



Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav Byggesystem skalmurede porebetonelementer 1

Tommerup, Henrik M.

Publication date:
2004

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M. (2004). *Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav: Byggesystem skalmurede porebetonelementer 1*. Danmarks Tekniske Universitet (DTU). BYG Rapport R-097

General rights

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

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

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Henrik Tommerup

Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer 1

DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET



Rapport
BYG · DTU R-097
2004
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-162-5

Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer 1

Henrik Tommerup



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

2004

FORORD

Denne rapport omhandler målinger af bruttoenergiforbrug i et højisoleret enfamilieshus samt analyser af elforbrugets betydning for varmekonsumet. Huset opfylder forventede krav til bruttoenergiforbruget i kommende nye energibestemmelser. Huset er beliggende i Snekkersten og er opbygget af porebetonelementer og skalmuret, og er et blandt flere huse, der indgår i projektet. Målinger på de andre huse beskrives i separate rapporter.

Rapporten er udarbejdet af BYG•DTU i forbindelse med projektet ”Målinger af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til bygningsreglement 2005” (ELFOR - PSO 2003 - Projekt 335-28).

Der er tidligere udarbejdet rapporter der beskriver konstruktioner, varme- og ventilationsanlæg og beregninger af opvarmningsbehov (R-056) samt målinger af opvarmningsbehov (R-060).

Projektet er udført i samarbejde med de lokale elselskaber, der har etableret og hjemtaget elmålinger:

Ole Barslev, Thy-Mors Energi
Robert Lauritsen, Nordvestjysk Elforsyning
Carsten Tonn-Petersen, NESA

Rapportens forfatter er: Henrik Tommerup, forskningsadjunkt, BYG•DTU.

Professor Svend Svendsen, BYG•DTU, har været projektleder.

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, september 2004.

INDHOLDSFORTEGNELSE

| | |
|--|-----------|
| FORORD | 1 |
| SAMMENFATNING | 3 |
| 1 BAGGRUND OG FORMÅL | 5 |
| 1.1 BAGGRUND | 5 |
| 1.2 FORMÅL | 5 |
| 2 MÅLING AF BRUTTOENERGIFORBRUG | 6 |
| 2.1 BESKRIVELSE AF MÅLINGER | 6 |
| 2.2 GENNEMGANG AF MÅLINGER | 7 |
| 2.3 MÅLINGER SAMMENHOLDT MED FORVENTEDE KRAV TIL BRUTTOENERGIFORBRUG | 23 |
| 3 ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARMEFORBRUGET | 25 |
| 3.1 METODE/FREMGANGSMÅDE | 25 |
| 3.2 EL-BESPARELSER..... | 27 |
| 3.3 FORDELING AF DET EL-RELATEREDE VARMETILSKUD | 29 |
| 3.4 BEREGNINGRESULTATER | 30 |
| 4 REFERENCER | 32 |
| BILAG 1: FACADER, PLAN OG TVÆRSNIT AF HUSET | 33 |
| BILAG 2: ELFORBRUG – KORTLÆGNINGSDATA FOR GRUNDMODEL | 34 |
| BILAG 3: ELFORBRUG – EL-SPARE-MODEL | 38 |
| BILAG 4: ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARME-FORBRUGET | 40 |

RESUMÉ

Denne rapport omhandler målinger af bruttoenergiforbrug i fyringssæsonen 2003/2004 i et typisk 135 m² enfamiliehus, der er opført som skalmurede porebetonelementer. Bruttoenergimålingerne har omfattet energiforbrug til rumopvarmning, varmt brugsvand, til dækning af varmetabet fra varmeinstallationen samt elforbruget, herunder forbruget til hårde hvidevarer, pumper, ventilatorer, belysning mv.

Formålet har været at dokumentere og analysere de fremkomne måleresultater og sammenligne med kommende krav til bruttoenergiforbruget. Desuden har det især været formålet at indsamle driftserfaringer for det el-forbrugende udstyr med henblik på at belyse deres betydning for varmebehovet, herunder foretage vurderinger af hvor stor en del af elforbruget der kommer til nytte i opvarmningen af huset, og mere overordnet hvordan elforbruget påvirker varmetaforbruget.

Der er rapporteret varmemålinger for en periode på 202 døgn, fra 24/9 - 2003 til 12/4 - 2004. I denne periode har huset brugt 6847 kWh til rumopvarmning og 1017 kWh til varmt brugsvand (svarende til et årligt forbrug på 1837 kWh). Der har ikke kunne måles et varmetab fra varmeinstallationen, hvilket ikke betyder at der ikke er et varmetab, men at det er forholdsvis lille og derved til dels forsvinder i fejlvisninger. Den gennemsnitlige inde- og udetemperaturen har i perioden været hhv. 22,8 °C og 3,5 °C. Ventilationsanlæggets temperaturvirkningsgrad har under normal drift ligget på omkring 80 %, mens der i kortere perioder med hård frost har været en nedsat temperaturvirkningsgrad pga. tilisning. Den mekanisk ventilerede luftmængde har i perioden ligget på et niveau svarende til et luftskifte på 0,4 h⁻¹. Hertil skal tillægges en infiltration, der tidligere er bestemt til ca. 0,1 h⁻¹ ud fra en standard trykprøvning.

El-forbruget er målt over en periode på 117 døgn, fra 20/12-2003 til 14/4-2004. Det samlede forbrug i perioden er målt til 1235 kWh, der kan opskaleres til et årsforbrug på 3853 kWh. Heraf udgør forbruget til hårde hvidevarer 29 %. Procent-andelen af el-forbruget til apparatur med varmespild (hårde hvidevarer), der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning, svarende til vask/opvask, tørretumbler (aftræk) og komfur er vurderet til hhv. 40 %, 10 % og 50 %. Det interne varmetilskud fra personer er opgjort til 1,42 W/m², mens varmetilskuddet fra apparatur og belysning er opgjort til 2,63 W/m², hvilket samlet set resulterer i et gennemsnitligt internt varmetilskud på 4,05 W/m². Varmetabet fra varmeinstallationen er beregnet til 0,84 W/m².

Der er foretaget sammenligninger mellem det målte energiforbrug til rumopvarmning og detaljerede beregninger med bygningsmoduleringsprogrammet BSIM 2002. Det skal bemærkes at de el-relaterede interne varmetilskud er medtaget på detaljeret vis i beregningsmodellen baseret på målingerne (på rumniveau og på timebasis). Sammenligningen viser at der er særdeles god overensstemmelse mellem det målte og det beregnede (forventede) energiforbrug svarende til få procents afvigelse. Energiforbruget til rumopvarmning er større end forventet, hvilket primært skyldes en relativt høj indetemperatur. Beregninger viser at hvis der forudsættes en setpunkttemperatur på 20 °C, kan energiforbruget reduceres med 19 %, svarende til en reduktion på 8 % pr. grad nedsat indetemperatur.

I forbindelse med indførelse af nye energibestemmelser i bygningsreglementerne, lægges der op til indførelse af krav om overholdelse af en energiramme ved nybyggeri, der for boliger vil omfatte det samlede behov for tilført energi til dækning af varmetab, ventilation, eventuel køling og varmt brugsvand (svarende til bruttoenergiforbruget). Sammenligninger af husets faktiske

bruttoenergiforbrug og den forslåede energiramme, viser at bruttoenergiforbruget svarer til 90 % af energirammen. Hvis der forudsættes en rumtemperatur svarende til et setpunkt på 20 °C kan beregnes et bruttoenergiforbrug på 77 % af energirammen.

Elforbrugets betydning for varmeforbruget er undersøgt ved beregninger på en grundmodel af huset baseret på målingerne og en el-spare-model, hvor der er antaget anvendt de mest energieffektive produkter på markedet. Ved oplagte el-besparelser kan elforbruget reduceres med 41 %, således at det interne el-relaterede potentielle varmetilskud reduceres fra 2,63 til 1,58 W/m². Det forøgede energiforbrug til rumopvarmning er sammenholdt med reduktionen i det potentielle varmetilskud. Da effekten på varmeforbruget afhænger af rumtemperatur, udeklima, ventilationssystem og solindfald, er der foretaget en række parametervariationer. Beregningerne har vist, at omkring 55 – 60 % af det el-relaterede varmetilskud kan nyttiggøres til rumopvarmning set over hele året. Den forholdsvis beskedne udnyttelse af varmetilskuddet skyldes bl.a. en væsentlig bedre isolering og ventilation med varmegenvinding, der indebærer en kortere fyringssæson, og derfor alt andet lige en mindre udnyttelse af ”el-varmen”.

Ser man på el-besparelser kontra øgede varmeudgifter, og forudsætter et typisk forhold mellem marginalprisen på el og varme på tre, kan beregnes en tilbageværende el-besparelse på mellem 81 og 85 %. Sagt med andre ord bliver kun omkring 15-19 % af el-besparelsen ”spist op” af forøgede varmeudgifter. Det skal bemærkes at den resulterende el-besparelse afhænger af i hvor høj grad man gennemfører el-besparelser på udstyr med varmespild.

1 BAGGRUND OG FORMÅL

1.1 Baggrund

Der anvendes stadigvæk en stor del af Danmarks energiforbrug i bygninger, selv om der er store muligheder for at opnå samme eller bedre komfort med et mindre energiforbrug. Der arbejdes med skærpede krav til energiforbruget i nybyggeri i forbindelse med nye energibestemmelser i 2005 og det nye energimærkningsdirektiv for byggeri. Der er behov for at stimulere processen med at få indført energibesparende byggeri i byggebranchen, og dette kan gøres ved at vise at:

- Energimålsætningen med ca. 30% mindre bruttoenergiforbrug kan opnås uden væsentlige ændringer i bygningers funktion, æstetik og økonomi.
- Metoderne til at eftervise krav til bruttoenergiforbruget ikke er vanskelige at benytte og giver store muligheder og frihedsgrader for at lave nye og bedre løsninger.

I forbindelse med projektet ”Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner” (ENS J. Nr. 1213/00-0011) er i samarbejde med typehusfirmaer opført enfamiliehuse, som repræsenterer de mest almindelige byggesystemer i Danmark. Husene vil kunne leve op til den forventede skærpelse i nye energibestemmelser, hvori det ligeledes er planen at der kun skal opereres med ét krav i form af en bruttoenergiramme. Der er i fyringssæsonen 2002/2003 udført detaljerede målinger af varmeforbrug til rumopvarmning mv. under primært ubeboede forhold med henblik på primært en validering af konstruktionernes varmetekniske ydeevne.

Det har været oplagt at benytte de omtalte enfamiliehuse til måling/analyse af bruttoenergiforbruget, idet man herved vil kunne vurdere den konkrete betydning af elforbruget samt hvordan elforbruget påvirker varmeforbruget, og dermed fastlægge og bearbejde eventuelle problemer i forhold til at opfylde et samlet bruttoenergikrav. Tidlige indikationer viser, at mindre energieffektive ventilationsanlæg eller pumper i varme- og varmtvandsanlæg samt varmetab fra varme- og varmtvandsrør hurtigt kan ”opsluge” de besparelser der måtte være opnået gennem merisolering af klimaskærm, bedre vinduer, varmegenvinding osv., og derfor er det særdeles vigtigt at skabe opmærksomhed omkring dette område. Projektet er således relevant i forbindelse med at sætte fokus på de områder som har betydning for varme- og elforbruget.

1.2 Formål

Projektets formål har været at indhente målinger af bruttoenergiforbrug for fyringssæsonen 2003/2004 med beboere i husene. Det overordnede formål med projektet er 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.
- 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.
- 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 varmeforbruget.

2 MÅLING AF BRUTTOENERGIFORBRUG

Der redegøres i dette kapitel for varmemeforbrugsmålinger og elmålinger i indeværende fyringssæson. Resultaterne af målingerne sammenholdes med forventede/beregnete energiforbrug og forventede krav til bruttoenergiforbruget. Målingerne benyttes i forbindelse med beregninger/analyser af elforbruget betydning for varmemeforbruget, som der redegjort for i kapitel 4.

2.1 Beskrivelse af målinger

Der redegøres i dette afsnit kort for det måleudstyr, der er anvendt til måling af bruttoenergiforbruget. Der er foretaget målinger af varmemeforbruget til rumopvarmning og varmt brugsvand samt elforbrug til apparatur, belysning og varme- og ventilationsanlæg. Desuden er der målt diverse temperaturer (inde, ude og i ventilationsanlæg) samt solindfald.

2.1.1 Brunata Net

Det anvendte målesystem hedder Brunata Net, og er oprindeligt udviklet af Brunata a/s til overvågning og forbrugsmåling med fjernaflæsning af f.eks. el, vand, varme og gas. I forbindelse med målinger på forsøgshusene har Brunata i samarbejde med BYG·DTU videreudviklet systemet til at kunne foretage de målinger, der har været behov for, herunder udviklet en temperaturlogger og en solintegrator til solstrålingsmålinger. I det målesystem der er anvendt i forsøgshusene indgår temperaturloggere med radiosendere (med og uden ekstern føler), energimålere, pulsopsamlere med radiosendere, radiomodtagere og en central dataopsamlingsenhed. Radiomodtagerne opsamler målerens radiosignaler og sender dem videre gennem ledninger til en dataopsamlingsenhed, der gemmer data indtil de bliver hjemtaget, hvilket foretages via telefonnettet til en pc'er.

2.1.2 Temperaturlogger

Måling af temperaturer foretages med en særlig temperaturlogger, der er udviklet til de omtalte forsøgshuse. Loggeren foretager en måling hvert 10. sekund og herudfra beregnes og gemmes en 10 minutters middeltemperatur samt en maksimum-temperatur og minimum-temperatur indenfor de seneste 10 minutter. Måleområdet er i standard opsætning $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ med en opløsning på $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det tilhørende batteri har en estimeret levetid på 5 år. Denne nye temperaturlogger blev installeret i det konkrete hus primo december 2003. Tidligere er der anvendt en loggertype der har kunne levere en døgnmiddeltemperatur med en opløsning på $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1.3 Solintegrator

Der er udviklet en solintegrator der muliggøre hjemtagning af solstrålingsmålinger foretaget med solarimetre. Integratoren omsætter spænding (mV) målt med solarimetre til pulser som opsamles med Brunata pulsopsamlere. De hjemtagede tællinger/pulser konverteres til solbestrålingsstyrke (W/m^2) via kendt sammenhæng mellem input spænding og pulser.

2.1.4 Energimåler

Til måling af varmemeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand er der anvendt energimålere fra Kamstrup (type Multical 66-C). Målerne består af en flowmåler og to temperaturfølere (til måling af frem- og returløbstemperatur) samt selve måleren med regneværk. Nøjagtigheden kan ifølge producenterne forventes at være plus/minus 3 % ved normal anvendelse og op til 5 % ved små flow og temperaturforskelle.

2.1.5 Elmålinger

Elmålinger udføres ikke med Brunata net systemet, men af de lokale elselskaber. Der foretages målinger på timebasis på grupper af udstyr, opdelt på installationer, ”våd” apparatur med varmespild, ”tørt” apparatur uden varmespild og en hovedmåling (samlet tilgang af el). Der er i husene i Snekkersten og Brøndby Strand anvendt klasse 2 - målere (2 % nøjagtighed), der måler 100 pulser/kWh svarende til en opløsning på 1 %. I disse huse er målerne er indsat som direkte målere (ikke med strømtransformere) i en permanent installation. Der er suppleret med spotmålinger og simple integrerende målere, hvor det er relevant, med henblik på at få indblik i de enkelte forbrug. Der er desuden foretaget en kortlægning/registrering af alle elforbrugende installationer og apparatur.

2.1.6 Behandling af måledata

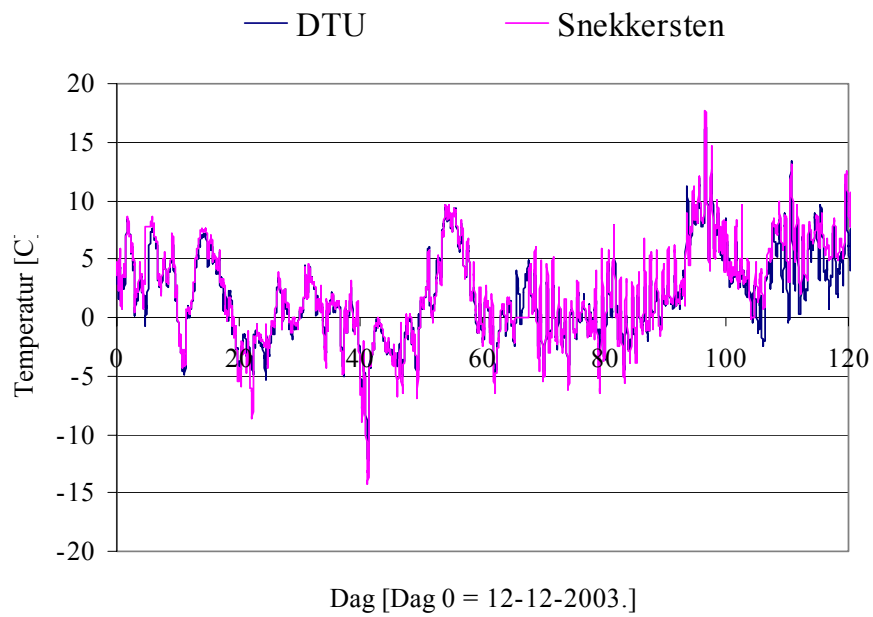
Brunata har udviklet et program til databehandling, hvor man ved at køre data gennem et ”filter”, kan sikre at man får kontinuerlige dataserier i form af f.eks. 10 min. eller time værdier.

2.2 Gennemgang af målinger

I det følgende gennemgås målinger udført i perioden 24/9-2003 til 12/4-2004, svarende til en periode på 202 dage. Huset er som nævnt beliggende i Snekkersten, og der flyttede beboere ind primo september 2003, bestående af en ung familie på to voksne og to små børn (0-5 år). Overordnede tegninger af huset (plan, facader og tværsnit), fremgår af bilag 1.

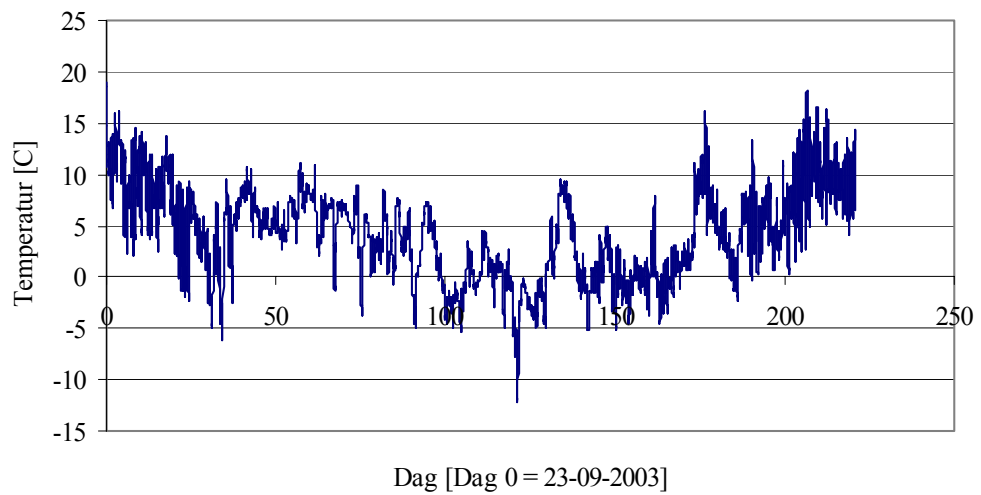
2.2.1 Udetemperatur

Udetemperaturen er for det første målt ved hjælp af et termoelement placeret i indtaget til ventilationsanlægget. For den første del af måleperioden foreligger der dog ingen udetemperatur målinger for den pågældende lokalitet, men det har været muligt at fremskaffe data for et nærliggende område, svarende til vejrstationen på taget af bygning 119 på DTU, som ligger i en afstand af 30 km fra Snekkersten. En sammenligning af den målte temperaturer på DTU og i Snekkersten i perioden medio december 2003 og fire måneder frem, viser at der er en god overensstemmelse (jf. Figur 1), og da der foreligger detaljerede vejrdata (også soldata) for hele måleperioden fra DTU-vejrstationen, benyttes vejrdata fra denne lokalitet.



Figur 1. Udetemperaturer målt i Snekkersten og i vejrstation på DTU.

Figur 2 viser udetemperaturen i måleperioden baseret på målinger fra DTU's vejrstation. Middeltemperaturen har i perioden været 3,5 °C.

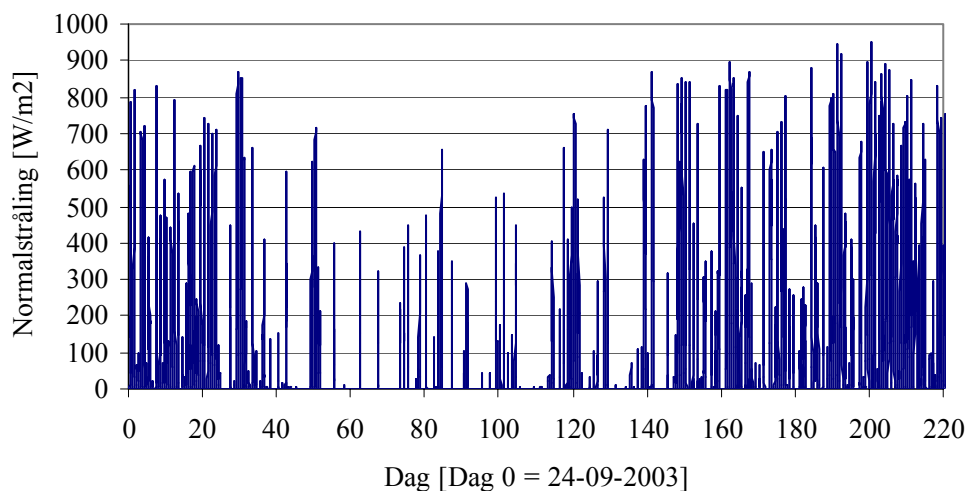


Figur 2. Udetemperaturer målt i vejrstation på DTU.

2.2.2 Solindfald

Som omtalt har DTU's vejrstation også været leveringsdygtig mht. soldata. Soldata bestående af den direkte normalstråling og den diffuse stråling på vandret anvendes sammen med målte udetemperatur til generering af klimadata til brug i programmet BSIM i forbindelse med sammenligning af det målte og forventede/beregnete opvarmningsbehov.

I måleperioden er der målt en direkte normalstråling som vist i Figur 3.



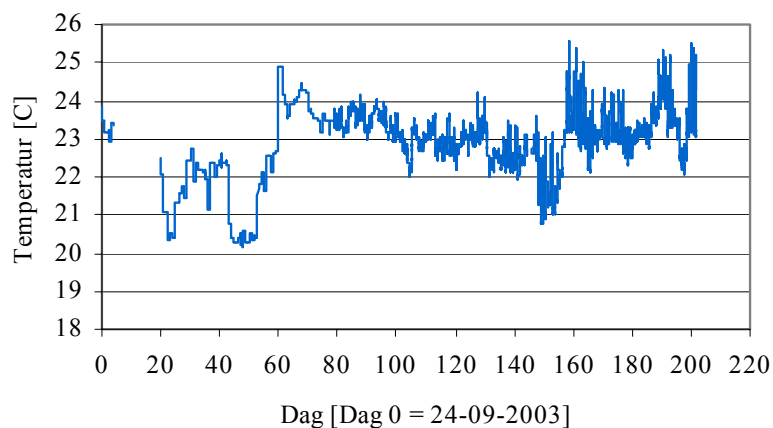
Figur 3. Normalstrålingen i måleperioden.

Figur 3 viser at normalstrålingen naturligvis har været størst i fyringssæsonens overgangsperioder og væsentligt mindre i vinterperioden. I en længerevarende periode omkring slutning af november og starten af december har der været et meget lille solindfald. Alt i alt ser de målte data fornuftige ud, og afspejler hvad man kan forvente. Det antages for tilstrækkeligt nøjagtigt at benytte soldata fra DTU i forbindelse med eftervisning af energiforbruget til opvarmning.

2.2.3 Indetemperatur

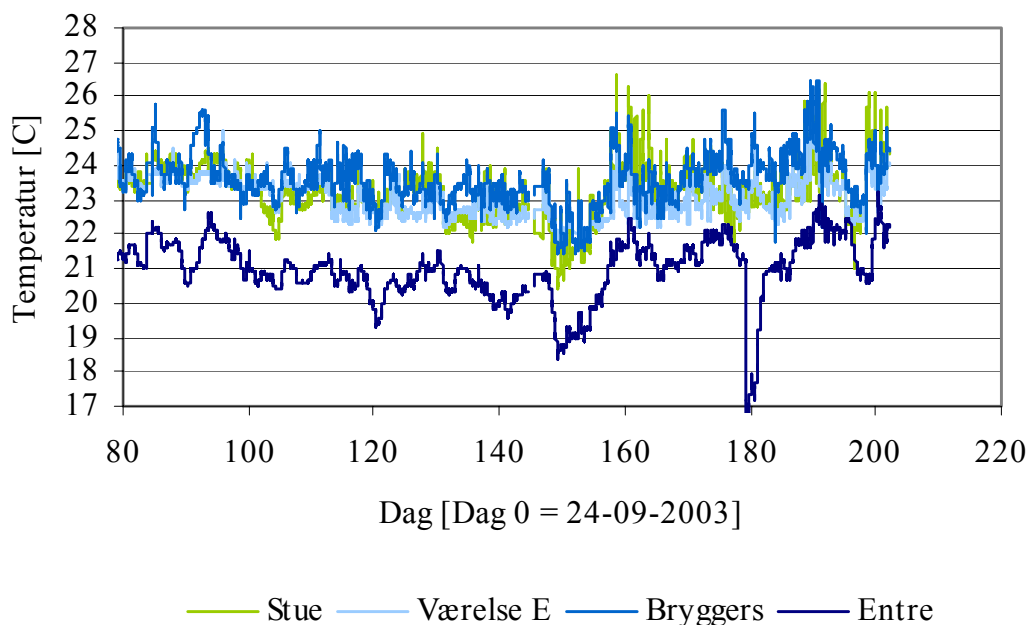
Indetemperaturen er målt vha. de omtalte temperaturloggere, placeret på indvendige vægge i samtlige rum (med undtagelse af gangen) og i en højde af ca. 1,5 m fra gulvoverfladen. Der er tale om 10 min. middelværdier.

Figur 4 nedenfor viser den gennemsnitlige indetemperatur, der er en arealvægtet middelværdi af målinger i de enkelte rum. Det skal bemærkes at der i starten af måleperioden mangler målinger for en periode på 15 dage, hvilket i øvrigt gælder alle målinger, og dette skyldes telefonselskabets utilsigtede lukning af forbindelsen til huset i forbindelse med indflytning af beboere.



Figur 4. Middeltemperatur i huset i måleperioden.

Figur 4 viser, at middeltemperatur varierer forholdsvis meget. I starten af perioden har termostaterne stået på ca. 20 °C, hvilket har medført relativt lave temperaturer. Efterhånden har beboerne dog justeret op på temperaturen, hvilket ifølge beboerne overvejende skyldes hensynet til komforten for deres børn. Middeltemperaturen i måleperioden kan beregnes til 22,8 °C. De høje temperaturer fører generelt til et væsentligt forøget opvarmningsbehov. Indetemperaturen for nogle udvalgte rum er vist i nedenstående Figur 5. Der er kun vist temperaturer fra og med dag 80, hvor de nye temperaturloggere blev installeret (jf. tidligere omtale).



Figur 5. Målte indetemperaturen i udvalgte rum.

Det ses, at de højeste temperaturer som forventet forekommer i den overvejende sydvendte stue, og at temperaturen i bryggers ligger på et relativt konstant højt niveau, hvilket primært skyldes det

betydelige varmetilskud fra varmeinstallationen. De laveste indetemperaturer forekommer ikke overraskende i entren. Det skal bemærkes at temperaturen i dette rum falder markant omkring dag 180 uden at temperaturen i de øvrige rum falder, hvilket kan skyldes en midlertidig ændring af termostatindstilling.

2.2.4 Effektivitet af varmeveksler

Effektiviteten af varmeveksleren (temperaturvirkningsgraden) er defineret som forholdet mellem den opnåede temperaturstigning i veksleren af den indadgående luftstrøm og forskellen mellem de to luftstrømmes tilgangstemperaturer. Alle temperaturer er målt umiddelbart uden for aggregatet.

Temperaturvirkningsgraden udtrykkes ved:

$$\eta = \frac{T_{indblæs} - T_{indtag}}{T_{udsug} - T_{indtag}}$$

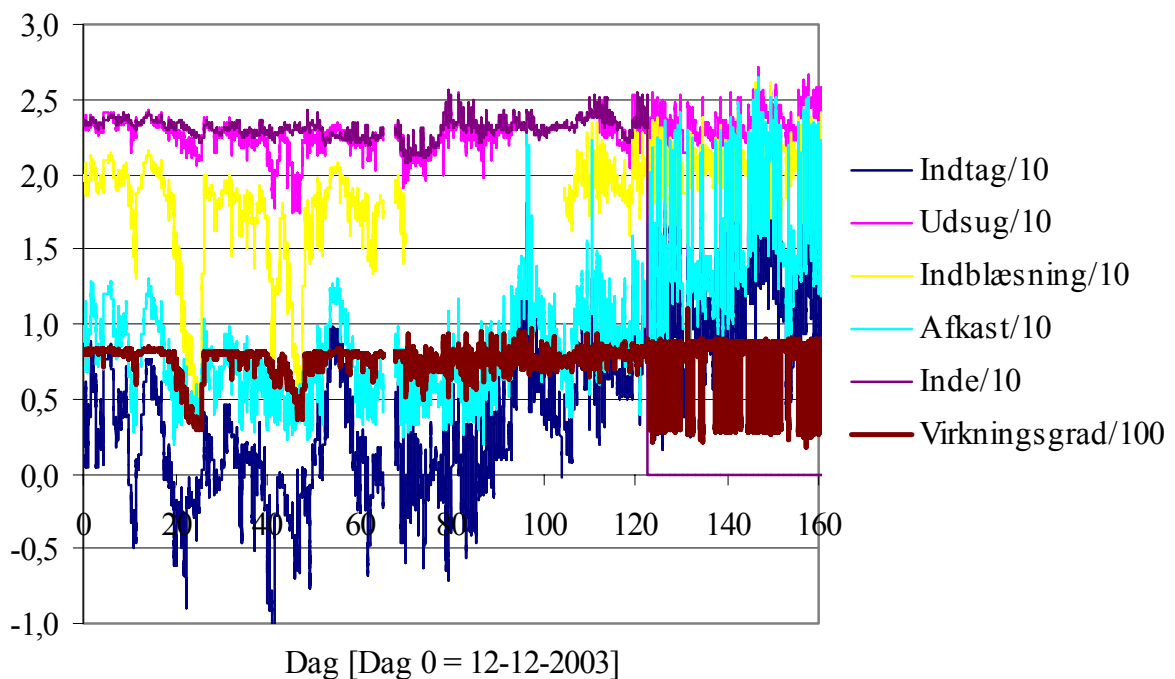
Hvor:

$T_{indblæs}$ er indblæsningsluftens temperatur

T_{udsug} er udsugningsluftens temperatur

T_{indtag} er indtagsluftens temperatur

Der redegøres i det følgende for målinger af anlæggets temperaturvirkningsgrad. I Figur 6 er vist en oversigt over målte temperaturer og virkningsgrad. Der har i midten af perioden været problemer med de trådløse målere i indblæsningen og udsugningen, og der mangler således målinger af indblæsningstemperaturen fra ca. dag 70 til dag 100. I denne periode er den viste kurve for temperaturvirkningsgraden beregnet ud fra temperaturændringen af den udadgående (i stedet for den indadgående) luftstrøm divideret med forskellen mellem de to luftstrømmes tilgangstemperatur, idet de to luftstrømme ved normal drift har været omtrent lige store.



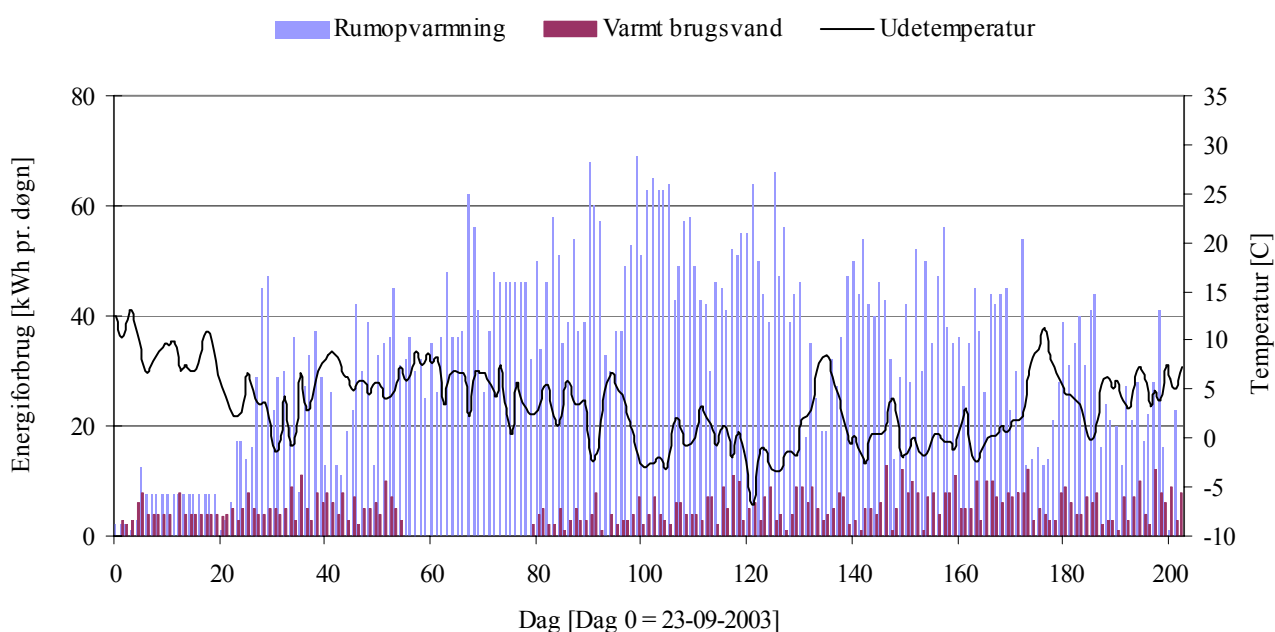
Figur 6. Diverse målte temperaturer og beregnet virkningsgrad i perioden 12. december 2003 til medio maj 2004.

Det fremgår af Figur 6 at temperaturvirkningsgraden i perioden har været ca. 80 % med undtagelse af perioder med vedvarende frost og høje udetemperaturer (sidstnævnte skyldes by-pass ved høje udetemperaturer). Det ses at virkningsgraden falder mærkbart i forbindelse med to relativt kortvarige perioder med vedvarende frost. Dette antages at skyldes en tilisning af vekslerens kanaler til den udadgående luftstrøm og en deraf følgende nedsat varmeoverføring og luftmængde. Målinger viser at anlæggets frostsikring i form af en nedregulering af indblæsningsluftstrømmen virker efter hensigten, dvs. den sørger for altid at holde afkasttemperaturen over 3 °C, men dette er altså ikke tilstrækkelig til at hindre isdannelse i veksleren. Der findes forskellige løsninger på tilisningsproblematikken, herunder by-pass af indtagsluften og efteropvarmning inden indblæsning eller en skiftevis indblæsning af luft igennem den ene halvdel af veksleren og den anden halvdel. Sidstnævnte er energimæssigt en bedre løsning end førstnævnte, idet den ikke kræver tilførelse af ekstra energi.

2.2.5 Varmeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand

Energiforbruget er i måleperioden målt med separate flow-/energimålere på varme afsat i gulvvarmeanlægget og til varmt brugsvand. Figur 7 viser forbruget for de enkelte dage i perioden (24/9-2003 til 12/4-2004). Udetemperaturen er også vist (døgnmiddelværdi), der sammen med solindfaldet er afgørende for opvarmningsbehovet. Det ses at forbruget til rumopvarmning er størst i dagene omkring dag 100 og dag 121, hvilket også er ensbetydende med de koldeste dage. Opvarmningsbehovet er størst omkring dag 100 selvom udetemperaturen er højere end da det var koldest på dag 121, hvilket primært antages at skyldes nogle mere solfattede dage i denne periode ift. på dag 121. Det skal bemærkes, at der mangler målinger af varmtvandsforbruget fra ca. dag 55 til dag 80.

I den betragtede periode har der været et varmeforbrug til rumopvarmning på 6847 kWh og 1017 kWh til varmt brugsvand. Brugsvandforbruget svarer til et årligt forbrug på 1838 kWh.



Figur 7. Energiforbrug til rumopvarmning (gulvvarmeanlæg) og varmt brugsvand.

Huset opvarmes med fjernvarme. Varmeinstallationen består af en fjernvarmeunit med varmeveksler (indirekte fjernvarme), pumpe og varmtvandsbeholder, mv. samt et shunt aggregat der regulerer varmetilførslen til de enkelte gulvvarmekredse. Varmt brugsvand fremstilles ved direkte fjernvarme i varmtvandsbeholder med spiralveksler. Gulvvarmeanlæggets fremløbstemperatur reguleres manuelt, og har i størstedelen af perioden været indstillet på ca. 35 °C. Ud fra målinger af energiforbrug og volumenstrøm kan der beregnes en gennemsnitlig afkøling i gulvvarmeanlægget på 3,4 °C. Den gennemsnitlige afkøling af fjernvarmevandet har været 46 °C.

2.2.6 Varmetab fra varmeinstallation

Varmetabet fra varmeinstallationen kan bestemmes ud fra målinger af den samlede leverede varme til huset (fjernvarmeværkets måler) fratrukket varmeforbruget i gulvvarmeanlægget og til varmt brugsvand. For det pågældende hus vil dette varmetab bestå af tab fra varme- og varmtvandsrør,

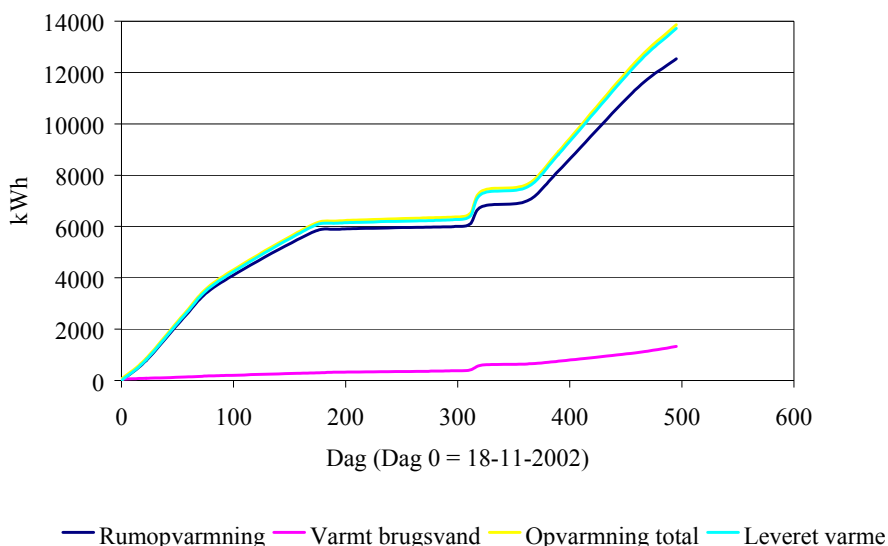
ventiler og pumper mm placeret mellem fjernvarmeværket måler og de to varmemålere på gulvvarme og varmt brugsvand. På varmerør er udført 5-10 mm isolering. I Figur 8 er vist et billede af installationen



Figur 8. Fjernvarmeinstallationen i forsøgshuset i Snekkersten. Der er rørisolering (sort) på lige rørstykker, men ikke bøjninger. Varmeveksler, pumpe og ekspansionsbeholder mv. er placeret øverst til højre og varmtvandsbeholder øverst til venstre (uden for billedet).

En stor del af varmetabet bidrager til rumopvarmningen, men en ikke ubetydelig del vil ikke kunne nyttiggøres, idet bl.a. varmetab udenfor fyringssæsonen ikke vil kunne nyttiggøres.

I nedenstående Figur 9 er vist resultater af varmemålinger foretaget over en periode på 495 dage svarende til 18/11-2002 til 25/3-2004. Knækket i kurverne omkring dag 300 skyldes dels indflytning af beboere og dermed forbrug af varmt brugsvand samt at fyringssæsonen 2003/2004 starter på dette tidspunkt.



Figur 9. Varmeforbrug siden november 2002, hvor huset stod færdigt.

Det fremgår af Figur 9 at der ikke kan registreres et varmetab i varmeinstallationen, da det målte totale forbrug (leveret varme) stort set er lig med summen af de målte energiforbrug i gulvvarmeanlægget og til varmt brugsvand (opvarmning total). En del af forklaringen er at varmeinstallationen er delvist isoleret samt at varmetabet fra varmtvandsbeholderen indgår i målingen af varmtvandsforbruget, idet der er målt på primærsiden umiddelbart før beholderen. Tages der hensyn til dette, må der stadig kunne forventes et varmetab på i størrelsesordenen 500 kWh. Den sandsynlige forklaring på at der ikke kan registreres et varmetab skal søges i varmemålerens nøjagtighed, der ifølge producenten Kamstrup som standard er 3 %. Da der imidlertid er tale om et lavenergihus med små vandmængder på primærsiden og små temperaturforskelle på sekundærsiden (gulvvarmeanlægget), vil nøjagtigheden sandsynligvis være lidt dårligere. Dette skal ses i lyset af at der på primærsiden er konstateret en gennemsnitlig volumenstrøm på ca. 0,03 m³/h, mens flowdelen kan måle på op til 1,5 m³/h, og at forskellen på frem- og returløbtemperaturen i gulvvarmekredsen er målt til i gennemsnit ca. 3°C, hvor nøjagtigheden på de to lommefølere i hhv. fremløb og returløb er 0,02 °C. På basis af ovenstående må det konkluderes at det forventede varmetab i varmeinstallationen er så relativt lille, at det forsvinder i fejlvisninger.

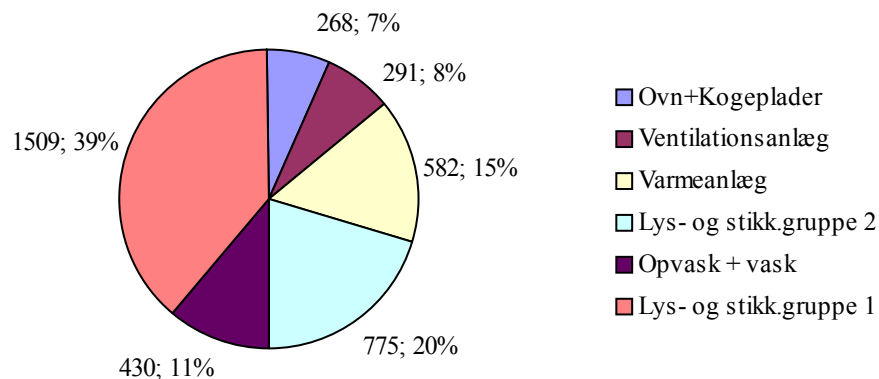
2.2.7 Elforbrug

Der redegøres for elmålinger foretaget over en periode på 117 døgn, fra 20/12-2003 til 14/4-2004. Målinger er foretaget på de grupper af apparatur og installationer, som der er anført i Tabel 1.

Tabel 1. Oversigt over målere på grupper af apparatur og installationer

| Måler | Bemærkninger |
|------------------------|---|
| Lys- og stikk.gruppe 1 | Alle rum undtagen køkken og bryggers |
| Lys- og stikk.gruppe 2 | Køkken og bryggers |
| Varmeanlæg | Pumpe, varmestyringer og målesystemer |
| Opvask + vask | Vaskemaskine, tørretumbler (aftræk) og opvaskemaskine |
| Ovn + kogeplader | |
| Ventilation | Mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding |

Det samlede elforbrug i perioden var 1235 kWh, hvilket kan opskaleres til et årligt forbrug på 3853 kWh. Elforbruget fordelt på de enkelte grupper er vist i Figur 10.



Figur 10. Elforbruget fordelt på forskellige grupper af apparatur og enkelt-komponenter, med angivelse af kWh/år og pct-andel af det samlede elforbrug.

Det ses at elforbruget på lys- og stikk. gruppe 1+2 ikke overraskende udgør over en stor del af det samlede elforbrug (59 %). Der er et forholdsvis stort forbrug til varmeanlægget, hvilket hovedsageligt skyldes forbruget til den traditionelle cirkulationspumpe (Grundfos UPS), men også elforbruget til energimålere mv. bidrager væsentligt. Elforbruget til hårde hvidevarer fås som summen af grupperne ”opvask + vask” og ”ovn + kogeplader” samt forbruget til køle-/fryseskab der indgår i ”lys- og stikk. gruppe 2” og altså ikke måles separat. Energiforbruget til køle-/fryseskabet er på grundlag af standardtest målt til 1,15 kWh/døgn svarende til 420 kWh/år eller 11 % af det samlede elforbrug. På denne baggrund udgør elforbruget til hårde hvidevarer 29 % (11+7+11).

Forbruget for de enkelte hvidevarer, deres andel af det samlede forbrug, de forventede forbrug samt energiklassificeringen fremgår af Tabel 2.

Tabel 2. Målte og forventede el-forbrug til hårde hvidevarer i kWh/år. De forventede forbrug er baseret på data fra fabrikanter/importører.

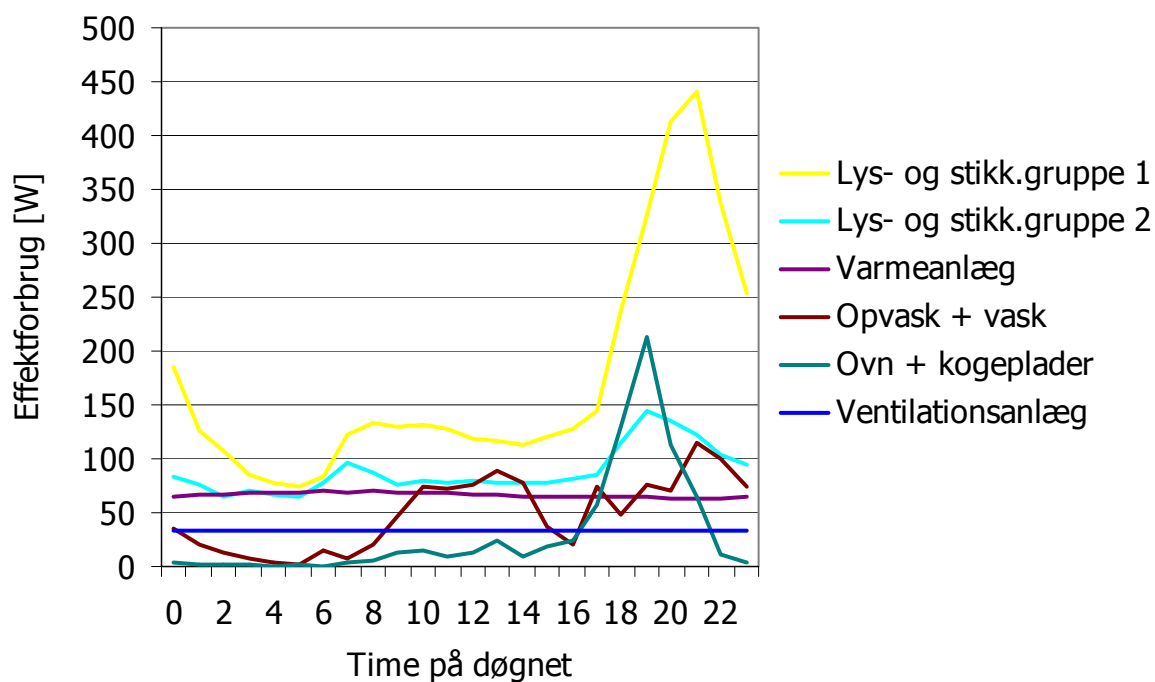
| Apparatur | Målt | Andel i pct. | Forventet | Energiklasse |
|-----------------------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Opvaskm+vaskm.+tørretumbler | 430 | 38 | - ¹⁾ | A, A, C |
| Ovn+kogeplader | 268 | 24 | - ²⁾ | B |
| Køle/fryseskab | 420 ³⁾ | 38 | 420 | B |
| I alt | 1118 | 100 | - | - |

¹⁾ 1,05 kWh pr. vask til opvaskemaskine på standardprogram, 0,95 kWh pr. vask til vaskemaskine v. 60° kulørt vask og 3,3 kWh pr. vask til tørretumbler på standardprogram (skabstørt, 70 % restfugt, 85 min.).

²⁾ 0,95 kWh/time ved 200° (traditionel), 0,99 kWh/time (varm luft).

³⁾ Ikke målt separat. Forbrug antaget som forventet baseret på standardtest.

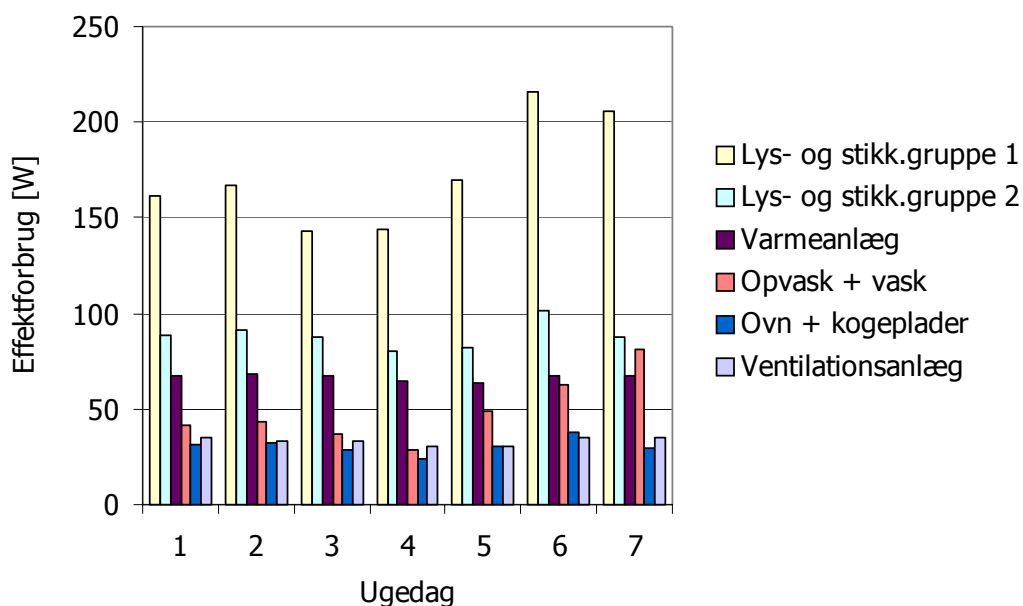
Elforbrugets fordeling over døgnet er interessant og afgørende for hvor meget der kan nyttiggøres til rumopvarmning. I Figur 11 er vist effektforbrugets døgnvariation på de enkelte grupper.



Figur 11. Middeleffektforbrug pr. time på døgnet.

Der er tale om et klassisk forbrugsmønster for en udearbejdende familie med små børn, hvor der primært er elforbrug i aften timerne. Det ses også at effektforbruget midt om natten (time 3, 4 og 5) på lys- og stikk. gruppe 1 er ca. 80 W, hvilket må antages at skyldes diverse ”stand-by-forbrug”. 80 W svarer til 700 kWh på årsbasis. Stand-by forbruget for lys- og stikk. gruppe 2 er omkring 20 W, når der ses bort fra forbruget til køle/fryseskab.

I Figur 12 er vist effektforbruget opgjort som middeleffekt for hver enkelt ugedag.



Figur 12. Middeleffektforbrug pr. ugedag.

Det ses at elforbruget på de fleste grupper er meget konstant. Det ses dog at forbruget på lys- og stikk. gruppe 1 ikke overraskende er noget større i weekenden. Således er forbruget lørdag/søndag i gennemsnit 34 % større end på hverdage. Desuden ses det at forbruget på gruppen ”opvask+vask” især ligger i weekenden (særligt søndag).

Der er foretaget en detaljeret kortlægning af alle el-komponenter i huset, herunder hårde hvidevarer, belysningsarmaturer, små-apparatur, pumper mm, med henblik på fordeling af de målte grupperede elforbrug/varmetilskud på husets rum og døgnets timer samt som grundlag for en vurdering af hvor der kan opnås relevante elbesparelser. Der er bl.a. foretaget registrering af mærke/type, mærkeeffekt og rumplacering. Der har været behov for at estimere af den årlige brugstid for visse komponenter, især små-apparatur, hvilket er foretaget på baggrund af bl.a. oplysninger fra beboerne.

I bilag 2 er præsenteret resultater af kortlægningen. Brugstider mv. er tilpasset så det samlede årlige elforbrug svarer til det samlede målte forbrug opskaleret til et årsforbrug. Desuden er vist en række tabeller, hvor elforbruget er opdelt på komponenter hvis hovedformål er varmeproduktion (varme), komponenter til belysning (lys), elektronik og mekanik samt fordeling på de enkelte rum.

Med dette som udgangspunkt og med kendskab til hvor stor en del af elforbruget der bliver til potentielt varmetilskud, kan varmetilskuddet til de enkelte rum bestemmes på timebasis.

2.2.8 Elforbrug i varmeanlæg

Det gennemsnitlige effektforbrug til varmeanlægget har været 66 W i måleperioden. I perioden har pumpen (en typisk Grundfoss UPS 25-40) kørt med en hastighed svarende til både trin 3 og trin 1. Trin 3 svarer til VVS-installatørens typisk indstilling i traditionelle huse, der sikrer den nødvendige varme hele året. I det aktuelle højisolerede hus kan setpunktet for indetemperaturen dog formentlig opretholdes selv i meget kolde perioder med en pumpeindstilling på trin 1, hvor elforbruget er betydeligt mindre. I den periode hvor pumpen har været indstillet på trin 3 har forbruget i gennemsnit været 72 W og i perioden på trin 1 har forbruget været 38 W. Fratrækkes ”standby forbrug” til 3 stk. energimålere (målt til 2,5 W pr. stk.) fås et forbrug til pumpe og varmestyring på 30 W i sidstnævnte periode, hvilket stemmer overens med en mærkeeffekt på ca. 30 W på trin 1. Forskellen på trin 1 og trin 3 er målt til 34 W, hvilket også harmonerer med at mærkeeffekttoptaget er 30 W større på trin 3.

Det skal bemærkes at det muligvis kan være et problem at anvende en UPS pumpe på trin 1, når der som oftest er store forskelle i trykfaldet i de enkelte gulvvarme kredse. Med en lille pumpeeffekt og kald på varme fra mange kredse risikerer man at vandet kun strømmer ud i kredse med mindst trykfald. Dette problem kan afhjælpes med en pumpe der automatisk regulerer til den nødvendige hastighed (f.eks. type Grundfoss Alpha+). Denne pumpe har dog et forbrug på minimum 25 W og op til 60 W og den energimæssige gevinst ved at anvende en sådan pumpe er derfor umiddelbart tvivlsom (medmindre man sammenligner med en UPS pumpe indstillet på det traditionelle trin 3).

Elforbruget til cirkulationspumper er generelt betydeligt i enfamiliehuse, hvilket målingerne dokumenterer, og det er altså tvivlsomt om der kan opnås en besparelse ved at anvende såkaldte sparepumper. Der er derfor et behov/marked for udvikling af små cirkulationspumper med væsentligt lavere energiforbrug, især set i lyset af de kommende skærpede energikrav til nybyggeri.

2.2.9 Elforbrug til ventilation

Det gennemsnitlige effektoptag til ventilationsanlægget har i måleperioden været 33 W. Anlægget har i perioden kørt på to trin 3 (de første tre uger) og trin 2 (resten af tiden). Luftmængderne er efter perioden blevet kontrolleret og målingerne viste en luftmængden på ca. 170 m³/h på trin 3 og 110 m³/h på trin 2, svarende til et luftskifte på ca. 0,65 og 0,40 h⁻¹. Hertil skal tillægges luftskiftet via utætheder i klimaskærmen, som ud fra resultatet af en standard trykprøvning af huset er fastsat til ca. 0,1 h⁻¹. Bygningsreglementets normal-krav til luftskiftet er 0,5 h⁻¹, og det samlede luftskifte på trin 2 svarer altså derfor til dette normal-krav. Elforbruget på de to trin har i gennemsnit været hhv. 61 W og 26 W.

2.2.10 Internt varmetilskud

I dette afsnit redegøres der for interne varmetilskud fra personer, el-apparatur og belysning.

Varmetilskuddet fra personer vurderes ud fra familiens overordnede brug af huset. I Tabel 3 er vist en oversigt over antal personer og opholdstidspunkt samt varmeafgivelse. Varmeafgivelsen er baseret på standardtal ved normal aktivitet, svarende til 100 W for voksne og 50 W for børn. Med de givne forudsætninger kan beregnes et potentielt varmetilskud på 1,42 W/m².

Tabel 3. Opholdstid og varmeafgivelse.

| Rum | Antal personer | Opholdstidspunkt | Timer pr. dag | Varmeafgivelse [W pr. person] | Varmeafgivelse [W/m ²] |
|--------------|----------------|------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Værelse E | 1 | 23.00-7.00 | 8 | 50 | 0,13 |
| Bad 2 | 2 | 7.00-8.00 | 1 | 50 | 0,03 |
| Værelse C | 1 | 16.00-17.00 | 1 | 100 | 0,03 |
| Værelse D | 1 | 23.00-7.00 | 8 | 50 | 0,12 |
| Køkken/alrum | 2 | 17.00-23.00 | 6 | 75 | 0,28 |
| Stue | 2 | 17.00-23.00 | 6 | 75 | 0,28 |
| Soveværelse | 2 | 23.00-7.00 | 8 | 100 | 0,49 |
| Bad 1 | 2 | 7.00-8.00 | 1 | 100 | 0,06 |
| Entre | 0 | - | 0 | 0 | 0,00 |
| Bryggers | 0 | - | 0 | 0 | 0,00 |
| Gang | 0 | - | 0 | 0 | 0,00 |
| Total | | | | | 1,42 |

Størstedelen af elforbruget omsættes til varme. For visse hårde hvidevarers vedkommende går den udviklede varme dog helt eller delvist tabt, og dette gælder bl.a. varme fra komfur, opvaskemaskine, vaskemaskine, aftræks-tørretumbler og udendørs belysning. Der er derfor behov for at foretage vurderinger af hvor meget af den udviklede varme der bliver til potentielt varmetilskud, der kan udnyttes til rumopvarmning.

Der foreligger ikke umiddelbart veldokumenterede undersøgelser af hvor meget varmespild der er fra diverse hvidevarer mv. Der findes dog overslagsmæssige angivelser i [1], hvor der anføres at der i gennemsnit kan regnes med at 60-70 % af det samlede elforbrug til apparatur (ekskl. belysning) bliver til potentielt varmetilskud i boliger.

Elforbruget i vaskemaskiner går til opvarmning af vaskevand, til motoren og lidt til styring/automatik. El til motoren udgør ca. 10-20 %. Elforbruget til en typisk vask af 5 kg tøj ved 60 °C er ca. 1 kWh. En sådan vask varer ca. 2 timer og består typisk af en times vask med varmt vand og 1 times skyld med koldt vand. Varmetilskuddet fra en typisk vask vil derfor udgøres af motorvarmen og den varmeafgivelse der kommer fra vaskemaskinen i løbet af den første time. Det vurderes på denne baggrund at det potentielle varmetilskud er ca. 40 %. Det samme antages for opvaskemaskiner.

Der findes to typer tørretumblere; aftræk og kondens. Aftrækstumblere bruger rumluften (mellem 40 og 200 m³ luft i timen), så der skal tilføres en tilsvarende mængde frisk luft til rummet og der er behov for et aftræk til det fri. Kondensstumbleren kræver ikke aftræk, da det meste af den fugtige luft kondenseres og ledes til en beholder eller afløb i gulvet. Ved udkondensering af vasketøjets vand frigøres en varmemængde der er identisk med fordampningsvarmen og kondensstørretumblere giver derfor et væsentligt større varmetilskud end aftrækstørretumblere. Elforbruget til tørring af 5 kg tøj er typisk 2,5 – 4 kWh. Elforbruget til motoren er det samme som for en vaskemaskine, hvorfor langt det største effektoptag sker i varmelegemet i tumbleren. Det må antages at der stort set ikke er noget potentielt varmetilskud fra aftrækstumblere, mens ca. 100 % af kondensstumbleres elforbrug bliver til varmetilskud.

Den udviklede varme fra komfur (ovn og kogeplader) vil i nogen grad blive fjernet via. emhætte eller via udsugningsventiler i eventuelle mekaniske ventilationsanlæg. Moderne komfurer er ofte forsynet med flere lag varmereflekerende/-isolerende glas i frontlågen og 3-5 cm isoleringsmateriale og i de øvrige flader, hvilket mindsker varmetabet til rummet og forøger ventilationstabet via. emhætte ift. ældre komfurer. For typiske komfurer vurderes det at 50 % af elforbruget bliver til potentielt varmetilskud.

Varmetilskud fra ventilationsanlæggets ventilatorer og styringselektronik indregnes i temperaturvirkningsgraden.

På baggrund af ovennævnte varmespild-procenter, kan der beregnes et potentielt varmetilskud fra el-apparatur og belysning på 2,63 W/m².

2.2.11 Varmetab fra varmerør og varmtvandsbeholder

Varmetabet fra varmtvandsbeholderen og den øvrige varmeinstallation i bryggers er betydeligt, og der er derfor behov for at vurdere størrelsen af dette varmetilskud. Varmetabet fra varmtvandsbeholder sættes til 1200 MJ/år (= 38 W), som svarer til et typisk varmetab fra en lille beholder ved en beholdertemperatur på 55 °C og en rumtemperatur på 20 °C.

Varmetabet fra den øvrige varminstallation indeholder varmetab fra fjernvarmeuniten samt den rørføring der forbinder uniten med fordelerrør/ventiler til gulvvarmen, varmtvandsbeholderen og det sted hvor fjernvarmen kommer ind i huset. Varmeinstallation består af rør med forskellige dimensioner, isoleringsgrad og fremløbs- og returløbstemperaturer, og det er derfor ikke helt nemt at vurdere varmetabet. Varmetabet opgøres med basis i varmetabet fra de længere lige rørstrækninger, der for de flestes vedkommende er isoleret med 10 mm svarende til et varmetab på ca. 0,40 W/mK. Baseret på målte frem- og returløbstemperaturer og kendskab til dimensionerne på varmeinstallationen, er der opgjort en ækvivalent isoleret rørlængde på 7,5 m og en tilhørende middeltemperaturforskel mellem rør og omgivelser på 25 °C. Herudfra kan beregnes et varmetab på 75 W. Samlet set vurderes det altså at der i fyringssæsonen vil være en gennemsnitlig

effektafgivelse på 113 W fra varmeinstallationen svarende til $0,84 \text{ W/m}^2$. Det skal bemærkes at varmeafgivelsen fra pumpen indgår i varmetilskuddet fra el-apparat mm.

2.2.12 Sammenfatning af måleresultater

Der er i måleperioden (24/9-2003 – 12/4-2004) målt en gennemsnitlig udetemperatur på $3,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Solpåvirkningen har i perioden svaret omtrent til normalen, dog har november måned 2003 været betydeligt mere solfattig end normalt. Der er målt en gennemsnitlig indetemperatur på $22,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ventilationsanlæggets temperaturvirkningsgrad har under normal drift ligget på omkring 80 %. Der er forekommet kortere perioder med hård frost, hvor der har været en nedsat temperaturvirkningsgrad pga. tilisning. Den mekanisk ventilerede luftmængde har i perioden ligget på et niveau svarende til et luftskifte på $0,4 \text{ h}^{-1}$. Hertil skal tillægges et luftskifte pga. utætheder i klimaskærmen, der tidligere er bestemt til ca. $0,1 \text{ h}^{-1}$.

Der er i perioden målt et energiforbrug til rumopvarmning på 6847 kWh og et varmt vandsforbrug på 1017 kWh (årligt 1837 kWh). Der har ikke kunne måles et varmetab fra varmeinstallationen, hvilket ikke betyder at der ikke er et varmetab, men at det er lille og derved til dels forsvinder i fejlvisninger.

El-forbruget er målt over en 4 måneders periode, og det målte forbrug kan på simpel vis opskaleres til et årsforbrug på 3853 kWh. Procent-andelen af el-forbruget til apparatur med varmespild, der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning, svarende til vask/opvask, tørretumbler (aftræk) og komfur er vurderet til hhv. 40 %, 10 % og 50 %.

Varmetilskuddet fra personer, el-apparat og belysning er opgjort til $4,05 \text{ W/m}^2$. Varmetabet fra varmeinstallationen er $0,84 \text{ W/m}^2$.

2.2.13 Målinger af varmeforbrug sammenlignet med detaljerede beregninger

I det følgende gennemgås forskellene mellem de forventede/beregnete og målte forhold i huset. Efterfølgende redegøres der for detaljerede beregninger af opvarmningsbehovet foretaget i bygningssimuleringsprogrammet BSIM 2002 [3], der baseres på målingerne, og hvor formålet er eftervisning af opvarmningsbehovet og validering af beregningsmodellen.

Sammenligner man måleresultaterne med de forventede forhold, svarende til normale beregningsforudsætninger, giver dette anledning til følgende kommentarer:

- Der er målt en væsentligt højere indetemperatur ($22,8 \text{ }^\circ\text{C}$) end svarende til normale beregningsforudsætninger ($20 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Der er målt/opgjort et mindre internt varmetilskud fra personer, el-apparat og belysning ($4,05 \text{ W/m}^2$) end svarende til normale beregningsforudsætninger (5 W/m^2).
- Der er målt en lidt lavere temperaturvirkningsgrad i ventilationsanlægget (ca. 80 %) end de forventede 85 %.
- Der er målt en lidt højere temperaturer i gulvvarmeslangerne (ca. $33 \text{ }^\circ\text{C}$) end de forventede $30 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Der er målt en lidt højere udetemperatur ($3,5 \text{ }^\circ\text{C}$) end de forventede $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (DRY).
- Den målte solpåvirkning svarer til et energitilskud, der er 10 % større end med DRY.

Alle ovennævnte forhold undtagen de to sidstnævnte giver anledning til et større opvarmningsbehov end forventet/beregnet.

Det fremgår at det samlede potentielle interne varmetilskud er noget mindre end de 5 W/m^2 , der normalt benyttes ved beregning af boligens opvarmningsbehov. Denne standard-værdi er en gennemsnitlig værdi for hele den opvarmede del af boligen og hele døgnet i fyringssæsonen, og anvendes normalt som sådan, dvs. med en ligelig fordeling på de enkelte rum. Typisk er varmeafgivelsen dog langt fra ligeligt fordelt, men koncentreret i primært aften-timerne, hvilket også fremgår af målingerne. Dette betyder at en detaljeret medtagelse af det interne varmetilskud, vil give anledning til en bedre udnyttelse af den udviklede varme i især den første og sidste del af fyringssæsonen, da varmeafgivelsen ikke vil falde sammen med solindfaldet om dagen og de tilhørende moderate temperaturforskelle mellem ude og inde.

Energiforbruget til rumopvarmning er for det første beregnet for en model, der svarer til de forventede forhold (oprindelig model). Desuden er energiforbruget beregnet for en model af huset baseret på målingerne, herunder brug af faktiske klimadata målt i det betragtede periode detaljeret medtagelse af det interne varmetilskud. Betydningen af indetemperaturen undersøges, idet det beregnes hvor meget varmekonsumet kunne være reduceret, hvis beboerne havde haft en indetemperatur på $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Det skal bemærkes at der i beregninger er medtaget varmetabet fra varme- og varmtvandsrør samt varmtvandsbeholder, så der derved på detaljeret vis er beregnet hvor meget af denne varmeafgivelse der nyttiggøres.

Tabel 4: Beregnet energibalace for perioden 24/9-2003 til 12/4-2004.

| Energibalace | | Oprindelig model ¹⁾ | Målt 1 ²⁾ | Målt 2 ³⁾ | Målt 3 ⁴⁾ |
|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | [kWh] | [kWh] | [kWh] | |
| Q_{opv} | Energiforbrug til opvarmning | 4702 | 6549 | 5314 | 5193 |
| Q_{inf} | Nettobidrag ved infiltration | -739 | -808 | -712 | -737 |
| Q_{udl} | Varmetab ved udluftning | -18 | -12 | -31 | -19 |
| Q_{sol} | Energi tilført ved solindfald | 1211 | 1330 | 1330 | 1211 |
| Q_{pers} | Varme tilført fra personer | 0 | 929 | 929 | 929 |
| Q_{udst} | Varme tilført fra udstyr mm. | 3811 | 2263 | 2263 | 2263 |
| Q_{trans} | Trans. tab via klimaskærm | -7978 | -9556 | -8464 | -8190 |
| Q_{mix} | Vent. tab til naborum | -79 | -40 | -52 | -56 |
| Q_{vent} | Vent. tab via ventilationsanlæg | -909 | -656 | -577 | -595 |

¹⁾ Baseret på normale beregningsforudsætninger, herunder et internt varmetilskud på 5 W/m^2 , rumtemperatur på $20 \text{ }^\circ\text{C}$, mekanisk ventileret luftmængde på 60 l/s svarende til krav i BR1995 og et udeklima svarende til det Danske Design Reference År (DRY). Varmetilskud fra personer og varmeinstallation er inkluderet i ”varme tilført fra udstyr mm”.

²⁾ Baseret på målingerne. Setpunktet for indetemperaturen er i modellen valgt således at middeltemperaturen for måleperioden svarer til den målte middeltemperatur på $22,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

³⁾ Som model målt 1, men med indetemperatur (setpunkt) på $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

⁴⁾ Som model målt 1, men med indetemperatur (setpunkt) på $20 \text{ }^\circ\text{C}$ og udeklima svarende til DRY.

Det fremgår af den reviderede model 1 i Tabel 4, at energiforbruget til rumopvarmning kan beregnes til 6549 kWh . Energiforbruget er, som tidligere omtalt, målt til 6847 kWh , og den detaljerede beregning undervurderer således energiforbruget med 298 kWh eller omkring 4% . Det forhold at der er regnet med ventilation med 80% varmegenvinding, som målt under normal drift af anlægget, er lidt på den sikre side, da der ikke er taget højde for en nedsat varmegenvinding i nogle få perioder med meget lave udetemperaturer. Dette forhold kan forklarer en del af afvigelsen

mellem det målte og beregnede energiforbrug. Overordnet set er det altså tydeligt at BSIM 2002-modellen giver en særdeles fornuftig vurdering af husets opvarmningsbehov under reel beboelse og givne randbetingelser.

Energiforbruget for den oprindelige model, svarende til normale beregningsforudsætninger, er væsentligt mindre end det målte energiforbrug, hvilket primært skyldes en betydeligt lavere indetemperatur og et lidt større internt varmetilskud.

Konekvensen af at benytte en setpunktstemperatur på 20 °C er undersøgt i form af den model målt 2. Beregningen viser at den gennemsnitlige indetemperatur derved bliver 20,4 °C, mens den i måleperioden var 22,8 °C, og at energiforbruget reduceres med 19 %. Der er således tale om en besparelse i energiforbruget på 8 % pr. grad nedsat indetemperatur.

2.3 Målinger sammenholdt med forventede krav til bruttoenergiforbrug

I forbindelse med indførelse af skærpede krav i Bygningsreglementet til energiforbruget i bygninger bliver der indført krav om overholdelse af en energiramme, der for boliger vil omfatte det samlede behov for tilført energi til dækning af varmetab, ventilation, eventuel køling og varmt brugsvand (jf. udkast til nye energibestemmelser [2]), der også kan udtrykkes som boligens samlede energiforbrug på nær elforbrug til apparater og belysning. Energiforbruget til dækning af dette energibehov benævnes bruttoenergiforbruget. De ændrede bestemmelser indføres i år 2005 (efter en høringsperiode frem til 1. september 2004), og vil efter en overgangsperiode være permanent gældende fra 1. januar 2006. Eftervisning af at bestemmelserne er overholdt vil for boliger således i fremtiden skulle baseres på beregninger af energiforbrug til rumopvarmning, eventuel køling, varmt brugsvand, energitab i kedler og varmtvandssystemer samt elforbrug til pumper og ventilatorer.

Energirammen angiver et mindstekrav. Med de nye energibestemmelser er der samtidig er lagt op til en klassificering af lavenergibygninger svarende til bygninger hvor energiforbruget ikke overstiger 75 pct. (klasse 2) og 50 pct. (klasse 1) af energirammen.

Det vil være interessant at sammenholde de målte energiforbrug med de forventede krav til bruttoenergiforbruget. For boliger udtrykkes energirammen således:

$$(260 + \frac{8000}{A}) MJ / m^2 \text{ pr. år.}$$

hvor A er det opvarmede etageareal.

Energirammen for det konkrete hus er således:

$$(260 + \frac{8000}{135}) MJ / m^2 = 319 MJ / m^2 = 11972 kWh$$

I nedenstående Tabel 5 er opgjort bruttoenergiforbruget for huset baseret på målingerne. Energiforbrug til rumopvarmning er målt i langt størstedelen af fyringssæsonen inklusiv hele vinterperioden, hvor det største forbrug ligger, og derfor antages dette forbrug at repræsentere det årlige forbrug til rumopvarmning. Energiforbruget til varmt brugsvand antages at være det samme i årets øvrige måneder som gennemsnittet af forbruget i måleperioden og er målt på primærsiden

således at varmetabet fra varmtvandsbeholderen er inkluderet. Årsnyttevirkningen for varmeanlægget kan, da der er tale om et fjernvarmeanlæg, sættes til 100 %.

Tabel 5. Bruttoenergiforbruget baseret på målinger i perioden 24/9-2003 til 12/4-2004. Alle tal-angivelser er i kWh/år. El-behov indgår med en primærenergifaktor på 2,5 ved opgørelse af bruttoenergiforbruget.

| Varme- og el-behov | Energiforbrug | Energiforbrug primærenergi | Bemærkninger/forudsætninger |
|---------------------------|---------------|----------------------------|---|
| Rumopvarmning | 6847 | 6847 | |
| Varmt brugsvand | 1838 | 1838 | Inkl. varmetab fra beholder. |
| Varmetab fra varmeinstal. | 657 | 657 | Varmetab fra varmeinstallation (ekskl. varmtvandsbeholder): 75 W. |
| El til varmeanlæg | 197 | 491 | Cirk.pumpe (Grundfos UPS) på trin 1 (30 W). I drift i fyr. sæsonen (sept – maj inkl.) |
| El til ventilation | 228 | 569 | DC-ventilatorer, luftskifte på 0,5 h ⁻¹ inkl. utætheder (26 W). I drift hele året. |
| I alt | | 10403 | Energiramme: 11972 kWh/år |

Det ses at bruttoenergiforbruget for det konkrete hus er målt til 10403 kWh pr. år, hvilket svarer til 87 % af energirammen. Det skal bemærkes at forbrug af varmt brugsvand iht. udkastet til nye energibestemmelser skal indregnes som 0,25 m³/m² etageareal. Under antagelse af opvarmning fra 10 °C til 55 °C, svarer dette til 1753 kWh for det konkrete hus. Det målte forbrug er 1838 kWh, så der er altså god overensstemmelse.

De målte inde- og udeklima forhold afviger væsentligt fra de beregningsforudsætninger, der skal benyttes ved eftervisning af at energirammen er overholdt. Benyttes disse, svarende til et setpunkt for indetemperaturen på 20 °C og udeklima som DRY, fås et bruttoenergiforbrug på 8749 kWh pr. år. eller 73 % af energirammen, hvilket lige netop svarer til en klassificering som lavenergihus i klasse 2. Huset opfylder altså med god margen de forventede krav til bruttoenergiforbruget.

3 ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARMEFORBRUGET

Størstedelen af elforbruget i boliger omsættes til varme der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning. Hvis man nedsætter elforbruget ved at bruge lavenergiprodukter, vil det forøge energiforbruget til rumopvarmning. Betydningen af et lavere elforbrug undersøges i det følgende.

I boliger falder en del af den el-relaterede varme (og personvarme) på tidspunkter, hvor der ikke er behov for varme, men i typiske husstande med udearbejdende voksne vil en stor del af el-forbruget ligge i aftentimerne, hvor der ofte er et varmebehov, idet der ikke er varmetilskud fra solindfald og samtidig et større transmissionstab (lavere udetemperaturer end om dagen). Dette giver umiddelbart en god udnyttelse af det el-relaterede varmetilskud i store dele af fyringssæsonen. Omvendt vil en væsentlig bedre isolering og ventilation med varmegenvinding mv. i fremtidens huse, indebærer en kortere fyringssæson og alt andet lige en mindre udnyttelse af ”el-varmen”.

Det skal bemærkes at brændselsforbruget til konventionel el-produktion er flere gange større end til varmeproduktion, hvilket betyder at marginalprisen på el er ca. tre gange så høj som på varme. Da det el-relaterede varmetilskud ikke kan udnyttes fuldt ud, vil den økonomiske gevinst ved el-besparelser være flere gange større end den stigende udgift til varme.

Elforbrugets konkrete betydning for varmekonsumet i det aktuelle hus, undersøges nærmere i det følgende.

3.1 Metode/fremgangsmåde

Der tages udgangspunkt i en beregningsmodel (grundmodel) af det aktuelle hus, hvor der anvendes typiske randbetingelser, svarende til det danske design reference år (DRY) og et normalt setpunkt for indetemperatur på 20 °C. Det interne varmetilskud baseres på målinger/erfaringer fra måleperioden, svarende til brugsmønstret for en almindelig familie i dagens Danmark. Denne beregning sammenlignes med en beregning på en ”el-spare-model”, hvor det mest oplagte apparatur og belysningsarmaturer udskiftes med de bedste lavenergiprodukter på markedet. Ved at sammenligne ændringen i varmekonsumet med ændringen i det potentielle varmetilskud fra elforbrug, kan sammenhængen mellem forbruget af el og varme belyses. Fyringssæsonen defineres som månederne september til maj (inkl.).

Da effekten på varmekonsumet afhænger af en række parametre der ikke er konstante, foretages der derfor en række parametervariationer, som der er redegjort for i Tabel 6 og nedenfor.

Tabel 6. Oversigt over variationer på parametre af væsentlig betydning for varmekonsumet til rumopvarmning.

| Parameter | Reference | Parametervariation |
|-------------------------|---|-----------------------------------|
| Setpunkt indetemperatur | 20 °C | 21, 23 °C |
| Klimadata | DRY | Koldt forår/efterår ¹⁾ |
| Ventilation | Balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding | Naturlig ventilation |
| Orientering | Sydvendt stue | Vestvendt |

¹⁾ Defineres i denne sammenhæng som månederne april, maj, september, oktober og november.

Det fremgår af Tabel 6, at to højere temperaturniveauer undersøges. Det første er 21 °C, som i praksis er den typiske komforttemperatur. Det andet og noget højere niveau er 23 °C, hvilket må betragtes som sjældent, og som primært vil kunne forekomme i huse med småbørnsfamilier.

Variation mht. klimadata foretages ud fra et bud på et koldt forår og efterår i Danmark og består af de fem måneder april, maj, september, oktober og november, udvalgt fra de 15 års vejrdata, der er grundlag for DRY, idet månederne med lavest middeltemperatur i perioden 1975-1989 benyttes. I Tabel 7 er således vist hvilke år det andet klimasæt består af samt middeludetemperaturer for disse måneder og de tilsvarende måneder i DRY.

Tabel 7. Koldeste måneder i fyringssæsonens overgangsperioder udvalgt fra de 15 års vejrdata, der ligger til grund for DRY. Til sammenligning er vist månedsmiddeltemperaturen i DRY.

| Måned | År | Koldeste måned [°C] | DRY [°C] |
|-----------|------|---------------------|----------|
| April | 1986 | 4,1 | 5,6 |
| Maj | 1987 | 9,2 | 11,3 |
| September | 1986 | 10,0 | 12,5 |
| Oktober | 1979 | 7,9 | 9,1 |
| November | 1985 | 1,9 | 4,8 |

Det skal bemærkes at der i det ”kolde” referenceår naturligvis indgår tilhørende soldata for de udvalgte måneder, hvilket ikke nødvendigvis vil betyde et større varmebehov (eller bedre udnyttelse af det interne varmetilskud), da solindfaldet kan være større end i DRY.

Med hensyn til ventilation foretages en variation svarende til anvendelse af naturlig ventilation frem for ventilation med varmegenvinding. I tilfældet med varmegenvinding er antaget en temperaturvirkningsgrad på 80 % og by-pass af udeluft ved udetemperaturer over 16 °C. Luftmængden er sat til 0,6 gange i timen svarende til 0,1 til infiltration og 0,5 til mekanisk ventilation eller kontrollerbar naturlig ventilation. Luftmængden ved mekanisk ventilation er derved ikke iht. gældende regler, hvor den krævede luftmængde pga. krav til udsugning fra køkkener, baderum og bryggere er væsentligt større for det aktuelle hus, men det kan i forbindelse med de nye energibestemmelser forventes at de krævede luftmængder harmoniseres, så de er de samme uanset om der anvendes naturlig ventilation eller mekanisk ventilation, og svarende til de ovenfor nævnte, idet diverse undersøgelser og erfaringer viser at et konstant luftskifte på 0,5 er tilstrækkeligt til at opretholde et tilfredsstillende indeklima.

Betydningen af en orientering af husets stuefacade mod vest undersøges, idet husets stuefacade som udgangspunkt er antaget sydvendt. En parametervariation svarende til en nordvendt stuefacade, ville umiddelbart også være relevant, men denne situation forekommer kun sjældent i praksis.

Derudover undersøges et ”best case scenario” mht. udnyttelse af det el-relaterede varmetilskud, hvor der simuleres med en indetemperatur på 23 °C, anvendes klimadata med koldt for-/efterår, naturlig ventilation (ingen varmegenvinding) og hvor stue og køkken/alrum antages vestvendt.

3.2 El-besparelser

I dette afsnit redegøres for hvor meget elforbruget kan reduceres ved brug af de bedste og mest energieffektive produkter. Udredningen er baseret primært på oplysninger fra Elsparefondens Sparel-sider på nettet og offentliggjorte resultater fra testlaboratoriet i forbrugernes hus. De meste oplagte besparelsetiltag vedrører udstyr med stort effektforbrug og/eller lang driftstid svarende til hårde hvidevarer, Tv-apparatur, pumper og ventilatorer samt belysning.

3.2.1 Ventilationsanlæg

Ventilationsanlæg med varmegenvinding i enfamiliehuse kan udformes med et specifikt elforbrug til lufttransport på 500 J/m^3 , hvilket er konklusionen på et projekt om udvikling af et energieffektivt ventilationsaggregat, jf. [4]. Dette elforbrug svarer til et effektoptag på 18 W ved et luftskifte på 0,5 gange i timen. Det mindre elforbrug vil påvirke effektiviteten af varmeveksleren og varmebehovet minimalt.

3.2.2 Cirkulationspumpe

De antages for sandsynligt at de bedste sparepumper på markedet i løbet af den nærmeste fremtid vil have et årsmidleffektoptag på 20 W, når de installeres i et velisoleret hus med et beskedent behov for varmetilførelse. Den mest almindeligt anvendte cirkulationspumpe (Grundfos UPS) har tre hastigheder med manuel omskiftning med et effektoptag på 30 – 60 W.

3.2.3 Køle/frys

I nærmeste fremtid indføres en A+/A++ mærkningsordning for køle/frys produkter. Produkter der kan henføres til klasse A++ udgør kun få procent af det nuværende marked. Traditionelle kombiskabe i klasse A++ har typisk et elforbrug på 200 kWh/år.

3.2.4 Belysning

Der foreslås følgende energimæssige forbedringer af belysningen (jf. Tabel 8):

Tabel 8. Oversigt over lyskildetyper og deres effektoptag. Der er behov for en tilpasning af sparepærens mærkeeffekt, når glødepærer erstattes af sparepærer, hvilket der er taget højde for.

| Lyskildetype | Antal [stk] | Som opført [W] | Bedst på markedet [W] |
|-----------------|-------------|----------------|-----------------------|
| Lavvolt halogen | 34 | 31 | 20 |
| Glødelampe60 | 3 | 60 | 15 |
| Glødelampe300 | 2 | 300 | 70 |
| Glødelampe25 | 2 | 25 | 7 |

3.2.5 TV-apparater

De bedste TV apparater på markedet har et effektoptag i drift på ca. 60 W og et standby-forbrug på under 1 W.

3.2.6 Vaskemaskine og tørretumbler

Den nuværende A-mærkede vaskemaskine har på grundlag af standardtest for 60°C-normalprogram et elforbrug på 0,95 kWh/vask (tidsforbrug ca. 2 timer), mens de bedste A-mærkede vaskemaskiner på markedet har et elforbrug på 0,66 kWh/vask. Det antages at normalprogrammet er repræsentativt

for elforbruget ved vaskemaskinens normale brug, og på den baggrund kan elforbruget reduceres med ca. 30 %.

Den nuværende C-mærkede aftrækstørretumbler har på grundlag af standardtest for normalprogram et elforbrug på 3,3 kWh/portion (tidsforbrug 85 min), mens de bedste A-mærkede tørretumblere på markedet har et elforbrug på ca. 1,65 kWh/portion. Det antages at normalprogrammet er repræsentativt for elforbruget ved vaskemaskinens normale brug, og på den baggrund kan elforbruget reduceres med 50 %.

3.2.7 Opvaskemaskine

De bedste opvaskemaskiner på markedet har et elforbrug på 0,80 kWh/vask (tidsforbrug ca. 2 timer) på grundlag af standardtest for normalprogram. Det antages at normalprogrammet er repræsentativt for elforbruget ved vaskemaskinens normale brug.

3.2.8 Ovn

Den eksisterende ovn er B-mærket og har ved traditionel brug et elforbrug på 0,99 kWh (1 times drift). Elforbruget kan reduceres til 0,57 kWh ved brug af det bedste A-mærkede produkt på markedet svarende til en reduktion på 42 %.

3.3 Fordeling af det el-relaterede varmetilskud

De skitserede el-besparelser giver anledning til ændrede varmetilskud i de enkelte rum. Fordelingen af varmetilskuddet over døgnet foretages som tidligere omtalt på timebasis ud fra de udførte el-målinger (grundmodel). I Tabel 9 er vist fordelingen af det el-relaterede varmetilskud før og efter udskiftning til lavenergiprodukter, og er opgjort i pct. af det største varmetilskud for hver time på døgnet svarende til 100 %, hvilket er det format BSIM benytter. For ”øvrige rum” er timefordelingen i pct. af det største varmetilskud ens, hvilket dog ikke gælder værdien af det største varmetilskud for de enkelte rum.

Tabel 9. Fordeling af varmetilskud i pct. af største varmetilskud.

| Time | Grundmodel | | | El-spare-model | | |
|--------------------------|------------|--------------|------------|----------------|--------------|------------|
| | Bryggers | Køkken/alrum | Øvrige rum | Bryggers | Køkken/alrum | Øvrige rum |
| 1 | 86 | 29 | 29 | 90 | 26 | 29 |
| 2 | 84 | 25 | 24 | 89 | 22 | 24 |
| 3 | 84 | 25 | 19 | 89 | 22 | 19 |
| 4 | 84 | 24 | 17 | 89 | 21 | 17 |
| 5 | 84 | 23 | 17 | 89 | 21 | 17 |
| 6 | 86 | 28 | 19 | 91 | 25 | 19 |
| 7 | 87 | 35 | 28 | 92 | 31 | 28 |
| 8 | 88 | 33 | 30 | 92 | 30 | 30 |
| 9 | 90 | 32 | 29 | 93 | 29 | 29 |
| 10 | 93 | 34 | 30 | 95 | 30 | 30 |
| 11 | 93 | 32 | 29 | 94 | 28 | 29 |
| 12 | 93 | 33 | 27 | 94 | 30 | 27 |
| 13 | 94 | 35 | 26 | 94 | 32 | 26 |
| 14 | 92 | 32 | 26 | 93 | 28 | 26 |
| 15 | 87 | 33 | 27 | 91 | 30 | 27 |
| 16 | 85 | 35 | 29 | 90 | 32 | 29 |
| 17 | 92 | 45 | 33 | 94 | 42 | 33 |
| 18 | 91 | 71 | 54 | 95 | 70 | 54 |
| 19 | 97 | 100 | 74 | 99 | 100 | 74 |
| 20 | 96 | 79 | 93 | 98 | 76 | 93 |
| 21 | 100 | 68 | 100 | 100 | 63 | 100 |
| 22 | 96 | 48 | 76 | 97 | 42 | 76 |
| 23 | 93 | 41 | 58 | 95 | 36 | 58 |
| 24 | 88 | 34 | 42 | 92 | 30 | 42 |
| Varmetilskud = 100 % [W] | 231 | 251 | 405 | 186 | 172 | 229 |

3.4 Beregningsresultater

De skitserede oplagte el-besparelser kan forventes at reducere det årlige elforbrug fra 3853 kWh til 2290 kWh (se bilag 3), svarende til en reduktion på 41 %. Det interne varmetilskud fra apparatur og belysning reduceres med 40 % (fra 2,63 W/m² til 1,58 W/m²).

Hvis der regnes på energiforbruget til rumopvarmning uden og med de skitserede el-besparelser, og med parametervariationer som tidligere omtalt, kan der beregnes energiforbrug og udnyttelsesfaktorer, som vist i Tabel 10. I bilag 4 er specificeret varmebalancer og gennemsnitlige inde- og udetemperaturer for de enkelte beregningsmodeller.

Tabel 10. Beregnede energiforbrug til rumopvarmning for modeller med og uden el-besparelser samt tilhørende udnyttelsesfaktorer for det el-relaterede varmetilskud.

| Beregningsforudsætninger | Energiforbrug til rumopvarmning [kWh/m ² /år] | | $\eta_{i,y}$ ¹⁾ [-] | $\eta_{i,h}$ ¹⁾ [-] |
|--------------------------|---|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Grundmodel | El-spare-model | Hele året | Fyringssæson |
| Reference | 35,3 | 40,8 | 0,53 | 0,71 |
| INDETEMP21 | 39,5 | 45,2 | 0,56 | 0,75 |
| INDETEMP23 | 48,4 | 54,7 | 0,61 | 0,81 |
| KOLDTFOR-/EFTERÅR | 38,5 | 44,4 | 0,58 | 0,77 |
| NATURVENT | 58,9 | 65,1 | 0,60 | 0,80 |
| VESTVENDT | 40,5 | 46,2 | 0,55 | 0,74 |
| BESTCASE | 90,7 | 97,7 | 0,67 | 0,90 |

¹⁾ Udnyttelsesfaktor for internt varmetilskud = Δ Varmeforbrug / Δ Varmetilskud

Det fremgår af Tabel 10, at der er stor forskel på de beregnede energiforbrug. At en del af de undersøgte parametervariationer, har så stor effekt på energiforbruget, skyldes at der som udgangspunkt er tale om et særdeles velisoleret hus med et energiforbrug på ca. 50 % af et tilsvarende opført efter det nuværende bygningsreglement.

Udnyttelsesfaktoren angiver hvor stor en del af det potentielle el-relaterede varmetilskud som nyttiggøres til rumopvarmning. Udnyttelsesfaktoren afhænger især af husets evne til akkumulering af overskudsvarme og forholdet mellem varmetilskud og varmetab. En udnyttelsesfaktor på 0,53 set over hele året, som beregnet for reference-forudsætninger, betyder at varmeforbruget forøges med 53 % af det reducerede interne varmetilskud. Sagt på en anden måde; den givne ændring i det interne varmetilskud slår igennem med 53 % på varmeforbruget. Den relativt lille udnyttelsesfaktor set over hele året skyldes bl.a. at varmetilskuddet ikke kan udnyttes i sommerperioden. Ses der kun på fyringssæsonen, er udnyttelsen naturligvis større, svarende til 71 %.

Hvis setpunktet for indetemperaturen sættes op, ses det at udnyttelsesfaktoren ikke overraskende stiger, og forøgelsen af varmeforbruget vil derfor være relativt større, når det interne varmetilskud reduceres. Koldere for- og efterårsmåneder har samme effekt, hvilket også gælder, når der ikke benyttes varmegenvinding (model ”naturvent”) samt når solindfaldet mindskes (model ”vestvendt”). For best-case-scenariet mht. udnyttelse af varmetilskuddet, kan beregnes en udnyttelsesfaktor på 0,67.

På baggrund af de udførte parametervariationer kan det konkluderes at varmemeforbruget til rumopvarmning, kan forventes at blive forøget med 53 – 67 % af det reducerede potentielle interne varmetilskud. I praksis vil en udnyttelsesgrad på 55-60 % kunne forventes.

På baggrund af den beregnede el-besparelse og de øgede varmeudgifter samt forholdet mellem marginalprisen på henholdsvis el og varme, kan beregnes hvor stor en pct. -del af el-besparelsen, der bliver ”spist op” af et stigende varmemeforbrug. Den typiske forbrugermarginalpris på varme er 0,50 kr./kWh, mens den tilsvarende elpris er 1,50 kr./kWh. Der regnes derfor med en faktor 3 på elprisen ift. varmeprisen. Den tilbageværende el-besparelse kan beregnes således:

$$\text{Tilbageværende elbesparelse [\%]} = \frac{\text{elbesparelse} \cdot 3 - \text{ekstra var meforbrug}}{\text{elbesparelse} \cdot 3} \cdot 100 \%$$

I Tabel 11 er den tilbageværende el-besparelse beregnet. Det fremgår heraf at den resulterende økonomiske gevinst ved el-besparelser er mellem 81 og 85 % af el-besparelsen. Man kan med andre ord sige at varmeregningen forøges med 15-19 % af den totale opnåede reduktion af elregningen. El-besparelser bliver altså kun i beskedent omfang spist op af et stigende varmemeforbrug.

Tabel 11. Tilbageværende el-besparelse i pct. af den totale el-besparelse (i kr.) efter fradrag for effekten af et mindre el-relateret varmetilskud og dermed større varmemeforbrug til opvarmning.

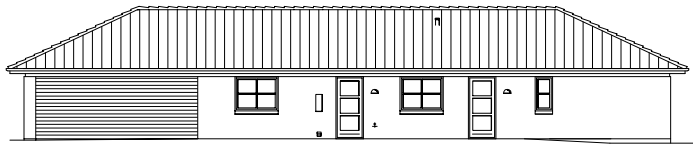
| Beregningsforudsætninger | Tilbageværende el-besparelse [%] |
|--------------------------|----------------------------------|
| Reference | 85 |
| INDETEMP21 | 84 |
| INDETEMP23 | 83 |
| KOLDTFOR-/EFTERÅR | 84 |
| NATURVENT | 83 |
| VESTVENDT | 84 |
| BESTCASE | 81 |

Det skal bemærkes at den beregnede tilbageværende el-besparelse afhænger af i hvor stor udstrækning man gennemfører el-besparelser på udstyr med varmespild, da varmetilskud og varmemeforbrug derved påvirkes. Større grad af besparelser på udstyr med varmespild giver større grad af tilbageværende el-besparelse.

4 REFERENCER

- [1] SBI Meddelelse 129: Beregning af bruttoenergiforbrug. By og Byg, 2000.
- [2] Udkast til nye energibestemmelser i bygningsreglementerne. Erhvervs- og Boligstyrelsen, Juli 2004.
- [3] BSIM2002 (version 3.4.8.11): Et integreret EDB-værktøj til termisk analyse af bygninger og installationer (afløseren for Tsb3). Statens Byggeforskningsinstitut, 2004.
- [4] Udvikling og optimering af et energieffektivt straightner ventilationsaggregat med indbygget chopper varmeveksler. Teknologisk institut februar 2003

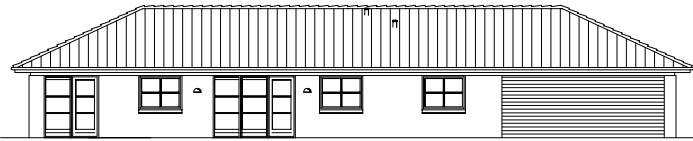
BILAG 1: FACADER, PLAN OG TVÆRSNIT AF HUSET



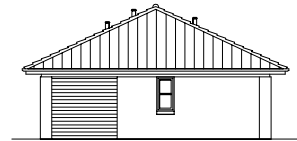
Facade mod Øst



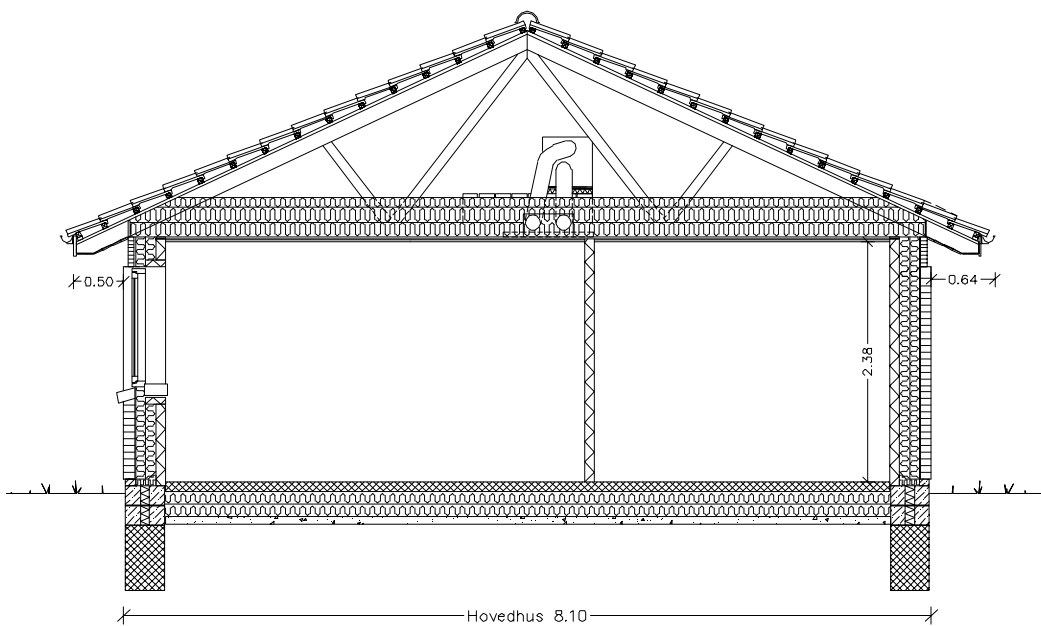
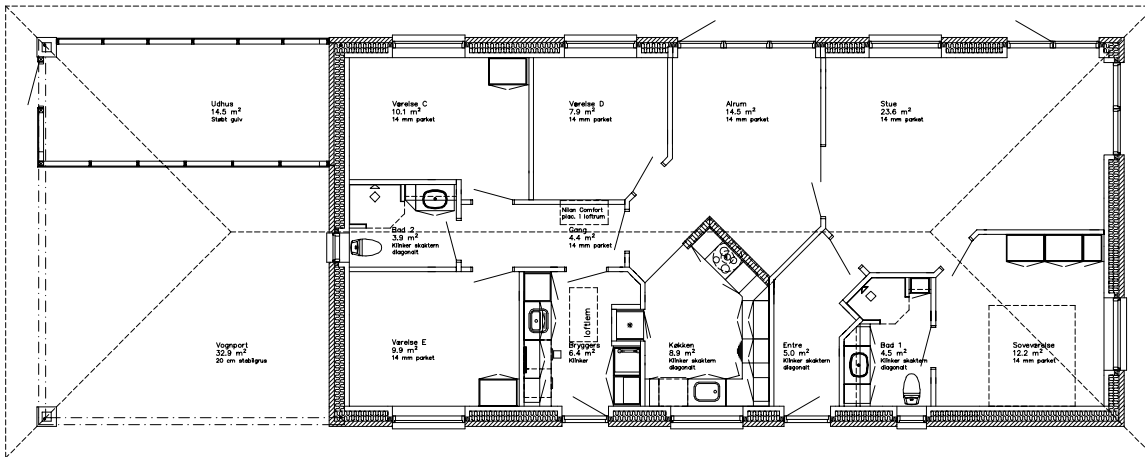
Gavl mod Nord



Facade mod Vest



Gavl mod Syd



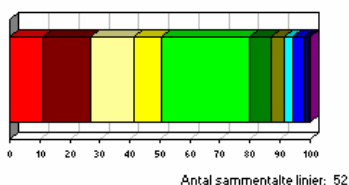
BILAG 2: ELFORBRUG – KORTLÆGNINGSDATA FOR GRUNDMODEL

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

| # | El-forbrug. | Energiforbrug | |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------|------------|
| | | kWh/år | % af total |
| | Varme | | |
| 1 | Tørretumbler (aftræk) | 95 | 10,7 |
| 2 | Kogesektion | 140 | 15,9 |
| 3 | Dvn (indbygning) | 128 | 14,5 |
| 4 | Dpvaskemaskine | 80 | 9,1 |
| 5 | Vaskemaskine | 262 | 29,7 |
| 6 | El-kedel (2 ltr./dag) | 61 | 6,9 |
| 7 | Hårtørrer | 39 | 4,4 |
| 8 | Mikrobølgeovn inkl. stand-by | 27 | 3,1 |
| 9 | Strygejern med damp | 34 | 3,8 |
| 10 | Brødrister | 13 | 1,4 |
| 11 | Vaffeljern | 3 | 0,3 |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| Sum af resterende registreringer: | | | |
| Total sum: | | 881 | 100,0 |

Procentdiagram:



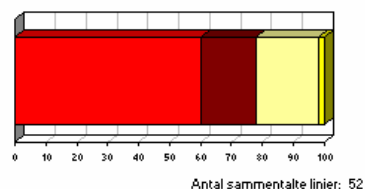
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

| # | El-forbrug. | Antal | Energiforbrug | |
|-----------------------------------|---------------------|-------|---------------|------------|
| | | | kWh/år | % af total |
| | Lys | | | |
| 1 | Lavvoltage, halogen | 34 | 538 | 59,9 |
| 2 | Glødelampe60 | 3 | 162 | 18,1 |
| 3 | Glødelampe300 | 2 | 180 | 20,1 |
| 4 | Glødelampe25 | 2 | 18 | 2,0 |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| Sum af resterende registreringer: | | | | |
| Total sum: | | | 897 | 100,0 |

Procentdiagram:



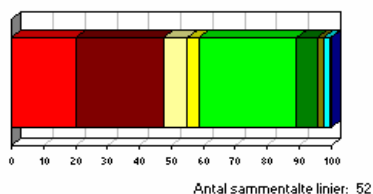
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

| # | El-forbrug. | Energiforbrug | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|------------|
| | | kWh/år | % af total |
| | Elektronik | | |
| 1 | CTS | 175 | 20,2 |
| 2 | DIVERSE, husholdning | 237 | 27,4 |
| 3 | Hi-Fi, 20h stb./dg | 65 | 7,5 |
| 4 | TV #1, 23h stb./dg | 33 | 3,8 |
| 5 | TV #2, 23h stb./dg | 264 | 30,4 |
| 6 | PC m. screen-save | 56 | 6,5 |
| 7 | Video, 23h stb./dg | 18 | 2,1 |
| 8 | El-ur/lock-radio | 18 | 2,0 |
| 9 | Farve-Printer | 1 | 0,1 |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| Sum af resterende registreringer: | | | |
| Total sum: | | 867 | 100,0 |

Procentdiagram:



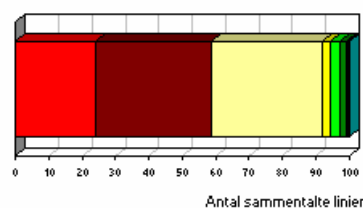
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

| # | El-forbrug. | Energiforbrug | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------|------------|
| | | kWh/år | % af total |
| | Mekanik | | |
| 1 | Ventilationsanlæg | 289 | 23,9 |
| 2 | Køle-/fryseskab | 420 | 34,7 |
| 3 | Cirkulationspumpe | 403 | 33,3 |
| 4 | Emhætte inkl. belysning | 30 | 2,5 |
| 5 | Støvsuger | 34 | 2,8 |
| 6 | Foodprocessor/frøremaskine | 23 | 1,9 |
| 7 | Håndmixer | 6 | 0,5 |
| 8 | Sjymaskine | 4 | 0,3 |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| Sum af resterende registreringer: | | | |
| Total sum: | | 1.209 | 100,0 |

Procentdiagram:



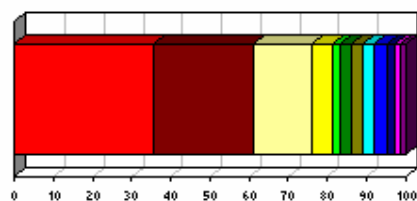
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

| # | EI-forbrug. | Energiforbrug | |
|--|---------------|---------------|------------|
| | | kWh/år | % af total |
| | Rum | | |
| 1 | Bruggers | 1.367 | 35,5 |
| 2 | Køkken | 992 | 25,7 |
| 3 | Stue | 564 | 14,6 |
| 4 | Kontor | 204 | 5,3 |
| 5 | Barnekammer 2 | 78 | 2,0 |
| 6 | Alrum | 112 | 2,9 |
| 7 | Soveværelse | 110 | 2,8 |
| 8 | Barnekammer 1 | 110 | 2,8 |
| 9 | Bad/Toilet 1 | 131 | 3,4 |
| 10 | Bad/Toilet 2 | 75 | 2,0 |
| 11 | Entre | 56 | 1,4 |
| 12 | Gang | 56 | 1,4 |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| Sum af resterende registreringer: | | | |
| Total sum: | | 3.855 | 100,0 |

Procentdiagram:



Antal sammentalte linier: 52

Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

BILAG 3: ELFORBRUG – EL-SPARE-MODEL

I kolonnen benævnt ”tekst” er der med *kursiv* angivet for hvilke komponenter der er forudsat lavenergiprodukter.

Bilag 4: Elforbrugets betydning for varme-forbruget

I dette bilag er specificeret varmebalancer og gennemsnitlige inde- og udetemperaturer for parametervariationer på en grundmodel og el-spare-model af huset. Bidrag til varmebalancen er angivet i kWh pr. m² opvarmet etageareal.

Grundmodeller.

| | Reference | Indetemp21 | Indetemp23 | Koldtfor- efterår | Naturvent | Vestvendt | Bestcase |
|---------------|-----------|------------|------------|----------------------|-----------|-----------|----------|
| qHeating | 35,3 | 39,5 | 48,4 | 38,5 | 58,9 | 40,5 | 90,7 |
| qCooling | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| qInfiltration | -6,7 | -7,0 | -7,8 | -7,1 | -6,6 | -6,6 | -8,1 |
| qVenting | -2,0 | -1,4 | -0,6 | -0,9 | -0,9 | -2,2 | -0,2 |
| qSunRad | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,1 | 22,0 | 16,2 | 15,3 |
| qPeople | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 |
| qEquipment | 22,7 | 22,7 | 22,7 | 22,7 | 22,7 | 22,7 | 22,7 |
| qTransmission | -72,9 | -77,0 | -85,2 | -76,8 | -71,7 | -72,1 | -88,4 |
| qMixing | -0,7 | -0,6 | -0,6 | -0,7 | -0,8 | -0,9 | -0,8 |
| qVentilation | -7,0 | -7,4 | -8,2 | -7,2 | -32,9 | -6,9 | -40,6 |
| Sum | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| tOutdoor mean | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 3,9 | 5,0 | 5,0 | 3,9 |
| tOp mean | 20,7 | 21,6 | 23,5 | 20,6 | 20,5 | 20,7 | 23,3 |

El-spare-modeller.

| | Reference | Indetemp21 | Indetemp23 | Koldtfor- efterår | Naturvent | Vestvendt | Bestcase |
|---------------|-----------|------------|------------|----------------------|-----------|-----------|----------|
| qHeating | 40,8 | 45,2 | 54,7 | 44,4 | 65,1 | 46,2 | 97,7 |
| qCooling | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| qInfiltration | -6,6 | -7,0 | -7,7 | -7,0 | -6,5 | -6,6 | -8,1 |
| qVenting | -1,0 | -0,6 | -0,2 | -0,3 | -0,4 | -1,2 | -0,1 |
| qSunRad | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,1 | 22,0 | 16,2 | 15,3 |
| qPeople | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 |
| qEquipment | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 |
| qTransmission | -72,1 | -76,2 | -84,6 | -76,0 | -71,1 | -71,4 | -88,1 |
| qMixing | -0,4 | -0,4 | -0,3 | -0,4 | -0,6 | -0,7 | -0,5 |
| qVentilation | -6,9 | -7,3 | -8,1 | -7,1 | -32,7 | -6,8 | -40,6 |
| Sum | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| tOutdoor mean | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 3,9 | 5,0 | 5,0 | 3,9 |
| tOp mean | 20,6 | 21,4 | 23,3 | 20,4 | 20,4 | 20,5 | 23,2 |