

BYG · DTU

DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET



Henrik Tommerup

Målinger af energiforbrug i højisoleret fuldmuret tofamiliehus

Sagsrapport
BYG · DTU SR-xx-xx
2005
ISSN 1601 - 8605

INDHOLD

INDHOLD	1
FORORD	2
KONKLUSION	3
1 GENNEMGANG AF MÅLERESULTATER	4
1.1 UDETEMPERATUR	4
1.2 SOLINDFALD	5
1.3 INDETEMPERATUR	7
1.4 LUFTMÆNGDER I VENTILATIONSANLÆG	8
1.5 EFFEKTIVITET AF VENTILATIONSANLÆG	9
1.6 INFILTRATION	10
1.7 ENERGIFORBRUG	10
1.8 VARMEANLÆG – STYRING OG TEMPERATURFORHOLD	12
1.9 INTERNT VARMETILSKUD.....	15
1.10 SAMMENFATNING AF MÅLERESULTATER	16
2 SAMMENLIGNING BEREGNINGER/MÅLINGER	17
2.1 MÅLINGER SAMMENLIGNET MED SIMPLIFICEREDE BEREGNINGER.....	17
3 REFERENCER	19
BILAG 1: FACADER, GRUNDPLAN OG TVÆRSNIT	20

FORORD

Denne rapport beskriver detaljerede målinger af energiforbrug mm. i et højisoleret fuldmuret enfamilieshus opført i Sønderbjerg på Thyholm. Huset er et dobbelthus med et bruttoetageareal på 176 m² og to identiske boliger á 88 m². Rapporten beskriver måleresultater fra perioden maj 2004 til april 2005. Målingerne sammenlignes med beregninger.

Der er tidligere rapporteret målinger fra perioden januar 2004 til april 2004 (BYG•DTU rapport R-104).

Målinger, databehandling og rapportering af nærværende målinger er muliggjort på basis af økonomisk støtte fra Kalk- og Teglværksforeningen, Rockwool International og Danfoss.

KONKLUSION

På baggrund af databehandling og analyser, kan der overordnet konkluderes at målingerne på husets to boliger, der overvejende har været ubeboet, ikke har vist nogle væsentlige uoverensstemmelser i forhold til det forventede. Forskellen mellem beregninger og målinger er lille, når alle usikkerheder omkring materialedata etc. tages i betragtning.

Beregninger af husets opvarmningsbehov i en længerevarende periode i fyringssæsonen med normale ude- og indetemperaturer, svarende til 15. november 2004 til 9. april 2005 (146 dage), viser et forbrug på hhv. 3453 kWh i bolig A og 3523 kWh i bolig B. Det målte opvarmningsbehov for denne periode er hhv. 3359 kWh og 3469 kWh. Der er altså tale om en afvigelse på få procent.

Ser man på hele måleperioden 1. maj 2004 til 9. april 2005 (344 døgn) har energiforbruget til rumopvarmning været hhv. 3741 og 3971 kWh svarende til hhv. 42 og 45 kWh/m². På baggrund af målingerne (uden permanente beboere i huset), må det forventes at energiforbruget til rumopvarmning med beboere vil ligge på omkring 50 % af forbruget i typiske nye huse (78 kWh/m²) eller ca. 25 % mindre end huse der opføres efter de nye skærpede energibestemmelser der træder i kraft i januar 2006.

Der er i måleperioden foretaget en række tilpasninger af varme- og ventilationsanlæggene og afprøvninger af forskellige styringsstrategier. Ventilationsanlæggenes by-pass-temperatur er sat ned fra 18 til 14 °C for at søge at mindske antallet af overtemperaturer. Desuden er blandeventilen i gulvvarmeanlægget blevet udskiftet til en hurtigere virkende ventil, hvilket har reduceret pendlinger på fremløbstemperaturen. Derudover er styrekurven for vejrkompenseringen blevet sat ned så minimum fremløbstemperatur nu er 24 °C frem for 28 °C. Samtidig er termostatstyringen i baderum blevet fjernet, så der er en konstant vandføring i blandesløjfen.

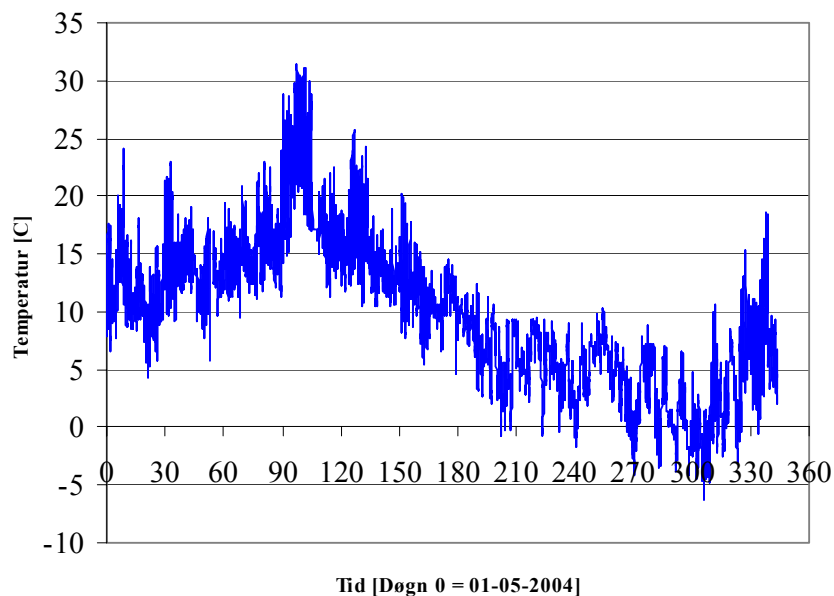
1 GENNEMGANG AF MÅLERESULTATER

Der er foretaget målinger af energiforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand, inde- og udetemperaturer, temperaturer i ventilationsanlæg og solindfald. Da begge boliger overvejende har været ubeboet, rapporteres der ikke målinger af forbrug af varmt brugsvand.

Der er behandlet måledata for i alt 344 døgn. Måleperioden er påbegyndt d. 1. maj 2004 og afsluttet d. 9. april 2005. Der er altså tale om ca. 12 måneders data, der inkluderer omtrent hele fyringssæsonen 2004/2005. Der er også angivet måleresultater for perioden 15/11-2004 til 9/4-2005 (146 døgn), idet varme- og ventilationsanlæg i denne periode har været indstillet korrekt, hvilket ikke helt har været tilfældet i den første del af perioden. Perioden benyttes i øvrigt til beregningsmæssig eftervisning af det målte energiforbrug til rumopvarmning.

1.1 Udetemperatur

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



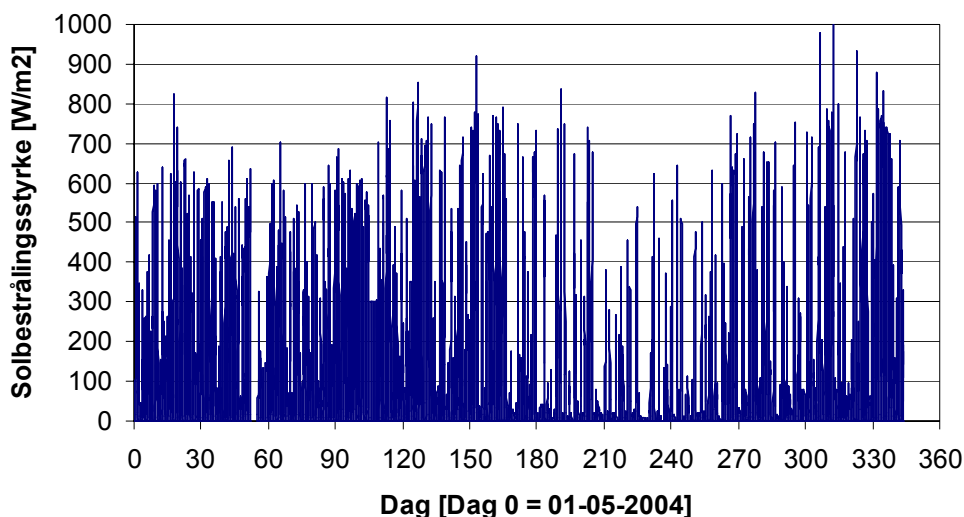
Figur 1. Udetemperatur.

Det ses at der naturligvis har været dage med meget varmt vejr, såvel som dage med frost, idet der er tale om omtrent et helt års målinger. Temperaturen varierer fra -7 °C til +31 °C. Den gennemsnitlige temperatur for måleperioden er 9,5 °C, mens den er 3,9 °C for ”fyringssæsonen”, svarende til d. 15/11-2004 til d. 9/4-2005.

1.2 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 Figur 2 er vist målte solbetrålingsstyrker på huset sydvendte facade. Det ses, at solpåvirkningen i vintermåneder december, januar og februar (ca. dag 210 til 300), som forventet, har været relativt begrænset, mens solindfaldet i sommerperioden er markant større.



Figur 2. Solbetrålingsstyrke på den sydvendte facade.

For at fastlægge det samlede solindfald i måleperioden, 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) og 0,8 for vest (10° højdevinkel til omgivende terræn/bebyggelse). Højdevinklen til terræn/bebyggelse er for den østlige facade omkring 20° , men der er kun angivet en værdi ved en højdevinkel på 30° , svarende til 0,5. Der regnes derfor med en skyggefaktor på 0,65 for den østlige facade. 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:

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

$$g_{\text{korrigeret}} = 0,63 \cdot 0,90 \cdot 0,65 = 0,37 \quad \text{for facade mod øst}$$

Glasarealerne for de fire facader kan opgøres til følgende:

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

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

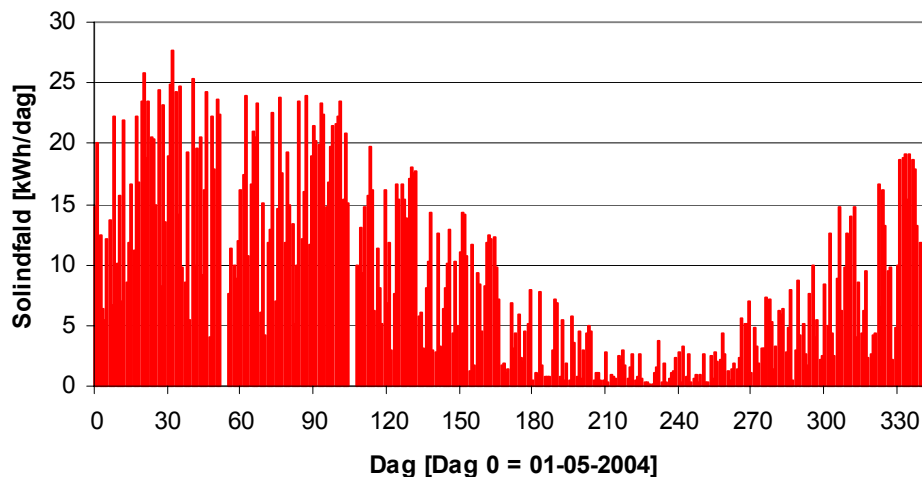
$$A_{\text{vest}} = 7,77 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{øst}} = 6,51 \text{ m}^2$$

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 3147 kWh for hele perioden og 717 kWh for perioden d. 15/11-2004 til d. 9/4-2005. I Figur 3 er vist solindfaldet for de enkelte dage i måleperioden. Solindfald på nul omkring dag 50 og 110 skyldes dataudfald.



Figur 3. Daglige solindfald i hver af de to boliger.

1.3 Indetemperatur

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

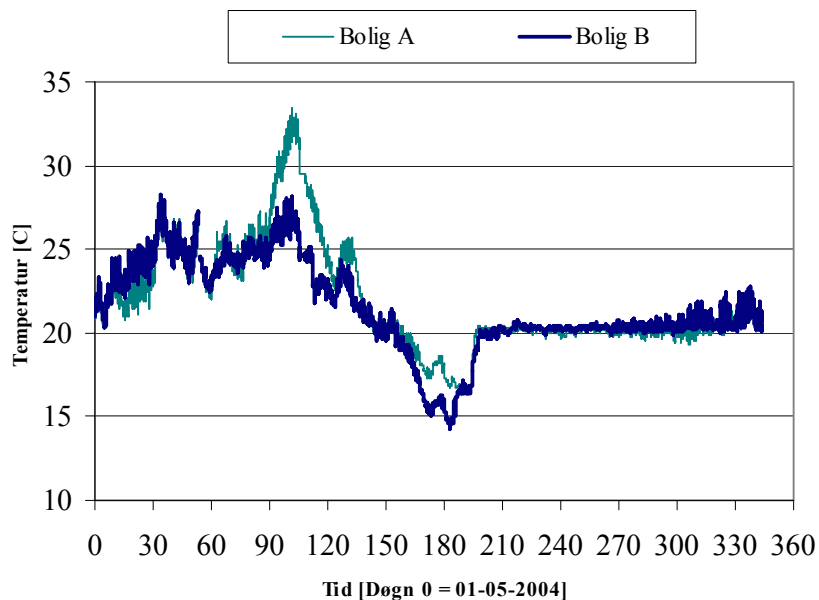
Middelværdierne af indetemperaturen for hvert enkelt rum er opstillet i Tabel 1.

Tabel 1. Middeltemperatur og areal for hvert rum.

Rum	Middeltemperatur		Areal af rum [m ²]
	Bolig A [°C]	Bolig B [°C]	
Stue	22,0	21,4	26,3
Soveværelse	21,8	21,5	11,7
Køkken	22,0	21,7	10,9
Bad	21,9	21,4	6,0
Entre	22,0	21,9	8,0
Værelse	21,8	22,2	9,2
Middel/total	21,9	21,5	72,1

Ved at gange areal og middeltemperatur for hvert enkelt rum, summere disse resultater og dividere med summen af de indgående arealer bestemmes husets middeltemperatur. Resultatet af denne beregning er 21,9 °C for bolig A og 21,5 °C for bolig B. For perioden 15/11-2004 til 9/4-2005 er de tilsvarende temperaturer 20,3 og 20,5 °C

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



Figur 4. Middelt indetemperaturens variation i måleperioden.

Det ses at indetemperaturen i sommerperioden har været maksimalt 26-27 °C i størstedelen af tiden – vel og mærke uden åbning af vinduer og døre. Husets relativt tunge konstruktioner har naturligvis haft en positiv effekt på begrænsningen af overtemperaturer. Det ses, at indetemperaturen i bolig A har været betydeligt højere end i bolig B i slutningen af sommerperioden, hvor der forekom høje udetemperaturer. Dette skyldes primært forskel i ventilationsanlæggenes driftstilstand. Anlægget i Bolig A har kørt i en tilstand med konstant varmegenvinding, mens anlægget i bolig B har kørt med by-pass, dvs. indblæsning af utempereret udeluft ved udetemperaturer over 18 °C (setpunkt for føler i luftindtag der styrer by-pass sjæld). Temperaturmålingerne i ventilationsaggregatet viser tydeligt at indblæsningstemperaturen har været betydeligt højere i bolig A. Ventilationsanlæggene har i sommerperioden i øvrigt kørt på ventilator trin 1 i begge boliger. Fra og med dag 193 svarende til d. 10/11-2004 har anlæggene igen kørt på det ønskede trin 2.

Fra omkring dag 150 falder temperaturen til under 20 °C. Dette skyldes at rumtermostaterne er blevet nedjusteret, mere i 7B end i 7A, hvilket målingerne også indikerer. Alle termostater er d. 10/11-2004 (dag 193) blevet justeret op på 20 °C. Herefter har indetemperaturen fra og med d. 15/11-2004 ligget konstant omkring 20 °C, dog med stigende tendens i slutningen af perioden, hvilket naturligvis skyldes solens påvirkning.

1.4 Luftmængder i ventilationsanlæg

Der er i begge bolig 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.

1.5 Effektivitet af ventilationsanlæg

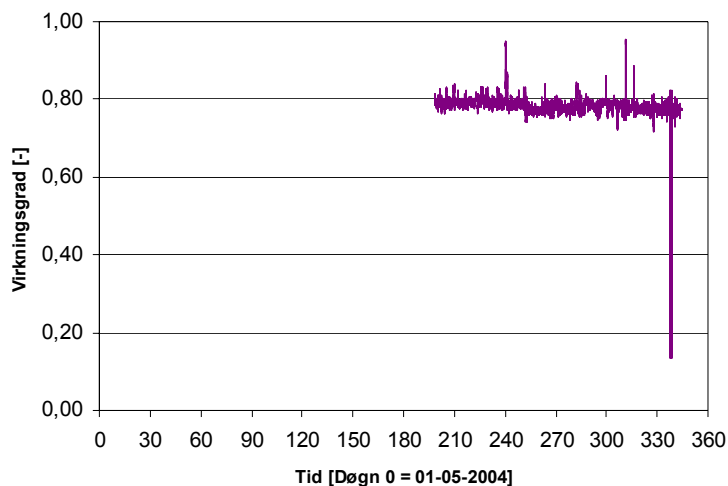
Effektiviteten af de mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding, svarende til temperaturvirkningsgraden, kan bestemmes ud fra tre temperaturmålinger, svarende til temperaturen af den luft som hentes udefra, den luft som hentes indefra og den luft som blæses ind. Temperaturvirkningsgraden er defineret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

I perioden fra d. 15/11-2004 – 9/4-2005, er der målt følgende temperaturer:

		Bolig A	Bolig B
$T_{\text{friskluft}}$	=	3,8 °C	3,9 °C
$T_{\text{udsugning}}$	=	-	20,2 °C
$T_{\text{indblæsning}}$	=	-	16,7 °C

Der har været store problemer med temperaturfølerne i den indadgående luftstrøm på rumsiden (udsugningsluften) og den udadgående luftstrøm på rumsiden (indblæsningsluften), og der foreligger derfor ikke tilstrækkelige brugbare målinger. Da tidligere målinger har vist god overensstemmelse mellem målingerne i de to huse, forudsættes der samme virkningsgrad for bolig A som for bolig B.

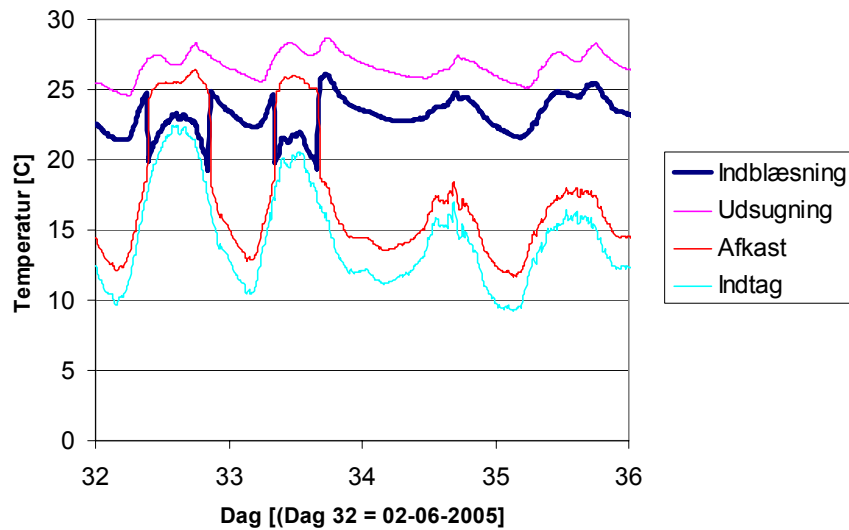
Temperaturvirkningsgradens variation er vist i Figur 5. Virkningsgraden er for aggregatet, idet der set bort fra varmetabet i kanalsystemet. Udsugnings- og indblæsningstemperaturen er målt umiddelbart efter ventilationsaggregatet, men tabet antages at være minimalt pga. kanalsystemet placering i undersiden af loftkonstruktionen (250 mm isolering over kanaler). Den gennemsnitlige temperaturvirkningsgrad i måleperioden har været 78 %.



Figur 5. Målt temperaturvirkningsgrad i bolig B.

Det pludselige fald i virkningsgrad sidst i perioden skyldes anlæggets bypass-funktion. Effekten af bypasset fremgår af nedenstående Figur 6. Det ses, at når ude-/indtagstemperaturen overstiger bypassets setpunkttemperatur på 18 °C (forekommer de to første dage), føres indtagsluften uden om varmeveksleren, således at indblæsningstemperaturen omtrent svarer til udetemperaturen. Det vil være relevant med et lavere setpunktet, især når der kommer beboe-

re i husene, idet gratisvarmen fra solindfald, personer og elapparatur alt andet lige vil kunne opvarme huset ved lavere udetemperaturer.



Figur 6. Temperaturer i ventilationsanlæg i periode med udetemperaturer både over og under setpunkt for bypass spjæld (setpunkt 18 °C).

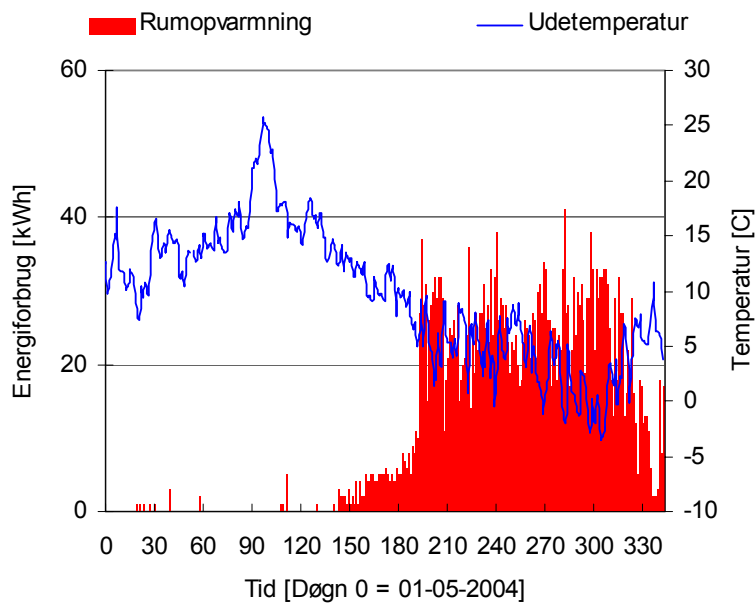
1.6 Infiltration

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. Der er redegjort i detaljer for den udførte trykprøvning i tidligere nævnte BYG•DTU rapport R-104.

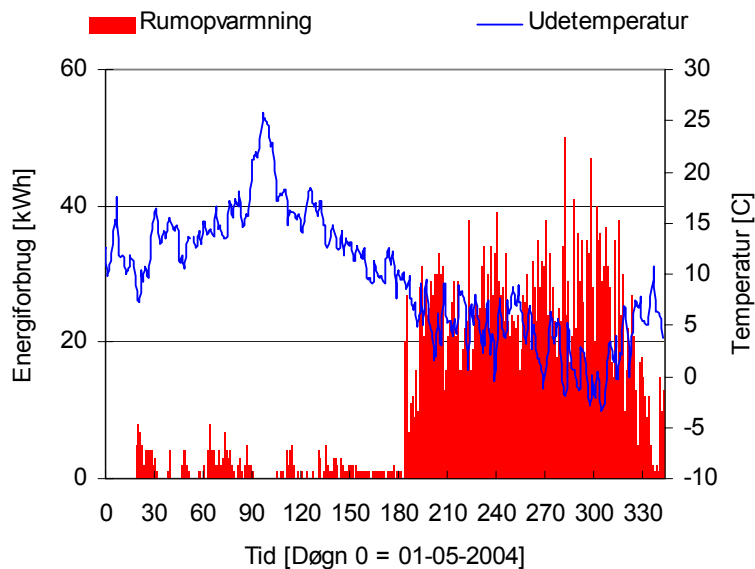
1.7 Energiforbrug

Huset forsynes med fjernvarme fra det lokale fjernvarmeværk. Rumopvarmningen foregår via et gulvvarmeanlæg. Bolig A har i hele måleperioden været ubeboet, mens bolig B har været beboet fra 1/7-2004 til 1/10-2005 (ca. dag 60 - 150).

Energiforbruget til rumopvarmning for de enkelte dage i måleperioden og for hver af de to boliger, er vist i hhv. Figur 7 og Figur 8. Udetemperaturen er også vist (døgnmiddelværdi), idet den sammen med solindfaldet er afgørende for opvarmningsbehovet. Det ses at forbruget til rumopvarmning i vinterperioden er stort set ens, hvilket dog ikke er overraskende da de to huse har været udsat for stort set de samme inde- og udeklimatiske påvirkninger. Det ses endvidere at der i overgangperioden mellem sommer og fyringssæson har været et større forbrug i bolig A end i bolig B, hvilket sandsynligvis skyldes at de midlertidige beboere i bolig B (beboet frem til ca. dag 150), har nedsat termostaternes setpunkt ved fraflytning.



Figur 7. Energiforbrug til rumopvarmning i bolig A.



Figur 8. Energiforbrug til rumopvarmning i bolig B.

I måleperioden har energiforbruget i gulvvarmeanlægget været 3741 kWh i bolig A og 3971 kWh i bolig B. Der har været problemer med datahjemtagningen i de første 18 dage af måleperioden, så de anførte energiforbrug er ekskl. eventuelle energiforbrug for disse dage. Energiforbruget i perioden d. 15/11-2004 – 9/4-2005 har været 3359 kWh i bolig A og 3469 kWh i bolig B.

1.8 Varmeanlæg – styring og temperaturforhold

Temperaturen i gulvvarmeslangerne er afgørende for varmetabet gennem terrændæk og fundament. Derfor er der i huset installeret en særlig regulator, Danfoss ECL 200 vejrkompensator, der i kombination med en motorventil på blandesløjfen regulerer fremløbstemperaturen afhængigt af udetemperaturen. Dette foregår ved at ventilen tilpasser tilførslen af fjernvarmevand til returvandet fra gulvvarmekredsen, således at den ønskede fremløbstemperatur opnås. Da der er tale om direkte fjernvarme uden varmeveksler er det vigtigt at blandereguleringen er hurtigtvirkende, så det sikres at der ikke cirkuleres meget varmt vand ud i gulvvarmeslangerne. Varmeinstallationen er vist i Figur 9.



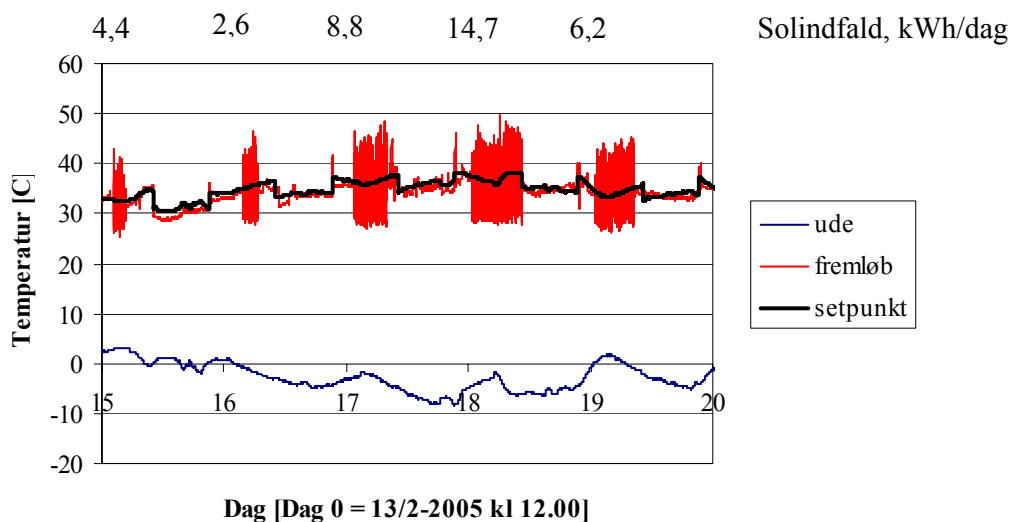
Figur 9. Billede af varmeinstallationen, der viser blandesløjfe, blandeventil (øverst til højre), pumpe og energimålerens flowmålerdel og temperaturfølere.

Der er i foråret 2004 konstateret problemer med kraftige pendlinger på fremløbstemperaturen og problemer med at ”ramme” den rigtige fremløbstemperatur. Dette problem er minimeret betydeligt efter udskiftning til en nyudviklet hurtigere virkende ventil, der fandt sted medio november 2004.

Der er hjemtaget målinger af fremløbstemperaturen, setpunktet for fremløbstemperaturen og udetemperaturen, som vejrkompensatoren styrer efter. Vejrkompensatorens styrekurve (sammenhæng mellem ønsket fremløbstemperatur som funktion af udetemperaturen) er valgt svarende til en fremløbstemperatur på 38 °C ved udetemperatur på -12 °C og en minimumsfremløbstemperatur på 28 °C af hensyn til overfladetemperaturen i baderum. I måleperioden har der været afprøvet en form for ”natsenkning”, således at styrekurven parallelforskydes 3 °C nedad hver aften kl. 22 og indtil kl. 9 om morgenen hvor den forskydes tilsvarende opad. Ideen med ”natsenkningen” er at tage højde for udetemperaturfaldet om natten, som vil forøge fremløbstemperaturen og dermed varmelagringen i betonpladen. Således vil der alt andet lige være mindre varme oplagret i betonen når en ny dag med solindfald og øvrige gratisvarmetilskud begynder.

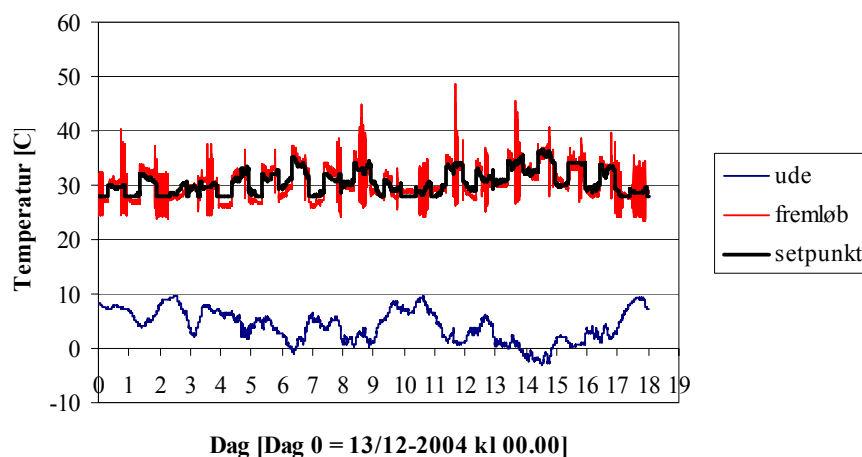
I Figur 10 nedenfor er fremløbstemperaturen vist for en kold periode i slutningen af februar og starten af marts 2005 med dagtemperaturer omkring eller under frysepunktet. Der er ovenover figuren vist solindfaldet for de pågældende dage.

For det første ses det tydeligt at ”natsenkningen” aktiveres sidst på aftenen og deaktiveres først på morgenen. Det ses desuden at setpunktet holdes fint det meste af dagen på dage med lille solindfald (de to første dage), men at fremløbstemperaturen pendler en del på dage med stort solindfald. Solindfaldet er altså meget afgørende for stabiliteten af fremløbstemperaturen. Dette skyldes naturligvis at der er tale om et lavenergihus med et meget begrænset varmebehov, der kun er ca. 1,5 kW (for én bolig) når udetemperaturen er 0 °C, således at varmetilskuddet fra solen blot skal være moderat for at dække varmebehovet. For eksempel svarer solindfaldet 14,7 kWh d. 3/3 til en gennemsnitlig varmeeffekt på 1,2 kW, når det forudsættes at solindfaldet forekommer i 12 timer. Der vil således en stor del af dagen generelt være et meget lille behov for tilført varme via varmeanlægget. Enkelte rum vil dog om dagen kalde kortvarigt på varme, som vil aktivere pumpen og sende et skud varmt vand ud i kredsen, men ikke med den rette temperatur, da det stadigvæk tager blandekredsen et stykke tid at finde denne temperatur. Fremløbstemperaturer under setpunktet vil optræde i perioder når ingen rum kalder på varme, dvs ingen cirkulation forbi fremløbsføleren, og ”fremløbstemperaturen” vil da få en tilstandstemperatur eller evt. ”skabstemperatur”.



Figur 10. Fremløbstemperatur i Bolig A i kold vinterperiode med forskellige solindfald.

I Figur 11 er vist fremløbstemperaturen i en typisk dansk vinterperiode med udetemperaturer på mellem 0 og 10 °C og lille solindfald. Det ses at fremløbstemperaturen ligger relativt tæt på setpunktet det meste af tiden.



Figur 11. Fremløbstemperatur i bolig A i typisk vinterperiode med solindfald fra 0-4 kWh/dag.

Der er behov for at vurdere den gennemsnitlige temperatur i gulvvarmeslangerne. Dette er dog problematisk, hvis der ikke har været en konstant vandføring i mindst en af gulvvarmeslangerne, idet der på grund af huset lave varmebehov, vil være store perioder i fyringssæsonen, hvor der ikke er et varmebehov (særligt om dagen), og således ingen cirkulation af vand. Målte frem- og returløbstemperaturer vil således i perioder være et udtryk for ”skabstemperaturen” eller temperaturen af det stillestående vand ud for føleren, der er placeret udenpå røret.

Den gennemsnitlige fremløbstemperatur i perioden 15/11-2004 til 9/4-2005 er på baggrund af målingerne beregnet til 30,4 °C i bolig A. Returløbstemperaturen måles ikke direkte og kan ikke beregnes ud fra flow/energi-målingen, som er placeret før og efter blandesløjfen, dvs. energimålerens fremløbsføler er placeret i fremløbet af fjernvarmevand og returføler samt flowmåler er placeret i returløbet fra gulvvarmekredsen til varmekæde. Derimod kan man ud fra energimålingen beregne afkølingen af det fjernvarmevand der opblandes med returvand fra gulvvarmekredsen og returneres til varmekæden. Denne afkøling har i måleperioden gennemsnitligt været ca. 37 °C i bolig A og ca. 30 °C i bolig B. Manuelle aflæsninger af fremløbstemperaturen fra varmekæden viser at den i måleperioden må forventes at have ligget på i gennemsnit ca. 60-65 °C, hvilket svarer til en returløbstemperatur på ca. 25 °C.

Hvis der på den sikre side tages udgangspunkt i den målte gennemsnitlige fremløbstemperatur og en typisk lille afkøling på 4 °C fås en gennemsnitlige temperatur i og omkring gulvvarmeslangerne på ca. 28,5 °C i bolig A. I bolig B mangler der målinger af fremløbstemperaturen, men den mindre målte afkøling på fjernvarmevandet indikerer dog at temperaturen i slangerne har været højere end i bolig A, men samtidig viser manuelle målinger at fremløbstemperaturen på fjernvarmevandet har været mindre. På grund af manglende målinger fra bolig B, antages samme temperaturforhold som i bolig A.

Medio maj 2005 er der ændret på varmestyringen, idet termostat-/ventilstyringen af varmetilførslen til badeværelset er fjernet, således at der konstant vil være en vandføring i badeværelseskredsen og dermed en konstant vandføring forbi fremløbsføleren. Fremløbstemperaturen

styres af vejrkompensatoren. Desuden er vejrkompensatorens styrekurve parallelforskudt 4 °C nedad, så minimum fremløbstemperatur er 24 °C og maksimum er 34 °C. Dette vil muligvis give komfortproblemer, særligt i rum med klinkebelægning, hvilket undersøges ved at spørge nuværende og kommende beboere om deres erfaringer. Ændringerne skulle gerne betyde at den kontinuerligt nødvendige varmeeffekt tilføres huset over længere perioder med lav effekt, så overtemperaturer og unødigt energiforbrug undgås.

Det overvejes at tilføje en direkte måling af returløbstemperaturen fra gulvvarmeslangerne.

1.9 Internt varmetilskud

I Tabel 3 er der redegjort for det interne varmetilskud. Der er set bort fra bidrag fra personer og belysning, da huset har været ubeboet. Varmetabet fra varmtvandsbeholder er baseret på målinger af varmtvandsforbruget, idet varmetilskuddet antages at være varmetab fra beholderen. Varmetabet fra den øvrige varmeinstallation kan beregnes for en given periode ud fra forskellen mellem total leveret varme til huset fratrukket forbrug af gulvvarme og varmt brugsvand. Målinger indikerer at dette tab er ca. 30 W, hvilket er en del mindre end man kunne forvente. Årsagen til dette må tilskrives dels energimålerens nøjagtighed (op til +/- 5%) samt placeringen af fjernvarmeværkets måler, idet en vis rørlængde er placeret på den ”forkerte” side af fjernvarmeværkets måler. Det vurderes at varmetabet fra varmeinstallation (ekskl. varmtvandsbeholder) udgør i gennemsnit 125 W i fyringssæsonen, hvilket svarer til en ækvivalent uisolere rørlængde (3/4 tommer rør) på ca. 3 m. Det antages endvidere i henhold til normal praksis at kun 80 % af varmetab fra rør mm placeret i bryggers kan nyttiggøres til rumopvarmning i fyringssæsonen.

Tabel 3. Internt varmetilskud udtrykt som gennemsnitlig effekt [W] i måleperioden 15/11-2004 til 8/4-2005.

Varmetilskud	Bolig A	Bolig B
Belysning og apparatur	0	0
Personer	0	0
Varmtvandsbeholder	25	25
Øvrig varmeinstallation	125	125
Samlet varmetilskud	150	150

De gennemsnitlige effekter svarer til et effektivt varmetilskud på 420 kWh i begge boliger.

1.10 Sammenfatning af måleresultater

Nedenfor er resultater af målingerne sammenfattet.

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

Måleperiode	1/5-2004 – 9/4-2005		15/11-2004 – 9/4-2005	
	Bolig A	Bolig B	Bolig A	Bolig B
Udetemperatur [°C]	9,5	9,5	3,9	3,9
Solindfald [kWh]	3147	3147	717	717
Indetemperatur [°C]	21,9	21,5	20,3	20,5
VGW effektivitet [%]	-	-	78	78
Luftskifte [h ⁻¹]	-	-	0,97	1,00
Infiltration [h ⁻¹]	0,10	0,10	0,10	0,10
Internt varmetilskud [kWh]	-	-	420	420
Energiforbrug, rumopv. [kWh]	3741	3971	3359	3469

2 SAMMENLIGNING BEREGNINGER/MÅLINGER

Måleresultaterne for perioden 15/11-2004 til 9/4-2005 sammenlignes med simplificerede beregninger baseret på husets totale varmetabskoefficient.

Det vurderes at være unødvendigt at foretage sammenligning med detaljerede BSIM beregninger, idet dette tidligere er gjort i forbindelse med målinger rapporteret i BYG-DTU rapport R-104.

2.1 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.

Total varmetabskoefficient for bolig A:

$$H_{total} = 52,26 W / K + 9,78 W / K + 0,34 Wh / m^3 K \cdot (0,87 h^{-1} \cdot 22 \% + 0,10 h^{-1}) \cdot 168 m^3 = 79,9 W / K$$

Total varmetabskoefficient for bolig B:

$$H_{total} = 52,14 W / K + 9,70 W / K + 0,34 Wh / m^3 K \cdot (0,90 h^{-1} \cdot 22 \% + 0,10 h^{-1}) \cdot 168 m^3 = 80,1 W / K$$

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 formlen fås et forventet opvarmningsbehov for huset på:

$$\text{Bolig A: } Q_{opv} = 79,9 \text{ W / K} \cdot (20,3 - 3,9) ^\circ\text{C} \cdot 24 \text{ h} \cdot 146 \text{ dage} \cdot 10^{-3} - 717 - 420 = 3453 \text{ kWh}$$

$$\text{Bolig B: } Q_{opv} = 80,1 \text{ W / K} \cdot (20,5 - 3,9) ^\circ\text{C} \cdot 24 \text{ h} \cdot 146 \text{ dage} \cdot 10^{-3} - 717 - 420 = 3523 \text{ kWh}$$

Det samlede opvarmningsbehov for perioden er målt til hhv. 3359 kWh og 3469 kWh, hvilket således er hhv. 94 kWh og 54 kWh mindre end beregnet med den simple beregningsmetode, og der er således en afvigelse på 2-3 % mellem de simplificerede beregninger og målingerne. Beregningen overvurderer energiforbruget lidt, hvilket er forventeligt af en simpel beregningsmetode.

3 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.

BILAG 1: FACADER, GRUNDPLAN OG TVÆRSNIT

