

Beregning af bruttoenergiforbrug

KIRSTEN ENGELUND THOMSEN

SØREN AGGERHOLM



SBI-meddelelser er foreløbige rapporteringer og beretninger om forundersøgelser, konferencer, symposier mv.

Denne meddelelse kan frit læses og downloades fra SBI's hjemmeside: www.sbi.dk.

SBI-publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne kan købes gennem boghandlen eller via et SBI-abonnement.

SBI-abonnement er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Kontakt SBI og hør nærmere, eller slå op på SBI's hjemmeside: www.sbi.dk.

ISBN 87-563-1050-1.

ISSN 1399-8447.

Pris: Kr. 135,00 inkl. 25 pct. moms.

Tekstbehandling: Annelise W. Danielsen.

Statens Byggeforskningsinstitut,

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

E-post: sbi@sbi.dk

www.sbi.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-meddelelse 129: Beregning af bruttoenergiforbrug. 2000.

Indholdsfortegnelse

| | |
|--|----|
| Forord | 5 |
| Sammenfatning og konklusion..... | 6 |
| Summary and conclusions | 8 |
| 1. Indledning..... | 10 |
| 1.1 Energi 21..... | 10 |
| 1.2 Bygningsreglement 2005..... | 10 |
| 1.3 Internationale standarder | 10 |
| 2. Elforbrug | 12 |
| 2.1 Elforbrug til ventilation | 12 |
| 2.1.1 Elforbrug til små enheder..... | 12 |
| 2.1.2 Elforbrug til balanceret mekanisk ventilation | 12 |
| 2.2 Elforbrug til apparatur og belysning i boliger | 14 |
| 2.3 Elforbrug til apparatur i andre bygninger | 14 |
| 2.4 Elforbrug til belysning i andre bygninger..... | 15 |
| 2.4.1 Dagslysudnyttelse i andre bygninger..... | 18 |
| 2.5 Elforbrug i varmeanlæg | 25 |
| 2.5.1 Pumper | 25 |
| 2.5.2 Gaskedler | 25 |
| 2.5.3 Solvarmecirkulationspumpe..... | 25 |
| 2.5.4 Varmepumpe..... | 25 |
| 2.5.5 Solcelleanlæg..... | 26 |
| 2.6 Samlet elforbrug..... | 27 |
| 3. Nettovarmebehov til rumopvarmning, ventilation og varmt brugsvand | 28 |
| 3.1 Nettovarmebehov til rumopvarmning og ventilation iflg. SBI- anvisning 184..... | 28 |
| 3.2 Internt varmetilskud fra personer | 28 |
| 3.3 Internt varmetilskud fra apparatur..... | 29 |
| 3.4 Internt varmetilskud fra belysning | 29 |
| 3.5 Samlet internt varmetilskud..... | 30 |
| 3.6 Varmt brugsvand..... | 30 |
| 3.7 Samlet nettovarmebehov | 31 |
| 4. Bruttovarmebehov | 32 |
| 4.1 Ikke nyttiggjort rørtab fra varme- og varmtvandsrør og varmtvandsbeholder | 32 |
| 4.1.1 Bruttovarmetab i varme- og varmtvandsrør | 32 |
| 4.1.2 Rørlængder | 33 |
| 4.1.3 Specifikt varmetab | 33 |
| 4.1.4 Temperaturforskel mellem rør og omgivelser | 35 |
| 4.1.5 Bruttovarmetab i varmtvandsbeholder | 35 |
| 4.1.6 Ikke nyttiggjort varmetab i rør og beholdere | 36 |
| 4.2 Solvarmeanlægs nettoenergitilskud | 37 |
| 4.3 Samlet bruttovarmebehov | 39 |
| 5. Bruttoenergiforbrug under hensyntagen til virkningsgrader..... | 40 |
| 5.1 Årsnyttevirkning | 40 |

| | |
|---|----|
| 5.2 Samlet bruttoenergiforbrug | 41 |
| 6. Beregning af CO ₂ -belastning..... | 42 |
| 7. Eksempler | 44 |
| Parcelhus..... | 44 |
| Administrationsbygning | 45 |
| Etagehus..... | 47 |
| 8. Referencer | 50 |
| Bilag A..... | 52 |
| Følsomhedsanalyser..... | 52 |
| Ad 1) Elforbrug til apparatur og belysning i boliger | 52 |
| Ad 2) Elforbrug til belysning i andre bygninger med hensyntagen til dagslysudnyttelse..... | 53 |
| Ad 3) Varmebehov til rumvarme og ventilation udregnet vha. Bv98 | 55 |
| Ad 4) Forbrug til varmt brugsvand og nettovarmebehov..... | 56 |
| Ad 5) Tab fra rør og beholder | 58 |
| Ad 6) Tilskud fra solvarme | 59 |
| Bilag B..... | 61 |
| Elforbrug til specielle apparater..... | 61 |

Forord

Denne SBI-meddelelse afslutter projektet "Beregning af bruttoenergiforbrug", et projekt i Energistyrelsens forskningsprogram EFP-98 med ENS j.nr. 1213/98-0035.

Projektets formål var at udvikle en enkel og let anvendelig beregningsmetode til bestemmelse af en bygnings samlede energibehov og miljøbelastningen fra energiforbruget. Metoden er udviklet i forbindelse med drøftelser af kommende stramninger i bygningsreglementets energibestemmelser i år 2005, som beskrevet i Energi 21. Metoden er en videreudvikling af metoden til beregning af nettovarmetabet til rumopvarmning og ventilation beskrevet i SBI-anvisning 184: Bygningers energibehov.

Grundlaget for afsnittet om "Dagslysudnyttelse i andre bygninger" er udarbejdet af Erwin Petersen, SBI.

Projektet er gennemført i samråd med By- og Boligministeriet samt Energistyrelsen.

Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima, april 2000
Erik Christophersen, forskningschef

Sammenfatning og konklusion

Denne meddelelse beskriver en metode til beregning af en bygnings bruttoenergiforbrug, dvs. den energimængde, der skal leveres til fx et gasfyr, for at det kan levere den beregnede varmemængde.

Indledningsvis beregnes elforbruget til ventilation, apparatur og belysning, idet der i erhvervsbygninger tages hensyn til dagslysudnyttelsen.

Der er taget udgangspunkt i den metode til beregning af bygnings nettovarmebehov, der er beskrevet i SBI-anvisning 184: "Bygningers energibehov". I denne beregning er inkluderet internt varmetilskud fra personer, belysning og apparatur. Denne nettovarmeberegning er blevet udvidet med en beregning af dels energibehovet til det varme brugsvand og dels tillæg af unyttiggjorte rørtab fra det varmeproducerende anlæg. Sidstnævnte tab beregnes ud fra tab i varmtvandsbeholder, varme- og varmtvandsrør. Varmetilskud fra fx solvarmeanlæg udregnes og bliver fratrukket varmebehovet. Det endelige beregningsresultat benævnes *bruttovarmebehovet*.

Herefter bestemmes *bruttoenergiforbruget* til varme, ventilation og varmt brugsvand vha. årsnyttevirkningen for varmeanlæg. Beregningerne er for naturgas den mængde gas, der afregnes med selskaber og for el og fjernvarme den mængde energi, der afregnes med værket, uanset om dette så foregår i MWh, GJ eller m³ fjernvarmevand (dvs. "an hus"). Fordelingstab i fjernvarmenettet og ledningstab i elnettet uden for ejendommen medtages ikke i beregningen af bygningens energiforbrug.

En opgørelse af miljøbelastningen fra energiforbruget målt ved den samlede CO₂-produktion pr. m² bygningsareal udregnes. CO₂-udledningen beregnes ud fra det beregnede bruttoenergiforbrug til varme og el og Energistyrelsens standardtal for CO₂-indhold i det anvendte brændsel og udslip ved elproduktion.

Bruttoenergiforbruget beregnes for tre eksempelbygninger – et parcelhus, en administrationsbygning og et etagehus. Meddelelsen afsluttes med et bilag, der indeholder supplerende følsomhedsanalyser af de forskellige tab og tilskud, der indgår i beregningen.

Eksemplerne viser, at det er muligt at gennemføre beregningerne for typiske bygninger. Det kan dog være problematisk at finde den rette balance mellem detaljeringsgrad, nøjagtighed og enkelthed i beregningerne, især set i lyset af, at beregningerne skal anvendes i forhold til bygningsreglementets energibestemmelser. Det er i den forbindelse også et problem, at der indgår mange parametre i beregningerne, som det kan være vanskeligt at fastlægge værdien af, især fordi den interne varmelast i velisolerede bygninger kan dække en stor del af varmemeforbruget til opvarmning.

For eksempelbygningerne udgør varmemeforbruget til rumopvarmning og ventilation 67 til 86% af bruttoenergiforbruget. Den største del af det resterende forbrug er for alle tre bygninger varmtvandsforbruget.

Elforbruget i disse bygninger giver det største bidrag til miljøbelastningen målt som udledningen af CO₂. Der er derfor behov for at fokusere kraftigt på elforbruget i fremtiden.

I forbindelse med videreudviklingen af metoden bør der arbejdes yderligere med følgende:

- udarbejdelse af en standardiseret metode til bestemmelse af kedlers årsnyttevirkning
- udarbejdelse af en standardiseret metode til bestemmelse af varmepumpers årsnyttevirkning
- usikkerhed i forbindelse med pumpers optagne effekter og driftstider
- problemer pga. mulighed for at ændre på inddata i forbindelse med energirammeens overholdelse
- zoneinddelinger i forbindelse med beregning af elforbruget til belysning samt behovet for flere tidstilfælde ved beregning af reduktionsfaktoren f_2
- inddragelse af mekanisk køling i beregningerne
- detaljeringsgrad og beregningsomfang ved bestemmelse af rør- og rørledningslængder og udnyttelsesgrader.

Summary and conclusions

SBI Bulletin 129

Calculation of gross energy consumption

This bulletin presents a method for calculating the gross energy consumption of a building. The net heat demand for space heating, ventilation and domestic hot water should be calculated. Next converted to gross energy consumption, i.e. the amount of energy that is required to supply, for instance, a gas furnace in order that it produces the calculated amount of heat.

First the electricity consumption required for ventilation, appliances and lighting is calculated, taking into consideration the daylight utilisation in commercial buildings.

The point of departure is the existing method for calculating the net heat demand of buildings described in SBI Direction 184 "Energy demand in buildings". The existing method includes heat supply from persons, lighting and appliances. This calculating method was later extended to include a method for calculating the energy demand for domestic hot water and addition of non-utilised heat loss from pipes and heat producing installations. This loss is calculated on the basis of loss in hot water tanks, heat and hot water pipes. Heat supply from solar collectors is calculated and deducted from the heat demand. The calculated end result is called *gross heat requirement*.

Next the *gross energy consumption* for heating, ventilation and domestic hot water is determined by means of annual efficiency for heating installations. In the case of natural gas, the calculation covers the amount of gas metered by the gas company regardless of whether this is done in MWh, GJ or m³ district heating water. Distribution loss in the district heating supply system and transmission loss in the electricity supply system outside the property are not included in the calculation of a building's energy consumption.

An inventory of the environmental impact is calculated based on the energy consumption measured by the total CO₂ production per m² floor area. The CO₂ emission is calculated on the basis of the calculated gross energy consumption of heating and electricity, and on standard values for CO₂ contents in the fuels used and emissions from electricity production issued by the Danish Energy Agency.

The gross energy consumption is calculated for three examples of buildings: a single-family house, an administration building and a multi-storey building. An appendix gives analyses of parameter variations and different losses and supplies included in the calculations.

The examples show that it is feasible to do calculations for typical buildings. However, it might present problems to find the right balance between exactitude, simplicity of degree of details, especially considering that the calculations are to be used in connection with energy regulations in the Danish Building Regulations. It is also a problem that so many parameters are included in the calculations. It

may be difficult to determine their value, particularly because the internal heat load in a well-insulated building may cover a great deal of its heat consumption for space heating.

Heat consumption for space heating and ventilation constitutes 67-86% of the gross energy consumption of the example buildings. For all three buildings the remaining part is due to domestic hot water consumption.

The electricity consumption of these building contributes the most to the environmental impact measured as CO₂ emissions. In future, a sharper focus should, therefore, be centred on electricity consumption.

Further development of this calculation method requires investigations to clarify the following:

- A standardised method to determine the annual efficiency of boilers
- A standardised method to determine the annual efficiency of heat pumps
- The uncertainty in connection with the determined effects and operation times of pumps
- Problems arising from the possibility of changing in-data in connection with compliance with the energy rating
- Determination of the distribution of zones for calculating electricity consumption for lighting
- More examples of the exact hours a building is in use are needed for the calculation of the reduction factor f_2
- The need to include mechanical refrigeration in the calculations
- Degree of detailing and extent of calculations for determining heat loss in pipes including determination of pipe lengths and degree of utilisation.

1. Indledning

1.1 Energi 21

Energi 21 [1] er regeringens plan for en bæredygtig udvikling i Danmark i en international sammenhæng.

Energi 21's overordnede mål er:

- i år 2005 at forøge energiintensiteten (forhold mellem bruttonationalproduktet og bruttoenergiforbruget) med 20% i forhold til 1994
- at øge andelen af vedvarende energi (ca. 12-14% af det forventede energiforbrug i år 2005)
- at reducere CO₂-udledningen med 20% i år 2005 i forhold til 1988 niveauet.

Blandt prioriteterne i "*Energi 21*" er energibesparelser i bygninger. Indsatsen koncentrerer sig om tre områder: 1) Energimærkning, 2) Energibesparelser og 3) Nyt bygningsreglement.

1.2 Bygningsreglement 2005

BR-95 [2] og BR-S 98 [3] betyder en reduktion på 25% i nybyggeriets varmebehov i forhold til BR-82. Desuden forventes en revision af bygningsreglementet med virkning fra år 2005 med en skærpelse af kravene til bygningers energibehov på 33% i forhold til BR-95 og BR-S 98.

Energikravene vedrørende bygningsopvarmning i BR-95 og BR-S 98 drejer sig alene om nettovarmebehovet til rumopvarmning og ventilation. I fremtidens nybyggeri, hvor varmebehovet til rumopvarmning og ventilation allerede er kraftigt reduceret, får varmebehovet til varmt brugsvand, elforbruget til ventilation, belysning og apparatur samt virkningsgrader, konverterings- og transmissionstab ved varme- og elforsyningen større betydning for det samlede energiforbrug og miljøbelastningen. Det kan derfor blive nødvendigt at inddrage disse forhold i de nye skærpede energikrav i kommende bygningsreglementer. En forudsætning for dette er, at der findes en enkel og let anvendelig beregningsmetode, som bygningsreglementet kan henvise til, og som inkluderer både varmebehovet til rumopvarmning, ventilation og varmt brugsvand, elforbruget til ventilation, belysning og apparatur samt virkningsgrader, konverterings- og transmissionstab ved varme- og elforsyningen.

1.3 Internationale standarder

Ved udvikling af den udvidede beregningsmetode i forhold til metoden beskrevet i SBI-anvisning 184: Bygningers energibehov [4] er der taget højde for nye og kommende internationale standarder. Der er en kommende ISO standard i høring, både internationalt og som Dansk Standard: Thermal performance of buildings – Calculation of

energy use for heating (prEN ISO 13970:1999) [5]. Forslaget er næsten identisk med CEN-standarden EN 832: Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for buildings – Residential Buildings [6]. I Holland er der udarbejdet et par standarder indenfor dette område bl.a. en for non-residential buildings. [7]. Standarderne beregner bruttovarmebehovet og omtaler kort vigtigheden af at inkludere varmetabene grundet varmesystemet.

Der er yderligere påbegyndt et arbejde i CEN regi i arbejdsgruppen TC 228/WG4 med at udarbejde en metode for beregning af varmesystemets effektivitet, og det er vigtigt at følge udviklingen af dette arbejde i forbindelse med tilpasningen af den danske metode.

2. Elforbrug

Energiforbruget i bygninger består foruden af varmebehovet af et elforbrug til belysning, apparatur og udstyr, til drift af ventilator(er) til mekanisk ventilation, til cirkulationspumper samt et evt. forbrug til særligt apparatur. I dette afsnit gennemgås størrelserne af de enkelte elforbrug. Elforbruget til belysning og apparatur er slået sammen til ét udtryk for boliger, mens det har været nødvendigt at opdele dette forbrug for andre bygninger, idet besparelsen ved en styring af den kunstige belysning efter dagslyset eller bevægelsesmelder er indregnet.

En del af elforbruget forudsættes at bidrage til bygningens opvarmning, hvilket er beregnet i afsnit 3. Elforbruget til ventilation forudsættes ikke at bidrage til husets opvarmning.

2.1 Elforbrug til ventilation

I etageboliger stiller BR 95 krav om konstant mekanisk udsugning på minimum 20 l/s fra køkkener, 15 l/s fra bade- og wc-rum og 10 l/s fra særskilte wc-rum. Mekanisk ventilation er mest udbredt i service-sektorens bygninger, hvor forbruget til ventilatordrift ofte udgør mellem 25 og 50% af det samlede elforbrug [8].

Bygningsreglementet (BR 95) afsnit 12.3 stk. 1 har en almindelig bestemmelse om, at der skal tages energimæssige hensyn ved projekteringen og udførelsen af nye ventilationsanlæg. De energimæssige hensyn kan vedrøre energiforbrug til luftens opvarmning og eventuel køling samt energiforbrug til lufttransport. I stk. 9 er en særlig bestemmelse om begrænsning af elforbruget til lufttransport i ventilationsanlæg. Bestemmelsen vedrører alene ventilationsanlægs effektivitet, idet formålet er at begrænse elforbruget uden at tilsidesætte hensynene til hygiejne og komfort. Bestemmelserne gælder for nybyggeriet samt for nyinstallationer i bestående bygninger.

2.1.1 Elforbrug til små enheder

I enfamiliehuse kan der anvendes naturlig ventilation. Der stilles da krav til dimensionerne af aftrækskanaler og udeluftventiler. Uanset ventilationssystemets type er der i dag krav om emhætte i køkkenet. Ventilationsanlæg, som er så små eller har så kort driftstid, at elforbruget er mindre end 2,5 GJ svarende til 700 kWh om året, er fritaget fra det krav om energieffektivitet, som stilles i Bygningsreglementet. Dermed er fx emhætter og andre små simple udsugningsanlæg undtagne, og det samme gælder for anlæg beregnet til uafbrudt drift, hvis ventilatorernes samlede optagne effekt er mindre end 80 W.

Elforbruget til emhætter og andre små simple anlæg regnes indeholdt i beregningsudtrykkene for apparatur.

2.1.2 Elforbrug til balanceret mekanisk ventilation

Ved balanceret mekanisk ventilation både tilføres og fjernes luften ved hjælp af elektriske ventilatorer. Indblæsningsluften forvarmes

ofte ved genvinding af varme fra afkastluften, før den tilføres rummene for at reducere varmekonsumet og undgå trækproblemer.

Konstant luftydelse

BR's krav er, at for ventilationsanlæg med konstant luftydelse må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 2.500 J/m³ udeluft. Ved elforbrug forstås her det samlede elforbrug pr. m³ flyttet luft regnet fra luftindtag til luftafkast.

Elforbruget beregnes af følgende udtryk:

$$El_{vent} = A_{br} \cdot T_d / 168 \cdot q_{vm} \cdot SEL \cdot 365 \cdot 0,024$$

| | | |
|------|-------------|---|
| hvor | El_{vent} | er elforbruget til ventilation i kWh/år |
| | A_{br} | er områdets bruttoareal i m ² |
| | T_d | er driftstiden i timer pr. uge |
| | 168 | er antal timer pr. uge |
| | q_{vm} | er den beregningsmæssige ventilation i l/s m ² |
| | SEL | er det specifikke elforbrug P/q _v i W/(l/s) |
| | 365 | er antallet af dage i året |
| | 0,024 | er h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW. |

Elforbruget i W/m² beregnes som q_{vm}, den beregningsmæssige ventilation i l/s m² (som udregnet i SBI-anvisning 184) gange SEL, det specifikke elforbrug i W/(l/s). Ved en ventilators specifikke elforbrug til lufttransport SEL forstås forholdet mellem ventilatormotorens forbrug af elektrisk energi inden for et bestemt tidsrum (fx i kJ) og den luftmængde (fx i m³) som ventilatoren transporterer inden for samme tidsrum. For en ventilator med en konstant ydelse er denne størrelse lig med forholdet mellem ventilatorens optagne effekt i W (P) og volumenstrømmen af luft i l/s (q_v), begge størrelser udregnes i SBI-anvisning 184. Enheden kJ/m³ er identisk med kW/(m³/s) og med kPa.

I et ventilationssystem, som betjenes af flere ventilatorer, beregnes elforbruget som summen af alle ventilatorers forbrug.

Variabel luftydelse

For anlæg med variabel luftydelse må elforbruget til lufttransport ifølge bygningsreglementet ikke overstige 3.200 J/m³ udeluft ved maksimal luftydelse. Luftydelsen kan være variabel, i tilfælde hvor ventilatormotorernes omdrejningstal er trinvis eller kontinuert variabel, eller ventilatorerne har regulerbare ledeskovle. Bestemmelsen gælder ikke for ventilationsanlæg uden mekanisk udelufttilførsel, for anlæg knyttet til industriprocesser og lignende samt anlæg, hvor det årlige elforbrug til lufttransport er mindre end 2,5 GJ svarende til 700 kWh.

Elforbruget udregnes som for anlæg med konstant ydelse, idet der deles op i tidsperioder og luftmængder.

2.2 Elforbrug til apparatur og belysning i boliger

Der er skelnet mellem boliger og andre bygninger, idet det gennemsnitlige varmetilskud i andre bygninger bestemmes efter de aktuelle forhold og brugstider.

Elforbruget til apparatur omfatter i boliger el til husholdningen til almindeligt apparatur fx komfur, opvaskemaskine, vaskemaskine, køleskab, dybfryser, og diverse småapparater såsom støvsuger, brødristerer mv. Elforbruget til specielle apparater er vist i bilag B.

Elforbruget til apparatur kan beregnes efter følgende formel:

$$EL_{app} = A_e \cdot P_{app} \cdot 365 \cdot 0,024$$

hvor EL_{app} er elforbruget til apparatur i kWh/år
 A_e er det bygningens opvarmede etageareal i m^2
 P_{app} er den gennemsnitlige effekt af apparaturet i W/m^2
365 er antallet af dage i året
0,024 er h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW.

Elforbruget til indendørs belysning kan beregnes efter følgende formel:

$$EL_{lys} = A_e \cdot P_{lys} \cdot 365 \cdot 0,024$$

hvor EL_{lys} er elforbruget til belysning i kWh/år
 A_e er det opvarmede etageareal i m^2
 P_{lys} er den gennemsnitlige effekt af belysningsanlægget i W/m^2
365 er antallet af dage i året
0,024 er h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW.

Normalt kan følgende gennemsnitsværdier bruges:

$P_{app} + P_{lys}$ sættes til $4 W/m^2$, idet brugstiden for boliger ifølge bygningsreglementerne antages at være i brug hele døgnet hele året.

2.3 Elforbrug til apparatur i andre bygninger

For kontorer er det ofte edb-udstyr, som giver et stort bidrag.

Elforbruget til apparatur kan beregnes efter følgende formel:

$$EL_{app} = A_e \cdot P_{app} \cdot T_b/168 \cdot 365 \cdot 0,024$$

hvor EL_{app} er elforbruget til apparatur i kWh/år
 A_e er bygningens opvarmede etageareal i m^2
 P_{app} er den gennemsnitlige effekt af apparaturet i W/m^2
 T_b er normal brugstid af bygningen i timer pr. uge
168 er antal timer pr. uge
365 er antallet af dage i året
0,024 h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW.

P_{app} kan for kontorer sættes til 5-10 W/m² alt efter, hvor meget udstyr, der er i bygningen.

Hvis apparaturets effektiviteter er kendt, kan formlen skrives som følger:

$$El_{app} = \sum P_{app,x} \cdot T_d / 168 \cdot 365 \cdot 0,024$$

hvor EL_{app} er elforbruget til apparatur i kWh/år
 $P_{app,x}$ er effekt af apparaturet i W
 T_d er driftstid i timer pr. uge
168 er antal timer pr. uge
365 er antallet af dage i året
0,024 h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW.

2.4 Elforbrug til belysning i andre bygninger

Elforbruget til indendørs belysning kan beregnes efter følgende formel:

$$El_{lys} = A_e \cdot P_{lys} \cdot T_b / 168 \cdot 365 \cdot 0,024$$

hvor EL_{lys} er elforbruget til belysning i kWh/år
 A_e er det opvarmede etageareal i m²
 P_{lys} er den gennemsnitlige effekt til belysning (inkl. særlys) i W/m²
 T_b er normal brugstid af bygningen i timer pr. uge
168 er antal timer pr. uge
365 er antallet af dage i året
0,024 h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW.

Til energiforbruget til indendørsbelysning skal lægges et bidrag fra en evt. udendørsbelysning, hvor forbruget bør beregnes/skønnes i hvert enkelt tilfælde. Herefter fås det totale elektricitetsforbrug.

I tabel 2.1 er vist nogle typiske effektbehov for forskellige lyskilder. I tabel 2.2 er typiske effektbehov vist for forskellige lyskilder placeret i forskellige funktioner.

Tabel 2.1. Typiske effektbehov for en jævn almenbelysning med belysningsgrad $\eta_B = 0,5$ og vedligeholdelsesfaktor $v = 0,7$. Lysudbytte og effektbehov er inklusive eventuelle tab i forkoblinger og transformatorer. [4].

| Lyskilde | Middelbelysningsstyrke | Lysudbytte | Effektbehov |
|------------------------------------|------------------------|------------|-----------------------|
| | E Lux | H lm/W | P W/m ² |
| Glødelamper | 50 | 14 | 10 |
| | 100 | 14 | 20 |
| | 200 | 14 | 41 |
| Halogenlamper Lavvolt | 50 | 17 | 8 |
| | 100 | 17 | 17 |
| | 200 | 17 | 34 |
| Kompaktlystofrør | 50 | 60 | 2,5 |
| | 100 | 60 | 5 |
| | 200 | 60 | 10 |
| Lysstofrør med konv. forkobling | 100 | 70 | 4 |
| | 200 | 70 | 8 |
| Lysstofrør med HF forkobling | 100 | 85 | 3,5 |
| | 200 | 85 | 7 |
| Kviksølvlamper | 100 | 50 | 6 |
| | 200 | 50 | 11 |
| Metalhalogenlamper | 100 | 70 | 3,5 |
| | 200 | 70 | 7 |
| Højtryksnatriumlamper | 100 | 80 | 3,5 |
| | 200 | 80 | 7 |

Tabel 2.2. Typiske effektbehov for arbejdslamper og funktionsbelysning. Effektbehovet er inklusiv eventuelle tab i forkoblinger og transformatorer. [4].

| Belysningens placering | Armaturl og lyskilde | Antal | Effektbehov | |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------|------------------|
| | | | W | W/m ² |
| Arbejdsplads | Bordlampe med glødelampe | 1 pr. 10 m ² | 60 | 6 |
| | Bordlampe med halogenglødelampe | 1 pr. 10 m ² | 40 | 4 |
| | Bordlampe med kompaktlystofrør | 1 pr. 10 m ² | 18 | 2 |
| | Nedhængt armatur med lysstofrør | 1 pr. 10 m ² | 36 | 4 |
| Planter | Pendel med kompaktlystofrør | 1 pr. 10 m ² | 18 | 2 |
| Tavle | Spot med glødelampe | 4 pr. 50 m ² | 300 | 6 |
| | Armaturl med lysstofrør | 3 pr. 50 m ² | 108 | 2 |
| Mødebord | Pendel med glødelampe | 1 pr. 15 m ² | 75 | 5 |
| | Pendel med kompaktlystofrør | 1 pr. 15 m ² | 15 | 1 |

I tabel 2.3 er sammenfattet typiske effektbehov for forskellige lyskilder. Det skal bemærkes, at det er det totale installerede effektbehov (almen- og særligt).

Tabel 2.3. Typiske samlede effektbehov til belysning (almen- og særligt) i W/m² [10, 11, 12 & 13].

| Funktion | Effektbehov i W/m ² |
|--|--------------------------------|
| Små kontorer | 8-15 |
| Større kontorer | 12-20 |
| Kontorlandskaber | 15-25 |
| Gange, trapper, reception, køkken, garderobe, kantine, edb, servicerum | 6-10 |
| Møderum, lager og arkiv | 12-15 |
| Normalklasse, edb-lokale, gymnastiksal, lærerværelse, kantine | 8-10 |
| Kreative fag | 10-25 |
| Dagligvarebutik | 20-40 |
| Varer til personlig brug | 40-60 |
| Industri | 5-40 |

Hvis aktuelle oplysninger om belysningsanlægget er ukendt, kan et gennemsnitligt effektbehov skønnes ud fra ovenstående tabeller.

Desuden kan der tages hensyn til dagslysudnyttelsen i andre bygninger ved at gange almenbelysningen med en korrektionsfaktor, der tager hensyn til, at det kunstige lys er styret efter dagslyset – se nedenstående afsnit.

2.4.1 Dagslysudnyttelse i andre bygninger

I BR 95 afsnit 12.9 "Belysningsanlæg" stilles krav om, at det ved udførelsen af belysningsanlæg søges at begrænse energiforbrug og effektbehov mest muligt under hensyntagen til rummets udformning og anvendelse, herunder krav til belysningens kvalitet og driftstid. Desuden skal belysningsanlæg udføres opdelt i zoner med mulighed for benyttelse efter dagslysforhold og aktiviteter. Zoneopdelingen sikrer, at der er mulighed for at begrænse brugstiden for belysningen mest muligt. Bestemmelsen indebærer fx, at belysningsarmaturer nær vinduerne kan udgøre én zone, mens armaturer placeret inde i rummet kan udgøre én eller flere selvstændige zoner. Bestemmelsen opfyldes ved at montere manuel og/eller automatisk afbryder for hver zone.

Belysningsanlæg skal udføres på grundlag af Dansk Standard 700-serien: "Kunstig belysning i arbejdslokaler" [14]. Her er kravet til belysning på arbejdsobjektet afhængig af synsopgaven og angivet i en tabel i DS 700. Endvidere gælder, at anlæg til belysning af fælles adgangsveje og udendørsarealer, herunder trapper, gange, stier samt indendørs og udendørs parkeringsanlæg, skal forsynes med automatisk styring efter dagslysforhold og brugstid, med mindre særlige forhold gør sig gældende.

Belysningsanlæg skal planlægges ud fra rummets funktion, aktiviteterne i rummet, dagslysadgangen og rumoplevelsen, baseret på inddeling af rummet i områder med forskellig funktion, dagslysadgang og krav til belysningskvalitet, -styrke og driftstid. Beregning af energiforbruget og udnyttelsen af dagslyset er derfor baseret på denne opdeling i zoner.

Det årlige energiforbrug pr. m² kan beregnes for belysningsanlæg med *variabel* effektbehov i driftstiden, og hvor bygningen er opdelt i rum med forskellige krav til belysningen. Der skelnes mellem en opvarmningssæson (1. oktober – 30. april) og en sommersæson (1. maj–30. september). På det følgende skema ses et hjælpeskema med en oversigt over beregningsmetoden.

Hjælpekema. Dagslysudnyttelse i andre bygninger pr. sæson

ZONE 1:
 Bygningsareal (m²) A:
 Effektbehov – almen belysning (W/m²) P:
 Brugstid (h/uge) T_b:

ZONE 2
 Bygningsareal (m²) A:
 Effektbehov – almen belysning (W/m²) P:
 Brugstid (h/uge) T_b:

| Elforbrug | f ₁ zone 1 | f ₂ zone 1 | Almen belysning Zone 1 El _{lys} ⁽¹⁾ | f ₁ zone 2 | f ₂ zone 2 | Almen belysning Zone 2 El _{lys} ⁽¹⁾ | Sær- belysning | Udendørs- belysning + andet | Samlet elbrug til belysning |
|---|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | | kWh/ sæson | | | kWh/ sæson | kWh/ sæson | kWh/ sæson | kWh/ sæson |
| Opvarmningssæson: 1. oktober – 30. april | | | | | | | | | |
| Sommersæson: 1. maj - 30. sept. | | | | | | | | | |

I alt kWh/år:

I alt kWh/m² pr. år:

(1)

Opvarmningssæson:

$$El_{lys} = \sum (f_1 \cdot f_2 \cdot A_{zone} \cdot P_{1ys, zone} \cdot T_b / 168 \cdot 212 \cdot 0,024)$$

Sommersæson:

$$El_{lys} = \sum (f_1 \cdot f_2 \cdot A_{zone} \cdot P_{1ys, zone} \cdot T_b / 168 \cdot 153 \cdot 0,024)$$

For opvarmningssæsonen gælder (1. oktober – 30. april):

$$EL_{lys} = \sum (A_{zone} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot P_{alm, zone} \cdot T_b / 168 \cdot 212 \cdot 0,024)$$

| | | |
|------|-----------------|---|
| hvor | EL_{lys} | er elforbruget til indendørs almenbelysning i kWh/opvarmningssæson |
| | A_{zone} | er arealet af de forskellige zoner i m^2 |
| | $P_{alm, zone}$ | er effektbehovet til almenbelysningen i W/m^2 |
| | T_b | er normal brugstid af bygningen i timer pr. uge |
| | 168 | er antal timer pr. uge |
| | 212 | er antallet af dage i opvarmningssæsonen |
| | 0,024 | er h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW |
| | f_1 | er korrektion for, at lokalet er ubenyttet og afviger fra normal brugstid og lyset ikke er tændt, evt. styret med en bevægelsesmelder |
| | f_2 | er en korrektion for, at belysningen styres efter dagslysforholdene. |

For sommersæsonen gælder (1. maj – 30. september):

$$EL_{lys} = \sum (A_{zone} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot P_{alm, zone} \cdot T_b / 168 \cdot 153 \cdot 0,024)$$

| | | |
|------|-----------------|---|
| hvor | EL_{lys} | er elforbruget til indendørs almenbelysning i kWh/sommersæson |
| | A_{zone} | er arealet af de forskellige zoner i m^2 |
| | $P_{alm, zone}$ | er effektbehovet til almenbelysningen i W/m^2 |
| | T_b | er normal brugstid af bygningen i timer pr. uge |
| | 168 | er antal timer pr. uge |
| | 153 | er antallet af dage i sommersæsonen |
| | 0,024 | er h/døgn divideret med 1000 for at omsætte fra W til kW |
| | f_1 | er korrektion for, at lokalet er ubenyttet og afviger fra normal brugstid og lyset ikke er tændt, evt. styret med en bevægelsesmelder |
| | f_2 | er en korrektion for, at belysningen styres efter dagslysforholdene. |

Til energiforbruget til den almene indendørsbelysning skal lægges et bidrag fra særlyset samt fra en evt. udendørsbelysning, hvor forbruget bør beregnes/skønnes i hvert enkelt tilfælde. Hvis der ikke findes oplysninger om det aktuelle belysningsanlæg, kan almenbelysningen skønnes ud fra tabel 2.3, idet særlyset i kontorer ofte udgør 2-5 W/m^2 af det samlede effektbehov. Herefter fås det totale elektricitetsforbrug EL_{lys} ved at addere de forskellige bidrag fra både opvarmnings- og sommersæson.

f_1
 f_1 må bestemmes ud fra kendskabet til aktiviteterne i bygningen. I store lokaler med mange mennesker vil belysningen som regel være tændt i hele brugstiden, mens der i lokaler med enkelte personer ofte kan regnes med, at lyset kun er tændt i en del af brugstiden. Selv om

der er en bevægelsesmelder i et storrumskontor, skal faktoren sættes til 1, og findes der en bevægelsesmelder i et enkeltmandskontor kan f_1 sættes til 0,7.

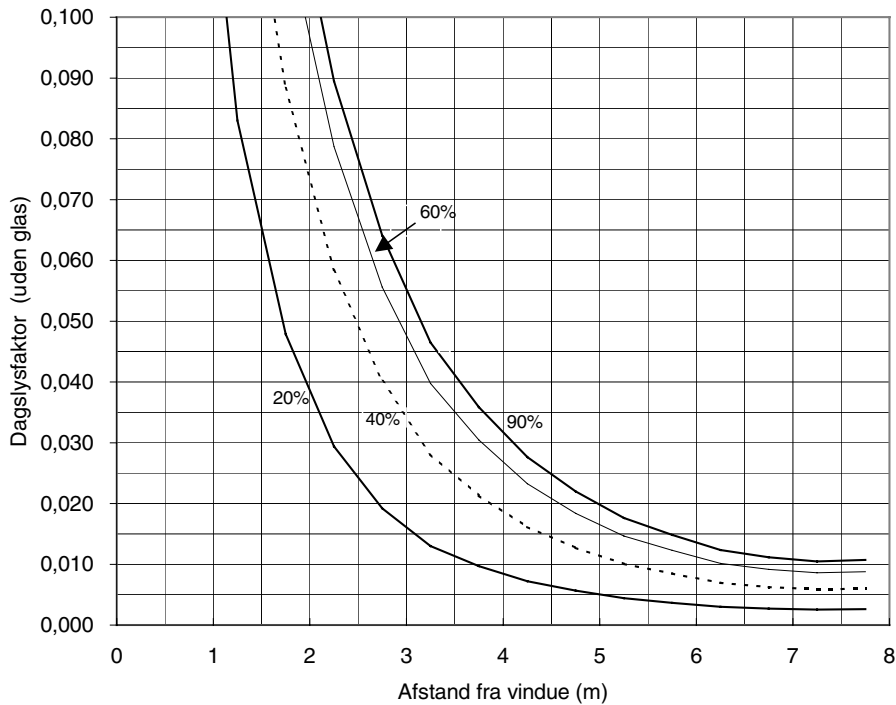
f_2

f_2 kan beregnes, når man kender hvor meget dagslys, der er til rådighed i driftstiden og behovet for belysningsstyrken i lokalet. Korrektionsfaktoren beregnes for den eller de zoner i lokalet, hvor der er lysstyring. Findes der ingen regulering efter dagslyset, sættes f_2 til 1.

Ved en opgørelse af besparelspotentialet er det ikke tilstrækkeligt udelukkende at se på elbesparelsen til belysningen, da såvel dagslys som den kunstige belysning påvirker det samlede energiforbrug. Dagslys og kunstig belysning kan give både et ønsket og uønsket varmetilskud, som om vinteren kan reducere opvarmningsbehovet, men om sommeren kan give store ophedningsproblemer. I fx kontorbygninger skal samspillet mellem dagslys og kunstlys derfor ses i sammenhæng med hele bygningens udformning og drift [15].

Det er muligt ud fra kendskabet til vinduernes størrelse, transmitions og placering i facaden at beregne en såkaldt dagslysfaktor i afhængighed af arbejdspladsens placering. Dagslysfaktoren giver et skøn over, hvor stor en del af arbejdstiden dagslys alene kan tilfredsstille et ønsket belysningsniveau. Dagslysfaktoren i et givet plan er forholdet mellem belysningen i punktet i planet og den samtidige belysning udendørs på et vandret plan, belyst med en fuld himmelhalvkugle. Desuden skal der tages hensyn til skyggende genstande uden for vinduerne.

Glasarealet angives som en procentdel af det totale indvendige facadeareal, og ved denne tilnærmede beregning antages at vinduerne er jævnt fordelt i facaden. På nedenstående figur er angivet dagslysfaktoren som funktion af glasarealet og afstand fra vinduet. Der er endvidere forudsat, at der intet glas er i vinduet og ingen skygger fra gardiner eller andre genstande ud over en murtykkelse på 0,2 m uden for vinduet.



Figur 2.1. Dagslysfaktor ved forskellige forhold mellem glasareal/total indvendig facadeareal (%).

Afstanden fra vinduet er afstand fra facade til det arbejdsfelt, hvor belysningsstyrken ønskes reguleret efter dagslysforholdene. Der kan interpoleres mellem kurverne. Dagslysfaktoren skal herefter ganges med forskellige reduktionsfaktorer, som tager højde for glastypen og skyggende genstande udenfor vinduet fx omkringliggende bygninger.

Lystransmittansen bør bestemmes på grundlag af målinger på den aktuelle rudetype. I tabel 2.4 er typiske lystransmittanser ved forskellige rudetyper angivet. Lystransmittansen opgives af fabrikanten ved indfaldsvinklen 0° . For det diffuse dagslys er transmittansen 0,9 gange mindre.

Dagslyset kan blive reduceret pga. af skygger fra omkringliggende bygninger, træer og andre genstande. Reduktionsfaktoren beregnes som funktion af skyggevinklen α (vinkel målt vinkelret fra vinduets midte til øverste skyggepunkt). Reduktionsfaktoren R kan sættes lig med skyggevinklen divideret med 90° .

Dagslysfaktoren udregnes som:

$$DF = DF^* \cdot 0,9 \cdot T \cdot R.$$

- hvor DF er den resulterende dagslysfaktor
 DF^* er dagslysfaktor aflæst på figur 2.1.
 R er reduktionsfaktor grundet skygger
 T er sollystransmittansen for rudetyper.

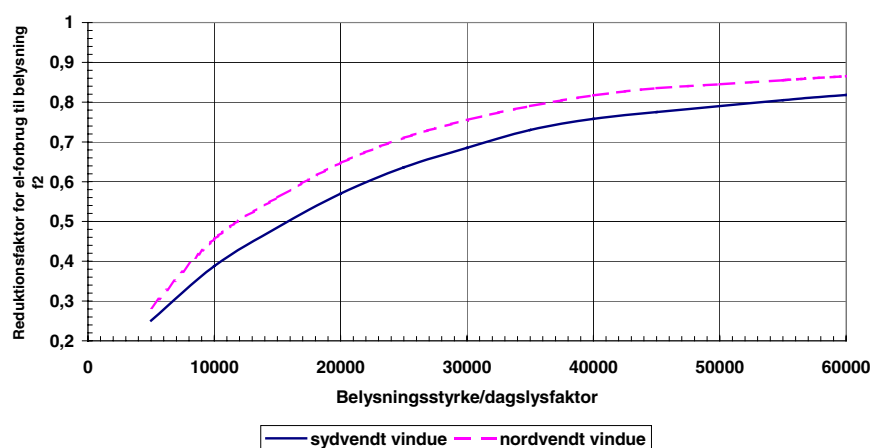
Tabel 2.4. Sollystransmittansen (T) for forskellige rudetyper ved indfaldsvinkel 0° [16].

| Rudetype | Sollystransmittans |
|------------------------------------|--------------------|
| 2 lag glas uden belægning | 0,8 |
| 2 lag glas med 1 belægning | 0,7-0,8 |
| 3 lag glas med 1 belægning | 0,6-0,7 |
| 2 lag glas med solafskærmende glas | 0,4-0,6 |

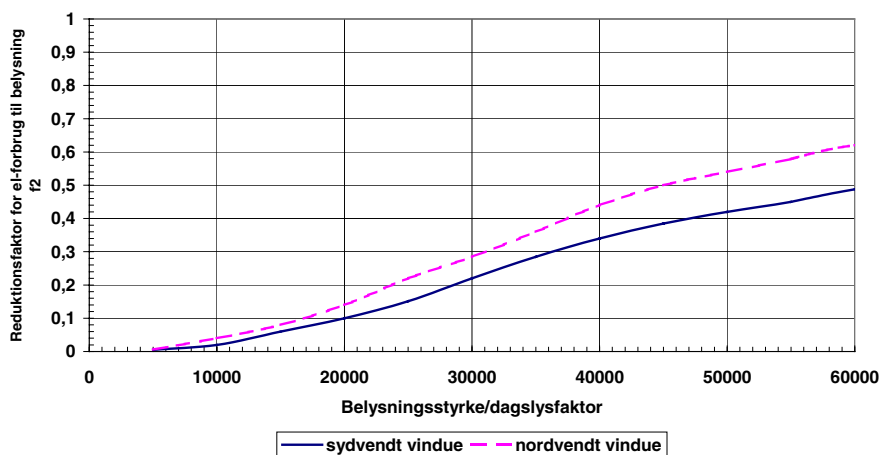
Der er i DS 700 [14] angivet retningslinjer for belysningsstyrker på arbejdsfeltets nærmere og fjernere omgivelser, og fx svarer 500 lux til belysningsstyrken ved vedvarende arbejde i et kontor, mens 200 lux er arbejdsfeltets nærmere omgivelser, dvs. et par meter inde i lokalet.

Hvis der anvendes arbejdslamper vil en almenbelysning på 200 lux ofte være tilstrækkelig på arbejdspladsen og 50-100 lux på gangarealerne.

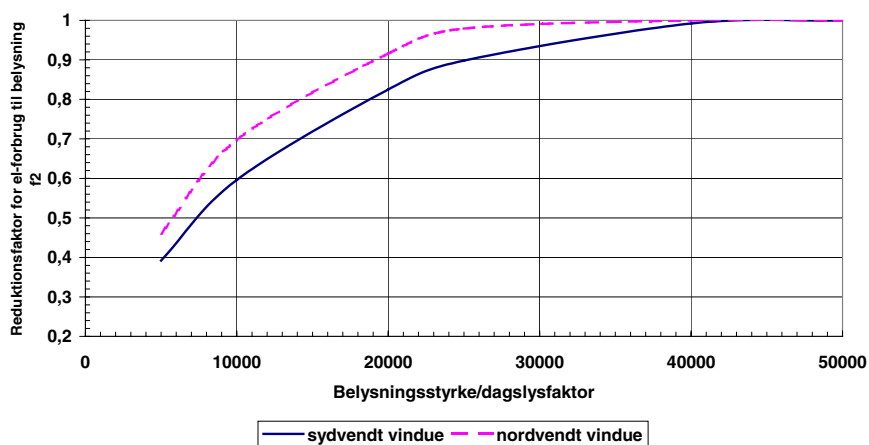
Reduktionsfaktoren er udregnet for en hhv. on/off regulering og en kontinuerlig regulering, og er gennemsnitsværdier for opvarmningssæsonen og sommersæsonen i figur 2.2, 2.3, 2.4 og 2.5.



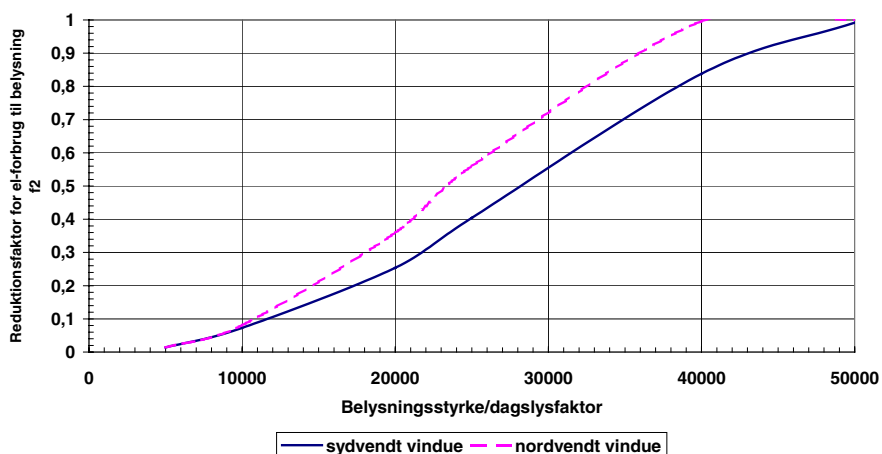
Figur 2.2. Faktoren f_2 ved **kontinuerlig** regulering af belysningen fra kl. 8-17 i afhængighed af belysning/dagslysfaktor. Opvarmningssæson 1. oktober – 30. april.



Figur 2.3. Faktoren f_2 ved **kontinuerlig** regulering af belysningen fra kl. 8-17 i afhængighed af belysning/dagslysfaktor. Sommersæson 1. maj - 30. september.



Figur 2.4. Faktoren f_2 ved **on/off** regulering af belysningen fra kl. 8-17 i afhængighed af belysning/dagslysfaktor. Opvarmningssæson 1. oktober - 30. april.



Figur 2.5. Faktoren f_2 ved **on/off** regulering af belysningen fra kl. 8-17 i afhængighed af belysning/dagslysfaktor. Sommersæson 1. maj - 30. september.

2.5 Elforbrug i varmeanlæg

2.5.1 Pumper

Typiske elforbrug til pumper er meget forskellige alt efter hvilken størrelse og type, det er. Hvis de eksakte tal ikke kendes for de aktuelle pumper, kan følgende katalogdata bruges som retningsgivende for varmeanlægget:

Tabel 2.5. Skønnede værdier for optagen eleffekt i cirkulationspumper i varmeanlæg.

| | Eleffekt |
|--|-----------|
| Parcelhuse | 50-75 W |
| Mellemstore bygninger (500-2500 m ²) | 100-300 W |
| Store bygninger (≥ 2500 m ²) | 300-700 W |

Hvis der er cirkulation og den nævnte anlægsudformning ikke kendes, kan det antages, at elforbruget til cirkulation af det varme brugsvand svarer til halvdelen af elforbruget til pumperne i varmeanlægget. Driftstiden kan bestemmes som beskrevet i afsnit 4.1.

2.5.2 Gaskedler

Elforbruget til kedler er meget forskellige alt efter hvilken type brænder, pumpe, ventilator og styring, der er i kedlerne. Iflg. Dansk Gasteknisk Center (DGC) ligger forbruget i små gaskedler mellem 100 og 1000 kWh/år.

2.5.3 Solvarmecirkulationspumpe

Et solvarmeanlæg til opvarmning af varmt vand om sommeren i en driftsperiode på 6 måneder, svarende til et maksimalt driftstimental på 4400 timer. Et solvarmeanlæg har installeret en cirkulationspumpe, som normalt kører on/off, reguleret over en differenstermostat, så den kun kører efter behov. Følgende overslag er baseret på en driftstid på ca. 50% af tiden [17]. En solfanger med et areal på ca. 3 m² med en cirkulationspumpe på 40 W, har et elforbrug ved 3 måneders drift på ca. 40 kWh/år og ved 6 måneders drift på 80 kWh. En solfanger med et areal på ca. 12 m² med en cirkulationspumpe på 100 W, har et elforbrug ved 3 måneders drift på ca. 100 kWh/år og ved 6 måneders drift på ca. 200 kWh.

2.5.4 Varmepumpe

Varmepumper findes i flere varianter, med forskellige størrelser og anvendelser. Hovedanlægstyperne er: jord/vand, luft/luft, luft/vand og luft/brugsvand. Jord/vand- varmpumper findes hovedsageligt på store anlæg, som er dimensioneret til at dække op til 95% af boligens varmebehov, hvor der så suppleres med anden varme.

Jord/vand- varmpumpeanlæg omfatter to cirkulationspumper til hhv. internt og eksternt røranlæg samt en kompressor. Den installerede effekt ligger typisk mellem 3-10 kW [17]. Luft/luft- varmpumper kan normalt dække halvdelen af varmforsyningen afhængig af boligstørrelse og varmebehov. Luft/luft- varmpumpeanlæg omfatter to ventilatorer til hhv. inde- og udeluftdelen samt en kompressor. Den installerede effekt er typisk 2-5 kW. Varmekilden i luft/vand

anlæg er udeluft eller ventilationsluft, og installeres ofte til også at producere varmt brugsvand.

For brugsvandsanlæg gælder, at jo større forbruget af varmt vand er, jo bedre bliver økonomien. Varmekilden til rene brugsvandsvarmepumper er udeluft eller en kombination af udeluft og udsugning i forbindelse med friskluftsventilation.

Når et varmepumpeanlæg driftsøkonomisk skal vurderes, er det nødvendigt at anvende en skønnet årsnyttevirkning (leveret energi i forhold til tilført energi). VE-sekretariatet på DTI har udarbejdet følgende tabel, som kan benyttes til at vurdere årsnyttevirkningen. Tabellen er baseret på driftserfaringer og anvendelse af den seneste teknologi på området:

Tabel 2.6. Praktisk årsnyttevirkning (skønnet). Udvikling fra 2000-2020 [17].

| VP-type | 1994-97 | 2000 | 2005 | 2020 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Jord/Vandanlæg | 2,7-3,3 | 3,5-4,2 | 3,6-4,2 | 4,3-4,8 |
| Luft/Vandanlæg | 2,4-2,9 | 3,1-3,6 | 3,2-3,8 | 3,6-4,3 |
| Luft/Luftanlæg | 2,4-2,6 | 2,9-3,4 | 3,0-3,6 | 3,3-3,8 |
| Luft/Brugsvandsanlæg | 1,6-2,0 | 1,8-2,2 | 2,2 | 2,5 |
| Staldvarmeanlæg | 2,9-3,7 | 3,7-4,6 | 3,9-4,8 | 4,5-5,0 |

Grunden til at effektfaktorerne er opgivet som et interval er, at der kan være variation i de forskellige anlægstyper og varmeafgiversystemer. Ved nybyggeri, hvor det er muligt fra starten at dimensionere et optimalt varmesystem, vil det som regel være de højeste (og dermed bedste) værdier, der gælder.

I fjernvarmeområder må det som oftest helt frarådes at installere varmepumpeanlæg. Dels er fjernvarme ofte en miljømæssig fornuftig varmekilde, dels medfører den danske prispolitik, at det ofte er økonomisk ufordelagtigt at erstatte fjernvarmen med en varmepumpe.

2.5.5 Solcelleanlæg

Solcelleanlæg er en nyere teknik, som kun optræder i begrænset omfang i almindelige boliger. Erfaringstal for solcelleanlæg til boliger er begrænset og findes hovedsageligt fra demonstrations- og forskningsprojekter. Solceller omdanner sollys til elektricitet i form af jævnstrøm og kan derfor ikke anvendes direkte i elnettet, men kræver en vekselretter beregnet til 230 volt vekselstrøm. Dette medfører en reduceret ydelse på ca. 5% [17]. Det er mest optimalt at anvende solceller uden omformning til fx cirkulationspumper i solvarmeanlæg og på installationer, hvor elforsyning ikke umiddelbart er tilgængeligt. Sammenfattende har solcelleanlæg i Danmark en årlig ydelse på mellem 50 og 100 kWh/m², afhængig af placering i forhold til optimal placering, som er sydlig retning og med en hældning på ca. 45°.

2.6 Samlet elforbrug

Det totale elforbrug udregnes som summen af elforbrugene:

$$El_{total} = El_{vent} + El_{app} + El_{lys} + El_{varme}$$

hvor El_{total} er det totale elforbrug i kWh/år
 El_{vent} er elforbruget til ventilation i kWh/år
 El_{app} er elforbruget til apparatur i kWh/år
 El_{lys} er elforbruget til belysning i kWh/år
 El_{varme} er elforbruget til drift af varmeanlæg i kWh/år.

3. Nettovarmebehov til rumopvarmning, ventilation og varmt brugsvand

3.1 Nettovarmebehov til rumopvarmning og ventilation iflg. SBI-anvisning 184

Metoden til beregning af en bygnings samlede varmebehov til rumopvarmning og ventilation kan anvendes både for boliger og for andre typer bygninger. Metoden er baseret på månedsvise beregning af varmetab og udnytteligt varmetilskud for bygningen. Ved beregningen anvendes månedsmiddelværdier for udetemperatur og solstråling, og der tages hensyn til varmetilskuddet fra solindfald, personer, belysning og apparatur samt bygningens varmeakkumulerende egenskaber. Beregningen gennemføres kun for den del af året, hvor der er behov for opvarmning, og gennemføres ved at udfylde et hovedskema med de væsentligste bygningsdata og resultater samt et antal hjælpeskemaer med beregninger. Antallet af hjælpeskemaer, der skal bruges, vil afhænge af bygningens kompleksitet. Beregningerne kan evt. udføres med håndregning eller ved benyttelse af et edb-program BV 98 [18], som er udviklet til formålet.

Metoden er baseret på en ny europæisk standard, Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for heating – Residential buildings (EN 832), samt et udkast til en kommende ISO standard prEN ISO 13970:1999: Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for heating [5].

Beskrivelserne af varmeisolering og varmebehov omfatter følgende områder: U-værdier, varmetabsramme, mindste varmeisolering, energiramme og selve beregningen af varmebehov. I denne beregning er inkluderet internt varmetilskud fra personer, belysning og apparatur. Det interne varmetilskud er i nærværende beregningsmetode beregnet særskilt, idet det totale elforbrug til belysning og apparatur er beregnet i foregående afsnit og derefter beregnes det potentielle forbrug til varmeberegningen. Yderligere er beregningsmetoden blevet udvidet med en beregning af det interne tilskud fra personer samt energibehovet til det varme brugsvand og et nyt samlet nettovarmebehov kan udregnes på månedsbasis.

Der henvises i øvrigt til selve anvisningen for yderligere informationer.

3.2 Internt varmetilskud fra personer

Personvarmen og el til belysning og apparatur udgør det interne varmetilskud set i relation til varmebalancen. Varmetilskuddet indeholder kun den del af elforbruget, som eventuelt kan nyttiggøres, også kaldet det potentielle varmetilskud.

ϕ_p er det gennemsnitlige varmetilskud i W/m^2 og for boliger kan ϕ_p sættes til $2 W/m^2$ opvarmet etageareal i middel hele døgnet i opvarmningssæsonen.

ϕ_p kan for kontorer sættes til $6 W/m^2$ opvarmet etageareal i middel i brugstiden for opvarmningssæsonen.

3.3 Internt varmetilskud fra apparatur

Størstedelen af elforbruget omsættes til varme, som bidrager til bygningens opvarmning. For visse installationers vedkommende går den udviklede varme dog helt eller delvist tabt, og dette gælder således bl.a. varme fra komfur, opvaskemaskine og vaskemaskine. Denne procentdel må skønnes i de enkelte, aktuelle tilfælde, men kendes de eksakte apparater ikke, kan der regnes med, at 60-70% af det samlede elforbrug til apparatur i boligen i varmesæsonen bliver til potentielt varmetilskud, mens det regnes helt udnyttet i kontorer.

Varmetilskuddet fra apparatur udregnes som:

$$\phi_{app} = f_{app} \cdot P_{app}$$

hvor ϕ_{app} er det potentielle varmetilskud fra apparatur i W/m^2
 f_{app} er en faktor, der afgør, hvor meget af elforbruget, der er potentielt og dette afhænger af hvilken type apparat, det er. f_{app} kan i gennemsnit sættes til 0,7 for boliger og 1,0 i kontorer

P_{app} er effekt af apparatur i W/m^2 .

3.4 Internt varmetilskud fra belysning

Størstedelen af elforbruget omsættes til varme, som bidrager til bygningens opvarmning. For visse installationers vedkommende går den udviklede varme dog helt eller delvist tabt, og dette gælder således bl.a. varme fra udendørsbelysning. Denne procentdel må skønnes i de enkelte, aktuelle tilfælde. Kendes de eksakte armaturer ikke, kan faktoren sættes til 1,0 med mindre en væsentlig del af belysningseffekten er installeret uden for den isolerende del af bygningen eller den fjernes ved udsugning gennem belysningsarmaturerne.

Varmetilskuddet fra belysning udregnes som:

$$\phi_{lys} = f_{lys} \cdot P_{lys}$$

hvor ϕ_{lys} er det potentielle varmetilskud fra belysning i W/m^2
 f_{lys} er en faktor, der afgør, hvor meget af elforbruget, der er potentielt. f_{lys} kan i gennemsnit sættes til 1,0 for boliger og kontorer.

P_{lys} er effekt til belysning i W/m^2 .

Hvis der findes en regulering af belysningen, må det gennemsnitlige varmetilskud findes som en brøk af effektbehovet af almenbelys-

ningen i opvarmningssæsonen. Brøken kan bestemmes ud fra de to faktorer f_1 og f_2 beskrevet i afsnit 2.4.1.

3.5 Samlet internt varmetilskud

Det samlede interne varmetilskud kan herefter beregnes som:

$$\phi_i = \phi_p + \phi_{app} + \phi_{lys}$$

hvor ϕ_i er det totale potentielle interne varmetilskud i W/m^2
 ϕ_p er det potentielle varmetilskud fra personer i W/m^2
 ϕ_{app} er det potentielle varmetilskud fra apparatur i W/m^2
 ϕ_{lys} er det potentielle varmetilskud fra belysning i W/m^2 .

Varmetilskuddet forudsættes benyttet i opvarmningssæsonen 1. oktober – 30. april, men anvendes også i maj og september måned i beregningen af bruttovarmetabet, som beskrevet i SBI-anvisning 184.

Det er forudsat, at elforbruget hhv. til ventilation og i varmeanlægget ikke bidrager til bygningens opvarmning.

3.6 Varmt brugsvand

Varmebehovet til varmt brugsvand kan beregnes som:

$$Q_{vv} = q_{vv} \cdot A_e$$

hvor Q_{vv} er varmebehovet til varmt brugsvand i MJ/år
 q_{vv} er varmebehovet til varmt brugsvand i MJ/m² år
 A_e er det opvarmede etageareal i m².

Ifølge Danmarks Statistik bruges der i Danmark dagligt ca. 144 liter vand pr. person til husholdningsforbrug. Der er en betydelig variation i forbruget bl.a. efter, hvor i landet man befinder sig. I henhold til gældende normer anslås varmtvandsforbruget til ca. 30% af totalforbruget, dvs. 35 liter er varmt vand og 5 liter opvarmes i vaske- og opvaskemaskiner. De 40 l varmt vand pr. person svarer energimæssigt til ca. 6,8 MJ pr. dag svarende til 2500 MJ pr. år pr. person.

For boliger ligger q_{vv} mellem 36 og 84 MJ/m² per år. Q_{vv} bør for boliger ikke ligge under 2400 MJ/år og ikke overstige 9000 MJ/år pr. boligenhed.

For andre bygninger er der store variationer af varmtvandforbruget, så det har ikke nogen mening at udregne et standardforbrug. Hvis det eksakte vandforbrug ikke kendes for den pågældende type erhvervsbygning kan følgende vejledende branche-gennemsnits forbrugsværdier bruges (tallene er baseret på registreringer af VKO-ejendomme, og varmtvandforbrugene, som ikke omfatter procesformål og produktion, dækker det samlede vandforbrug registreret både til individuelle forbrug og til fællesforbrug af enhver art).

Tabel 3.1. Vejledende gennemsnits forbrugsværdier for q_{vv} for erhvervsbygninger.

| Bygningsanvendelse | q_{vv} Varmtvands-forbrug MJ/m ² pr. år |
|----------------------------|--|
| Kontor, handel | 25 |
| Skoler, forskningslab. | |
| Biograf, bibliotek, museum | |
| Industri | |
| Transport- og garageanlæg | |
| Daginstitutioner | 100 |
| Kaserner, fængsler | |
| Ferieformål, feriebyer | |
| Idrætshal, svømmehal | |
| Hospitaler, sygehjem | 125 |
| Hotel, servicevirksomhed | |
| Plejhjem, døgninstitution | |

3.7 Samlet nettovarmebehov

Det samlede nettovarmebehov til bygningen bestemmes som nettovarmetabet til rumopvarmning og ventilation plus varmebehovet til varmt brugsvand:

$$Q_{netto} = Q_h + Q_{vv}$$

hvor Q_{netto} er lig med bygningens nettovarmebehov i MJ/år
 Q_h er nettovarmebehovet til rumopvarmning og ventilation i MJ/år beregnet iflg. SBI-anvisning 184.
 Q_{vv} er varmebehovet til varmt brugsvand i MJ/år.

4. Bruttovarmebehov

Bruttovarmebehovet tager hensyn til tabet i varme- og varmtvandsrør samt varmtvandsbeholder. Tabet fra kedlen regnes at indgå i kedlens årsnytttevirkning. Desuden beregnes den supplerende varme fra et solvarmeanlæg.

4.1 Ikke nyttiggjort rørtab fra varme- og varmtvandsrør og varmtvandsbeholder

Opgørelsen af varmetab fra tekniske installationer sker i to trin: først beregnes bruttovarmetabet fra installationerne og efterfølgende beregnes det egentlige varmetab dvs. den del, der *ikke nyttiggøres* til opvarmning af bygningen.

Der beregnes følgende bidrag til bruttovarmetabet:

- Varmtvandsrør indenfor isoleringen, dog eksklusiv koblingsrør (i sommersæsonen dvs. 1. maj – 30. april)
- Varmtvandsbeholder (i sommersæsonen)
- Varmerør indenfor isoleringen, der er i drift hele året (i sommersæsonen)
- Varme- og varmtvandsrør samt varmtvandsbeholder placeret i kældre, krybekældre, skunke, tagrum eller lignende samt fra rør placeret udenfor bygningen i det fri eller i fx uopvarmede tilbygninger, garager og udhuse (hele året).

I opvarmningssæsonen regnes der med, at varmetabet fra varme- og varmtvandsrør og varmtvandsbeholder, som er placeret indenfor isoleringen, kan nyttiggøres som internt varmetilskud.

4.1.1 Bruttovarmetab i varme- og varmtvandsrør

Bruttovarmetabet fra varmerør og varmtvandsrør bestemmes som:

$$Q_{tab,brutto} = l_{rør} \cdot q_{tab} \cdot \Delta t \cdot D \cdot 0,0864 \cdot f_d$$

hvor $Q_{tab,brutto}$ er bruttovarmetabet fra installationerne i MJ/sæson
 $l_{rør}$ er rørlængden i m,
 q_{tab} er varmetabet fra røret i W/m K
 Δt er temperaturforskellen mellem medie og omgivelser i °C
 D er antallet af dage i sæsonen varmetabet er aktuelt
0,0864 har enheden 10^6 sek./døgn
 f_d er en faktor, der afhænger af anlæggets driftstid inkl. genopvarmningstid (for boliger lig med 1,0, for andre bygninger 0,5-1,0).

Anlæg eller dele af anlæg, hvor der kun er mindre forskelle i driftsforhold, rørdimension og rørisolering, kan beregnes samlet ved at anvende gennemsnitsværdier for temperaturforhold, rørdimension og isolering. Uisolerede rørstrækninger skal altid beregnes separat.

4.1.2 Rørlængder

Rørlængden $l_{\text{rør}}$ kan ofte bestemmes alene ud fra kendskab til bygningens dimensioner, radiatorplaceringen og rørføringen.

I bygninger med rør i kælder, krybekælder, terrændæk eller rør på uudnyttet loft kan rørlængden for varmerør normalt sættes til:

2-strengt: fremløb = returløb = 2 x bygningens længde + 1 x bygningens bredde, dvs. $l_{\text{rør}} = 4 \times \text{bygningens længde} + 2 \times \text{bygningens bredde}$

1-strengt: $l_{\text{rør}} = 2 \times \text{bygningens længde} + 2 \times \text{bygningens bredde} = \text{husets omkreds}$

I bygninger med udnyttet tagetage og rør i skunk forudsættes det, at rørtab fra lodrette rør og rør på tværs af bygningen kan nyttiggøres fuldt ud og rørlængden for varmerør kan normalt sættes til:

2-strengt: fremløb = returløb = 2 x bygningens længde dvs.

$l_{\text{rør}} = 4 \times \text{bygningens længde}$

1-strengt: $l_{\text{rør}} = 2 \times \text{bygningens længde}$

Længden af varmtvandsrørene afhænger af tappestedernes placering i forhold til varmtvandsbeholderen og bør bestemmes i hvert enkelt tilfælde.

4.1.3 Specifikt varmetab

Varmetabet fra rør q_{tab} skal bestemmes vha. DS 452: "Termisk isolering af tekniske installationer" [19]. For nogle typiske rørstørrelser er varmetabet udregnet under forudsætning af en middeltemperaturforskel mellem rør og omgivelser på 35 °C, hvilket svarer til en rørrørlængde på 45-55 °C og en omgivende temperatur på 10-20 °C.

Tabel 4.1. Varmetab fra rør i W/m K. Der er forudsat en varmeledningsevne for isoleringen på 0,040 W/m K samt, at isoleringen er i god stand.

| Rørdiameter | Isoleringstykkelse, mm | | | |
|------------------|------------------------|------|------|------|
| | Ingen | 10 | 30 | 50 |
| Stålrør | | | | |
| 3/8" | 0,76 | 0,25 | 0,16 | |
| 1/2" | 0,94 | 0,29 | 0,17 | |
| 3/4" | 1,18 | 0,34 | 0,20 | 0,16 |
| 1" | 1,48 | 0,40 | 0,22 | 0,17 |
| 1 1/4" | 1,86 | 0,48 | 0,26 | 0,20 |
| 1 1/2" | 2,12 | 0,53 | 0,28 | 0,21 |
| 2" | 2,65 | 0,63 | 0,33 | 0,24 |
| 2 1/2" | 3,35 | 0,77 | 0,39 | 0,28 |
| 3" | 3,91 | 0,88 | 0,44 | 0,31 |
| 4" | 5,03 | 1,11 | 0,53 | 0,38 |
| Kobberrør | | | | |
| 10/8 mm | 0,44 | 0,18 | | |
| 12/10 mm | 0,53 | 0,20 | | |
| 15/13 mm | 0,66 | 0,23 | 0,15 | |
| 18/16 mm | 0,79 | 0,26 | 0,16 | |
| 22/20 mm | 0,97 | 0,29 | 0,18 | |
| 28/25 mm | 1,23 | 0,35 | 0,20 | 0,16 |
| 35/32 mm | 1,54 | 0,41 | 0,23 | 0,18 |

I anlæg, hvor der er et væsentligt varmetab fra uisolerede ventiler og pumper, kan der tages hensyn til dette ved at medregne en ækvivalent længde uisoleret rør med samme dimension som ventilen eller pumpen, se tabel 4.2.

Tabel 4.2. Typisk ækvivalent uisoleret rørlængde i m for uisolerede ventiler og pumper. Værdierne forudsætter at isoleringen er ført helt hen til ventilen eller pumpen, og at isoleringen er i god stand.

| Komponent | Ækvivalent rørlængde i m |
|-------------------------|--------------------------|
| Lille ventil | 0,2 |
| Middelstor ventil | 0,5 |
| Stor ventil | 1,0 |
| Stor ventil med flanger | 1,5 |
| Pumpe | 2,0 |

4.1.4 Temperaturforskel mellem rør og omgivelser

Middeltemperaturdifference er middelværdien af forskellen mellem rørrtemperaturen og omgivelsernes temperatur bestemt over anlæggets driftstid og under hensyn til eventuel fremløbstemperaturregulering og forcering i forbindelse med tidsstyring samt forskelle i frem- og returløbstemperatur. Ved bestemmelse af varmetabet fra rørene anvendes der normalt en middeltemperaturdifference på 35 °C. Undtagelsen er rør placeret udenfor bygningen i det fri eller i uopvarmede, uisolerede tilbygninger, garager, udhuse og lignende, hvor der i stedet anvendes en middeltemperaturdifference på 45 °C for at tage hensyn til den lavere omgivelsestemperatur, se tabel 4.3. I særlige tilfælde, hvor anlægget er udformet så middelrørrtemperaturene bliver over 60 °C eller under 40 °C i hovedparten af driftstiden, må middeltemperaturdifference over driftstiden bestemmes for de aktuelle temperaturforhold.

Tabel 4.3. Typisk middeltemperatur for omgivelser og rør i °C.

| | |
|--|-------|
| Ude samt i uopvarmede, tilbygninger og lign. | 5 |
| Uisolerede tagrum og skunkrum | 10 |
| Uopvarmede kældre og krybekældre | 15 |
| Opvarmede rum | 20 |
| Rør i alm. varme- og brugsvandsanlæg | 45-55 |

4.1.5 Bruttovarmetab i varmtvandsbeholder

$$Q_{tab,brutto} = q_{tab} \cdot \Delta t \cdot D \cdot 0,0864$$

| | | |
|------|------------------|---|
| hvor | $Q_{tab,brutto}$ | er bruttovarmetabet fra beholderen i MJ/sæson |
| | q_{tab} | er varmetabet fra beholderen i W/K |
| | Δt | er temperaturforskellen mellem medie og omgivelser i °C |
| | D | er antallet af dage i sæsonen varmetabet er aktuelt |
| | 0,0864 | har enheden 10^6 sek./døgn. |

Bruttovarmetabet fra en separat varmtvandsbeholder placeret i den opvarmede del af bygningen eller i kælderen bør bestemmes på baggrund af målinger. Hvis disse ikke kendes, kan varmetabet bestemmes ved hjælp af værdierne i tabel 4.4.

Varmetabet fra forbindelsesrør til kedlen, varmtvandsrør og afspærringsventil kan beregnes separat som beskrevet i foregående afsnit.

Tabel 4.4. Typisk bruttovarmetab q_{tab} i W/K fra separat varmtvandsbeholder. Der er forudsat en varmeledningsevne for isoleringen på 0,040 W/m K, og at isoleringen er i god stand.

| Type af beholder | Areal m ² | Isolering i mm | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 100 l kappe | 1,7 | 18,7 | 2,8 | 1,5 | 1,1 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| 150 l kappe | 2,1 | 23,1 | 3,4 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 0,8 | 0,7 |
| 200 l kappe | 2,6 | 28,6 | 4,3 | 2,3 | 1,6 | 1,2 | 1,0 | 0,8 |
| 300 l kappe | 3,2 | 35,2 | 5,2 | 2,9 | 2,0 | 1,5 | 1,2 | 1,0 |
| 150 l spiral | 1,9 | 20,9 | 3,1 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,73 | 0,6 |
| 200 l spiral | 2,3 | 25,3 | 3,8 | 2,1 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 0,7 |
| 300 l spiral | 3,0 | 33,0 | 4,9 | 2,7 | 1,9 | 1,4 | 1,2 | 1,0 |
| 500 l spiral | 4,1 | 45,1 | 6,7 | 3,7 | 2,5 | 1,9 | 1,6 | 1,3 |

4.1.6 Ikke nyttiggjort varmetab i rør og beholdere

En del af varmetabet bidrager til rumopvarmningen i opvarmnings-sæsonen, og det ikke nyttiggjorte varmetab fra varmerør, varmtvandsrør og varmtvandsbeholder beregnes som følger:

$$Q_{tab} = Q_{tab,brutto} \cdot (1 - b)$$

- hvor Q_{tab} er det ikke nyttiggjorte varmetab i rør og varmtvandsbeholder i MJ/år
 $Q_{tab,brutto}$ er bruttovarmetabet fra varme- og varmtvandsrør samt varmtvandsbeholder i MJ/år
 b er temperaturfaktoren for rummet, hvor rørene eller beholderen er placeret.

Temperaturfaktoren b afhænger af rummets varmebalance og angiver, hvor stor en del af varmetabet i rummet, der bliver tilført den opvarmede del af bygningen. Det er i øvrigt den samme temperaturfaktor, der anvendes ved bestemmelse af transmissionstabet i SBI anvisning 184. I sommerperioden er b altid lig med 0.

Tabel 4.5. Temperaturfaktor, b for placering af rør og varmtvandsbeholdere.

| | |
|--|-----|
| Uopvarmede udestuer, tilbygninger, garager og udhuse | 0,0 |
| Tag-og skunkrum, udenfor isoleringen | 0,0 |
| Ventilerede krybekældre: | |
| Isoleret etageadskillelse | 0,2 |
| Uisoleret etageadskillelse | 0,4 |
| Uventileret hulrum under gulv | 1,0 |
| Terrændæk med rør under isolering | 0,4 |
| Kældre: | |
| Isoleret etageadskillelse, uisoleret kælder | 0,3 |
| Isoleret etageadskillelse, isoleret kælder | 0,4 |
| Uisoleret etageadskillelse, uisoleret kælder | 0,5 |
| Uisoleret etageadskillelse, isoleret kælder | 0,7 |
| Uopvarmede trappeopgange og lign. | 0,8 |
| Bryggers | 0,8 |
| Rum, indenfor isoleringen | 1,0 |

4.2 Solvarmeanlægs nettoenergitilskud

Solvarmeanlægs nettoydelse bør bestemmes ud fra målinger på de aktuelle anlæg. Hvis disse ikke findes, kan der bruges en forenklet metode til beregning af et solvarmeanlægs nettoenergitilskud udviklet af Prøvestationen for Solenergi, Dansk Teknologisk Institut til Energimærkningsordningen [17]. Ved de følgende beregninger er anvendt et "state of the art" anlæg, dvs. et velinstalleret og velisoleret anlæg, hvor beholder og solfanger er valgt blandt de mest solgte. Når nettovarmtvandsforbruget er kendt, kan solvarmeanlæggets beregnede årsnettoydelser, $Q_{sol,tot}$ aflæses i nedenstående tabel.

Tabel 4.6. Nettoydelsen, $Q_{sol,tot}$ i MJ/år som funktion af nettovarmtvandsbehov og solfanger areal ved sydlig orientering og hældning 30-70° [17].

| Nettobehov, brugsvand i MJ/år | Solfanger areal i m ² | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|------|------|-------|-------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 3600 | 2520 | 3240 | 3240 | 3240 | 3240 |
| 7200 | 3240 | 4680 | 5760 | 6840 | 6840 |
| 10800 | 3960 | 5760 | 7200 | 8280 | 9360 |
| 14400 | 4320 | 6480 | 8280 | 9360 | 10800 |
| 18000 | 4680 | 7200 | 9000 | 10440 | 11880 |
| 21600 | 5040 | 7560 | 9720 | 11520 | 12960 |

Dernæst kan solvarmen opdeles på måneder vha. nedenstående fordelingsnøgle:

Tabel 4.7. Månedsvise fordeling af nettoydelsen for solvarmeanlæg til mindre brugsvandsanlæg.

| Måned | Fordeling |
|-----------|-----------|
| Januar | 0,02 |
| Februar | 0,04 |
| Marts | 0,07 |
| April | 0,11 |
| Maj | 0,14 |
| Juni | 0,13 |
| Juli | 0,14 |
| August | 0,15 |
| September | 0,10 |
| Oktober | 0,06 |
| November | 0,03 |
| December | 0,01 |

Ud over solfangerens placering og behovet for varmt vand og/eller rumvarme, er ydelsen også afhængig af solfangerens placering (hældning og orientering) – se tabel 4.10.

Tabel 4.8. Reduktionsfaktor F , for orientering og hældning, som ganges med solfangerens ydelse.

| Orientering | Syd | SØ/SV | Øst/Vest |
|-----------------|------|-------|----------|
| Hældning 15° | 0,90 | 0,90 | 0,80 |
| Hældning 30-70° | 1,00 | 0,95 | 0,80 |
| Hældning 90° | 0,90 | 0,85 | 0,70 |

Det samlede tilskud kan herefter beregnes som:

$$Q_{sol} = F \cdot Q_{sol,tot}$$

hvor Q_{sol} er nettoenergitilskud fra solvarmeanlægget i MJ/år
 F er en reduktionsfaktor for orientering og hældning
 $Q_{sol,tot}$ er solvarmeanlæggets nettoydelse i MJ/år.

4.3 Samlet bruttovarmebehov

Det samlede bruttovarmebehov til bygningen bestemmes som nettovarmetabet plus det ikke nyttiggjorte varmetab til rør og varmtvandsbeholder og derfra fratrækkes et evt. bidrag fra solvarme:

$$Q_{brutto} = Q_{netto} + Q_{tab} - Q_{sol}$$

hvor Q_{brutto} er bygningens bruttovarmebehov i MJ/år
 Q_{netto} er nettovarmebehovet i MJ/år
 Q_{tab} er det ikke nyttiggjorte varmetab til rør og varmtvandsbeholder i MJ/år
 Q_{sol} er varmetilskud fra solvarmeanlægget i MJ/år.

Hvis det er et solvarmeanlæg kun til varmt brugsvand, vil energitilskuddet fra solvarmeanlægget ikke kunne overstige varmeforbruget til varmt brugsvand inkl. rørtabene.

5. Bruttoenergiforbrug under hensyntagen til virkningsgrader

5.1 Årsnyttevirkning

Bruttoenergiforbruget til varme, ventilation, varmt brugsvand og elektricitet bestemmes vha. årsnyttevirkningen for varmeanlægget og elektricitetsforbruget. Beregningerne er "an hus", dvs. for naturgas er det den mængde gas, der afregnes med selskaber og for el og fjernvarme er det den mængde energi, der afregnes med værket, uanset om dette så foregår i MWh, GJ eller m³ fjernvarmevand. Fordelings- og ledningstab i fjernvarmenettet og ledningstab i elnettet uden for ejendommen medtages ikke i beregningerne af bygningens bruttoenergiforbrug.

Bruttoenergiforbruget bliver således på årsbasis:

$$E_{\text{brutto}} = 1/\eta \cdot Q_{\text{brutto}}$$

hvor E_{brutto} er lig med bygningens bruttoenergiforbrug til varme, ventilation og varmt brugsvand i MJ/år
 η er årsnyttevirkningen i decimaltal
 Q_{brutto} er lig med bygningens bruttovarmebehov i MJ/år.

For langt de fleste kedler vil det være muligt at få oplyst årsnyttevirkningen ud fra målinger på Dansk Gasteknisk Center (DGC), som bestemmer årsnyttevirkningen vha. målinger ved 30% og 100% belastning samt tomgangstabet.

Kendes årsnyttevirkningen alligevel ikke, kan den for nye, gode og kondenserende kedler sættes til 1,0.

Årsnyttevirkningen for andre nye naturgasfyrede centralvarmeanlæg kan sættes til 0,87 [17].

For fjernvarmeanlæg anvendes en årsnyttevirkning på 1,0.

Brændværdien for forskellige brændsler ses i nedenstående tabel 5.1:

Tabel 5.1. Brændværdier for forskellige brændsler [20].

| Brændsel | Brændværdi |
|------------|------------------------------|
| Dieselolie | 42,7 GJ/ton |
| Fuelolie | 40,7 GJ/ton |
| Naturgas | 39,9 GJ/1000 Nm ³ |
| Biogas | 23,0 GJ/1000 m ³ |
| Træpiller | 17,5 GJ/ton |
| Bygas | 17,0 GJ/1000 m ³ |
| Halm | 14,5 GJ/ton |
| Affald | 10,4 GJ/ton |

5.2 Samlet bruttoenergiforbrug

Det samlede bruttoenergiforbrug bestemmes som bruttoenergiforbruget til opvarmning dvs. til rumopvarmning, ventilation og varmt brugsvand samt et elforbrug.

6. Beregning af CO₂-belastning

Energiforbrugets miljøbelastning er i denne rapport omregnet til CO₂-udledning. Ved enhver forbrænding af fossile brændsler dannes der kuldioxid, og forureningen med kuldioxid fra kul, olie og naturgas er som forholdet 100, 80 og 60.

Grunden til, at der er fokuseret på CO₂ (kuldioxid) og fx ikke SO₂ (svovldioxid) og NO_x (kvælstofoxider) er, at udledning af CO₂ øger drivhuseffekten og medfører risiko for klimaændringer. CO₂ er en såkaldt drivhusgas, mens SO₂ og NO_x er med til at give helbredsskader på mennesker og dyr, forsureningsskader i skove og søer samt skader på planter og bygningsværker. Kuldioxid er ansvarlig for ca. halvdelen af bidraget til drivhuseffekten.

I Danmarks handlingsplan *Energi 21* er målet at reducere CO₂-udledningen med 20% i år 2005 i forhold til 1988 niveauet.

Udledningen af CO₂ er faldet siden 1988 – fra 61 mio. tons til ca. 56 mio. tons i 1998, men hvis det danske mål skal nås, skal udledningen ned på 49 mio. tons. På længere sigt arbejder den danske regering med at tilstræbe en halvering af CO₂ udledningen inden år 2030 i forhold til 1990, således at udledningen på det tidspunkt skal ned på ca. 30 mio. tons om året.

CO₂-udslippet beregnes ud fra bruttoenergiforbruget og CO₂ indholdet i den anvendte brændsel. CO₂ belastningen beregnes alene for den direkte belastning ved afbrænding mv., mens en indirekte belastning i form af fx energiforbrug i rensningsanlæg eller vandværker mv. ikke medregnes, hvorfor der ikke medregnes en miljøbelastning ved vandforbrug.

Når CO₂-udledningen beregnes, tages der hensyn til virkningsgraden og nettabet.

Den samlede CO₂ belastning er summen af udledningen fra varme- forbruget og elforbruget.

De anvendte talværdier er Energistyrelsens omsætningsværdier, der bruges i Energimærkningsordningen [17].

Miljøbelastningen fra afbrænding med biobrændsler regnes som neutral, da energiforbruget beregnes som "et lån fra naturen", idet afbrænding af fx træ vurderes at blive modsvaret af den mængde CO₂, der bindes ved opbygning af et tilsvarende nyt træ.

Tabel 6.1. CO₂-belastning fra forskellige brændsler [17].

| Energikilde | kg CO ₂ / kWh | kg CO ₂ / MJ |
|----------------|--------------------------|-------------------------|
| Affald | 0 | 0 |
| Brænde, klv. | 0 | 0 |
| Brænde, skr. | 0 | 0 |
| Brænde, rm. | 0 | 0 |
| Træpiller | 0 | 0 |
| Træ flis | 0 | 0 |
| Halm | 0 | 0 |
| Halmpiller | 0 | 0 |
| Korn | 0 | 0 |
| Fuelolie | 0,281 | 0,078 |
| Fyringsgasolie | 0,265 | 0,074 |
| Naturgas | 0,205 | 0,057 |
| Bygas | 0,205 | 0,057 |
| Biogas | 0,000 | 0,000 |
| LPG (flydende) | 0,234 | 0,065 |
| Petroleum | 0,259 | 0,072 |
| Koks | 0,380 | 0,106 |
| Kul | 0,342 | 0,095 |
| Fjernvarme | se [17] | se [17] |
| El | 0,750 | 0,208 |

7. Eksempler

I det følgende er beregnet bruttoenergiforbruget for tre eksempelbygninger. Bygningerne er henholdsvis et traditionelt parcelhus, en administrationsbygning og et etagehus – alle tre bygninger er tidligere beskrevet i SBI-anvisning 184.

Parcelhus

Parcelhuset er et etplanshus på 121 m² med de udvendige mål 14,4 m x 8,4 m. Etagehøjden er 2,6 m og den indvendige rumhøjde er 2,3. Der er regnet med et naturligt luftskifte på 3 l/s m².

Der er ved udregningen af elforbruget forudsat 4 W/m² til apparatur og belysning. Der forudsættes desuden et mindre elforbrug til hhv. drift af varme- og solfangeranlæg, her sat til 500 kWh plus 50 kWh pr. år. Det samlede elforbrug bliver hermed 4790 kWh/år svarende til 39,6 kWh/m² år.

I eksemplet er der regnet med et internt varmetilskud på 5 W/m² etageareal i middel for hele døgnet i opvarmningssæsonen og et varmtvandsforbrug på 60 MJ/m² pr. år (svarende til 2000 kWh/år). De ikke nyttiggjorte rørtab fra varmtvandsrørene i sommersæsonen er beregnet med $l_{rør}$ lig med 20 m og med 15 mm kobberør med 20 mm isolering svarende til q_{tab} lig med 0,19 W/m K og en b-faktor på 0,0. Der er desuden regnet med en 100 l kappebeholder med 80 mm isolering, svarende til q_{tab} lig med 0,8 W/K. Tilskud fra solvarme er beregnet med et 4 m² sydvendt solfangerareal.

Bygningens nettovarmebehov er beregnet til 239,4 MJ/m² år, hvor energirammen tillader 250 MJ/m² år.

Tabel 7.1. Bruttovarmebehov for parcelhus.

| Bruttovarmebehov | Varmebehov varme og vent. | Forbrug af varmt vand | Nettovarmebehov | Tab fra varmtvandsrør | Tab fra beholder | Tilskud fra solvarme | Bruttovarmebehov |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|------------------|----------------------|--------------------|
| | Q_h MJ | Q_{vv} MJ | Q_{netto} MJ | Q_{tab} MJ | Q_{tab} MJ | Q_{sol} MJ | Q_{brutto} MJ |
| Sommersæson | 297 | 3025 | 3322 | 1758 | 370 | 3650 | 1800 |
| Opvarmningssæson | 28668 | 4235 | 32903 | 0 | 0 | 1030 | 31873 |
| I alt MJ/år | 28965 | 7260 | 36225 | 1758 | 370 | 4680 | 33673 |
| I alt MJ/m ² år | 239,4 | 60,0 | 299,4 | 14,5 | 3,1 | 38,7 | 278,3 |
| I alt kWh/år | 8046 | 2017 | 10063 | 488 | 103 | 1300 | 9354 |
| I alt kWh/m ² år | 66,5 | 16,7 | 83,2 | 4,0 | 0,8 | 10,7 | 77,3 |

Forudsættes en ny, god kondenserende gaskedel med en årsnyttevirkning på 1,0, fås et bruttoenergiforbrug til opvarmning på 33675 MJ/år svarende til 280 MJ/m² år.

Bruttoenergiforbrug

Det samlede bruttoenergiforbrug til opvarmning af parcelhuset bliver 33675 MJ/år svarende til 280 MJ/m² år samt et elforbrug på 4790 kWh/år svarende til 40 kWh/m² år.

Bygningens samlede miljøbelastning kan herefter beregnes, og hvis det forudsættes, at parcelhuset er opvarmet vha. naturgas, bliver bygningens samlede CO₂-belastning: 1920 kg CO₂ fra forbruget til opvarmning plus 3395 kg CO₂ fra elforbruget, totalt 5,3 ton CO₂ pr. år.

Administrationsbygning

Administrationsbygningen er i ét plan med et opvarmet etageareal på bebygget areal på 650,2 m² med de udvendige mål 51,6 m x 12,6 m. Etagehøjden er 3,1 m og rumhøjden er 2,8 m. Der er balanceret mekanisk ventilation i møderum og kantine samt mekanisk udsugning fra toiletter og kopirum.

Elforbruget til ventilation beregnes ud fra en SEL-værdi på 2,5 W/(l/s) samt værdier fra udregningen fra Bv98. Ved beregning af elforbruget til belysning forudsættes der at være bevægelsesmeldere og kontinuerlig regulering af belysningen i hvert enkelt kontor – se tabel 7.2. Der er beregnet en dagslysfaktor i zone 1 (med 60% skygger, 2 lag glas med belægning, 2 m inde i rummet og 20% glas/totalt areal) på 0,016 og for zone 2 (6 m inde) på 0,002.

Tabel 7.2. Elforbrug for administrationsbygning.

| | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|
| ZONE 1: | | | | | | |
| Bygningsareal A: 400 m ² randzone | | | | | | |
| Effektbehov – almen belysning P: 8 W/m ² | | | | | | |
| Brugstid T _b : 45 h/uge | | | | | | |
| ZONE 2 | | | | | | |
| Bygningsareal A: 250 m ² midterzone | | | | | | |
| Effektbehov – almen belysning P: 8 W/m ² | | | | | | |
| Brugstid T _b : 45 h/uge | | | | | | |

| Elforbrug | f ₁ | f ₂ | Almen belysning Zone 1 El _{lys} ⁽¹⁾ | f ₁ | f ₂ | Almen belysning Zone 2 El _{lys} ⁽¹⁾ |
|---|----------------|----------------|---|----------------|----------------|---|
| | zone 1 | zone 1 | | zone 2 | zone 2 | |
| | | | kWh/sæson | | | kWh/sæson |
| Opvarm.-sæson: 1. oktober – 30. april | 0,7 | 0,45 | 1374 | 0,7 | 0,9 | 1717 |
| Sommersæson: 1. maj - 30. sept. | 0,7 | 0,0 | 0 | 0,7 | 0,5 | 689 |

Effektbehovet til særlig sættes til 3 W/m², og der antages at være en udendørs belysning på 10 lamper á 100 W tændt i 2000 h om året.

Tabel 7.3. Elforbrug til belysning for administrationsbygning.

| | Almen- belysning | Sær- belysning | Udendørs- belysning | Samlet elbrug til belysning |
|-------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------|
| | kWh/år | kWh/år | kWh/år | kWh/år |
| Elforbrug til belysning | 3780 | 4576 | 2000 | 10356 |

Opvarmningssæson:

$$El_{lys} = \sum (f_1 \cdot f_2 \cdot A_{zone} \cdot P_{lys, zone} \cdot T_b / 168 \cdot 212 \cdot 0,024)$$

Sommersæson:

$$El_{lys} = \sum (f_1 \cdot f_2 \cdot A_{zone} \cdot P_{lys, zone} \cdot T_b / 168 \cdot 153 \cdot 0,024)$$

Herefter kan det samlede elforbrug for administrationsbygningen findes, idet elforbruget til pumper til centralvarmen og varmtvands-cirkulation sættes til hhv. 500 kWh (212 dage á 12 h á 200 W) og 420 kWh (350 dage á 12 h á 100 W). Effektforbruget på apparatur er sat til 5 W/m².

Tabel 7.4. Totalt elforbrug for administrationsbygning.

| | Elforbrug kWh/år | Elforbrug kWh/m ² år |
|----------------|---------------------|------------------------------------|
| Vent., møderum | 977 | 1,5 |
| Vent., kantine | 1175 | 1,8 |
| Apparatur | 7626 | 11,7 |
| Belysning | 10356 | 15,9 |
| Diverse | 920 | 1,4 |
| I alt | 21054 | 32,3 |

Det interne varmetilskud udregnes herefter som:

$$\text{Fra apparatur: } 1,0 \times 5 \text{ W/m}^2 = 5 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Fra almenbelysning: } 3091 / (212 \times 0,024 \times 45 / 168 \times 650) = 3,5 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Fra særllys: } 3 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Fra personer: } 6 \text{ W/m}^2$$

Herefter er administrationsbygningen beregnet med Bv98 med et internt varmetilskud på i alt 17,5 W/m² og et varmtvandsforbrug på 25 MJ/m² pr. år. De ikke nyttiggjorte rørtab fra varmtvandsbeholderen og varmtvandsrørene er beregnet i sommerperioden med l_{ror} opmålt til 75 m, og q_{tab} er lig med 0,19 W/m K svarende til 18 mm kobberør med 20 mm isolering samt en b-faktor på 0,0. Der regnes en 200 l spiral beholder med 80 mm isolering og q_{tab} lig med 1,1 W/K. Bygningens nettovarmebehov er beregnet til 224,2 MJ/m² år, hvor energirammen tillader 239,1 MJ/m² år.

Tabel 7.5. Bruttovarmebehov for administrationsbygning.

| Bruttovarmebehov | Varmebehov varme og ventilation Q_h MJ | Forbrug af varmt vand Q_{vv} MJ | Netto- varme- behov Q_{netto} MJ | Tab fra varmtvands- rør Q_{tab} MJ | Tab fra beholder Q_{tab} MJ | Brutto- varme- behov Q_{brutto} MJ |
|-----------------------------|--|---|--|--|--|--|
| Sommersæson | 2207 | 6770 | 8977 | 6593 | 509 | 16079 |
| Opvarmningssæson | 143530 | 9478 | 153008 | 0 | 0 | 153008 |
| I alt MJ/år | 145737 | 16248 | 161985 | 6593 | 509 | 169087 |
| I alt MJ/m ² år | 224,2 | 25,0 | 249,2 | 10,1 | 0,8 | 260,1 |
| I alt kWh/år | 40483 | 4513 | 44996 | 1823 | 141 | 46960 |
| I alt kWh/m ² år | 62,3 | 6,9 | 69,2 | 2,8 | 0,2 | 72,2 |

Forudsættes fjernvarme fås et bruttoenergiforbrug på 169090 MJ/år svarende til 260 MJ/m² år.

Bruttoenergiforbrug

Det samlede bruttoenergiforbrug for varme, ventilation og varmt brugsvand for administrationsbygningen bliver 169090 MJ/år svarende til 260 MJ/m² år samt et elforbrug på 21054 kWh svarende til 32,3 kWh/m² år.

Bygningens samlede miljøbelastning kan beregnes, og hvis det forudsættes, at administrationsbygningen er opvarmet vha. fjernvarme (København 33 kg CO₂/GJ), bliver bygningens samlede CO₂-belastning: 5580 kg CO₂ fra varmekonsumet plus 15790 kg CO₂ fra elforbruget, totalt 21,4 tons CO₂ pr. år.

Etagehus

Etagehuset er en 3 etages bygning med kælder. I huset er der 6 små og 6 store lejligheder fordelt på 2 opgange. Husets udvendige mål er 34,0 m x 10,6 m svarende til et bebygget areal på 360,4 m² og et opvarmet etageareal på 1081,2 m². Etagehøjden er 2,8 m i de to nederste boligetager og 3,1 m i den øverste boligetage. Den indvendige rumhøjde er 2,5 m i alle etager. Der er mekanisk udsugning fra køkken og badeværelse med en luftstrøm på 35 l/s pr. lejlighed.

Elforbruget udregnes først og elforbruget til ventilation beregnes ud fra en SEL-værdi på 1,0 W/(l/s) samt værdier fra udregningen fra Bv98. Herefter kan det samlede elforbrug for etagehuset findes, idet elforbruget til pumper til centralvarmen og varmtvands-cirkulation sættes til hhv. 1018 kWh (212 dage á 24 h á 200 W) og 876 kWh (365 dage á 24 h á 100 W).

Effektforbruget til apparatur og belysning er sat til 4 W/m².

Tabel 7.6. Elforbrug for etagehus.

| | Elforbrug kWh/år | Elforbrug kWh/m ² år |
|----------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Ventilation (køkken + bad) | 8693 | 8,0 |
| Apparatur + belysning | 37878 | 35,0 |
| Diverse | 1899 | 1,8 |
| I alt | 48470 | 44,8 |

I eksemplet er regnet med et internt varmetilskud på 5 W/m² og et varmtvandsforbrug på 60 MJ/m² pr. år. De ikke nyttiggjorte rørtab fra varme- og varmtvandsrør udenfor isoleringen i kælderen er beregnet med en b-faktor på 0,3 for vintersæsonen, $l_{\text{rør}}$ for varmerør er lig med 170 m og q_{tab} lig med 0,28 W/m K svarende til 1½" stålrør med 300 mm isolering. De 100 m varmtvandsrør er af 22 mm kobber med 30 mm isolering svarende til q_{tab} lig med 0,18 W/m K. b-faktoren for sidstnævnte sættes i sommersæsonen lig med 0.

I kælderen findes yderligere en 500 l spiral varmtvandsbeholder med 80 mm isolering svarende til en q_{tab} lig med 1,9 W/K (b lig med 0,3 vinter og 0 sommer).

Desuden er der tab indenfor isoleringen fra 112 m varmtvandsrør, som er 15 mm kobberør med 20 mm isolering svarende til q_{tab} lig med 0,17 W/m K (b lig med 0 sommer og 1 vinter).

Bygningens nettovarmebehov er beregnet til 215,0 MJ/m² år, hvor energirammen tillader 247,7 MJ/m² år.

Tabel 7.7. Bruttovarmebehov for etagehus.

| Bruttovarmebehov | Varme- behov varme og vent. Q_h MJ | Forbrug af varmt vand Q_{vv} MJ | Netto- varmebe- hov Q_{netto} MJ | Tab fra varmerør kælder Q_{tab} MJ | Tab fra vv-rør kælder Q_{tab} MJ | Tab fra beholder Q_{tab} MJ | Tab fra vv-rør sommer- tab Q_{tab} MJ | Brutto- varmebe- hov Q_{brutto} MJ |
|-----------------------------|---|--|---|---|---|---|---|---|
| Sommersæson | 1884 | 27025 | 28909 | 0 | 8328 | 879 | 8809 | 46925 |
| Opvarmningssæson | 230626 | 37835 | 268461 | 21361 | 8078 | 853 | 0 | 298752 |
| I alt MJ/år | 232510 | 64860 | 297370 | 21361 | 16406 | 1732 | 8809 | 345678 |
| I alt MJ/m ² år | 215,1 | 60,0 | 275,1 | 19,8 | 15,2 | 1,6 | 8,1 | 319,8 |
| I alt kWh/år | 64586 | 18017 | 82603 | 5934 | 4557 | 481 | 2447 | 96022 |
| I alt kWh/m ² år | 59,7 | 16,7 | 76,4 | 5,5 | 4,2 | 0,4 | 2,3 | 88,8 |

Forudsættes fjernvarme, fås et bruttoenergiforbrug på 345680 MJ/år svarende til 320 MJ/m² år.

Bruttoenergiforbrug

Det samlede bruttoenergiforbrug for varme, ventilation og varmt brugsvand for etagehuset 345680 MJ/år svarende til 320 MJ/m² år samt et elforbrug på 48470 kWh/år svarende til 44,8 kWh/m² år.

Bygningens samlede miljøbelastning kan beregnes, og hvis det forudsættes, at etagehuset er opvarmet vha. fjernvarme (33 kg CO₂/GJ), bliver bygningens samlede CO₂-belastning: 11410 kg CO₂ fra varme-forbruget plus 36350 kg CO₂ fra elforbruget, totalt 47,7 tons CO₂ pr. år.

8. Referencer

1. *Energi 21*. Regeringens energihandlingsplan 1996. Miljø & Energiministeriet. København 1996.
2. Bygningsreglement 1995. Boligministeriet. Bygge- og Boligstyrelsen. København 1995.
3. Bygningsreglement for småhuse (BR-S 98). Bolig- og Byministeriet. København 1998.
4. Aggerholm, Søren et al. Bygningers energibehov. SBI-anvisning 184. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1995.
5. prEN ISO 13790:1999. Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for heating. Geneve 1999.
6. EN 832. Thermal Performance of Buildings – Calculation of Energy Use for Heating-Residential buildings. Bruxelles 1998.
7. NEN 2916. Energieprestatie van utiliteitsgebouwen (Energy performance of non-residential buildings). Delft 1997.
8. Olufsen, Peter. Ventilationsanlæg med lavt elforbrug. SBI-anvisning 188. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1995.
9. Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg. Dansk Standard DS 447. Dansk Standard. København 1981.
10. God og energirigtig kontorbelysning. DELTA Lys og Optik og Lysteknisk Selskab. København 1993.
11. God og energirigtig skolebelysning. DELTA Lys og Optik og Lysteknisk Selskab. København 1993.
12. God og energirigtig butiksbelysning. DELTA Lys og Optik og Lysteknisk Selskab. København 1997.
13. God og energirigtig industribelysning. DELTA Lys og Optik og Lysteknisk Selskab. København 1995.
14. Kunstig belysning i arbejdslokaler. Dansk Standard DS 700. 5. udg. Dansk Standard. København 1997.
15. Christoffersen, Jens og Petersen, Erwin. Dagslysudnyttelse. Sidelysteknik og lysstyring. SBI-rapport 276. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1997.

16. Lorentzen, Carl Axel. Glas i byggeriet. SBI-anvisning 192. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1999.
17. Håndbog for Energikonsulenter. Energimærkningsordningen. Sekretariatet for Energimærkning. Små ejendomme. Hørsholm 1998.
18. Bv98. Edb-program til beregning af bygninger varmebehov. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1999.
19. Termisk isolering af tekniske installationer. Dansk Standard DS 452. Dansk Standard. København 1984.
20. Energistatistik '98. Energistyrelsen. København 1999.
21. Bedre el-vaner. Danske Elværkers Forening. København 1998.

Bilag A.

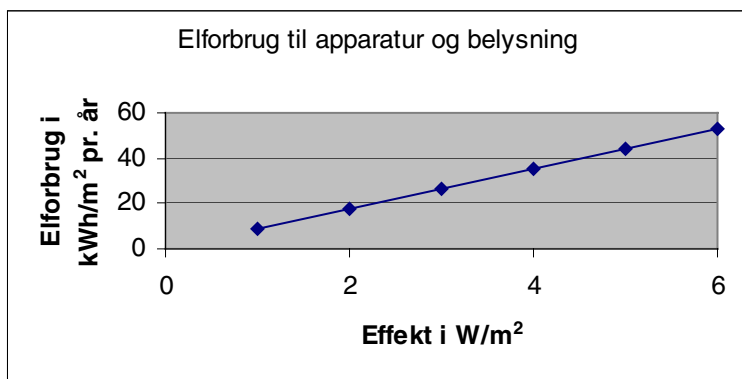
Følsomhedsanalyser

- 1) Elforbrug til apparatur og belysning i boliger
- 2) Elforbrug til belysning i erhvervsjendomme med hensyntagen til dagslysudnyttelse
- 3) Varmebehov til rumvarme og ventilation udregnet vha. Bv98
- 4) Forbrug til varmt brugsvand og nettovarmebehov
- 5) Tab fra rør og beholder
- 6) Tilskud fra solvarme

Ad 1) Elforbrug til apparatur og belysning i boliger

For *boliger* kan den samlede effekt fra belysning og apparatur sættes til $5,0 \text{ W/m}^2$.

Sammenholdes effekten med det totale elforbrug på årsbasis, bliver sammenhængen følgende:



Figur 1.1. Det totale elforbrug til apparatur og belysning i kWh/m^2 i afhængighed af effekten i W/m^2 .

Ad 2) Elforbrug til belysning i andre bygninger med hensyntagen til dagslysudnyttelse

Der forudsættes et $4 \times 4 \text{ m}^2$ kontor med en yderzone 1 på 10 m^2 og en inderzone 2 på 6 m^2 . I kontoret findes en bevægelsesmelder, og i den yderste zone er der dagslysregulering.

Elforbruget udregnes ved forskellige dagslysfaktorer (DF) og belysningsstyrker. P_{lys} sættes til 10 W/m^2 og brugstiden til 50 timer pr. uge.

Tabel 2.1. Elforbrug til belysning i et kontor med $P_{lys} = 10 \text{ W/m}^2$, $DF=2\%$, 200 lux og on/off styring.

| Elforbrug | f_1 | f_2 | El_{lys} | El_{lys} | Samlet elforbrug med styring kWh/sæson | Samlet elforbrug uden styring kWh/sæson |
|------------------|-------|-------|------------|------------|--|---|
| | | | zone 1 | zone 2 | | |
| | | | kWh/sæson | kWh/sæson | | |
| Opvarmningssæson | 0,7 | 0,6 | 64 | 64 | 128 | 242 |
| Sommersæson | 0,7 | 0,07 | 7 | 46 | 53 | 175 |
| I alt pr. år | | | 71 | 110 | 181 | 417 |

Tabel 2.2. Elforbrug til belysning i et kontor med $P_{lys} = 10 \text{ W/m}^2$, $DF=1\%$, 200 lux og on/off styring.

| Elforbrug | f_1 | f_2 | El_{lys} | El_{lys} | Samlet elforbrug med styring kWh/sæson | Samlet elforbrug uden styring kWh/sæson |
|------------------|-------|-------|------------|------------|--|---|
| | | | zone 1 | zone 2 | | |
| | | | kWh/sæson | kWh/sæson | | |
| Opvarmningssæson | 0,7 | 0,83 | 88 | 64 | 152 | 242 |
| Sommersæson | 0,7 | 0,25 | 26 | 46 | 72 | 175 |
| I alt pr. år | | | 114 | 110 | 224 | 417 |

Tabel 2.3. Elforbrug til belysning i et kontor med $P_{lys} = 10 \text{ W/m}^2$, $DF=2\%$, 200 lux og kontinuerlig styring.

| Elforbrug | f_1 | f_2 | El_{lys} | El_{lys} | Samlet elforbrug med styring kWh/sæson | Samlet elforbrug uden styring kWh/sæson |
|------------------|-------|-------|------------|------------|--|---|
| | | | zone 1 | zone 2 | | |
| | | | kWh/sæson | kWh/sæson | | |
| Opvarmningssæson | 0,7 | 0,39 | 41 | 64 | 105 | 242 |
| Sommersæson | 0,7 | 0,03 | 3 | 46 | 49 | 175 |
| I alt pr. år | | | 44 | 110 | 154 | 417 |

Tabel 2.4. Elforbrug til belysning i et kontor med $P_{lys} = 10 \text{ W/m}^2$, $DF=1\%$, 200 lux og kontinuierlig styring.

| Elforbrug | f_1 | f_2 | El_{lys} | El_{lys} | Samlet elforbrug med styring kWh | Samlet elforbrug uden styring kWh |
|------------------|-------|-------|------------|------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | | | zone 1 | zone 2 | | |
| | | | kWh | kWh | | |
| Opvarmningssæson | 0,7 | 0,57 | 60 | 64 | 124 | 242 |
| Sommersæson | 0,7 | 0,1 | 11 | 46 | 57 | 175 |
| I alt pr. år | | | 71 | 110 | 181 | 417 |

Tabel 2.5. Elforbrug til belysning i et kontor med $P_{lys} = 10 \text{ W/m}^2$, $DF=2\%$, 500 lux og kontinuierlig styring.

| Elforbrug | f_1 | f_2 | El_{lys} | El_{lys} | Samlet elforbrug med styring kWh | Samlet elforbrug uden styring kWh |
|------------------|-------|-------|------------|------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | | | zone 1 | zone 2 | | |
| | | | kWh | kWh | | |
| Opvarmningssæson | 0,7 | 0,64 | 67 | 64 | 131 | 242 |
| Sommersæson | 0,7 | 0,15 | 16 | 46 | 62 | 175 |
| I alt pr. år | | | 83 | 110 | 193 | 417 |

Tabel 2.6. Elforbrug til belysning i et kontor med $P_{lys} = 10 \text{ W/m}^2$, $DF=1\%$, 500 lux og kontinuierlig styring.

| Elforbrug | f_1 | f_2 | El_{lys} | El_{lys} | Samlet elforbrug med styring kWh/sæson | Samlet elforbrug uden styring kWh/sæson |
|------------------|-------|-------|------------|------------|--|---|
| | | | zone 1 | zone 2 | | |
| | | | kWh/sæson | kWh/sæson | | |
| Opvarmningssæson | 0,7 | 0,79 | 83 | 64 | 147 | 242 |
| Sommersæson | 0,7 | 0,42 | 45 | 46 | 91 | 175 |
| I alt pr. år | | | 128 | 110 | 238 | 417 |

Ad 3) Varmebehov til rumvarme og ventilation udregnet vha. Bv98

Varmebehovet Q_h for et parcelhus beregnes vha. Bv98 med 3 forskellige størrelser potentielt varmetilskud.

Eks 1: $q_i = 3 \text{ W/m}^2$

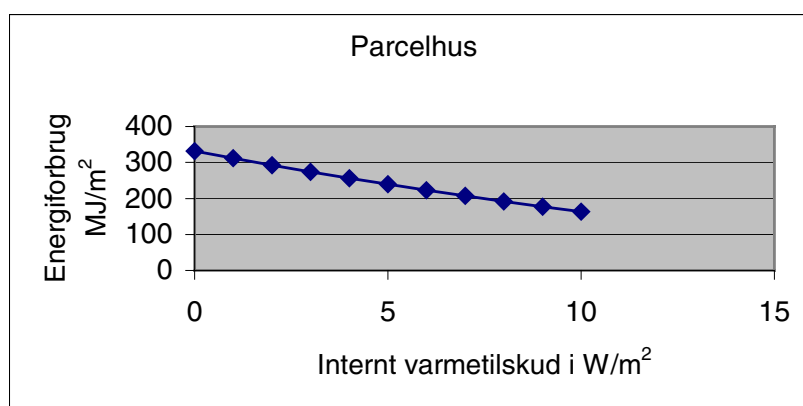
Eks 2: $q_i = 5 \text{ W/m}^2$

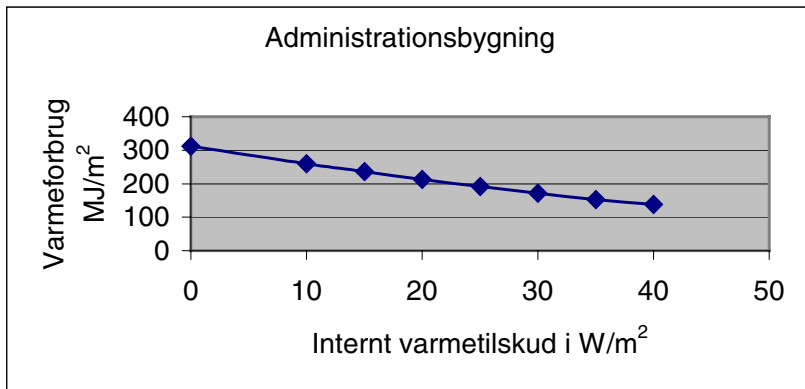
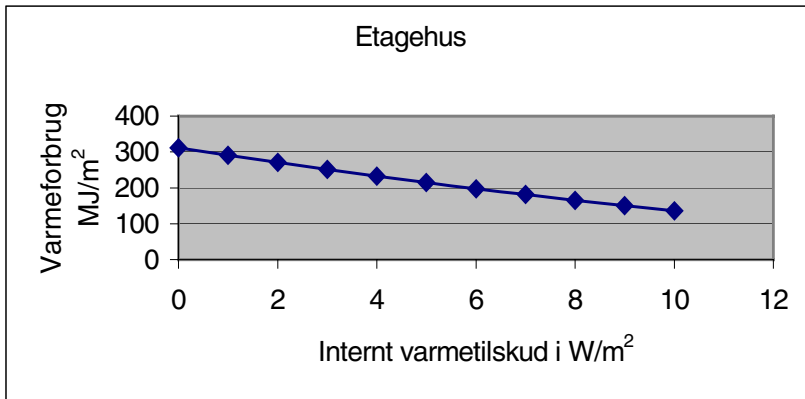
Eks 3: $q_i = 7 \text{ W/m}^2$.

Tabel 3.1. Varmebehovet for et 121 m^2 parcelhus med hhv. $q_i = 3 \text{ W/m}^2$, 5 W/m^2 og 7 W/m^2 .

| Varmebehov til rum og vent. | Eks. 1 | Eks. 2 | Eks. 3 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Q_h MJ/måned | Q_h MJ/måned | Q_h MJ/måned |
| September | 179 | 103 | 60 |
| Oktober | 1944 | 1437 | 1028 |
| November | 4631 | 4012 | 3409 |
| December | 6729 | 6082 | 5439 |
| Januar | 7332 | 6685 | 6042 |
| Februar | 5763 | 5183 | 4612 |
| Marts | 4361 | 3754 | 3181 |
| April | 1953 | 1515 | 1155 |
| Maj | 303 | 194 | 126 |
| I alt MJ/opvarmningssæson | 33195 | 28965 | 25052 |
| I alt MJ/ m^2 opvarmningssæson | 274,3 | 239,4 | 207,0 |
| I alt kWh/opvarmningssæson | 9221 | 8045,8 | 6959 |
| I alt kWh/ m^2 opvarmningssæson | 76,2 | 66,5 | 57,5 |

Der er for hhv. et parcelhus, et etagehus samt en administrationsbygning beregnet forholdene mellem intern varmelast og hhv. det årlige energiforbrug.





Figur 3.2. Forholdene mellem intern varmelast i W/m² og det årlige energiforbrug i MJ/m² for et parcelhus, et etagehus og en administrationsbygning.

Ad 4) Forbrug til varmt brugsvand og nettovarmebehov

q_{vv} ligger mellem 36 og 84 MJ/m² år. Forbruget kan deles jævnt ud på de forskellige måneder.

q_{vv} er bestemt ud fra sammenhængen mellem det gennemsnitlige antal personer i bygningen og bygningens opvarmede etageareal, som ses i nedenstående tabel:

Tabel 4.1. Det gennemsnitlige antal personer ved forskellige bygningsstørrelser.

| Bygningens opvarmede etageareal A_e | Antal personer | Beregningsmæssigt antal personer |
|--|----------------|----------------------------------|
| $A_e < 60 \text{ m}^2$ | 1 person | 1 |
| $60 \text{ m}^2 \leq A_e < 80 \text{ m}^2$ | 1- 2 personer | 1,5 |
| $80 \text{ m}^2 \leq A_e < 100 \text{ m}^2$ | 2 personer | 2 |
| $100 \text{ m}^2 \leq A_e < 120 \text{ m}^2$ | 2-3 personer | 2,5 |
| $120 \text{ m}^2 \leq A_e < 140 \text{ m}^2$ | 3 personer | 3 |
| $140 \text{ m}^2 \leq A_e$ | 3-4 personer | 3,5 |

For boliger beregnes varmebehovet vha. Bv98, og i nedenstående tabel er det med 5 W/m^2 som potentielt varmetilskud.

Tabel 4.2. Varmebehov og forbrug af varmt vand i et 121 m^2 parcelhus ved et internt varmetilskud på 5 W/m^2 og q_{vv} lig med 3 MJ/m^2 pr. måned svarende til 36 MJ/m^2 år.

| Nettovarmebehov | Varmebehov | Forbrug af | Netto- |
|-----------------------------|--------------|------------|------------|
| | rum og vent. | varmt vand | varmebehov |
| | Q_h | Q_{vv} | Q_{net} |
| | MJ | MJ | MJ |
| Opvarmningssæson | 28668 | 2541 | 31209 |
| Sommersæson | 297 | 1815 | 2112 |
| I alt MJ/år | 28965 | 4356 | 33321 |
| I alt MJ/m ² år | 239,4 | 36,0 | 275,4 |
| I alt kWh/år | 8046 | 1210 | 9256 |
| I alt kWh/m ² år | 66,5 | 10,0 | 76,5 |

Herefter er det varme vand beregnet med q_{vv} lig med 5 MJ/m^2 pr. måned.

Tabel 4.3. Varmebehov og forbrug af varmt vand i et 121 m^2 parcelhus ved et internt varmetilskud på 5 W/m^2 og q_{vv} lig med 5 MJ/m^2 pr. måned svarende til 60 MJ/m^2 pr. år.

| Nettovarmebehov | Varmebehov | Forbrug af | Netto- |
|-----------------------------|--------------|------------|------------|
| | rum og vent. | varmt vand | varmebehov |
| | Q_h | Q_{vv} | Q_{net} |
| | MJ | MJ | MJ |
| Opvarmningssæson | 28668 | 4235 | 32903 |
| Sommersæson | 297 | 3025 | 3322 |
| I alt MJ/år | 28965 | 7260 | 36225 |
| I alt MJ/m ² år | 239,4 | 60,0 | 299,4 |
| I alt kWh/år | 8046 | 2017 | 10063 |
| I alt kWh/m ² år | 66,5 | 16,7 | 83,2 |

Herefter er det varme vand beregnet med q_{vv} lig med 7 MJ/m^2 pr. måned svarende til 84 MJ/m^2 pr. år.

Tabel 4.4. Varmebehov og forbrug af varmt vand i et 121 m² parcelhus ved et internt varmetilskud på 5 W/m² og q_{vv} lig med 7 MJ/m² pr. måned.

| Nettovarmebehov | Varmebehov rum og vent. | Forbrug af varmt vand | Netto- varmebehov |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------|
| | Q_h MJ | Q_{vv} MJ | Q_{net} MJ |
| Opvarmningssæson | 28668 | 5929 | 34597 |
| Sommersæson | 297 | 4235 | 4532 |
| I alt MJ/år | 28965 | 10164 | 39129 |
| I alt MJ/m ² år | 239,4 | 4065,6 | 232,9 |
| I alt kWh/år | 8046 | 2823 | 10869 |
| I alt kWh/m ² år | 66,5 | 1129,3 | 64,7 |

Ad 5) Tab fra rør og beholdere

Der er regnet på et eksempel med et hus på 10 m x 12 m med et 2-strengt anlæg med $l_{rør} = 4 \times \text{husets længde} + 2 \times \text{husets bredde}$, her svarende til 68 m rørlængde. Hvis varmerørene er placeret under isoleringen i terrændækket, bliver b-faktoren 0,4. Der forudsættes kobberrør 18/16 mm med 10 mm isolering.

Tabel 5.1 Ikke nyttiggjorte rørtab beregnet med en b-faktor på 0,4, $l_{rør} = 68$ m og $q_{tab} = 0,26$ W/m K.

| Rørtab | Rør- længde | Var- metab fra rør | Temp. forskell | Brutto- varmetab | Temp. faktor | Ikke nyttiggjort rørtab |
|--------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | $l_{rør}$ m | q_{tab} W/m K | Δt °C | $Q_{tab,brutto}$ MJ | b | Q_{tab} MJ |
| Opvarmningssæson | 68 | 0,26 | 35 | 11334 | 0,4 | 6800 |
| I alt MJ/m ² sæson | | | | 94 | | 57 |
| I alt kWh/sæson | | | | 3148 | | 1889 |
| I alt kWh/m ² sæson | | | | 26 | | 16 |

Ændres q_{tab} til 1,0 W/m K, idet dette svarer til et lille stålrør uden isolering, fås:

Tabel 5.2. Ikke nyttiggjorte rørtaab beregnet med en b-faktor på 0,4, $l_{\text{rør}} = 68 \text{ m}$ og $q_{\text{taab}} = 1,00 \text{ W/m K}$.

| Rørtaab | Rør- længde | Var- metab fra rør | Temp. forskell | Brutto- varmetab | Temp. faktor | Ikke nyttiggjort rørtaab |
|---|-----------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | $l_{\text{rør}}$ m | q_{taab} W/m K | Δt °C | $Q_{\text{taab,brutto}}$ MJ | b | Q_{taab} MJ |
| Opvarmningssæson I alt MJ/m ² sæson | 68 | 1,0 | 35 | 43594 363 | 0,4 | 26156 218 |
| I alt kWh/sæson I alt kWh/m ² sæson | | | | 12109 101 | | 7266 61 |

Tabel 5.3. Ikke nyttiggjorte rørtaab beregnet med en b-faktor på 0,4, $l_{\text{rør}} = 25 \text{ m}$ og $q_{\text{taab}} = 0,26 \text{ W/m K}$.

| Rørtaab | Rør- længde | Var- metab fra rør | Temp. forskell | Brutto- varmetab | Temp. faktor | Ikke nyttiggjort rørtaab |
|---|-----------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | $l_{\text{rør}}$ m | q_{taab} W/m K | Δt °C | $Q_{\text{taab,brutto}}$ MJ | b | Q_{taab} MJ |
| Opvarmningssæson I alt MJ/m ² sæson | 25 | 0,26 | 35 | 4167 35 | 0,4 | 2500 21 |
| I alt kWh/sæson I alt kWh/m ² sæson | | | | 1158 10 | | 694 6 |

Ad 6) Tilskud fra solvarme

Forudsætningen for den næste beregning er et anlæg med 2 m² solfangerareal og et varmt vands forbrug på 10800 MJ/år (svarer til 3000 kWh/år).

Tabel 6.1. Nettoenergitilskud med et 2 m² sydvendt solfanger og et varmtvandsforbrug på 3000 kWh.

| Solvarme | Fordeling | Reduk- | Nettoydel- | Nettoenergi- |
|-----------------------------|-----------|--------|------------|------------------|
| | sol | tions | delse | tilskud |
| | syd | F | Q | Q _{sol} |
| | | | MJ/sæson | MJ/sæson |
| Opvarmningssæson | 0,34 | 0,9 | 1346 | 1211 |
| Sommersæson | 0,66 | 0,9 | 2614 | 2353 |
| I alt MJ/år | | | 3960 | 3564 |
| I alt MJ/m ² år | | | 33 | 30 |
| I alt kWh/år | | | 1100 | 990 |
| I alt kWh/m ² år | | | 9 | 8 |

Ændres nettobehovet til 7200 MJ/år og solfangerarealet til 6 m² fås følgende nettoenergitilskud:

Tabel 6.2. Nettoenergitilskud med et 6 m² sydvendt solfanger og et varmtvandsforbrug på 2000 kWh.

| Solvarme | Fordeling | Reduk- | Nettoydel- | Nettoenergi- |
|-----------------------------|-----------|--------|------------|------------------|
| | sol | tions | delse | tilskud |
| | syd | F | Q | Q _{sol} |
| | | | MJ/sæson | MJ/sæson |
| Opvarmningssæson | 0,66 | 0,9 | 3802 | 3422 |
| Sommersæson | 0,34 | 0,9 | 1958 | 1762 |
| I alt MJ/år | | | 5760 | 5184 |
| I alt MJ/m ² år | | | 48 | 43 |
| I alt kWh/år | | | 1600 | 1440 |
| I alt kWh/m ² år | | | 13 | 12 |

Bilag B.

Elforbrug til specielle apparater

I nedenstående afsnit er samlet en vurdering/beskrivelse af elforbruget for særlige apparater under normalt definerede forudsætninger, som anses for normalt forekommende ved de pågældende apparater [17]. Elforbruget for disse er ikke medregnet i de ovenstående udtryk for beregning af elforbruget til apparatur hverken for boliger eller erhvervsejendomme. Følgende apparater er beskrevet:

Sauna, swimmingpool, spabad, el-håndklædetørrer og diverse småapparater herunder stand-by forbrug.

▪ **Sauna**

Saunaer findes i flere størrelser og med forskellige installerede effekter. Der er i det følgende regnet med en eleffekt på 8 kW, og hvis andre effekter forekommer, vil opvarmningstiden være tilsvarende længere, så det samlede elforbrug vil blive nogenlunde det samme. En sauna på ca. 4 m² har et gennemsnitligt elforbrug på 4-7 kWh pr. saunabad ved en driftstid på ca. 1 time pr. bad. Hvis saunaen benyttes 50 gange om året, er det årlige elforbrug mellem 200 og 330 kWh.

▪ **Swimmingpool**

Swimmingpools findes i mange størrelser og udformninger. I eksemplerne er der kun regnet med el til cirkulationspumpen, som normalt kører hele døgnet til cirkulation igennem filteret og til returskyl af filter. En swimmingpool på ca. 20 m³, med en pumpeeffekt på ca. 0,6 kW har et elforbrug ved 3 måneders drift på 1200 kWh og ved 6 måneders drift på 2400 kWh. En swimmingpool på ca. 50 m³, med en pumpeeffekt på ca. 2,2 kW har et elforbrug ved 3 måneders drift på 4750 kWh og ved 6 måneders drift på 9500 kWh.

▪ **Spabad**

De mest almindelige spabade til private husstande ligger i størrelser fra 150 til 350 liter, men kan forekomme op til ca. 500 liter. Elforbruget omfatter her kun cirkulationspumpen, men der kan også være undervandslys og evt. elvarmelegemer. Elforbruget ligger mellem 1-4 kWh pr. bad, så ved 100 bade pr. år bliver det årlige elforbrug mellem 100-400 kWh.

▪ **El-håndklædetørrer**

Håndklædetørrer findes normalt med en effekt på 60W. Hvis håndklædetørreren er tændt hele døgnet, er døgnforbruget ca. 1,5 kWh, månedsforbruget ca. 45 kWh og årsforbruget ca. 525 kWh.

▪ **Standby-funktioner**

Standby-funktioner forekommer i flere og flere elapparater og en voksende andel af boligens elforbrug kan ses blandt apparater med en standby-funktion. Det vil sige apparater, der fremstilles med fjernbetjening, elektroniske paneler, urfunktion og andre displays og

endelig en lang række genopladelige apparater med transformere. Elforbruget til standby-funktioner svinger meget afhængigt af valget mellem forskellige typer af apparater. Hvis der ikke slukkes efter brug, kan man let have et samlet forbrug på 300-1000 kWh/år. Standby-funktionen for diverse elapparater udgør følgende anslåede effekter og elforbrug (elforbruget er baseret på 24 timer/døgn, hvis intet andet er angivet), [21]:

Tabel B.1. Standby-forbrug for diverse elapparater.

| Apparat | Effekt W | Forbrug/år kWh |
|---------------------|-------------|-----------------------|
| Antenneforstærker | 1-2 | 9-18 |
| Bevægelsesmelder | 2-7 | 18-61 |
| Telefax | 3-11 | 26-96 |
| Transformer | 4-7 | 35-60 |
| Hjemme-PC | 5 | 45 ¹⁾ |
| Printer | 2-22 | 0,7-8 ²⁾ |
| Parabolantenne | 1-17 | 9-149 ³⁾ |
| Stereoanlæg | 1-25 | 9-220 |
| Telefonsvarer | 3 | 25 |
| TV alene | 0,1-14 | 0,9-102 ⁴⁾ |
| TV-dekoder | 30 | 265 |
| Ur i komfur o.lign. | 2-5 | 18-44 |
| Video alene | 3-15 | 25-126 |

- 1) En pc's elforbrug til standby kan variere meget. Størrelsen af dette elforbrug afhænger bl.a. af maskinens "størrelse", herunder også skærmens størrelse, fabrikat og omfanget af ekstraudstyr.
- 2) Printeren står på standby ca. 1 time/døgn.
- 3) Hvis modtager står med et kanalnummer vist, giver det et meget højere standby-forbrug, op til 210 kWh/år.
- 4) TV står på standby ca. 20 timer/døgn.

Meddelelsen beskriver en enkel beregningsmetode til bestemmelse af en bygnings samlede energibehov og miljøbelastningen målt som udledningen af CO₂. Elforbruget til ventilation, apparatur og belysning beregnes, og der tages hensyn til dagslysudnyttelsen i erhvervsbygninger. I beregningen af nettovarmebehovet indgår bl.a. energibehovet til det varme brugsvand, unyttiggjorte rørtab fra det varmeproducerende anlæg, varmetilskud fra solvarmeanlæg samt årsnyttevirkningen for varmeanlæg.

Beregninger for tre eksempelbygninger viser, at elforbruget giver det største bidrag til miljøbelastningen, og der er derfor behov for at fokusere kraftigt på elforbruget i fremtiden.

Meddelelsen henvender sig til projekterende ingeniører og byggemyndigheder.