

Henrik Tommerup

Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer 2

DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET



Rapport
BYG · DTU R-098
2004
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-163-3

Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer 2

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 Brøndby og er opbygget af skalmurede porebetonelementer, 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-001) samt målinger af opvarmningsbehov (R-023).

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	3
RESUMÉ	5
1 BAGGRUND OG FORMÅL	7
1.1 BAGGRUND	7
1.2 FORMÅL	7
2 MÅLING AF BRUTTOENERGIFORBRUG	8
2.1 BESKRIVELSE AF MÅLINGER	8
2.2 GENNEMGANG AF MÅLINGER	9
2.3 MÅLINGER SAMMENHOLDT MED FORVENTEDE KRAV TIL BRUTTOENERGIFORBRUG	27
3 ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARMEFORBRUGET	29
3.1 METODE/FREMGANGSMÅDE	29
3.2 EL-BESPARELSER.....	31
3.3 FORDELING AF DET EL-RELATEREDE VARMETILSKUD	32
3.4 BEREGNINGSRISULTATER	34
4 REFERENCER	36
BILAG 1: FACADER, PLAN OG TVÆRSNIT AF HUSET	37
BILAG 2: ELFORBRUG – KORTLÆGNINGSDATA FOR GRUNDMODEL	38
BILAG 3: ELFORBRUG – EL-SPARE-MODEL	42
BILAG 4: ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARMEFORBRUGET	44

RESUMÉ

Denne rapport omhandler målinger af bruttoenergiforbrug i fyringssæsonen 2003/2004 i et typisk 133 m² enfamiliehus, der er opført af ydervægselementer i stålskelet. 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 133 døgn, fra d. 20/12 - 2003 til d. 30/4 - 2004. I denne periode har huset brugt 4838 kWh til rumopvarmning og 539 kWh til varmt brugsvand (svarende til et årligt forbrug på 1479 kWh). Varmetabet fra varmeinstallationen er anslået til ca. 0,44 W/m² svarende til 187 kWh. Den gennemsnitlige inde- og udetemperaturen har i perioden været hhv. 23,1 °C og 3,6 °C. Ventilationsanlæggets temperaturvirkningsgrad har i perioden været 79 % ved balancerede luftmængder og et luftskifte på 0,3 h⁻¹. Hertil skal tillægges en infiltration, der tidligere er bestemt til ca. 0,11 h⁻¹.

El-forbruget er målt over en periode på 187 døgn, fra 9/12 - 2003 til 12/6-2004. Det samlede forbrug i perioden er målt til 2507 kWh, der kan opskaleres til et årsforbrug på 4894 kWh. Heraf udgør forbruget til hårde hvidevarer 25 %, som omtrent er som forventet ud fra energimærkningsdata mv. 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 0,94 W/m², mens varmetilskuddet fra apparatur og belysning er opgjort til 3,05 W/m², hvilket samlet set resulterer i et gennemsnitligt internt varmetilskud på 3,99 W/m².

Der er foretaget sammenligninger mellem det målte energiforbrug til rumopvarmning og detaljerede beregninger med bygningssimuleringsprogrammet 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 benyttes ude- og indeklima, som foreskrevet ved eftervisning af at energirammen er overholdt, kan beregnes et bruttoenergiforbrug, der svarer til 80 % af

energirammen, og huset kan dermed næsten klassificeres som et lavenergihus i klasse 2, idet kravet er at energiforbruget udgør under 75 pct. af energirammen. Huset kan altså ikke opnå en klassificering som lavenergihus, hvilket dog heller ikke har været tilstræbt ved projektering af huset. De mest oplagte tiltag til yderligere reduktion af energiforbruget og lavenergiklassifikation er bedre isolerende vinduer og et solvarmeanlæg til produktion af varmt brugsvand.

Elforbrugets betydning for varmekonsumet er undersøgt ved beregninger på en grundmodel af huset baseret på målinger og en el-spare-model, hvor der er antaget anvendt de mest energieffektive produkter på markedet. Ved oplagte el-besparelser kan elforbruget reduceres med 31 %, således at det interne el-relaterede potentielle varmetilskud reduceres fra 3,05 til 1,92 W/m². Det forøgede energiforbrug til rumopvarmning er sammenholdt med reduktionen i det potentielle varmetilskud, og da effekten på varmekonsumet afhænger af rumtemperatur, udeklima, ventilationssystem og solindfald, er der foretaget en række parametervariationer. Beregningerne har vist, at omkring 53 - 64 % 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 ”opsuge” 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 varmeforbrugsmålinger 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 varmeforbruget, 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 varmeforbruget 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.

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 varmeforbrug til hhv. rumopvarmning og varmt brugsvand er der anvendt HG energimålere fra Brunata (type HGQ1). Målerne består af en flowmåler og to temperaturfølere (til måling af frem- og returløbstemperatur) samt selve måleren med regneværk. Nøjagtigheden kan ifølge producenten 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 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

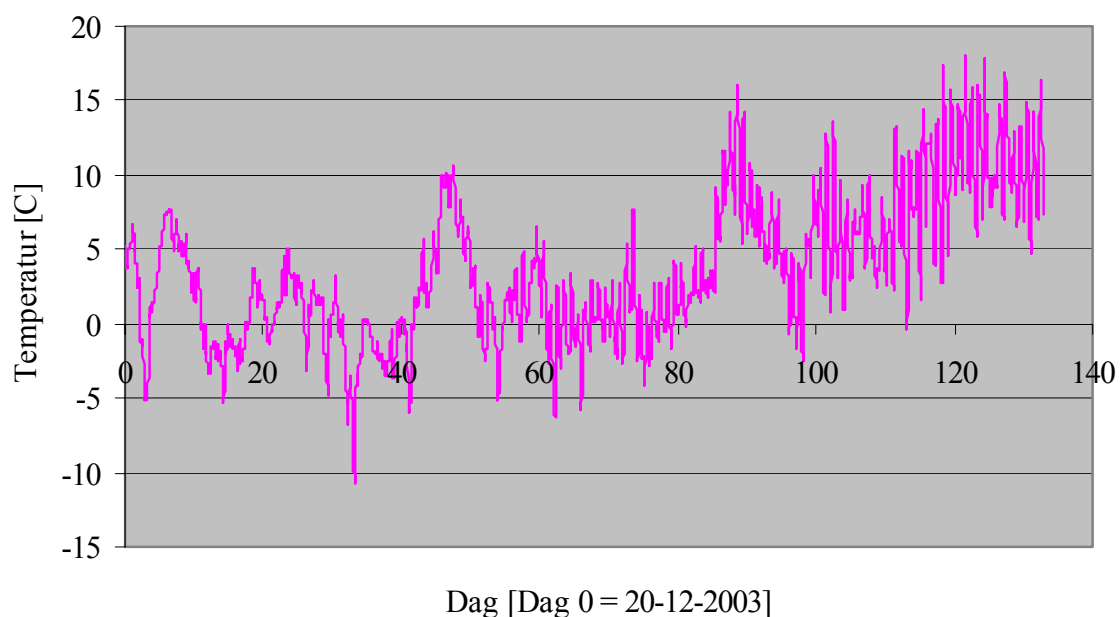
I det følgende gennemgås målinger udført i perioden 20/12-2003 til 30/4-2004, svarende til en periode på 133 dage.

Det aktuelle hus er som nævnt beliggende i Brøndby og opført i år 2000. Huset har i en periode i efteråret 2003 været ubeboet, men primo december 2003 indflyttede nye beboere (to personer). Overordnede tegninger af huset (plan, facader og tværsnit), fremgår af bilag 1.

2.2.1 Udetemperatur

Udetemperaturen er målt i skygge under tagudhæng ved nordvendt gavl.

Temperaturens variation i måleperioden er vist i Figur 1. Middelttemperaturen for perioden kan beregnes til 3,6 °C.



Figur 1. Udetemperatur.

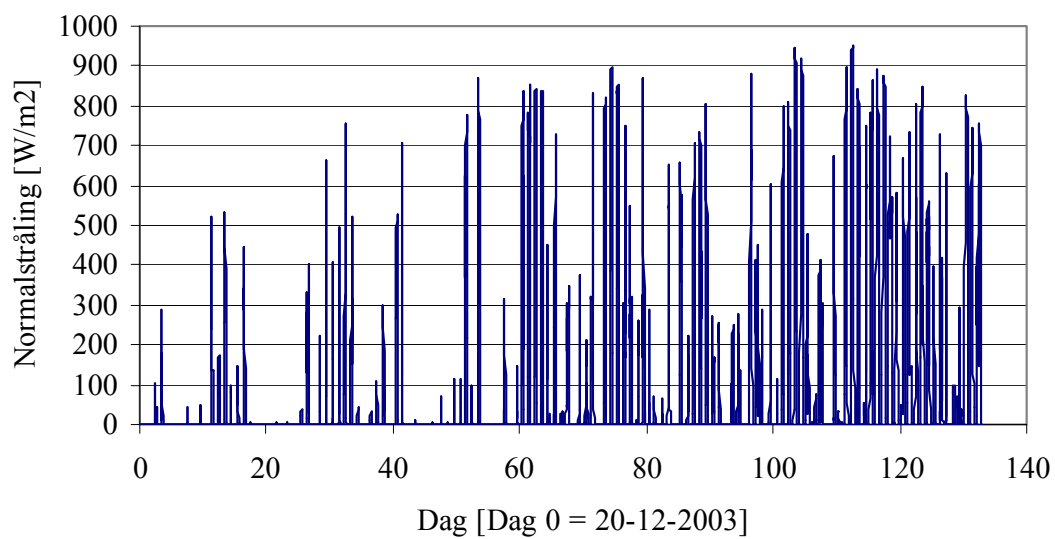
Det ses at der i vintermånederne har været perioder med meget mildt vejr, men også perioder med kraftigt frost. Der er en forholdsvis markant overgang fra vinter til forår svarende til medio marts (dag 85), hvor temperaturniveauet stiger betydeligt og fastholdes perioden ud.

2.2.2 Solindfald

Der er ikke målt solindfald ved selve huset i Brøndby. Der er imidlertid foretaget solmålinger ved den nærliggende vejrstation på DTU (beliggende ca. 25 km nord for Brøndby), som det antages for tilstrækkeligt nøjagtigt at benytte i de efterfølgende beregninger/analyser af energiforbrug.

Soldata bestående af den direkte normalstråling og den diffuse stråling på vandret anvendes sammen med målte udetemperaturer i Brøndby til generering af udeklimadata til brug i programmet BSIM i forbindelse med sammenligning af det målte og forventede/beregnete opvarmningsbehov.

Den direkte normalstråling i perioden er vist i Figur 2.



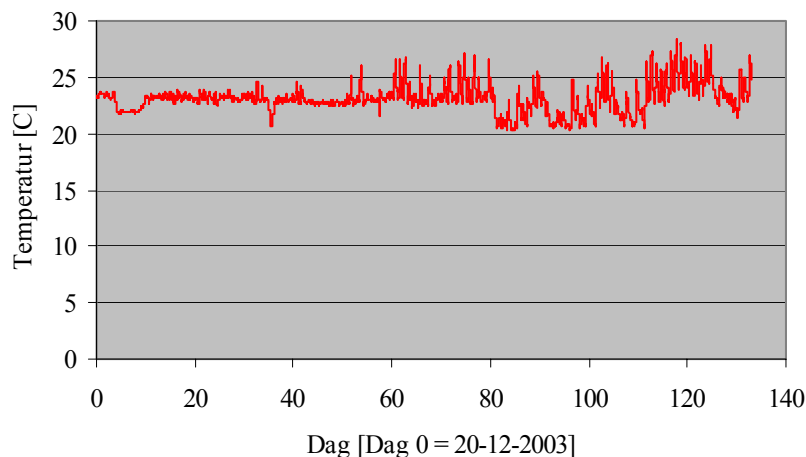
Figur 2. Normalstrålingen i måleperioden.

Figur 2 viser at der har været et meget sparsomt solindfald i en længerevarende periode fra måleperiodens start og indtil medio februar. Derefter har der været været solrigt. Alt i alt ser de målte data fornuftige ud, og afspejler hvad man kan forvente.

2.2.3 Indetemperatur

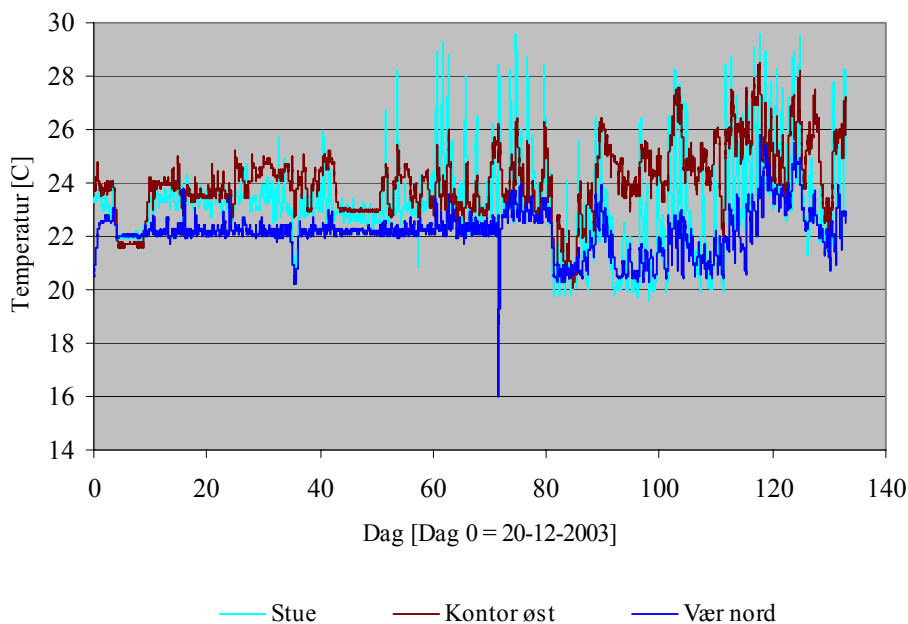
Indetemperaturen er målt vha. de omtalte temperaturloggere, placeret på indvendige vægge i samtlige rum (med undtagelse af gang og entre) og i en højde af ca. 1,5 m fra gulvoverfladen.

Figur 3 nedenfor viser den gennemsnitlige indetemperatur, der er en arealvægtet middelværdi af målinger i de enkelte rum. Det ses at middeltemperaturen har været relativt stabil i måleperioden. Middeltemperaturen er beregnet til 23,1 °C. De høje temperaturer fører generelt til et væsentligt forøget opvarmningsbehov.



Figur 3. Middeltemperaturen i huset.

Indetemperaturen i nogle udvalgte rum er vist i nedenstående Figur 4.



Figur 4. Indetemperaturer i udvalgte rum.

Det ses at de laveste temperaturer ikke overraskende er målt i det nordvendte værelse, mens de klart højeste temperaturer er målt i stuen, hvor det ses at temperaturen når op på ca. 29 °C. Dette skyldes bl.a. et relativt stort glasareal mod syd og vest og i det tilstødende køkken/alrum. Middeltemperaturerne i de to rum har været hhv. 22,2 og 23,2 °C.

Den højeste middeltemperatur er målt i det østvendte kontor (beliggende midt i huset), svarende til 24,1 °C. Der har især været et højere temperaturniveau i den sidste del af perioden, hvilket kan skyldes en opjustering af termostattemperaturen efter en generel nedjustering omkring dag 80.

Det generelle temperaturdyk i starten af perioden og omkring dag 50 skyldes at beboerne har været hhv. bortrejst i forbindelse med julen og på ferie. Det skal i øvrigt bemærkes at der omkring 70 sker et pludseligt temperaturfald i det nordvendte værelse, hvilket kan skyldes at et åbentstående vindue.

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.

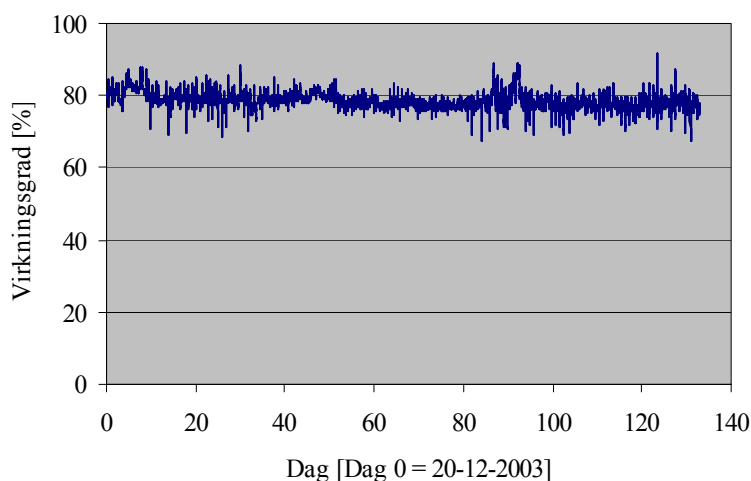
Det aktuelle ventilationsanlæg med varmegenvinding består af et aggregat med veksler og ventilatorer mv., der er placeret i bryggers. Kanalsystemet er integreret i den nederste del af loftisoleringen. Temperaturvirkningsgraden bestemmes på baggrund af temperaturer målt umiddelbart uden for aggregatet, hvilket tilnærmelsesvis vil svare til systemets temperaturvirkningsgrad.

I den betragtede periode har der kunne måles følgende middeltemperaturer:

T_{indtag}	=	3,8 °C
T_{afkast}	=	11,8 °C
$T_{\text{udsugning}}$	=	22,8 °C
$T_{\text{indblæsning}}$	=	18,7 °C

På denne baggrund kan den gennemsnitlige temperaturvirkningsgrad beregnes til 79 %. Det er af hensyn til energieffektiviteten vigtigt at der indblæses og udsuges omtrent samme luftmængde gennem ventilationsanlægget (balanceret ventilation). Kontrolmålinger har vist at dette er tilfældet og at luftmængden i måleperioden har svaret til et luftskifte på $0,3 \text{ h}^{-1}$. Dette er lidt mindre end tilsigtet svarende til bygningsreglementets krav på $0,5 \text{ h}^{-1}$, hvilket skyldes en fejl fra montørens sider, der efterfølgende er rettet op på.

I Figur 5 er vist temperaturvirkningsgradens variation gennem måleperioden, og som det ses har den været relativt stabil.



Figur 5. Variation af temperaturvirkningsgraden.

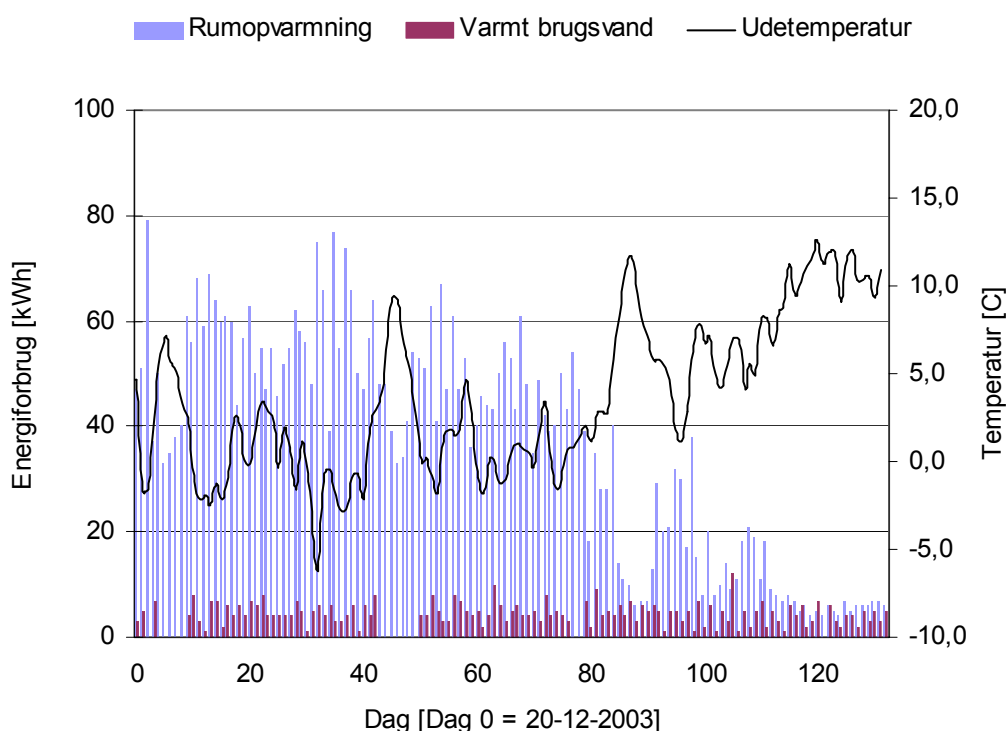
2.2.5 Varmeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand

Energiforbruget er i måleperioden målt med separate flow-/energimålere på varme afsat i gulvvarmeanlægget og til varmt brugsvand.

Figur 6 viser forbruget for de enkelte dage i måleperioden. Udetemperaturen er også vist (døgnmiddelværdi), idet den sammen med solindfaldet er afgørende for opvarmningsbehovet. Det ses at forbruget til rumopvarmning er størst for dag 2, selvom udetemperaturen er betydeligt lavere omkring dag 30, hvilket bl.a. skyldes et betydeligt mindre solindfald på denne dag.

Det ses også at varmtvandsforbruget er forholdsvis lille i forhold til varmekonsumet til rumopvarmning. Rumvarmekonsumet er i øvrigt meget begrænset fra ca. dag 85 (medio marts), hvilket især skyldes et betydeligt høje udetemperaturniveau.

I den betragtede periode har der været et varmekonsum til rumopvarmning på 4838 kWh og 539 kWh til varmt brugsvand (= årligt forbrug på 1479 kWh). Det samlede forbrug af varme i måleperioden har været 8549 kWh, som inkluderer varmekonsum i baderum/bryggers og varmetab fra varmeinstallationen.



Figur 6. Energiforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand.

Huset opvarmes med fjernvarme. Varmeinstallationen består af en fjernvarmeunit med varmeveksler (indirekte fjernvarme) og varmtvandsbeholder (100 liter og velisoleret). mv. samt et shunt aggregat med pumpe, der regulerer varmetilførslen til de enkelte gulvvarmekredse. Varmt brugsvand fremstilles ved direkte fjernvarme i varmtvandsbeholder med spiralveksler. Gulvvarmeanlæggets fremløbstemperatur reguleres automatisk efter behovet for varme hen over fyringssæsonen, og har i perioden i gennemsnit været ca. 32 °C. Ud fra målinger af energiforbrug

og volumenstrøm kan der beregnes en gennemsnitlig afkøling i gulvvarmeanlægget på 4,9 °C. Den gennemsnitlige afkøling af det leverede fjernvarmevand har i perioden været 45 °C.

2.2.6 Varmetab fra varmeinstallation

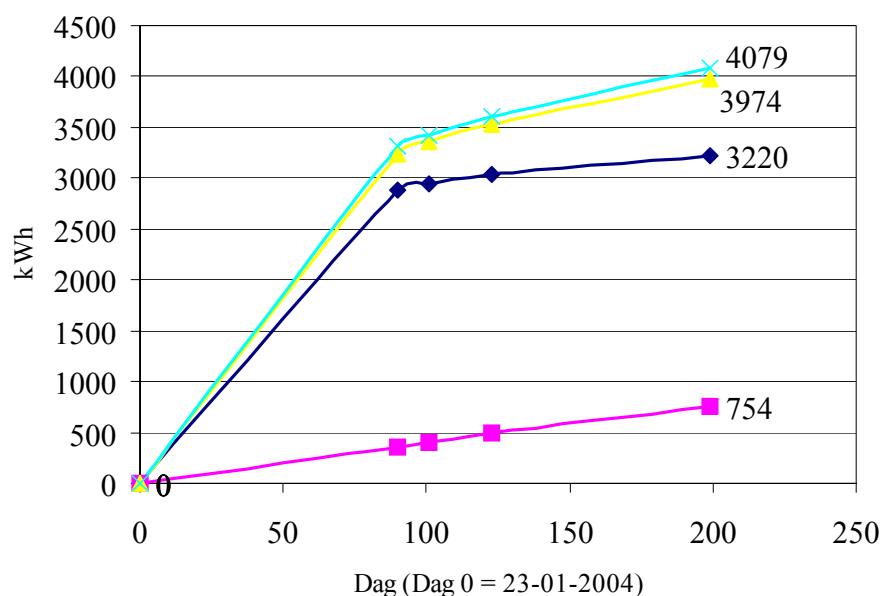
Varmetabet fra varmeinstallationen kan bestemmes ud fra målinger af den samlede leverede varme til huset (fjernvarmeværkets måler) fratrukket varmeforbruget til rumopvarmning og varmt brugsvand. Energimåleren på varmt brugsvand er placeret på sekundærsiden (brugsvandssiden) af varmtvandsbeholderen og varmetabet fra varmtvandsbeholderen indgår således ikke i denne måling, mens energimåleren på gulvvarme er placeret efter varmeveksler og lige før shunt aggregat. For det pågældende hus vil det målte varmetab derfor omfatte tab fra varme- og varmtvandsrør, varmtvandsbeholder, ventiler og pumpe mm, som er placeret mellem fjernvarmeværket måler og de to varmemålere på gulvvarme og varmt brugsvand. Varmeinstallationen er vist i Figur 7.



Figur 7. Fjernvarmeinstallationen i forsøgshuset i Brøndby. Shunt aggregat ses nederst til venstre. Øverst til højre ses en isoleret beholder der indeholder varmtvandsbeholder og varmeveksler.

Varmtvandsbeholder og veksler er placeret i en velisoleret kappe, mens den øvrige varmeinstallation (pumpe, fordelingsrør, shunt aggregat, diverse ventiler mm.) er uisoleret, hvilket er typisk for almindelige fjernvarmeinstallationer i småhuse. Omfanget af varme rør mv. i den øvrige varmeinstallation er dog forholdsvis begrænset og varmetabet kan derfor forventes at være beskedent.

Figur 8 viser de enkelte målte varmeforbrug i en periode på 200 dage svarende til 23/1-2004 til 9/8-2004. Alle forbrug er akkumuleret over perioden med Dag 0 som reference.



◆ Rumopvarmning ■ Varmt brugsvand ▲ Opvarmning total ✕ Leveret varme

Figur 8. De enkelte målte varmeforbrug.

Det ses af Figur 8 at der kun er en lille forskel på det målte totale forbrug (leveret varme) og summen af varmeforbruget til rumopvarmning og varmt brugsvand (opvarmning total), svarende til 105 kWh eller $0,16 \text{ W/m}^2$ set over perioden. Dette er varmetabet fra den del af varmeinstallationen som ligger mellem målepunkterne for de enkelte målte varmeforbrug, og udgør altså iht. målingerne 2,5 % af det samlede varmeforbrug. Det samlede varmetab er ikke dækket af målingerne pga. de muligheder der er for placering af målerne. Det vurderes derfor på baggrund af målingerne og overslagsberegninger at det samlede varmetab fra varmeinstallationen er ca. $0,44 \text{ W/m}^2$.

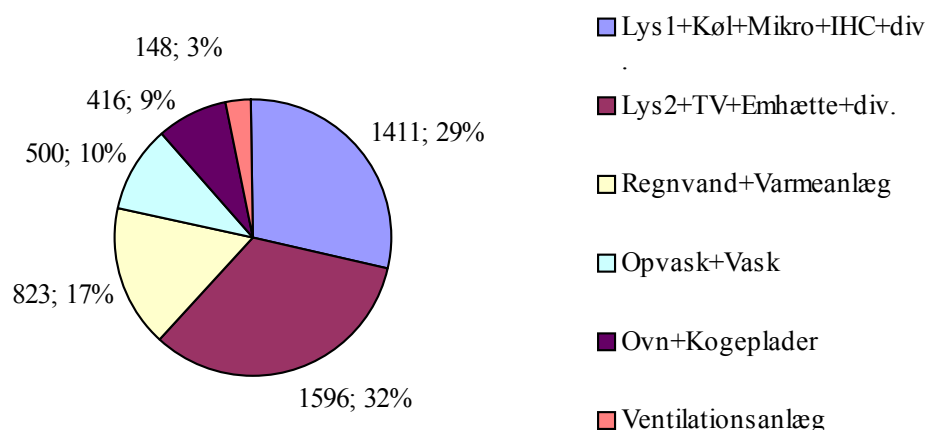
2.2.7 Elforbrug

Der redegøres i det følgende for elmålinger foretaget over en periode på 187 døgn, fra 9/12-2003 til 12/6-2004 (inkl.). Målinger er foretaget på grupper af apparatur og installationer, som anført i Tabel 1.

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

Måler	Bemærkninger
Lys1+Køl+Mikro+IHC+div.	Primært køkken og værelser. Udledt ud fra måling af tilgang til hus fratrukket øvrige forbrug.
Lys2+TV+Emhætte+div.	Primært stue/alrum og kontor.
Regnvand+Varmeanlæg	Regnvandsopsamlingsanlæg + pumpe, varmestyringer og målesystemer
Opvask+Vask	Opvaskemaskine, vaskemaskine og tørretumbler (kondens)
Ovn+Kogeplader	
Ventilationsanlæg	Mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding

Det samlede elforbrug i perioden var 2507 kWh, hvilket kan opskaleres til et årligt forbrug på 4894 kWh. Elforbruget fordelt på de enkelte grupper er vist i Figur 9.



Figur 9. 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 til anlæg for ventilation, varme og regnvandsopsamling/-udnyttelse udgør en stor del af det samlede elforbrug (26 %). Disse målinger omtales i detaljer i særskilte afsnit. Den særskilte måling på emhætten viser at elforbruget hertil ikke overraskende kun udgør 1 % af det samlede elforbrug. Elforbruget til hårde hvidevarer fås som summen af grupperne ”opvask + vask” og ”ovn + kogeplader” samt forbruget til køle-/fryseskab, der indgår i ”Lys1” og altså ikke måles separat. Energiforbruget til køle-/fryseskab er på grundlag af standardtest målt til 0,86 kWh/døgn svarende til 314 kWh/år eller ca. 6 % af det samlede elforbrug. På denne baggrund udgør elforbruget til hårde hvidevarer 25 % (1230 kWh) af det samlede forbrug. 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.

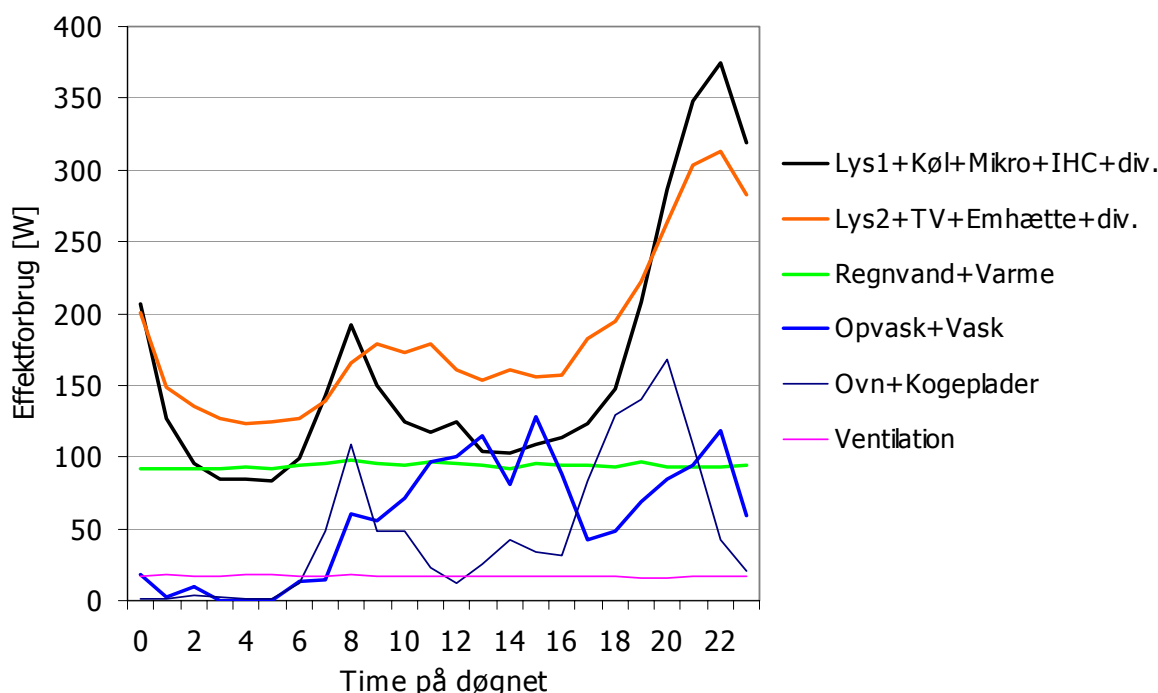
Apparatur	Målt	Andel i pct.	Forventet	Energiklasse
Opvaskm+vaskm.+tørretumbler	500	41	- ¹⁾	A
Ovn+kogeplader	416	34	- ²⁾	A
Køle/fryseskab	314 ³⁾	26	314	A
I alt	1230	100	-	

¹⁾ 1,08 kWh pr. vask til opvaskemaskine på standardprogram (238 kWh/år), 0,95 kWh pr. vask til vaskemaskine v. 60° kulørt vask og 3,3 kWh pr. vask til tørretumbler på standardprogram (skabstørt, 70 % restflugt, 105 min.).

²⁾ 0,84 kWh/time ved 200° (traditionel), 0,77 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 10 er vist effektforbrugets døgnvariation på de enkelte grupper.



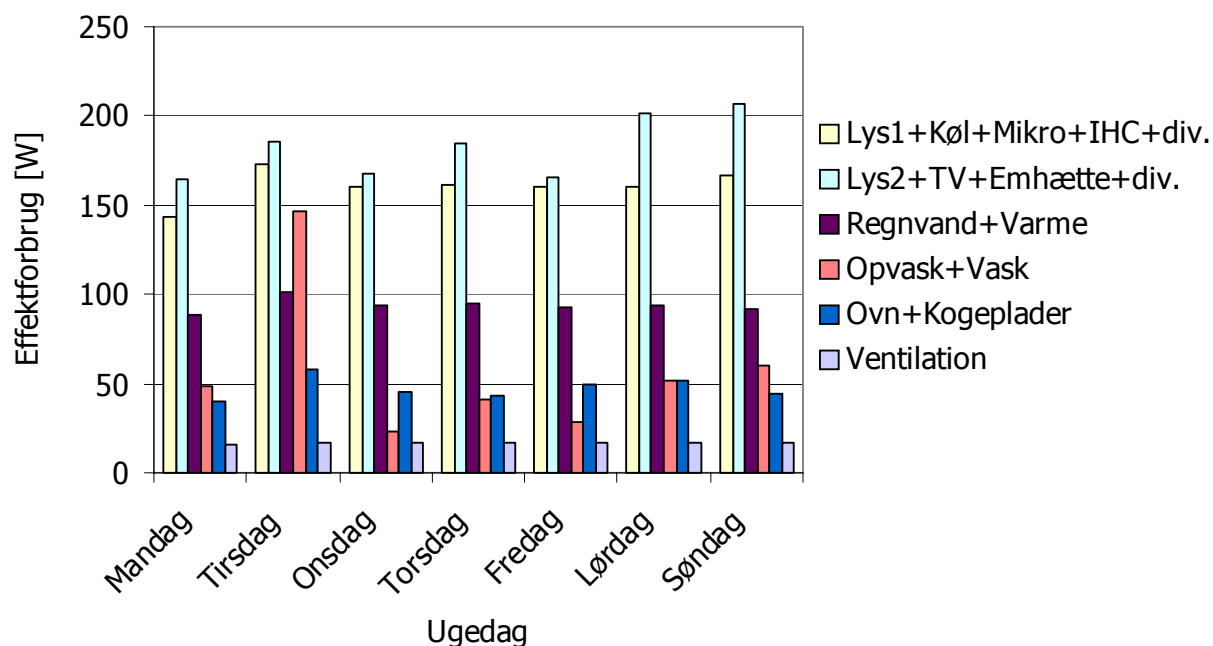
Figur 10. Midleffektforbrug pr. time på døgnet.

Det ses at midleffektforbruget til ventilations-, varme- og regnvandsanlæg naturligvis ligger på et meget konstant niveau. For de øvrige forbrugsgrupper er der tale om et klassisk forbrugsmønster for en udearbejdende familie, hvor der primært er forbrug morgen og aften. Målingerne viser også at ”opvask+vask” primært foregår midt på dagen og sidst på aftenen.

Det ses også at effektforbruget midt om natten er ca. 85 W på gruppen ”Lys1”. Fratrækkes forbruget til køle-/fryseskab (36 W), må resten antages at skyldes diverse ”stand-by-forbrug”. De resterende ca. 50 W svarer til 438 kWh på årsbasis. På gruppen ”Lys2” er ”stand-by-forbruget” helt

oppe på 125 W, hvoraf en del kan tilskrives udendørsbelysning og at PC'en i perioder har været i brug om natten. Pc'ens effektforbrug er når den er i brug målt til ca. 200 W (stand-by-forbrug på 25 W) og brugstiden i nattetimerne er vurderet til mellem 10-20 % i måleperioden. Samlet set vurderes det af brug af pc og udendørsbelysning udgør ca. 45 W af de 125 W. De resterende 80 W svarer til 700 kWh på årsbasis. Samlet set er der tale om væsentlige "stand-by-forbrug" på de to grupper "Lys 1 og Lys 2", svarende til 23 % af det samlede elforbrug.

I Figur 11 er vist effektforbruget opgjort som middeleffekt for hver enkelt ugedag.



Figur 11. Middeleffektforbrug pr. ugedag.

Det ses at der ikke forekommer nogen væsentlige forskelle i effektforbruget på de enkelte ugedage. Det ses dog at vask og tørring af tøj samt opvask primært foretages om tirsdagen, svarende til at den ene beboer har en fast fridag på denne dag.

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 målte elforbrug til drift af varmeanlæg, målesystemer og regnvandsopsamlingsanlæg, svarende til gruppen ”Regnvand + varme”, udgør en stor del af det samlede elforbrug (17 %). Det gennemsnitlige effektforbrug har været 94 W i måleperioden.

I perioden har varmeanlæggets pumpe (en typisk Grundfoss UPS pumpe) 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 106 W og i perioden på trin 1 har forbruget været 82 W. Pumpen har en mærkeeffekt på 60 W på trin 3 og 30 W på trin 1. Det resterende forbrug på 46-52 W kan således tilskrives varmestyringer, målesystemer/energimålere og pumpe/styring til regnvandsopsamlingsanlæg, hvoraf målesystemer optager omkring 30 W.

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

Elforbruget til det mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding udgør kun en lille del af det samlede elforbrug (3 %) eller svarende til en gennemsnitlig optagen effekt på 17 W. Dette skyldes delvist, som omtalt tidligere, at anlægget indtil starten af maj 2004 har kørt med en mindre luftmængde end et normalt luftskifte på $0,5^{-1}$. Effektforbruget ved normalt luftskifte er målt til 23 W svarende til et specifikt elforbrug på ca. 650 J/m^3 , hvilket stort set ikke findes bedre på markedet i dag.

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. Med de givne forudsætninger kan beregnes et forholdsvis lille potentielt varmetilskud på 0,94 W/m², hvilket skyldes at familien kun består af to voksne.

Tabel 3. Opholdstid og varmeafgivelse.

Rum	Antal personer	Opholdstidspunkt	Timer pr. dag	Varmeafgivelse [W pr. person]	Varmeafgivelse [W/m ²]
køkken	2	8.00-9.00	1	100	0,06
køkken	2	18.00-20.00	2	100	0,13
stue	2	20.00-23.00	2	100	0,13
soveværelse	2	23.00-08.00	8,5	100	0,53
bad 1 F	2	06.00-08.00	0,5	100	0,03
kontor	1	20.00-22.00	2	100	0,06
bryggers/entre/bad 2/vær tv/vær th	-	-	-	-	-
Total					0,94

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. Kondenstumbleren 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 kondensørretumblere 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 effektoroptag sker i varmelegemet i tumbleren. Det må antages at der stort set ikke er noget potentielt varmetilskud fra aftrækstumblere, mens ca. 100 % af kondensumblerses 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 varmespilds-procenter, kan der beregnes et potentielt varmetilskud fra el-apparatur og belysning på 3,05 W/m².

2.2.11 Sammenfatning af måleresultater

Der er i måleperioden (20/12-2003 – 30/4-2004) målt en gennemsnitlig udetemperatur på 3,6 °C. Solpåvirkningen har været sparsom i starten af perioden og mere normal i resten af perioden. Der er målt en gennemsnitlig indetemperatur på 23,1 °C.

Der er målt en gennemsnitlig temperaturvirkningsgrad på 79 %. Den mekanisk ventilerede luftmængde har i perioden ligget på et niveau svarende til et luftskifte på 0,3 h⁻¹. Hertil skal tillægges et luftskifte pga. utætheder i klimaskærmen. Der er tidligere udført en trykprøvning af huset, som viste et luftskifte på 1,54 h⁻¹ ved en trykforskel på 50 Pa, hvilket kan omregnes til et årligt gennemsnitligt luftskifte på 0,11 h⁻¹, idet huset er antaget placeret moderat beskyttet. Enkelte spotmålinger af luftskiftet ved infiltration har vist et luftskifte på 0,12 h⁻¹.

Der er i perioden målt et energiforbrug til rumopvarmning på 4838 kWh og et varmt vandsforbrug på 539 kWh (årligt 1479 kWh). Varmetabet fra varmeinstallationen inkl. varmetab fra varmtvandsbeholderen er anslået til ca. 0,44 W/m².

El-forbruget er målt i perioden 9/12-2003 til 12/6-2004. Det målte forbrug i perioden kan på simpel vis opskaleres til et årsforbrug på 4894 kWh, hvoraf 20 % går til drift af varme-, regnvandsopsamlings- og ventilationsanlæg, 25 % til hårde hvidevarer og det resterende apparatur bruger 55 %.

Procent-andelen af el-forbruget til apparatur med varmespild, der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning, svarende til vask/opvask, tørretumbler (kondens) og komfur er vurderet til hhv. 40 %, 10 % og 50 %.

Varmetilskuddet fra personer, el-apparatur og belysning er opgjort til 3,99 W/m².

2.2.12 Målinger af varmeforbrug sammenlignet med detaljerede beregninger

I dette afsnit redegøres der for detaljerede simuleringer af opvarmningsbehovet i måleperioden. Beregningerne foretages i bygningssimuleringsprogrammet BSIM 2002 [2], hvor formålet er eftervisning af det målte varmeforbrug og validering af beregningsmodellen. Der foretages også på baggrund af målingerne simuleringer og analyser af opvarmningsbehovet på årsbasis.

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

- Der er målt en væsentligt højere indetemperatur (23,1 °C) end svarende til normale beregningsforudsætninger (20 °C).
- Der er målt/opgjort et mindre internt varmetilskud fra personer, el-apparaturl og belysning (3,99 W/m²) end svarende til normale beregningsforudsætninger (5 W/m²).
- Der er målt en lidt lavere temperaturvirkningsgrad i ventilationsanlægget (79 %) end forventet (90 %).
- Der er målt et lidt større luftskifte ved infiltration (0,11 h⁻¹) end forventet (0,10 h⁻¹).
- Der er målt en lidt højere udetemperatur (3,6 °C) end forventet (1,2 °C svarende til DRY).

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

Opvarmningsbehovet er for det første beregnet for en model, der svarer til de forventede forhold (oprindelig model). Desuden er opvarmningsbehovet beregnet for en model baseret på målingerne. Betydningen af indetemperaturen undersøges, idet det beregnes hvor meget varmeforbruget kunne være reduceret, under antagelse af et setpunkt for indetemperaturen på 20°C.

De målte rumtemperaturer modelleres ved at tilpasse setpunktstemperaturen for opvarmning, så de målte middeltemperaturer opnås. Alle rum betragtes under ét, dvs. modelleres med samme setpunktstemperatur, da de målte temperaturer er omtrent ens. Der modelleres udluftning svarende til et luftskifte på 5 h⁻¹, når indetemperaturen er 4 °C større end setpunktstemperaturen. Det interne varmetilskud medtages detaljeret baseret på de udførte elmålinger. Den transmitterede solstråling gennem vinduer afhænger i BSIM desværre af vægtykkelsen, idet programmet antager ruden placeret i niveau med ydervæggens inderside. Da vægtykkelsen for det aktuelle hus er ca. 40 cm og vinduer/døre næsten er placeret helt ude i facaden, vil skyggeeffekten være betydelig, og det er derfor nødvendigt at korrigere for dette. Der er derfor udført en beregning med en vægtykkelse svarende til afstanden fra ydersiden af facaden til rudens yderside, for at fastlægge hvor meget solindfaldet forøges. Dette bidrag medtages i modellen med de rigtige vægge ved at justere op på solenergitransmittansen for ruden. Skygger fra det omgivende terræn, bebyggelse og beplantning vurderes at være ubetydelige og medtages derfor ikke i modellen. Der er regnet med at 10 % af solstrålingen (standardværdi), som passerer ruden, umiddelbart bliver reflekteret tilbage gennem ruden eller på anden måde går tabt. Denne andel skønnes at være realistisk på baggrund af udformningen af vindueslysninger og brug af persienner mm.

Der er i beregningerne medtaget varmetabet fra varmeinstallationen, så der derved på detaljeret vis er beregnet hvor meget af denne varmeafgivelse der nyttiggøres, og således at det beregnede energiforbrug til rumopvarmning kan sammenlignes direkte med det målte.

Der gennemføres en simuleringsperiode på 133 dage, svarende til den ovennævnte periode som er målt. Resultatet af denne beregning fremgår af Tabel 4.

Tabel 4: Beregnet energibalace for perioden 20/12-2003 til 30/4-2004.

Energibalace		Oprindelig model ¹⁾	Målt 1 ²⁾	Målt 2 ³⁾	Målt 3 ⁴⁾
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Q_{opv}	Energiforbrug til rumopvarmning	4190	4647	3768	4398
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-533	-580	-510	-586
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-291	-326	-409	-290
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	2021	2160	2160	2021
Q_{pers}	Varme tilført fra personer	0	399	399	399
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr mm.	2122	1480	1480	1480
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-7084	-7446	-6589	-7086
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	19	-11	-16	-14
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-446	-323	-283	-322

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, en infiltration på $0,10 \text{ h}^{-1}$ 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, men korrigeret mht. gulvvarmetemperatur og temperaturvirkningsgrad af ventilation med varmegenvinding. Setpunktet for indetemperaturen er i modellen valgt så middeltemperaturen for måleperioden svarer til den målte middeltemperatur på $23,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 ses af Tabel 4 at energiforbruget til rumopvarmning på basis af målingerne kan beregnes til 4647 kWh (model Målt 1). Det målte forbrug i perioden er 4838 kWh og der er altså god overensstemmelse mellem beregninger og målinger, idet modellen blot undervurderer energiforbruget med blot 4% . Energiforbruget for den oprindelige model, svarende til normale beregningsforudsætninger, er lidt mindre end det målte energiforbrug, hvilket skyldes de ovennævnte forhold.

Konsekvensen af et setpunkt for indetemperaturen på $20 \text{ }^\circ\text{C}$ er undersøgt med model Målt 2. Beregningen viser at energiforbruget derved vil kunne reduceres med 19% . Den gennemsnitlige indetemperatur i model Målt 2 er $20,6 \text{ }^\circ\text{C}$, mens den er $23,1 \text{ }^\circ\text{C}$ i model Målt 1. Der er således tale om en besparelse i energiforbruget på 8% pr. grad nedsat indetemperatur.

Når der både inde- og udeklimakorrigeres (model Målt 3), kan der beregnes et energiforbrug der kun er ca. 5% mindre end det der er baseret på målingerne, hvilket skyldes at den højere indetemperatur ($2,7 \text{ }^\circ\text{C}$) næsten kompenseres af en lavere udetemperatur ($2,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Benyttes den validerede model til simuleringer på hele fyringssæsonen 2003/2004, hvor der benyttes målte udeklimadata for hele perioden, kan det årlige energiforbrug til rumopvarmning beregnes med stor nøjagtighed. Resultatet af denne beregning fremgår af Tabel 5.

Tabel 5: Beregnet energibalance for hele fyringssæsonen defineret som perioden 1/9-2003 til 30/4-2004.

Energibalance		Målt 1 ¹⁾	Målt 3 ²⁾
		[kWh]	[kWh]
Q_{opv}	Energiforbrug til rumopvarmning	7685	6464
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-964	-905
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-606	-580
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3683	3438
Q_{pers}	Varme tilført fra personer	729	729
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr mm.	2704	2704
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-12672	-11317
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-23	-35
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-535	-499

¹⁾ Baseret på målinger i perioden 20/12-2003 til 30/4-2004, og omsat til årsforbrug ved simulering med målt udeklima. Setpunktet for indetemperaturen er i modellen valgt så middeltemperaturen for måleperioden svarer til den målte middeltemperatur på 23,1 °C i den ovennævnte måleperiode.

²⁾ Som model målt 1, men med indetemperatur (setpunkt) på 20 °C og udeklima svarende til DRY.

Det ses at hvis huset havde været beboet hele fyringssæsonen, og beboernes brugsmønster havde været som i måleperioden, ville opvarmningsbehovet have været 7685 kWh. En korrektion af indeudeklima giver et varmebehov på 6464 kWh.

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 [3]), 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 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:

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

hvor A er det opvarmede etageareal.

Energirammen for det konkrete hus er således:

$$(260 + \frac{8000}{133}) MJ/m^2 = 320 MJ/m^2 = 11828 kWh$$

I nedenstående Tabel 6 er opgjort bruttoenergiforbruget for huset baseret på målingerne. Som nævnt ovenfor er der målt energiforbrug i den sidste halvdel af fyringssæsonen. Forbruget i den første halvdel (hvor huset i øvrigt var mere eller mindre ubeboet), er baseret på beregninger baseret på en valideret beregningsmodel. Energiforbruget til varmt brugsvand antages at være det samme i årets øvrige måneder som gennemsnittet af forbruget i måleperioden. Årsnyttevirkningen for varmeanlægget kan, da der er tale om et fjernvarmeanlæg, sættes til 100 %.

Tabel 6. Det årlige bruttoenergiforbrug baseret på målinger i perioden 20/12-2003 til 30/4-2004. 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	7685	7685	
Varmt brugsvand	1479	1479	
Varmetab fra varmeinstal.	517	517	Varmetab fra varme- og varmtvandsrør samt varmtvandsbeholder: 59 W (0,44 W/m ²).
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	201	504	DC-ventilatorer, luftskifte på 0,5 h ⁻¹ (23 W). I drift hele året.
I alt		10676	Energiramme: 11828 kWh/år

Det ses at bruttoenergiforbruget for det konkrete hus er målt til 10676 kWh pr. år, hvilket svarer til 90 % af energirammen.

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 9455 kWh pr. år. eller 80 % af energirammen. Huset opfylder altså med god margen de forventede krav til bruttoenergiforbruget.

Huset kan ikke opnå en klassificering som lavenergihus i klasse 2 eller 1, hvilket dog heller ikke har været tilstræbt ved projektering af huset, idet målsætningen var et hus svarende til den nye skærpede energiramme. De mest oplagte tiltag i huset til yderligere reduktion af energiforbruget og lavenergiklassifikation er bedre isolerende vinduer og et solvarmeanlæg til produktion af varmt brugsvand.

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 aften timerne, 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 7 og nedenfor.

Tabel 7. 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 7, 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 8 er således vist hvilke år det andet klimasæt består af samt middeludetemperaturer for disse måneder og de tilsvarende måneder i DRY.

Tabel 8. 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 79 % svarende til målingerne. 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 bryggers 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.

Det antages at varmeinstallation er delvist isoleret, således at der regnes med et varmetab/-tilskud på en tredjedel af det målte.

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, hvilket omtrent er målt i det aktuelle anlæg. Det antages derfor at der ikke kan spares el til ventilation i det aktuelle hus.

3.2.2 Cirkulationspumpe

De antages for sandsynligt at de bedste sparepumper på markedet i løbet af den nærmeste fremtid vil have et årsmiddeleffektoptag 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. Køle/fryseskabet er et klasse A produkt med et målt forbrug på 314 kWh/år. A++ produkter i den aktuelle størrelse (273 liter) vil have et elforbrug på ca. 200 kWh/år.

3.2.4 Belysning

Der forslås følgende energimæssige forbedringer af belysningen (jf. Tabel 9):

Tabel 9. 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]
Lavvoltage, halogen	39	31	20
Glødelampe40	11	40	11
LysrørTLD30	1	38	-
Glødelampe25	4	25	7
2*MinilysrørPLS9 (ude)	5	21	-
LysrørTLD58 (ude)	1	68	-
Glødelampe300	1	300	70

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 aftrækstørretumbler (energimærke ikke oplyst) har på grundlag af standardtest for normalprogram et elforbrug på 3,3 kWh/portion (tidsforbrug ca. 2 timer), mens de bedste A-mærkede tørretumbler 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 %.

På baggrund af forventede årsforbrug for de nuværende produkter og hvor meget elforbruget kan reduceres, skønnes at det samlede forbrug til vaskemaskine og tørretumbler kan reduceres med 41 %.

3.2.7 Opvaskemaskine

Den nuværende A-mærkede model har på grundlag af standardtest for normalprogram et elforbrug på 1,08 kWh/vask (tidsforbrug ca. 2 timer), men de bedste opvaskemaskiner på markedet har et elforbrug på 0,80 kWh/vask. Det antages at normalprogrammet er repræsentativt for elforbruget ved vaskemaskinens normale brug, og på den baggrund kan elforbruget reduceres med ca. 26 %.

3.2.8 Ovn

Den eksisterende ovn er A-mærket og har ved traditionel brug et elforbrug på 0,84 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 32 %.

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 10 er vist fordelingen af det el-relaterede varmetilskud før og efter udskiftning til lavenergiprodukter; 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 10. Fordeling af varmetilskud i pct. af største varmetilskud.

Time	Grundmodel				El-spare-model			
	Bryggers	Køkken	Stue m.fl.	Øvrige rum	Bryggers	Køkken	Stue m.fl.	Øvrige rum
1	81	32	47	34	84	30	47	34
2	82	26	43	26	84	25	43	26
3	81	23	41	23	83	22	41	23
4	81	23	39	23	83	22	39	23
5	81	22	40	22	83	21	40	22
6	83	27	40	27	85	27	40	27
7	84	42	45	38	86	42	45	38
8	91	64	53	51	92	65	53	51
9	90	47	57	40	91	46	57	40
10	91	42	55	33	92	42	55	33
11	95	37	57	31	95	37	57	31
12	94	36	51	33	94	35	51	33
13	95	34	49	28	95	34	49	28
14	90	36	51	27	91	37	51	27
15	97	37	50	29	96	37	50	29
16	92	37	50	30	93	36	50	30
17	88	48	58	33	89	48	58	33
18	88	61	62	39	90	63	62	39
19	94	75	71	56	94	77	71	56
20	95	97	84	77	96	99	84	77
21	97	100	97	93	98	100	97	93
22	100	95	100	100	100	93	100	100
23	93	78	90	85	94	76	90	85
24	85	49	64	55	87	47	64	55
Varmetilskud = 100 % [W]	198	295	187	81	159	217	72	53

3.4 Beregningsresultater

De skitserede oplagte el-besparelser kan forventes at reducere det årlige elforbrug fra 4894 kWh til 3390 kWh (se bilag 3), svarende til en reduktion på 31 %. Det interne varmetilskud fra apparatur og belysning reduceres med 37 % (fra 3,05 W/m² til 1,92 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 11. I bilag 4 er specificeret varmebalancer og gennemsnitlige inde- og udetemperaturer for de enkelte beregningsmodeller. Der kan forventes en lille variation i udnyttelsesfaktoren, da vinduesarealet er relativt stort (28 % af bruttoetagearealet) og dermed også varmetilskuddet fra solindfald.

Tabel 11. 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	49,7	54,9	0,53	0,70
INDETEMP21	55,0	60,5	0,55	0,74
INDETEMP23	65,9	71,7	0,59	0,79
KOLDTFOR-/EFTERÅR	54,4	60,1	0,58	0,77
NATURVENT	73,4	79,0	0,57	0,76
VESTVENDT	51,2	56,4	0,53	0,71
BESTCASE	103,4	109,7	0,64	0,86

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

Det fremgår af Tabel 11, at der er stor forskel på de beregnede varmeforbrug. At en del af de undersøgte parametervariationer har så stor effekt på energiforbruget, skyldes at der som udgangspunkt er tale om et velisoleret hus med et varmeforbrug på omtrent 65 % 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, udtrykker at varmeforbruget forøges med 49 % 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 70 %.

Det ses af Tabel 11, at hvis setpunktet for indetemperaturen sættes op, stiger udnyttelsesfaktoren ikke overraskende, 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 0,64 set over hele året.

Det konkrete hus er en relativt let konstruktion, hvor ydervæggens bagmur og alle indervægge er porebetonelementer med en densitet på 645 kg/m³. Hvis det antages at huset var fuldmuret (1800 kg/m³), må forventes en noget større udnyttelsesfaktor pga. en forbedret varmeakkumuleringsevne. Ved beregninger for ”best-case-scenariet” med bagmure og indervægge i teglsten fås en udnyttelsesfaktor på 0,68. Effekten af varmeakkumuleringen er altså forholdsvis begrænset.

På baggrund af de udførte parametervariationer kan det konkluderes at varmeforbruget til rumopvarmning, kan forventes at blive forøget med 53 – 64 % af det reducerede potentielle interne varmetilskud. I praksis vil en udnyttelsesgrad på ca. 55 % kunne forventes. Der er en lille variation i udnyttelsesfaktoren, hvilket skyldes et relativt stort solindfald

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 varmeforbrug. 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 12 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 varmeforbrug.

Tabel 12. 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 varmeforbrug til opvarmning.

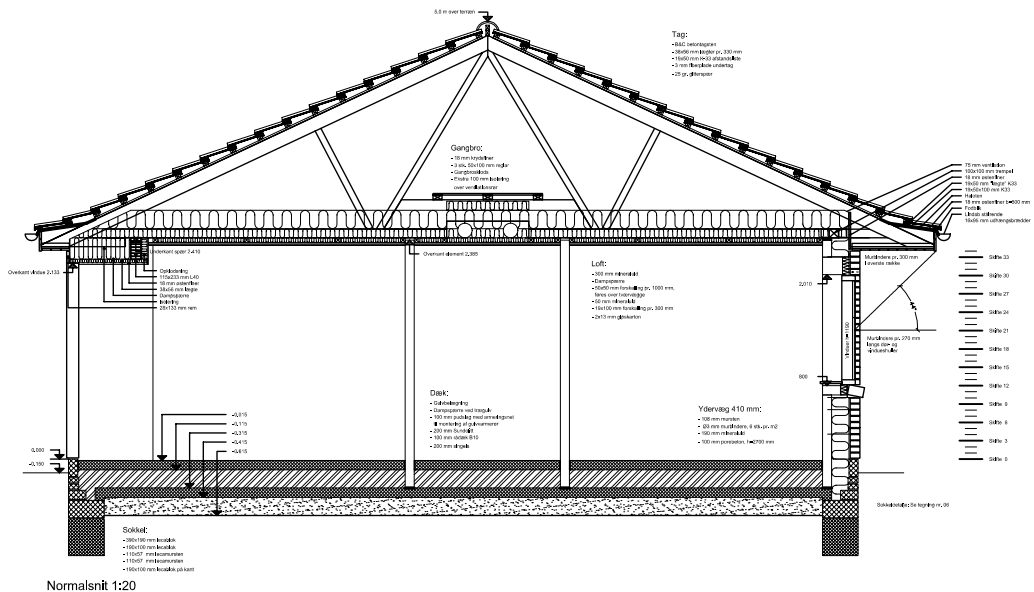
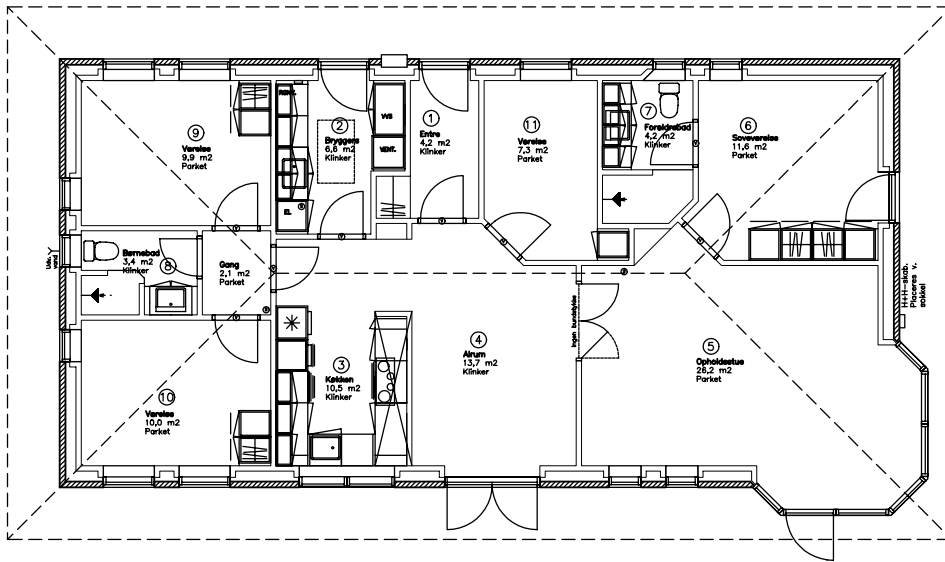
Beregningsforudsætninger	Tilbageværende el-besparelse [%]
Reference	85
INDETEMP21	84
INDETEMP23	83
KOLDTFOR-/EFTERÅR	83
NATURVENT	83
VESTVENDT	85
BESTCASE	81

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 varmeforbrug 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] BSIM2002 (version 3.4.3.16): Et integreret EDB-værktøj til termisk analyse af bygninger og installationer (afløseren for Tsb3). Statens Byggeforskningsinstitut, 2004.
- [3] Udkast til nye energibestemmelser i bygningsreglementerne. Erhvervs- og Boligstyrelsen, Juli 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



BILAG 2: ELFORBRUG – KORTLÆGNINGSDATA FOR GRUNDMODEL

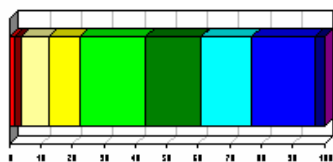
Konvertering		KOMPONENT	"Start-højde"	SØ.	kW oplagt	n ^o	kW max	Takst:	Rum	Ransjetype	Mater	Arvs metode	Vilbudsform	Vedtesforhold	Driftsdata:	Laugrad %	kWh/år beregnet	kWh/år mht	kWh/år k-max	Promittet varme %	Vermenthet kWh/år	
1	Varme	Mekrobølgeovn inkl. stand-by	Procesvarme	1	1.800	100	1.800	Miele M625FG	Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	Konstant	Proportional	10	100	18	18	18	1.800	18	
2	Varme	Brofrister	Procesvarme	1	0.850	100	0.850		Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	Konstant	Proportional	26	100	22	22	22	0.850	22	
3	Lys	Belysning	Belysning	7	0.031	80	0.025	Overkast og loft	Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	Konstant	Proportional	1222	100	265	265	0.050	0	265	
4	Mekanik	Emballer inkl. belysning	Ventilation	1	0.200	57	0.114		Køkken	Servicevarme	Lys2-TV+Emballer	Madlavning	Konstant	Proportional	565	100	73	73	0.124	0	0	
5	Varme	El-kedel (2 ltr./dag)	Procesvarme	1	1.850	100	1.850	Braun	Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	Konstant	Proportional	53	100	96	96	0.200	0	96	
6	Varme	Ovokøleskabe	Procesvarme	1	3.300	100	3.300	Miele G4653SVC1 klasse A	Køkken	Servicevarme	Opvask + ovokøleskabe	Madlavning	On/off module	Proportional	104	31	107	107	1.850	40	43	
7	Varme	Opvaskemaskine	Procesvarme	1	9.000	100	9.000	Miele KM 448	Køkken	Servicevarme	Opvask + ovokøleskabe	Madlavning	On/off module	Proportional	326	8	279	279	3.960	50	114	
8	Varme	Ovn (indbygning)	Procesvarme	1	2.000	100	2.000	Miele H333B klasse A	Køkken	Servicevarme	Opvask + ovokøleskabe	Madlavning	Konstant	Proportional	30	100	6	6	2.400	0	6	
9	Mekanik	Hålmåner	Motørvarme	1	2.000	57	0.114	Philips	Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	Konstant	Proportional	18	100	9	9	2.400	0	9	
10	Mekanik	Foodprocessor/normaskine	Motørvarme	1	0.900	69	0.345	Hamilton Beach blender	Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	Konstant	Proportional	3	100	3	3	0.900	0	3	
11	Varme	Vaffeljern	Procesvarme	1	0.900	100	0.900		Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	Konstant	Proportional	18	100	5	5	0.900	0	5	
12	Mekanik	Køle-fryseskab (integreterbar)	Motørvarme	1	0.290	69	0.290	Delfin ianmaskine	Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	On/off module	Proportional	18	100	5	5	0.900	0	5	
13	Mekanik	Køle-fryseskab (integreret)	Motørvarme	1	0.290	69	0.290	Delfin ianmaskine	Køkken	Servicevarme	Lys1-køkken	Madlavning	On/off module	Proportional	18	100	5	5	0.900	0	5	
14	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	3	0.031	80	0.025	nicole	Alrum	Opbudsrum	Lys1+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	913	100	85	85	0.500	100	85	
15	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	7	0.031	80	0.025	pendle	Alrum	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	365	100	79	79	1.125	100	79	
16	Elektronik	TV 41, 21st. sb./dg	Elektronik	1	0.110	100	0.110	itle pl væg	Alrum	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	520	100	57	57	1.124	100	57	
17	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	7	0.031	80	0.025	loft og niche	Alrum	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	365	100	79	79	0.062	100	79	
18	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	7	0.031	80	0.025	standerlampe	Stue	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	913	36	99	99	0.124	100	99	
19	Elektronik	TV 22, 21st. sb./dg	Elektronik	1	0.240	100	0.240	?	Stue	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	2184	100	22	22	0.355	100	22	
20	Elektronik	DIVERSE, uisobildning	Elektronik	1	0.010	100	0.010	Selektor	Stue	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	2184	100	22	22	0.075	100	22	
21	Elektronik	Hi-Fi, 20st. sb./dg	Elektronik	1	0.100	100	0.100	Stere	Stue	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	260	100	26	26	0.240	100	26	
22	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	2	0.031	80	0.025	sengelampe	Soveværelse	Opbudsrum	Lys1+køkken	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	1095	100	68	68	0.052	100	68	
23	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	5	0.031	80	0.025	loft og apjel	Bad/Toilet 1	Servicevarme	Lys1+køkken	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	365	100	11	11	0.032	100	11	
24	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	1	0.040	100	0.040	loft	Kammer 1	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	365	100	15	15	0.050	100	15	
25	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	2	0.031	80	0.025	loft	Bryggers	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	710	100	45	45	0.100	100	45	
26	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	2	0.031	80	0.025	loft	Bryggers	Servicevarme	Opvask + vask	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	365	100	28	28	0.062	100	28	
27	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	1	0.038	79	0.030	over bord	Bryggers	Servicevarme	Opvask + vask	Vask, tørring, etc	Konstant	Proportional	208	39	174	174	0.060	40	70	
28	Varme	Vaskemaskine	Procesvarme	1	2.150	100	2.150	Miele W960 klasse A	Bryggers	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	120	55	219	219	0.186	10	22	
29	Varme	Tørretumbler, aftræk	Procesvarme	1	3.300	100	3.300	Miele T 490 klasse A	Bryggers	Servicevarme	Regnvarm-varme	Opvask + vask	Vask, tørring, etc	On/off module	Proportional	2	51	50	50	0.010	10	22
30	Mekanik	Centrifugalpumpe, transport	Pumpling	1	0.290	69	0.290	Regnvarm-varme	Bryggers	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	8760	100	44	44	0.062	0	44	
31	Elektronik	DIVERSE, husboldning	Elektronik	1	0.005	100	0.005	Falk Securitas SS Alarmudsætt	Bryggers	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	8760	100	148	148	0.060	0	0	
32	Mekanik	Ventilationsanlæg	Ventilation	1	0.017	100	0.017	JoVia S450-125 DC(B)	Bryggers	Servicevarme	Regnvarm-varme	Opvask + vask	Vask, tørring, etc	On/off module	Proportional	2	51	50	50	0.010	10	22
33	Elektronik	CTS	Elektronik	1	0.042	100	0.042	Måleystreger og styrtøjer	Bryggers	Servicevarme	Ventilation	Opvask + vask	Vask, tørring, etc	Konstant	Proportional	8760	100	44	44	0.062	0	44
34	Mekanik	Cirkulationspumpe	Pumpling	1	0.042	100	0.042	Grundfos UPS 25-40	Bryggers	Servicevarme	Regnvarm-varme	Opvask + vask	Vask, tørring, etc	Konstant	Proportional	8760	100	364	364	0.062	0	364
35	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	1	0.031	80	0.025	loft	Bryggers	Servicevarme	Regnvarm-varme	Opvask + vask	Vask, tørring, etc	Konstant	Proportional	365	100	83	83	0.002	100	83
36	Varme	Styrer med damp	Procesvarme	1	1.300	100	1.300	Heam Safr 7000	Stue	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Opbald m. lys	Konstant	Proportional	365	100	34	34	0.002	100	34	
37	Lys	Guldlampe#0	Belysning	1	0.040	100	0.040	loft	Kammer 2	Opbudsrum	Lys1-køkken	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	365	100	7	7	1.300	100	7	
38	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	2	0.031	80	0.025	over apjel	Kammer 2	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	365	100	34	34	0.002	100	34	
39	Lys	Lavvold, halogen	Belysning	2	0.031	80	0.025	loft	Kammer 2	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	365	100	23	23	1.300	100	23	
40	Elektronik	PC, tv, screen-ware	Elektronik	1	0.122	100	0.122	loftslampe	Kontor	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	365	100	23	23	0.005	100	23	
41	Lys	Guldlampe#25	Belysning	3	0.025	100	0.025	bordlampe	Kontor	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	728	100	89	89	0.044	100	89	
42	Lys	Guldlampe#25	Belysning	3	0.025	100	0.025	loftslampe	Kontor	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	1095	100	82	82	0.050	100	82	
43	Elektronik	Farve Printer	Elektronik	1	0.050	100	0.050	loftslampe	Kontor	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	1095	100	82	82	0.050	100	82	
44	Mekanik	Svøoger	Elektronik	1	1.500	69	1.035	Centralsvøoger, Fritloft	Kontor	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	100	7	0	0	0.062	100	0	
45	Elektronik	LAN-styret	Elektronik	1	0.010	100	0.010	Switch, modem	Kontor	Opbudsrum	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	8760	2	261	261	0.110	0	0	
46	Lys	Guldlampe#40	Belysning	9	0.040	100	0.040	Skotlamper	Loftrum	Servicevarme	Lys1-køkken	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	8760	100	88	88	0.255	0	0	
47	Lys	2*Wimliser#P/S9	Belysning	5	0.021	84	0.018	Loftrum	Loftrum	Servicevarme	Lys1-køkken	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	52	100	19	19	0.155	0	0	
48	Lys	Lysnet/LED58	Belysning	1	0.068	85	0.058	Lide	Loftrum	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	1428	100	150	150	1.500	0	0	
49	Elektronik	Butterblader	Belysning	1	0.011	90	0.010	slimaskine	Rekkabureau	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	365	100	25	25	0.122	0	0	
50	Elektronik	Butterblader	Belysning	1	0.011	90	0.010	slimaskine	Rekkabureau	Servicevarme	Lys2+TV+Emballer	Kort aktivitet	Konstant	Proportional	500	100	6	6	0.060	0	6	

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	EI-forbrug.	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
	Varme		total
1	Mikrobølgeovn inkl. stand-by	18	1,7
2	Bredrister	22	2,0
3	El-kedel (2 ltr./dag)	36	8,8
4	Opvaskemaskine	107	9,8
5	Kogepålder	229	21,0
6	Ovn (indbygning)	187	17,2
7	Vaffeljern	3	0,2
8	Vaskemaskine	174	16,0
9	Tørretumbler, aftræk	213	20,1
10	Strygejern med damp	34	3,1
11			
12			
13			
14			
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		1.083	100,0

Procentdiagram:



Antal sømmetalte linier: 52

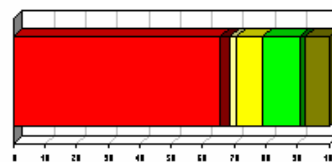
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	EI-forbrug.	Antal	Energiforbrug	
			kWh/år	% af total
	Lys			total
1	Løvvolt, halogen	39	859	65,6
2	Glødelampe40	11	41	3,1
3	LysrørTLD30	1	28	2,1
4	Glødelampe25	4	110	8,4
5	2*MinilysrørPLS9	5	150	11,4
6	LysrørTLD58	1	25	1,9
7	Glødelampe300	1	39	7,5
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
Sum af resterende registreringer:				
Total sum:			1.310	100,0

Procentdiagram:



Antal sømmetalte linier: 52

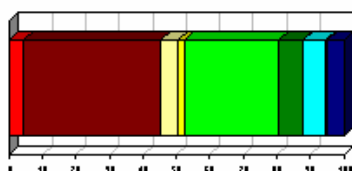
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	EI-forbrug.	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
	Elektronik		total
1	TV #1, 23h stb./dag	57	4,5
2	TV #2, 23h stb./dag	524	40,8
3	DIVERSE, husholdning	66	5,1
4	Hi-Fi, 20h stb./dag	26	2,0
5	CTS	364	28,3
6	PC m. screen-save	89	6,9
7	Farve-Printer	0	0,0
8	LAN-udstyr	88	6,8
9	Batterilader	6	0,4
10	DIVERSE, husholdning	66	5,1
11			
12			
13			
14			
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		1.284	100,0

Procentdiagram:



Antal sømmetalte linier: 52

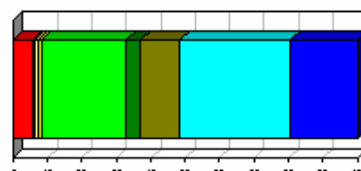
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	EI-forbrug.	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
	Mekanik		total
1	Emhætte inkl. belysning	73	5,7
2	Håndmixer	6	0,5
3	Foodprocessor/tørremaskine	14	1,1
5	Køle-/fryseskab (integreret)	314	24,6
6	Centrifugalpumpe, transport	51	4,0
7	Ventilationsanlæg	148	11,6
8	Cirkulationspumpe	409	32,0
9	Støvsuger	261	20,5
10			
11			
12			
13			
14			
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		1.276	100,0

Procentdiagram:



Antal sømmetalte linier: 52

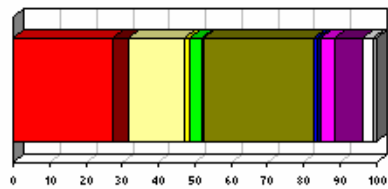
Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	Rum	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
1	Køkken	1.334	27,3
2	Ålrum	221	4,5
3	Stue	750	15,3
4	Soveværelse	68	1,4
5	Bad/Toilet 1	170	3,5
6	Kammer 1	26	0,5
7	Bruggers	1.481	30,3
8	Entre	11	0,2
9	Kammer 2	41	0,8
10	Bad/Toilet 2	45	0,9
11	Kontor	199	4,1
12	Loftrum	368	7,5
13	Ude	150	3,1
14	Fædskabsrum	30	0,6
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		4.894	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 varmemeforbruget

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	49,7	55,0	65,9	54,4	73,4	51,2	103,4
qCooling	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
qInfiltration	-6,7	-7,1	-7,8	-7,1	-6,7	-6,7	-8,2
qVenting	-7,0	-6,3	-5,2	-5,5	-5,3	-7,0	-2,9
qSunRad	34,9	34,9	34,9	34,2	34,9	33,7	32,7
qPeople	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
qEquipment	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
qTransmission	-92,3	-97,6	-108,2	-97,1	-91,4	-92,6	-112,2
qMixing	-0,5	-0,4	-0,3	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5
qVentilation	-7,1	-7,5	-8,3	-7,5	-33,4	-7,1	-41,4
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	21,5	23,4	20,5	20,5	20,7	23,3

El-spare-modeller.

	Reference	Indetemp21	Indetemp23	Koldtfor- efterår	Naturvent	Vestvendt	Bestcase
qHeating	54,9	60,5	71,7	60,1	79,0	56,4	109,7
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	-6,7	-8,2
qVenting	-5,9	-5,4	-4,5	-4,8	-4,5	-5,9	-2,5
qSunRad	34,9	34,9	34,9	34,2	34,9	33,7	32,7
qPeople	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
qEquipment	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
qTransmission	-91,6	-97,0	-107,7	-96,5	-90,8	-91,9	-111,9
qMixing	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,2	-0,2
qVentilation	-7,1	-7,5	-8,3	-7,5	-33,3	-7,1	-41,3
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	20,5	21,4	23,3	20,4	20,4	20,6	23,2