

Henrik Tommerup

Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Fuldmuret

Rapport
BYG · DTU
R-104
2004

ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-170-6

Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Fuldmuret

Henrik Tommerup



Department of Civil Engineering
DTU-bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
<http://www.byg.dtu.dk>

2004

FORORD

Denne rapport beskriver detaljerede målinger af energiforbrug i et højisoleret fuldmuret en-familieshus, der er et 176 m² dobbelthus med to identiske boliger á 88 m². Rapporten beskriver dels detaljerede målinger af husets energiforbrug, som er gennemført i perioden januar til april 2004, og dels de tilsvarende detaljerede beregninger som er gennemført efterfølgende, til sammenligning med målingerne.

Forsøgshuset er opført for boligselskabet MidtVest i Sønderborg på Thyholm, og er tegnet af Møller Nielsens Tegneste i Struer, mens Thyholm Murer A/S har været hovedentreprenør. Der er samarbejdet med BYG•DTU og By og Byg om udviklings- og optimeringsmæssige aspekter. BYG•DTU har tidligere foretaget varmetabsberegninger samt simuleringer af opvarmningsbehov, som sammen med beskrivelser og tegninger af huset fremgår af [1].

Den foreliggende rapport er udarbejdet af BYG•DTU i forbindelse med projektet ”Målinger af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til bygningsreglement 2005” (ELFOR PSO 2003 projektnr. 335-28), hvor der også indgår tre andre huse.

Kalk- og Teglværksforeningen og en række firmaer har bidraget til husets opførelse gennem sponsering af diverse materialer og produkter. Det drejer sig om følgende:

Kalk- og Teglværksforeningen (mur- og tagsten)
Rockwool (isolering)
Danfoss (varmeautomatik)
Grundfoss (pumper)
Nilan (ventilationsanlæg)

Rapportens er forfattet af Henrik Tommerup, forskningsadjunkt, BYG•DTU. Professor Svend Svendsen, BYG•DTU, har været projektleder.

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, November 2004.

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	2
KONKLUSION.....	3
CONCLUSION	4
1 PROJEKTETS FORMÅL	5
2 GENNEMGANG AF MÅLERESULTATER	6
2.1 UDETEMPERATUR	6
2.2 SOLINDFALD	7
2.3 INDETEMPERATUR	9
2.4 LUFTMÆNGDER I VENTILATIONSANLÆG	10
2.5 EFFEKTIVITET AF VENTILATIONSANLÆG	10
2.6 INFILTRATION	11
2.7 ENERGIFORBRUG	12
2.8 INTERNT VARMETILSKUD.....	14
2.9 EL-MÅLINGER	14
2.10 SAMMENFATNING AF MÅLERESULTATER	15
3 SAMMENLIGNING BEREGNINGER/MÅLINGER.....	16
3.1 MÅLINGER SAMMENLIGNET MED SIMPLIFICEREDE BEREGNINGER.....	16
3.2 MÅLINGER SAMMENLIGNET MED DETALJEREDE BEREGNINGER	17
3.3 SAMMENFATNING	19
3.4 OPVARMNINGSBEHOV FOR FYRINGSSÆSONEN	20
4 REFERENCER.....	21
BILAG 1: FACADER, GRUNDPLAN OG TVÆRSNIT.....	22
BILAG 2: TRYKPRØVNING	23
BILAG 3. UDVALGTE BILLEDER FRA TERMOGRAFERING.....	27

KONKLUSION

Denne rapport har beskrevet en række detaljerede målinger af et højisoleret enfamiliehus. På baggrund af den databehandling og analyser der er foretaget kan der overordnet konkluderes at målingerne ikke har vist nogle væsentlige uoverensstemmelser i forhold til det oprindeligt forventede. Forskellen mellem beregninger og målinger er lille, når alle usikkerheder omkring materialedata etc. tages i betragtning.

Målinger har dog vist en uoverensstemmelse mht. ventilationsanlæggenes temperaturvirkningsgrad i forhold til det oprindeligt forventede (90 %), idet den målte temperaturvirkningsgrad er ca. 80 %.

Husets lufttæthed er af stor betydning for opvarmningsbehovet, især når der anvendes ventilation med varmegenvinding, og målinger (trykprøvning) har vist at denne var som forventet, svarende til en gennemsnitlig årlig infiltration på $0,10 \text{ h}^{-1}$. Ligeledes viser indledende målinger at temperaturen i gulvvarmeslangerne har levet op til forventningerne.

Beregningsmodel vs. målinger

Når de uoverensstemmelser der er mellem den oprindelige teoretiske udformning af husets konstruktioner og systemer og de faktiske målte forhold justeres, viser beregninger og målinger generelt god overensstemmelse. På baggrund af simplificerede beregninger er husets opvarmningsbehov for perioden 1. januar 2004 til 30. april 2004 (121 dage) fastlagt til hhv. 2526 kWh i bolig A og 2873 kWh i bolig B. Det målte opvarmningsbehov for denne periode er hhv. 2403 kWh og 2739 kWh. Hvis man foretager en mere detaljeret beregning vha. simulationsprogrammet BSIM 2002, får man et forventet opvarmningsbehov på 2300 kWh i bolig A og 2661 kWh i bolig B. Afvigelsen kan skyldes flere forhold, herunder formentlig især at det reelle solindfald formentlig har været lidt mindre, idet det har været vanskeligt at foretage en præcis modellering af skyggeforholdene ved og omkring huset. Alt i alt må det konkluderes at BSIM-modellen giver en fornuftig vurdering af huset rumopvarmningsbehov under givne randbetingelser.

Opvarmningsbehov for fyringssæsonen

Beregningsmodellen som benyttes til sammenligning med målingerne er justeret således at der kan foretages en realistisk vurdering af opvarmningsbehovet for fyringssæsonen. Beregningen viser at varmebehovet til rumopvarmning kan forventes at udgøre ca. 3623 kWh for én bolig, svarende til ca. 53 % af den nugældende energiramme.

CONCLUSION

Report R-104: Measurements of total energy consumption in new buildings corresponding to Danish Building Regulations 2005. Building system: Brick wall.

This report describes detailed measurements on a highly insulated single-family double house. In the light of the data processing and analyses that have been made it can be concluded that the measurements have shown no significant inconsistency compared to the expected. The difference between calculations and measurements is fairly small when uncertainties regarding material data etc. are considered.

However, measurements have shown an inconsistency concerning the temperature efficiency of the heat recovery unit compared to the expected (90%), as the measured efficiency is about 80%.

The air tightness of the building envelope is of great importance for the space heating demand especially when ventilation with heat recovery is used, and measurements (blower door test) have shown that the air tightness was as expected corresponding to an average yearly infiltration of 0.10 h^{-1} . Likewise, the temperature in the floor heating tubes has lived up to expectations.

Calculation model vs. measurements

When inconsistencies between the original theoretical elaboration of the house (constructions and systems) and the actual measured conditions are adjusted, there is a good agreement between calculated and measured space heating demands. Simplified calculations for a period of 121 days, from January 1st to April 30th, result in a heating demand of 2526 kWh in residence A and 2873 kWh in residence B. During the period the residences have used 2403 kWh and 2739 kWh, respectively. A detailed calculation using the simulation program BSIM2002 results in heating demands of 2300 kWh in residence A and 2661 kWh in residence B. The deviations are due to various conditions, including presumably that the solar gains have not been as large as the modeled gain because it has been difficult to precisely model the shadow conditions in and around the house. All in all the BSIM model results in a sensible estimation of the space heating demand under given boundary conditions.

Yearly space heating demand

The calculation model used for comparison with measurements has been adjusted so that a realistic estimation of the yearly space heating demand can be made. Calculations show that the space heating demand can be expected to amount to 3623 kWh for one residence corresponding to approximately 53% of the present energy frame.

1 PROJEKTETS FORMÅL

Projektets overordnede formål har været at indhente målinger af bruttoenergiforbrug for fyringssæsonen 2003/2004 med beboere i husene. Dette har desværre ikke kunne lade sig gøre, da det ikke har været muligt at få udlejet de to boliger. Formålet med målingerne har derfor primært været at dokumentere og eftervise husets energiforbrug til rumopvarmning.

For god ordens skyld omtales herunder projektet oprindelige delmål:

- at videreføre målinger af opvarmningsbehov og supplere disse med målinger af bruttoenergiforbruget i beboet tilstand, svarende til at der tilføjes målinger af forbruget til varmt brugsvand og virkningsgraden af varmeanlægget, samt målinger af elforbrug til ventilationsanlæg, pumper i varme- og varmtvandsanlæg, hårde hvidevarer og belysning.
- at dokumentere og analysere de fremkomne måleresultater og erfaringer med henblik på at rette fejl og sammenligne med de kommende krav til bruttoenergiforbruget i nybyggeri, og derigennem vise at metoderne til at eftervise kravene ikke er vanskelige at benytte og giver store muligheder og frihedsgrader i forbindelse med at lave nye og bedre løsninger.
- at indsamle driftserfaringer for det elforbrugende udstyr for derigennem at belyse deres betydning for varmebehovet, herunder foretage vurderinger af hvor stor en del af elforbruget til hårde hvidevarer, belysning mv. der kommer til nytte i opvarmningen af huset, og mere overordnet hvordan elforbruget påvirker varmemeforbruget.

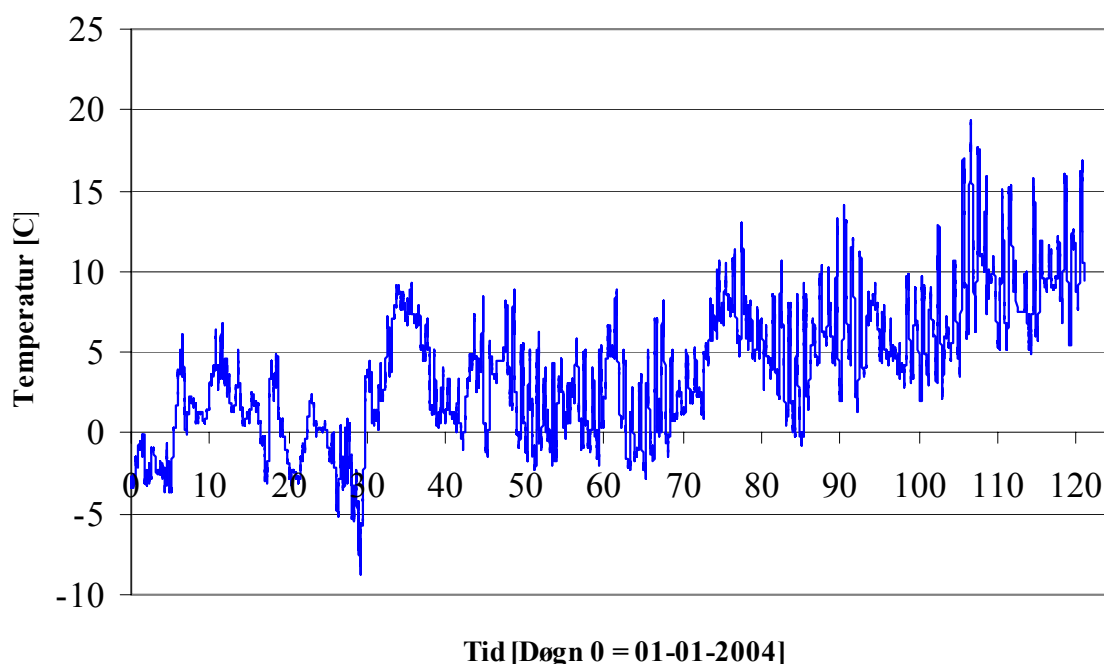
2 GENNEMGANG AF MÅLERESULTATER

I dette kapitel gennemgås de målinger som er foretaget. Der er foretaget målinger af energiforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand, inde- og udetemperaturer, temperaturer i ventilationsanlæg, solindfald, lufttæthed samt elforbrug. Da huset ene bolig har været ubeboet hele perioden og den anden bolig kun har været beboet i 14 dage af i alt 121 dage, rapporteres der ikke målinger af varmt brugsvand og mht. elforbrug redegøres kun kort for forbrug i varme- og ventilationsanlæg. I bilag 1 er vist facader, grundplan og tværsnit af huset.

Huset var færdigopført ca. 1/12-2003. Måleudstyr blev installeret i løbet af december, og fra og med starten af 2004 var alle målinger etableret. Der er behandlet måledata for i alt 121 døgn. Måleperioden er påbegyndt d. 1. januar 2004 og afsluttet d. 30. april 2004. Der er altså tale om 4 måneders data.

2.1 Udetemperatur

Udetemperaturen er målt vha. to termoelementer placeret i luftindtaget til hvert af de to ventilationsanlæg. Luftindtagene er placeret på taget. Middeltemperaturen af de to målinger er vist i Figur 1.



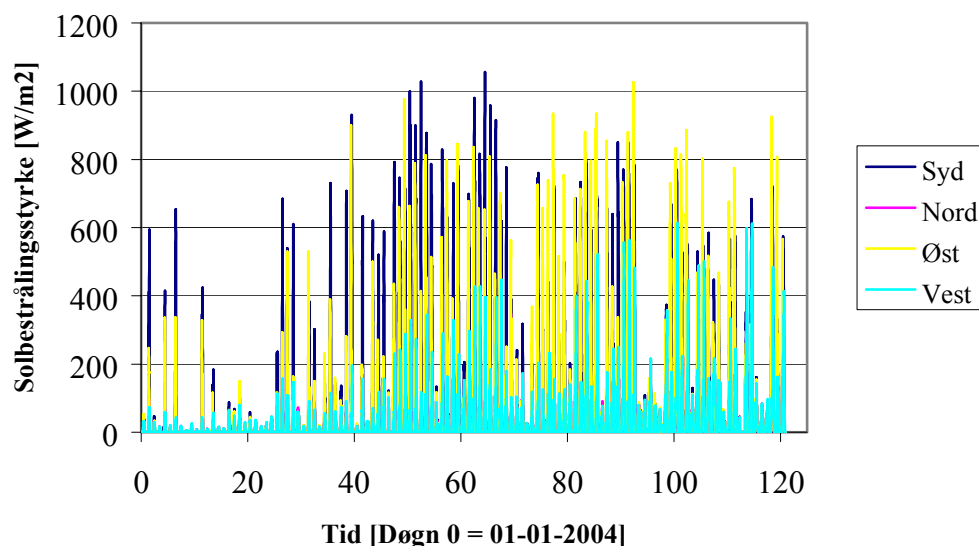
Figur 1. Udetemperatur.

Det ses at der har været dage med meget mildt vejr, såvel som dage med frost. Temperaturen varierer fra -8 °C til +19 °C. Den gennemsnitlige temperatur for perioden er 3,9 °C.

2.2 Solindfald

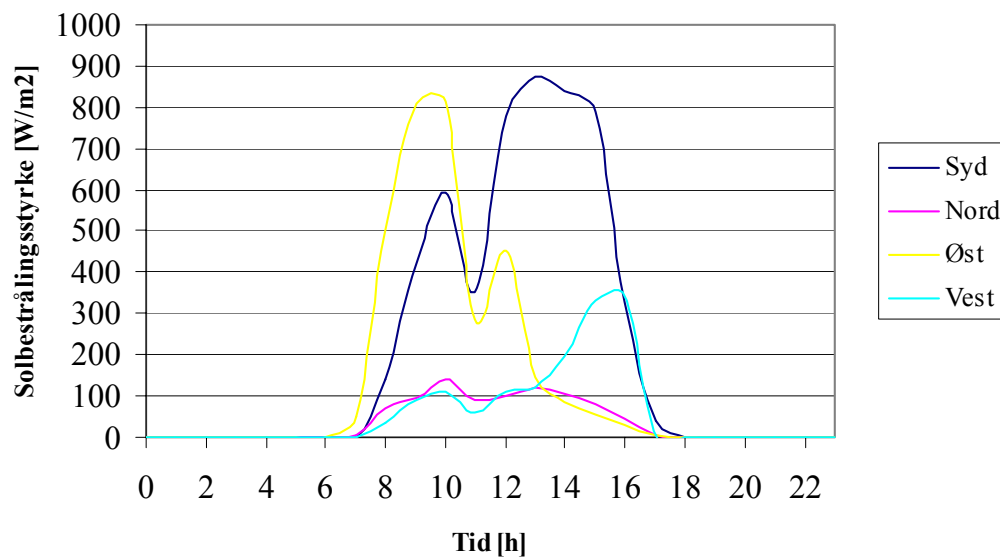
Solpåvirkningen af huset bestemmes vha. fire pyranometre monteret på huset tag. De fire pyranometre vender således at de korresponderer med husets facader og gavle, således at de målte værdier svarer til solindfaldet på husets fire retninger. Husets facader er orienteret omtrent øst - vest.

I måleperioden er der målt solbetrålingsstyrker som vist i Figur 2.



Figur 2. Solbetrålingsstyrker på husets facader og gavle.

Det kan være svært at skelne solstrålingen på de forskellige retninger. I Figur 3 er vist solbetrålingsstyrker for de 4 retninger for døgn 53, dvs. 23-02-2004.



Figur 3. Solbetrålingsstyrke på husets facader og gavle for døgn 53 (23-02-2004).

Der er tale om en solrig dag med en kort lettere skyet periode om formiddagen. Af figuren er det tydeligt at solen står op lidt efter kl. 6.00, hvor den primært rammer østfacaden. Når solen ikke længere rammer østfacaden rammes i stedet for vestfacaden (kl. ca. 13). Den nordvendte gavl rammes tydeligvis ikke af direkte stråling. Alt i alt ser de målte data fornuftige ud, og afspejler hvad man kan forvente i slutningen af februar måned.

For at fastlægge det samlede solindfald i perioden, skal solbetrålingsstyrkerne for de respektive retninger ganges med arealet af glaspartierne for de tilsvarende facader og gavle i huset. Der tages udgangspunkt i metoden beskrevet i ”Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 1. Grundlæggende energimæssige egenskaber” [2], hvilket betyder at der ydermere tages højde for glassets solenergitransmittans samt eventuelle skyggefaktorer. Følgende formel anvendes:

$$g_{\text{korrigeret}} = g_0 \cdot F_s$$

hvor $g_{\text{korrigeret}}$ er den korrigerede solenergitransmittans
 g_0 er den totale solenergitransmittans ved en indfaldsvinkel på 0° , og
 F_s er skyggefaktoren

For at tage højde for g -værdiens vinkelafhængighed anvendes der ved bestemmelsen af det totale solindfald i den betragtede periode en korrektionsfaktor på 0,9. Faktoren er overslagsmæssigt fastlagt med korrektionsfaktor for diffus solstråling på $f = 0,86$ og vinkelafhængighedsfaktor $p = 3$ (jf. [2] s. 49). Ruderne som er anvendt har en solenergitransmittans på 63 %.

I henhold til metoden i SBI-anvisning 184, Bygningers energibehov [3], antages skyggefaktoren F_s som udgangspunkt at være 0 for den nord- og sydlige gavl (der er opført carport ved gavlene), 0,8 for vest (10° højdevinkel til omgivende terræn/bebyggelse) og 0,5 for øst (30° højdevinkel). Udhænget på huset er minimalt og vinduer og døre er placeret helt ude i facaden, så der er ikke nære skygger af betydning. For vinduerne korrigeres F_s derfor ikke yderligere.

De korrigerede solenergitransmittanser kan nu beregnes som:

$$g_{\text{korrigeret}} = 0,63 \cdot 0,90 \cdot 0,80 = 0,45 \quad \text{for facade mod vest}$$

$$g_{\text{korrigeret}} = 0,63 \cdot 0,90 \cdot 0,50 = 0,28 \quad \text{for facade mod øst}$$

Glasarealerne for de fire facader kan opgøres til følgende:

$$A_{\text{syd}} = 1,91 \text{ m}^2 \text{ (bolig A)} / 0 \text{ m}^2 \text{ (bolig B)}$$

$$A_{\text{nord}} = 0 \text{ m}^2 \text{ (bolig A)} / 1,91 \text{ m}^2 \text{ (bolig B)}$$

$$A_{\text{vest}} = 7,77 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{øst}} = 6,51 \text{ m}^2$$

Målingerne, som er foretaget vha. pyranometre, bliver aflæst i W/m^2 , og disse værdier kan nu ganges med de respektive arealer samt de korrigerede solenergitransmittanser.

$$Q_{\text{total}} = (Q_{s,\text{syd}} \cdot A_{\text{syd}} + Q_{s,\text{nord}} \cdot A_{\text{nord}} + Q_{s,\text{vest}} \cdot A_{\text{vest}} + Q_{s,\text{øst}} \cdot A_{\text{øst}}) \cdot g_{\text{korrigeret}}$$

Herved fås et samlet energitilskud fra solen på 708 kWh for den betragtede periode.

2.3 Indetemperatur

Indetemperaturen er målt vha. termofølere som er placeret på indvendige vægge i samtlige rum.

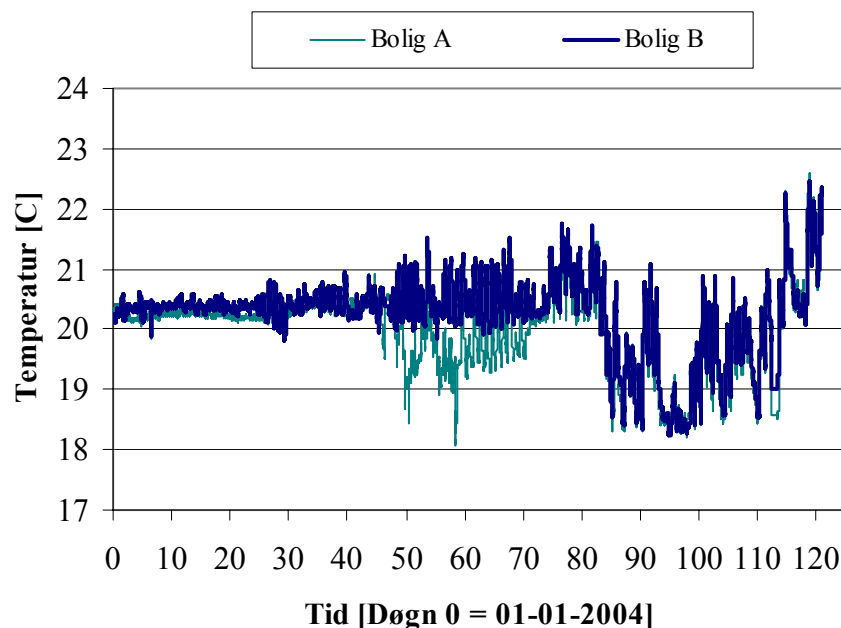
Middelværdierne af indetemperaturen for hvert enkelt rum er opstillet i Tabel 1.

Tabel 1. Middelttemperatur og areal for hvert rum.

Rum	Middelttemperatur		Areal af rum
	Bolig A	Bolig B	
[-]	[°C]	[°C]	[m ²]
Stue	20,0	19,9	26,3
Soveværelse	19,8	20,4	11,7
Køkken	20,1	20,5	10,9
Bad	20,1	20,3	6,0
Entre	20,1	20,6	8,0
Værelse	19,7	20,3	9,2
Middel/total	20,0	20,2	72,1

Ved at gange areal og middelttemperatur for hvert enkelt rum, summere disse resultater og dividere med summen af de indgående arealer bestemmes husets middelttemperatur. Resultatet af denne beregning er 20,0 °C for bolig A og 20,2 °C for bolig B.

I Figur 4 er vist indetemperaturens variation i de to boliger gennem perioden.



Figur 4. Middelttemperaturens variation.

Det ses at indetemperaturen har ligget stabilt omkring 20 °C i starten af perioden (termostat-indstilling på ca. 20 °C). Omkring dag 45 sker der et fald i temperaturen i bolig A. Dette hænger sammen med at bolig A havde midlertidige beboere i de sidste 14 dage af februar, og at der i den forbindelse er pillet ved termostaterne. Faldet i indetemperaturen i begge boliger omkring dag 85 skyldes at viceværten har nedjusteret termostat temperaturen til 18 °C. Denne er 23. april (dag 113) blevet sat tilbage til udgangspunktet på 20 °C. De mere udtalte udsvingene i den sidste del af perioden skyldes solens påvirkning.

2.4 Luftmængder i ventilationsanlæg

Der er i begge bolig boliger installeret separate mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding af typen Nilan Comfort 300 DC. Disse anlæg er blevet indreguleret, så de yder en balanceret luftmængde på ca. 162 m³/h (45 l/s), som svarer til kravet til mekanisk ventilation i bygningsreglementet. Luftmængden svarer et luftskifte på 0,97 h⁻¹. Der er i Tabel 2 redegjort for de indregulerede luftmængder.

Tabel 2. Målte indblæste og udsugede luftmængder i de enkelte rum på ventilator-trin 2. Indregulering/målinger er foretaget 4/12-2003.

Rum	Indblæsning [m ³ /h]	Udsugning [m ³ /h]	Indblæsning [m ³ /h]	Udsugning [m ³ /h]
Bolig A		Bolig B		
Køkken		49		52
Bad		46		47
Bryggers		24		25
Stue (to ventiler)	120	21	123	22
Soveværelse	22	22	22	22
Værelse	20		22	
Total	162	162	167	168

Det ses af tabellen at der er en god fordeling af luftmængderne, idet der fjernes luft fra primært de fugtproducerende rum og tilføres luft i opholdsrum.

I en periode på ca. 45 dage i den sidste del af måleperioden har ventilationsanlæggene kørt med nedsat luftmængde i visse perioder af døgnet, da et af anlæggenes behovsstyrsprogrammer utilsigtet har været aktiveret. Konkret har dette betydet at ventilatorerne i perioderne kl. 22-6 og 8-15 har kørt ned på trin 1. Luftmængden på trin 1 er ikke målt, men skønnes på baggrund af bl.a. målinger af elforbrug, at udgøre 60 % af luftmængden på trin 2, svarende til ca. 100 m³/h. I de 45 dage kan således bestemmes en gennemsnitlig luftmængde på ca. 120 – 125 m³/h.

2.5 Effektivitet af ventilationsanlæg

Effektiviteten af de mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding, svarende til temperaturvirkningsgraden, kan bestemmes ud fra tre temperaturmålinger, svarende til temperaturen af den luft som hentes udefra, den luft som hentes indefra og den luft som blæses ind. Temperaturvirkningsgraden er defineret som forholdet mellem den opnåede temperaturstigning i veksleren og den højst mulige temperaturstigning.

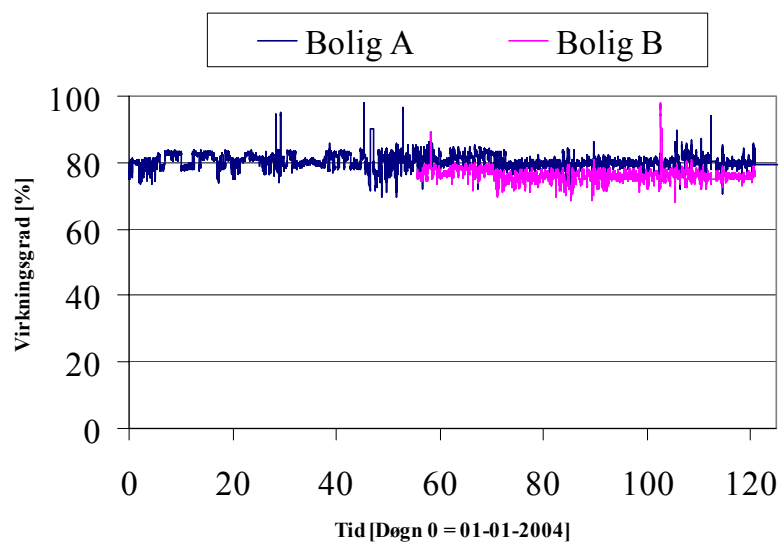
I den betragtede periode har der kunne måles følgende:

		Bolig A	Bolig B
$T_{\text{friskluft}}$	=	3,8 °C	5,9 °C
$T_{\text{udsugning}}$	=	19,3 °C	19,9 °C
$T_{\text{indblæsning}}$	=	16,3 °C	16,6 °C

Der set bort fra varmetabet i kanalsystemet, idet udsugnings- og indblæsningstemperaturen er målt umiddelbart efter ventilationsaggregatet, men tabet antages at være minimalt pga. kanalsystemet placering i undersiden af loftkonstruktionen (250 mm isolering over kanaler).

Den højere frisklufttemperatur for bolig B skyldes at den er baseret på målinger fra og med dag 55, hvilket hænger sammen med problemer med temperaturmålerne i den første del af perioden. Den gennemsnitlige temperaturvirkningsgrad kan således bestemmes som 80 % for bolig A og 76 % for bolig B.

Effektiviteten af varmeveksleren varierer, og i Figur 5 er vist variationen gennem perioden.



Figur 5. Variation af varmevekslerens effektivitet (temperaturvirkningsgrad) gennem perioden.

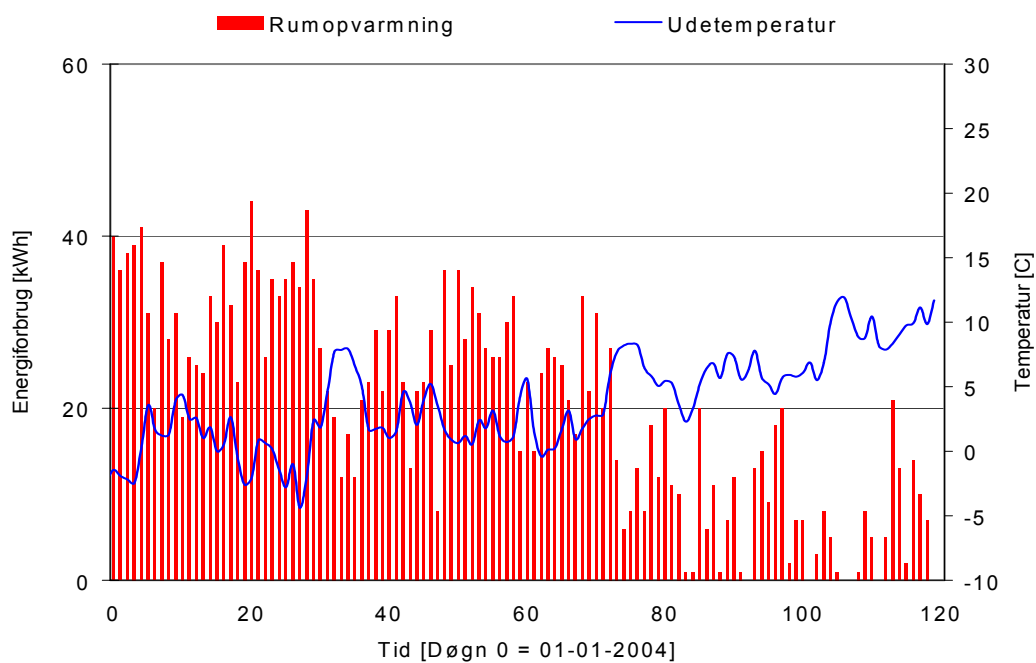
2.6 Infiltration

Infiltrationen er fastlagt ud fra en standard trykprøvning af huset. Baseret på disse målinger er luftskiftet ved referencetrykforskel på 50 Pa bestemt til ca. $1,4 \text{ h}^{-1}$. Dette kan omregnes til et gennemsnitligt årligt luftskifte på $0,10 \text{ h}^{-1}$. Huset har således en relativ god tæthed. Bilag 2 beskriver trykprøvningen og i bilag 3 er vist en række termograferingsbilleder taget i forbindelse med prøvningen.

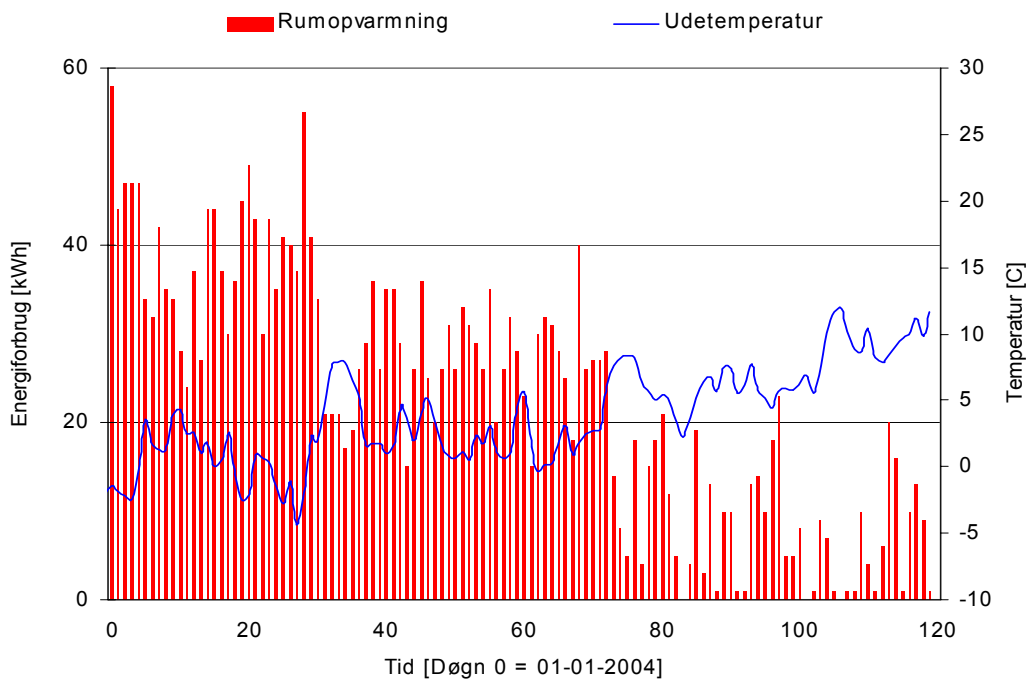
2.7 Energiforbrug

Huset forsynes med fjernvarme fra det lokale fjernvarmeværk. Rumopvarmningen foregår via et gulvvarmeanlæg. Begge boliger har i måleperioden været ubeboet med undtagelse af bolig A, der var beboet i de sidste 14 dage af februar måned.

Energiforbruget til rumopvarmning for de enkelte dage i måleperioden og for hver af de to boliger, er vist i hhv. Figur 6 og Figur 7. Udetemperaturen er også vist (døgnmiddelværdi), idet den sammen med solindfaldet er afgørende for opvarmningsbehovet. Det ses at forbruget til rumopvarmning generelt er lidt større i bolig B, og at forbrugsprofilet for de to boliger er overvejende ens, hvilket dog ikke er overraskende da de to huse har været udsat for stort set de samme inde- og udeklimatiske påvirkninger.



Figur 6. Energiforbrug til rumopvarmning i bolig A.



Figur 7. Energiforbrug til rumopvarmning i bolig B.

Gennem den betragtede periode har der i gulvvarmeanlægget været et totalt energiforbrug på 2403 kWh i bolig A og 2739 kWh i bolig B.

Temperaturen i gulvvarmeslangerne er afgørende for varmetabet gennem terrændæk og fundament. Der i huset installeret særlige regulatorer (Danfoss ECL 200 vejrkompensator), der regulerer fremløbstemperaturen afhængigt af udetemperaturen. Der er hjemtaget målinger af fremløbstemperaturen fra og med ultimo februar 2004. Det antages at temperaturer målt i februar/marts er repræsentative for perioden indtil målingerne blev etableret. På denne baggrund og den beregnede returløbstemperatur (ud fra energiforbrug/vandmængde), er der bestemt en gennemsnitlig temperatur i og omkring gulvvarmeslangerne på ca. 30 °C i måleperioden.

Der er i måleperioden konstateret problemer med pendlinger på fremløbstemperaturen, hvilket kan afhjælpes med en hurtigere virkende blandeventil. Det er planlagt udskiftning til en nyudviklet hurtigere motor.

2.8 Internt varmetilskud

I Tabel 3 er der redegjort for det interne varmetilskud.

Tabel 3. Internt varmetilskud udtrykt som gennemsnitlig effekt [W] i måleperioden.

Varmetilskud	Bolig A	Bolig B
Belysning og apparatur	94	41
Personer	13	0
Varmtvandsbeholder	25	25
Øvrig varmeinstallation	30	30
Samlet varmetilskud	162	96

Det interne varmetilskud fra personer i bolig A stammer fra de to personer der midlertidig beboede huset i 14 dage. Der er antaget en effektafgivelse på 200 W i 14 af døgnet 24 timer. Det noget større varmetilskud fra belysning og apparatur i bolig A skyldes elforbruget i denne beboede periode. De gennemsnitlige effekter svarer til et varmetilskud på 473 kWh i bolig A og 278 kWh i bolig B.

2.9 El-målinger

I dette afsnit redegøres kort for elmålinger på varme- og ventilationsanlæg.

Målingerne på ventilationanlæggene viser at det gennemsnitlige elforbrug ved normal drift og med konstant luftmængde (45 l/s) har været ca. 42 W og at forbruget i perioden med ”behovstyring” har været 28 W. Der er tale om beskedne og forventelige elforbrug.

Elforbruget til varmeanlægget svarende til forbrug til cirkulationspumpe (selvregulerende, Grundfos UPE), varmestyring, vejrkompensator, dataopsamlingsudstyr (placeret i bolig A), energimålere, er målt til 69 W i gennemsnit. Elforbruget i bolig B er målt til 31 W. Dette forbrug omfatter kun pumpe og varmestyring samt tre energimålere (å ca. 2,5 W), og forbruget til pumpe og varmestyring har således været ca. 23 W. Der er også her tale om beskedne og forventelige elforbrug.

2.10 Sammenfatning af måleresultater

Nedenfor er resultaterne af målingerne sammenfattet.

Tabel 4. Samlede måleresultater for perioden, middelværdier/summationer.

	Bolig A	Bolig B
Udetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]	3,9	3,9
Solindfald [kWh]	708	708
Indetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]	20,0	20,2
VGV effektivitet [%]	80	76
Luftskifte [h^{-1}]	0,97	1,00
Infiltration [h^{-1}]	0,10	0,10
Internt varmetilskud [kWh]	470	279
Energiforbrug [kWh]	2403	2739

3 SAMMENLIGNING BEREGNINGER/MÅLINGER

Sammenligninger mellem beregninger og målinger foretages dels hvor måleresultaterne sammenlignes med simplificerede beregninger baseret på husets totale varmetabskoefficient, og dels ved sammenligning med detaljerede simuleringer hvor bygningssimuleringsprogrammet BSIM 2002 [4] anvendes.

3.1 Målinger sammenlignet med simplificerede beregninger

Den simplificerede beregning af husets forventede opvarmningsbehov, baseres på de målte ude- og indetemperaturer, temperaturvirkningsgraden for ventilationsanlægget, den tilførte solenergi, det interne varmetilskud fra personer, apparatur og varmeinstallationer samt husets teoretiske varmetabskoefficient. Sidstnævnte er bestemt i [1].

Varmetabskoefficienten for huset kan derfor bestemmes som:

$$H_{total} = H_{trans,1D} + H_{trans,2D} + H_{vent}$$

hvor H_{total} er den totale varmetabskoefficient for huset,

$H_{trans,1D}$ er varmetabskoefficienten for 1-dimensionale transmissionstab,

$H_{trans,2D}$ er varmetabskoefficienten for 2-dimensionale transmissionstab, og

H_{vent} er varmetabskoefficienten for ventilationstab/infiltration.

Værdierne fra [1] benyttes, dog ændres varmetabskoefficienten for ventilationstab, således at der tages højde for den lavere målte temperaturvirkningsgrad, idet der tidligere er antaget en temperaturvirkningsgrad på 90 %. Varmetabskoefficienterne for transmissionstab forhøjes svarende til at der tages højde for det forøgede varmetab gennem terrændæk og fundament pga. gulvvarmen set i forhold til de øvrige konstruktionsdele. Forhøjelserne foretages ved forholdsregning mellem de forventede og de aktuelle temperaturer

Total varmetabskoefficient for bolig A:

$$H_{total} = 53,28 W / K + 10,35 W / K + 0,34 Wh / m^3 K \cdot (0,87 h^{-1} \cdot 20\% + 0,10 h^{-1}) \cdot 168 m^3 = 79,3 W / K$$

Total varmetabskoefficient for bolig B:

$$H_{total} = 53,14 W / K + 10,26 W / K + 0,34 Wh / m^3 K \cdot (0,90 h^{-1} \cdot 24\% + 0,10 h^{-1}) \cdot 168 m^3 = 81,5 W / K$$

Det forventede opvarmningsbehov for perioden kan bestemmes ved følgende formel:

$$Q_{opv} = H_{total} \cdot (T_{inde} - T_{ude}) \cdot t_{periode} - (Q_s + Q_i) \cdot \eta$$

hvor Q_{opv} er det forventede opvarmningsbehov,

T_{inde} er den gennemsnitlige indetemperatur for perioden,

T_{ude} er den gennemsnitlige udetemperatur for perioden,

$t_{periode}$ er antallet af timer i perioden,

Q_s er det samlede solenergitilskud i kWh,

Q_i er det samlede interne varmetilskud i kWh, og

η er udnyttelsesfaktoren for varmetilskud

Udnyttelsesfaktoren η angiver, hvor stor en del det potentielle varmetilskud, som kan nyttiggøres. I udnyttelsesfaktoren er derfor også indregnet effekten af husets varmeakkumulerende egenskaber. På baggrund af metoden i SBI-anvisning 184 [3], er denne faktor beregnet til 1,0, svarende til at hele varmetilskuddet kan nyttiggøres til rumopvarmning.

Indsættes de målte og beregnede værdier i formelen fås et forventet opvarmningsbehov for huset på:

$$\text{Bolig A: } Q_{\text{opv}} = 79,3 \text{ W} / \text{K} \cdot (20,0 - 3,9)^\circ\text{C} \cdot 24 \text{ h} \cdot 121 \text{ dage} \cdot 10^{-3} - 708 - 473 = 2526 \text{ kWh}$$

$$\text{Bolig B: } Q_{\text{opv}} = 81,5 \text{ W} / \text{K} \cdot (20,2 - 3,9)^\circ\text{C} \cdot 24 \text{ h} \cdot 121 \text{ dage} \cdot 10^{-3} - 708 - 278 = 2873 \text{ kWh}$$

Det samlede opvarmningsbehov for perioden er målt til hhv. 2403 kWh og 2739 kWh, hvilket altså er hhv. 123 kWh og 134 kWh mere end beregnet med den simple beregningsmetode, og der er således en afvigelse på kun ca. 5 % mellem de simplificerede beregninger og målingerne.

3.2 Målinger sammenlignet med detaljerede beregninger

De detaljerede beregninger foretages som nævnt vha. simuleringsprogrammet BSIM 2002 [4]. Modellen som benyttes er beskrevet i [1]. Der er dog foretaget en række tilpasninger der afspejler målingerne, som beskrevet i det følgende.

3.2.1 Udetemperatur

For at give de korrekte randbetingelser til beregningsmodellen opbygges et nyt referenceår, hvor udetemperaturen defineres som de målte værdier i perioden 01-01-2004 til 30-04-2004.

3.2.2 Solindfald

For at medtage de målte solbestrålingsstyrker i BSIM, angives i ovennævnte referenceår timeværdier for direkte normalstråling E_0 og diffus himmelstråling på vandret E_v . Disse soldata bestemmes på baggrund af de målte solintensiteter på lodret og beregnede indfaldsvinkler. Der benyttes Petersen solalgorimer og en antagelse om et skydække svarende til den helt overskyede himmel (8 oktas). Ved brug af denne simple metode er der beregnet et totalt solindfald på husets flader, der kun afviger ca. 3 % fra det målte. Afvigelse på de enkelte timer og flader er fornuftige.

Solstrålingen reduceres af skygger fra det omgivende terræn, bebyggelse og beplantning. Skyggegivere svarende til carport, huse mod øst og et stengærde mod vest modelleres.

3.2.3 Indetemperatur

For at opnå samme betingelser i forbindelse med simuleringerne med BSIM, som gjorde sig gældende i forbindelse med målingerne, foretages en tilpasning af setpunktet for indetemperaturen, så den gennemsnitlige indetemperatur for den betragtede periode kommer til at svare til de målte temperaturer.

3.2.4 Effektivitet af ventilationsanlæg

Ventilationen foregår med udeluft der ledes gennem en varmeveksler. Varmevekslerens temperaturvirkningsgrad sættes, jf. målingerne til hhv. 80 % (bolig A) og 76 % (bolig B). Den mekaniske ventilation modelleres svarende til målinger af indregulerede luftmængder i de enkelte rum. Forskelle i udsugede og indblæste luftmængde udlignes i modellen ved luftudveksling med de tilstødende zoner.

3.2.5 Temperatur af gulvvarmeslanger (Jordtemperatur)

I samtlige rum defineres opvarmning med en effekt der er tilstrækkelig til at opretholde inde-temperaturen. Gulvvarmen defineres som radiatoropvarmning.

Gulvvarmeslangerne har, jf. målingerne, en temperatur som er væsentligt højere end rumluften. Derfor må zonen under huset (den fiktive zone 'jord') defineres som havende en lavere temperatur end de typisk anvendte 10 °C. Derfor anvendes en temperatur for den fiktive zone jord på 0 °C. Den reducerede jordtemperatur svarer altså til at der haves en temperaturdifférens mellem oversiden af betondækket og jorden på 20 °C, som igen svarer til den målte gulvvarmeslangetemperatur på ca. 30 °C minus jordtemperaturen på 10 °C.

Kuldebroen i forbindelse med fundamentet vil ligeledes, i forbindelse med den betragtede periode, skulle fastlægges på baggrund af en temperaturforskel på 30 °C minus udetemperaturen. For at medtage dette forhold i beregningerne øges kuldebroens størrelse med en faktor som tilsvarende forholdet mellem de aktuelle temperaturforhold og de modellerede temperaturforhold.

3.2.6 Intern varmelast fra personer, belysning og apparatur og varmeinstallationer

Varmetilskud fra personer, belysning og apparatur fordeles jævnt i huset, således at hvert rum har en arealvægtet andel af den samlede effekt, mens varmetab fra varmeinstallationer tilføres entre/bryggers.

3.2.7 Udluftning

Igennem måleperioden har der ikke været anvendt udluftning, da huset ikke har været beboet. Bolig A har dog været midlertidigt beboet i ca. 14 dage, men eventuel udluftning i denne periode ses der bort fra.

3.2.8 Resultater

Der gennemføres en simuleringsperiode på 121 dage, svarende til den periode som er målt. Resultaterne er sammenfattet i Tabel 5.

Tabel 5: Beregnet energibalance for perioden 1. januar 2004 til 30. april 2004, BSIM.

Energibalance [kWh]		Bolig A	Bolig B
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	2300	2661
Q_{inf}	Varmetab ved infiltration	-268	-272
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	0	0
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	853	853
$Q_{\text{udst/pers}}$	Varme tilført fra udstyr og personer	473	278
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-2886	-2924
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-13	-13
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-459	-582

Energiforbruget til opvarmning er, som tidligere omtalt, målt til 2403 kWh i bolig A og 2739 kWh i bolig B, og den detaljerede beregning undervurderer således energiforbruget hhv. 103 kWh og 78 kWh.

Hvis man opstiller en tilsvarende varmebalance for den simple beregning (se Tabel 6), får man en idé om på hvilke områder de to beregningsmodeller adskiller sig.

Tabel 6: Beregnet energibalance for perioden 1. januar 2004 til 30. april 2004, simpel.

Energibalance [kWh]		Bolig A	Bolig B
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	2526	2873
Q_{inf}	Varmetab ved infiltration	-267	-270
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	0	0
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	708	708
$Q_{\text{udst/pers}}$	Varme tilført fra udstyr og personer	473	278
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-2975	-3001
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	0	0
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-465	-587

Det er hermed tydeligt at den primære forskel ligger i beregningen af transmissionstabet og solindfaldet. Førstnævnte skyldes primært det forhold, at BSIM direkte tager hensyn til konstruktionernes varmekapacitet. Forskellen i solindfaldet (er en del større i BSIM) skyldes metodeforskelle vedrørende indregning af effekt af interne og eksterne skygger, g-værdiens vinkelafhængighed mm. Det er nogle skyggegivende genstande der ikke er modelleret i den detaljerede beregning, herunder en nærliggende kirke og træer. Disse forhold kan forklare en del af afvigelsen fra det målte, idet et mindre solindfald vil resultere i et større varmebehov.

3.3 Sammenfatning

Sammenligningerne foretaget i dette kapitel har vist at der er en relativt god overensstemmelse mellem både simplificerede og detaljerede beregninger og så det målte energiforbrug til opvarmning. Den simplificerede beregning af husets opvarmningsbehov for de betragtede periode overvurderer en smule i forhold til måleresultaterne, hvorimod den detaljerede beregning undervurderer en smule. I Tabel 7 er resultaterne sammenfattet.

Tabel 7: Opvarmningsbehov - beregnet og målt.

	Opvarmningsbehov [kWh]		
	Simpel beregning	BSIM	Målt
Bolig A	2526	2300	2403
Bolig B	2873	2661	2739

3.4 Opvarmningsbehov for fyringssæsonen

Målingerne har vist at varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad er ca. 80 % frem for som forventet 90 %. Hvis man ændrer dette forhold i BSIM-modellen, som tidligere er sammenlignet med målingerne, og herefter gennemfører en årssimulering på baggrund af typiske vejrdato (DRY), internt varmetilskud på typiske 5 W/m², setpunkt for indetemperaturen på 20 °C og aktuelle skyggeforhold, får man energibalancen vist i Tabel 8.

Tabel 8: Beregnet energibalance for hele fyringssæsonen, svarende til oktober til april (inkl.). Beregninger viser at der ikke forekommer varmebehov udenfor denne periode.

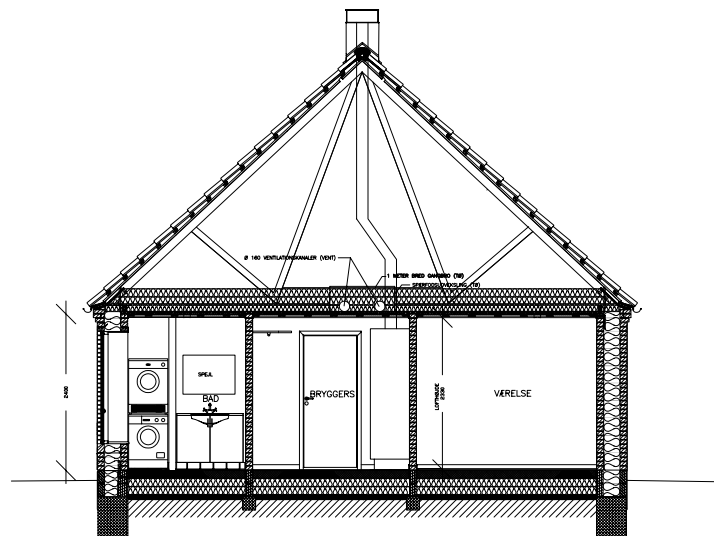
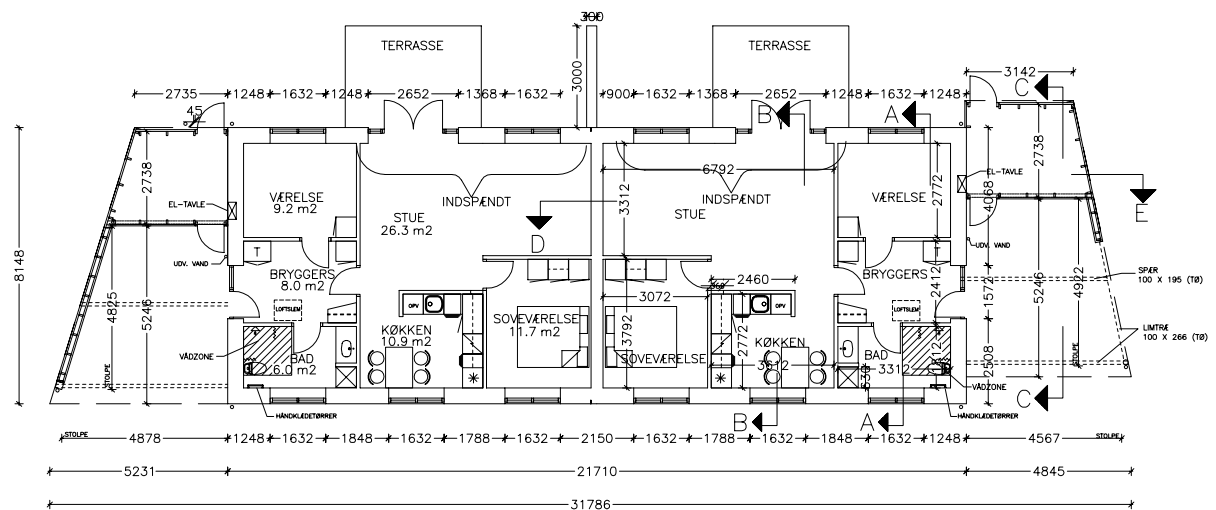
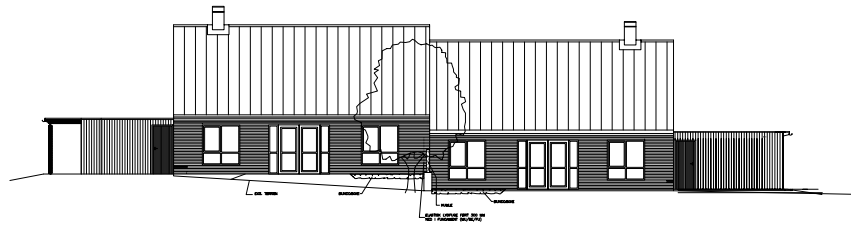
Energibalance		Revideret model [kWh]
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	3621
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-504
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-11
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	1029
$Q_{\text{udst/pers}}$	Varmer tilført fra udstyr og personer	2239
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-5417
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-7
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-950

Det forventede opvarmningsbehov for huset (én bolig) er altså ca. 3621 kWh/år, hvilket svarer til ca. 53 % af den nugældende energiramme.

4 REFERENCER

- [1] Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 1: Konstruktioner/systemer, Byggesystem: Fuldmuret. Rose, J. & Tommerup, H. Rapport BYG.DTU R-066, BYG.DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2003. (Tilgængelig på www.byg.dtu.dk.)
- [2] Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 1. Grundlæggende energimæssige egenskaber. Nielsen, T. R. et al. 2001. Undervisningsnotat BYG.DTU U-001, BYG.DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2001.
- [3] SBI-Anvisning 184. 1995.
Bygningers energibehov. Varmeisolering, Konstruktionseksempler, Ventilation, Belysning. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Danmark. 1995.
- [4] BSIM 2002 (version 3.4.8.11): Et integreret EDB-værktøj til termisk analyse af bygninger og installationer. Statens Byggeforskningsinstitut, 2004.

BILAG 1: FACADER, GRUNDPLAN OG TVÆRSNIT



BILAG 2: TRYKPRØVNING

Der er blevet foretaget en trykprøvning af huset i henhold til europæisk norm EN13829:2003. Trykprøvningen giver som resultat en middelværdi af luftskiftet ved en trykforskel på 50 Pa. På basis af dette reference luftskifte, kan det gennemsnitlige årlige luftskifte ved infiltration beregnes ud fra europæisk norm prEN ISO 13790.

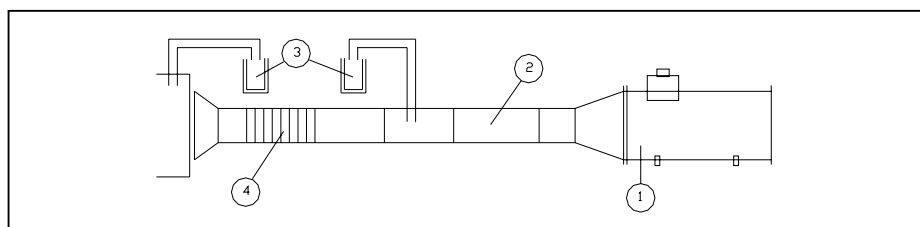
Fakta om udførte målinger

Måle objekt	Enfamilieshus (nyopført og ubeboet)
Opførelsesår	2003
Beliggenhed	Ballevej 7A, 7790 Thyholm
Bruttoetageareal	88 m ² (boligareal A _F = 72 m ²)
Rumhøjde	2,33 m
Opvarmet (effektivt) volumen	V = 168 m ³
Areal af klimaskærm	A _E = 228 m ²
Målebeskrivelse	Bestemmelse af lufttæthed
Målemetode	Fan pressurization method
Reference til standard	EN13829:2003
Forsøgsdato	28-11-2003
Indetemperatur	20 °C
Udetemperatur	3 °C
Vindstyrke	Beaufort scale: 0 (vindstille)

Måleudstyr og –procedure

Metodens overordnede princip er at måle hvilken luftmængde der skal fjernes/tilføres huset for at opnå en bestemt trykforskel over klimaskærmen. Vinduer og yderdøre holdes lukket. Udsugnings- og indblæsningsventiler samt emhætte blev forseglet med plastfolie/tape. Alle indvendige døre blev holdt åbne under prøvningen, så den påtrykte trykforskel kunne forplante sig til hele huset.

Trykforskellen over klimaskærmen blev etableret vha. en ventilator forbundet til klimaskærmen via plade med studs monteret i stuevindue. I nedenstående figur 1 er måleopstillingen skitseret:



Figur 1. Måleopstilling: 1. Ventilator med variabel hastighed (Veab Lackagematare type 600). 2. Pitot-rør (målerør), diameter 100 mm. 3. Mikromanometre til måling af trykforskel mellem ude og inde samt luftmængde. 4. En flexslange til at forbinde målerør/ventilator med plade i vindue.

Samlinger mellem udstyret og klimaskærmen/vinduet blev naturligvis tætnet, så potentielle utætheder herfra ikke skulle influere på resultaterne. Den udvendige trykslange var placeret i perforeret boks og derved beskyttet mod direkte vindpåvirkninger. Derefter kunne trykforskellen uden tændt ventilator bestemmes, dvs. den naturlige trykforskel, idet der er krav til at denne ”nul-flow trykforskel” ikke må overstige 5 Pa. Kravet var opfyldt og efterfølgende blev foretaget to måleserier med hhv. over- og undertryk med passende datapunkter mellem 10 Pa og 80 Pa.

Med maksimal trykforskel påført huset, blev husets samlinger mm. undersøgt for utætheder, idet potentielle luftstrømme blev forsøgt visualiseret med specielt røgudviklingsudstyr. Ydervægge og vinduer/døre samt samlinger mellem bygningsdele blev undersøgt, det samme blev loftlem og stikkontakter. Halogenspots er erfaringsmæssigt et kritisk punkt i enfamilieshuse, men der var ingen i det aktuelle hus, idet de eftermonteres hvis køberen ønsker det. Termografering blev også anvendt til at spore potentielle utætheder, og desuden til generelt at påvise kuldebroer. Indvendig termografering er specielt velegnet når der påtrykkes undertryk, idet der derved vil være en kold luftstrøm ind i huset gennem utæthederne. I bilag 3 er vist billeder af termograferingen.

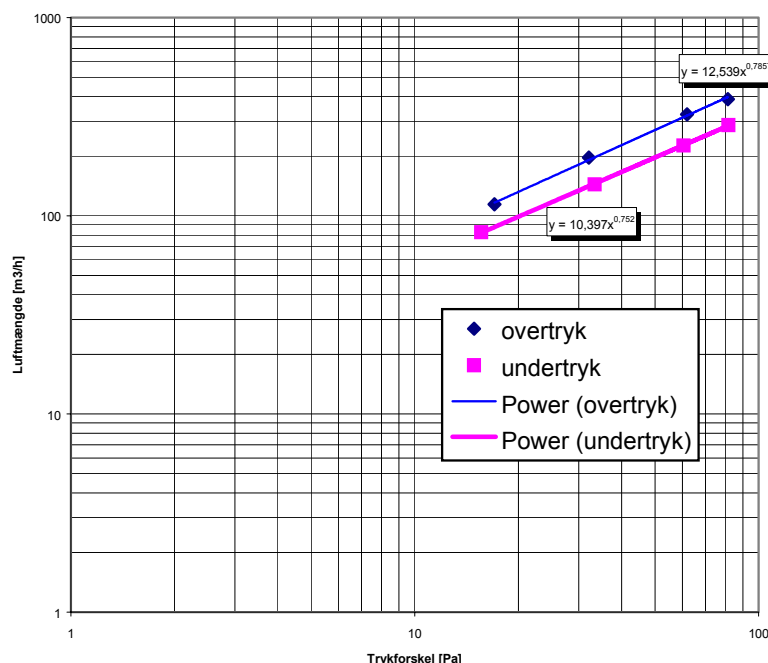
Databehandling

I nedenstående tabel 1 præsenteres måledata. De målte luftmængder er blevet korrigeret for luftdensitet, og der konverteres til standardforhold (20 °C og $1,013 \cdot 10^5$ Pa). Formålet er at bestemme lufttæthedsgrafen for over- og undertryk og en middelværdi for luftskiftet ved referencetrykforskellen 50 Pa.

Tabel 1. Påførte trykforskel og samhørende luftmængder - med forseglet ventilationskanaler og emhætte.

Overtryk		Undertryk	
ΔP [Pa]	Luftmængde [m ³ /h]	ΔP [Pa]	Luftmængde [m ³ /h]
17,1	114	15,6	83
32,1	197	33,3	144
61,9	325	60,5	226
81,3	388	81,7	287

Ud fra disse data kan lufttæthedsgrafen for overtryk og undertryk plottes (se figur 2).



Figur 2. Lufttæthedsgraf for overtryk og undertryk.

Sammenhængen mellem luftmængde og trykforskel kan udtrykkes ved følgende formel

$$V_L = C_L \cdot (\Delta p)^n$$

Hvor

V_L [m³/h] er volumenstrømmen gennem utæthederne i klimaskærmen

Δp [Pa] er trykdifferencen over klimaskærmen

n [-] er en strømningsekspONENT

C_L [m³/(h·Paⁿ)] er en strømningskoefficient

C_L og n bestemmes ved mindste kvadraters metode – se tabel 2.

Tabel 2. Beregnede strømningskoefficienter/-eksponenter og luftmængde ved 50 Pa.

Koefficient	Overtryk	Undertryk
C_{env} [m³/(h·Pa ⁿ)]	12,539	10,397
n [-]	0,7857	0,752
C_L [m³/(h·Pa ⁿ)]	12,539	10,552
V_{50} [m³/h]	271	200

Resultater

Husets lufttæthed kan udtrykkes på forskellig måde. Nedenfor er luftmængden ved 50 Pa opgjort ift. indvendigt nettovolumen, klimaskærmens nettoareal og bruttoetagearealet.

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V}; q_{50} = \frac{V_{50}}{A_E}; w_{50} = \frac{V_{50}}{A_F}$$

Luftmængde	$V_{50} =$	236	m^3/h	Middelværdi
Luftskifte	$n_{50} =$	1,61	h^{-1}	Overtryk
	$n_{50} =$	1,19	h^{-1}	Undertryk
	$n_{50} =$	1,40	h^{-1}	Middelværdi
	$n_{50} =$	1,03	m/h	
Permabilitet	$q_{50} =$	1,03	m/h	
Specifik tæthed	$w_{50} =$	3,27	m/h	

I henhold til norm prEN ISO 13790 kan tillægsluftstrømmen (V_x) der skyldes infiltration/eksfiltration gennem utætheder i klimaskærmen beregnes som:

$$\dot{V}_x = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left| \frac{V_{\text{sup}} - V_{\text{ex}}}{V \cdot n_{50}} \right|^2}$$

hvor

V = det indvendig luftvolumen

V_{sup} = indblæsningsluftmængden

V_{ex} = udsugningsluftmængden

n_{50} = luftskiftet ved trykforskel på 50 Pa (se ovenfor)

Og e og f er koefficienter der udtrykker hvor godt huset er beskyttet mod vindpåvirkninger.

Idet V_{sup} og V_{ex} antages lige store, hvorved f udgår, og huset regnes for at være moderat beskyttet ($e = 0,07$), fås $V_x = 16,5 \text{ m}^3/\text{h}$ svarende til et luftskifte på ca. $0,10 \text{ h}^{-1}$. Det årlige gennemsnitlige luftskifte via utætheder i klimaskærmen er altså tilfældigvis lige så stort som det der er forudsat i beregningerne af opvarmningsbehov.

Konklusion

Overordnet kan konkluderes, at huset har en god tæthed. Baseret på målingerne er beregnet et luftskifte på ca. $1,4 \text{ h}^{-1}$ ved referencetrykforskellen 50 Pa. Omregnes til gennemsnitligt årligt luftskifte fås $0,10 \text{ h}^{-1}$.

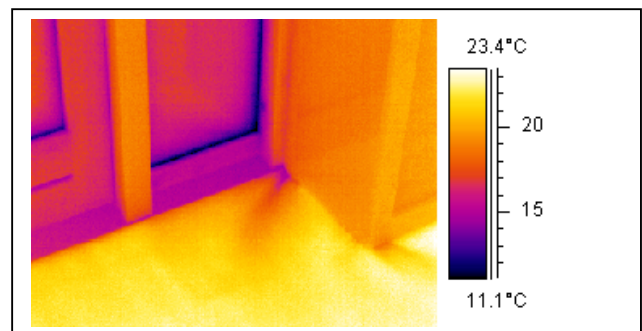
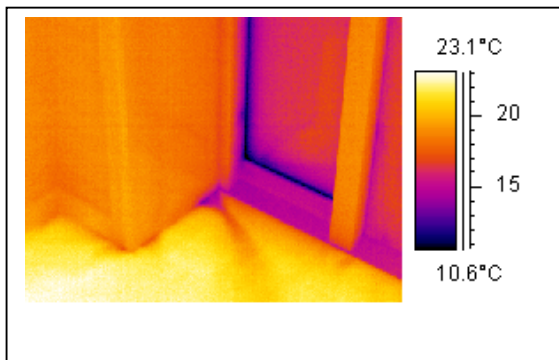
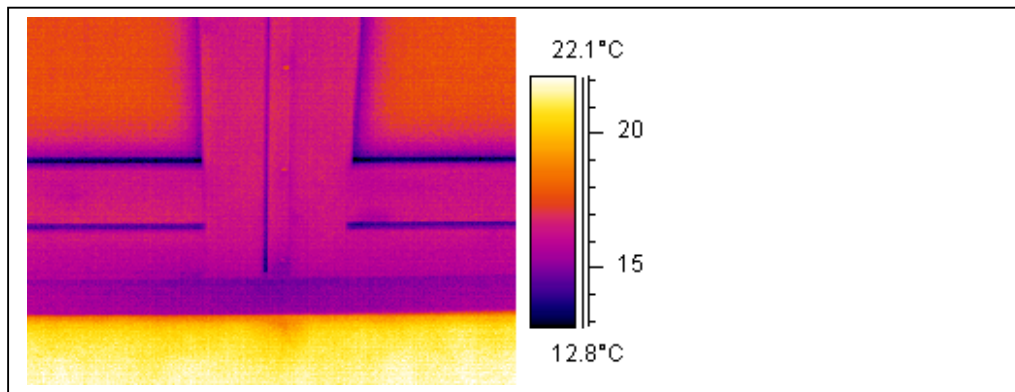
Husets forholdsvis gode tæthed er ikke overraskende, da der har været særlig fokus på at gøre klimaskærmen tæt. Af tiltag af betydning kan nævnes dampspærre i vindueslysninger mellem karm og bagmur, rem er aflagt på butyl tætningsbånd, dampspærre i loftet er placeret beskyttet en lægtetykkelse inden i konstruktionen og at denne er udført tæt i samlinger og ved ydervæg.

Termograferingen påviste utætheder ved loftlem og hjørner ved vinduesparti til gulv i stue. En bedre tætningsliste og en isolering af loftlem kan anbefales, sidstnævnte f.eks. i form af isoleringsmåtte til placering over loftlem.

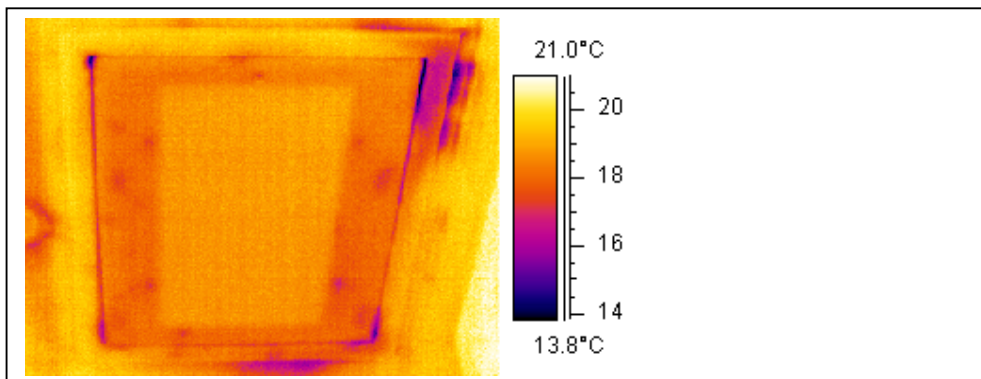
Kanal gennemføringer er erfaringsmæssigt et kritisk punkt. Derfor har der på byggeriet været specificeret EPDM rørkraver, som dog ikke er blevet monteret, da de ikke kunne skaffes. Den anvendte tætningsløsning har været at skære et 20 mm mindre hul i dampspærren, som herefter er krænget omkring kanalen. De lokale håndværkere bedyrer at de har lavet en tæt løsning.

BILAG 3. UDVALGTE BILLEDER FRA TERMOGRAFERING.

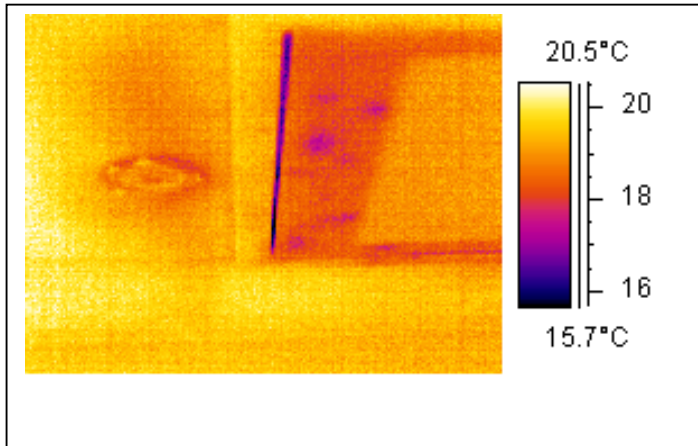
I dette bilag er vist diverse termograferingsbilleder fra den i bilag 2 omtalt trykprøvning.



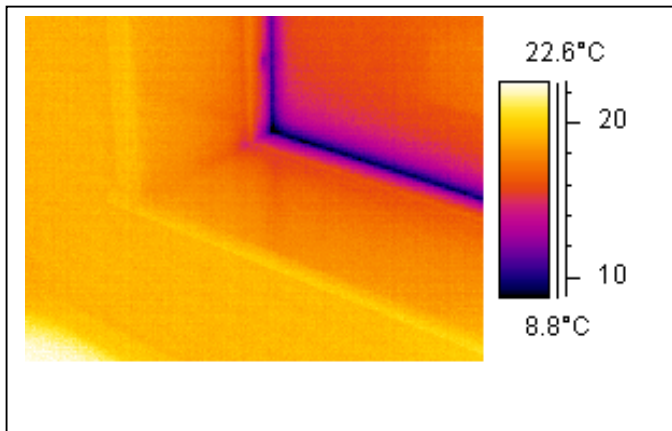
Figur 1. Vinduesparti i stue. De to nederste billeder viser at der er små utætheder hvor ydervæggen grænser op til vindue ved gulvniveau.



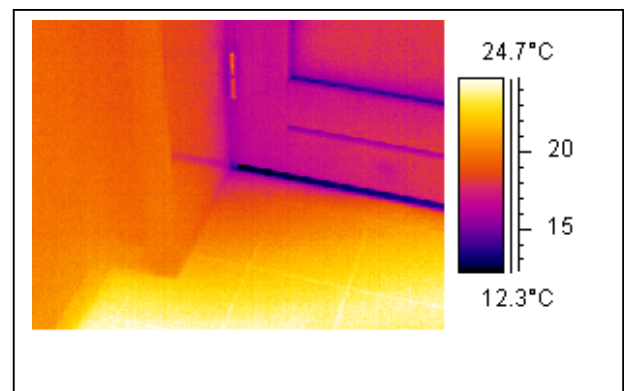
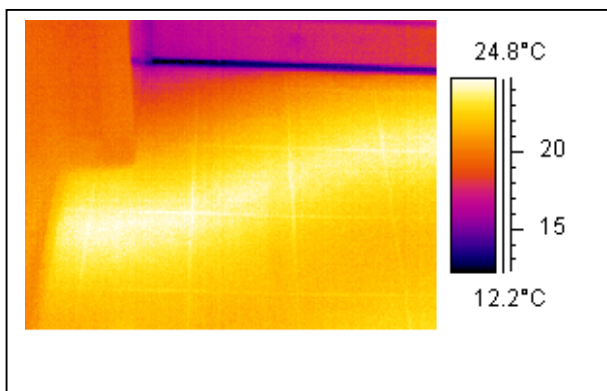
Figur 2. Uisoleret loftlem. Billedet viser små og store utætheder. Aftegning af stigen ses midt i billedet.



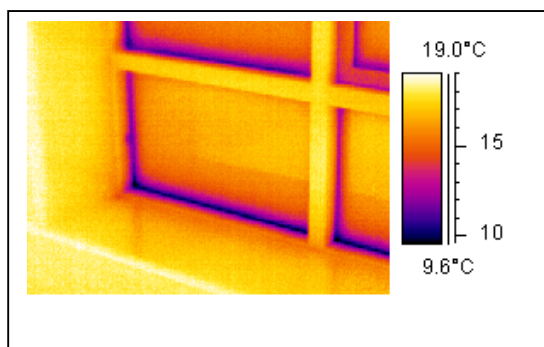
Figur 3. Venstre side af loftlem og udsugningsventil i bryggers.



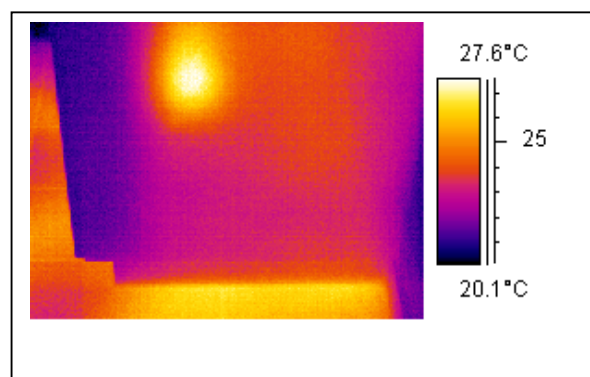
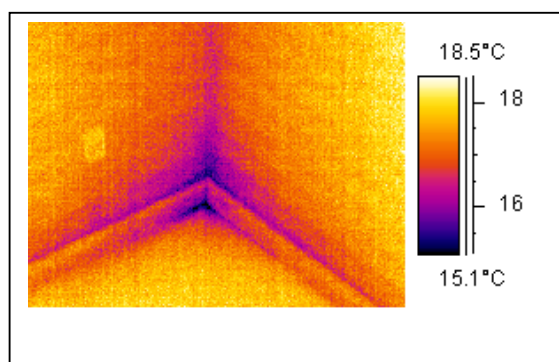
Figur 4. Side og bundfals i Baderum.



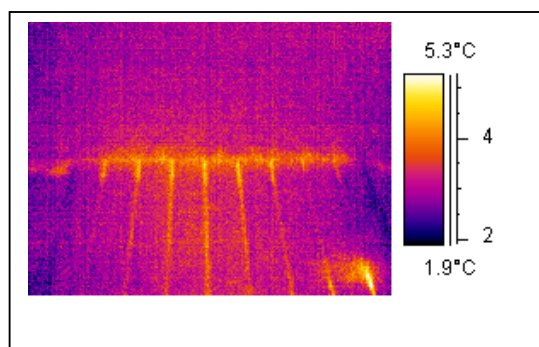
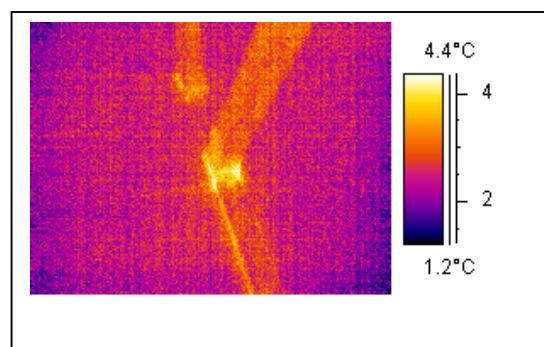
Figur 5. Hoveddør. Gulvvameslange ses tydeligt.



Figur 6. Vindue og ydervægshjørne.



Figur 7. Teknikskab. (Fra siden)



Figur 8. Loftrum. Til venstre spærgefag og til højre gangbro ved lejlighedsskel.