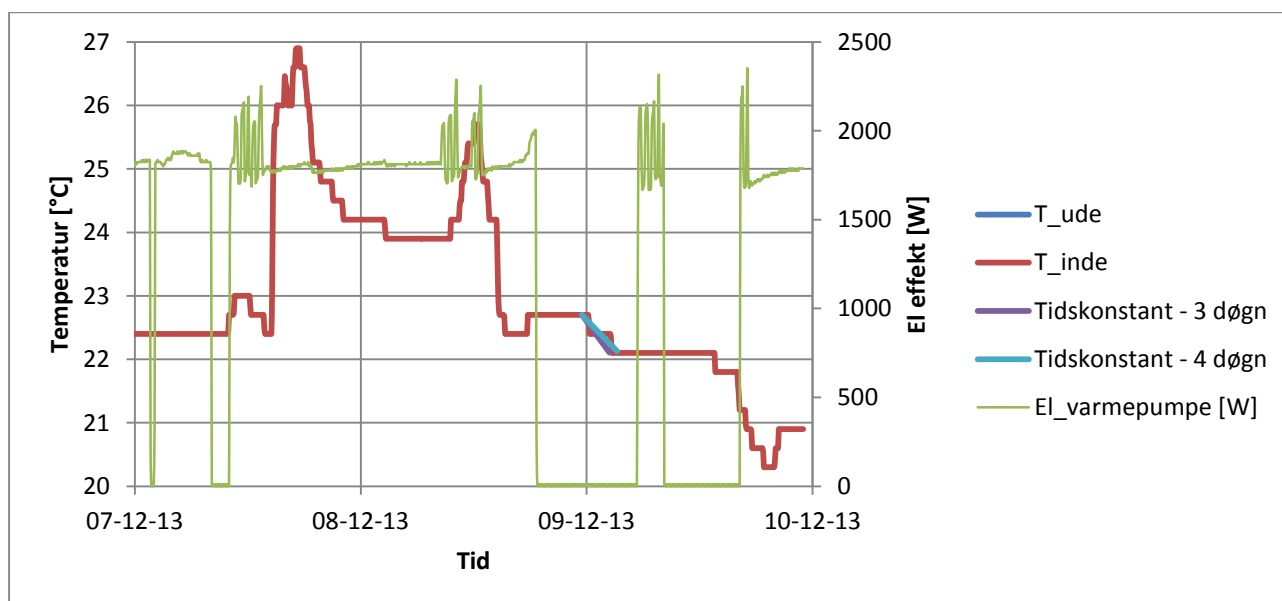
Figur 3.2.4 – Varmepumpestop d. 28-12-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 3501

### 3.3 Hus nr. 2201

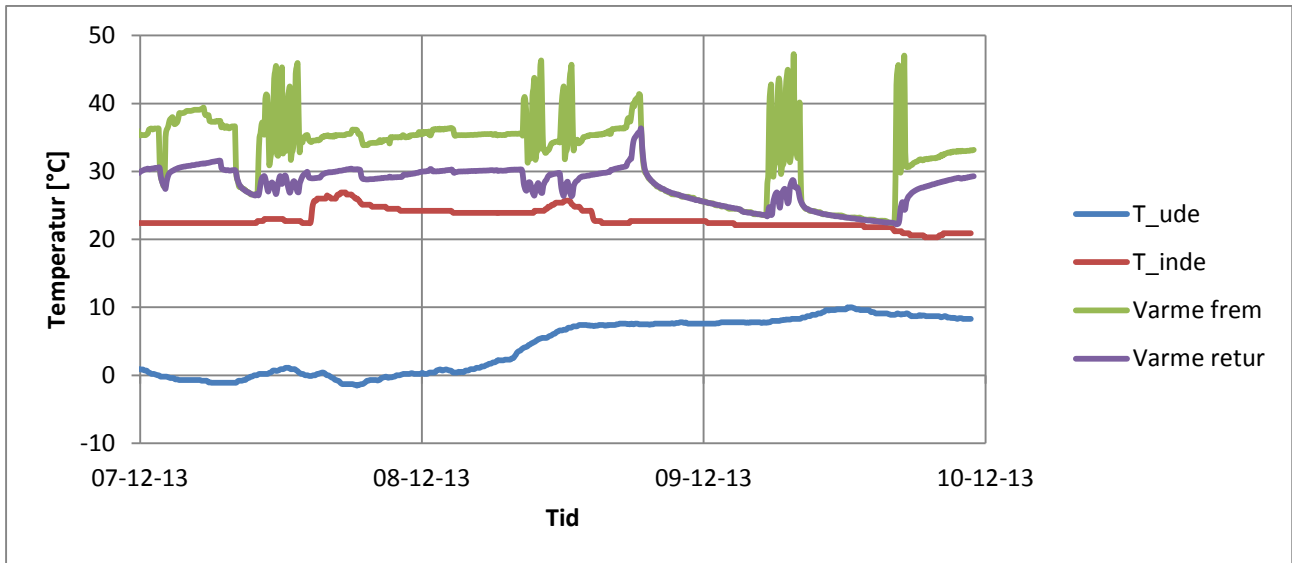
Stamoplysninger	
ID	2201
Opførelsesår	1913 (seneste renovering 2012 fra BBR)
Areal	182 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss DHP-h
Varmeafgivere	Gulvvarme (primær), radiator
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne, 3 børn, 1 ung
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	10 m <sup>2</sup>

#### 08-12-2013

Varmepumpen har været slukket d. 08-12-2013 kl. 18.45 i 10 timer og 30 minutter. Middeludetemperaturen har været 7,7 °C, hvilket er 2,7 K over den foretrukne maksimale temperatur i perioden (se figur 3.3.2). I perioden forud for slukningen er der en meget stor temperaturændring indendørs (se figur 3.3.1), som sandsynligvis skyldes brugen af brændeovn. Dette har påvirket temperaturforholdene væsentligt. Da varmepumpen slukkes, er temperaturen faldet til et niveau på 22,4 °C. Da varmepumpen startes igen, er temperaturen 22,7 °C. Der er en forsinkelse på 4 timer og 45 minutter på temperaturfaldet indendørs, efter varmepumpen er slukket. Temperaturfaldet i slukningsperioden svarer til en tidskonstant på 3-4 døgn. Faldet er på 0,6 K fra 22,7 til 22,1 °C, hvilket den stabiliseres ved i en længere periode, inden varmepumpen startes igen (3 timer og 40 min).



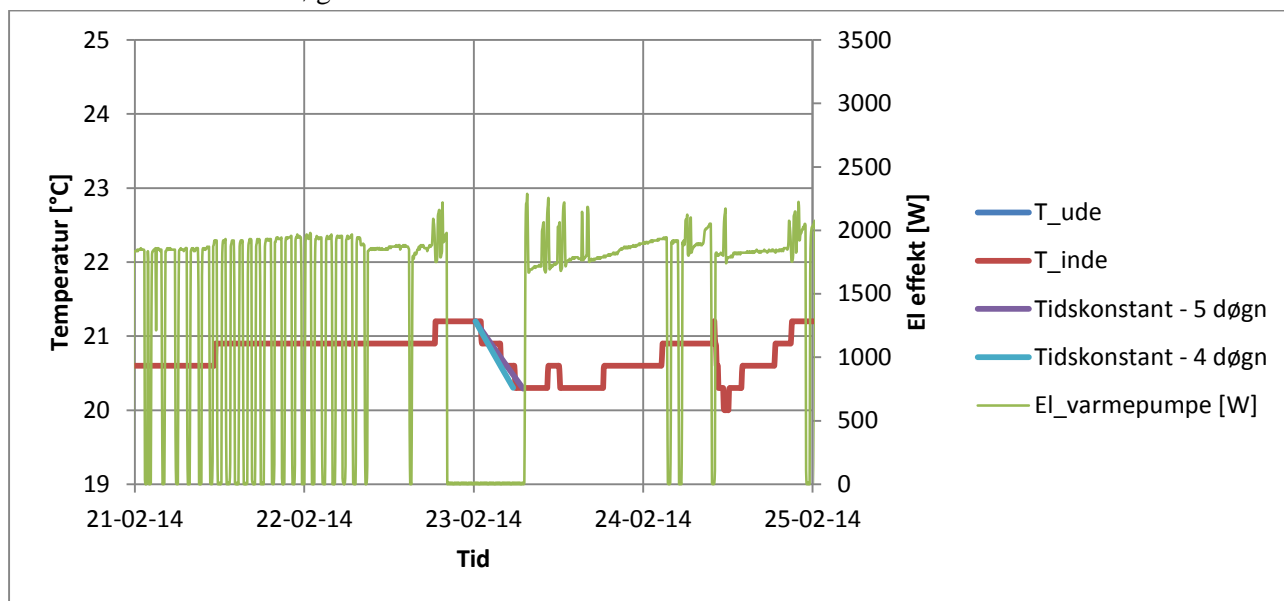
Figur 3.3.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 2201 for varmepumpestop d. 08-12-2013



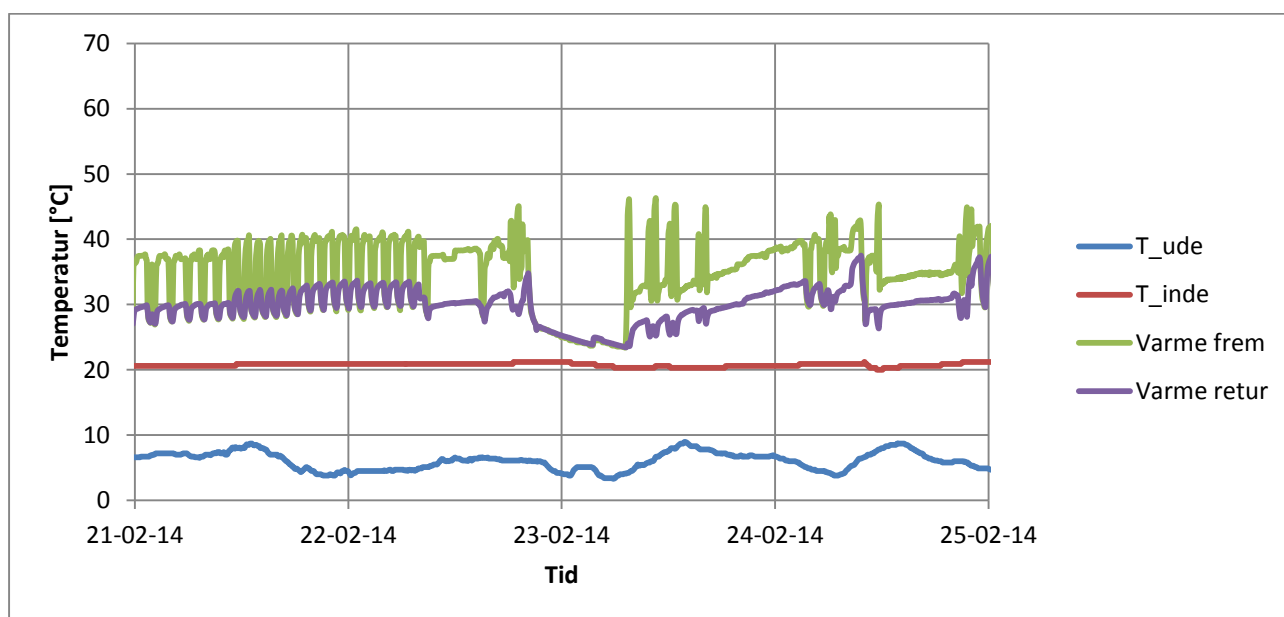
Figur 3.3.2 – Varmepumpestop d. 08-12-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 2201

## 22-02-2014

Den 22-02-2014 kl. 20.20 har varmepumpen været slukket i 10 timer og 50 minutter. Middeltemperaturen udenfor har i slukningsperioden været 4,5 °C (se figur 3.3.4). I perioden inden slukningen, har varmepumpen kørt med regelmæssig on/off-regulering. Lige op til slukningen har varmepumpen kørt konstant i to perioder af 5-6 timers varighed, afbrudt af 10 minutters slukning. Da varmepumpen slukkes, er temperaturen lige steget 0,3 K til 21,2 °C (se figur 3.3.3). Der er en forsinkelse på rumtemperatures fald på 3 timer og 55 minutter. Temperaturfaldet svarer til en tidskonstant på 4-5 døgn. Efter genstart af varmepumpen kører den konstant det resterende døgn.



Figur 3.3.3 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 2201 for varmepumpestop d. 22-02-2014



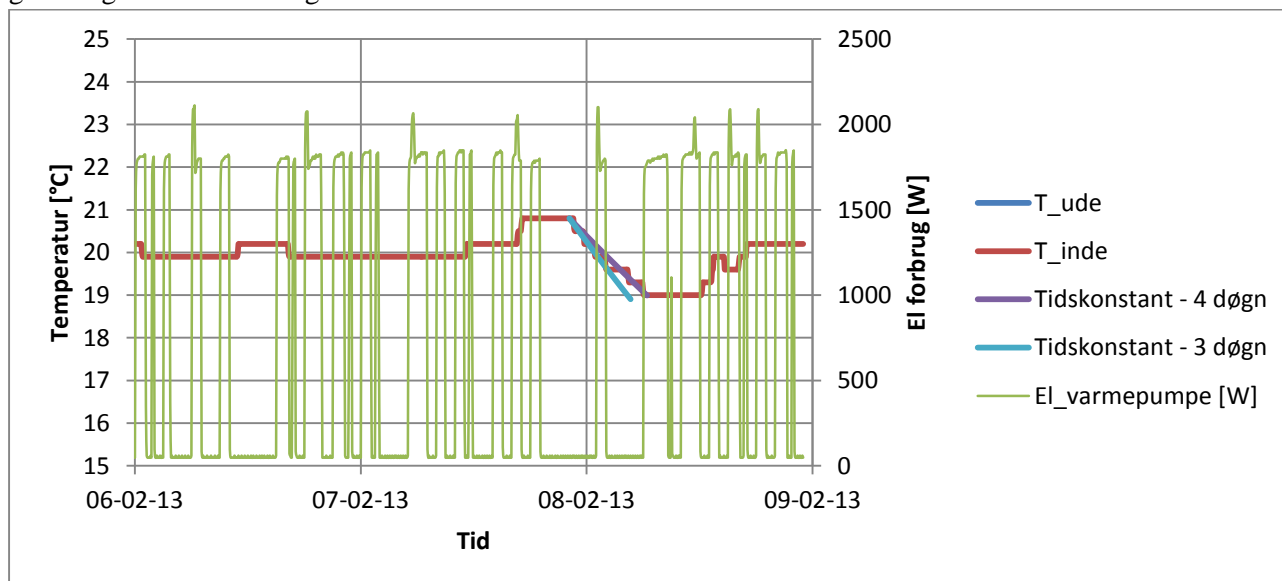
Figur 3.3.4 – Varmepumpestop d. 22-02-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 2201

### 3.4 Hus nr. 1041

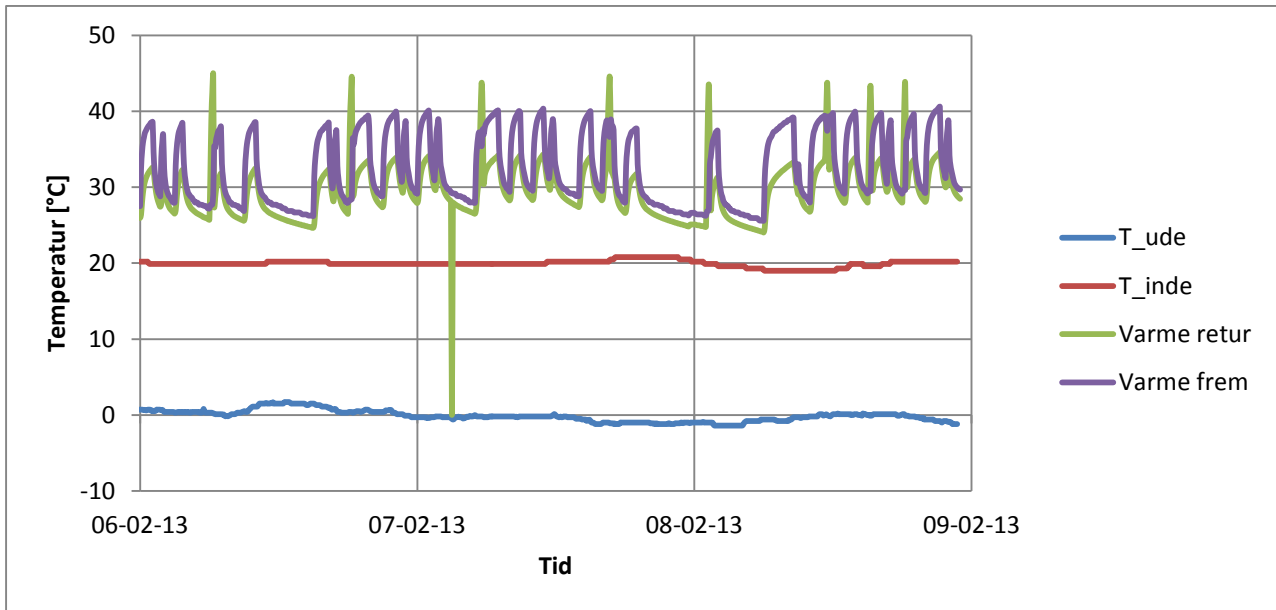
Stamoplysninger	
ID	1041
Opførelsesår	1920/2010
Areal	142 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Vølund Fighter 1245 8 kW
Varmeafgivere	Gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Gips
Gulv	Træ
Vinduer mod syd	10 m <sup>2</sup>

#### 07-10-2013

Varmepumpen har været stoppet d. 07-10-2013 kl. 19.00 i 6 timer. Efter de 6 timer starter varmpumpen kort i 1 time, hvorefter den er slukket i 4 timer. Derfor falder temperaturen i en længere periode på ca. 10 timer (se figur 3.4.1). Da varmpumpen startes efter de to stop, kører den konstant i 2,5 time og temperaturfaldet stopper. Temperaturen udenfor har i slukningsperioden haft en middelværdi på -1 °C (se figur 3.4.2). I perioden op til stoppet sker der en temperaturstigning i rummet, og der kan observeres en forsinkelse på ca. 3 timer, inden temperaturfaldet begynder. Temperaturen falder fra 20,8 til 19,0 °C. I den første slukningsperiode på 6 timer svarer temperaturændringen til en tidskonstant på ca. 3 døgn. Efter en kort genstart ændres tidskonstanten til 3-4 døgn. Det skal bemærkes, at huset er fra 1920, men har gennemgået gennemgående renovering i 2010.



Figur 3.4.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 1041 for varmpumpestop d. 07-10-2013



Figur 3.4.2 – Varmepumpestop d. 07-10-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 1041

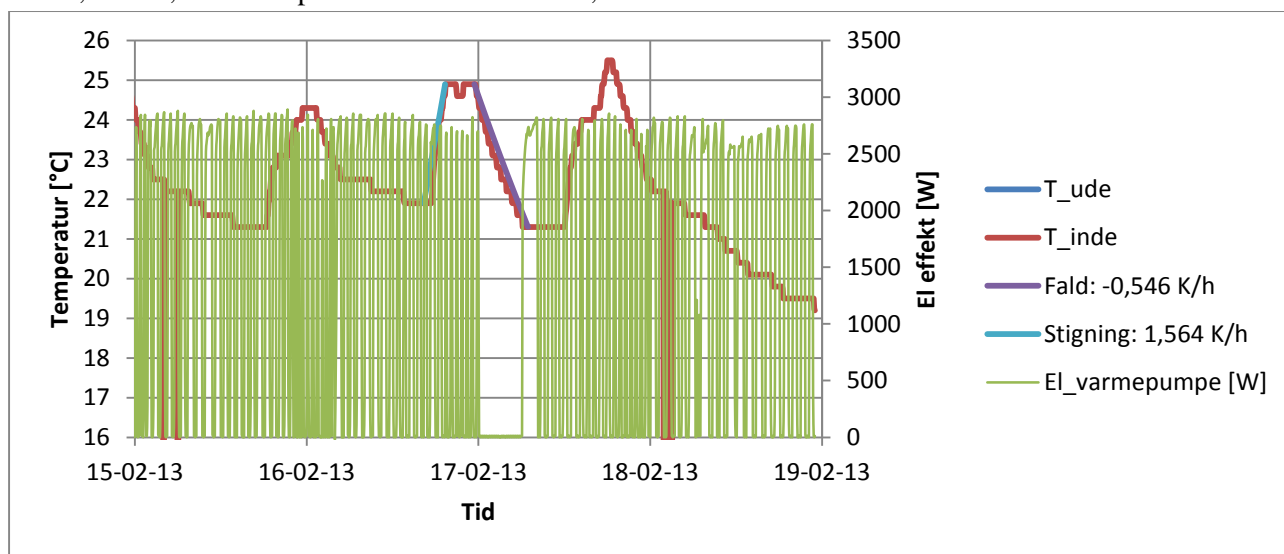


### 3.5 Hus nr. 178

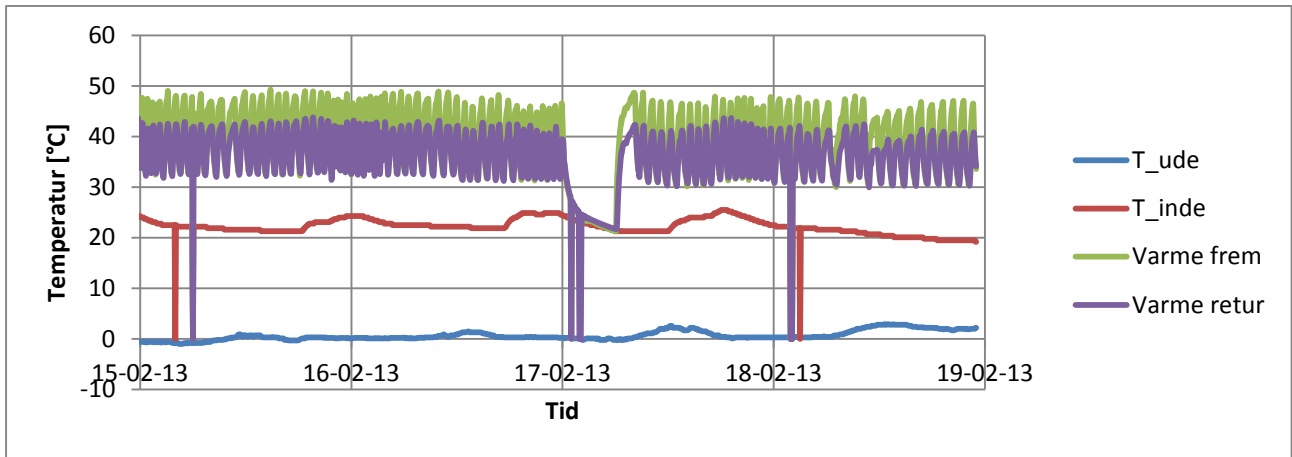
Stamoplysninger	
ID	178
Opførelsesår	1950 (senest renoveret 1974 fra BBR)
Areal	162 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss DHP-H Opti pro 10
Varmeafgivere	Gulvvarme (primær), radiatorer
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne og 1 barn
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Træ
Vinduer mod syd	9,5 m <sup>2</sup>

#### 16-02-2013

Varmepumpen har været stoppet d. 16-02-2013 kl. 23.55 i 6 timer og 15 minutter. Middeludetemperaturen i slukningsperioden har været omkring 0 °C (se figur 3.5.2). I perioden omkring varmepumpens stop ses det, at brændeovnen sandsynligvis har været taget i brug inden slukningsperioden (se figur (3.5.1)). En temperaturstigning som følge af mulig brug af brændeovn starter kl. 17.25, og stigningen går fra 21,9 til 24,9 °C på 2 timer og 55 minutter. Det svarer til en stigning på 1,6 K/h. Det efterfølgende temperaturfald, som finder sted i slukningsperioden for varmepumpen, varer ca. 6 timer og 35 minutter, og temperaturen falder fra 24,9 til 21,3 °C. Temperaturfaldet svarer til -0,5 K/h.



Figur 3.5.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 178 for varmepumpestop d. 16-02-2013



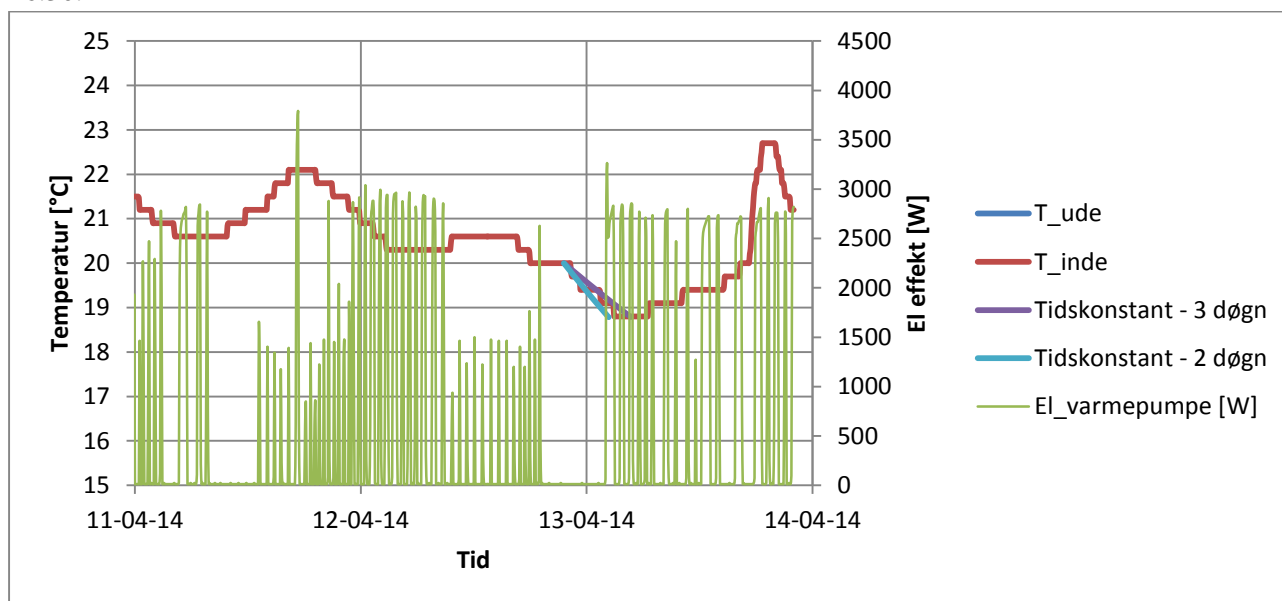
Figur 3.5.2 – Varmepumpestop d. 16-02-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 178

### 3.6 Hus nr. 7591

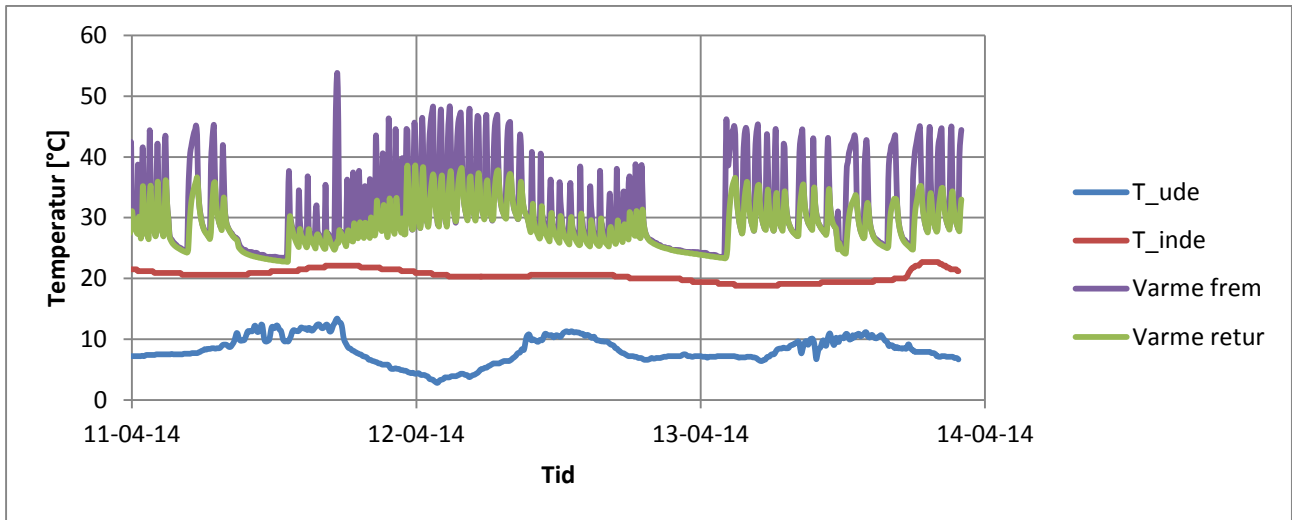
Stamoplysninger	
ID	7591
Opførelsesår	1982
Areal	175 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss, DHP-H OPTI 10
Varmeafgivere	Primær gulvvarme, radiator
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Gasbeton
Gulv	Træ
Vinduer mod syd	8 m <sup>2</sup>

#### 12-04-2014

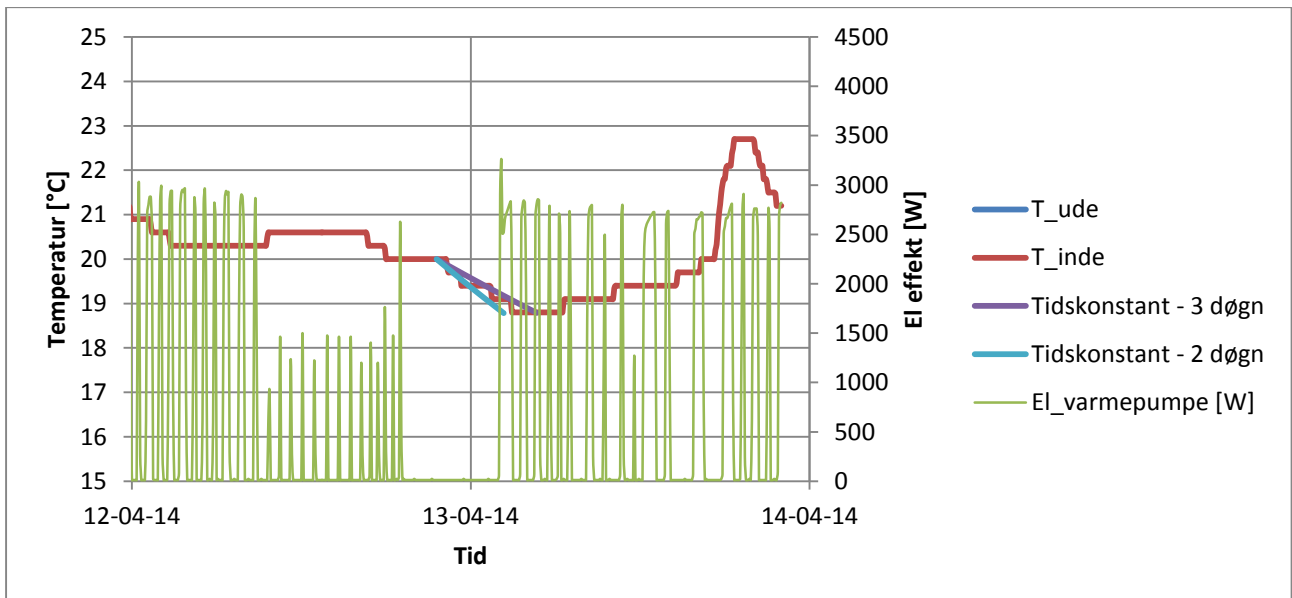
Varmepumpen har været stoppet d. 12-04-2014 kl. 19.10 og har været slukket i 7 timer. Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på 7 °C i slukningsperioden (se figur 3.6.2). I perioden inden slukningen har varmpumpen kørt med en regelmæssig on/off-regulering og reducering i effekt midt på dagen. Rumtemperaturen falder lige inden slukningen til 20,0 °C (se figur 3.6.1 og 3.6.3). Efter varmpumpens slukning, er der en forsinkelse på ca. 3 timer, før rumtemperaturen begynder at falde yderligere. Rumtemperaturen falder fra 20,0 °C til 18,8 °C. Temperaturændringen svarer til en tidskonstant på 2-3 døgn. Efter slukningsperioden ses det, at varmpumpen kører konstant i en kort periode på ca. 50 minutter, hvorefter den går over i den samme on/off-regulering som før den kontrollerede slukning. Aftenen efter slukningen lader det til, at brændeovnen bliver taget i brug, da der ses en kraftig temperaturstigning kl. 16.30.



Figur 3.6.1 – Temperaturudvikling, effekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 7591 for varmpumpestop d. 12-04-2014



Figur 3.6.2 – Varmepumpestop d. 12-04-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 7591



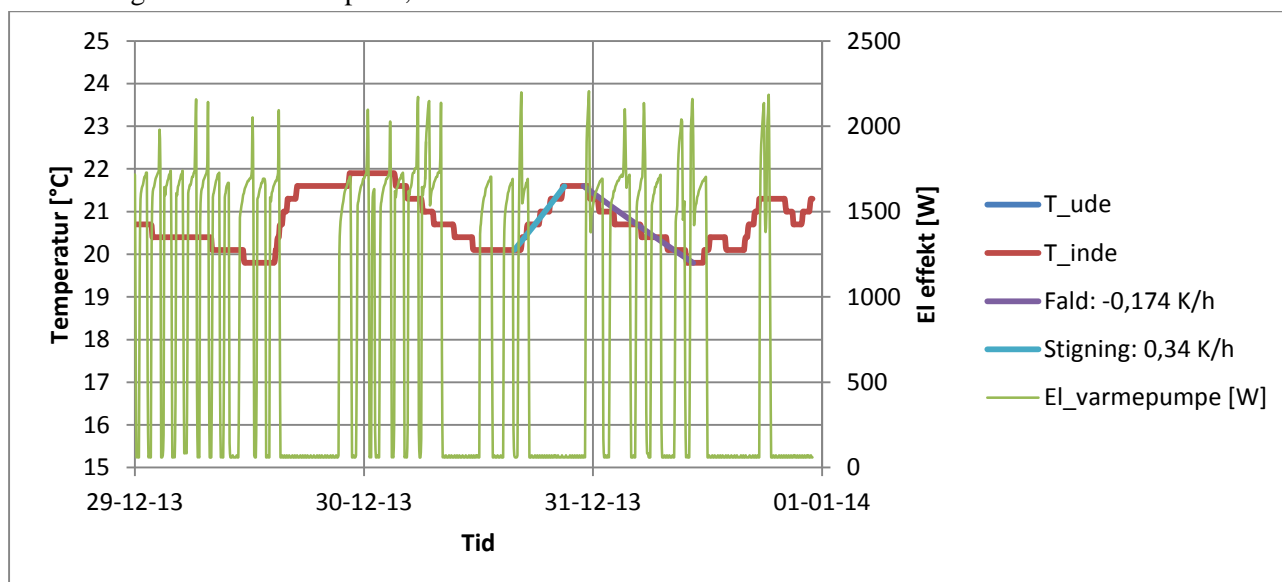
Figur 3.6.3 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 7591 for varmpumpestop d. 12-04-2014 (zoom)

### 3.7 Hus nr. 8291

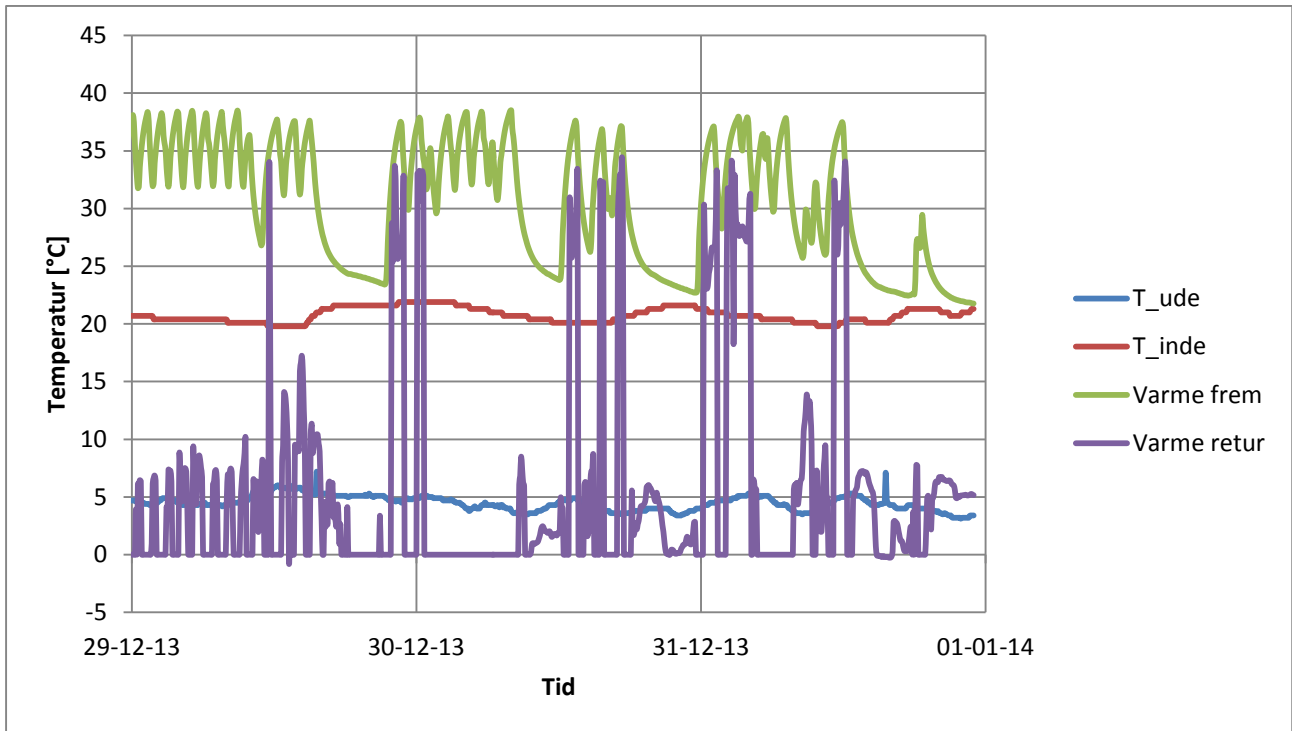
Stamoplysninger	
ID	8291
Opførelsesår	1983
Areal	153 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	IVT Greenline HT plus 6
Varmeafgivere	Radiator (primær), gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Gasbeton
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	12 m <sup>2</sup>

#### 30-12-2013

Varmepumpen har været stoppet d. 30-12-2013 kl. 17.20 i 5 timer og 50 minutter. Det ses, at der i denne periode har været brugt brændeovn. Middeltemperaturen udenfor har i perioden været 3,7 °C (se figur 3.7.2). Temperaturstigningen som følge af brugen af brændeovn starter kl. 16.30, og stigningen går fra 20,1 til 21,6 °C på 4,5 time (ca. 0,34 K per time, se figur 3.7.1). Det efterfølgende temperaturfald varer 10 timer og 20 minutter og svarer til et fald på -0,17 K/h.



Figur 3.7.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 8291 for varmepumpestop d. 30-12-2013



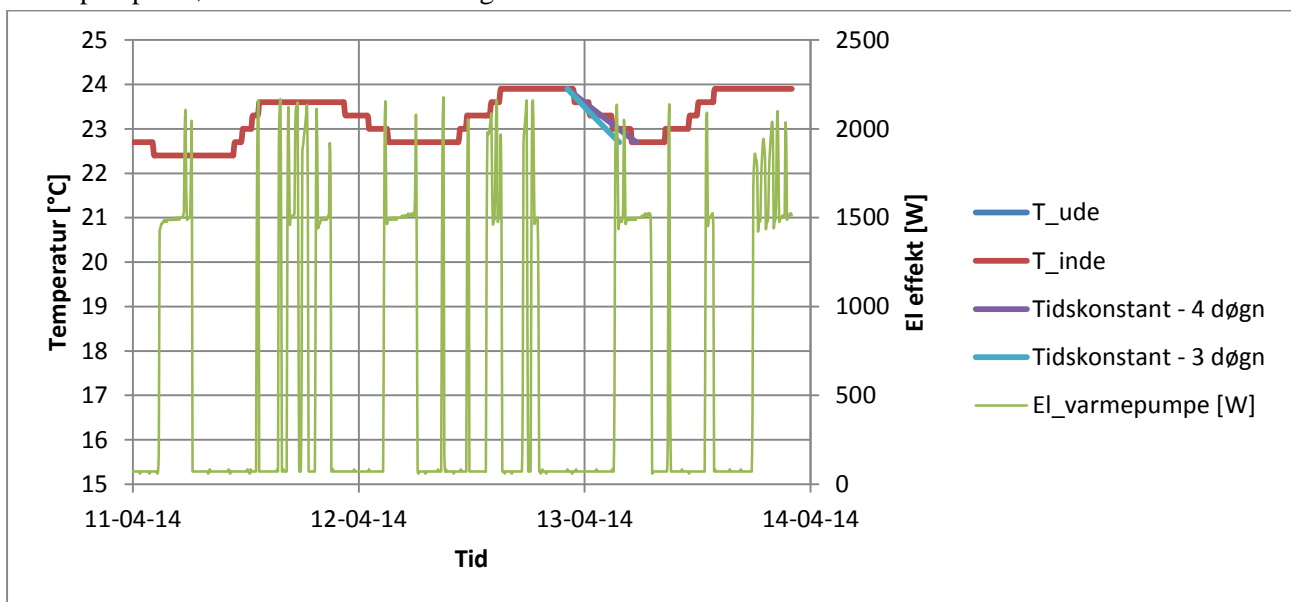
Figur 3.7.2 – Varmepumpestop d. 30-12-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 8291

### 3.8 Hus nr. 141

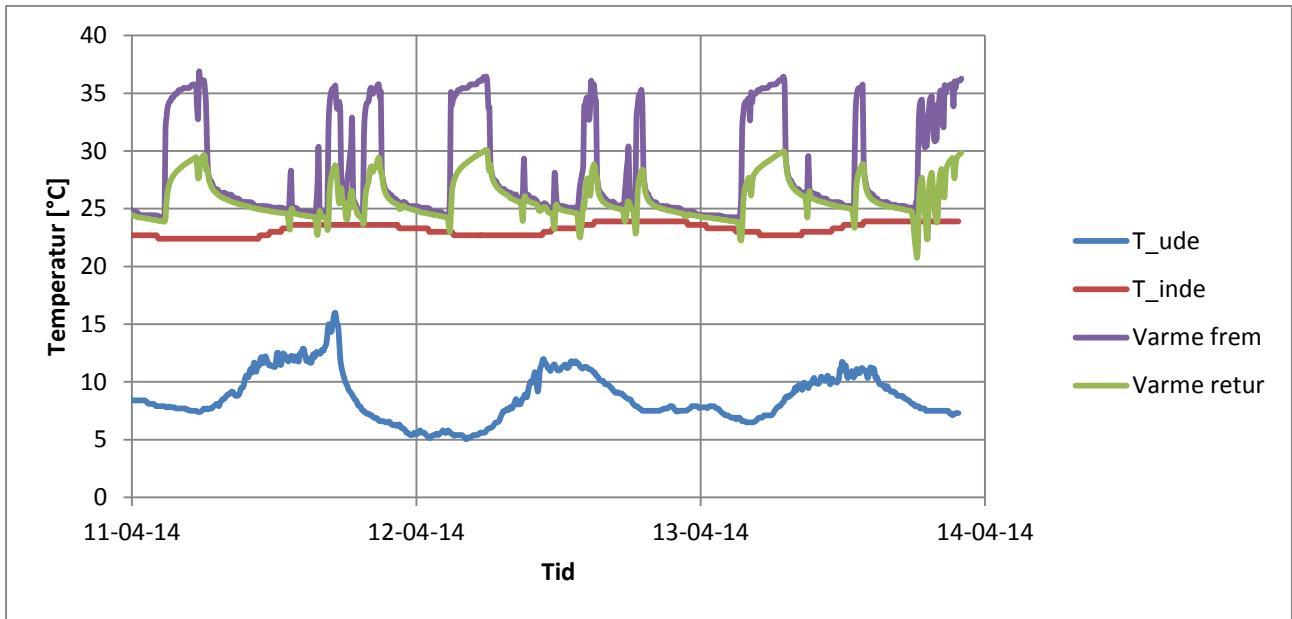
Stamoplysninger	
ID	141
Opførelsesår	2000
Areal	153 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	IVT greenline HT plus c6
Varmeafgivere	Primær gulvvarme
Brændeovn	Nej
Beboere	2 voksne og 2 børn
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Gasbeton
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	11 m <sup>2</sup>

#### 12-04-2014

Varmepumpen har været stoppet d. 12-04-2014 kl. 19.10 og har været slukket i 8 timer. Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på 7,5 °C i slukningsperioden (se figur 3.8.2). Efter varmepumpens slukning er der en forsinkelse på ca. 3 timer, før rumtemperaturen falder (se figur 3.8.1). Rumtemperaturen falder fra 23,9 °C til 22,7 °C. Temperaturændringen svarer til en tidskonstant på 4 døgn. Efter slukningsperioden ses det, at varmepumpen kører konstant i 3 timer og 55 minutter.



Figur 3.8.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 141 for varmepumpestop d. 12-04-2014



Figur 3.8.2 – Varmepumpestop d. 12-04-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 141

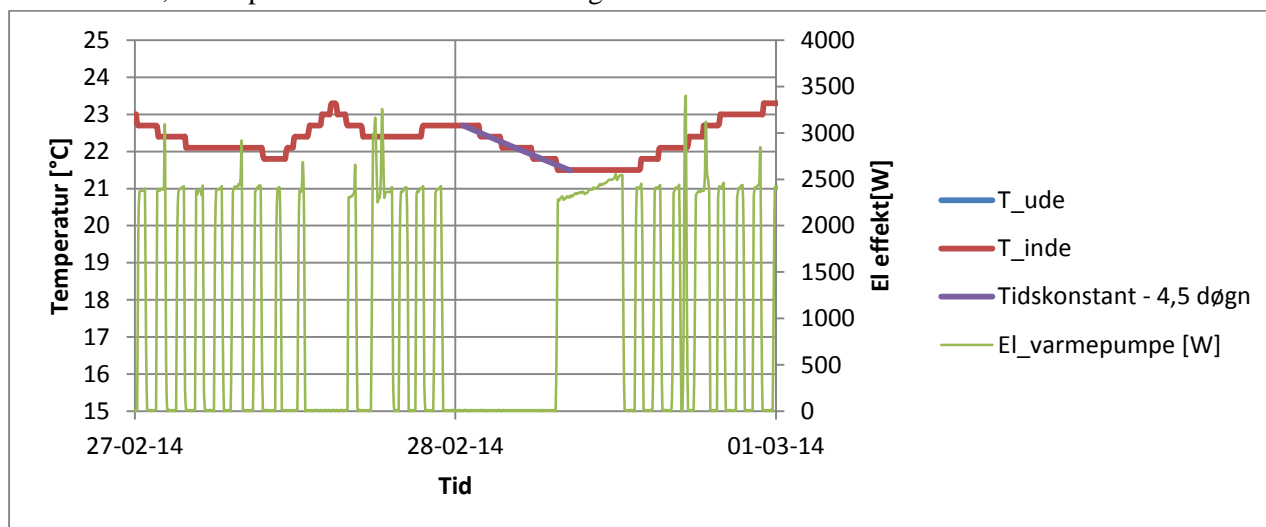


### 3.9 Hus nr. 2501

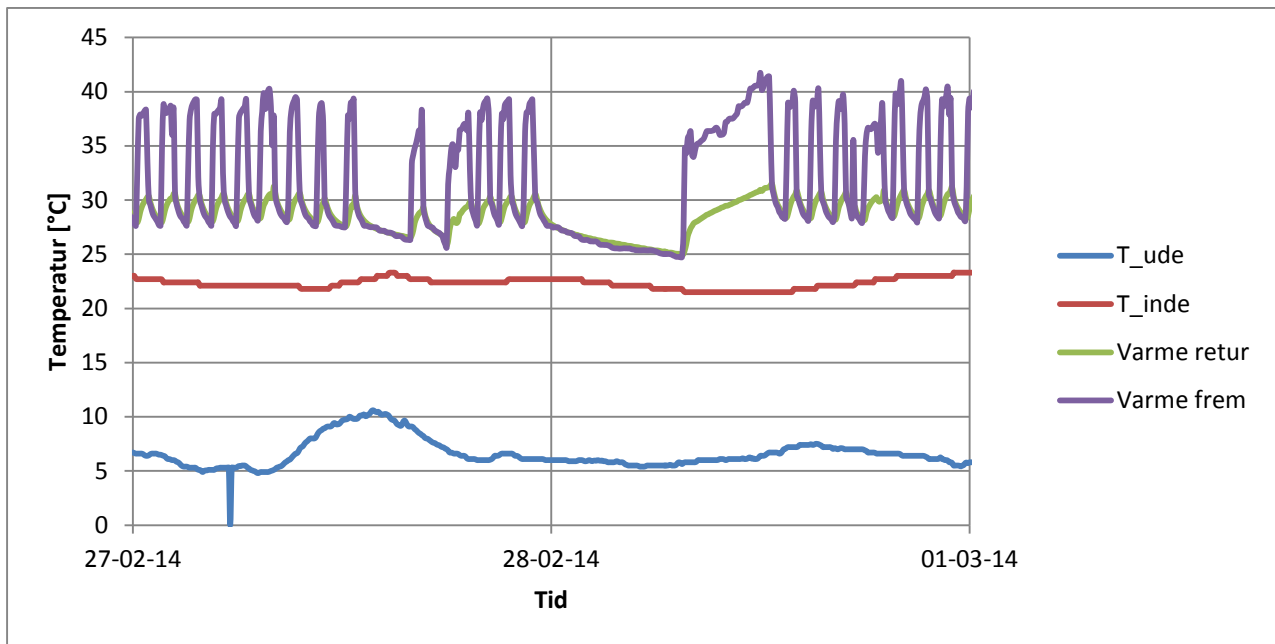
Stamoplysninger	
ID	2501
Opførelsesår	2001
Areal	180 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss, DHP-h opti pro 10 –180 l kapacitet tank
Varmeafgivere	Gulvvarme
Brændeovn	Nej
Beboere	2 voksne
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	8,7 m <sup>2</sup>

#### 27-02-2014

Varmepumpen har været stoppet d. 27-02-2014 kl. 23.05 og har været slukket i 8,5 time. Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på 5,7 °C i slukningsperioden (se figur 3.9.2). I perioden inden slukningen har varmpumpen kørt med nogenlunde samme forbrug og en regelmæssig on/off-regulering. Efter varmpumpens slukning er der en forsinkelse på ca. 2 timer og 40 minutter, før temperaturfaldet indendørs begynder (se figur 3.9.1). Temperaturfaldet starter ved 22,7 °C og falder til 21,5 °C. Faldet svarer til en tidskonstant på 4,5 døgn. Efter slukningsperioden ses det, at varmpumpen kører konstant i en periode på ca. 5 timer, hvorefter den går over i den samme on/off-regulering som før den kontrollerede slukning. Returtemperaturen fra gulvvarmeanlægget er høj i en periode inden stoppet af varmpumpen, hvilket medvirker til, at temperaturfaldet sker relativt langsomt.



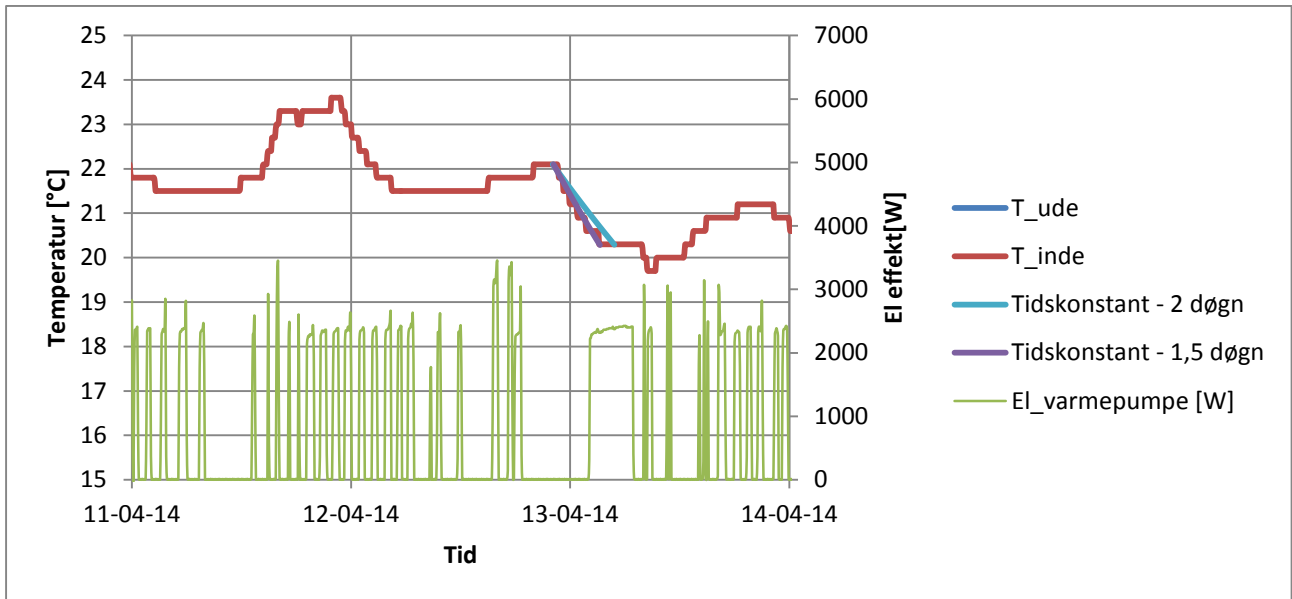
Figur 3.9.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 2501 for varmpumpestop d. 27-02-2014



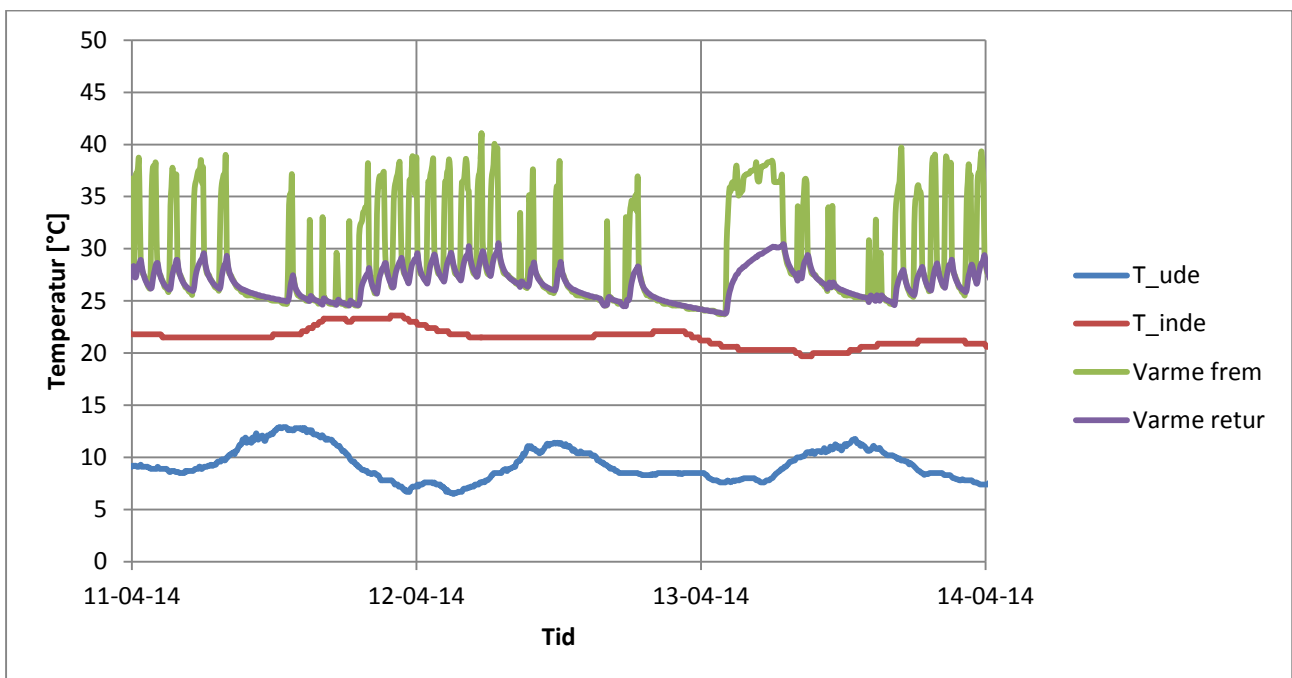
Figur 3.9.2 – Varmepumpestop d. 27-02-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 2501. Temperaturen udendørs er hentet fra et hus i nærheden (926) da temperatursensoren har været ude af drift i perioden.

#### 12-04-2014

Varmepumpen blev i denne case stoppet d. 12-04-2014 kl. 18.45 og var derefter slukket i 7 timer og 15 minutter. Middeludetemperaturen var i perioden på 8,3 °C, hvilket er 3,3 K over den foretrukne øvre grænse på 5 °C (se figur 3.9.4). Indetemperaturen begynder at stige ved 15-tiden indtil 3 timer og 50 minutter inde i slukningsperioden, fra 21,5 til 22,1 °C (se figur 3.9.3). Temperaturstigningen kan forklares ved en øget aktivitet i rummet, hvor temperatursensoren har været placeret (placeringen af temperatursensoren for dette hus er ikke kendt). Varmepumpens slukning medfører et temperaturfald fra 22,1 til 20,3 °C svarende til en tidskonstant på 1,5 døgn. Tidskonstanten er lille sammenlignet med den fundne fra d. 28-02-2014 på 4,5 døgn. Ses der på returtemperaturen på gulvvarmeanlægget i perioden inden, ses det, at temperaturen er relativt lav inden stop af varmpumpen. Dette tyder på, at temperaturen i gulvet starter på et relativt lavt niveau inden stop af varmpumpen, og dermed opstår der et relativt hurtigt temperaturfald.



Figur 3.9.3 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 2501 for varmepumpestop d. 12-04-2014



Figur 3.9.4 – Varmepumpestop d. 12-04-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 2501

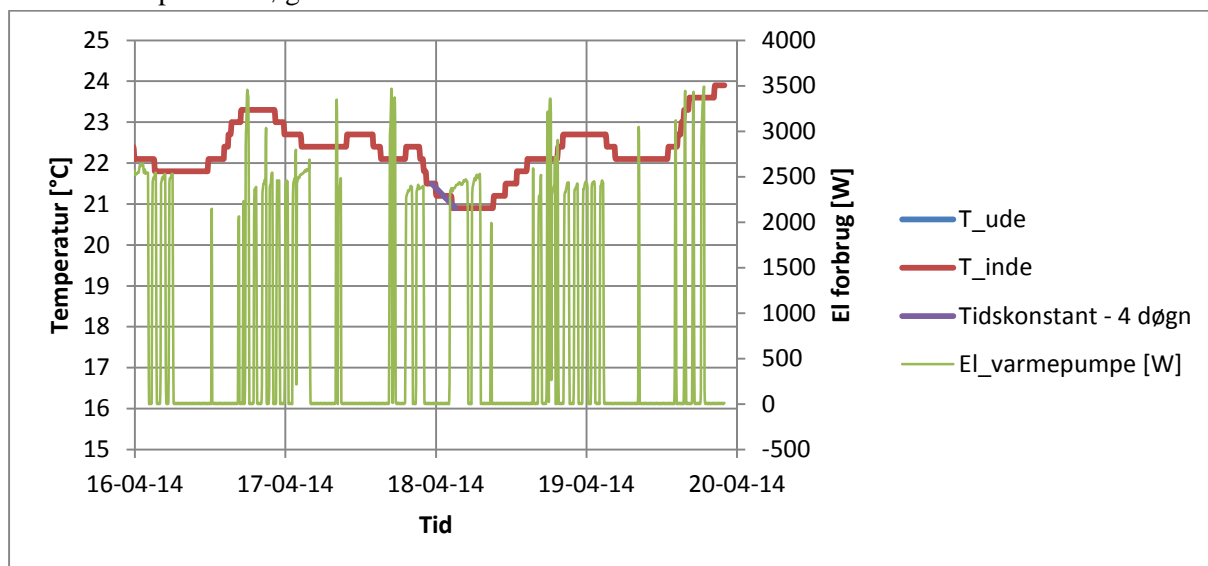
### 18-04-2014

Varmepumpen har været stoppet d. 18-04-2014 kl. 22.10 i 4 timer. Middeltemperaturen for omgivelserne har i perioden været 6 °C (se figur 3.9.6).

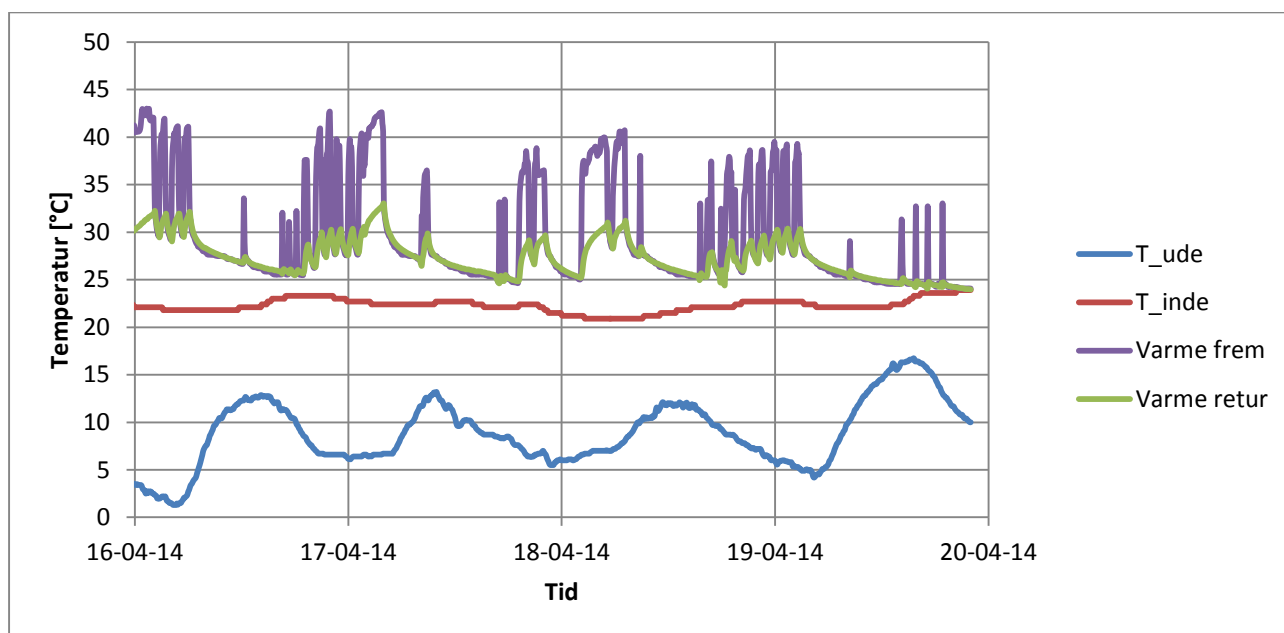
Indetemperaturen har i perioden inden slukningen været atypisk i forhold til varmepumpens kørsel (se figur 3.9.5). Temperaturændringen i rummet kan forklares ved solindfald i rummet og/eller øget aktivitet i rummet. Ved kørsel med varmepumpen d. 17-04-2014 om aftenen ses et temperaturfald i rummet. Dette kan måske forklares ved, at rumtemperaturen generelt ligger over setpunktet for varmepumpen og derfor ikke

”kalder” på varme fra varmeanlægget. En forklaring på varmepumpens kørsel kan være et krav på varme fra andre måske mere nordligt liggende rum end det rum, vi har en temperaturmåling for.

Et temperaturfald er påbegyndt inden varmepumpens slukning kl. 21.20 fra 22,4 til 21,8 °C, hvorefter varmepumpen slukkes kl. 22.10 i 4 timer. I varmepumpens slukningsperiode sker et yderligere temperaturfald til 20,9 °C. For temperaturfaldet påbegyndt i slukningsperioden er der observeret en tidskonstant på ca. 4 døgn.



Figur 3.9.5 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 2501 for varmepumpestop d. 18-04-2014



Figur 3.9.6 – Varmepumpestop d. 18-04-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 2501

### Opsummering

Tidskonstanten i det givne rum som følge af kontrolleret stop af varmepumpen vurderes til at være omkring 4-4,5 døgn. Tidskonstanter på omkring 1,5-2 døgn blev observeret, men må forklares med døgnrytmisk temperaturstigning af rumluften pga. solindfald og aktiviteter inden varmepumpestoppet, som kun i

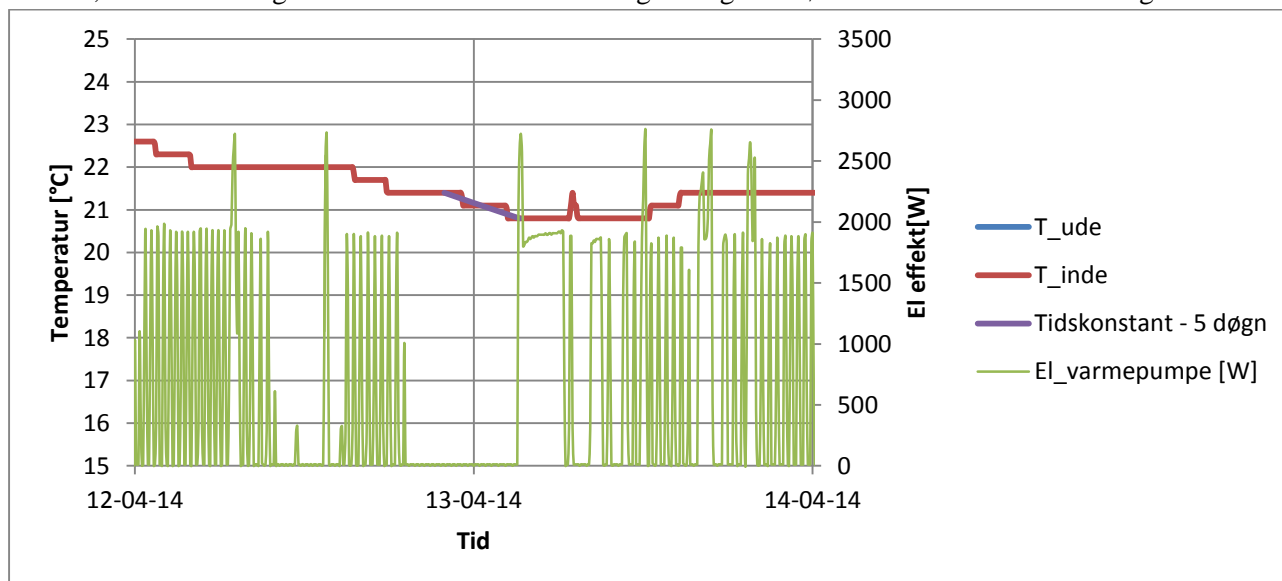
begrænset omfang bliver lagret i bygningskonstruktionerne, samtidig med at temperaturen i gulvkonstruktionen er relativt lav.

### 3.10 Hus nr. 496

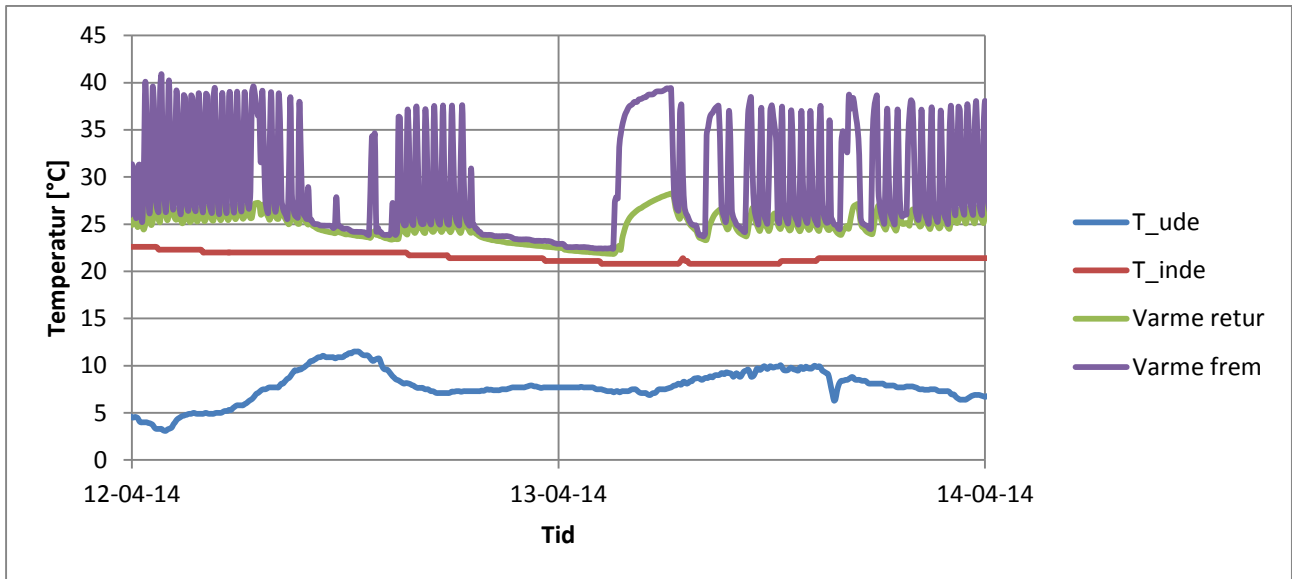
Stamoplysninger	
ID	496
Opførelsesår	2010
Areal	237 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss 8 kW
Varmeafgivere	Gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne og 2 børn
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Mursten
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	6,5 m <sup>2</sup>

#### 12-04-2014

Varmepumpen har været stoppet d. 12-04-2014 kl. 19.10 og forblev slukket i 8 timer. Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på 7,5 °C i slukningsperioden (se figur 3.10.2). Temperaturen er 2,5 K over den ønskede øvre temperaturgrænse på 5 °C, men vurderes at være acceptabel. I perioden inden slukningen har varmpumpen kørt med nogenlunde samme forbrug og en regelmæssig on/off-regulering. I en periode midt på dagen har varmpumpen været slået fra, muligvis grundet en højere udetemperatur og eventuelt solindfald. Efter varmpumpens stop er der en forsinkelse på ca. 2,75 timer, før temperaturfaldet indendørs begynder (se figur 3.10.1). Temperaturfaldet starter ved 21,4 °C og falder til 20,8 °C. Faldet svarer til en tidskonstant på 5 døgn. Efter slukningsperioden ses det, at varmpumpen er konstant tilsluttet i en periode på 3 timer, hvorefter den går over i den samme on/off-regulering som før den kontrollerede slukning.



Figur 3.10.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 496 for varmpumpestop d. 12-04-2014

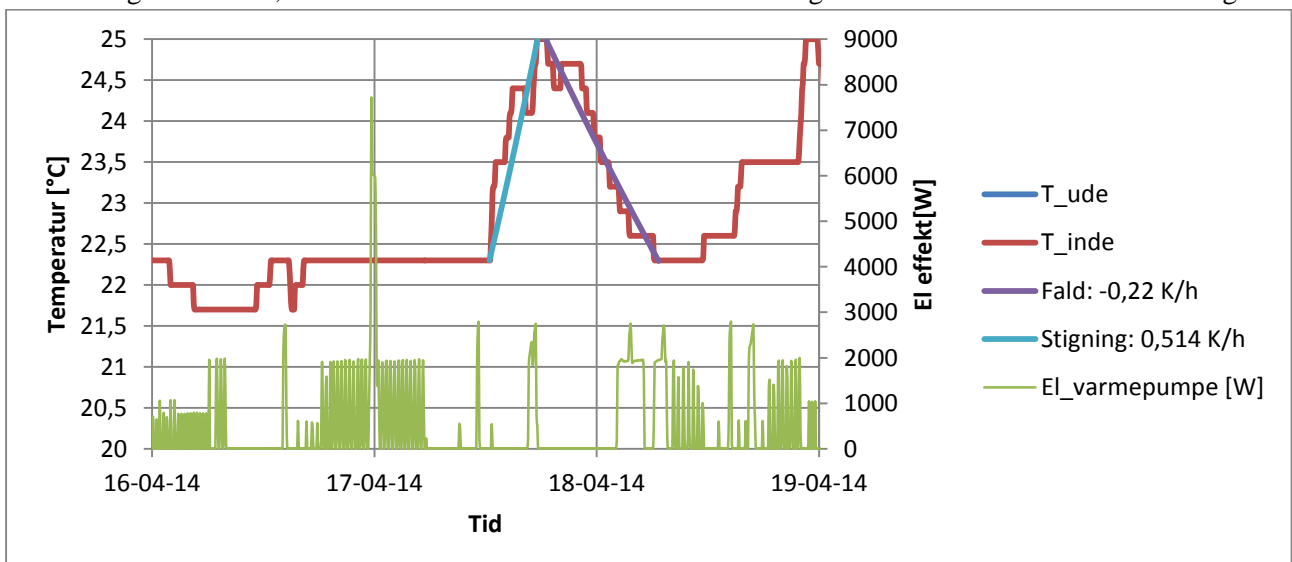


Figur 3.10.2 – Varmepumpestop d. 12-04-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udedørs for hus nr. 496

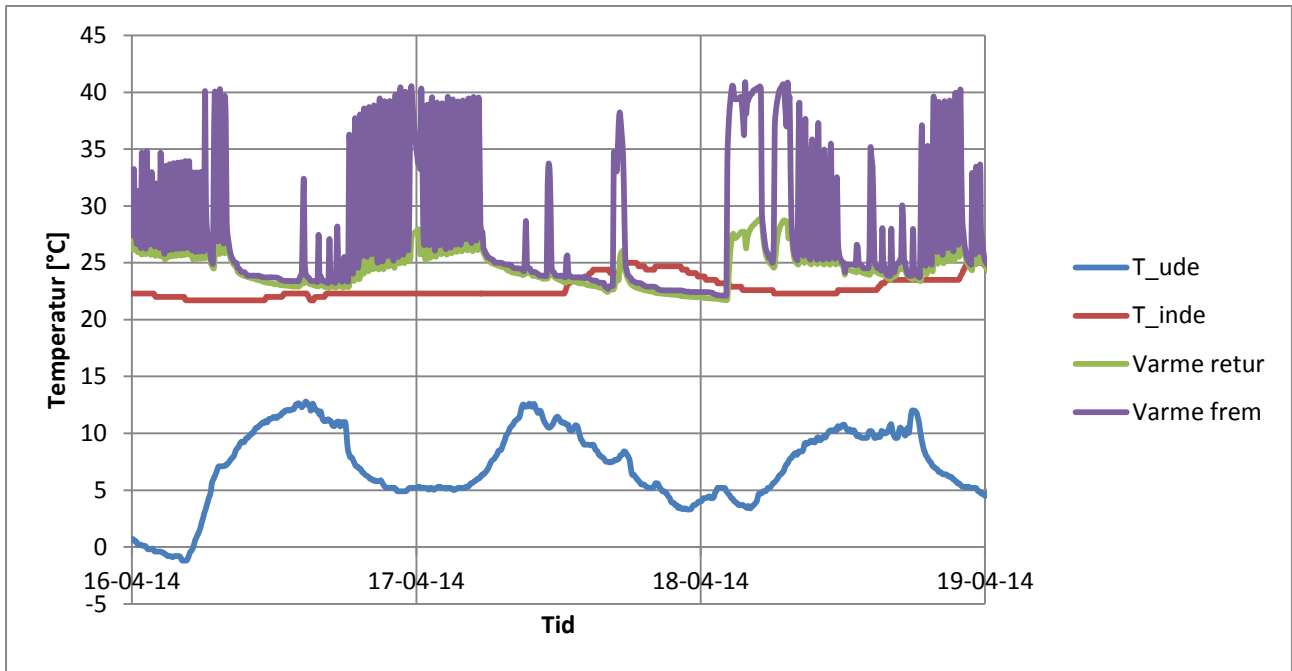
#### 17-04-2014

Varmepumpen har været stoppet d. 17-04-2014 kl. 17.40 og forblev slukket efterfølgende i 8,5 timer.

Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på 4,8 °C i slukningsperioden. I perioden har udetemperaturen været svingende fra omkring 0 °C til 12,5 °C (se figur 3.10.4). I perioden med høj udetemperatur er varmpumpen koblet fra, og ved faldende udetemperatur er varmpumpen igen koblet til med on/off-regulering. I perioden før varmpumpens stop ses det, at brændeovnen har været taget i brug i slukningsperioden, og at varmpumpen dermed allerede har været koblet fra i den forudgående periode. Temperaturstigningen som følge af brugen af brændeovn starter kl. 12.25 og stigningen går fra 22,3 til 25,0 °C på 5 timer og 15 minutter (ca. 0,5 K per time, se figur 3.10.3). Det efterfølgende temperaturfald varer ca. 12 timer og svarer til 0,22 K/h. Det er ikke vurderet relevant at betragte tidskonstanten ved denne måling.



Figur 3.10.3 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 496 for varmpumpestop d. 17-04-2014



Figur 3.10.4 – Varmepumpestop d. 17-04-2014 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 496



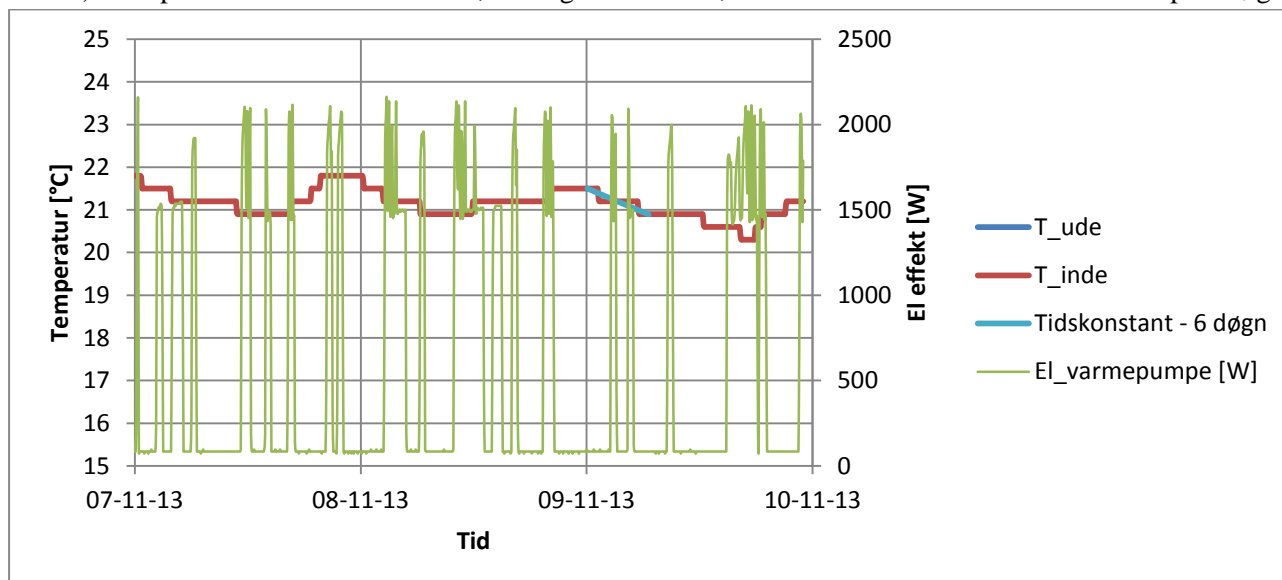
### 3.11 Hus nr. 1391

Stamoplysninger	
ID	1391
Opførelsesår	2010
Areal	220 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	IVT greenline HT plus c5
Varmeafgivere	Gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	2 voksne og 2 unge
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Beton
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	5,5 m <sup>2</sup>

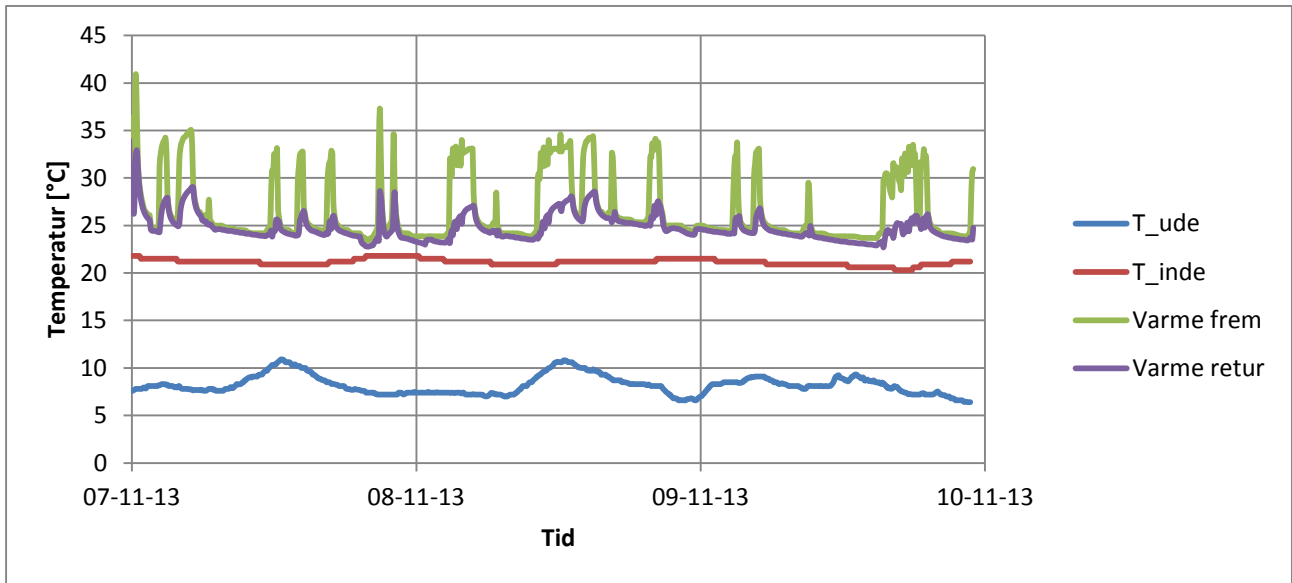
#### 08-11-2013

Varmepumpen har været stoppet d. 08-11-2013 kl. 20.35 og har været slukket i 7 timer og 45 minutter.

Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på 7,7 °C i slukningsperioden (se figur 3.11.2). Efter varmepumpens slukning er der en forsinkelse på 3,5 time, før temperaturfaldet indendørs begynder (se figur 3.11.2). Temperaturfaldet starter ved 21,5 °C og falder til 20,9 °C. Faldet svarer til en tidskonstant på 6 døgn.



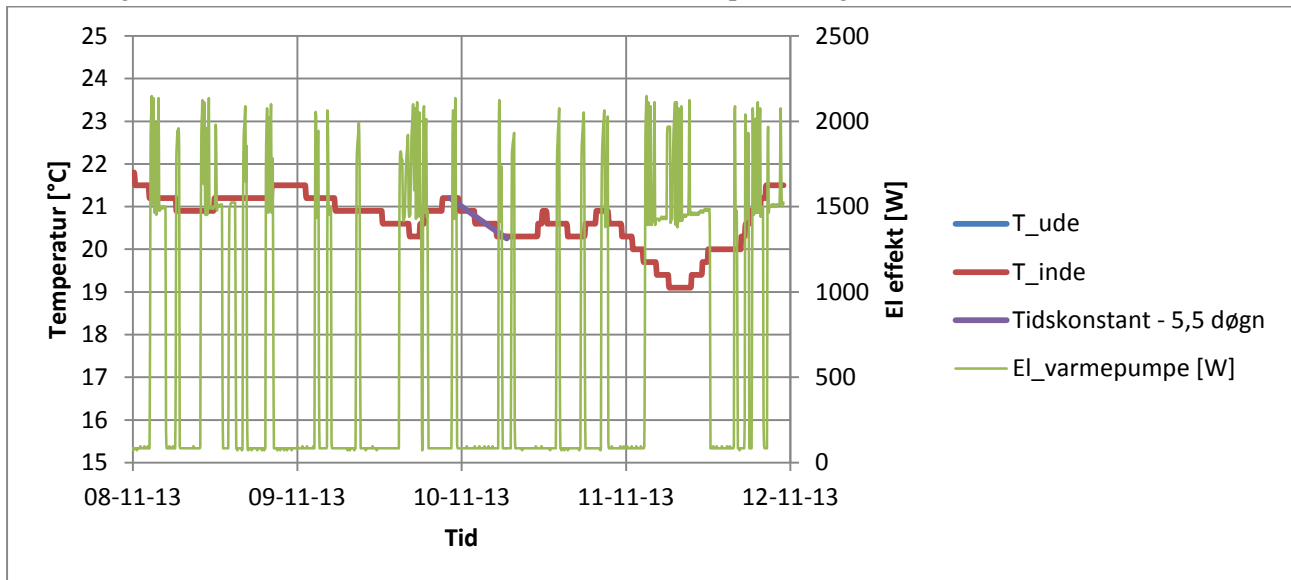
Figur 3.11.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 1391 for varmepumpestop d. 08-11-2013



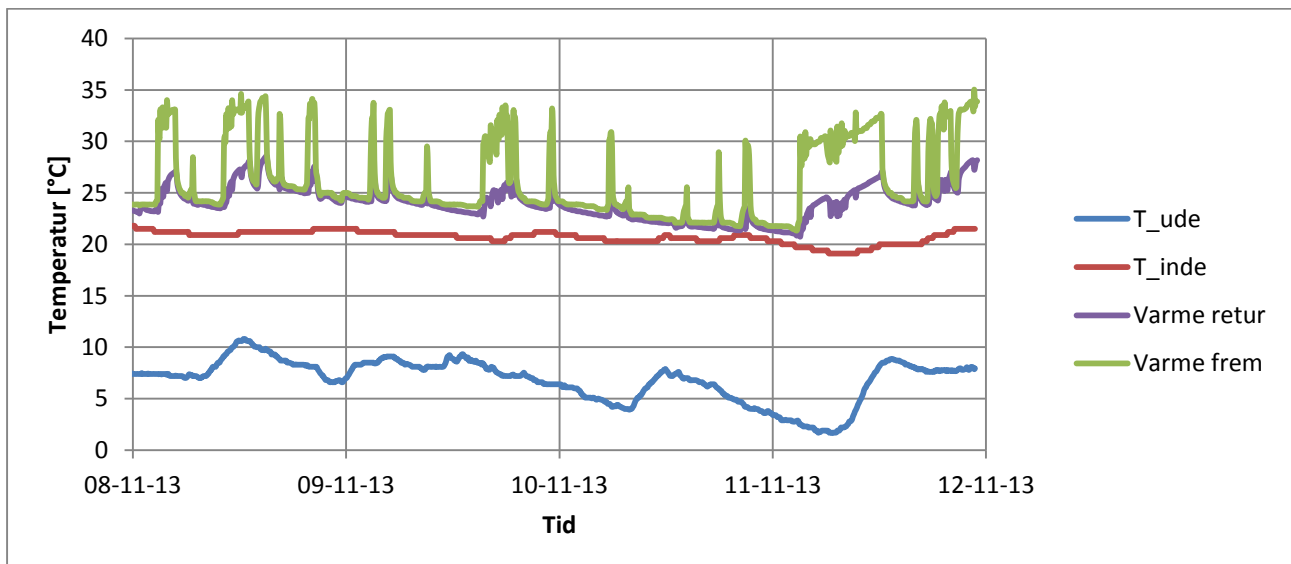
Figur 3.11.2 – Varmepumpestop d. 08-11-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 1391

### 10-11-2013

Varmepumpen har været stoppet d. 10-11-2013 kl. 23.25 og har været slukket i 6 timer og 15 minutter. Udetemperaturen har i perioden ligget på en middelværdi på 5,5 °C (se figur 3.11.4). Temperaturfaldet indendørs starter umiddelbart inden slukningen af varmpumpen (se figur 3.11.3). Det kan måske forklares ved, at der er en vis forsinkelse i det nyligt opførte hus (2010). Lige inden den bevidste slukningsperiode har varmpumpen været i en off-sekvens (fra kl. 19.10 til 22.30), hvor temperaturen er stigende. Herefter kører varmpumpen i en lille time, inden den kontrollerede slukning begynder. Temperaturændringen starter ved 21,5 °C og falder til 20,9 °C. Faldet svarer til en tidskonstant på 5,5 døgn.



Figur 3.11.3 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 1391 for varmpumpestop d. 10-11-2013



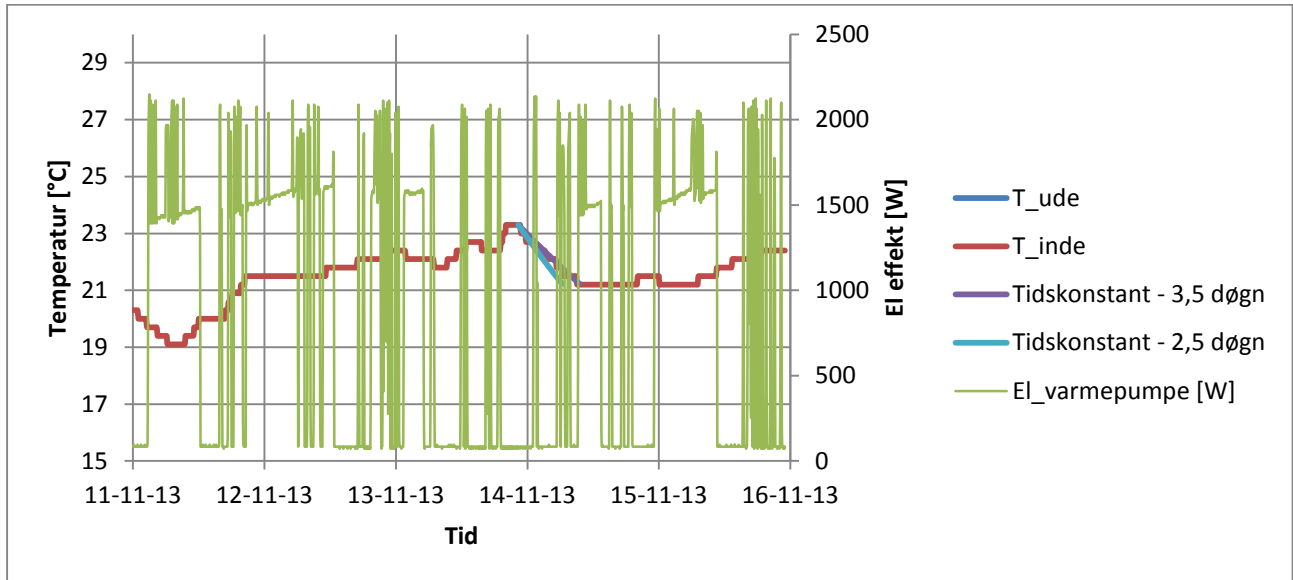
Figur 3.11.4 – Varmepumpestop d. 10-11-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 1391

### 13-11-2013

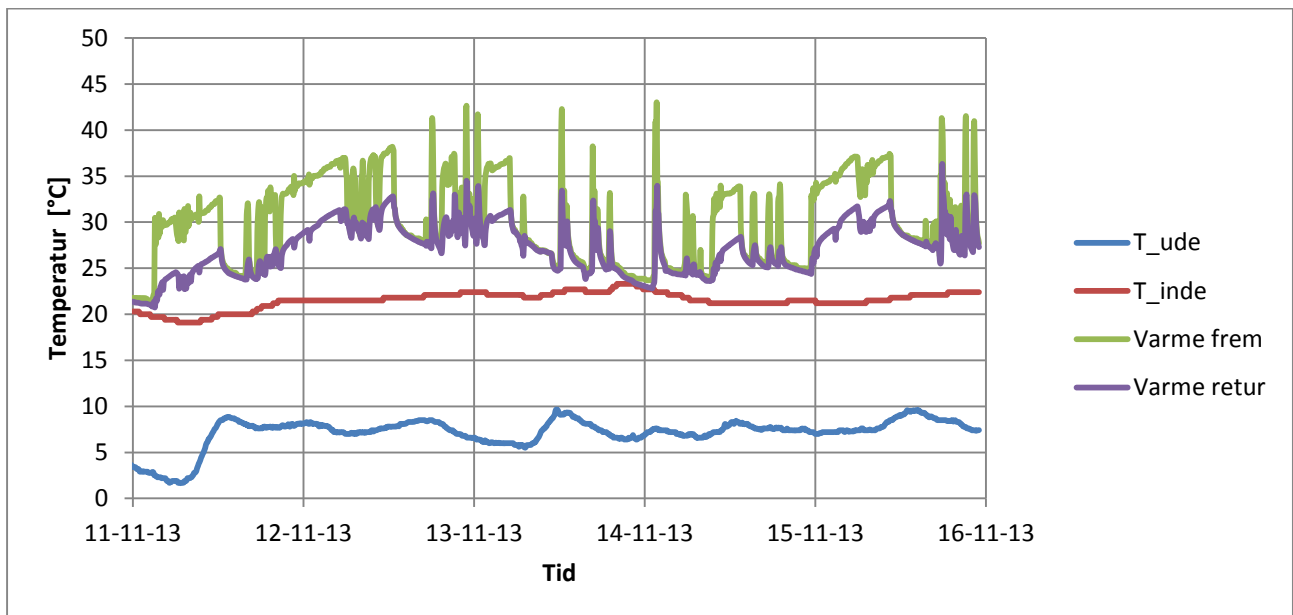
Varmepumpen har været stoppet d. 13-11-2013 kl. 19.10 og har været slukket i 5 timer og 50 minutter.

Udetemperaturen har i perioden ligget på en middelværdi på 6,7 °C (se figur 3.11.6). Da varmpumpen slukkes, er der en indendørs temperaturstigning fra 22,4 °C til 23,3 °C fra kl. 19.00 til 20.05.

Temperaturfaldet i slukningsperioden sker med en forsinkelse på 3 timer og 10 minutter. Temperaturfaldet starter ved 23,3 °C og falder til 21,2 °C. Faldet svarer til en tidskonstant på 3,5 døgn (se figur 3.11.5).



Figur 3.11.5 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 1391 for varmpumpestop d. 13-11-2013



Figur 3.11.6 – Varmepumpestop d. 13-11-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 1391

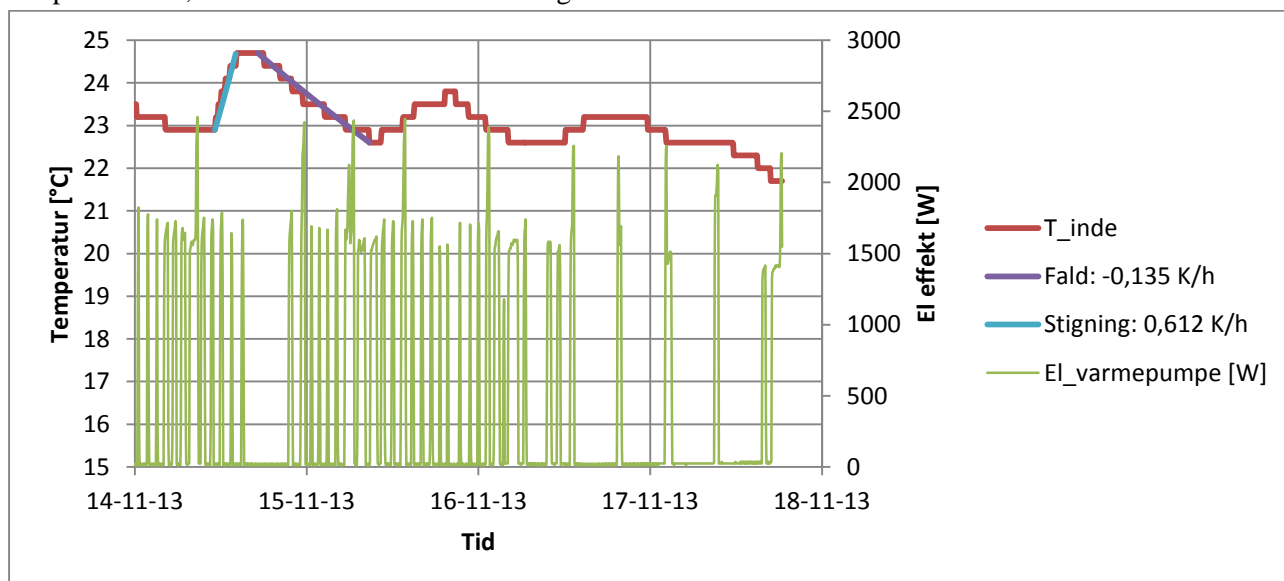
### 3.12 Hus nr. 3781

Stamoplysninger	
ID	3781
Opførelsesår	2011
Areal	212 m <sup>2</sup>
Varmepumpe	Danfoss, Dhp-h6 opti pro
Varmeafgivere	Gulvvarme
Brændeovn	Ja
Beboere	
Ydervæg	Mursten
Indervægge	Beton
Gulv	Beton
Vinduer mod syd	4 m <sup>2</sup>

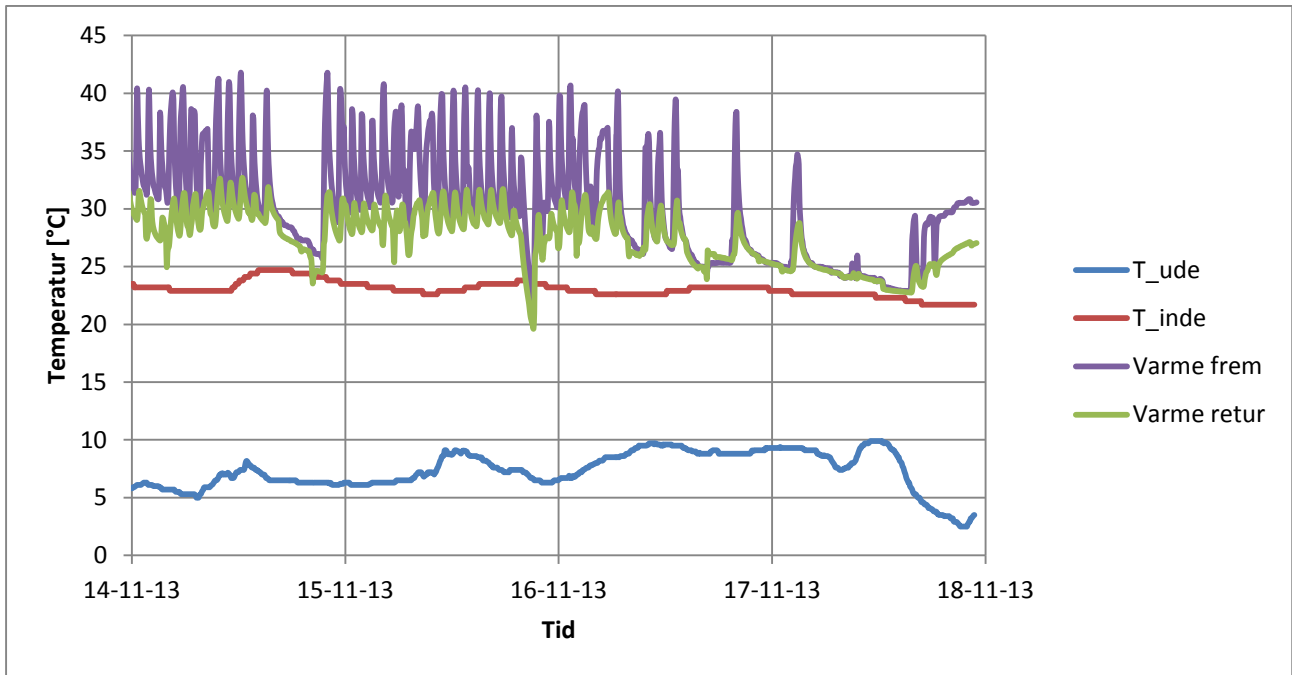
#### 16-11-2013

Varmepumpen har været stoppet d. 17-11-2013 kl. 03.05 og forblev slukket efterfølgende i 6 timer.

Udetemperaturen har ligget på en middelværdi på 8,4 °C i slukningsperioden (se figur 3.12.2). Det ses på den foregående periode inden den kontrollerede slukning, at brændeovnen har været brugt. D. 14-11 fra kl. 11.10 til 14.05 stiger temperaturen fra 22,6 til 24,7 °C. Temperaturen er konstant 24,7 °C indtil kl. 17.10, hvor et temperaturfald indendørs begynder (se figur 3.12.1). Faldet slutter kl. 08.45 på en temperatur på 22,6 °C. Det kan ses, at varmpumpen har været slukket i perioden, hvor brændeovnen er startet op. Temperaturstigning som følge af brændeovnens brug svarer til 0,612 K/h. Det efterfølgende temperaturfald svarer til -0,135 K/h. Konsekvensen af perioden, hvor varmpumpen bevidst har været slukket, kan ikke udledes fra rummets temperaturdata, da brændeovnen har været brugt.



Figur 3.12.1 – Temperaturudvikling, eleffekt og indlagt tidskonstant i hus nr. 3781 for varmpumpestop d.16-11-2013



Figur 3.12.2 – Varmepumpestop d. 16-11-2013 med varme frem og retur samt temperaturen indendørs og udendørs for hus nr. 3781

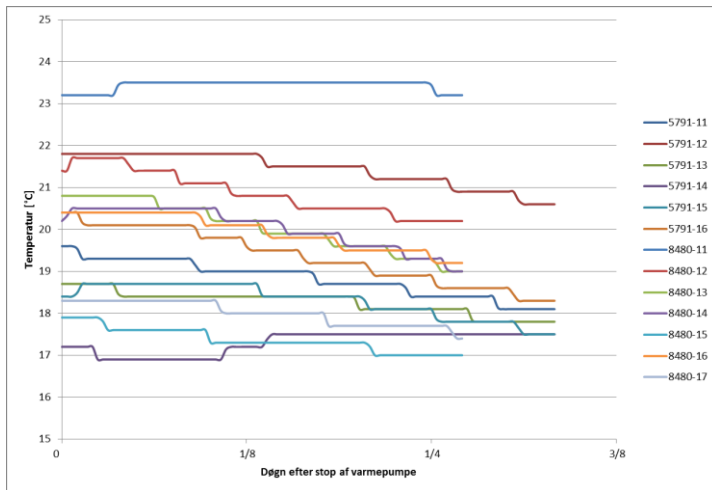
## 4 Resultater

### 4.1 Sammenligning af temperaturforløb

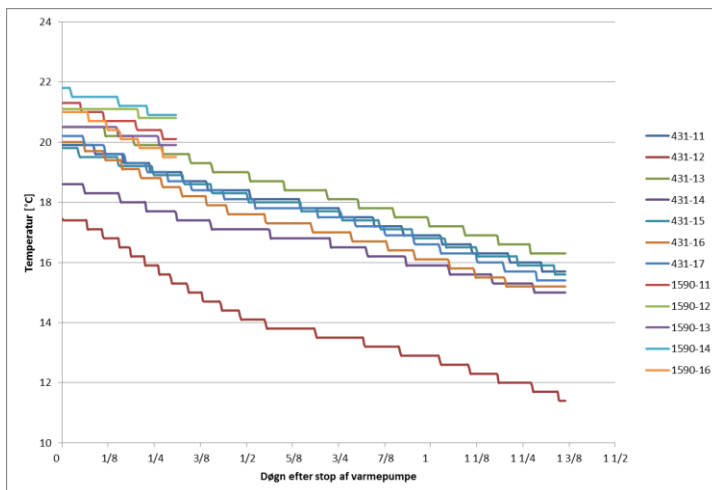
I nedenstående figurer er temperaturforløbet fra stop til start af varmepumpe sammenstillet.

Figur 4.1.1, 4.1.2 og 4.1.3 viser temperaturforløbet i husene med detaljerede målinger (5 huse). På hver figur er vist forløbet for 2 huse.

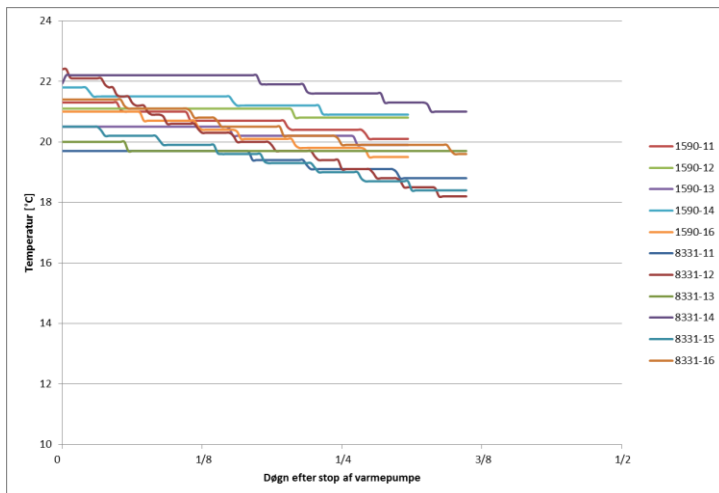
Figur 4.1.4 viser temperaturudviklingen i de 9 huse med enkeltmålinger.



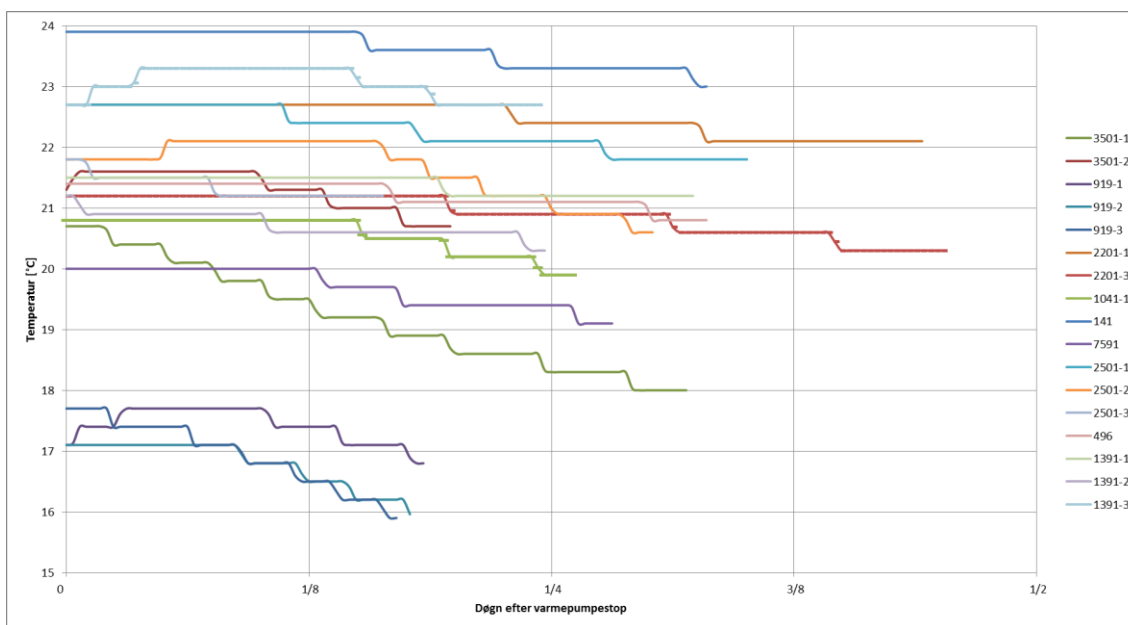
Figur 4.1.1. - Temperaturudvikling i 5 rum i hus nr. 5791 og 7 rum i hus nr. 8480



Figur 4.1.2. - Temperaturudvikling i 7 rum i hus nr. 431 og 5 rum i hus nr. 1590



Figur 4.1.3 - Temperaturudvikling i 5 rum i hus nr. 1590 og 6 rum i hus nr. 8331



Figur 4.1.4 - Temperaturudvikling i 2 tidsperioder i hus nr. 3501, 3 tidsperioder i hus nr. 919, 2 tidsperioder i hus nr. 2201, 1 tidsperiode i hus nr. 1041, 1 tidsperiode i hus nr. 141, 1 tidsperiode i hus nr. 7591, 2 tidsperioder i hus nr. 2501, 1 tidsperiode i hus nr. 496 og 3 tidsperioder i hus nr. 1391.

## 4.2 Sammenfatning af målinger

I nedenstående tabel 4.2.1 er vist en sammenfatning af resultaterne fra huse med detaljerede målinger. En beskrivelse af målingerne på disse huse kan findes i afsnit 2. En tilsvarende sammenfatning er vist i tabel 4.2.2 for huse med enkeltmålinger. Beskrivelsen af disse målinger er vist i afsnit 3.



ID	Bygge- år	VP kapa- citet pr. areal	Start dato	Start tid	Udetem- peratur	Periode længde	Rum	T_start	Tids- forsin- kelse	Tids- kon- stant Temp. Fald	Tids- kon- stant Genopv.
		W/m <sup>2</sup>	d:m:å	t:m	°C	h	-	°C	h	døgn	h
5791 *)	1912	65	01-04-2014	20:55	4	8	(11) Køkken	19,9		3-3,5	14
							(12) Bad	21,8	2,8	3-3,5	
							(13) Vær. 1 sal, N	19,0	4,2	3,50	
							(14) Vær. 1 sal, S				
							(15) Vær. 1 sal, Ø	18,7	2,5	2,5-3	
							(16) Stue, syd	20,1	2,0	2	6
8480	1948	72	01-04-2014	22:25	3,5	6,5	(11) Vær. kld.				
							(12) Bad	21,7	0,8	2-2,5	
							(13) Vær. 1 sal, N	20,8	1,2	2	
							(14) Vær. 1 sal, S	20,5	2,2	2	
							(15) Entre	17,9	0,2	4	
							(16) Vær. 1 sal, V	20,4	1,5	3	
							(17) Værksted kld.	18,3	1,8	3,5	
431	(1970)	44	01-04-2014	20:25	5	32,5	(11) Sovev.	20,0	0,0	4	14
							(12) Stue	17,5	0,0	3	10
							(13) Bad	20,5	1,2	4	18
							(14) Lars rum	18,6	0,0	4,5	10
							(15) Bryggers	19,8	0,0	4,5	16
							(16) Vær. 1 sal	20,0	0,0	3	10
							(17) Studer	20,2	0,0	3,5	12
1590	(2010)	43	01-04-2014	21:30	3,5	7,5	(11) Kontor, SØ	21,3	0,5	4,0-4,5	
							(12) Bad, Ø	21,1	4,0	8,0-9,0	
							(13) Vær. 1 sal, N	20,5	2,8	5,0-5,5	
							(14) Vær. 1 sal, Ø	21,8	0,2	5,5	
							(15) Vær. 1 sal, SV				
							(16) storrums 1 sal, V	21,0	1,0	3,5-5,0	
8331	(2001)	44	30-01-2014	13:45	-3,5	8,4	(11) Anneks	19,7	1,6	6,5	
							(12) Kontor NV	22,4	0,0	1,5-2	8
							(13) Soveværelse V				
							(14) Bad V	22,2	2,5	4-4,5	16
							(15) Vær. 1 sal, V	20,5	0,7	3,5	10
							(16) Bad entre	21,4	1,0	3,5-4,5	8

\*) Areal i alt 170 m<sup>2</sup>, heraf 100 m<sup>2</sup> i stueetagen, 70 m<sup>2</sup> på første sal med el-radiatorer

Tabel 4.2.1. Resultater fra stop af varmepumpe i huse med detaljerede målinger. Tabellen viser husets ID-nr., opførelsesår, varmepumpens kapacitet pr. etageareal, dato og tidspunkt for stop af varmepumpen, gennemsnitlig udetemperatur, afbrydelsesperiodens længde, rumtemperatur ved start af temperaturfald, længden af tidsforsinkelsen før temperaturfald, den fundne tidskonstant for faldet af rumtemperaturerne og tidskonstant ved genopvarmning.

ID	Bygge- år	VP kapacitet pr. areal	Start dato	Start tids- punkt	Ude- tempe- ratur	Periode længde	Tidsfor- sink- else	Tids- konstant
		W/m <sup>2</sup>	d:m:å	t:m	°C	h	h	døgn
919	1877	64	03-01-2014	17:35	7,0	4,4	1,75	1-1,5
919	1877	64	26-03-2014	22:40	2,2	4,3	1,67	1,5
919	1877	64	10-03-2014	22:50	2,7	4,2	0,58	1-1,5
3501	1906	63	17-02-2013	00:05	0,8	7,8	0,33	1,5-2
3501	1906	63	28-12-2013	17:15	6,5	4,8	2,00	1,5-2
2201	1913	-	08-12-2013	18:45	7,7	10,5	4,75	3,0-4,0
2201	1913	-	22-02-2014	20:20	4,5	10,8	3,92	5
1041	1920 *)	56	07-02-2013	19:00	-1,0	6,0	3,00	3,0-4,0
7591	1982	57	12-04-2014	19:10	7,0	7,0	3,00	2,0-3,0
141	2000	36	12-04-2014	19:10	7,5	8,0	3,00	4
2501	2001	56	18-04-2014	00:00	6,0	4,0	0,00	4
2501	2001	56	27-02-2014	23:05	5,7	8,3	2,67	4,5
2501	2001	56	12-04-2014	21:00	8,3	7,0	3,83	1,5
496	2010	34	12-04-2014	19:10	7,5	8,0	2,75	5
1391	2010	25	08-11-2013	20:35	7,7	7,8	3,50	6
1391	2010	25	10-11-2013	23:25	5,5	6,3	0,00	5,5
1391	2010	25	13-11-2013	19:10	6,7	5,8	3,17	3,5
*) Renoveret 2010								

Tabel 4.2.2. Resultater fra stop af varmepumpe i huse med enkeltmålinger. Tabellen viser husets ID-nr., opførelsesår, dato og tidspunkt for stop af varmepumpen, udetemperatur, afbrydelsesperiodens længde, længden af tidsforsinkelsen og den fundne tidskonstant for faldet af rumtemperaturerne.

### 4.3 Teoretisk estimerede tidskonstanter.

På grundlag af den opstillede teori for tidskonstanter er der søgt bestemte tidskonstanter efter de samme principper som beskrevet i afsnit 1.2 (Analysemetode).

Der bestemmes en varmekapacitet og et specifikt varmetab for husene. Data opgøres pr. bruttoetageareal. Varmekapaciteten opgøres ved sammensætning af varmekapaciteter for de enkelte indvendige overflader efter principperne i DS/INF 418-2 /2/.

For husene med detaljerede målinger er der tegninger og fotos, som kan understøtte fastlæggelsen af hvilke typer af overflader, der findes i husene. Disse beskrivelser muliggør en bestemmelse af den effektive varmekapacitet for de enkelte overflader (gulve, ydervægge, skillevægge og lofter). Varmekapaciteterne ganges med standardværdier for den andel, de enkelte overfladearealer udgør i forhold til bruttoetagearealet. De enkelte led summeres, og der tillægges en standardværdi på 10 Wh/(m<sup>2</sup>·K) for at tage hensyn til effekten af inventaret.

Den effektive varmekapacitet for huset opgøres pr. bruttoetageareal.

Den anden størrelse, der skal findes for huset, er det specifikke varmetab. Ved metode A bestemmes det på grundlag af varmepumpens kapacitet, der må forventes at være dimensioneret til hele huset. Kapaciteten divideres med bruttoetagearealet og den dimensionerede temperaturforskel på 32 K for at finde det specifikke varmetab.

Ved metode B benyttes generiske værdier for det specifikke varmetab, som findes på grundlag af opførelsesåret. Ved metode C bruges generiske værdier for det specifikke varmetab for det seneste renoveringsårstal.

Data for de generiske værdier stammer fra et antal energimærker, hvor input til Be10-beregninger er registreret. Alle de fundne data er vist i tabel 4.2.3.

Tidskonstanterne fundet ved de forskellige metoder er sammenlignet i tabel 4.2.3 samt i figur 4.4.1 og figur 4.4.3.

Huse med detaljerede målinger																				
Hus ID	Bygge-år	Evt. reno- vering	Bolig Areal	Gulvvarme	VP. Effekt	Gulve	Ydervæg	Skille- væg	Loft	Gulve	Yder- væg	Skille- væg	Loft	Effektiv varme- kapacitet	Specifikt varmetab Met. A	Specifikt varmetab Met. B	Specifikt varmetab Met. C	Tidskon- stant, Met. A	Tidskon- stant, Met. B	Tidskon- stant, Met. C
Nr.	År	År	m <sup>2</sup>		kW	Type	Type	Type	Type	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	Døgn	Døgn	Døgn
5791+)	1912	2010	170	Ja (primær)	11	Trægulv m. isol	Murværk	Murværk	Trælister	4,9	37,8	18,9	3,6	68,0	2,0	2,5	0,8	1,4	1,1	3,4
8480	1948	1948	138	Ja (rad. primær)	10	Trægulv u. isol	Murværk	Murværk	Puds	11,4	37,8	18,9	6,5	75,7	2,3	2,3	2,3	1,4	1,4	1,4
431	1902	1970	193	Ja (badev.)	8,4	Beton	Murværk	Gasbeton	Trælister	73,5	37,8	7,4	3,6	108,4	1,4	2,5	2,0	3,3	1,8	2,3
1590	1995	2010	210	Ja (primær)	9	Trægulv på isol	Murværk	Murværk	Gips	4,9	37,8	18,9	3,3	67,8	1,3	1,3	0,8	2,1	2,1	3,3
8331++)	1830	2005	273	Ja (primær)	12	Beton og trægu	Murværk	Murværk	Gips	43,1	37,8	18,9	3,3	99,1	1,4	2,5	1,0	3,0	1,7	4,0
+) renoveret 1981 og 2010 ++) Renoveret 2001 og 2008																				
Huse med én temperaturmåling																				
Hus ID	Bygge-år	Evt. reno- vering	Bolig Areal	Gulvvarme	VP. Effekt	Gulve	Ydervæg	Skille- væg	Loft	Gulve	Yder- væg	Skille- væg	Loft	Effektiv varme- kapacitet	Specifikt varmetab Met. A	Specifikt varmetab Met. B	Specifikt varmetab Met. C	Tidskon- stant, Met. A	Tidskon- stant, Met. B	Tidskon- stant, Met. C
Nr.	År	År	m <sup>2</sup>		kW	Type	Type	Type	Type	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	Wh/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	Døgn	Døgn	Døgn
919	1877	1997	188	Ja (Primær)	12	Beton	Murværk	Gips	Puds	33,2	37,8	6,5	3,3	73,8	2,0	2,5	1,3	1,5	1,2	2,4
3501	1906	1906	190	Ja (rad. primær)	12	Trægulv u. isol	Murværk	Murværk	Puds	11,4	37,8	18,9	6,5	75,7	2,0	2,5	2,5	1,6	1,3	1,3
2201	1913	2012	182	Ja (Primær)		Beton	Murværk	Murværk	Puds	33,2	37,8	18,9	6,5	93,6		2,5	0,8		1,6	5,1
1041	1920	2010	142	Ja (primær)	8	Trægulv på isol	Murværk	Gips	Puds	4,9	37,8	6,5	6,5	53,3	1,8	2,5	0,8	1,3	0,9	2,6
7591	1982	1982	175	Ja (primær)	10	Trægulv på isol	Murværk	Gasbeton	Trælister	4,9	37,8	7,4	3,6	52,1	1,8	1,7	1,7	1,2	1,3	1,3
141	2000	2000	153	Ja (primær)	5,5	Beton	Murværk	Gasbeton	Gips	33,2	37,8	7,4	3,3	75,1	1,1	1,2	1,2	2,8	2,6	2,6
2501	2001	2001	180	Ja (primær)	10	Beton	Murværk	Murværk	Gips	33,2	37,8	18,9	3,3	91,0	1,7	1,2	1,2	2,2	3,3	3,3
496	2010	2010	237	Ja (primær)	8	Beton	Murværk	Murværk	Gips	33,2	37,8	18,9	3,3	91,0	1,1	0,8	0,8	3,6	4,5	4,5
1391	2010	2010	220	Ja (primær)	5,5	Beton	Murværk	Beton	Gips	33,2	37,8	16,7	3,3	87,9	0,8	0,8	0,8	4,7	4,3	4,3

Tabel 4.2.3. Teoretiske tidskonstanter for huse med detaljerede målinger og huse med én temperaturmåling. Tabellen viser husets ID, opførelsesår, evt. renoveringsår (baseret på oplysninger fra brugere eller BBR), boligareal, omfang af gulvvarme, effekt af varmepumpe, type af indvendige overflader for gulve, ydervægge, skillevægge og lofter. Varmekapaciteter af de enkelte indvendige overflader og samlet for bygningen /2/, specifikke varmetab baseret på effekt af varmepumpe (Metode A), ved en vurdering på grundlag af opførelsesår (Metode B) og vurdering på grundlag af renoveringsår (Metode C). Tidskonstanter beregnet ved metode A, B og C er angivet i døgn.

## 4.4 Analyse af tidskonstanter

De analytisk målte tidskonstanter fundet ved stop af varmepumpen sammenstilles nedenfor med de tidskonstanter, som er fundet mere teoretisk ud fra overfladerne i de enkelte huse.

### 4.4.1 Huse med detaljerede målinger

Resultaterne gennemgås i dette afsnit for de enkelte huse med detaljerede målinger.

#### *Hus 5791*

Der er let gulvvarme. Tidsforsinkelsen mellem stop af varmepumpe og starten på faldet af rumtemperaturerne er mellem 2 og 4,2 timer, med den laveste værdi i den sydvestvendte stue. De målte tidskonstanter er på mellem 1 og 3,5 døgn. Den teoretisk fundne tidskonstant er ved både metode A og B fundet til 2 døgn. Huset er opført i 1912, men kan være efterisoleret og dermed have et mindre specifikt varmetab og en større tidskonstant end umiddelbart teoretisk opgjort. Huset er renoveret i 2010, og ved metode C, hvor der regnes med tidskonstant svarende til renoveringsåret, opnås en tidskonstant på 5,2 døgn.

#### *Hus 8480*

Der er gulvvarme, men den primære opvarmningsform er radiatorer. Tidsforsinkelsen mellem stop af varmepumpe og start på fald af rumtemperaturer er mellem 0,2 og 2,2 timer. De målte tidskonstanter er på mellem 2 og 4 døgn. De teoretiske tidskonstanter er bestemt til 2 døgn. Rummene med de laveste starttemperaturer har de største tidskonstanter, dvs. der vil være en tendens til, at der tilføres varme fra naborum med højere temperaturer til rum med lavere starttemperaturer.

#### *Hus 431*

Der er gulvvarme i badeværelset. Tidsforsinkelsen mellem stop af varmepumpe og starten på fald af rumtemperaturerne er 0 timer med undtagelse af badeværelset, hvor der er en tidsforsinkelse på 1,2 time. De målte tidskonstanter er på mellem 3 og 4,5 døgn. Den teoretisk fundne tidskonstant er ved metode A fundet til 3,5 døgn. Ved metode B, der er baseret på husets alder, er tidskonstanten 1,9 døgn, svarende til at huset er opført i 1902. Huset er renoveret i 1970, og det er forventet, at det er efterisoleret ved denne lejlighed. Hvis huset var bygget i 1970-standard, ville det svare til en tidskonstant på 2,4 døgn, men det kan være, at det er yderligere efterisoleret. Ikke desto mindre svarer det specifikke varmetab opgjort efter varmepumpens kapacitet bedre til de ved målingerne fundne tidskonstanter.

#### *Hus 1590*

Opvarmningen sker primært ved gulvvarme. Tidsforsinkelsen mellem stop af varmepumpe og start på fald af rumtemperaturer er mellem 0,2 og 4 timer. De 4 timer stammer fra badeværelset, der forventes at have tung gulvvarme. De målte tidskonstanter er mellem 3,5 og 5,5 døgn, dog med undtagelse af badeværelset, hvor der er en tidskonstant på 8-9 døgn. En forklaring kunne være en håndklædetørrer placeret i badeværelset, som giver et væsentligt internt varmetilskud. Den teoretisk fundne tidskonstant er ved metode A fundet til at være 3,5 døgn. Ved metode B, der er baseret på husets alder, er tidskonstanten også 3,5 døgn svarende til, at huset er opført i 1995. Huset er renoveret i 2010, og det kan være efterisoleret ved denne lejlighed. Hvis huset var bygget til 2010-standard, ville det specifikke varmetab typisk være  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  i stedet for  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , hvilket svarer til en tidskonstant på 5,2 døgn (dvs. metode C). Der ses altså en rimelig sammenhæng mellem de målte og teoretiske tidskonstanter.

### *Hus 8331*

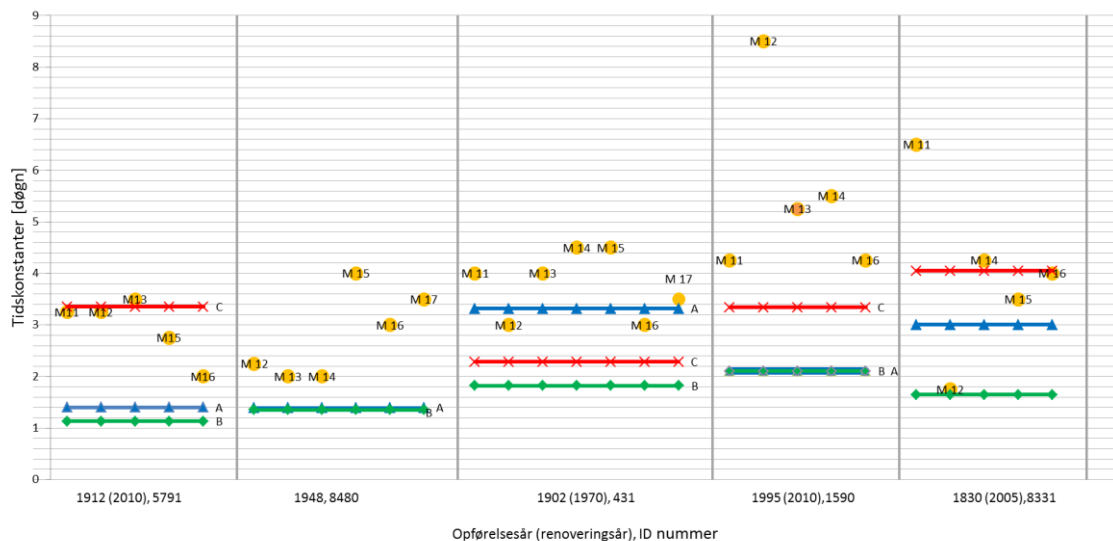
Opvarmningen sker primært ved radiatorer, men der er dog også gulvvarme i huset. Tidsforsinkelsen mellem stop af varmepumpe og start på fald af rumtemperaturer er mellem 0 og 2,5 timer. Den højeste værdi er fundet i badeværelset, der forventes at have tung gulvvarme. De målte tidskonstanter er typisk mellem 3,5 og 4,5 døgn, dog med undtagelse af et kontor med en tidskonstant på 1,5-2 døgn og et anneks med en tidskonstant på 6,5 døgn. Den teoretiske tidskonstant er ved metode A fundet til at være 4,2 døgn. Ved metode B, der er baseret på husets alder (1830), er tidskonstanten fundet til at være 2,3 døgn. Huset er renoveret i 2001 og 2008. Der benyttes ved metode C et varmetab, der svarer til, hvis huset var opført i 2005, dvs. et specifikt varmetab på  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , hvilket giver en tidskonstant på 5,6 døgn.

Som forudsætning ved bestemmelse af varmekapacitet for gulve benyttes en middelværdi af klinkegulve og trægulv på beton: Klinkegulve ( $66,7 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) og trægulv på beton ( $19,4 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ). Dvs.  $43,1 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . /2/

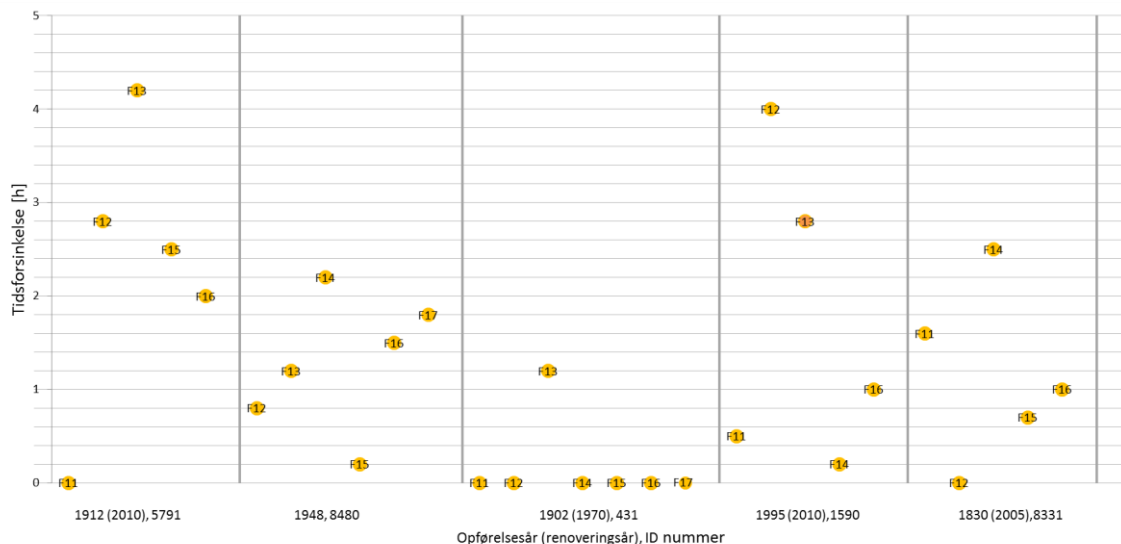
#### 4.4.2 Konklusioner ved huse med detaljerede målinger

For de fleste rum i de forskellige detaljerede målinger for husene ses en rimelig god overensstemmelse mellem de teoretiske tidskonstanter og de målte tidskonstanter. Samtidig ses en stor variation i tidskonstanter fra rum til rum.

Variationerne i de målte tidskonstanter fra rum til rum kan skyldes forskelle i udformningen fra rum til rum, men også at rummene er opvarmet til forskellige temperaturer. Når varmetilførslen afbrydes, vil der ske en vis temperaturudjævning mellem rummene. Det medfører, at rum opvarmet til en høj temperatur taber varme til naborum, mens rum opvarmet til lavere temperaturer modtager varme fra naborum. Disse forhold medfører en tendens til, at rum opvarmet til høje temperaturer får små tidskonstanter, mens rum opvarmet til lave temperaturer tilsvarende får store tidskonstanter.



Figur 4.4.1 Sammenstilling af de målte tidskonstanter for de enkelte rum ( $M_{xx}$ ) i huse med detaljerede målinger og de teoretiske tidskonstanter for de 5 specifikke huse.



Figur 4.4.2: Målte tidsforsinkelser ( $F_{xx}$ ) i de enkelte rum i de 5 huse med detaljerede målinger.

#### 4.4.3 Huse med enkelte målinger

I det følgende afsnit gennemgås resultaterne for huse med enkelte målinger. Data baseret på målingerne ses i tabel 4.2.2 og data for de teoretisk fundne tidskonstanter ses i tabel 4.2.3. Værdierne for varmekapaciteterne til udregning af de teoretiske tidskonstanter er fundet ud fra stamdata, og der vil være en vis usikkerhed på fastsættelsen af disse, da der ikke som for de detaljerede huse har været en besigtigelse af huset og billeder til at støtte antagelserne.

##### *Hus 919*

Opvarmningen i huset sker primært ved gulvvarme. Der er udvalgt 3 relevante perioder, hvor varmepumpen har været stoppet (03-01-2014, 10-03-2014 og 26-03-2014). Varmepumpen har været stoppet henholdsvis kl. 17.35, 22.40 og 22.50 med udetemperaturer fra 2,2 °C til 7 °C. Længden for varmepumpens stop er for alle tre tilfælde lige over 4 timer med tidsforsinkelser for temperaturfaldet fra en halv time til 1 time og 45 minutter. Tidskonstanterne fundet ved målingerne er for de tre tilfælde mellem 1 og 1,5 døgn.

Den teoretiske tidskonstant ved metode A er fundet til 2,3 døgn. Huset er opført i 1877, og metode B giver en tidskonstant på 1,9 døgn og svarer til opførelsesåret 1920. Metode C er baseret på renoveringsåret 1997 og giver en tidskonstant på 3,6 døgn. Tidskonstanterne fundet ved målingerne er lidt kortere end de teoretisk bestemte værdier.

##### *Hus 3501*

Huset er primært opvarmet med radiatorer, men har også gulvvarme. Der er to udvalgte måleperioder, hvor varmepumpen har været slukket (d. 17-02-2013 kl. 00.05 og d. 28-12-2013 kl. 17.15). Udetemperaturerne har haft en middelværdi på 0,8 °C til 6,5 °C henholdsvis. Det første stop har varet i 7 timer og 50 minutter med 20 minutters forsinkelse, før der sker et temperaturfald. Tilsvarende har det andet stop varet 4 timer og 50 minutter med en tilsvarende forsinkelse på 2 timer. De fundne tidskonstanter for målingerne er for begge måleperioder mellem 1,5 og 2 døgn. Metode A giver en tidskonstant på 2,4 døgn. Der er ikke angivet en renoveringsdato, så metode B og C giver samme værdi på 1,9 døgn. De teoretiske tidskonstanter stemmer godt overens med tidskonstanterne observeret ud fra målingerne.

##### *Hus 2201*

Den primære opvarmning af huset er gulvvarme. Der er to måleperioder for slukningen af varmepumpen, d. 08-12-2013 kl. 18.45 og d. 22-02-2014 kl. 20.20. Udetemperaturen har haft en middeltemperatur på 7,7 °C og 4,5 °C, og perioderne har haft en længde på over 10 timer. Der er observeret tidsforsinkelser på 4 timer og 45 minutter og 4 timer. De indlagte tidskonstanter er fundet til 3-4 døgn og 5 døgn for de to måleserier. Der har ikke været opgivet en effekt af varmepumpen, og dermed er metode A ikke benyttet. Metode B er baseret på opførelsesåret 1913 og giver en tidskonstant på 2,2 døgn. Metode C er baseret på det seneste renoveringsår 2012 og giver en tidskonstant på 7,1 døgn. De målte tidskonstanter falder inden for intervallet for de teoretisk bestemte tidskonstanter.

##### *Hus 1041*

Huset har gulvvarme som primær opvarmning. Der er fundet en enkelt brugbar måleperiode for varmepumpestoppet d. 07-02-2013 kl. 19.00. Middeltemperaturen udendørs har i perioden været -1 °C. Perioden har haft en længde på 6 timer og en tidsforsinkelse på temperaturfaldet på 3 timer. Den fundne tidskonstant for målingerne ligger mellem 3 og 4 døgn. Sammenholdes den målte tidskonstant med de teoretiske tidskonstanter, ses det, at metode A giver en værdi på 2,2 døgn, som er under den målte. Metode B baseret på opførelsesåret giver en tidskonstant på 1,5 døgn. Tages det seneste angivne renoveringsår med (2010) giver metode C en tidskonstant på 4,5 døgn, hvilket er større end den målte



tidskonstant. Metode C svarer til, at huset var opført efter 2010-standard. Den målte tidskonstant ligger mellem tidskonstanterne ved metode B og C og er også større end ved metode A, hvilket kan tyde på, at varmepumpens kapacitet er stor i forhold til varmetabet.

#### *Hus 7591*

Den primære varmekilde i huset er gulvvarme og der er fundet en relevant måleperiode med varmepumpestop fra d. 12-04-2014 fra kl. 19.10 og 7 timer frem. Middelttemperaturen udendørs har været 7 °C og tidsforsinkelsen på temperaturfaldet i huset er 3 timer. Tidskonstanten fundet på baggrund af målingerne er 2-3 døgn.

Den teoretiske tidskonstant baseret på metode A er fundet til 2,1 døgn. Huset er opført i 1982 uden information om nyere renoveringer. Derfor giver metode B og C samme tidskonstant på 2,2 døgn. De teoretiske tidskonstanter stemmer godt overens med tidskonstanten fundet ud fra de målte data.

#### *Hus 141*

Huset har gulvvarme som primær varmekilde. Der er fundet en måleperiode for slukningen af varmepumpen d. 12-04-2014 kl. 19.10. Udetemperaturen har i perioden haft en middelværdi på 7,5 °C. Længden af slukningsperioden har været 8 timer med en tidsforsinkelse på 3 timer. Den fundne tidskonstant ud fra de målte data er 4 døgn.

Sammenlignes den målte tidskonstant med den teoretiske metode A, svarer denne til den teoretiske tidskonstant, nemlig 4,2 døgn. Huset er bygget i år 2000, og der er ikke sket efterfølgende renovering. Metode B og C giver derfor den samme værdi på 4 døgn. Det er den samme værdi som fundet ud fra målingerne.

#### *Hus 2501*

Huset er primært opvarmet med gulvvarme. Der er fundet tre måleperioder for slukningen af varmepumpen (d. 18-04-2014 kl. 00.00, d. 27-02-2014 kl. 23.05 og d. 12-04-2014 kl. 21.00). Gennemsnitstemperaturen udendørs har været 6,0 °C, 5,7 °C og 8,3 °C. Tidsintervallet for slukningen har været 4,0; 8,3 og 7,0 timer med tidsforsinkelser fra 0 til næsten 4 timer. Tidskonstanterne for målingerne svarer til 4 døgn, 4,5 døgn og 1,5 døgn.

Metode A giver en tidskonstant på 3,1 døgn. Da huset er bygget i 2001, er det den samme fundne tidskonstant for metode B og C 4,7 døgn.

Tidskonstanten på 1,5 døgn for målingerne kan forklares ved, at der sker en temperaturstigning omkring tidspunktet, da varmepumpen slukkes. Temperaturfaldet starter først 3,8 timer efter, at varmepumpen er stoppet. Temperaturstigningen fortsætter et stykke ind i slukningsperioden og er efterfulgt af det hurtige temperaturfald. Det hurtige temperaturfald kan forklares ved, at der er en ikke kendt varmekilde i rummet, som ikke når at oplagre som varme inde i de afgrænsede bygningskonstruktioner, men som kun tilfører varme til rumluften og til den del af konstruktionerne, der ligger nærmest de indvendige overflader. Hvis tidskonstanten var sat til en starttemperatur svarende til tidspunktet, hvor selve varmepumpen stopper (dvs. inden temperaturstigningen), ville tidskonstanten svare til ca. 3,5-4 døgn.

#### *Hus 496*

Huset har gulvvarme som primær opvarmning. Der er fundet én periode med relevante måledata for slukningen af varmepumpen. Stoppet af varmepumpen sker d. 12-04-2014 kl. 19.10 og varer i 8 timer. Udetemperaturen har haft en middelværdi på 7,5 °C. Der er en tidsforsinkelse på temperaturfaldet i huset på 2 timer og 45 minutter. Den fundne tidskonstant ud fra målingerne er på 5 døgn.

Den teoretiske tidskonstant for metode A er fundet til 5,1 døgn. Metode B giver en tidskonstant på 6,4 på baggrund af opførelsesåret 2010. Dermed er tidskonstanten fundet ved målingerne lidt under de

teoretiske, men i samme størrelsesorden. Den målte tidskonstant kan siges at være i overensstemmelse med de teoretiske tidskonstanter.

#### *Hus 1391*

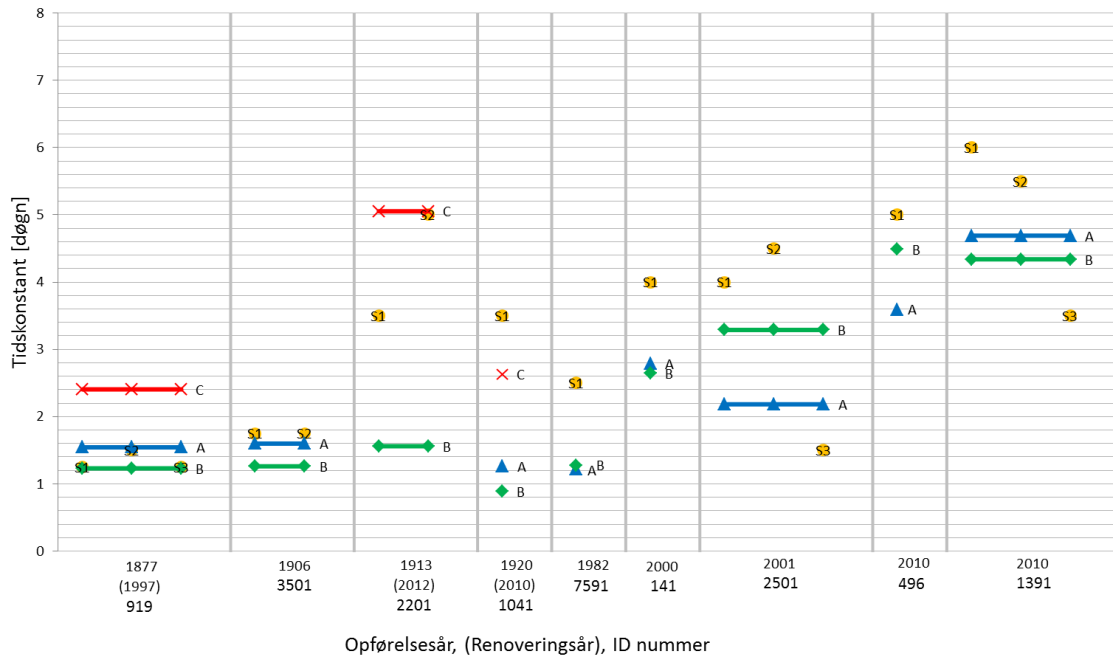
Huset er opvarmet med gulvvarme som primær varmekilde. Der er fundet tre perioder med relevant måledata for varmepumpestop. Måleperioderne starter d. 08-11-2013 kl. 20.35, d. 10-11-2013 kl. 23.25 og d. 13-11-2013 kl. 19.10. Udetemperaturen har i perioderne haft middelværdier på 7,7 °C, 5,5 °C og 6,7 °C. Længden af varmepumpestoppet har været 7,8, 6,3 og 5,8 timer med en forsinkelse på temperaturfaldet på 3,5; 0 og 3 timer. De fundne tidskonstanter ud fra målingerne er 6; 5,5 og 3,5 døgn.

Den teoretiske tidskonstant fundet ved metode A er 6,7 døgn. Metode B giver på baggrund af bygningsåret 2010 en tidskonstant på 6,2 døgn. Måledata for den periode, hvor der er fundet med en tidskonstant på 3,5 døgn, kan ses i bilag 3.11. Det ses, at rumtemperaturen har en kraftig stigning af ukendte årsager, lige da varmepumpen slukkes. Temperaturstigningen er kort og stigningen når ikke at have indflydelse på varmen lagret i murværk mm. Dermed vil der blive beregnet en mindre tidskonstant, end hvis der ikke havde været en kortvarig temperaturstigning, hvilket måske kan beskrive den største forskel mellem de teoretisk bestemte tidskonstanter og de andre observerede tidskonstanter fra målingerne.

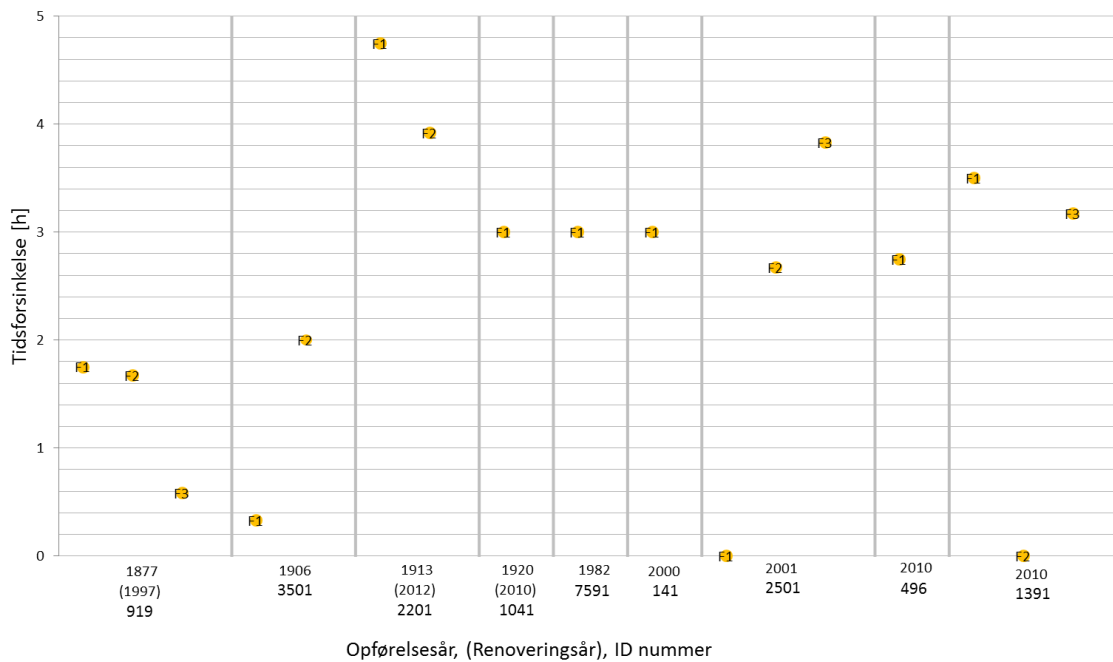
Alt i alt svarer de teoretisk bestemte tidskonstanter godt til de målte.

#### **4.4.4 Konklusion på baggrund af enkeltmålingerne**

Overordnet set har tidskonstanterne på baggrund af målingerne stemt godt overens med de beregnede teoretiske tidskonstanter for de pågældende huse. De har ligget i samme størrelsesorden, men har ikke i alle tilfælde været inden for intervallet skabt af de tre teoretiske tidskonstanter. Usikkerheden med sammenligningen mellem de målte og de teoretiske tidskonstanter kan til dels skyldes manglende information om de pågældende huse (bygningsdata og -billeder, samt placering af temperatursensoren). Derudover er der for nogle af husene med flere perioder med varmepumpestop ikke en stor spredning på værdierne for de målte tidskonstanter. Da der kun er en sensor i hvert hus, samt begrænset information om placeringen af temperatursensorerne eller brugen af bygningerne, er det meget vanskeligt at udtale sig om årsagen til forskellene i tidskonstanterne og hvad der sker i den resterende del af husets rum.



Figur 4.4.3: Sammenstilling af de målte tidskonstanter ( $S_x$ ) i de forskellige afbrydelsesperioder i de 9 huse med enkeltmålinger og de teoretiske tidskonstanter for det enkelte hus.



Figur 4.4.4: Målte tidsforsinkelser ( $F_x$ ) i de forskellige afbrydelsesperioder i de 9 huse med enkeltmålinger.

#### 4.5 Samlet opsummering

Samlet set findes der en rimelig god overensstemmelse mellem de målte tidskonstanter og de teoretisk beregnede værdier for tidskonstanter af temperaturfaldet ved stop af varmepumperne. Der er dog observeret en række temperaturvariationer, som ikke følger det forventede forløb, hvor der kan sandsynliggøres, men ikke dokumenteres en årsag, og som derfor må tilskrives brug af bygningen, fx anvendelse af fx ovne, elapparater eller udluftning af rummene.

Til trods for spredningen af resultaterne skønnes det, at der kan tegnes et rimeligt billede af, hvorledes tidskonstanterne afhænger af de teoretisk bestemte værdier. I de situationer hvor der har været lavere tidskonstanter end forventet ud fra teoretiske overvejelser, har der samtidig været en væsentlig tidsforsinkelse fra stop af varmepumpe til start af temperaturfald. Dette forhold skyldes sandsynligvis, at der har været en varmetilførsel af kortere varighed, som ikke har opvarmet de tungere bygningsdele, og som derfor hurtigt afgiver varme til omgivelserne, hvilket medfører en tilsyneladende mindre tidskonstant.

Den tidsforsinkelse, der har været mellem stop af varmepumpe og fald af rumtemperaturer, har ligget mellem 0 og ca. 4 timer. Det er overraskende lang tid i forhold til det forventede.

Med de opnåede resultater vil det kunne forventes, at der kan findes et dækkende billede af tidskonstanter generelt, og at der i en konkret bygning kan bestemmes en tidskonstant med en rimelig tilstrækkelig nøjagtighed ud fra viden om relativt få grundlæggende data. De vigtigste data er det dimensionerende varmetab og en varmekapaciteten for bygningen.

Der er dog en række forhold, som gør, at der er individuelle variationer i tidskonstanten. Eksempler herpå er:

- Varmeafgivere. Tung gulvvarme vil have større tidskonstant end let gulvvarme, der igen har en større tidskonstant end radiatorer.
- Der kan være rum i et hus, som har større varmetab fx pga. vinduer eller ventilation. Nogle rum kan have mindre varmekapacitet, der kan være møbler som dækker og isolerer bagvedliggende tunge konstruktioner.
- Forskelle fra rum til rum og varmeudveksling mellem rum.

## 5 Referenceliste

- /1/ Bygningers tidskonstanter, Internt notat, Teknologisk Institut, L. Olsen, december 2014
- /2/ DS/INF 418-2 Beregning af bygningers varmetab – Del 2: Beregning af effektiv varmekapacitet for bygninger, 1. udgave, Dansk Standard, 2014-02-11