

Technical University of Denmark



## Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav Projektresumé

Tommerup, Henrik M.

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Tommerup, H. M. (2004). Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav: Projektresumé. (BYG Sagsrapport; Nr. sr 04-09).

## DTU Library Technical Information Center of Denmark

---

### 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

Projektresumé.

DANMARKS  
TEKNISKE  
UNIVERSITET



Sagsrapport  
BYG · DTU SR-04-09  
2004  
ISSN 1601 - 8605

---

## Projektresumé

Som led i slutrapporteringen af projektet ”Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav” (ELFOR - PSO 2003 - Projekt 335-28), er der udarbejdet et resumé af projektet og dets hovedresultater (på dansk og engelsk). Dette resumé sammenfatter målinger på tre enfamiliehuse, der er rapporteret i tre separate rapporter, svarende til rapporterne R-096, R-097 og R-098, og som er tilgængelige på [www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk).

### Konklusion

Der er foretaget målinger af det samlede energiforbrug i tre enfamiliehuse. Energiforbruget til rumopvarmning bestemt ved detaljerede beregninger baseret på de faktisk målte forhold svarer omtrent til de måleresultater der er opnået (få pct. afvigelse). Energiforbruget er dog større end forventet, hvilket især skyldes en højere indetemperatur (22-23°C) end svarende til normale beregningsforudsætninger (20°C). Beregninger har vist at forøgelsen af energiforbruget er ca. 10 % pr. grad. Det højere temperaturniveau skyldes overordnet set ikke ekstraordinær eller uhensigtsmæssig brug af husene og deres varme- og ventilationsanlæg, men er et udtryk for at komfort-niveauet er noget højere end man normalt forudsætter. Man bør derfor overveje at drage konsekvensen heraf og beregningsmæssigt benytte f.eks. 22°C.

El-målinger har vist at forbruget til hårde hvidevarer og belysning ikke overraskende udgør en betydelig del af det samlede elforbrug, men også at varme- og ventilationsanlæg med traditionelle pumper og ventilatorer giver anledning til væsentlige elforbrug. Analyser viser at elforbruget generelt kan nedsættes ca. 40 % ved at anvende eksisterende lavenergiprodukter, og at ca. 75 % af elforbruget bliver til potentielle varmetilskud.

Ser man på energiforbruget i relation til energirammen i udkast til kommende nye energibestemmelser, kan de enkelte huse forholdsvis nemt overholde den kommende energiramme. Husenes energiforbrug ligger på et niveau svarende til en klassificering som lavenergihus i klasse 2.

Elforbrugets betydning for varmeforbruget er undersøgt ved beregninger på husene som de er opført/målt og på ”el-spare-modeller”, herunder er undersøgt relevante scenarier med parametervariationer mht. inde- og udetemperatur, ventilationsforhold mv. Herudfra kan konkluderes at omkring 55 % af det el-relaterede potentielle varmetilskud kan udnyttes til rumopvarmning set over hele året. Dette betyder at en el-besparelse på 100 kWh vil resultere i et øget varmeforbrug på ca. 40 kWh. Under forudsætning af en faktor 3 på elprisen i forhold til varmeprisen, vil den resulterende økonomiske gevinst ved el-besparelser på 100 kr. være ca. 85 kr. El-besparelser bliver altså kun i beskedent omfang spist op af et stigende varmeforbrug.

### Baggrund & formål

I fyringssæsonen 2003/2004 er der foretaget bruttoenergimålinger på en række enfamiliehuse, som repræsenterer almindelige byggesystemer i Danmark, og som opfylder kommende skærpede energikrav i nye energibestemmelser i bygningsreglementerne. En oversigt over byggefirma, beliggenhed og byggesystem er vist i Tabel 1 nedenfor, hvor der også er henvist til detaljerede rapporter på de enkelte huse. Alle huse har gulvvarme og mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Tabel 1. Oversigt, forsøgshuse.

Hus	Etageareal [m <sup>2</sup> ]	Byggefirma	Beliggenhed	Byggesystem	Rapporter
A	145	SHS BYG	Lemvig	Ydervægselementer i stålskelet	[1]
B	135	Lind & Risør	Snekkersten	Skalmurede porebetonelementer	[2]
C	133	Büløw & Nielsen	Brøndby	Skalmurede porebetonelementer	[3]

Med indførelse af nye energibestemmelser i bygningsreglementet vil det primære energimæssige krav til bygninger være baseret på bruttoenergiforbruget, svarende til det samlede energiforbrug undtagen elforbrug til apparater. I relation til dette har formålet med projektet været at dokumentere og analysere de fremkomne måleresultater og sammenligne med kommende krav til bruttoenergiforbruget.

Elforbrug til apparater er dog også interessant, da dette påvirker varmebehovet. Formålet med projektet har således også været at indsamle driftserfaringer for det el-forbrugende udstyr generelt med henblik på at belyse deres betydning for varmebehovet, herunder at undersøge hvor stor en del af elforbruget der kommer til nytte i opvarmningen af huset, og mere overordnet hvordan elforbruget påvirker varmetafførelsen.

## Måleresultater

Der er foretaget målinger af energiforbrug til rumopvarmning, varmt brugsvand og effektivitet af varmeanlæg samt elforbruget til hårde hvidevarer, pumper, ventilatorer, belysning mv. Derudover er der målt solindfald, ude- og indetemperaturer samt temperaturer i varme- og ventilationsanlæg. I måleperioden var hus A og B beboet af småbørnsfamilier, mens beboerne i hus C bestod af to voksne.

Tabel 2 viser det målte energiforbrug til opvarmning og de væsentligste parametre af betydning for varmetafførelsen. Det interne varmetilskud er baseret på detaljerede elmålinger og vurderinger af hvor meget af el-forbruget til apparatur med varmespild (vaske- og opvaskemaskine etc.), der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning. Varmetilskuddet fra personer er baseret på oplysninger fra beboerne om den overordnede brug af huset.

Tabel 2. Resultater af varme-målinger.

	Hus A	Hus B	Hus C
Måleperiode	24.09.03-04.05.04	24.09.03-12.04.04	20.12.03-30.04.04
Antal døgn	224	202	133
Energiforbrug til rumopvarmning [kWh]	5117	6847	4838
Energiforbrug til varmt brugsvand <sup>1)</sup> [kWh]	1780	1017	539
Varmetab fra varmeinstallationen [W/m <sup>2</sup> ]	2-2,5	0,84	0,44
Internt varmetilskud <sup>2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ]	4,29	4,05	3,99
Udetemperatur [°C]	4,4	3,5	3,6
Indetemperatur [°C]	22,1	22,8	23,1

<sup>1)</sup> Varmeforbruget for hus B er inkl. varmetab fra varmtvandsbeholder. Forbruget for de øvrige er målt på brugsvandssiden.

<sup>2)</sup> Personer, apparatur og belysning.

Det ses at indetemperaturen i de betragtede perioder har ligget på et relativt højt niveau set i forhold til en typisk beregningsmæssig temperatur på 20 °C, hvilket ikke er overraskende, da erfaringer viser at komfort-niveauet i praksis er ca. 22 °C. Det ses også at det interne varmetilskud er bestemt til ca. 4 W/m<sup>2</sup> eller ca. 20 % mindre end de 5 W/m<sup>2</sup> man normalt regner med.

I Tabel 3 er redegjort for målinger af elforbrug, herunder fordelingen af elforbruget på hvidevarer, ventilation mm., samt størrelsen af det el-relaterede varmetilskud, der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning. Varmespild forekommer helt eller delvist ved brug af komfur, opvaskemaskine, vaskemaskine, tørretumbler og udendørs belysning/apparatur.

Tabel 3. Resultater af el-målinger.

	Hus A	Hus B	Hus C
Måleperiode	18.10.03-30.04.04	20.12.03-14.04.04	09.12.03-12.06.04
Antal døgn	196	117	187
Elforbrug [kWh]	2756	1235	2507
Elforbrug [kWh/år] <sup>1)</sup>	5133	3853	4894
Andel hvidevarer [%]	36	29	25
Andel ventilation [%]	18 <sup>3)</sup>	8	3 <sup>4)</sup>
Andel varmeanlæg [%]	13	15	17
Andel øvrige [%]	33	48	55
El-relateret varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	2,63	3,05
Potentielt varmetilskud ift. elforbrug <sup>2)</sup> [%]	74	81	73

<sup>1)</sup> Opskaleret baseret på måleperiode.

<sup>2)</sup> Angiver hvor stor en procentdel af det samlede elforbrug, der bliver til potentielt varmetilskud.

<sup>3)</sup> Det betydelige elforbrug skyldes typisk anvendte AC ventilatorer med dårlig elvirkningsgrad, svarende til et effektoptag på ca. 100 W. Til sammenligning ligger effektoptaget for hus B og C på ca. 25-40 W ved sammenlignelige luftmængder.

<sup>4)</sup> Det meget lille elforbrug skyldes nogle el-effektive ventilatorer, men også et for lavt luftskifte i starten af måleperioden.

Det ses at der er målt samlede elforbrug svarende til det normale for typiske enfamiliehuse. Elforbruget til hvidevarer udgør fra 25 til 36 % af det samlede forbrug. Der er god sammenhæng mellem energimærkning og forbrug, idet det største forbrug er målt i hus A med de klart dårligst energimærkede produkter, mens det laveste forbrug er målt i hus C hvor stort set alle produkter er A-mærkede. Det ses også at elforbruget til varme- og ventilationsanlæg udgør ca. 20-30 % af det samlede forbrug. Samlet set giver elforbruget anledning til et internt el-relateret varmetilskud på ca. 3 W/m<sup>2</sup>, der svarer til at 73-81 % af den omsatte varme bliver til potentielt varmetilskud.

Der er i forbindelse med de udførte el-målinger foretaget en detaljeret kortlægning af alle el-komponenter i huset, herunder hårde hvidevarer, belysningsarmaturer, små-apparatur, pumper mm. Denne kortlægning er brugt til fordeling af de målte elforbrug/varmetilskud på husets rum og døgnets timer med henblik på detaljerede simuleringer af varmeforbrug samt som grundlag for en vurdering af hvor der kan opnås relevante el-besparelser.

### Opvarmningsbehov - målinger vs. beregninger

Der er foretaget beregninger af opvarmningsbehovet baseret på de faktisk målte forhold. Beregningerne er udført i bygningssimuleringsprogrammet BSIM 2002, og formålet har været at validere BSIM-modellen. Målte og beregnede opvarmningsbehov fremgår af Tabel 4.

Tabel 4. Energiforbrug til rumopvarmning – målt og beregnet.

	Hus A	Hus B	Hus C
Målt	5117	6847	4838
Beregnet	4680	6549	4647
Afvigelse [%]	8	4	4

Det ses at der er god overensstemmelse mellem de detaljerede beregninger og de måleresultater der er opnået. Beregningsmodellen undervurderer opvarmningsbehovet en smule. Den noget større afvigelse for hus A i forhold til de øvrige huse kan forklares ved usikkerhed omkring gulvvarmetemperatur og ventileret luftmængde i starten af måleperioden.

Overordnet kan konkluderes at Bsim-modellen giver en fornuftig vurdering af husenes opvarmningsbehov under beboede forhold og givne randbetingelse. Forskellen mellem beregninger og målinger er meget lille, når alle usikkerheder omkring materialedata etc. tages i betragtning.

---

Den gennemsnitlige indetemperatur i husene har i måleperioden ligget på et relativt højt niveau omkring 22-23 °C, hvilket har stor betydning for energiforbruget. Beregninger viser at der kan opnås en energibesparelse på hhv. 12 % i hus A og 8 % i hus B og C pr. grad nedsat indetemperatur. Den noget større besparelse i hus A er ikke overraskende, da isoleringsniveauet er væsentligt bedre end i de øvrige huse, hvorved gratisvarme i højere grad kan opretholde indetemperaturen ved en nedsættelse af temperaturen.

### Målinger vs. forventede krav til bruttoenergiforbrug

På baggrund af de udførte målinger samt udkast til nye energibestemmelser i bygningsreglementerne i år 2005, er der foretaget sammenligninger af husenes bruttoenergiforbrug, svarende til det samlede energiforbrug undtagen elforbrug til apparater, og den foreslåede energiramme. I Tabel 5 er vist en oversigt over (brutto)energirammer og bruttoenergiforbrug.

Tabel 5. Bruttoenergiforbrug (primærenergi) i de enkelte huse. El-forbrug indgår med en primærenergifaktor på 2,5.

	Hus A	Hus B	Hus C
Energiramme [kWh/år]	12694	11972	11828
Målt [kWh/år]	13525	10403	10676
Pct. af energiramme [%]	107	87	90
Ude- og indeklimakorrigeret <sup>1)</sup> [kWh/år]	8206	8749	9455
Pct. af energiramme [%]	65	73	80

<sup>1)</sup> svarende til beregningsforudsætninger ved eftervisning af energirammen, dvs. setpunkt for indetemperaturen på 20 °C og udeklima som det danske referenceår (DRY). For hus A er der ligeledes korrigeret for et stort forbrug af varmt brugsvand, ventilationsanlæggets elforbrug og varmetabet fra varmeinstallationen.

Det ses at det faktiske bruttoenergiforbrug for hus B og C med god margen overholder energirammen. Hus C overholder ikke kravet, hvilket især skyldes et meget stort elforbrug i ventilationsanlægget, men også et betydeligt varmtvandsforbrug og varmetab fra varmeinstallationen. Hvis der korrigeres mht. ude- og indeklima samt yderligere korrektioner for hus A (se tabeltekst), fås energiforbrug der er væsentligt under energirammen.

I forbindelse med de nye energibestemmelser indføres en mærkningsordning for nye bygninger. Her vil nye boliger som har et energiforbrug på under halvdelen af energirammen blive klassificeret som ”klasse 1”. Holder energiforbruget sig under 75 procent, får huset stemplet ”klasse 2”. De huse som netop overholder kravene, får ikke en bestemt kategori. På denne baggrund kan hus A og B klassificeres som lavenergihus klasse 2, hvilket også næsten gælder hus C.

### Elforbrugets betydning for varmeforbruget

Elforbruget i boliger omsættes til varme der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning. Hvis man nedsætter elforbruget ved at bruge lavenergiprodukter, vil dette alt andet lige forøge energiforbruget til rumopvarmning. Udnyttelsen af den el-relaterede varme (og personvarme) hæmmes af at den falder på tidspunkter, hvor der ikke er behov for varme. Desuden vil en nedsættelse af varmetabet ved bedre isolering og ventilation med varmegenvinding være ensbetydende med en kortere fyringssæson og alt andet lige en mindre udnyttelse af ”el-varmen”.

Da 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, og 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. I projektet er den konkrete betydning af et lavere elforbrug undersøgt.

Der er taget udgangspunkt i en beregningsmodel (grundmodel) af det aktuelle hus, hvor der anvendes typiske randbetingelser (20 °C inde og udeklima som DRY) og et internt el-relateret varmetilskud baseret på målingerne. Denne beregning sammenlignes med en beregning på en "el-sparemodel", hvor det mest oplagte/energifrådsende apparatur og belysningsarmaturer udskiftes med de bedste lavenergiprodukter på markedet. Ved at sammenligne ændringen i det potentielle varmetilskud fra elforbrug med ændringen i varmeforbruget, kan sammenhængen mellem forbruget af el og varme belyses.

El-forbrug og tilhørende potentielle varmetilskud før og efter el-besparelserne fremgår af Tabel 6.

Tabel 6. El-forbrug og varmetilskud før og efter el-besparelser.

	Hus A	Hus B	Hus C
El-forbrug før [kWh/år]	5133	3853	4894
El-forbrug efter [kWh/år]	2876	2290	3390
Reduktion [%]	44	41	31
Varmetilskud før [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	2,63	3,05
Varmetilskud efter [W/m <sup>2</sup> ]	1,85	1,58	1,92
Reduktion [%]	38	40	38

Effekten på varmeforbruget afhænger af en række parametre der ikke er konstante, og der er derfor foretaget en række parametervariationer, som der er redegjort for i Tabel 7. Varmesæsonen defineres som månederne september til maj (inkl.).

Tabel 7. Oversigt over variationer på parametre af væsentlig betydning for varmeforbruget til rumopvarmning.

Parameter	Reference	Parametervariation
Setpunkt indetemperatur	20 °C	21, 23 °C
Klimadata	DRY	Koldt forår/efterår <sup>1)</sup>
Ventilation	Balanceret mek.vent. med vgv	Naturlig ventilation
Orientering	Sydvendt stue	Vestvendt

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

Ud fra beregninger af energiforbruget til rumopvarmning med og uden de skitserede el-besparelser, og med ovennævnte parametervariationer, kan der beregnes udnyttelsesfaktorer og tilbageværende el-besparelser, som vist i Tabel 8.

Tabel 8. Udnyttelsesfaktorer for det el-relaterede varmetilskud samt tilbageværende el-besparelser.

Scenarie	Hus A		Hus B		Hus C	
	$\eta_{i,v}$ <sup>1)</sup>	rest <sup>2)</sup>	$\eta_{i,v}$	rest	$\eta_{i,v}$	rest
Reference	0,49	90	0,53	85	0,53	85
INDETEMP21	0,52	89	0,56	84	0,55	84
INDETEMP23	0,58	88	0,61	83	0,59	83
KOLDTFOR-/EFTERÅR	0,54	88	0,58	84	0,58	83
NATURVENT	0,54	88	0,60	83	0,57	83
VESTVENDT	0,50	89	0,55	84	0,53	85
BESTCASE	0,64	86	0,67	81	0,64	81

<sup>1)</sup> Årsudnyttelsesfaktor for internt varmetilskud =  $\Delta$ Varmeforbrug /  $\Delta$ Varmetilskud.

<sup>2)</sup> Rest = tilbageværende el-besparelse (fratrasket ekstra varmeudgifter) i pct. af den totale el-besparelse (i kr.).

Beregningerne viser at omkring 50-60 % af det el-relaterede varmetilskud kan udnyttes til rumopvarmning. De aktuelle huse er alle forholdsvis lette (stålskelet eller porebeton). Hvis det antages at

---

hus C var fuldmuret (1800 kg/m<sup>3</sup>) i stedet for opbygget af porebetonelementer og derved havde en væsentlig bedre varmeakkumuleringsevne, viser beregninger for ”best-case-scenariet” at udnyttelsesfaktoren øges fra 0,64 på 0,68. Effekten af varmeakkumuleringen er altså forholdsvis begrænset.

Varmeudnyttelsen svarer til at den resulterende økonomiske gevinst ved el-besparelser ligger i størrelsesordenen 80 til 90 % af el-besparelsen. El-besparelser bliver altså kun i beskedent omfang spist op af et stigende varmekonsum.

#### **Referencer:**

- [1] Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav. Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet. Rapport R-096. BYG•DTU 2004.
  - [2] Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav. Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer 1. Rapport R-097. BYG•DTU 2004.
  - [3] Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav. Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer 2. Rapport R-098. BYG•DTU 2004.
- Rapporterne er tilgængelige på [www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk).



---

## Project summary

Below a brief summary of the project “Measurements of total energy consumption in new buildings corresponding to Danish Building Regulations 2005” (Project No. 335-28, PSO-2003).

### Conclusion

Measurements have been made of the total energy consumption in three single-family houses. The energy consumption for space heating, determined by detailed calculations based on the measured facts, roughly corresponds to the obtained test results (the divergence is only a few per cent). The energy consumption is larger than expected, however. This is mainly due to the fact that the indoor temperature (22-23°C) is higher than the standard assumptions (20°C). Calculations have shown that the increase in energy consumption is about 10% per degree. The higher temperature level is not caused by extraordinary or unsuitable use of the houses and their heating and ventilation systems, but reflects that the comfort level is somewhat higher than normally assumed. It should therefore be considered to take the consequences of this, by using for example 22°C in calculations.

Electrical measurements have shown that the consumption for white goods and lighting does not surprisingly account for a considerable part of the total electricity consumption, and also that heating and ventilation systems with traditional pumps and fans bring about considerable electricity consumption. Analyses show that the electricity consumption can generally be reduced by about 40% by using existing low energy products, and that about 75% of the electricity consumption become potential contributions of heat.

Looking at the energy consumption in relation to the energy framework draft for future new energy regulations, the single houses can relatively easily keep the future energy framework. The energy consumption of the houses is on a level corresponding to a classification as low-energy house in class 2.

The influence of the electricity consumption on the heat consumption has been investigated by means of calculations on the built/measured houses and on ”electricity-saving-models”, including investigations of relevant scenarios with parameter variations with regard to indoor and outdoor temperatures, ventilation conditions, etc. From this it can be concluded that about 55% of the electricity-related potential contribution of heat could be used for space heating, seen over the whole year. This means that an electricity saving of 100 kWh will result in an increase in heat consumption of about 40 kWh. Subject to a factor 3 on the price of electricity compared with the price of heating, the resulting gains on electricity savings of 100 DKK will be about 85 DKK. Therefore, the electricity savings will only be eaten up by increasing heat consumption to a modest extent.

### Background & Aim

During the heating season of 2003/2004, gross energy measurements have been made on a number of single-family houses that represent ordinary building systems in Denmark and meet future stricter energy requirements in new energy regulations of the building regulations. An outline of construction firm, situation and building system is shown in Table 1 below, which also refers to detailed reports on the single houses. All the houses have floor heating and mechanical ventilation with heat recovery.

Table 1. Overview, eksperimental houses.

House	Gross floor area [m <sup>2</sup> ]	Construction firm	Location	Building system	Reports
A	145	SHS BYG	Lemvig	Prefabricated lightweight external wall components incorporating a load-bearing steel frame.	[1]
B	135	Lind & Risør	Snekkersten	Aerated light-weight concrete elements incorporating a facing wall.	[2]
C	133	Bülow & Nielsen	Brøndby	Aerated light-weight concrete elements incorporating a facing wall.	[3]

When new energy regulations are introduced in the building regulations, the primary energy requirements on buildings will be based on the gross energy consumption, corresponding to the total energy consumption except electricity consumption for appliances. In relation to this, the object of the project has been to document and analyse the test result that have come to light and to compare with future requirements on the gross energy consumption.

The electricity consumption of appliances is interesting too, however, as this has an effect on the heat demand. The object of the project has therefore also been to gather operation experience for the electricity consuming equipment in general with a view to throwing light on its influence on the heat demand, including to investigate how large a part of the electricity consumption proves of use in the heating of the house, and more overriding how the electricity consumption influences the heat consumption.

### Test Results

Measurements have been carried out of energy consumption for space heating, domestic hot water and efficiency of heating systems and also the electricity consumption for white goods, pumps, ventilators, lighting etc. In addition to that, solar radiation, outdoor and indoor temperatures in heating, and temperatures in heating and ventilation systems have been measured. In the measuring period, houses A and B were occupied by families with small children, whereas two adults were living in house C.

Table 2 shows the measured energy consumption for heating and the most essential parameters of importance for the heat consumption. The internal contribution of heat is based on detailed electrical measurements and estimations of how much of the electricity consumption for apparatus with heating waste (washing machine and dishwasher etc.) can potentially be utilized for space heating. The contribution of heat from persons is based on information from the residents about the superior use of the house.

Table 2. Results from heat-related measurements.

	House A	House B	House C
Period	24.09.03-04.05.04	24.09.03-12.04.04	20.12.03-30.04.04
Number of days	224	202	133
Energy consumption for space heating [kWh]	5117	6847	4838
Energy consumption for domestic hot water <sup>1)</sup> [kWh]	1780	1017	539
Heat loss from heating services [W/m <sup>2</sup> ]	2-2.5	0.84	0.44
Internal gains <sup>2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ]	4.29	4.05	3.99
Outdoor temperature [°C]	4.4	3.5	3.6
Indoor temperature [°C]	22.1	22.8	23.1

<sup>1)</sup> The energy consumption in house B is including heat loss from the hot-water tank. The consumption in the other houses is excluding this heat loss.

<sup>2)</sup> Including people, appliances and lighting.

It appears that during the monitored periods, the indoor temperature has been relatively high compared with a typical calculation temperature of 20°C. This is not surprising, as experience shows that the comfort level in practice is about 22°C. It also appears that the internal contribution of heat is determined at about 4 W/m<sup>2</sup>, or about 20% smaller than the 5 W/m<sup>2</sup> normally used.

Table 3 explains measurements of electricity consumption; including distribution of electricity consumption on white goods, ventilation etc., and the extent of the electricity-related contribution of heat that can potentially be utilized for space heating. Heating waste occurs entirely or in part when electric cooker, dishwasher, washing machine, tumble dryer and outdoor lighting/apparatus are used.

Table 3. Results from measurements of household electricity consumption.

	House A	House B	House C
Period	18.10.03-30.04.04	20.12.03-14.04.04	09.12.03-12.06.04
Number of days	196	117	187
Electricity consumption [kWh]	2756	1235	2507
Electricity consumption [kWh/år] <sup>1)</sup>	5133	3853	4894
Share white goods [%]	36	29	25
Share ventilation [%]	18 <sup>3)</sup>	8	3 <sup>4)</sup>
Share heating system [%]	13	15	17
Share others [%]	33	48	55
Electricity-related gains [W/m <sup>2</sup> ]	3.00	2.63	3.05
Potential gains compared to consumption <sup>2)</sup> [%]	74	81	73

<sup>1)</sup> Base on the measured period.

<sup>2)</sup> States the percentage of total electricity consumption which potentially can be used for space heating.

<sup>3)</sup> The considerable electricity consumption is due to typical AC fans with a low efficiency, corresponding to a consumption of 100 W. The consumption of house B and C are about 25-40 W at comparable air flows.

<sup>4)</sup> The very low consumption is due to high performing DC-fans, but also due to a low air change rate at the beginning of the period.

It appears that the total electricity consumption has been measured, corresponding to what is normal for typical single-family houses. The electricity consumption for white goods is from 25 to 36% of the total consumption. There is good coherence between energy marking and consumption, as the highest consumption has been measured in house A with the clearly worst energy-marked products, whereas the lowest consumption has been measured in house C, in which by and large all products are A-marked. It also appears that the electricity consumption for heating and ventilation systems is about 20-30% of the total consumption. Taken together the electricity consumption gives cause for internal electricity-related contribution of heat of about 3 W/m<sup>2</sup>, corresponding to 73-81% of the transformed heat becoming potential contribution of heat.

In connection with the electrical measurements, a detailed analysis has been made of all electrical components in the house, including white goods, lighting fittings, small apparatus, pumps etc. This analysis has been used for distribution of de measured electricity consumption/contribution of heat on the rooms of the house and the hours of the day with reference to detailed simulations of heat consumption and as a basis for an estimation of where relevant electricity savings can be obtained.

### Heating Demand - Measurements vs. Calculations

Calculations have been made on the heating demand based on the measured facts. Calculations have been carried out in the building simulation program BSIM 2002 with the object of validating the BSIM-model. Measured and calculated heating demands appear from Table 4.

Table 4. Energy consumption for space heating – measured and calculated.

	House A	House B	House C
Measured	5117	6847	4838
Calculated	4680	6549	4647
Afvigelse [%]	8	4	4

It appears that there is a good agreement between the detailed calculations and the achieved test results. The calculation model underestimates the heating demand somewhat. The somewhat greater aberration for house A compared with the other houses can be explained by uncertainty about floor heating temperature and ventilated quantity of air at the beginning of the measuring period.

Overridingly it can be concluded that the BSIM-model gives a rational estimation of the heating demand of the houses under occupied conditions and given marginal conditions. The difference between calculations and measurements is very small when all uncertainties about material data etc. are taken into consideration.

The average indoor temperature in houses during the measuring period has been relatively high, around 22-23 °C, which has a great influence on the energy consumption. According to calculations, energy savings of 12% in house A and 8% in house B and C, respectively, per degree reduced indoor temperature can be obtained. The somewhat greater savings in house A are not surprising, as the insulation level is considerably better than in the rest of the houses, by which free heat can, to a higher degree, maintain the indoor temperature when the temperature is reduced.

### Measurements vs. Anticipated Requirements on Gross Energy Consumption

In the light of the performed measurements and draft of new energy regulations in the building regulations in 2005, comparisons are made of the gross energy consumption of the houses, corresponding to the total energy consumption except electricity consumption for appliances, and the proposed energy framework. In Table 5 a survey of (gross) energy frameworks and gross energy consumption is shown.

Table 5. Gross energy consumption (primary energy). Electricity consumptions are transformed to primary energy using a factor 2.5.

	House A	House B	House C
Energy frame [kWh/år]	12694	11972	11828
Measured [kWh/år]	13525	10403	10676
Pct. of energy frame [%]	107	87	90
Corrected for out- and indoor climate <sup>1)</sup> [kWh/år]	8206	8749	9455
Pct. of energy frame [%]	65	73	80

<sup>1)</sup> Corresponding to typical assumptions, i.e. a indoor temperature set point of 20 °C and outdoor climate as the Danish Reference Year (DRY). Corrections are made for house A regarding a large consumption of hot water, electricity consumption of fans and heat loss from heating services.

It appears that the actual gross energy consumption for houses B and C keeps the energy framework with a good margin. House C does not keep the requirements, which is especially caused by a very large electricity consumption in the ventilation system, but also by a considerable hot-water consumption and heat loss from the heating installation. If adjustments are made with regard to outdoor and indoor climate plus additional adjustments for house A (see table text), energy consumption will be obtained that is considerably below the energy framework.

In connection with the new energy regulations, a rating system will be introduced for new buildings. Here new buildings with energy consumption of under one half of the energy framework will be

classified as "class 1". If the energy consumption remains under 75 percent, the house will be stamped" class 2". The houses that only just keep the requirements get no specific category. In the light of this, houses A and B can be classified as low-energy houses class 2, which almost applies to house C, too.

### The Influence of Electricity Consumption on the Heat Consumption

The electricity consumption in dwellings is transformed into heat that potentially can be utilized for space heating. If the electricity consumption is reduced by using low energy products, this will, other things being equal, increase the energy consumption for space heating. The utilization of the electricity-related heat (and also heat from people) is impeded by the fact that it falls at times when there is no demand for heat. In addition, a reduction of the heat loss by better insulation and ventilation with heat recovery will mean a shorter heating season and, all other things being equal, less utilization of the "electric heating".

As the fuel consumption for conventional electricity production is several times larger than for heat production, which means that the marginal price for electricity is about three times as high as for heating, and as the electricity-related contribution of heat cannot be utilized completely, the financial gain by electricity savings will be several times larger than the rising expenditure on heat. In this project the concrete significance of lower electricity consumption has been investigated.

A calculation model of the topical house has been taken as a starting point, in which typical marginal conditions (20°C indoors and outdoor climate as DRY) and an internal electricity-related contribution of heat based on the measurements are used. This calculation is compared with a calculation of an "electricity-saving-model", where the most obvious/energy-wasteful apparatus and lighting fittings are replaced by the best low energy products on the market. By comparing changes in the potential contribution of heat from electricity consumption with the change in the heat consumption, the coherence between the consumption of electricity and heat can be illustrated.

Electricity consumption and corresponding potential contribution of heat before and after the electricity savings appear from Tabel 6.

Table 6. Electricity consumption and electricity-related heat gain before and after assumed savings.

	House A	House B	House C
Electricity consumption before [kWh/year]	5133	3853	4894
Electricity consumption after [kWh/year]	2876	2290	3390
Reduction [%]	44	41	31
Heat gains before [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	2,63	3,05
Heat gain after [W/m <sup>2</sup> ]	1,85	1,58	1,92
Reduction [%]	38	40	38

The effect on the heat consumption depends on a number of parameters that are not constant, and therefore a number of parameter variations have been made, which are explained in Table 7. The heating season is defined as the months of September to May (inclusive).

Table 7. Parameter variations.

Parameter	Reference	Parameter variation
Set point indoor temperature	20 °C	21, 23 °C
Climate data	Danish Reference Year (DRY)	Cold spring / autumn <sup>1)</sup>
Ventilation	Balanced mechanical ventilation with heat recovery	Natural ventilation
Orientation	South faced living room	West faced

<sup>1)</sup> Defined as the month of April, May, September, October and November.

From calculations of the energy consumption for space heating with and without the outlined electricity savings, and with the above-mentioned parameter variations, utilization factors and remaining electricity savings can be calculated, as shown in Tabel 8.

Table 8. Utilization factors regarding electricity-related heat gains and remaining savings.

Scenario	House A		House B		House C	
	$\eta_{i,v}$ <sup>1)</sup>	rest <sup>2)</sup>	$\eta_{i,v}$	rest	$\eta_{i,v}$	rest
Reference	0.49	90	0.53	85	0.53	85
INDOORTEMP21	0.52	89	0.56	84	0.55	84
INDOORTEMP23	0.58	88	0.61	83	0.59	83
COLDTSRING/AUTUMN	0.54	88	0.58	84	0.58	83
NATURVENT	0.54	88	0.60	83	0.57	83
WESTFACED	0.50	89	0.55	84	0.53	85
BESTCASE	0.64	86	0.67	81	0.64	81

<sup>1)</sup> Yearly utilization factor =  $\Delta$ Heating consumption /  $\Delta$ Heat gains.

<sup>2)</sup> Rest = remaining savings (extra space heating expenses subtracted) in percents of total savings.

The calculations show that about 50-60% of the electricity-related contribution of heat can be utilized for space heating. The topical houses are all relatively light (steel profile or lightweight concrete).

The heat utilization corresponds to the resulting financial gain by electricity savings being of the order of 80 to 90% of the electricity savings. Electricity savings are therefore only to a modest extent eaten up by increasing heat consumption.

## References

- [1] Measurements of total energy consumption in new buildings corresponding to Danish Building Regulations 2005. Building system: Prefabricated lightweight external wall components incorporating a load-bearing steel frame. Report R-096. BYG•DTU 2004.
- [2] Measurements of total energy consumption in new buildings corresponding to Danish Building Regulations 2005. Building system: Aerated light-weight concrete elements incorporating a facing wall. Report R-097. BYG•DTU 2004.
- [3] Measurements of total energy consumption in new buildings corresponding to Danish Building Regulations 2005. Building system: Aerated light-weight concrete elements incorporating a facing wall. Report R-098. BYG•DTU 2004.

The reports are accessible at [www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk).