Den lille blå om Varme

danskenergi

www.danskenergi.dk

Den lille blå om Varme

Forfatter:
Claus M. Hvenegaard (Teknologisk Institut),
Otto Paulsen (Teknologisk Institut),
Hans Andersen (Teknologisk Institut) og
Jørn Borup Jensen (Dansk Energi)

Redaktionsgruppe:
Dorte Lindholm (Dansk Energi)
Jørn Borup Jensen (Dansk Energi)

Udgiver: Dansk Energi

Tryk: GP Tryk

Design: Nectar Communication

Oplag: 10.000, 1. udgave 2008

ISBN nummer: 978-87-91326-00-4

LÆS HER OM VARME

Indholdsfortegnelse

01 **Den lille blå om Varme** 5

1.1 Opbygning 6

02 **Energibestemmelser i Bygningsreglement 2008 (BR08)** 8

2.1 Energirammer for nye bygninger 8

2.1.1 Energirammer for boliger, kollegier, hoteller m.m. 9

2.1.2 Energirammer for kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger 9

2.1.3 Energirammer for lavenergibygninger 10

2.2 Ændret anvendelse og tilbygninger 10

2.2.1 Varmeisolering af bygningsdele 11

2.2.2 Varmetabsramme 11

2.3 Ombygning og andre væsentlige forandringer i bygningen og udskiftning af kedler mv. 11

2.3.1 Større ombygninger 11

2.3.2 Enkeltforanstaltninger 12

2.4 Krav til mindste varmeisolering 14

2.5 Ventilation 16

2.5.1 Enfamiliehuse 16

2.5.2 Etageboliger 17

2.5.3 Kontorbygninger 18

2.6 BeO6 18

03 **Energimærkning af bygninger og tekniske eftersyn** 19

3.1 Energimærkning af enfamiliehuse 19

3.1.1 Lovgivning 19

3.1.2 Energimærke 19

3.1.3 Forslag til forbedringer 20

3.1.4 Statusbeskrivelse af ejendommen 20

3.2 Energimærkning af sommerhuse 21

3.2.1 Lovgivning 21

3.3 Energimærkning af flerfamiliehuse 21
3.3.1 Lovgivning 21
3.3.2 Energimærke 21
3.3.3 Forslag til forbedringer 22
3.3.4 Statusbeskrivelse af ejendommen 22
3.4 Energimærkning af erhvervs- og offentligt byggeri 24
3.4.1 Lovgivning 24
3.4.2 Energimærke 24
3.4.3 Forslag til forbedringer 24
3.4.4 Statusbeskrivelse af ejendommen 25
3.5 Teknisk eftersyn af kedler og varmeanlæg .. 25
3.5.1 Lovgivning 25
3.5.2 Indhold og eftersynsrapport 26
3.6 Teknisk eftersyn af ventilations- og klimaanlæg 26
3.6.1 Lovgivning 26
3.6.2 Indhold og eftersynsrapport 27

04 **Nøgletal for energiforbrug i bygninger** 28
4.1 Nøgletal for varme- og elforbrug i enfamiliehuse 28
4.2 Nøgletal for varme- og elforbrug i etageboliger 30
4.3 Nøgletal for varme- og elforbrug i kontorbygninger 31
4.3.1 Anbefalede nøgletal for belysning og køling 33
4.4 Energimærkningsskalaer 35

05 **Energibehovsfordeling i bygninger** 37
5.1 Parcelhuse 37
5.1.1 Ældre parcelhus 38
5.1.2 Nyt parcelhus 42
5.2 Etageboliger 44
5.3 Kontorbygninger 47

06 **Indeklima** 52
6.1 Termisk indeklima 52
6.1.1 Komfortkrav 52
6.2 Atmosfærisk indeklima (luftkvalitet) 55
6.2.1 Energiforbrug til opvarmning af erstatningsluft 57

07 **Klimaskærm** 59
7.1 Nøgletal for energimæssige forbedringer af klimaskærm 59
7.1.1 Efterisolering af tagkonstruktioner 59
7.1.2 Efterisolering af ydervægskonstruktioner 61
7.1.3 Efterisolering af etageadskillelser/gulve 63
7.1.4 Kuldebroer 64
7.1.5 Dampspærrer 70
7.1.6 Udskiftning af døre, vinduer, ovenlys og glaspartier 72

08 **Varmeproducerende enheder** 79
8.1 Fjernvarmeanlæg 79
8.1.1 Direkte anlæg med opblanding, blandesløjfe 79
8.1.2 Indirekte anlæg veksler 81
8.2 Kedler 83
8.2.1 Kedelvirkningsgrad 83
8.2.2 Naturgaskedler 86
8.2.3 Oliekedler 88
8.3 Elvarme 91
8.4 Varmepumper 92
8.4.1 Luft/luft varmepumpe 92
8.4.2 Luft/vand varmepumpe 92

8.4.3 Væske/vand varmepumpe 93
8.4.4 Nyttevirkning (effektivitet, effektfaktor) 94
8.4.5 Varmepumper til større bygninger 97
8.5 Solvarme og biomassekedler 98
8.5.1 Solvarme 98
8.5.2 Solvarmeanlæg i kombination med varmepumpe 101
8.5.3 Biomassekedler 103
8.5.4 Brændeovne 104

09 **Varmesystemer** 106
9.1 Et-strengsanlæg 106
9.2 To-strengsanlæg 107
9.3 Strengreguleringsventiler 108
9.4 Radiatortermostatventiler 110
9.4.1 Tryktab i radiatortermostatventiler 110
9.4.2 Proportionalbånd 110
9.4.3 Dimensionering af radiatortermostat-ventiler 110
9.4.4 Forindstilling af termostatventiler 113
9.5 Radiatorer 118
9.6 Gulvvarme 122
9.6.1 Dimensionering af gulvvarmeanlæg 123
9.6.2 Regulering af gulvvarmeanlæg 124
9.7 Kaloriferer 125
9.8 Indregulering af centralvarmeanlæg 126
9.9 Regulering af varmeanlæg 130
9.9.1 Udetemperaturkompensering af fremløbstemperaturen 130
9.9.2 Natsænkning 132

10 **Brugsvandssystemer** 136
10.1 Systemer til varmt brugsvand 136
10.1.1 Varmtvandsforbrug og beholdervolumen ... 136
10.1.2 Cirkulationsledning 137
10.2 Cirkulationsventiler (varmt brugsvand) 142
10.2.1 Vedligeholdelse 143
10.2.2 Bakterier i det varme vand 144
10.2.3 Energiforhold ved opvarmning af brugsvand 144
10.3 Regulering af anlæg til varmt brugsvand med beholder 145
10.3.1 Reguleringsventil 146
10.4 Regulering af anlæg til varmt brugsvand med veksler 149

11 **Teknisk isolering** 150
11.1 Varmetab for rør, ventiler og andre armaturer 152
11.2 Varmetab fra varmtvandsbeholdere 155

12 **Varmemåling og -afregning** 157
12.1 Energisignatur 158

Andre kilder 161

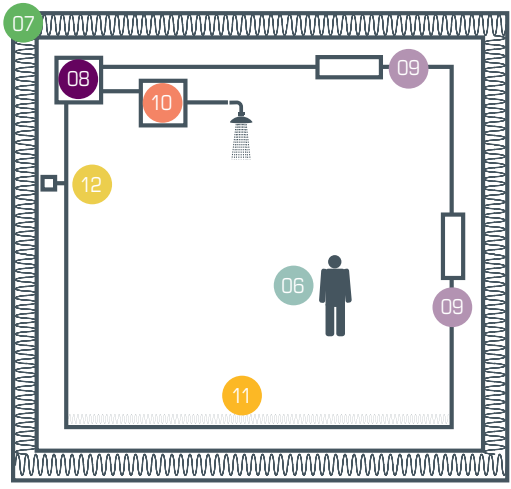
Elforsk har nået meget!

Elforsk er Dansk Energis program for forskning og udvikling i effektiv energianvendelse. Hvert år bevilges 25 mio. kr. til forskning og udviklingsprojekter.

Programmet har på få år udviklet sig til at blive et vigtigt omdrejningspunkt for teknologisk udvikling. Det har fremmet udviklingen af ny teknologi, skabt grundlag for en lang række positivlister over mere energieffektive produkter, sat gang i adfærdsændringer og værktøjer til fremtidig optimering af energianvendelsen.

Følg selv med på:
www.elforsk.dk

Figuren henviser til bogens forskellige kapitler:



Forord

Dansk Energi og energiselskaberne i Danmark har en klar målsætning om at bidrage til, at danskerne bestræber sig på at gennemføre energibesparelser. For at styrke fokus på opgaven har Dansk Energi igangsat en række initiativer for at nedbringe energiforbruget i bygninger. Det seneste "skud på stammen" er denne bog – "Den lille blå om Varme".

Den lille blå om Varme er et lettilgængeligt opslagsværk for alle, der arbejder med at realisere energibesparelser i nye og eksisterende bygninger. Bogen tager udgangspunkt i det nye bygningsreglement BR 08 og giver derfor løsningsforslag for opfyldelse af den nye fastsatte energiramme for en bygning.

Desuden giver bogen en lang række oplysninger i form af nøgletal for eksisterende bygningers energiforbrug, besparelsespotentiale og energieffektivitet opdelt på energiformer og teknologier.

Endelig gennemgår bogen relevante regler og standarder for eftersyn med hensyn til valg og brug af energiforsyning, installationer, vinduer, isolering, m.m.

Dansk Energi håber, at Den lille blå om Varme vil blive et nyttigt værktøj i dagligdagen i bestræbelsen på at leve op til det overordnede mål om at minimere energiforbruget i bygninger – i kommende bygninger og i den eksisterende bygningsmasse.

God arbejds- og læselyst!

Jørn Borup Jensen
Dansk Energi

Dorte Lindholm
Dansk Energi

Hvis du vil vide mere

Kontakt Dansk Energi på adressen:
Rosenørns Allé 9
1970 Frederiksberg C
Telefon 35 300 400
E-mail: de@danskenergi.dk.
Du kan også kontakte dit lokale elselskab.
Klik ind på: **www.danskenergi.dk**

Den lille blå om Varme

Realisering af energibesparelser på bygningsområdet er en kompleks sag, som involverer en lang række teknologier, der indgår i en traditionel bygning/hus.

Bygningsreglementet hjælper til, at nutidens bygninger opføres med en fornuftig effektivitet, men der er også mulighed for at overføre dele af denne viden/teknologi til den eksisterende bygningsmasse. En opgave som blandt andet de danske energiselskaber varetager igennem deres forsyningsforpligtelse.

Bogen henvender sig til energikonsulenter, leverandører, arkitekter, VVS'ere og tømrere, der alle vil kunne anvende bogen til vurdering af konsekvenser for energi- og indeklimaforhold ved ændring eller opførelse af en bygnings klimaskærm eller installation. Bogen vil også med fordel kunne anvendes af brugere, herunder drifts- og vedligeholdelsesansvarlige for bygninger til at opstille planer for forbedringer samt stille krav til leverandører og installatører af service og udstyr.

En seriøs konsulent på området for opvarmning af bygninger skal have en solid viden om:

- Lovgivningskrav på mange områder – fx isoleringsstandarder, luftskifter mv.
- Markedet omkring effektivitet af kedler, styringer mv.
- Mulighederne for at nedbringe energiforbruget i en aktuel bygning, hvis det skal ske indenfor en privatøkonomisk overskuelig ramme – dvs. nødvendige investeringer skal prioriteres.

Bogen støtter gennem de mange nøgletal emnet "dokumentation af konkrete tiltag", som i dag er blevet et stort tema. Dels har borgeren/kunden en forventning om, at foretagne investeringer rent faktisk kan ses på fremtidens energiregning. Dels har energiselskabernes konsulenter et ønske om, at deres indsats/rådgivning på omkostningseffektiv vis dokumenteres i realiserede energibesparelser.

1.1 Opbygning

Bogen er opbygget i 4 sektioner:

- **Kapitel 2-3**, love & regler med betydning for bygningens energiforbrug.
- **Kapitel 4-6**, nøgletal og viden omkring energiforbrug & indeklima.
- **Kapitel 7-11**, teknologikatalog med diverse besparende tiltag.
- **Kapitel 12**, dokumentation af energiforbruget.

Kapitel 2 resumerer kort BR08's betydning for valg af energirigtige løsninger i en ny bygning. Man skal i dag opfylde BR08 – inkl. energibestemmelserne – for at få såvel bygge- som ibrugtagningstilladelse.

Kapitel 3 beskriver love og regler omkring energimærkning af nye og eksisterende bygninger. Kapitlet beskriver endvidere lovgivning vedr. obligatoriske eftersyn af kedler og varmeanlæg samt ventilations- og klimaanlæg.

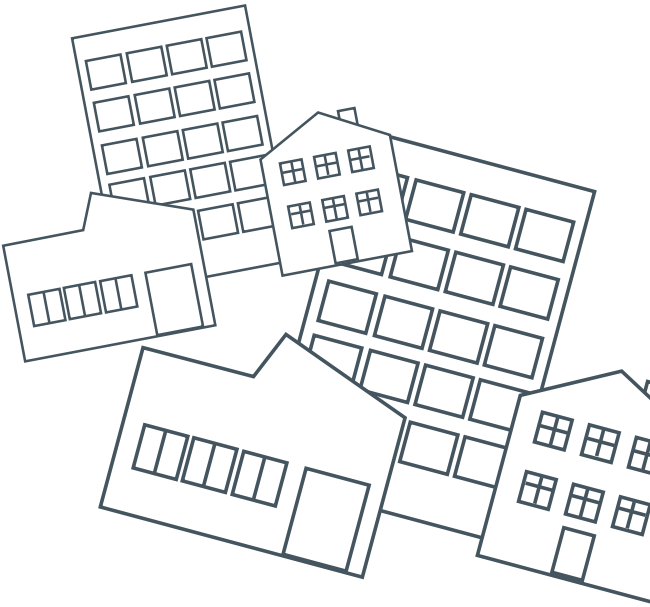
Kapitel 4 viser nøgletal for varmeforbrug (og det for energirammen betydende elforbrug) for eksisterende byggerier. Materialet er stykket sammen med tilgængeligt datamateriale, som består af både kortlagte faktiske forbrug og målte/simulerede forbrug hos anerkendte institutter.

Kapitel 5 viser en forventet forbrugsfordeling de forskellige teknologier imellem baseret på bygningens alder/byggestandard. Man får et indtryk af, hvad man som konsulent må forvente at møde i praksis, og det er angivet, hvor effektivt den nævnte funktionalitet (fx isolering) med rimelighed kan forventes udført i den pågældende bygning.

Kapitel 6 beskæftiger sig med indeklima. Selvom der er udgivet en separat lille blå om ventilation, er det vurderet hensigtsmæssigt i kort form at vise de termer, der danner baggrund for opførelsen af varme- og friskluft løsninger i bygninger.

Kapitel 7-11 beskæftiger sig med forskellige teknologier, der indgår i bygningens varmesystem. Klimaskærmen er behandlet i form af vægkonstruktioner, vinduer og døre. Varmeanlægget er behandlet i form af den producerende enhed – fjernvarme, naturgas, olie & VE – og distributionen af varmen i form af rørsystem, radiatorer, termostater, regulering mv. Endelig er brugsvandssiden også beskrevet. Kapitlerne er opbygget med nøgletal, således at forskellige løsninger kan vurderes op i mod hinanden og/eller ændret adfærd i form af temperaturniveauer eller vandforbrug kan vurderes.

Kapitel 12 i bogen beskriver, hvordan varmeregnskaber udarbejdes, og hvordan en energisignatur for en bygning kan udformes. Denne viden er særdeles nyttig ved dokumentation af energibesparende foranstaltninger.



Energibestemmelser i Bygningsreglement 2008 (BR08)

I Bygningsreglementet (BR08) står der, at bygninger skal opføres, så unødvendigt energiforbrug til opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning undgås samtidig med, at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold. Tilsvarende gælder ved ombygning og andre væsentlige forandringer af bygninger.

Bygningsreglementet indeholder bestemmelser som følger af artikel 4, 5 og 6 i EU direktiv 2002/91 om bygningers energimæssige ydeevne.

Med hensyn til energiforbrug omfatter BR08 følgende:

- Energirammer for nye bygninger (se kapitel 2.1)
- Ændret anvendelse og tilbygninger (se kapitel 2.2)
- Ombygninger og andre væsentlige forandringer i bygningen og udskiftning af kedler mv. (se kapitel 2.3)
- Mindste varmeisolering (se kapitel 2.4)
- Sommerhuse (se kapitel 2.4)

2.1 Energirammer for nye bygninger

I BR08 står der, at energirammen omfatter bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og eventuel belysning. Tilført energi fra forskellige energiforsyningsformer sammenvejes. Bilag 6 i BR08 med beregningsforudsætninger finder anvendelse ved eftervisning af, at energirammen er overholdt.

Ved tilført energi forstås købt energi tilført ejendommen fx i form af naturgas, olie, fjernvarme eller elektricitet. Da bygninger normalt har flere energiforsyningsformer, har Energistyrelsen besluttet, at der til brug for vurdering af bygningers

energirammer anvendes en faktor på 2,5 ved sammenvejning af el med henholdsvis gas, olie og fjernvarme.

Ved beregning af energibehovet tages der endvidere hensyn til bygningens klimaskærm, bygningens placering og orientering, herunder dagslys og udeklima, varmeanlæg og varmt-vandsforsyning, bygningens varmeakkumulerende egenskaber, eventuelt ventilationsanlæg og klimaköling, solindfald og solafskærmning, naturlig ventilation og det planlagte indeklima.

Endelig kan der ved bestemmelse af energibehovet også tages hensyn til anvendelse af solvarme, solceller, varmepumper, minikraftvarmeanlæg, kondenserende kedler, fjernvarme, anvendelse af varmegenvinding samt köling med ventilation om natten.

2.1.1 Energirammer for boliger, kollegier, hoteller m.m.

Ifølge BR08 må bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, köling og varmt brugsvand pr. m^2 opvarmet etageareal højst være 70 kWh/m^2 pr. år tillagt 2.200 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

Ved beregning tages der hensyn til solindfald, personvarme og bygningens varmeakkumulerende egenskaber. Eftervisning sker på grundlag af en forenklet beregningsmetode, hvor der anvendes månedsmiddelværdier for vejrdata mv. Eftervisningen sker på grundlag af SBi-anvisning 213, Bygningers energibehov. Bestemmelsen gælder også for bygninger med balanceret mekanisk ventilation og köling.

2.1.2 Energirammer for kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger

Ifølge BR08 må bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, köling, varmt brugsvand og belysning pr. m^2 opvarmet etageareal højst være 95 kWh/m^2 pr. år tillagt 2.200 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

Energirammen kan forhøjes med et tillæg, der modsvarer det beregnede energiforbrug for bygninger eller bygningsafsnit med behov for fx et højt belysningsniveau, ekstra meget ventilation eller et stort forbrug af varmt brugsvand eller lang benyttelsestid.

2.1.3 Energirammer for lavenergibygninger

I BR08 står der, at en bygning, hvis samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og eventuel belysning pr. m^2 opvarmet etageareal ikke overstiger 35 kWh/m^2 pr. år tillagt 1.100 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal, kan klassificeres som en lavenergibygning klasse 1.

Endvidere står der, at en bygning, hvis samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og eventuel belysning pr. m^2 opvarmet etageareal ikke overstiger 50 kWh/m^2 pr. år tillagt 1.600 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal, kan klassificeres som en lavenergibygning klasse 2.

Opsummering af energirammen for nye bygninger

Anvendelse	Energiramme [kWh/m^2/år]
Boliger, kollegier, hoteller m.m.	70 + 2.200/A
Kontorer, skoler, institutioner og bygninger til andre formål	95 + 2.200/A
Lavenergibygning klasse 1	35 + 1.100/A
Lavenergibygning klasse 2	50 + 1.600/A

Tabel 2.1. Energirammer for nye bygninger.

2.2 Ændret anvendelse og tilbygninger

BR08 indeholder bestemmelserne for ændret anvendelse og tilbygninger som alternativ til bestemmelserne vedr. energirammer for nye bygninger.

2.2.1 Varmeisolering af bygningsdele

BR08 indeholder endvidere krav til U-værdier og linietab for ændret anvendelse og tilbygninger, der normalt opvarmes til 15 °C. Med hensyn til disse U-værdier og linietab, henvises til kapitel 2.4.

Det er en betingelse for anvendelse af de nævnte U-værdier og linietab ved nybyggeri, at det samlede areal af vinduer og yderdøre, herunder ovenlys, glasvægge og lemme mod det fri højst udgør 22 % af det opvarmede etageareal i tilbygningen. Ved beregningen medregnes etagearealet og arealet af vinduer og yderdøre i butikker og lignende i stueetagen ikke.

2.2.2 Varmetabsramme

Ifølge BR08 kan U-værdier og linietab ændres og vinduesareal mv. forøges, hvis tilbygningens varmetab ikke derved bliver større, end hvis kravene i kapitel 2.2.1 var opfyldt. De enkelte bygningsdele skal dog mindst isoleres svarende til U-værdier og linietab i tabel 2.1.

2.3 Ombygning og andre væsentlige forandringer i bygningen og udskiftning af kedler mv.

I BR08 står der, at ombygninger, der foretages som led i en væsentlig anvendelsesændring, skal opfylde bestemmelserne ved ændret anvendelse og tilbygninger (se kapitel 2.2.1 og 2.2.2).

2.3.1 Større ombygninger

I BR08 står der, at ved større ombygninger og andre væsentlige energimæssige forandringer skal klimaskærm og installationer bringes i overensstemmelse med indholdet i kapitel 2.2.1 og 2.3.2 samt BR08's bestemmelser vedr. installationer. De bygningsmæssige foranstaltninger skal være rentable. Hvor årlig besparelse gange levetid divideret med investering er større end 1,33, anses for rentable.

Større ombygninger og andre væsentlige energimæssige forandringer defineres som byggearbejder vedrørende klimaskærm eller installationer, der berører mere end 25 % af klimaskærmen

eller udgør mere end 25 % af seneste offentlige ejendomsværdi med fradrag af grundværdien. De nævnte bestemmelser gælder ikke for enfamiliehuse.

Byggetekniske forhold kan indebære, at indholdet i kapitel 2.2.1 ikke kan opfyldes på rentabel måde. Der kan imidlertid være et mindre omfangsrigt arbejde, der nedbringer energibehovet. Dette arbejde skal så gennemføres.

2.3.2 Enkeltforanstaltninger

I BR08 står der, at selvom arbejdet ikke er så omfattende, så det er omfattet af kapitel 2.3.1, skal de energimæssige bestemmelser, som er nævnt nedenfor, alligevel opfyldes, når de pågældende arbejder udføres, såfremt foranstaltningerne hver for sig er rentable.

I BR08 beskrives følgende enkeltforanstaltninger:

- Ved udskiftning eller etablering af ny tagdækning skal der foretages isolering af loft eller tagkonstruktion i overensstemmelse med kapitel 2.2.1.
- Ved udskiftning af ydervægges regnskærm, skal ydervæggene isoleres i overensstemmelse med kapitel 2.2.1.
- Ved udskiftning af kedler eller skift af varmeforsyningsform skal BR08's bestemmelser vedr. installationer for de pågældende anlæg opfyldes.
- Ved facadevis udskiftning skal vinduerne have en U-værdi på højst 1,50 W/m^{2}K. For dannebrogsvinduer eller små vinduer og vinduer opdelt i faste partier og oplukkelige rammer må U-værdien ikke overstige 1,20 + n · 0,30 W/m^{2}K med et evt. tillæg for sprosser på 0,20 W/m^{2}K. U-værdien må dog ikke overstige 2,00 W/m^{2}K.
- Som alternativ til ovenstående pind skal vinduerne have en effektiv U-værdi: $U_{eff} = U_w - 2{,}2 \cdot g_g \cdot A_{rude} / A_{vindue}$, som ikke overstiger (0,50 + n · 0,20) W/m^{2}K, med tillæg til U_{eff} for eventuelle sprosser 0,20 W/m^{2}K.

Hvor:
U_w er vinduets mørke U-værdi
g_g er rudens solenergitransmittans
A_{rude} er rudens areal
(Den del af vinduet man kan kigge igennem)
A_{vindue} er vinduets areal
n er antal felter i vinduet (der kan åbnes) divideret med vinduets areal

- Samlet udskiftning af tagvinduer og ovenlys samt facadevis forbedring af vinduer med forsatsrammer skal have en U-værdi, der ikke overstiger 1,80 W/m²K.

Eksempel 1

For et lavenergivindue med fire oplukkelige felter har producenten oplyst følgende data:

A_{vindue} =	1,44 m² (1,2 m · 1,2 m)
Glasandel =	65 %
U_w =	1,92 W/m²/K
	(Glassets U-værdi er 1,1 W/m²/K)
g_g =	0,62 W/m²/K

Den effektive U-værdi kan beregnes til:

U_{eff} = 1,92 W/m²/K –
(2,2 · 0,62 W/m²/K · 0,65) = 1,03 W/ m²/K

I henhold til BR08 må den effektive U-værdi ikke overstige (0,50 + n · 0,20) W/m²K. Det vil sige, at den effektive U-værdi ikke må overstige:

0,5 + ((4/1,44) · 0,20) = 1,055 W/m²K

Lavenergivinduet overholder således lige netop kravene i BR08.

2.4 Krav til mindste varmeisolering

I tabel 2.2 ses krav til mindste varmeisolering for nye bygninger, til- og ombygninger og sommerhuse. Kravene i tabellen gælder både for småhuse samt erhvervs- og etagebyggeri.

U-værdier og linietab for sommerhuse gælder med en begrænsning af vinduesarealet på 30 % af etagearealet.

Isolering af bygningsdele

For at opfylde mindste krav til varmeisolering som angivet i tabel 2.2 skal der typisk isoleres som anvist på figur 2.1.

A Loft – gitterspær: ca. 150 mm isoleringsmateriale

B Lette ydervægge (eks. af træ) – indvendig isolering: ca. 120 - 145 mm isoleringsmateriale

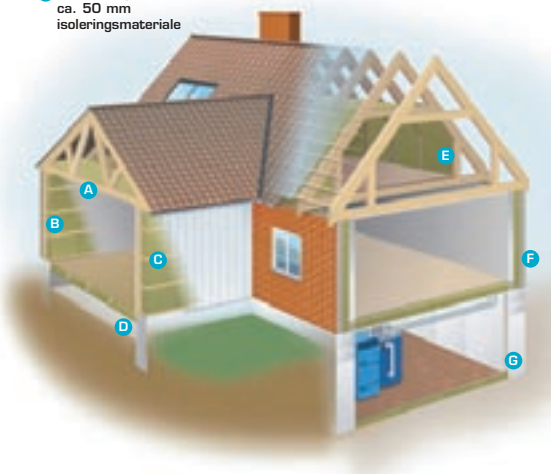
C Lette ydervægge (eks. af træ) – udvendig isolering: ca. 120 - 145 mm isoleringsmateriale

D Krybekælder: ca. 150 mm isoleringsmateriale

E Loft – hanebånd, bjælkespær, skråvæg, skunkrum: ca. 150 mm isoleringsmateriale

F Hulmur: ca. 125 mm isoleringsmateriale

D Kældervæg: ca. 50 mm isoleringsmateriale



Figur 2.1. Krav til isoleringstykkelser for at kravet i BR08 vedr. mindste varmeisolering for nye bygninger er overholdt.

	Nye byg-ninger	Til- og ombyg-ninger	Som-mer-huse
Bygningsdel	**U-værdi [W/m² · K]**		
Ydervægge og kældervægge mod jord	0,40	0,20	0,30
Skillevægge mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,50	0,40	0,40
Etageadskillelser mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,40		
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over det fri eller ventileret kryberum	0,30	0,15	0,20
Etageadskillelser under gulve med gulvvarme mod rum, der er opvarmede	0,70	0,12	0,20
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge, flade tage og skråvægge direkte mod tag	0,25	0,15	0,20
Vinduer og yderdøre, herunder glasvægge, porte og lemme mod det fri eller mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8° C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	2,00	1,50	2,00
Tagvinduer og ovenlys	2,00	1,80	
Fundamenter og samlinger	**Linietab [W/m · K]**		
Fundamenter omkring rum, der opvarmes til mindst 5 °C	0,40	0,15	0,20
Fundamenter omkring gulve med gulvvarme	0,20	0,12	0,15
Samling mellem ydervæg og vinduer eller yderdøre, porte og lemme	0,06	0,03	0,06
Samling mellem tagkonstruktion og vinduer i tag eller ovenlys	0,20	0,10	0,15

Tabel 2.2. Krav til mindste varmeisolering.

2.5 Ventilation

2.5.1 Enfamiliehuse

I BR08 står der, at ventilationen kan udføres ved systemer for naturlig ventilation eller mekanisk ventilation.

Tilførsel af udeluft skal tilvejebringes gennem åbninger direkte til det fri eller med ventilationsanlæg med indblæsning.

I ethvert beboelsesrum og i huset totalt skal der være et luftskifte på mindst 0,5 gang i timen, svarende til en volumenstrøm på 0,32 l/s pr. m^2 ved en rumhøjde på 2,3 m. I køkken, baderum, wc-rum og bryggers eller lignende skal der være udsugning. Dette krav anses for opfyldt, når rummene ventileres, som anført i tabel 2.3.

Rum	Tilførsel af udeluft	Udsugning [l/s]
Beboelsesrum	Oplukkeligt vindue, lem eller dør samt én eller flere udeluftventiler	–
Køkkener (emhætte)	Åbning med adgangsrummet. Oplukkeligt vindue, lem eller dør eller udeluftventil	20 (eller naturligt aftræk med kanaltværsnit på mindst 200 cm^2)
Bade- og wc-rum	Oplukkeligt vindue, lem eller udeluftventil, og/eller åbning mod adgangsrummet	15 (eller naturligt aftræk med kanaltværsnit på mindst 200 cm^2)
Særskilt wc-rum	Som ved baderum	10 (eller naturligt aftræk med kanaltværsnit på mindst 200 cm^2)
Bryggers eller opbevaringsrum	Som ved baderum	10
Kælderrum	Udeluftventil	10 (eller naturligt aftræk med kanaltværsnit på mindst 200 cm^2)

Tabel 2.3. Tilførsel af udeluft og udsugning i enfamiliehuse.

Lufthastigheder i opholdszonen bør højst være 0,15 m/s for at undgå træk. Opholdszonen er den del af et rum, som man normalt opholder sig i.

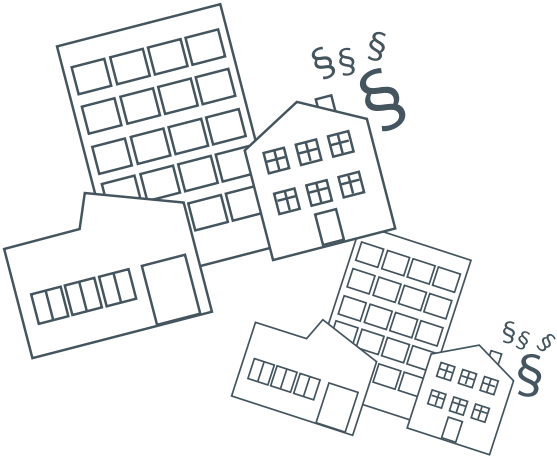
2.5.2 Etageboliger

Boligenheder skal ventileres med et ventilationsanlæg, der enten skal være et udsugningsanlæg kombineret med udeluftventiler eller et indblæsnings- og udsugningsanlæg. Anlægget skal dimensioneres, så udelufttilførslen mindst svarer til den største af følgende 2 ydelser:

- den udsugning (volumenstrøm) der er angivet i tabel 2.4, eller

- et luftskifte, for hele boligenheden, på 0,5 gange i timen, svarende til en volumenstrøm på 0,35 l/s pr. m^2 ved en rumhøjde på 2,5 m, fordelt forholdsmæssigt på udsugning fra køkken, bade- og wc-rum ud fra volumenstrømmene angivet i tabel 2.4.

I BR08 står der, at kravene til ventilation i rum med normal rumhøjde anses for opfyldt, når tilførslen af udeluft og udsugningen udføres som angivet i tabel 2.4.



Rum	Tilførsel af udeluft	Udsugning [l/s]
Beboelsesrum	Oplukkeligt vindue, lem eller dør samt én eller flere udeluftventiler	–
Køkkener (emhætte)	Oplukkeligt vindue, lem eller dør eller udeluftventil	20
Bade- og wc-rum	Oplukkeligt vindue, lem eller udeluftventil, og/eller åbning mod adgangsrummet	15
Særskilt wc-rum	Som ved baderum	10
Bryggers eller skabsrum i boligenhed	Som ved baderum	10[1)]
Trapperum eller fælles forrum med direkte adgang til boligenheder	Oplukkeligt vindue, udeluftventil eller luftsluse. Tilførslen af udeluft skal ske forneden i rummet	–

[1)] Hvis luften tilføres gennem adgangsrummet, ellers ingen særskilt mekanisk udsugning

Tabel 2.4. Tilførsel af udeluft og udsugning i etageboliger.

2.5.3 Kontorbygninger

Der findes ikke krav vedr. ventilation i kontorbygninger i BR08. Med hensyn til ventilation i kontorbygninger henvises til kapitel 6 ”Indeklima”.

2.6 BeO6

Beregningsprogrammet BeO6 er udviklet af SBi til at dokumentere, at energikravene i Bygningsreglementet og anden lovgivning er fulgt. BeO6 benyttes bl.a. i forbindelse med energimærkning af nye og eksisterende bygninger.

BeO6 kan også benyttes af arkitekter og andre rådgivere til beregning af energibehov og energiforbrug i projekteringsfasen, så der skabes en god energiøkonomi, der kan fremtidssikre byggeriet bedst muligt.

Energimærkning af bygninger og tekniske eftersyn

Energimærkningsordningen for bygninger er et led i gennemførelsen af EU's bygningsdirektiv om bygningers energimæssige ydeevne. Målet er at reducere energiforbruget i bygninger.

Energimærkningsordningen gælder for nye og eksisterende bygninger, undtagen bygninger til erhvervsmæssig produktion vedrørende landbrug, skovbrug, gartneri, råstofudvinding o.l. Endvidere er bygninger til industri, håndværk mv. samt el-, gas- eller varmeværk, forbrændingsanstalt mv. undtaget.

Energimærkningen foretages af to typer energikonsulenter: Energikonsulenter for enfamiliehuse og energikonsulenter for flerfamiliehuse, handel/service og offentlige bygninger.

Som led i indsatsen for at spare på energien er det blevet lovpligtigt for bygningsejere at få en teknisk ekspert til at syne kedler.

3.1 Energimærkning af enfamiliehuse

3.1.1 Lovgivning

Ifølge lov nr. 585 af 24. juni 2005 om fremme af energibesparelser i bygninger, skal der fremlægges en gyldig energimærkning, når et enfamiliehus over 60 m^2 skal sælges. Et energimærke er gyldigt i 5 år.

Fra 1. juli 2009 skal enfamiliehuse over 60 m^2 også energimærkes ved udlejning og ved overdragelse af andel eller anpart.

3.1.2 Energimærke

Energimærkningen giver et overblik over bygningens samlede energiforbrug og mulighederne for at reducere primært varmeforbruget og sekundært el- og vandforbruget.

Det samlede energiforbrug omfatter energiforbrug til opvarmning af bygningen og til drift af de

faste bygningsinstallationer (fx elforbrug til cirkulationspumper, ventilatorer eller blæsere i gaskedler).

På forsiden af energimærkningen findes selve energimærket. Energimærket viser på en skala fra A til G, hvor stort energiforbrug ejendommen har. A er det bedst opnåelige energimærke, og G er det dårligst opnåelige.

Da energimærkningen udarbejdes i forbindelse med salg eller leje af en ejendom og på et tidspunkt, hvor den kommende ejer ikke er kendt, tager energikonsulenten udgangspunkt i et beregnet forbrug på basis af en standardanvendelse af ejendommen.

Et beregnet forbrug giver den nye husejer et reelt billede af det typiske energiforbrug for ejendommen. Det bliver herved muligt at bruge mærkningen til at sammenligne energiforbruget i forskellige ejendomme på samme grundlag og lade sammenligningen indgå ved en vurdering af ejendommene.

3.1.3 Forslag til forbedringer

Energimærkningen indeholder en detaljeret liste med forslag til forbedringer for henholdsvis varme, vand og el. Det er her, man helt konkret kan se, hvordan der kan spares energi i ejendommen.

Mærkningen oplyser, hvor meget det erfaringsmæssigt vil koste at få udført de foreslåede forbedringer, hvor stor en besparelse der kan forventes, og det antal år, der skal bruges til at tjene investeringen hjem igen.

3.1.4 Statusbeskrivelse af ejendommen

Energimærkningen indeholder en beskrivelse af bygningens energimæssige egenskaber, bygningsdel for bygningsdel.

I den kan man læse en statusbeskrivelse af ejendommen. Beskrivelsen giver oplysninger om isoleringen på loftet, vinduernes isoleringsevne osv.

Samtidig indeholder den en uddybende beskrivelse af de prissatte besparelsesforslag.

3.2 Energimærkning af sommerhuse

3.2.1 Lovgivning

Sommerhuse på 60 m² og derover skal energimærkes ved salg efter samme regler som enfamiliehuse eller efter en forenklet metode, hvor der ikke foretages beregning af forbruget, og hvor der ikke angives forslag til forbedringer. En energimærkning af et sommerhus er gyldigt i 10 år, hvis huset er under 120 m². Er sommerhuset større, er det gyldigt i 5 år.

3.3 Energimærkning af flerfamiliehuse

3.3.1 Lovgivning

Ifølge lov nr. 585 af 24. juni 2005 om fremme af energibesparelser i bygninger, skal der foreligge en gyldig energimærkning, når en ejerlejlighed i en etageboligbebyggelse skal sælges. Et energimærke er gyldigt i 5 år.

Ejendomme, der er over 1.000 m², skal energimærkes hvert 5. år, uanset om der finder et salg sted.

Der skal endvidere foreligge en gyldig energimærkning ved udlejning af lejligheder og ved salg af andels- og anpartslejligheder, herunder ideelle anparter.

Alle nye flerfamiliehuse skal energimærkes, inden de tages i brug.

I flerfamiliehuse over 1.000 m² har ejeren eller ejerforeningen pligt til at foretage månedlige registreringer af ejendommens fælles forbrug af energi og vand.

3.3.2 Energimærke

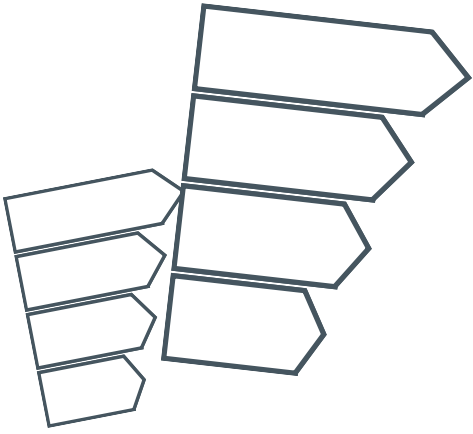
Energimærkningen er principielt identisk med energimærkningen for enfamiliehuse (se kapitel 3.1.2). Eneste forskel er, at energimærkningen for flerfamiliehuse indeholder oplysninger om ejendommens reelle varmeforbrug og udgifterne hertil.

3.3.3 Forslag til forbedringer

Listen med forslag til forbedringer er principielt identisk med listen for enfamiliehuse (se kapitel 3.1.3). Energimærkningen for flerfamiliehuse indeholder dog også en liste til forbedringer ved renovering. Ved renovering af en ejendom er der ofte god økonomi i at tænke energibesparelser ind i renoveringen.

3.3.4 Statusbeskrivelse af ejendommen

Statusbeskrivelsen er principielt identisk med statusbeskrivelsen for enfamiliehuse (se kapitel 3.1.4).



Energimærkning

Energimærkning for følgende ejendom:

Adresse: Storgade 27 A, B, C og D
Postnr./by: 9990 Storstaden
BBR-nr.: 123-123456
Energimærkning nr.: 122780
Erstatter energimærkning nr.: 111111
Gyldigt 5 år fra: 1. juli 2006
Energikonsulent: Jens Pedersen **Firma:** Aktuel Energirådgivning

EKSEMPEL
på energimærkning af flerfamiliehus

Energimærkningen oplyser om ejendommens energiforbrug, mulighederne for at opnå besparelser, fordeling af ejendommens varmeudgifter samt de enkelte lejligheders gennemsnitlige forbrug. Energimærkningen udføres af beskikkede energikonsulenter for flerfamiliehuse og er lovpligtig.

Oplyst varmeforbrug

- **Udgift inkl. moms og afgifter:** 293.000 kr./år
- **Forbrug:** 526 MWh/år
- **Oplyst for perioden:**
1. januar 2005 - 31. december 2005

Ejendommens oplyste forbrug og udgifter er klimakorrigerede af energikonsulenten, så det udtrykker forbrug og udgifter for et gennemsnitligt år rent temperaturmæssigt.

Energimærke

Lavt forbrug

Højt forbrug

A er det bedst opnåelige energimærke, herefter B osv. og G er det dårligste.

Besparelsesforslag

Her er energikonsulentens forslag til at reducere energiforbruget i bygningen. Forslagene er opdelt i to dele. Først vises besparelsesforslag med god rentabilitet. Her er energibesparelsen er så stor, at den betaler investeringen tilbage inden for en periode, som er kortere end to tredjedele af energibesparelsens levetid. De øvrige energibesparelsesforslag har dårligere rentabilitet. Se evt. flere forslag på næste side. Forslagene uddybes i afsnittet om bygningsgennemgangen.

Besparelsesforslag med god rentabilitet	Årlig besparelse i energienheder	Årlig besparelse i kr. inkl. moms	Skønnet investering inkl. moms	Tilbagebetalingstid
1 Bygning 3: Indblæsning af isolering i etageadskillelse mod loft	4 MWh	1.510 kr.	17.500 kr.	12 år
2 Bygning 1: Efterisolering af etageadskillelse mod kælder	4 MWh	1.510 kr.	17.000 kr.	11 år
3 Bygning 4: Efterisolering af etageadskillelse mod kælder	5 MWh	2.160 kr.	22.800 kr.	11 år

Figur 3.1. Eksempel på energimærkning af flerfamiliehus.

3.4 Energimærkning af erhvervs- og offentligt byggeri

3.4.1 Lovgivning

Ifølge lov nr. 585 af 24. juni 2005 om fremme af energibesparelser i bygninger skal der fremlægges en gyldig energimærkning for alle bygninger til erhvervsformål inden for handel, service og administration samt offentlige bygninger, når de sælges. Kravet gælder ikke bygninger til industriel produktion o.l.

Der skal endvidere fremlægges gyldig energimærkning ved udlejning eller ved overdragelse af andel eller anpart.

Ejendomme, der er over 1.000 m^2, skal energimærkes hvert 5. år, uanset om der finder et salg sted.

For offentligt byggeri er der skærpede krav, idet alle bygninger over 60 m^2 skal energimærkes regelmæssigt hvert 5. år.

Alle nye fritliggende bygninger over 60 m^2 skal energimærkes, inden de tages i brug.

3.4.2 Energimærke

Energimærkningen er principielt identisk med energimærkningen for enfamiliehuse (se kapitel 3.1.2). Eneste forskel er, at energimærkningen for erhvervs- og offentligt byggeri indeholder oplysninger om ejendommens reelle varmeforbrug og udgifterne hertil.

3.4.3 Forslag til forbedringer

Listen med forslag til forbedringer er principielt identisk med listen for enfamiliehuse (se kapitel 3.1.3). Energimærkningen for erhvervs- og offentligt byggeri indeholder dog også en liste til forbedringer ved renovering. Ved renovering af en ejendom er der ofte god økonomi i at tænke energibesparelser ind i renoveringen.

3.4.4 Statusbeskrivelse af ejendommen

Statusbeskrivelsen er principielt identisk med statusbeskrivelsen for enfamiliehuse (se kapitel 3.1.4).

3.5 Teknisk eftersyn af kedler og varmeanlæg

3.5.1 Lovgivning

Eftersyn af tekniske anlæg omfatter:

1. Regelmæssige eftersyn af oliefyrede kedelanlæg og kedelanlæg for fastbrændsel.
2. Regelmæssige eftersyn af gasfyrede kedelanlæg.
3. Engangseftersyn af oliefyrede og fastbrændselsfyrede varmeanlæg.
4. Engangseftersyn af gasfyrede varmeanlæg.

Kort om ordningerne:

- Olie- og fastbrændselskedler (ikke biobrændsel) skal gennemgå et lovpligtigt regelmæssigt eftersyn hvert 5. år.
- For gaskedelanlæg over 100 kW skal der foretages et lovpligtigt eftersyn hvert 4. år.
- Oliekedler skal renses mindst en gang om året af en teknisk ekspert. Dette gælder dog ikke de typer af kedler, som skorstensfejeren har pligt til at rense efter skorstensfejningen.
- Derudover skal ejer have foretaget et mere omfattende engangseftersyn af ejendommens samlede varmeanlæg, når kedlerne fylder 15 år uanset brændselstype (dog ikke hvor biobrændsel er det primære brændsel). Det samlede varmeanlæg omfatter ud over kedelanlægget også beholdere, rør, pumper, automatik og radiatorer. Engangseftersynet kan erstatte et regelmæssigt eftersyn.

Det er lovpligtigt at gennemføre et regelmæssigt eftersyn af oliekedler og fastbrændselskedler senest 5 år efter bekendtgørelsens ikrafttræden – altså inden 1. september 2011.

For gasfyrede anlæg skal eftersynet finde sted senest 4 år efter bekendtgørelsens ikrafttræden, – inden 1. september 2010.

For 15 års engangseftersynet gælder, at ejeren har pligt til at få foretaget eftersynet, når kedlen fylder 15 år, dog senest den 31. december 2010, hvis kedlen er fyldt 15 år, før den 1. september 2006.

Bygninger, der er omfattet af regelmæssig energimærkning (ejendomme over 1.000 kvadratmeter og alle offentlige bygninger) skal ikke have gennemført et 15 års engangseftersyn.

3.5.2 Indhold og eftersynsrapport

Det lovpligtige 5 års eftersyn omfatter en registrering af grundoplysninger om anlægget, inspektion af anlæggets driftstilstand og et måle- og registreringsprogram. Målingerne og registreringerne vedrører bl.a. årligt brutto brændselsforbrug, røggastemperatur, iltprocent og temperatur af forbrændingsluft. Ud fra målingerne vurderes anlæggets årsvirkningsgrad, og der udarbejdes en række gode råd samt egentlige besparelsesforslag med angivelse af størrelsen af energibesparelsen og økonomien i besparelsen. Resultatet af eftersynet sammenfattes i en rapport til anlæggets ejer/bruger.

Det lovpligtige 15 års engangseftersyn omfatter, foruden ovenstående kedelmålinger og -registreringer, en registrering af varmefordelingsanlægget som fx anlægstype, antal radiatorer med termostater, antal meter uisolerede rør, mulighed for klimastyring og dimensionerende radiatoreffekt. Resultatet af engangseftersynet sammenfattes i en rapport til anlæggets ejer/bruger.

3.6 Teknisk eftersyn af ventilations- og klimaanlæg

3.6.1 Lovgivning

Der er et lovpligtigt eftersyn af større ventilationsanlæg og klimaanlæg.

Et ventilationsanlæg er omfattet af ordningen, hvis summen af mærkepladeeffekterne for ventilationsmotorerne i indblæsning og udsugning er over 5 kW. Har anlægget kun udsugning, gælder de 5 kW for ventilatormotoren i udsugningen. For

klimaanlæg gælder, at et anlæg er omfattet af ordningen, hvis mærkepladeeffekten for kompressormotoren er over 4 kW.

Ventilations- og klimaanlæg skal efterses mindst hvert 5. år. Ejeren/brugeren af anlægget vælger selv på hvilket tidspunkt af året, eftersynet skal gennemføres. Klimaanlæg bør efterses i den varme periode, mens anlæg med varmegenvinding bør efterses i den kolde periode.

Ventilations- og klimaanlæg i bygninger til erhvervsmæssig produktion i forbindelse med industri, håndværk, landbrug, gartneri o.l. er undtaget fra ordningen.

3.6.2 Indhold og eftersynsrapport

Det lovpligtige ventilationseftersyn omfatter en registrering af grundoplysninger om anlægget, inspektion af anlæggets driftstilstand og et måleprogram. Målingerne vedrører ventilatorernes optagne el-effekter og anlæggets volumenstrømme, trykforhold og temperaturer. Ud fra målingerne vurderes anlæggets energieffektivitet, og der udarbejdes en række gode råd samt egentlige besparelsesforslag med angivelse af størrelsen af energibesparelsen og økonomien i besparelsen. Resultatet af eftersynet sammenfattes i en rapport til anlæggets ejer/bruger.

Det lovpligtige ventilationseftersyn omfatter ikke vedligehold eller justering af anlægget, men eftersynsfirmaet vil naturligvis kunne tilbyde også disse ydelser.

Nøgletal for energiforbrug i bygninger

I dette kapitel gives der nøgletal for varme- og elforbrug i enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger (eksisterende byggeri). De tre bygningstyper er alle omfattet af energibestemmelserne i Bygningsreglementerne for henholdsvis småhuse samt erhvervs- og etagebyggeri. Nøgletallene for netop disse tre bygningstyper vises, fordi deres varme- og elforbrug udgør langt størstedelen af det samlede varme- og elforbrug i bygninger omfattet af energibestemmelserne.

Nøgletallene kan for en given bygning benyttes til at sammenligne varme- og elforbrug med tilsvarende bygninger.

Med hensyn til elforbrug er der fokuseret på de elforbrug, der indgår i beregningerne af bygningernes energibehov. Det vil sige elforbrug alene til bygningernes faste installationer.

Nøgletallene for enfamiliehuse er baseret på beregnede forbrug, mens nøgletallene for etageboliger og kontorbygninger er baseret på målte forbrug.

4.1 Nøgletal for varme- og elforbrug i enfamiliehuse

I tabel 4.1 ses nøgletal for varmeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand i enfamiliehuse. Nøgletallene er udarbejdet på baggrund af indrapporterede energimærker til EM-ordningen. Nøgletallene, der ses som funktion af byggeår og størrelse, baserer sig på beregnede brutto varmeforbrug.

Nøgletallene er ikke opdelt på forsyningsformer, hvilket gør, at man ikke bør sammenligne nøgletal for elopvarmede enfamiliehuse med tallene i tabellen. Det skyldes, at der ikke indgår kedeltab og tab af cirkulationsledninger i varmeforbruget i elopvarmede huse.

I tabel 4.2 ses nøgletal for elforbrug i enfamiliehuse.

	Varmeforbrug, inkl. varmt brugsvand		
Byggeår	kWh/m²/år		
	Små huse (mindre end 80 m²)	Mellemstore huse (mellem 80 og 150 m²)	Store huse (større end 150 m²)
1900 – 1909	320	290	190
1910 – 1919	315	300	210
1920 – 1929	330	295	205
1930 – 1939	305	290	165
1940 – 1949	310	280	160
1950 – 1959	315	255	175
1960 – 1969	225	195	155
1970 – 1979	160	155	140
1980 – 1989	155	125	110
1990 – 1999	145	115	100
2000 –	140	100	85

Tabel 4.1. Nøgletal for varmeforbrug i enfamiliehuse i forhold til byggeår.

Anvendelse	Elforbrug [kWh/år]
Cirkulationspumpe til centralvarme	525
Cirkulationspumpe til centralvarme – E pumpe	263
Cirkulationspumpe til gulvvarme	408
Cirkulationspumpe til varmt brugsvand	219
Gaskedel (elektronik og blæser)	136
Oliekedler (automatik og brænder)	135 – 400
Ventilationsanlæg[1)]	850 – 1.000

[1)] Nøgletallet er for mekanisk ventilation med indblæsning og udsugning. I enfamiliehuse med kun mekanisk udsugning er nøgletallet ca. det halve.

Tabel 4.2. Nøgletal for elforbrug i enfamiliehuse.

4.2 Nøgletal for varme- og elforbrug i etageboliger

I tabel 4.3 ses nøgletal for varmeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand i etageboliger. Nøgletallene er udarbejdet på baggrund af indrapporterede energimærker til ELO-ordningen. Nøgletallene, der ses som funktion af forsyningsformer, baserer sig på målte brutto varme- og elforbrug.

Nøgletallene for elforbrug er udarbejdet på baggrund af det totale fælles elforbrug i etageboligerne (elforbrug til cirkulationspumper, belysning i opgange m.m.).

	Varmeforbrug, inkl. varmt brugsvand				Elforbrug
	Fjernvarme	Naturgas	Olie	Elvarme	Fælles forbrug
	kWh/m²/år				
Antal	19.211	1.330	353	0	25.287
10 % fraktil	87	105	109	-	1,8
25 % fraktil	99	121	125	-	3,0
50 % fraktil	113	136	144	-	5,0
75 % fraktil	129	157	163	-	8,0
90 % fraktil	145	180	188	-	11,8
Middel	115	140	147	-	6,5

Tabel 4.3. Nøgletal for energiforbrug i etageboliger.

Som det ses i tabel 4.3 blev der ikke indrapporteret energimærker for etageboliger med elvarme til ELO-ordningen.

I tabel 4.4 ses nøgletal for elforbrug i etageboliger. Nøgletallene for cirkulationspumper stammer fra rapporten "Værktøj for pumpevalg – overvågning og renovering (varmeinstallationer)" /7b/.

Nøgletallet for ventilationsanlæg stammer fra rapporten "Energibesparelser i eksisterende og nye boliger" /9/.

Anvendelse	Elforbrug [kWh/m²år]
Cirkulationspumpe til centralvarme	0,4 – 0,5
Cirkulationspumpe til varmt brugsvand	0,2 – 0,3
Ventilationsanlæg[1)]	6,0 – 7,0

[1)] Nøgletallet er for mekanisk ventilation med indblæsning og udsugning. I etageboliger med kun mekanisk udsugning er nøgletallet ca. det halve

Tabel 4.4. Nøgletal for elforbrug i etageboliger.

4.3 Nøgletal for varme- og elforbrug i kontorbygninger

I tabel 4.5 ses nøgletal for varmeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand i kontorbygninger. Nøgletallene er udarbejdet på baggrund af indrapporterede energimærker til ELO-ordningen. Nøgletallene, der ses som funktion af forsyningsformer, baserer sig på målte brutto varme- og elforbrug.

Nøgletallene for elforbrug er udarbejdet på baggrund af det totale elforbrug i kontorbygningerne.

I tabel 4.6 ses den procentvise opdeling af elforbruget i kontorbygninger samt nøgletal for de enkelte delanvendelser. Disse nøgletal er beregnet på baggrund af middelværdien for elforbrug i tabel 4.5.

Elforbruget til EDB udstyr indgår indirekte i energirammen, som intern belastning.

Den procentvise opdeling af elforbruget er udarbejdet på baggrund af data i rapporten "Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug" /10/.

	Varmeforbrug, inkl. varmt brugsvand				Elforbrug
	Fjernvarme	Fælles forbrug	Olie	Elvarme	Fælles forbrug
	kWh/m²/år				
Antal	3.169	589	85	18	5.265
10 % fraktil	60	59	76	29	3,3
25 % fraktil	76	74	91	50	8,0
50 % fraktil	96	96	105	78	36,9
75 % fraktil	118	121	143	92	50,1
90 % fraktil	143	142	166	108	93,6
Middel	100	100	120	79	45,0

Tabel 4.5. Nøgletal for energiforbrug i kontorbygninger.

Anvendelse	Andel [%]	Nøgletal [kWh/m²]
Belysning	41,7	18,8
Pumpning	2,2	1,0
Køling	5,5	2,5
Ventilation	12,7	5,7
Trykluft	0,8	0,4
Øvrige elmotorer	2,4	1,1
Opvarmning/ kogning	3,1	1,4
EDB udstyr	23,6	10,6
Rumvarme	8,1	3,6

Tabel 4.6. Procentvis opdeling af elforbrug i kontorbygninger.

Elforbrug til belysning og køling indgår i beregningerne af energibehov for handel, service og offentlige bygninger. Elforbruget til køling er alene angivet til nedkøling af ventilationsluft. I BR08 stilles der ikke direkte krav til elforbruget til belysning og køling.

Belysningsanlæg skal udføres således, at energiforbrug og effektbehov søges begrænset mest muligt under hensyntagen til rummets udformning og anvendelse, herunder krav til belysningens kvalitet og driftstid.

Bygninger skal opføres, så unødvendigt energiforbrug til opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning undgås samtidig med, at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold.

Køleanlæg skal forsynes med automatisk regulering, så køleydelsen kan tilpasses kølebehovet. Køleanlæg skal forsynes med tids- og temperaturstyring, så køleydelsen til rummene kan afbrydes eller reduceres i perioder uden benyttelse.

4.3.1 Anbefalede nøgletal for belysning og køling

I dette kapitel ses anbefalede nøgletal for belysnings- og køleanlæg til forskellige anvendelser.

I tabel 4.7 ses anbefalede effekter pr. kvadratmeter for kontorareal for belysningsanlæg /13/.

Type	Effektoptag [W/m²][1)]
Arbejdspladser	10
Gangarealer	5

[1)] Effektoptaget er inkl. effektoptaget i komponenter til lysstyring

Tabel 4.7. Nøgletal for belysningsanlæg.

I tabel 4.8 ses anbefalede effektfaktorer (COP) for køleanlæg i kontorbygninger.

EER beregnes som anlæggets kølekapacitet i forhold til el-effekten. EER svarer til $COP_{køling}$.

Dataene i tabel 4.8 gælder for bestemte driftstilstande, som er beskrevet nærmere i Eurovents ordning og EU's mærkningsdirektiv. For et konkret anlæg skal EER værdierne korrigeres i forhold til de aktuelle driftsforhold.

Type	Energy Efficiency Ratio - EER
Stort system med centralt luftkonditioneringsanlæg[1]: • Med luftkølet kondensator • Med vandkølet kondensator • Med ekstern kondensator	 ≥ 3,10 ≥ 5,05 ≥ 3,55
Mellemstort system med fancoils	≥ 3,10
Lille system med split-anlæg (≤12 kW køleeffekt)[2]	≥ 3,20

[1] Data stammer fra Eurovents ordning for chillere (se http://www.euroventassociation.eu/web/eurovent/web/). Data gælder for A-mærkede chillere
[2] EER-værdien stammer fra EU's energimærkningsdirektiv for splitunits. Data gælder for A-mærkede spiltanlæg

Tabel 4.8. Nøgletal for køleanlæg.

Eksempel på sammenligning mellem nøgletal og energirammerne

Eksempel 2

I tabel 4.3 ses, at det gennemsnitlige varme-nøgletal for fjernvarmeopvarmede etageboliger er 115 kWh/m². Det gennemsnitlige el-nøgletal er 6,5 kWh/m².

For en etagebolig på 4.000 m² (den gennemsnitlige størrelse af etageboliger i Danmark) medfører det et energibehov på:

$$\text{Energibehov} = \frac{(115\ \text{kWh/m}^2 \cdot 4.000\ \text{m}^2)+(2{,}5 \cdot 6{,}5\ \text{kWh/m}^2 \cdot 4.000\ \text{m}^2)}{4.000\ \text{m}^2}$$

$$= 131\ \text{kWh/m}^2$$

Ifølge tabel 2.1 beregnes energirammen for etageboliger som 70 + 2.200/A, hvor A er det opvarmede areal.

For en etagebolig på 4.000 m² medfører det en energiramme på:

$$\text{Energiramme} = 70 + \frac{2.200}{4.000\ \text{m}^2} = 70{,}6\ \text{kWh/m}^2$$

Eksempel 2 – fortsat

Som det ses, må en ny etagebolig på 4.000 m^2 kun bruge ca. 54 % af en gennemsnitlig dansk etageboligs energiforbrug pr. kvadratmeter.

Det er vigtigt at bemærke, at det beregnede energibehov er baseret på målte varme- og elforbrug. Hvilken rumtemperatur, der har været benyttet i etageboligerne, kendes ikke, men ligger typisk mellem 21 og 23 °C.

Energirammen gælder derimod for etageboliger med en fast rumtemperatur på 20 °C. Energirammen anvendes til at sammenligne med et beregnet energibehov ligeledes ved en fast rumtemperatur på 20 °C. Beregningen af energibehovet foretages ved hjælp af BeO6.

Endvidere er det totale elforbrug anvendt i etageboligerne i beregningen af energibehovet. Dette elforbrug inkluderer mere end elforbruget til de faste installationer.

Sammenligningen mellem energibehovet på 131 kWh/m^2 og energirammen på 70,6 kWh/m^2 er derfor ikke helt korrekt. Der er dog ingen tvivl om, at etageboliger vil have et energibehov, som ligger væsentligt over energirammen.

4.4 Energimærkningsskalaer

I tabel 4.9 ses energimærkeskalaer for en- og flerfamiliehuse samt handel, service og offentlige bygninger. Energimærkeskalaerne benyttes i forbindelse med energimærkning af eksisterende og nye bygninger. Energimærkeskalaerne ses i Håndbog for energikonsulenter /1/.

Skala-trin	Energimærkningsskala for en- og flerfamilie-huse	Energimærkningsskala for handel, service og offentlige bygninger
A	< 50 + 1.600/A	< 70 + 1.600/A
B	< 70 + 2.200/A	< 95 + 2.200/A
C	< 110 + 3.200/A	< 135 + 3.200/A
D	< 150 + 4.200/A	< 175 + 4.200/A
E	< 190 + 5.200/A	< 215 + 5.200/A
F	< 240 + 6.500/A	< 265 + 6.500/A
G	> 240 + 6.500/A	> 265 + 6.500/A

Tabel 4.9. Energimærkningsskala for en- og flerfamiliehuse samt handel, service og offentlige bygninger.

Eksempel på sammenligning mellem nøgletal og energimærkningsskalaerne

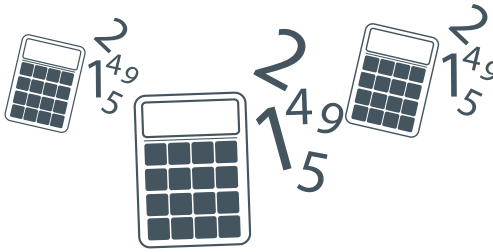
Eksempel 3

For etageboligen i eksempel 2, medfører energibehovet på 131 kWh/m^2, at ejendommen vil få mærket C.

En gennemsnitlig ejendom i Danmark vil således få mærket C.

Som i eksempel 2 er sammenligningen ikke helt korrekt, da energibehovet er baseret på målte varme- og elforbrug.

Der er dog ingen tvivl om, at eksisterende etageboliger vil få energimærker, som ligger i den tunge ende af mærkningsskalaen.



Energibehovsfordeling i bygninger

I forbindelse med energimærkning af en bygning foretages der en beregning af bygningens energibehov ved hjælp af beregningsprogrammet BeO6. Denne beregning af energibehovet kan så sammenlignes med energirammen for den pågældende bygning.

I de følgende tre afsnit ses eksempler på beregninger af energibehov for parcelhuse, etageboliger og kontorbygninger. Ved hjælp af BeO6 er der foretaget en fordeling, der viser, hvor stor en del af behovet der skyldes transmissionstab gennem ydervægge, tage, gulve, fundamenter og vinduer m.m. Med denne fordeling får man et overblik over, hvor der eventuelt bør sættes ind med energibesparende forbedringer.

Der vises endvidere eksempler på, hvilke energibesparende forbedringer der skal foretages, for at en eksisterende bygning kan opnå at få et energibehov svarende til energirammen.

5.1 Parcelhuse

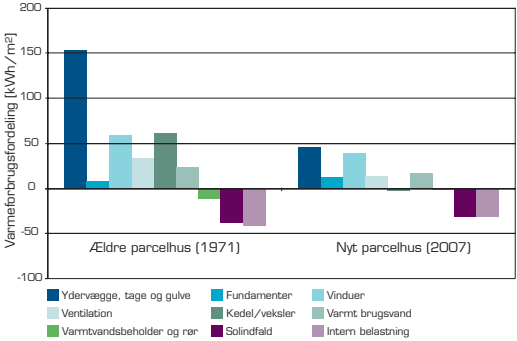
For et ældre parcelhus fra 1971 med et opvarmet areal på 141 m^2 kan energibehovet beregnes således:
Energibehov = 251,7 kWh/m^2 + 2,5 · 1,3 kWh/m^2 = 255 kWh/m^2 (BeO6).
Tabel 4.1 viser at et gennemsnitshus bruger 155 kWh/m^2/år, hvilket viser, at parcelhuset har et ekstremt højt energiforbrug.

Parcelhuset har iflg. tabel 4.9 energimærke F og ligger langt fra energirammen på 85,6 kWh/m^2 (tabel 2.1).

For et nyt parcelhus fra 2007 med et opvarmet areal på 143 m^2 kan energibehovet beregnes således:
Energibehov = 62,3 kWh/m^2 + 2,5 · 7,1 kWh/m^2 + 1,5 kWh/m^2 = 81,5 kWh/m^2.

Parcelhuset har energimærke B og overholder energirammen. Bidraget på 1,5 kWh/m^2 skyldes

overtemperatur i huset, som skal køles bort (en nærmere beskrivelse af betydningen af overtemperatur i en bygning ses i afsnit 5.3).
Som det ses, udgør varmebehovet en markant stor andel (ca. 99 %) af det samlede energibehov for det ældre parcelhus. For det nye parcelhus udgør varmebehovet ca. 76 % af det samlede energibehov.



Figur 5.1. Varmeforbrugsfordeling for henholdsvis ældre og nyt parcelhus.

5.1.1 Ældre parcelhus

Som det ses i figur 5.1 er der fire forhold der er afgørende for, at den ældre bygning ligger langt fra energirammen:

- Varmetabet fra ydervægge, tage og gulve.
- Varmetabet fra vinduer.
- Ventilationstabet.
- Kedeltabet.

Ved hjælp af BeO6 er der foretaget beregninger af energibesparelserne ved forbedring af de fire forhold. Disse beregninger ses nedenfor.

To af ydervæggene består af letklinkerbeton (18 cm lecaelement) uden isolering. Efterisolering af ydervæggene med 100 mm isoleringsmateriale vil medføre en varmebesparelse på 12.160 kWh og en elbesparelse på 41 kWh.

Det svarer til en besparelse på 9.600 kr.
Investeringen vil være ca. 50.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 5 år.
Loftet er isoleret med 200 mm isoleringsmateriale. Efterisolering af loftet med 100 mm isoleringsmateriale vil medføre en varmebesparelse på 700 kWh og en elbesparelse på 3 kWh.
Det svarer til en besparelse på 550 kr.
Investeringen vil være ca. 18.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 33 år.

Vinduerne består af 2 lags termoruder. Udskiftning til 2 lags lavenergiruder vil medføre en varmebesparelse på 3.220 kWh og en elbesparelse på 10 kWh.
Det svarer til en besparelse på 2.500 kr.
Investeringen vil være ca. 45.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 18 år.

Parcelhuset ventileres vha. naturlig ventilation. Ventilationstabet vil kunne reduceres ved installering af mekanisk ventilation med varmegenvinding.
Installering af mekanisk ventilation med varmegenvinding vil medføre en varmebesparelse på 3.230 kWh og et ekstra elforbrug til drift af ventilatorer på 370 kWh.
Det svarer til en besparelse på 1.800 kr.
Investeringen vil være ca. 20.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 11 år.

Kedelinstallationen er af ældre dato med ringe årsnyttevirkning. Ny kedelinstallation (kondenserende) vil medføre en varmebesparelse på 7.170 kWh og en elbesparelse på 24 kWh.
Det svarer til en besparelse på 5.600 kr.
Investeringen vil være ca. 40.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 7 år.

Hvis de fem energibesparelsestiltag blev gennemført, ville energibehovet blive:
Energibehov = 95,6 kWh/m^2 + 2,5 · 3,9 kWh/m^2 + 5,5 kWh/m^2 = 111,0 kWh/m^2.

Parcelhuset ville iflg. tabel 4.9 få energimærke C men stadig ligge et pænt stykke fra energirammen på 85,6 kWh/m^2.

Bidraget på 5,5 kWh/m^2 skyldes overtemperatur i huset, som skal køles bort.

Som det ses, er det ikke muligt at overholde energirammen ved forbedring af klimaskærmen, installering af mekanisk ventilation med varmegenvinding og udskiftning af kedlen. Energibehovet ligger ca. 13 % over energirammen.

Det skal endvidere bemærkes, at forslagene vedr. efterisolering af loftet og udskiftning af vinduerne ikke er rentable, men dog forslag der kan forbedre komforten i parcelhuset.

For at reducere energibehovet er det således nødvendigt at se på andre energibesparelsesmuligheder. Her er der følgende muligheder:

- Solvarmeanlæg.
- Varmepumpe.
- Solceller.

Solvarmeanlæg

Energirammen vil kunne overholdes, hvis der installeres et 14 m^2 kombineret solvarmeanlæg (rumopvarmning og opvarmning af varmt brugsvand) med en 750 liter beholder. Dette anlæg vil producere ca. 2.700 kWh varme pr. år.
Det svarer til en besparelse på ca. 2.100 kr.
Investeringen vil være ca. 75.000 - 100.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 40 - 50 år.

Varmepumpe

Energirammen vil næsten kunne overholdes, hvis der fx installeres en kombineret 15 kW væske/vand varmepumpe (rumvarme og brugsvand) med en COP faktor på 3,6 (fra positivlisten for varmepumper).
Energibehovet vil falde fra 111 til 90 kWh/m^2.

For at overholde energirammen kan fx varmtvandsbeholderen udskiftes i forbindelse med installeringen af varmepumpen. Varmetabet fra den nuværende 100 liter beholder er angivet til 6,6 W/K. Iflg. tabel 11.5 bør varmetabet for en 100 liter beholder med 50 mm isolering være 1,5 W/K.

Varmebesparelsen ved ovenstående tiltag vil være ca. 13.500 kWh. Det svarer til en besparelse på ca. 10.700 kr.
Merforbruget til el vil være ca. 4.300 kWh. Det svarer til en merudgift på 8.600 kr.
Investeringen vil være ca. 80.000 - 100.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 40 - 50 år.

Varmepumpen vil i dette tilfælde kunne erstatte det kondenserende oliefyr og medføre, at energirammen kan overholdes. Dette er dog under forudsætning af, at de andre energibesparende tiltag gennemføres (efterisolering af loft, udskiftning af vinduer m.m.).

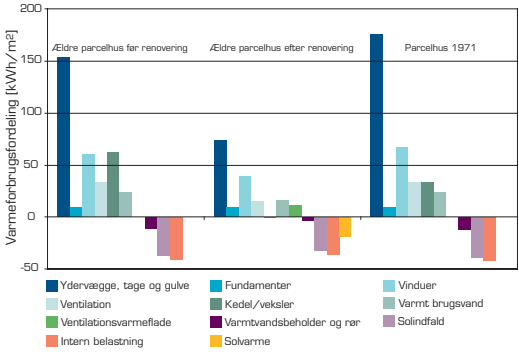
Solceller

Energirammen vil kunne overholdes, hvis der installeres et ca. 24 m^2 solcelleanlæg. Dette anlæg vil producere ca. 1.500 kWh el pr. år. Det vil sige, at der må trækkes ca. 3.800 kWh fra energirammen.
Det svarer til en besparelse på ca. 3.000 kr.
Investeringen skønnes at udgøre ca. 125.000 kr. (fra Energi Midt) med en simpel tilbagebetalingstid på ca. 42 år.

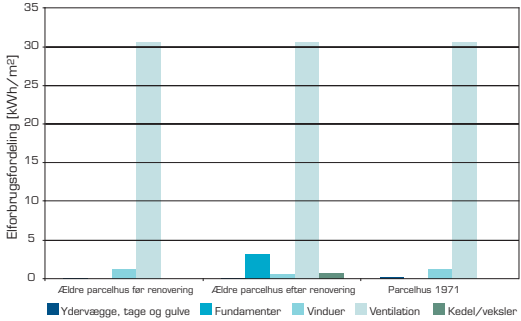
I figur 5.2 og 5.3 ses henholdsvis varme- og elforbrugsfordelinger for det ældre parcelhus før og efter renovering samt for parcelhuse bygget efter kravene i Bygningsreglementet i 1971.

Som det ses i figur 5.2 er søjlerne for ydervægge, tage og gulve samt vinduer højere for et parcelhus bygget efter kravene i 1971 end for det ældre parcelhus før renovering. Det skyldes, at der allerede er foretaget energimæssige forbedringer af parcelhuset, fx udskiftning af vinduer og efterisolering af loftet.

Søjlen for kedeltabet er derimod højere for parcelhuset, hvilket indikerer, at kedlen trænger til et eftersyn og eventuelt en udskiftning.



Figur 5.2. Varmeforbrugsfordelinger for ældre parcelhus før og efter renovering samt for parcelhuse fra 1971.



Figur 5.3. Elforbrugsfordeling for ældre parcelhus før og efter renovering samt for parcelhuse fra 1971.

5.1.2 Nyt parcelhus

Parcelhuset har et energibehov på 81,5 kWh/m² og overholder derfor energirammen på 85,6 kWh/m².

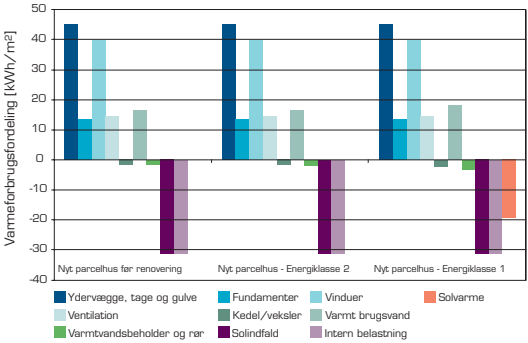
Hvis parcelhuset skulle have haft betegnelsen lavenergibygning klasse 2, skulle energibehovet have været 61,2 kWh/m². For at få betegnelsen lavenergibygning klasse 1, skulle energibehovet have været 42,7 kWh/m².

Solvarme og solceller

Parcelhuset ville have fået betegnelsen lavenergibygning klasse 2, hvis der var installeret et ca. 20 m^2 solvarmeanlæg eller et 20 m^2 solcelleanlæg. For at få betegnelsen lavenergibygning klasse 1 skal begge anlæg installeres.

Tilbagebetalingstiden for solcelleanlægget vil være godt 40 år. Tilbagebetalingstiden for solvarmeanlægget vil langt overstige 50 år.

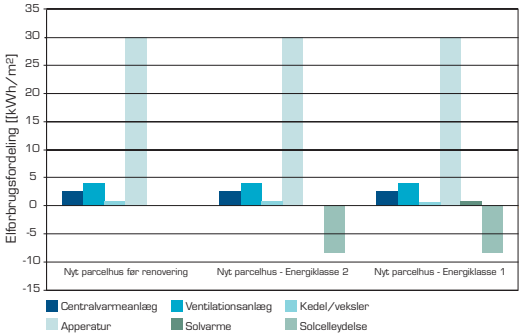
I figur 5.4 og 5.5 ses henholdsvis varme- og elforbrugsfordelinger for det nye parcelhus, og hvis parcelhuset havde energiklasse 2.



Figur 5.4. Varmeforbrugsfordelinger for nyt parcelhus samt hvis parcelhuset havde energiklasse 2 og 1.

For at opnå energiklasse 2 installeres først et solcelleanlæg. Derfor er søjlerne for det nye parcelhus før renovering og energiklasse 2 i figur 5.4 ens. I elforbrugsfordelingen i figur 5.5 ses derimod en ny søjle for energiklasse 2 parcelhuset. Denne grønne søjle viser et negativt elforbrug, som svarer til solcelleanlæggets el-produktion.

For at opnå energiklasse 1 installeres foruden solcelleanlægget et solvarmeanlæg. I figur 5.4 ses en ny søjle for energiklasse 1 parcelhuset. Denne (røde) søjle viser et negativt varmeforbrug, som svarer til solvarmeanlæggets varmeproduktion.



Figur 5.5. Elforbrugsfordelinger for nyt parcelhus samt hvis parcelhuset havde energiklasse 2 og 1.

5.2 Etageboliger

For en ældre etagebolig fra 1934 med et opvarmet areal på 1.722 m^2 kan energibehovet beregnes således:

Energibehov = 116,2 kWh/m^2 + 2,5 · 0,3 kWh/m^2 + 7,5 kWh/m^2 = 124,4 kWh/m^2.

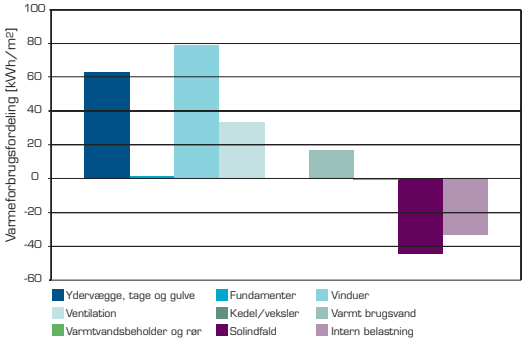
Etageboligen har iflg. tabel 4.9 energimærke C og ligger langt fra energirammen på 71,3 kWh/m^2.

Bidraget på 7,5 kWh/m^2 skyldes overtemperatur i huset, som skal køles bort (en nærmere beskrivelse af betydningen af overtemperatur i en bygning ses i afsnit 5.3).

Som det ses i figur 5.6, er der tre forhold, der er afgørende for, at den ældre etagebolig ligger langt fra energirammen:

- Varmetabet fra ydervægge, tage og gulve.
- Varmetabet fra vinduer.
- Ventilationstabet.

Ved hjælp af Be06 er der foretaget beregninger på energibesparelserne ved forbedring af de tre forhold.



Figur 5.6. Varmeforbrugsfordeling for ældre etagebolig.

Ydervæggene består af massivt murværk. Radiatorbrystningerne består af en sten med uisoleret hulrum og en træplade. Efterisolering af radiatorbrystningerne vil medføre en varmebesparelse på 14.400 kWh og en elbesparelse på 10 kWh.
Det svarer til en besparelse på 6.400 kr.
Investeringen vil være ca. 8.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 1,3 år.

Vinduerne består af 2 lags termoruder. Udskiftning til 2 lags lavenergiruder vil medføre en varmebesparelse på 52.000 kWh og en elbesparelse på 45 kWh.
Det svarer til en besparelse på 23.000 kr.
Investeringen vil være ca. 718.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 31 år.

Etageboligen ventileres vha. naturlig ventilation. Ventilationstabet vil kunne reduceres ved installering af mekanisk ventilation med varmegenvinding.
Dette vil medføre en varmebesparelse på 24.200 kWh og et ekstra elforbrug til drift af ventilatorer på 9.500 kWh.
Det svarer til en ekstra udgift på 8.400 kr.

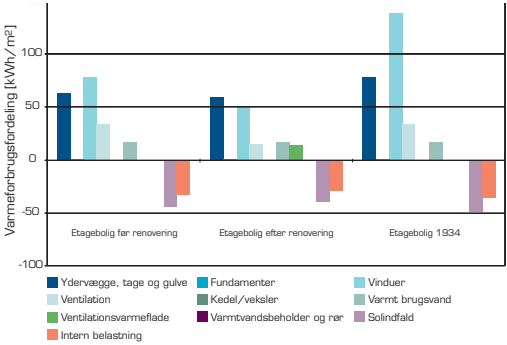
Hvis de tre energibesparelsestiltag blev gennemført, ville energibehovet blive:

Energibehov = 86,8 kWh/m^2 + 2,5 · 5,8 kWh/m^2 + 8,6 kWh/m^2 = 109,8 kWh/m^2

Etageboligen ville iflg. tabel 4.9 få energimærke C men stadig ligge et pænt stykke fra energirammen på 71,3 kWh/m^2.

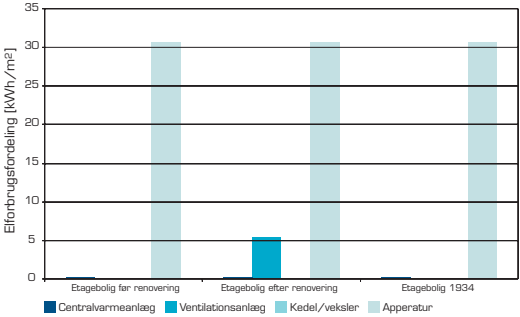
For at reducere energibehovet yderligere er det ligesom for enfamiliehuset (kapitel 5.1), nødvendigt at se på andre energibesparelsesmuligheder. Her er det igen solvarme og solceller.
For etageboligen i dette eksempel vil det dog ikke være praktisk muligt at installere hverken solvarme- eller solcelleanlæg i de størrelser, der er nødvendige.

I figur 5.7 og 5.8 ses henholdsvis varme- og elforbrugsfordelinger for etageboligen før og efter renovering samt for etageboligen bygget efter kravene i Bygningsreglementet i 1934.



Figur 5.7. Varmeforbrugsfordelinger for etagebolig før og efter renovering samt for etagebolig fra 1934.

Som det ses i figur 5.7 er søjlerne for ydervægge, tage og gulve samt vinduer højere for etagebolig bygget efter kravene i 1934 end for det ældre parcelhus før renovering. Det skyldes, at der allerede er foretaget energimæssige forbedringer af parcelhuset, fx udskiftning af vinduer og efterisolering af loftet.



Figur 5.8. Elforbrugsfordelinger for etagebolig før og efter renovering samt for etagebolig fra 1934.

5.3 Kontorbygninger

For en kontorbygning fra 1986 med et opvarmet areal på 15.823 m^2 kan energibehovet beregnes således:

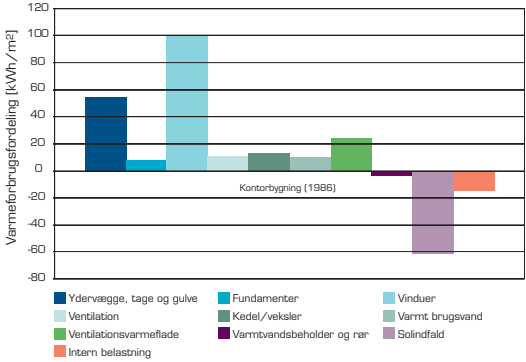
Energibehov = 141,1 kWh/m^2 + 2,5 · 36,1 kWh/m^2 + 21,4 kWh/m^2 = 252,6 kWh/m^2.

Kontorbygningen har iflg. tabel 4.9 energimærke F og ligger langt fra energirammen på 95,9 kWh/m^2.

Bidraget på 21,4 kWh/m^2 skyldes overtemperatur i bygningen. Bidraget svarer til det ækvivalente el-behov, der skal til at fjerne overtemperaturerne med et standard mekanisk køleanlæg. En rumtemperatur større end 26 °C svarer til den førnævnte overtemperatur. Ved overtemperatur i bygningen vil det termiske indeklima i bygningen være utilfredsstillende for de mennesker, der opholder sig dér (se kapitel 6.1).

Overtemperatur optræder ofte i kontorbygninger med store vinduesarealer og høj installeret effekt til belysning. For bygningen i dette eksempel er det også gældende, idet vinduesarealet er ca. 4.400 m^2 og den installerede effekt til belysning er 144 kW.

Bidraget på grund af overtemperatur kan reduceres ved eksempelvis at installere solafskærmning (persienner, gardiner, markiser m.m.) eller ved at reducere den interne belastning fra belysnings- og edb-anlæg. For eksempel kan belastningen fra belysningsanlæg reduceres ved at benytte dagslysstyring.



Figur 5.9. Varmebalance for kontorbygning.

Som det ses i figur 5.9, er der fire forhold, der er afgørende for, at kontorbygningen ligger langt fra energirammen:

- Varmetabet fra ydervægge, tage og gulve.
- Varmetabet fra vinduer.
- Kedeltabet.
- Varmeforbruget til opvarmning af ventilationsluft.

Elforbruget til belysning er også relativt højt, hvilket skyldes, at der benyttes manuel styring (tænd/sluk) på anlægget.

Ved hjælp af BeO6 er der foretaget beregninger på energibesparelserne ved forbedring af de fem forhold. Disse beregninger ses efterfølgende.

Ydervægge, tage, kældergulve og terrændæk er alle velisolerede. U-værdierne for de nævnte bygningsdele svarer til de krav, der stilles i forbindelse

med nybygning i Bygningsreglementet (BR08). Det vurderes, at rentabiliteten ved efterisolering af bygningsdelene vil blive for ringe.

Vinduerne består af 2 lags termoruder. Udskiftning til 2 lags lavenergiruder vil medføre en varmebesparelse på 558.600 kWh og en elbesparelse på 480 kWh.
Det svarer til en besparelse på 447.800 kr.
Investeringen vil være ca. 6.925.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på ca. 15 år.

Kontorbygningen ventileres vha. ældre ventilationsaggregater med indblæsning og udsugning samt varmegenvinding. SFP-faktorerne (specifikke elforbrug i $W/m^2/s$) for anlæggene er relativt høje, hvilket bl.a. skyldes, at der benyttes ventilatorer med fremadkrummede skovle (F-hjul). Temperaturvirkningsgraderne for varmegenvindingsenhederne er relativt lave.
Installering af moderne ventilationsaggregater med spareventilatorer, sparemotorer og modstrømsvarmevekslere vil medføre en varmebesparelse på 254.900 kWh og en elbesparelse på 158.200 kWh.
Det svarer til en besparelse på 510.300 kr.
Investeringen vil skønsmæssigt være ca. 3.000.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på ca. 6 år.

Kedelinstallationen er af ældre dato med ringe årsnyttevirkning. Ny kedelinstallation (kondenserende) vil medføre en varmebesparelse på 242.600 kWh og en elbesparelse på 3.200 kWh.
Det svarer til en besparelse på ca. 200.000 kr.
Investeringen vil være ca. 1.000.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på 5 år.

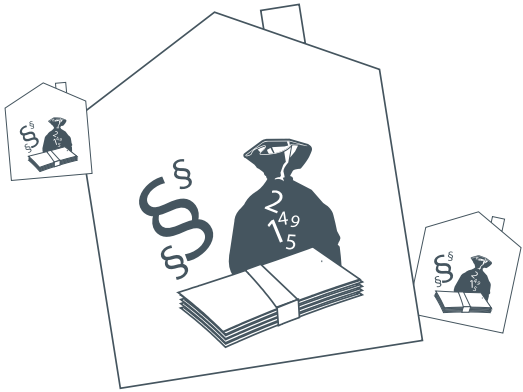
Installering af nye armaturer med dagslysstyring vil medføre en elbesparelse på 107.600 kWh.
Det svarer til en besparelse på 215.200 kr.
Investeringen vil være ca. 3.000.000 kr. med en simpel tilbagebetalingstid på ca. 14 år.

Hvis de fire energibesparelsestiltag blev gennemført, ville energibehovet blive:
Energibehov = 96,1 kWh/m^2 + 2,5 · 19,1 kWh/m^2 + 6,7 kWh/m^2 = 150,6 kWh/m^2

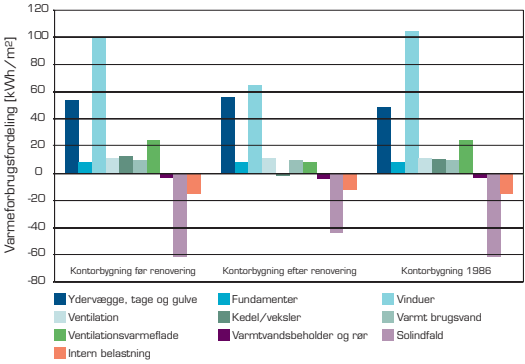
Kontorbygningen ville iflg. tabel 4.9 få energimærke D men stadig ligge et langt stykke fra energirammen på 95,1 kWh/m^2.

Ovenfor ses, at bidraget, der skyldes overtemperatur i huset, er reduceret fra 21,4 kWh/m^2 til 6,7 kWh/m^2. Reduktionen skyldes primært udskiftningen af vinduerne (lavenergivinduer har lavere solenergitransmittans end termovinduer) og solafskærmning samt etablering af dagslysstyring på belysningsanlægget. Det ækvivalente el-behov, der skal til at fjerne overtemperaturen, er således reduceret ca. 69 %.

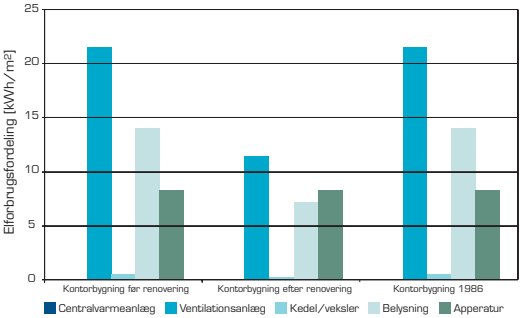
For at reducere energibehovet yderligere er det ligesom for enfamiliehuset (kapitel 5.1) nødvendigt at se på andre energibesparelsesmuligheder. Her er det igen solvarme og solceller. For kontorbygningen i dette eksempel vil det dog ikke være praktisk muligt at installere hverken solvarme- eller solcelleanlæg i de størrelser, der er nødvendige.



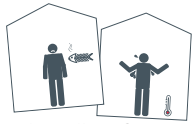
I figur 5.10 og 5.11 ses henholdsvis varme- og elforbrugsfordelinger for kontorbygningen før og efter renovering samt for kontorbygningen bygget efter kravene i Bygningsreglementet i 1986.



Figur 5.10. Varmeforbrugsfordeling for kontorbygning før og efter renovering samt for kontorbygning fra 1986.



Figur 5.11. Elforbrugsfordeling for kontorbygning før og efter renovering samt for kontorbygning fra 1986.



Indeklima

Varme- og ventilationsanlæg er nødvendige for at opretholde et tilfredsstillende indeklima for de personer, der opholder sig i lokalerne.

Indeklimaet kan opdeles i:
- Termisk indeklima
- Atmosfærisk indeklima

6.1 Termisk indeklima

Personers termiske opfattelse af omgivelserne er afhængig af følgende faktorer:
- Beklædningens varmeisolering [clo]
- Aktivitetsniveauet [met]
- Lufttemperaturen [°C]
- Middelstrålingstemperaturen [°C]
- Lufthastigheden [m/s]

Endvidere er den termiske komfort påvirket af uønsket lokal opvarmning/afkøling på de enkelte kropsdele forårsaget af:
- Vertikal temperaturgradient
- Kolde eller varme gulve
- Asymmetrisk temperaturstråling

I tabel 6.1 ses eksempler på aktivitetsniveauer og dertil hørende varmeproduktioner [met].

Aktivitet	[met]
Hvilende	0,8
Stillesiddende aktivitet (kontor, beboelse, skole, laboratorium)	1,2
Stående, middel aktivitet (butiksassistent, husligt arbejde, maskinelt arbejde)	2,0

Tabel 6.1. Eksempler på aktivitetsniveauer ved forskellige aktiviteter.

6.1.1 Komfortkrav

Menneskets oplevelse af det termiske indeklima kan udtrykkes ved “Predicted Mean Vote” (PMV) og “Predicted Percentage of Dissatisfied” (PPD), som angiver den forventede procentvise andel af personer, der for kroppen som helhed vil føle sig for kolde eller varme. PMV-indekset afhænger af

aktivitetsniveauet, hvor varmt tøj man har på, lufttemperaturen, middelstrålingstemperaturen, middellufthastigheden og luftfugtigheden.

DS/EN ISO 7730 "Ergonomi indenfor termisk miljø – Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregninger af PMV- og PPD indekser og lokale termiske komfortkriterier" /14/ specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det termiske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale skal opvarmes og ventileres.

Kategori A imødekommer et højt forventet niveau, kategori B et middel forventet niveau og kategori C et moderat forventet niveau. Hver kategori foreskriver en maksimal forventet procentdel af utilfredse for kroppen som helhed og for fire typer af lokalt ubehag. Dette beskrives nærmere i det efterfølgende.

Kvaliteten af det termiske indeklima afhænger af følgende fem faktorer:

1) Den operative temperatur, som er middelværdien af luft- og middelstrålingstemperaturen. Middelstrålingstemperaturen defineres som en vægtet gennemsnitstemperatur af de tilstødende overfladers temperatur. Vægtningen foretages som vinkelforholdet mellem person og overflade. For mange typer af bygninger eller lokaler med moderate opvarmnings- eller kølebehov vil lufttemperaturen tilnærmelsesvis være lig med den operative temperatur.
2) Den vertikale lufttemperaturgradient, som er forskellen i lufttemperaturen mellem 0,1 og 1,1 m. over gulv.
3) Gulvets overfladetemperatur.
4) Luftens middelhastighed i opholdszonen.
5) Strålingsasymmetri, forårsaget af varmt loft eller kolde vægge (vinduer).

I tabel 6.2 ses et eksempel fra DS/EN ISO 7730. Kriterierne for den operative temperatur er baseret på et aktivitetsniveau på 1,2 (stillesiddende aktivitet) for en sommerbeklædning på 0,5 clo (skjorte med korte ærmer, lette bukser, tynde

strømper og sko) og en vinterbeklædning på 1,0 clo (skjorte, bukser, jakke, sokker og sko).

Bygning /lokale	Kategori	Operativ temperatur [°C]		Maksimal middellufthastighed [m/s]	
		Sommer (kølesæson)	Vinter (fyringssæson)	Sommer (kølesæson)	Vinter (fyringssæson)
Storrumskontor	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15
	B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18
	C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21

Bygning /lokale	Kategori	Vertikal lufttemperaturgradient[1] [°C]	Gulvets overfladetemperatur [°C]
Storrumskontor	A	< 2	19 – 29
	B	< 3	19 – 29
	C	< 4	17 – 31

[1] Forskel i lufttemperaturen mellem en persons hoved og ankler. For en stillesiddende person svarer dette til 1,1 m og 0,1 m over gulvet

Bygning /lokale	Kategori	Strålingsasymmetri[1] [°C]			
		Varmt loft	Kold væg	Koldt loft	Varm væg
Storrumskontor	A	< 5	< 10	< 14	< 23
	B	< 5	< 10	< 14	< 23
	C	< 7	< 13	< 18	< 35

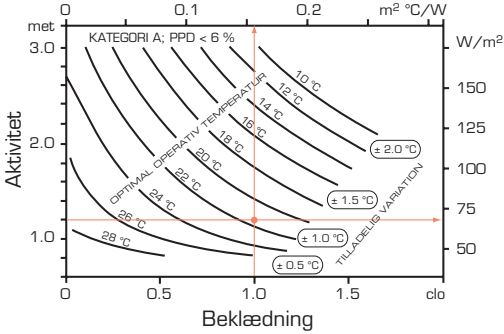
[1] Strålingsasymmetri angives som forskellen i plan strålingstemperatur i to modsatte retninger. Gulv, vægge og loft vil normalt antage rumtemperaturen, men ved installation af kolde loftsflader beregnes strålingsasymmetrien som temperaturdifferencen mellem loftsflade og rumtemperatur

Tabel 6.2. Tre forskellige kategorier af kvalitet af indeklimaet for et storrumskontor.

I DS/EN ISO 7730 ses specifikationer over de tre forskellige kategorier af kvalitet af det termiske indeklima for andre typer bygninger.

I figur 6.1 ses optimale operative temperaturer som funktion af aktivitet og beklædning (kategori A). Desuden er vist intervaller af operative temperaturer omkring den optimale.

I figuren ses, at den optimale operative temperatur er ca. 22 °C ± 1 °C ved et aktivitetsniveau på 1,2 (stillesiddende aktivitet) og en beklædning på 1,0 clo (skjorte, bukser, jakke, sokker og sko). Bemærk at aktiviteten er lig med personens afgivne effekt pr. m² overfladeareal.



Figur 6.1. Optimale operative temperaturer som funktion af aktivitet og beklædning.

6.2 Atmosfærisk indeklima (luftkvalitet)

Personers opfattelse af det atmosfæriske indeklima afhænger af følgende faktorer:

- Lugte
- Støv og fibre
- Gasser og dampe
- Relativ fugtighed

For at opretholde et tilfredsstillende atmosfærisk indeklima er det nødvendigt med tilførsel af en vis mængde udeluft samt udsugning af en vis mængde rumluft.

Ved ikke-sundhedsskadelig forurening, fx ubehagelige lugte fra processer eller fra menneskelige aktiviteter, kan ventilationsbehovet bestemmes på basis af Arbejdstilsynets vejledning "Grænse-

værdier for stoffer og materialer", Bygningsreglementet BR08 eller DS/CEN/CR 1752 "Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet" /15/.

DS/CEN/CR 1752 specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det atmosfæriske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale, forurenet med menneskelig forurening (bioeffluenter), fx CO_2, vanddamp og lugte med udåndingsluften, skal ventileres. Den ønskede oplevede luftkvalitet i et lokale kan vælges blandt de tre kategorier A, B og C vist i tabel 6.3.

Såfremt bygningsreglementet stiller større krav end angivet i tabel 6.3, skal bygningsreglementets krav følges.

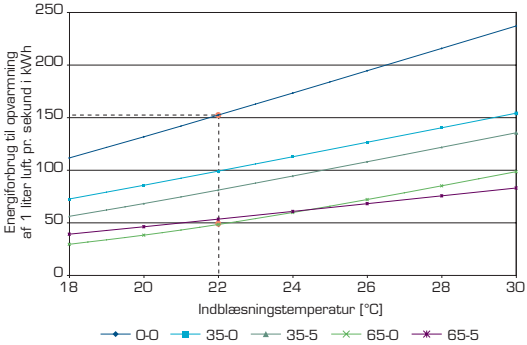
Bygning/ lokale	Person-belastning [pers./m²]	Ventilationsrate [l/s/m²]		
		Kategori A	Kategori B	Kategori C
Enkeltmands-kontor	0,10	2,0	1,4	0,8
Storrums-kontor	0,07	1,7	1,2	0,7
Konference-sal	0,50	6,0	4,2	2,4
Auditorium	1,50	16,0	11,2	6,4
Cafeteria eller restaurant	0,70	8,0	5,6	3,2
Klasse-værelse	0,50	6,0	4,2	2,4
Børnehave	0,50	7,1	4,9	2,8
Stormagasin	0,15	4,2	3,0	1,6

Tabel 6.3. Vejledende projekteringskriterier for udeluftilførsel.

Tabel 6.3 gælder for lavtforurenende bygninger, hvor der ikke forekommer tobaksrygning. Såfremt der forekommer tobaksrygning er ekstra ventilation nødvendig se DS/CEN/CR 1752, samtidig med at sundhedsrisikoen ved passiv rygning skal behandles separat.

6.2.1 Energiforbrug til opvarmning af erstatningsluft

I figur 6.2 ses energiforbrug til opvarmning af en liter erstatningsluft pr. sekund som funktion af indblæsningstemperaturen, temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingsenheden samt temperaturdifferensen mellem afkastluften og indblæsningsluften (efter genvinding og opvarmning). Figuren gælder for enfamiliehuse og etageboliger (årlig driftstid 8.760 timer).



Figur 6.2. Energiforbrug til opvarmning af erstatningsluft ved forskellige temperaturvirkningsgrader for varmegenvindingsenheden.

Eksempel 4

I en etagebolig med 40 lejemål udsuges der fra køkkener samt bade- og wc-rum. Friskluften indblæses i beboelsesrum.

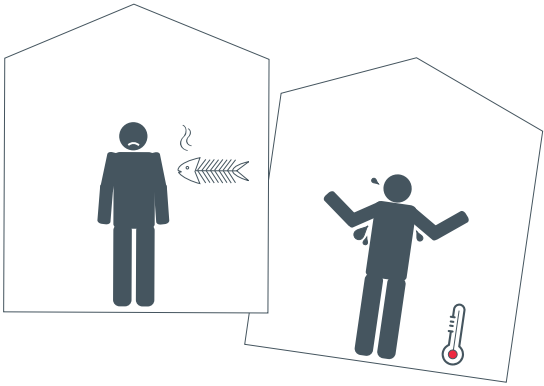
Anlægget er uden varmegenvinding, og indblæsningstemperaturen er 22 °C.

Afkastluften og indblæsningsluften har samme temperatur.

I tabel 2.4 ses, at der skal indblæses og udsuges 35 liter luft pr. sekund (20 l/s + 15 l/s) pr. lejlighed. Dvs. at der i alt skal indblæses og udsuges 1.400 liter luft pr. sekund.

Ved hjælp af figur 6.2 kan energiforbruget til opvarmning af erstatningsluften beregnes til:
E_{opvarm} = 152 kWh/ (l/s) · 1.400 l/s =
212.800 kWh

Hvis anlægget forsynes med en varmegenvindingsenhed med en temperaturvirkningsgrad på 65 % kan energiforbruget vha. figur 6.2 beregnes til:
E_{opvarm} = 48 kWh/ (l/s) · 1.400 l/s =
67.200 kWh



Klimaskærm

Det er meget vigtigt, at et hus er velisoleret. Som det fremgår af tabellerne og eksemplerne i afsnittet, vil der kunne spares betydelige energimængder.

7.1 Nøgletal for energimæssige forbedringer af klimaskærm

Der er i kapitlet angivet nøgletal for energimæssige forbedringer af tagkonstruktioner, ydervægskonstruktioner, vinduer, døre, ovenlys og glaspartier samt etageadskillelser/gulve. Nøgletallene stammer fra "Katalog for standardværdier" udgivet af Energistyrelsen /11/.

7.1.1 Efterisolering af tagkonstruktioner

Besparelsespotentailet ved efterisolering af tagkonstruktioner fremgår af tabel 7.1.

Isolering i tagkonstruktion (gitterspærfag).

Efterisoleres eksempelvis 100 m² træbjælkelag med indskud med 10 cm mineraluld, vil der kunne opnås en årlig besparelse på (tabel 7.1):
B = 35 kWh/m² · 100 m² = 3.500 kWh.

Konstruktioner mod uopvarmet loft (inkl. skunkrum):	Efterisolering svarende til mineraluld [cm]				
	10	15	20	25	30
Træbjælkelag u/indskud, uisolerede gitterspærfag/betondæk/tegldæk				143	146
Træbjælkelag u/indskud, gitterspærfag/betondæk/tegldæk med 5 cm			39	42	
Træbjælkelag m el. u/indskud, gitterspærfag/betondæk/tegldæk med 10 cm		17	20		
Træbjælkelag m el. u/indskud, gitterspærfag/betondæk/tegldæk med 15 cm	9	11			
Træbjælkelag m el. u/indskud, gitterspærfag/betondæk/tegldæk med 20 cm	5				
Træbjælkelag m/ indskud (indblæst i hulrum)	35				
Tagkonstruktion mod det fri:					
Trækonstruktion med indskudsbrædder, fx uisoleret skrå tagflade	100	108	113	117	120
Trækonstruktion/betondæk isoleret med 5 cm	30	35	39	42	
Trækonstruktion/betondæk isoleret med 10 cm	13	17	20		
Trækonstruktion/betondæk isoleret med 15 cm	9	11			
Trækonstruktion/betondæk isoleret med 20 cm	5				

Tabel 7.1. Energibesparelser i kWh/m²/år ved efterisolering af tagkonstruktioner.

7.1.2 Efterisolering af ydervægskonstruktioner

Besparelsespotentailet ved efterisolering af ydervægkonstruktioner fremgår af tabel 7.2.

Hulmursisolering.

Hvis en 30 cm uisoleret hulmur får indblæst mineraluld over et areal på 80 m^2 vil der årligt kunne spares (tabel 7.2):
B = 69 kWh/m^2 · 80 m^2 = 5.520 kWh.

	Indblæst i hulrum	Udvendig [cm]		Indvendig [cm]	
		10	15	5	7,5
24 cm mur / bindingsværk / betonydervæg / uisolerede trækonstruktioner		143	152	120	133
30 cm hulmur, uisoleret (10 % udmuring)	69	100	108		
36 cm kanalmur, uisoleret (40 % udmuring)	61	96	104		
36-48 cm mur / 23 cm gasbeton / betonelementer<1972 / trækonstruktioner med < 2_ cm		61	67	46	54
Beton elementer 1972 - 1979 / trækonstruktioner med + 2_ - 5 cm		44	50	33	40
30 cm hulmur, isoleret med mineraluld (10 % udmuring)		37		27	33
36 cm kanalmur, isoleret med mineraluld (40 % udmuring)		41		30	36
Trækonstruktioner med + 5 - 7_ cm		29	35		
Trækonstruktioner med + 10 cm		13			
Kælderydervæg mod det fri, beton, opvarmet kælder		217	228	191	208
Kælderydervæg mod jord, beton, opvarmet kælder		78	85	49	56
Kælderydervæg mod det fri, letbeton, opvarmet kælder		44	50	33	39
Kælderydervæg mod jord, letbeton, opvarmet kælder		35	40	19	24
Efterisolering af radiator brystninger				240	266

Tabel 7.2. Energibesparelser i kWh/m²/år ved efterisolering af ydervægskonstruktioner.

7.1.3 Efterisolering af etageadskillelser/gulve

Besparelsespotentialet ved efterisolering af etageadskillelser/gulve fremgår af tabel 7.3.

Etageadskillelser mod uopvarmet kælder / jord:	Indblæst i hulrum	Efterisolering svarende til mineraluld [cm]			
		5	10	15	20
Træbjælkelag med indskud / betondæk / tegldæk med gulv - mod kælder	21	31	41	44	
Terrændæk, trægulv, uisoleret			24	28	31
Terrændæk, trægulv, med + 5 cm		8	14	17	
Terrændæk, trægulv, med + 7_ - 10 cm		5	9	11	
Kældergulv mod jord		12	18	23	25
Etageadskillelser mod krybekælder / det fri:					
Træbjælkelag med indskud / betondæk el. tegldæk med gulv	24			52	55
Træbjælkelag med indskud + 5 cm indblæst / betondæk el. tegldæk med gulv + 2_ - 5 cm			26	30	32
Træbjælkelag med indskud + 7_ cm indblæst / betondæk el. tegldæk med gulv + 5 - 7_ cm		11	16	19	21
Træbjælkelag / betondæk / tegldæk med gulv + 10 cm			7	9	
Træbjælkelag / betondæk / tegldæk med gulv + 15 cm		3	5		

Tabel 7.3. Energibesparelser i kWh/m²/år ved efterisolering af etageadskillelser/gulve.

Hvis et træbjælkelag mod uopvarmet kælder får mineraluld indblæst i hulrum over et areal på 50 m², vil der årligt kunne spares (tabel 7.3):
B = 21 kWh/m² · 50 m² = 1.050 kWh.

7.1.4 Kuldebroer

En kuldebro er betegnelsen for de dele af en klimaskærm, hvor U-værdien er relativt stor i forhold til den øvrige konstruktion. Kuldebroer øger varmetabet, men kan også give gener på grund af kuldestråling fra kolde indvendige overflader og kan være skyld i kondensdannelse med tilhørende problemer.

Som eksempler på kuldebroer kan nævnes:

- Udmuringer omkring vinduer og døre
- Gennemgående træskeletdele eller betonribber
- Udstøbte fuger ved betonelementsamlinger
- Huller i det varmeisolerende lag, fx hvis isoleringen ikke slutter tæt til træskelet, spær, mv.
- Gennemføring af metalrør
- Vinduer
- Afstandsprofiler i termoruder, trådbindere i hulmure

På billede ses et eksempel på kuldebroer i form af uisolerede spærfødder. Disse uisolerede spærfødder giver skønsmæssigt anledning til et mertransmissionstab på 2 - 3 %.

Kuldebro i form af uisolerede spærfødder.

Ofte er det ikke muligt at se en kuldebro med det blotte øje. En effektiv og meget anvendt metode er termografering, som er særdeles velegnet til at afdække utilstrækkelig isolering og tætning både ved udendørs- og indendørsmåling.

Termografering er måling af temperaturforskelle mellem omgivelserne og en given overflade. Metoden baserer sig på, at alle overflader udsender infrarød stråling i en mængde, der afhænger af overfladens temperatur.

Der anvendes et kamera, som ved hjælp af infrarødstråling er i stand til at måle og omsætte denne til en overfladetemperatur, hvor der korrigeres for overfladens evne til at gengive stråler samt omgivelsestemperaturen.

På billede ses et eksempel på termografering af kuldebroer ved en ydervæg.

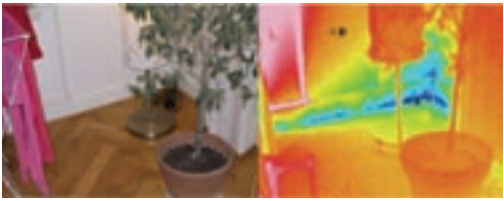
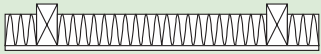
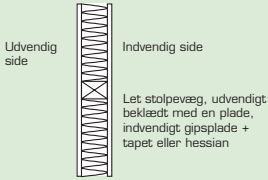
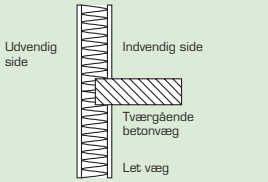
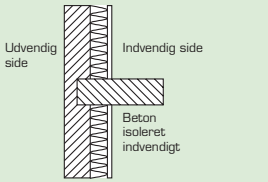
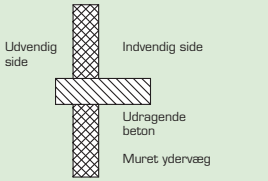


Illustration af kuldebro ved ydervæg ved hjælp af et termografikamera.

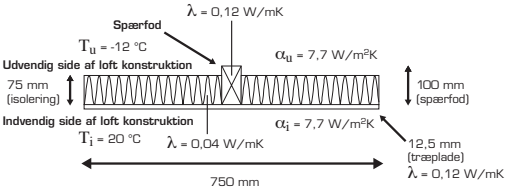
I tabel 7.4 er angivet mertransmissionstab for forskellige typer af kuldebroer.

Konstruktion	Mertransmissionstab på grund af de angivne kuldebroer
	2 - 3 %
	2 - 3 %
	10 - 15 %
	30 - 40 %
	40 - 50 %

Tabel 7.4. Mertransmissionstab for forskellige konstruktioner pga. kuldebroer.

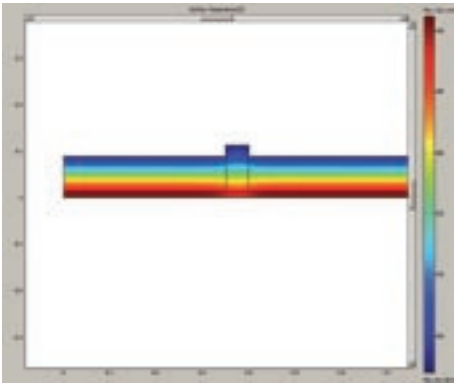
Finite element beregning

Moderne regneværktøjer muliggør mere detaljerede beregninger af bl.a. kuldebroer. Et eksempel på en sådan beregning er vist for en loftkonstruktion på figur 7.1. Her er angivet dimensioner, varmeledningsevner (λ-værdier) og overgangsisolanser (R-værdier). I loftkonstruktionen ses en spærfod i isoleringen, som giver anledning til en kuldebro.



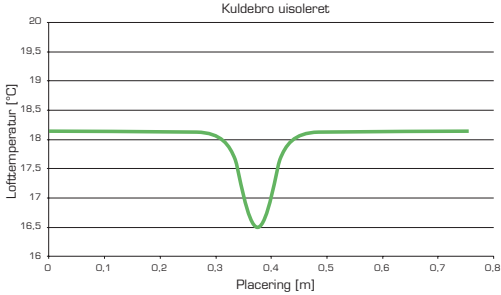
Figur 7.1. Loftkonstruktion med angivelse af dimensioner, varmeledningsevner (λ-værdier) og overgangsisolanser (R-værdier). Spærfødderne ligger med en deling på 750 mm midt/midt.

Finite element beregningen på figur 7.2 viser temperaturerne omkring kuldebroen. Det ses tydeligt at temperaturen på den indvendige side af loft konstruktionen omkring spærfoden er lavere end den øvrige del af den indvendige side af loft konstruktionen.



Figur 7.2. Finite element beregning på den eksisterende loftkonstruktion. Programmet beregner, hvad der svarer til et termografibillede.

På figur 7.3 er temperaturvariationen på den indvendige side af loft konstruktionen tydeliggjort.



Figur 7.3. Overfladetemperaturer beregnet ved hjælp af Finite element.

Finite element beregningen viser, at middeloverfladetemperaturen T_o på undersiden af konstruktionen vil være 290,93 K, svarende til 17,93 °C.

Der sammenlignes nu med simplere beregninger:

1. Hele loftet uden kuldebroer: Overgangsisolanser, 75 mm isolering og 12,5 mm træplade.

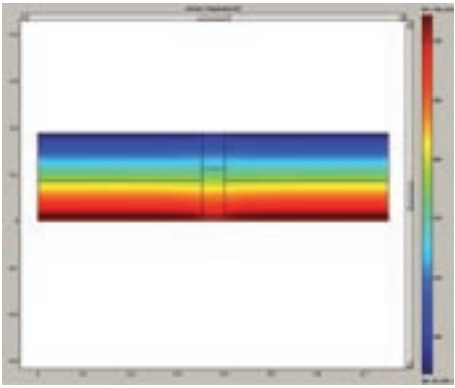
2. Simpel beregning af kuldebro, hvor der regnes med endimensional varmestrøm i såvel isolering og i spærfod: Overgangsisolanser, spærfod højde = 100 mm, λ = 0,12 W/mK, træplade 12,5 mm og λ = 0,12 W/mK.

	Overfladetemperatur i gennemsnit [°C]	Varmestrøm [W/m2]	Forøgelse [%]
1. Ingen kuldebro	18,144	7,7 x (20 -18,144) = 14,3	–
2. Simpel kuldebro beregning	70 cm a 18,144 5 cm a 16,53 I alt 75 cm a 18,04	7,7 x (20 – 18,04) = 15,1	5,8
3. Nøjagtig finite element beregning	17,93	7,7 x (20 – 17,93) = 15,9	11,5

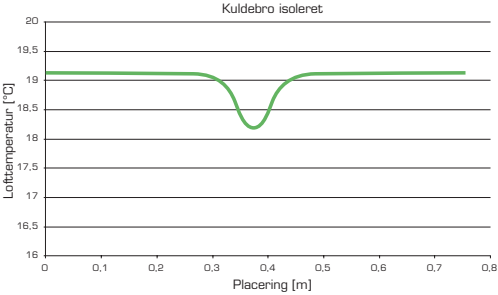
Tabel 7.5. Sammenligning af kuldebro beregninger

Den simple beregning af kuldebroen er en dårlig tilnærmelse, idet den rammer ca. 6 % point forkert.

For at finde betydningen af at efterisolere loftkonstruktionen, er der foretaget en ny finite element beregning for den samme konstruktion efterisoleret med 100 mm isoleringsmateriale, se figur 7.4.



Figur 7.4. Finite element beregning af en efterisoleret loftkonstruktion



Figur 7.5. Overfladetemperaturer beregnet ved hjælp af Finite element.

På figur 7.5 viser finite element beregningen, at overfladetemperaturen T_o på undersiden af konstruktionen nu vil være 292 °K, svarende til 19 °C.

Altså en forøgelse af temperaturen på ca. 1,1 °C i forhold til før isoleringen.

Varmetabet fra rummet pr. m^2 kan beregnes til:

Q = 7,7 W/m2 K (20 °K - 19,0 °K) = 7,7 W/m^2.

Varmetabet fra den forbedrede konstruktion er således faldet fra 15,9 til 7,7 W/m^2. Altså godt en halvering af varmetabet omkring spærfoden.

7.1.5 Dampspærrer

Indeluften tilføres vanddamp fra bygningens normale brug. Eksempelvis tilføres luften ca. 10 liter vand pr. døgn i en normal bolig med 4 personer. Den tilførte fugt skal ventileres bort, så rumluften er tilpas tør og sund.

For en normalt opvarmet bolig anses et luftskifte på 0,3 - 0,5 gange i timen at være tilstrækkeligt. Den relative fugtighed er så af størrelsesordenen 30 - 60 % om vinteren. Et typisk tegn på for høj luftfugtighed er kondensdannelse på indersiden af termoruder eller forsatsvinduer.

Fugt i konstruktionen

Udover at kondensation af vanddamp fra rumluften kan ske på indvendige, kølige overflader (fx kuldebroer), kan kondens også finde sted i selve konstruktionen. For at undgå kondensation inde i en varmeisoleret konstruktion er det ofte nødvendigt at anbringe en lufttæt dampspærrende membran på den varme side af konstruktionen, altså inderst. Dampspærrens funktion er at bremse vanddampvandringer og dermed fjerne kondensfaren inde i konstruktionen. Det er væsentligt at dampspærren er tæt. Selv små huller i dampspærren vil ødelægge dens betydning.

Et synligt eksempel på kondensation i en konstruktion er dug på yderste rude i vinduer forsynet med forsatsvinduer med for ringe tætning. Dette undgås ved at sikre, at den inderste ramme er mere tæt end den yderste.

Dampspærrer mod tagrum set nede fra.

Dampspærrer på ydervæg (let trækonstruktion).

Fugt på overflader

Fugt på kuldebroer kan give anledning til ødelagte overflader, skimmelvækst eller mørke støvansamlinger på indvendige fugtige overflader. Tilføres varm fugtig rumluft til konstruktionens indre, kan dette ligesom anden vandindtrængen medføre alvorlige bygningsskader, idet fugt er en afgørende faktor i forbindelse med svampeangreb. Sørg derfor for at holde den relative luftfugtighed nede gerne ved hjælp af udluftning.

7.1.6 Udskiftning af døre, vinduer, ovenlys og glaspartier

Besparelsespotentailet ved forbedring eller udskiftning af døre, vinduer, ovenlys og glaspartier fremgår af tabel 7.6.

	Indvendig forbedring		Udskiftning	
	+ 1 energi	+ 2 energi	2 energi	3 energi
Vinduer/døre med 1 lag glas, forbedring med koblet ramme / forsatsvindue	246	281	248	310
Vinduer/døre med 2 lag glas (koblede/ forsatsvinduer) - ved forbedring udskiftes inderste rude	52	87	111	137
Vinduer/døre med 2 lags termoruder, vinduesudskiftning			145	171
Vinduer/døre med 2 lags termoruder, udskiftning af ruder			104	130
Vinduer/døre med 3 lag glas / energiruder < 1995, vinduesudskiftning			85	111
Vinduer/døre med 3 lag glas / energiruder < 1995, udskiftning af ruder			43	69

Tabel 7.6. Energibesparelser i kWh/m²/år ved forbedring og udskiftning af døre, vinduer, ovenlys og glaspartier.

Forudsætninger:

- Vinduernes størrelser (inkl. ramme-karme) før og efter udskiftning er 1,2 m · 1,2 m = 1,44 m².
- Der benyttes en træramme-karm med en bredde på 8 cm før og efter udskiftning.
- Ved udskiftning nedsættes ventilationstabet med 0,1 gange pr. time.
- Ved forbedring nedsættes ventilationstabet med 0,05 gange pr. time.

Nye lavenergivinduer i etageboligbebyggelse.

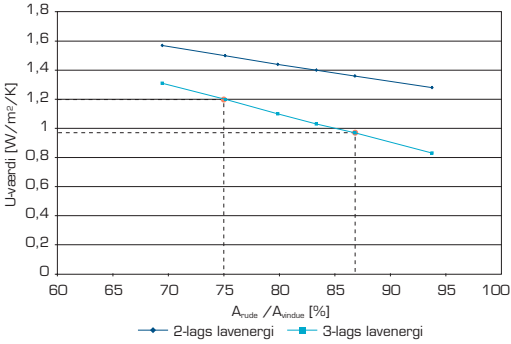
Ramme-karm konstruktion, U-værdi

Ramme-karm konstruktionen har væsentlig betydning for U-værdien for hele vinduet. Generelt er U-værdien for ramme-karm konstruktionen større end rudens U-værdi, hvilket betyder, at vinduets U-værdi er noget højere end rudens.

I figur 7.6 ses U-værdier for 2- og 3-lags lavenergivinduer som funktion af forholdet mellem rudens areal og vinduets areal.

I figuren er indtegnet punktet (A_{rude}/A_{vindue}, U-værdi) = (75 %, 1,2 W/m^2/K). Dette er data for det vindue med 3 lags lavenergirude, som er benyttet i beregningen af standardværdien (markeret med rød) i tabel 7.3.

I figuren er endvidere indtegnet punktet (A_{rude}/A_{vindue}, U-værdi) = (87 %, 0,97 W/m^2/K). Dette er data for et vindue med 3 lags lavenergirude med en glasprocent på 87 %. Som det ses, medfører en forøgelse af glasprocenten med 12 %, at U-værdien reduceres ca. 19 %.



Figur 7.6. U-værdier for 2- og 3-lags lavenergivinduer som funktion af forholdet rudens areal og vinduets areal.

07

Solenergitransmittans, g-værdi

En forholdsvis nyindført målestok for vinduers energimæssige egenskaber er vinduets g-værdi, som angiver det varmetilskud, der kommer fra den solenergi som rammer ruden. Til forskel fra alle andre byggeelementer, hvor der alene er tale om varmetab, er der ved vinduer også tale om et energitilskud i form af gratis solvarme.

I tabel 7.7 ses g-værdier for forskellige rudetyper. I tabellen ses, at der i bygninger med store glaspartier bør vælges solafskærmende ruder for at mindske generne fra kraftigt solindfald. En ulempe ved solafskærmende ruder er, at de nedsætter dagslyskvaliteten.

Rudetype	g-værdi
1 lag glas	0,85
1+1 lag glas	0,75
Termorude	0,75
3 lags termorude	0,65
1+1 lag energiglas	0,70
Energirude, ældre	0,70
Energirude, ny	0,65
Solafskærmende rude, svagt	0,45
Solafskærmende rude, kraftigt	0,25

Tabel 7.7. g-værdier for forskellige rudetyper.

Vinduer med "varme kanter"

Vinduer med højt isolerende afstandslister kaldes vinduer med "varme kanter". Den varme kant eller afstandslisten er ofte sort eller hvid i modsætning til de kolde vinduers afstandslister, som er lavet af aluminium og derfor er sølv-blanke. De varme kanter nedsætter varmetabet fra rudens kanter, derfor opnår man også den fordel, at de mindsker dugproblemer på ruden.

Vinduer med sprosser

Sprosser i vinduer med lavenergiruder giver både større varmetab og mindre solenergiindfald. Især de gennemgående sprosser er energimæssigt meget dårlige, og ud fra dette synspunkt er det fornuftigt med snydesprosser. De har til gengæld en række andre ulemper såsom skæmmende kantlister, fare for at de falder af (de er limet eller clipsede på), og at man ofte må skifte hele vinduet, hvis termoruden punkterer.

Vindue med lavenergiruder samt "varme kanter" og sprosser.

Eksempel 5

I en ældre etagebolig med et bebygget areal på 300 m^2 og et etageareal på 1.500 m^2 består klimaskærmen af:

- Tagkonstruktion:
  Uisoleret træbjælkelag med indskud (300 m^2)
- Ydervægskonstruktion:
  36 cm fuldmur (937 m^2)
- Vinduer:
  2 lags termovinduer (263 m^2)
- Etageadskillelse/gulve:
  Uisoleret træbjælkelag med indskud (300 m^2)

Ejendommen er fjernvarmeforsynet, og det årlige varmeforbrug inkl. varmt brugsvand er målt til 250 MWh.

Følgende energibesparende tiltag gennemføres i ejendommen:

- Tagkonstruktion:
  Indblæsning af mineraluld i hulrummet i etageadskillelsen
- Vinduer:
  Udskiftning til vinduer med 3 lags lavenergiruder
- Etageadskillelse/gulve:
  Indblæsning af mineraluld i hulrummet i etageadskillelsen

I tabel 7.1, 7.3 og 7.6 (markeret med rød) ses besparelsespotentialerne ved gennemførelse af tiltagene. Den årlige energibesparelse bliver:

$(35\ kWh/m^2 \cdot 300\ m^2) + (171\ kWh/m^2 \cdot 263\ m^2) + (21\ kWh/m^2 \cdot 300\ m^2) =$
$61.800\ kWh = 62\ MWh$

Energibesparelsen svarer til ca. 25 % af varmeforbruget.

Energitilskud, E

Det årlige energitilskud fra et vindue er ifølge BYG.DTU:

$E = -90 \cdot U_{eff}$, hvor U_{eff} er lig med $U_w - 2{,}18 \cdot g_w$.

Heraf fås:

$E = 196 \cdot g_w - 90 \cdot U_w$ [kWh]

Eksempel 6

I eksempel 5 er der benyttet en standardværdi på 171 kWh/m^2 ved udskiftning af 2 lags termovinduerne til vinduer med 3 lags lavenergiruder.

Forudsætningerne for standardværdien er, som tidligere nævnt, en vinduesstørrelse før og efter udskiftning på 1,44 m^2 og en træramme-karm med en bredde på 8 cm før og efter udskiftning (glasprocent på 75 %).

Der er endvidere benyttet en U-værdi på 2,7 W/m^2/K før udskiftningen og en U-værdi på 1,2 W/m^2/K efter udskiftningen. For at benytte en standardværdi på 171 kWh/m^2 kræves således, at vinduerne har ganske bestemte mål og U-værdier.

Ydermere tager standardværdien heller ikke hensyn til vinduets solenergitransmittans, g-værdien.

For at foretage en beregning af varmebesparelsen ved udskiftning af vinduerne, skal der foretages beregninger af vinduernes energitilskud før og efter udskiftning idet:

$E = 196 \cdot g_w - 90 \cdot U_w \qquad (g_w = g_g \cdot A_{rude}/A_{vindue})$

$E_{før} = 263\ m^2 \cdot ((196 \cdot 0{,}75 \cdot 1{,}08/1{,}44) - (90 \cdot 2{,}7))\ kWh/m^2 = -34.900\ kWh$

Eksempel 6 – fortsat

E_{efter} = 263 m^2 · ((196 · 0,65 · 1,08/1,44) – (90 · 1,2)) kWh/m^2 = -3.200 kWh

$E_{besparelse}$ = 34.900 kWh – 3.200 kWh = 31.700 kWh

Dette svarer til en besparelse på 121 kWh/m^2.

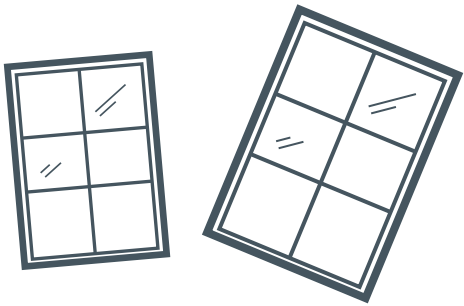
En af forudsætningerne for standardværdien er, at ventilationstabet reduceres med 0,1 gange pr. time. Reduktionen af ventilationstabet vil medføre en besparelse på 41 kWh/m^2. Lægges denne besparelse til de 121 kWh/m^2 (for at få et reelt sammenligningsgrundlag) fås en varmebesparelse på i alt 162 kWh/m^2.

Ved anvendelse af standardværdien fås således en varmebesparelse, der er ca. 6 % højere end, hvis man foretager en beregning af energibalancen.

Hvis der i stedet for var valgt et vindue med 3 lags lavenergirude med en glasprocent på 80 %, ville E_{efter} og $E_{besparelse}$ blive:

E_{efter} = 263 m^2 · ((196 · 0,65 · 1,15/1,44) – (90 · 1,1)) kWh/m^2 = 2 kWh

$E_{besparelse}$ = 34.900 kWh + 2 kWh = 34.902 kWh.



Varmeproducerende enheder

8.1 Fjernvarmeanlæg

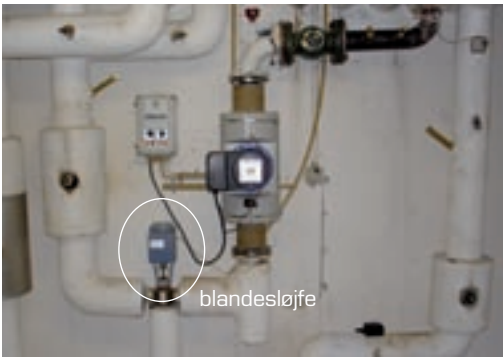
Fjernvarme anvendes hovedsagelig i byområder til opvarmning af mange boliger. Produktionen sker ved brug af energikilder som naturgas, kul og affald.

Nedenfor ses hvilke typer fjernvarmeanlæg, der typisk anvendes:

- Direkte anlæg med opblanding, blandesløjfeanlæg
- Indirekte anlæg, veksler

8.1.1 Direkte anlæg med opblanding – blandesløjfe

I et direkte anlæg med blandesløjfe cirkulerer fjernvarmevandet direkte i varmeinstallationen via en blandesløjfe, hvor fjernvarmevandet blandes op med returvandet fra radiatorerne. Blandesløjfeanlæg er egnet til alle anlæg og giver god mulighed for central regulering med en termostatisk ventil eller et reguleringsanlæg med motorstyring. Det er vigtigt, at reguleringsventilerne er dimensioneret rigtigt i forhold til belastning og differenstryk, idet der ellers kan opstå problemer med pendling og dårlig regulering.



Direkte fjernvarmeanlæg, blandesløjfeanlæg.

I takt med eventuelle energisparetiltag i bygningen (forbedret klimaskærm, sænkning af rumtemperaturniveau osv.) ses ofte, at reguleringsventilen bliver for stor med dårlig regulering og pendling til følge. For at kompensere for det variable differenstryk kan der installeres en trykdifferensregulator.

Et system med blandesløjfe kan ikke udnytte fjernvarmevandets differenstryk som drivtryk i ejendommens varmeanlæg, og der må derfor installeres en cirkulationspumpe.

Enfamiliehuse

I tabel 8.1 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af både ældre og nyere direkte fjernvarmeinstallationer.

Direkte → Direkte	Varmebesparelse [kWh]		
	Ældre installation	Nyere unit	Optimeret installation
Ældre fjernvarmeinstallation (opbygget på stedet anvendt frem til ca. 1990)		1.000	1.150
Nyere unit (samlet enhed, anvendt efter ca. 1990)			150
Optimeret installation			

Tabel 8.1. Besparelse ved udskiftning eller optimering af direkte fjernvarmeinstallation.

Forudsætninger:

- Beregningerne er baseret på et etplans parcelhus på 130 m^2.
- Beregningerne tager udgangspunkt i husets observerede fjernvarmeforbrug på 18.100 kWh pr. år.
- 2.300 kWh anvendes til brugsvandsopvarmning, således at forbruget til rumopvarmning er 15.800 MWh.

Fjernvarmeinstallation til enfamiliehus.

8.1.2 Indirekte anlæg veksler

I et indirekte anlæg, som er egnet til alle anlæg, er fjernvarmevandet fysisk adskilt fra ejendommens lokale varmeanlæg ved en varmeveksler. Ejendommens lokale varmeanlæg har sit eget kredsløb med cirkulationspumpe, sikkerheds- og ekspansionssystem.

Centralvarmereguleringen foregår ved central temperaturregulering, som kan kombineres med regulering på radiatorventilerne. Fremløbstemperaturen reguleres på reguleringsventilen, der altid indstilles til en temperatur, som er lavere end primærsidens fremløbstemperatur af hensyn til afkølingsforholdene i veksleren.

Hvis returtemperaturen fra radiatoranlægget bliver for høj, kan det forsøges at hæve fremløbstemperaturen samtidig med, at radiatorventilerne lukkes lidt ned.

Ved at adskille varmeanlægget fra fjernvarmesystemet, hvor der normalt er et højere anlægstryk, vil vandskader ved eventuel brud være mindre. Varmeveksleren vil forøge anlægsomkostningerne, og vedligeholdelsesomkostningerne kan være større fx til rensning/udsyring af veksler. Afkølingen på fjernvarmesiden på disse anlæg kan ikke blive helt så stor som ved direkte tilslutningsanlæg; 5 - 15 °C mindre må forventes afhængig af dimensioneringen af vekslerarrangementet. Derudover vil tryktabet i varmeanlægget stige med 0,5 - 1 mVs.

Indirekte fjernvarmeanlæg.

Enfamiliehuse

I tabel 8.2 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af både ældre og nyere indirekte fjernvarmeinstallationer.

Indirekte → indirekte	Varmebesparelse [kWh]		
	Ældre installation	Nyere unit	Optimeret installation
Ældre fjernvarmeinstallation (opbygget på stedet anvendt frem til ca. 1990)		1.300	1.650
Nyere unit (samlet enhed, anvendt efter ca. 1990)			350
Optimeret installation			

Tabel 8.2. Besparelse ved udskiftning eller optimering af indirekte fjernvarmeinstallation.

Forudsætninger:

- Beregningerne er baseret på et etplans parcelhus på 130 m^2.
- Beregningerne tager udgangspunkt i husets observerede fjernvarmeforbrug på 18.100 kWh pr. år.
- 2.300 kWh anvendes til brugsvandsopvarmning, således at forbruget til rumopvarmning er 15.800 MWh.

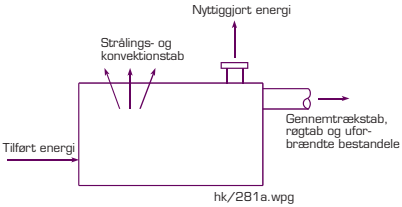
For både direkte og indirekte fjernvarmeinstallationer i enfamiliehuse forudsættes, at der ved udskiftning fra "Ældre installation" til "Nyere unit" udelukkende opnås besparelser på varmetabet fra installationen. Ved udskiftning fra "Ældre installation" eller "Nyere unit" til "Optimeret installation" opnås både varmetabs- og afkølingsmæssige besparelser.

Tilslutningsprincippet indgår også, da direkte anlæg typisk har mindre rørføring og dermed mindre varmetab. Der indgår ingen form for nyttiggjort varme i varmetabene.

8.2 Kedler

8.2.1 Kedelvirkningsgrad

Da al energiproduktion er forbundet med tab, er det væsentligt at kortlægge de forskellige tab med henblik på at kunne gribe ind og minimere disse mest muligt. Kedelvirkningsgraden kan enten bestemmes indirekte ved måling af røggastab og skøn af øvrige tab eller direkte ved måling af afgiven og tilført energi.



Figur 8.1. Skematisk opstilling af de forskellige tab fra en kedel.

Ved indirekte bestemmelse af kedelvirkningsgrad opdeles tabene:

- h_1 er tabet ved uforbrændte bestanddele i røggassen.
- h_2 er tabet ved udsendelse af varm røggas, røggastabet (også kaldet skorstenstabet).
- h_3 er tabet ved stråling og konvektion fra kedlens overflade ("radiatorvirkningen").
- h_4 er gennemtrækstabet ved stilstand ved intermitterende drift.

Kedelvirkningsgrad = 100 - (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) %.

Tab ved uforbrændte bestanddele i røggassen	Er et helt forsvindende energitab, (røggassen ved oliefyring normalt indeholder 20 - 100 ppm CO), der opstår ved emission af de varme røggasser til atmosfæren.
Røggastab	Røggassen repræsenterer en betydelig varmemængde, som er en funktion af: • røggasmængden, (m^3/s). • røggastemperaturen (°C). • røggassens luftoverskud, som i praksis måles ved røggassens indhold af kuldioxid, CO_2 % - eller indhold af overskudsoxygen, O_2 %. Ifølge Bygningsreglementets kapitel 10.3, må røggastabet under drift ikke overstige 12 %.
Strålings- og konvektionstab	Er tabet, som opstår ved varmeafgivelsen fra selve kedlen til omgivelserne, idet kedlen kan betragtes som en stor radiator anbragt i kedelrummet. Konvektionstab opstår ved en varmetransport skabt ved opvarmning af den luft, som bevæger sig omkring kedlen. Strålings- og konvektionstabet søges minimeret ved isolering af kedlen. For mellemstore ældre kedler kan strålings- og konvektionstabet være betydeligt, ikke ualmindeligt 2 – 3 %. Disse kedler bør isoleres eller - hvis muligt – udskiftes. For mellemstore ældre kedler kan strålings- og konvektionstabet være betydeligt, ikke ualmindeligt 2 – 3 %. Disse kedler bør isoleres eller - hvis muligt – udskiftes. Ved overslagsberegning kan man fastsætte strålings- og konvektionstabet til 1 % af den maksimale kedeleffekt for moderne kedler i kapacitetsområdet 1 - 20 MW.
Gennemtrækstab	Opstår ved stilstand i fyringen, idet der forekommer en vis transport af luft gennem kedlen (når der ikke indfyres brændsel) som bliver opvarmet og emitteres fra skorstenen. Ved kontinuerlig fyring opstår der altså ingen gennemtrækstab. Gennemtrækstabet kan variere en del fra anlæg til anlæg. Ældre kedelkonstruktioner kan have store utætheder. Gamle oliebrændere har et stort tværsnitsareal, hvorigennem luften kan trækkes ved stilstand, især hvis der er et stort stående skorstenstræk til stede. *fortsættes*

Tabel 8.3 del 1. Beskrivelse af tabene fra kedler.

Gennem-trækstab *(fortsat)*	Gennemtrækstabet på gamle utætte kedler kan anslås at være 2 – 5 %. Nye tætte kedler med moderne brændere har intet gennemtrækstab, idet disse er forsynet med luftlukkespjæld på brænderen og ofte også med røgspjæld på kedlen.
Stilstandstab	Når en kedelcentral består af to eller flere kedler er det sjældent, at alle kedler er i drift samtidigt. Som regel er en eller flere taget ud af drift, især om sommeren. For at undgå korrosionsangreb på oliefyrede kedler holdes disse normalt opvarmet med varmt vand med et stilstandshuntarrangement. På denne måde opstår stilstandstabet fra kedlen ved stråling, konvektion og gennemtræk. For at minimere tabet, bør kedlerne ikke være varmere end 40 °C, og al luftgennemtræk gennem kedlen bør bremses.

Tabel 8.3 del 2. Beskrivelse af tabene fra kedler.

Røggastabet for naturgas- og oliefyrede kedler beregnes således:

Brændsel	Tab [%]	
	Når CO_2 % kendes	Når O_2 % kendes
Naturgas	$\left(\frac{38}{CO_{2,tør}\%}+1{,}0\right)\cdot\left(\frac{t_{røg}-t_{luft}}{100}\right)$	$\left(\frac{66}{21-O_{2,tør}\%}+1{,}0\right)\cdot\left(\frac{t_{røg}-t_{luft}}{100}\right)$
Olie	$\left(\frac{50}{CO_{2\,målt}}+0{,}7\right)\cdot\left(\frac{t_{røg}-t_{luft}}{100}\right)$	$\left(\frac{68}{21-O_{2\,målt}}+0{,}7\right)\cdot\left(\frac{t_{røg}-t_{luft}}{100}\right)$

Tabel 8.4. Beregning af røggastab fra naturgas- og oliefyrede kedler.

Eksempel 7

På et naturgasfyret kedelanlæg er der målt følgende:

- Iltprocent, $O_{2,tør}$: 3 %
- Røggastemperatur, $t_{røg}$: 240 °C
- Forbrændingslufttemperatur, t_{luft}: 20 °C

Røggastabet kan herefter beregnes:

$$\text{Røggastab} = \left(\frac{66}{21-3}+1{,}0\right)\cdot\left(\frac{240-120}{100}\right) = 10{,}3\ \%$$

8.2.2 Naturgaskedler

Naturgaskedler til enfamiliehus (venstre) og etagebolig (højre).

I BR08 står der, at kedler til fyring med gas med en nominel effekt op til 400 kW skal have en nyttevirkning ved CE-mærkning på mindst 96 % ved fuldlast og 104 % med 30 % dellast.

Såfremt det fysisk ikke er muligt at få plads til en ny højeffektiv kedel ved udskiftning kan bestemmelsen fraviges. Dog må virkningsgraden ved såvel fuldlast og dellast ikke være dårligere end 91 %.

Enfamiliehuse

I tabel 8.5 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af ældre gaskedler og elvarme til kondenserende kedel. Beregningerne stammer fra Energistyrelsens standardværdikatalog.

Nuværende varmeproducerende enhed	Ny varme-producerende enhed	Besparelse [kWh]
Ældre (typisk fra før 1997) kedelunit med gasblæse-luftbrænder	Kondenserende gaskedel	10.399
Traditionel åben gaskedel (med atmosfærisk brænder)	Kondenserende gaskedel	6.410
Traditionel lukket gaskedel (med gasblæseluft-brænder)	Kondenserende gaskedel	3.231
Elvarme	Kondenserende gaskedel	22.785

Tabel 8.5. Udskiftning af ældre oliekedler og elvarme til kondenserende kedel.

Forudsætninger:

- Alle beregninger er baseret på et etplans parcelhus på 120 m^2 fra 1975.
- Husstandens størrelse er to voksne og to børn.
- Beregningerne tager udgangspunkt i husets observerede varmebehov på ca. 19.500 kWh pr. år.
- Ved el-konvertering er indregnet et komforttillæg på 15 %.
- Ved sammenvejning af elforbrug og olieforbrug er anvendt faktor 2,5.

Flerfamiliehuse samt erhvervs og offentligt byggeri

I tabel 8.6 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af ældre gaskedler til kondenserende gaskedler. Til beregningerne er anvendt GASPRO for store kedelanlæg. Programmet kan rekvireres hos Dansk Gasteknisk Center – DGC (www.dgc.dk).

Forudsætninger:

- Røggastemperaturen er 180 °C ved fuldlast og 140 °C ved min. last.
- Den indfyrede effekt ved fuldlast er sat til 1,1 gange mærkeeffekten.
- Den indfyrede effekt ved min. last er sat til 40 % af mærkeeffekten.
- Røggastemperaturen er 58 °C ved fuldlast og 54 °C ved min. last for de kondenserende kedler.
- Flerfamiliehuse.

Nuværende varmeproducerende enhed	Ny varme-producerende enhed	Bespar-else [kWh]
Kedeleffekt (afgivet kW efter mærkeplade): 300 kW – Opvarmet areal: 5.800 m²		
Anlæg ældre end 15 år - dårligt	Kondenserende gaskedel	149.694
Anlæg ældre end 15 år - middel	Kondenserende gaskedel	140.221
Anlæg ældre end 15 år - godt	Kondenserende gaskedel	130.848
Kedeleffekt (afgivet kW efter mærkeplade): 800 kW – Opvarmet areal: 18.600 m²		
Anlæg ældre end 15 år - dårligt	Kondenserende gaskedel	399.788
Anlæg ældre end 15 år - middel	Kondenserende gaskedel	374.810
Anlæg ældre end 15 år - godt	Kondenserende gaskedel	349.868
Kedeleffekt (afgivet kW efter mærkeplade): 2.000 kW – Opvarmet areal: 38.220 m²		
Anlæg ældre end 15 år - dårligt	Kondenserende gaskedel	875.901
Anlæg ældre end 15 år - middel	Kondenserende gaskedel	812.489
Anlæg ældre end 15 år - godt	Kondenserende gaskedel	749.109

Tabel 8.6. Udskiftning af ældre gaskedler til kondenserende gaskedler.

8.2.3 Oliekedler

Oliekedler til enfamiliehus (venstre) og etagebolig (højre).

I BR08 står der, at kedler til fyring med olie med en nominel effekt op til 400 kW skal have en nyttevirkning ved CE-mærkning på mindst 91 % for både dellast og fuldlast.

Såfremt det fysisk ikke er muligt at få plads til en ny højeffektiv kedel ved udskiftning kan bestemmelsen fraviges. Dog må virkningsgraden ved såvel fuldlast og dellast ikke være dårligere end 91%.

Enfamiliehuse

I tabel 8.7 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af ældre oliekedler og elvarme til kondenserende oliekedel. Beregningerne stammer fra Energistyrelsens standardværdikatalog.

Nuværende varmeproducerende enhed	Ny varmeproducerende enhed	Besparelse [kWh]
Støbe- og pladejerns kedler fra før 1977 (ikke efterisolerede)	Kondenserende oliekedel	13.445
Renoveret støbejernskedel (fra før 1977) og kedelunit i støbe- og pladejern fra efter 1977	Kondenserende oliekedel	5.035
Elvarme	Kondenserende oliekedel	21.939

Tabel 8.7. Udskiftning af ældre oliekedler og elvarme til kondenserende kedel.

Forudsætninger:

- Alle beregninger er baseret på et etplans parcelhus på 120 m^2 fra 1975.
- Husstandens størrelse er to voksne og to børn.
- Beregningerne tager udgangspunkt i husets observerede varmebehov på ca. 19.500 kWh pr. år.
- I beregningerne af forbrug for den kondenserende kedel, er benyttet data for A- og B-mærkede kedler.
- Ved el-konvertering er indregnet et komforttillæg på 15 %.
- Ved sammenvejning af elforbrug og olieforbrug er anvendt faktor 2,5.

Flerfamiliehuse samt erhvervs og offentligt byggeri

I tabel 8.8 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af ældre oliekedler til kondenserende oliekedel. Til beregningerne er anvendt Energistyrelsens regneark "Beregn store oliekedler".

Nuværende varmeproducerende enhed	Ny varmeproducerende enhed	Besparelse [kWh]
Kedeleffekt (afgivet kW efter mærkeplade): 300 kW – Opvarmet areal: 5.800 m²		
Anlæg ældre end 15 år - dårligt	Kondenserende oliekedel – type super	111.320
Anlæg ældre end 15 år - middel	Kondenserende oliekedel – type super	91.350
Anlæg ældre end 15 år - godt	Kondenserende oliekedel – type super	75.550
Kedeleffekt (afgivet kW efter mærkeplade): 800 kW – Opvarmet areal: 18.600 m²		
Anlæg ældre end 15 år - dårligt	Kondenserende oliekedel – type super	261.520
Anlæg ældre end 15 år - middel	Kondenserende oliekedel – type super	217.700
Anlæg ældre end 15 år - godt	Kondenserende oliekedel – type super	184.770
Kedeleffekt (afgivet kW efter mærkeplade): 2.000 kW – Opvarmet areal: 38.220 m²		
Anlæg ældre end 15 år - dårligt	Kondenserende oliekedel – type super	594.110
Anlæg ældre end 15 år - middel	Kondenserende oliekedel – type super	500.600
Anlæg ældre end 15 år - godt	Kondenserende oliekedel – type super	434.120

Tabel 8.8. Udskiftning af ældre oliekedler til kondenserende kedler.

Regnearket kan downloades på FEM-sekretariatets hjemmeside (www.femsek.dk).

Forudsætninger:
- Røggastemperaturen er 200 °C ved stor flamme og 180 °C ved lille flamme.
- Den indfyrede effekt ved stor flamme er sat til 1,1 gange mærkeeffekten.
- Den indfyrede effekt ved lille flamme er sat til 2/3 af den indfyrede effekt ved stor flamme.
- Flerfamiliehuse.

8.3 Elvarme

Elvarme er pga. de høje afgifter på elektricitet den dyreste form for opvarmning. Derfor er det væsentligt at styre varmeforbruget efter behov. Det kan også være værd at overveje at skifte til anden opvarmning, fx en varmepumpe.

Rumtemperatur efter behov

I opholdsrum, køkken og badeværelse anbefales 20 °C. Hold gerne lavere temperatur i andre rum. Elvarmen bør slukkes helt i rum, der ikke anvendes, med mindre det er nødvendigt at frostsikre. De fleste termostater på radiatorerne er forsynet med en gradskala, men som regel svarer den ikke til rumtemperaturen. Indstilling skal ske ved at måle rumtemperaturen med særskilt termometer.

Nat- og dagsænkning

Temperaturen bør sænkes 5 - 6 °C om natten – og i dagtimerne, hvis der ikke er nogen hjemme. Hvis der ikke er natsænkningsautomatik på radiatorerne, bør det installeres, fx et kontaktur og en centralt placeret termostat.

Zoneregulering

Med zoneregulering kan varmen i forskellige rum styres efter et bestemt mønster fx varme i køkken morgen og aften og lavere temperatur resten af dagen. Alt efter hvordan rummene benyttes, kan effektiv zoneregulering medføre en stor elbesparelse.

8.4 Varmepumper

Nedenfor ses hvilke typer varmepumper, der anvendes:

- Luft/luft varmepumpe
- Luft/vand varmepumpe
- Væske/vand varme

8.4.1 Luft/luft varmepumpe

Ved denne anlægstype optages varmen fra udeluften og afgives i en varmeflade, der kan være placeret i et luftbaseret kanalsystem (ventilationssystem) eller direkte i rummet med designet varmeafgiver. Denne anlægstype er som antydet begrænset til rumopvarmning med cirkuleret luft evt. kombineret med et ønsket friskluftskifte. Varmekilden kan også være afkastluft fra bygningen, der ønskes opvarmet eller overskud fra industrielle processer.

Figur 8.2. Luft/luft varmepumpe.

8.4.2 Luft/vand varmepumpe

Denne anlægstype er meget almindelig specielt i lande med moderate vintertemperaturer. I Danmark bør anlægget dimensioneres efter at kunne køre i hovedparten af fyringssæsonen og suppleres med anden opvarmningsform.

En luft/vand varmepumpe opsamler energien i luften udenfor. Varmen kan herefter benyttes både til opvarmning af boligen og til opvarmning af brugsvand fx til opvask og bad. Det varme vand kan tilkobles boligens centralvarmesystem og bruges som gulv- eller radiatorvarme.

Figur 8.3. Luft/vand varmepumpe.

8.4.3 Væske/vand varmepumpe

Ved denne anlægstype cirkuleres en frostsikret væske (brine) i rørslanger (jordslanger af plast) nedgravet i de øverste jordlag. Nedgravningsdybden er normalt omkring 75 cm.

På sin vej gennem slangen opvarmes den frostsikrede væske af energien i jorden. Den opvarmede væske føres ind i varmepumpen, som opsamler varmen, der herefter overføres til boligens varmtvandsbeholder.

Fra varmtvandsbeholderen benyttes det opvarmede vand til rumvarme og varmt brugsvand i boligen.

Figur 8.4. Væske/vand varmepumpe.

8.4.4 Nyttevirkning (effektivitet, effektfaktor)

Nyttevirkningen eller effektfaktoren COP er et begreb, der anvendes om varmepumpens effektivitet. Effektfaktoren er forholdet mellem varmepumpens kapacitet (kW) og den tilførte effekt (kW) til varmepumpen.

Prøvning af varmepumpeanlæg sker i henhold til Dansk og Europæisk Standard. Ved bestemte driftstilstande måles varmepumpens kapacitet (ydelse) og den tilførte effekt inkl. hjælpeeffekt (pumper, ventilatorer mv.). Effektfaktoren beregnes herefter på baggrund af disse målinger.

Når et varmepumpeanlæg driftsøkonomisk vurderes, er det nødvendigt at anvende en skønnet årsnyttevirkningsgrad (leveret energi i forhold til tilført energi). Tabel 8.9 kan benyttes til at vurdere årsnyttevirkningen.

Type	Årsnyttevirkning			
	1982 - 1985	1994 - 1997	2002	2005
Luft/luft	-	2,3 – 2,6	2,9 – 3,4	3,0 – 3,6
Luft/vand	1,9	2,4 – 2,9	3,1 – 3,6	3,2 – 3,8
Væske/ vand	2,3	2,7 – 3,3	3,5 – 4,2	3,6 – 4,5

Tabel 8.9. Praktisk årsnyttevirkning (skønnet) udvikling fra 1982 til 2005.

I tabel 8.10 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af ældre oliekedler til væske/vand varmepumper. Beregningerne stammer fra Energistyrelsens standardværdikatalog.

Nuværende oliekedel	Varme-pumpe	Forbrug før [kWh}	Elfor-brug [kWh}	Bespar-else [kWh}
Renoveret støbe-jernskedel (fra før 1977) og kedel-unit i støbe- og pladejern fra efter 1977	Væske/ vand	26.040	13.542	12.498
Støbe- og plade-jerns kedler fra før 1977 (ikke efterisolerede)	Væske/ vand	34.950	13.542	21.408
Renoveret støbe-jernskedel (fra før 1977) og kedel-unit i støbe- og pladejern fra efter 1977	Luft/ vand	26.040	15.234	10.806
Støbe- og plade-jerns kedler fra før 1977 (ikke efterisolerede)	Luft/ vand	34.950	15.234	19.716

Tabel 8.10. Udskiftning af oliekedel til varmepumpe.

I tabel 8.11 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af gaskedler til væske/vand varmepumper. Beregningerne stammer fra Energistyrelsens standardværdikatalog.

I tabel 8.12 ses beregninger af besparelser ved udskiftning af elvarme til luft/luft varmepumper. Beregningerne stammer fra Energistyrelsens standardværdikatalog.

Nuværende gaskedel	Varme-pumpe	Forbrug før [kWh}	Elfor-brug [kWh}	Bespar-else [kWh}
Ældre (typisk fra før 1997) kedel-unit med gas-blæseluftbrænder	Væske/ vand	30.745	13.542	17.204
Traditionel åben gaskedel (med atmosfærisk brænder)	Væske/ vand	27.629	13.542	14.087
Traditionel lukket gaskedel (med gasblæseluft-brænder)	Væske/ vand	24.826	13.542	11.284

Tabel 8.11. Udskiftning af gaskedel til varmepumpe.

Elvarme	Varme-pumpe	Forbrug før [kWh}	Elforbrug [kWh}	Bespar-else [kWh}
Elvarme	Luft/luft Energi-mærke "A"	19.500	13.136	6.364
Elvarme	Luft/luft Energi-mærke "B"	19.500	13.408	6.092

Tabel 8.12. Udskiftning af elvarme til varmepumpe.

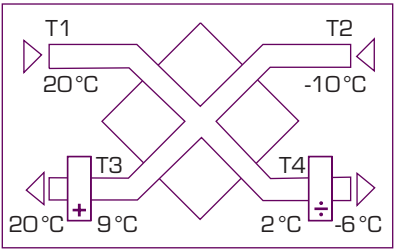
Forudsætninger for beregningerne i tabel 8.10 til 8.12:

- Alle beregninger er baseret på et etplans parcelhus på 120 m^2 fra 1975.
- Husstandens størrelse er to voksne og to børn.
- Beregningerne tager udgangspunkt i husets observerede varmebehov på ca. 19.500 kWh pr. år.
- Forbruget til varmt brugsvand udgør 3000 kWh.
- Ved konvertering fra gaskedel til luft/vand varmepumpe fratrækkes 20 % fra de i kolonnen angivne besparelser.
- Ved konvertering fra elvarme til luft-luftvarmepumpe er det forudsat, at rumvarmebehovet kan dækkes med 60 %.

8.4.5 Varmepumper til større bygninger

Varmepumper til større bygninger, fx kontorer, er normalt en integreret del af et ventilationsaggregat med varmegenvinding. Varmegenvindingsenheden kan være en krydsvarmeveksler, modstrøms varmeveksler, roterende varmeveksler, væskekoblede vekslere eller heatpipes.

I figur 8.5 ses en principskitse af et ventilationsaggregat med krydsvarmeveksler og varmepumpe. Som det ses, bliver udsugningsluften kølet ned fra 20 °C til 2 °C i krydsvarmeveksleren. Herefter køles udsugningsluften ned fra 2 °C til -6 °C i varmepumpens fordamper. Energien som hentes ud af afkastluften samt den tilførte el-energi til varmepumpens kompressor afgives herefter til indblæsningsluften i varmepumpens kondensator, hvorved luften opvarmes fra 9 °C til 20 °C. Inden det sker, er indblæsningsluften varmet op fra -10 °C til 9 °C i krydsvarmeveksleren.



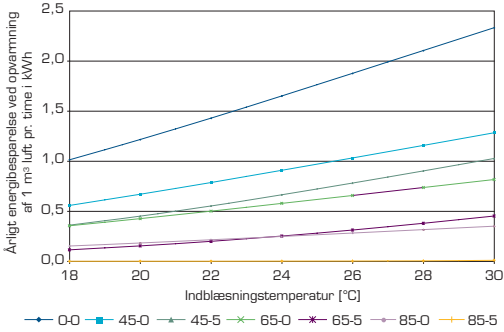
Figur 8.5. Varmepumpe i ventilationsaggregat.

Energibesparelsen ved at anvende en varmepumpe i et ventilationsaggregat frem for en traditionel eftervarmeflade afhænger af:

- Den indblæste og udsugede volumenstrøm.
- Temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingsenheden.
- Ønsket indblæsningstemperatur.
- Udsugningstemperaturen.

I figur 8.6 ses energibesparelsespotentialer ved anvendelse af en varmepumpe i et ventilationsaggregat. Der er forudsat en årsnyttevirkning på

3,6 for varmepumpen og en driftstid i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 17.00.



Figur 8.6. Årlig energibesparelse i kWh for drift én dag pr. uge ved opvarmning af 1 m³ luft pr. time i tidsrummet 8.00 til 17.00.

8.5 Solvarme og biomassekedler

8.5.1 Solvarme

Et solvarmeanlæg består af en eller flere solfangere monteret fx på husets tag. I solfangeren omsættes energien fra solen til varme. Varmen overføres til en frostfri væske, der cirkulerer mellem solfangerne og en lagertank. Når solfangervæsken er blevet varmet op i solfangeren, føres væsken over i lagertanken, hvor den afgiver varmen til tanken. Den afkølede solfangervæske strømmer herefter tilbage til solfangeren. I lagertanken, som er en velisoleret beholder, udnyttes varmen til opvarmning af vand. Det opvarmede vand kan herefter anvendes i boligen til rumvarme og/eller varmt brugsvand fx til opvask og bad.

Figur 8.7. Solvarmeanlæg.

I tabel 8.13 ses beregninger af varmebesparelser og merforbrug af el pr. m² solfangerareal pr. år ved installering af solvarmeanlæg. Beregningerne stammer fra Energistyrelsens standardværdi-katalog.

Bygnings-type	Varme-anlæg	Solvarme-anlæg [kWh/m²/år]	Varme-besparel-se [kWh/m²/år]	Mer-forbrug el [kWh/m²/år]
Enfamilie-hus	A	BV2	520	30
		BV+RV	390	23
	B	BV2	790	50
		BV+RV	593	38
Fler-familie-hus/ døgn-institution	A	BV1	600	20
		BV2	460	10
		BV+RV	345	8
	B	BV1	670	10
		BV2	680	60
		BV+RV	510	45
Admini-stration/ skole	A B	BV1	400	20
		BV+RV	300	15
		BV1	450	20
		BV+RV	338	15
Svømme-hal/bassin	A/B	SVU	300	0
	A	SV+BV	600	20
	B	SV+BV	670	10

Tabel 8.13. Varmebesparelser og merforbrug pr. m² solfangerareal pr. år for forskellige bygningstyper.

Tallene gælder for en sydvendt orientering med en hældning på 45°.

Varme-anlæg	Forklaring	Sol-varme-anlæg	Forklaring
A	Varmeanlæg med høj virkningsgrad • A mærket kedel • Fjernvarme • Elvarme	BV1	Brugsvands-anlæg med lav dækningsgrad: Anlægsydelse < 50 % af forbrug
B	Varmeanlæg med lavere virkningsgrad • Ikke A mærket kedel	BV2	Brugsvands-anlæg med høj dækningsgrad: Anlægsydelse > 50 % af forbrug
		BV + RV	Anlæg til både brugsvand og rumvarme
		SVU	Anlæg med uafdækkede solfangere for opvarmning af svømmebassin
		SV + BV	Anlæg med afdækkede solfangere for opvarmning af svømmehal/ bassin samt brugsvand

Tabel 8.13 fortsat. Forklaringer til tabellen.

I tabel 8.14 ses, hvorledes varmebesparelserne i tabel 8.13 skal korrigeres for orientering og hældning.

Hældning i ° fra vandret orientering	0-15	15-75				75-90
S	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
SSØ-S-SSV	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
SØ-S-SV	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ØSØ-S-VSV	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Ø-S-V	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
V-N-Ø	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabel 8.14. Korrektion for orientering og hældning i forhold til syd og 45°.

Eksempel 8

I Danmark bruger en person i gennemsnit 15 m^3 varmt vand pr. år. Varmeforbruget til opvarmning af vandet fra 10 °C til 55 °C er ca. 800 kWh/år.

I et enfamiliehus med tre personer vil det gennemsnitlige varmeforbrug til opvarmning af varmt brugsvand derfor være 2.400 kWh/år.

Den optimale størrelse på solfangerarealet afhænger af husstandens varmeforbrug, men for et solvarmeanlæg, som skal forsyne husstanden med varmt brugsvand, kan man som tommelfingerregel regne med 1 - 1,5 m^2 solfangerareal pr. person.

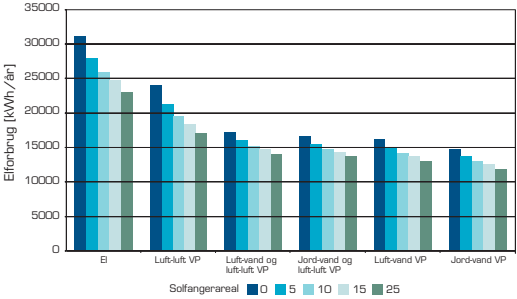
Hvis der jf. tommelfingerreglen installeres et 3 m^2 brugsvandsanlæg (orienteret mod syd og med en solfangerhældning på 45°) med høj dækningsgrad, vil der jf. tabel 8.13 kunne opnås en varmebesparelse på 3 $m^2 \cdot 520$ kWh/m^2 = 1.560 kWh/år.

Anlægget vil således kunne dække 65 % af forbruget til opvarmning af varmt brugsvand.

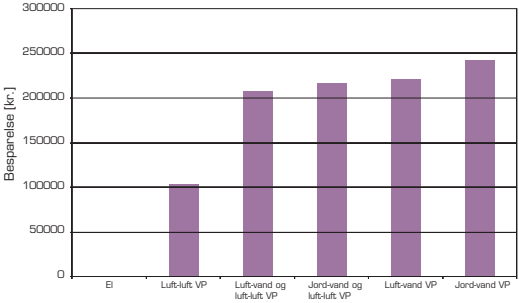
8.5.2 Solvarmeanlæg i kombination med varmepumpe

I forskningsprojektet "Varmepumpeanlæg til fritidshus eventuelt i kombination med solvarme" /7a/, er der foretaget udvikling af systemløsninger med varmepumper og solvarmeanlæg til udlejningssommerhuse med store elforbrug. I luksussommerhuse med pool, som i gennemsnit bruger 31.000 kWh el pr. år, kan elforbruget reduceres med 50 % ved valg af den rigtige systemløsning. Anlæggene er nede på en tilbagebetalingstid på under 5 år – nogle endda under 4 år.

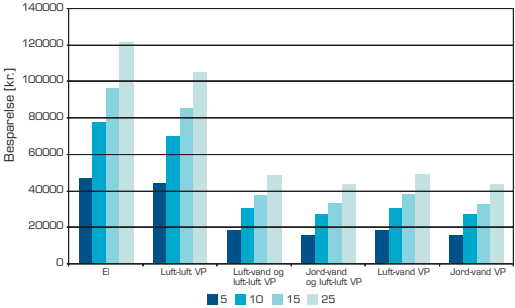
I figur 8.8 til 8.10 ses nogle af projektets resultater vedr. luksussommerhuse.



Figur 8.8. Totalt elforbrug.



Figur 8.9. Værdien af 10 års el-besparelser af VP anlæg uden solvarme.



Figur 8.10. Værdien af 10 års el-besparelser ved solvarmeanlæg på 5, 10, 15 og 25 m².

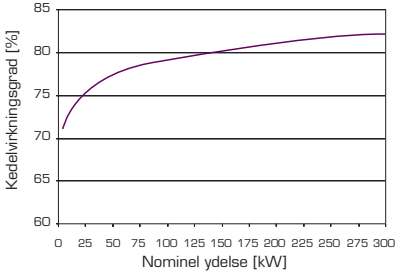
8.5.3 Biomassekedler

I henhold til bygningsreglementet skal alle biobrændselsfyrede kedler til fyring med biobrændsel og biomasse have en virkningsgrad, der mindst opfylder kedelklasse 3 i henhold til standarden DS/EN 303-5.

For en kedel på eksempelvis 20 kW vil det svare til en virkningsgrad på minimum 74,8 %, svarende til energiklasse E.

Virkningsgraden for nye biobrændselskedler ligger i dag på 75 - 90 % for manuelt fyrede kedler og 85 - 95 % for automatisk fyrede kedler.

I figur 8.11 ses minimumskrav til virkningsgrad for kedelklasse 3 i DS/EN 303-5



Figur 8.11. Minimumskrav til virkningsgrad for kedelklasse 3 i DS/EN 303-5.

Kedel til fyring med træpiller.

8.5.4 Brændeovne

Brændeovne kan tildeles det nordiske miljømærke, Svanemærket. Svanemærket stiller krav om, at virkningsgraden for brændeovnen skal være mindst 73 %. Endvidere stiller svanemærket krav til brændeovnens emission af kulilte (CO), organisk bundet kulstof (OCG) og partikler (se endvidere: www.ecolabel.dk).

Brændeovn.

Ved køb af en ny brændeovn er det vigtigt at købe en ovn, der passer til det rum, der skal opvarmes. Et af de store problemer ved brændeovne er, at de generelt er alt for store i forhold til de rum, de skal opvarme.

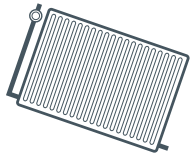
En ovn, der brænder et kilo brænde i timen ved en virkningsgrad på 73 %, yder ca. 3 kW. Det svarer ca. til varmebehovet i en stue på 60 m^2 ved en udetemperatur på -12 °C. Derfor oplever de fleste, at der bliver for varmt i det rum, hvor brændeovnen står. Løsningen består for det meste i at skrue ned for lufttilførslen, hvorved ovnens effektivitet falder.

Det betyder dels, at man udnytter brændslet alt for dårligt, dels at forureningen stiger markant.

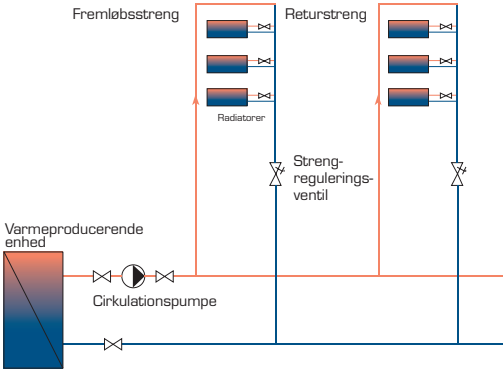
Fugtindholdet i brænde har betydning for brændværdien. Når man fyrer med brændet, må det højst indeholde 18 - 20 % vand. Hvis fugtindholdet er højere, bliver brændværdien lavere. Dette ses i tabel 8.15.

Brændsel	Vand-indhold [%]	Vægt [kg./rm]	Brænd-værdi [kWh/ton]	Brænd-værdi [kWh/rm]
Bøg, tørt	20	430	4.087	1.751
Bøg, frisk-skovet	45	650	2.613	1.612
Gran, tørt	20	260	4.087	1.056
Gran, frisk-skovet	55	390	2.002	778

Tabel 8.15. Data for brænde til brændeovne.



9.1 Et-strengsanlæg



Figur 9.1. Et-strengsanlæg.

Ved et-strengsanlæg anvendes en ringledning med konstant cirkulation. Ved hver radiator bliver etableret en hydraulisk modstand. Det er tryktabet over denne modstand, der driver vandet gennem radiatoren.

Et-strengsanlæg har været meget almindelige i både etageejendomme og i enfamiliehuse. Den væsentligste årsag til udbredelsen er, at anlægsudgifterne har været lavere. Der blev fx markedsført meget simple og installationsvenlige ventiltyper med integreret og stilbar modstand. Anlægstypen bruges ikke meget mere af forskellige grunde:

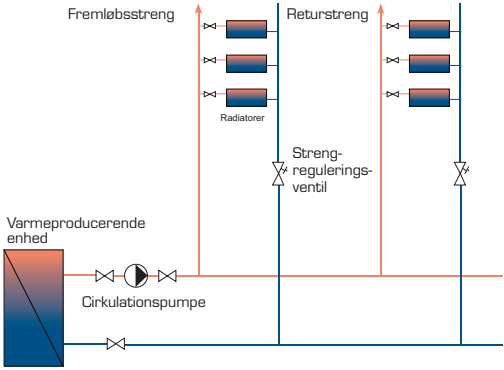
- Der er ikke meget tryktab til radiatorventilen, så ventilerne bliver større og dyrere.
- Der kan ikke etableres stor afkøling i radiatoranlægget, så lavtemperaturbestemmelsen i bygningsreglementet kan ikke altid opfyldes.
- Anlægstypen regnes generelt for uegnet til fjernvarmeinstallationer, da det er svært at få stor afkøling.

- Den altid varme cirkulationskreds giver et større varmetab fra ledningerne i bygningen, der ikke altid udnyttes.
- Pumpearbejdet er i praksis større end ved anden anlægstype.

Der er dog også fordele, fx arbejder de lette gaskedler (med meget vandindhold – som regel de væghængte kedler) godt i denne type anlæg.

Hvis man skal finde ud af, om der er tale om et et-strengsanlæg i et enfamiliehus, hvor man ikke kan se rørene, lukker man for alle radiatorerne. Hvis hovedreturen bliver kold, er det et to-strengsanlæg. Hvis den ikke bliver kold, er der normalt tale om et et-strengsanlæg (man kan normalt se det på ventilerne).

9.2 To-strengsanlæg



Figur 9.2. To-strengsanlæg.

Ved to-strengsanlæg er radiatorerne parallelforbundne, Herved fås et højt tryk til hver radiatorventil, og afkølingen over hele anlægget kan blive meget stor. Udstrakte to-strengsanlæg skal være hydraulisk indregulerede, enten ved at være korrekt designet mht. til rørdimensioner eller ved anvendelse af strengreguleringsventiler, der kan være faste modstande justeret en gang for alle eller dynamiske (selvvirkende) reguleringsventiler.

De dynamiske ventiler kan være koblet som trykdifferensregulatorer eller som flowregulatorer. Dette afhænger af anlægsopbygningen. Se endvidere kapitel 9.3.

9.3 Strengreguleringsventiler

Strengreguleringsventiler benyttes i centralvarmeanlæg til indregulering af anlæg med flere strenge. Strengreguleringsventilernes opgave er at skabe et passende tryktab i den enkelte streng, så der opretholdes det samme differenstryk mellem de enkelte strenges fremløb og retur. Der benyttes to typer strengreguleringsventiler. Den statiske, der indstilles til en fast modstand, der forbliver uændret uanset de dynamiske svingninger i anlægget og den dynamiske, der ikke har en fast indstillet modstand, men en modstand der varierer i takt med de ændringer, der sker i strengen.

Ved at benytte strengreguleringsventiler og indstille dem korrekt (indregulering) opnås et centralvarmeanlæg i hydraulisk balance, dvs. et anlæg hvor hver enkelt streng tilføres den ønskede eller nødvendige vandmængde, også fx i forbindelse med opstart efter natsænkning, hvor termostatventilerne er åbne.

Følgende retningslinier kan opstilles for anlæg med de to typer ventiler:

Statiske ventiler

- Minimum 50 % af pumpetrykket skal optages ved radiatorerne (ventil og returkobling). Ofte 5-10 kPa.
- Den valgte pumpe skal ideelt kunne reducere differenstrykket, når vandmængden reduceres. Ved større anlæg vælges en pumpe, der selv holder et konstant differenstryk.

Dynamiske ventiler

- Afhængigt af fabrikat og type skal tryktab over de enkelte radiatorer være 5-10 kPa.
- Min. differenstryk over strengen foran den dynamiske ventil er af hensyn til type og fabrikat 20-30 kPa.

- Pumpetrykket er således min. 20 kPa + tab i øvrige rør og komponenter. Altså et væsentligt større pumpetryk end ved anvendelse af statiske ventiler.

Når man anvender dynamiske ventiler, er der bl.a. følgende at være opmærksom på:

- Ved uheldigt valg af trykfald over radiatorventilerne opstår der problemer med afkøling mv., når en del af radiatorventilerne på en streng lukkes.
- Flowregulerende ventiler (uden differenstrykregulering af strengen) er bedst egnede til strenge i 1-strengsanlæg og store enkeltforbrugere (fx varmeventilatorer). Ved brug i 2-strengsanlæg opstår ofte støjproblemer og dårlig afkøling.

Strengreguleringsventil. Ventilen kan indstilles til en ønsket kv-værdi. Flowet måles med differenstrykket over målestudsene, en fast Kv-værdi over Venturi måle-blænden giver direkte flow-aflæsning under indjusteringen.
Billedet er leveret af BROEN A/S.

Dynamisk strengreguleringsventil. Denne ventil virker som tryk-differens regulator. Der er indbygget mulighed for at måle tryk og flow over ventilen.
Billedet er leveret af BROEN A/S.

9.4 Radiatortermostatventiler

Ved valg af radiatortermostatventiler og evt. returkoblinger skal det sikres, at der kan opnås et tilfredsstillende trykfald over alle de tilsluttede radiatorer.

9.4.1 Tryktab i radiatortermostatventiler

For radiatortermostatventiler (og andre reguleringsventiler i øvrigt) gælder, at det er trykdifferensen Δp over ventilen, der driver vandet igennem denne. Δp over radiatortermostaten bør være max ca. 10 kPa, af hensyn til risiko for støj.

Ved for lavt differenstryk vil der måske komme for lidt vand gennem ventilen og radiatoren med manglende varme til følge.

Ved fjernvarmeanlæg, som er direkte tilsluttet fjernvarmeledningerne, er der ofte problemer med reguleringen pga. det høje og svingende gadeledningstryk, problemer, der kan løses hos den enkelte forbruger ved montering af trykdifferensregulator. Problemet med reguleringen konstateres ved pendling, hvor rumtemperaturen svinger. I nogle tilfælde med helt op til ± 3 °C.

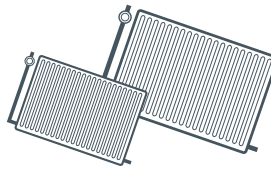
9.4.2 Proportionalbånd

Det anbefales at beregne radiatortermostater efter et P-bånd (X_p) på 1 - 3 °C, altså ca. 2 °C af komfortmæssige grunde.

Meget lille P-bånd stiller store (og dyre) krav til ventil, føler m.m. Stort P-bånd vil regulere rumtemperaturen dårligt, med store temperatursving og deraf dårlig komfort og økonomi.

9.4.3 Dimensionering af radiatortermostatventiler

I forbindelse med dimensionering og valg af radiatortermostatventiler kan følgende fremgangsmåde benyttes:



- Den nødvendige k_v-værdi fastlægges. Fastlæggelsen sker på baggrund af:

  1) Minimum forekommende differenstryk over ventilen. Reguleringsventiler dimensioneres ud fra det lavest forekommende differenstryk, hvilket oftest er om vinteren, hvor behovet er størst. I alle andre situationer vil ventilen være for stor. Der skal her tages hensyn til, at andre komponenter i systemet har tryktab, og at det mindste differenstryk over ventilen derfor ikke er differenstrykket an forbruger.

  2) Beregnet maksimalt flow gennem ventilen. Beregning kan ske ud fra den overførte effekt og afkølingen. Hvis radiatoren er overdimensioneret - hvad der er helt almindeligt - dimensioneres mest normalt efter rummets varmebehov.

- Der vælges en ventil med et proportionalbånd på 1 - 2 °C. Leverandørerne har tabeller og diagrammer til bestemmelse af ventilen. K_v-værdien (vandflow i m^3 pr. time ved helt åben ventil og et trykfald over ventilen på 1 bar) angives som regel ved et proportionalbånd på 2 °C. Tilligemed angives k_vs-værdien, der er k_v-værdien ved fuldt åben ventil. For ventiler med forindstilling angives k_v-værdien som funktion af forindstillingen, forudsat et proportionalbånd på 1 - 2 °C.

Tommelfingerregel: Normalt skal differenstrykket være fra 5 - 10 kPa over termostatventilen. Termostatventiler kan give pendlende drift, men dette kan som regel accepteres. Hvis der i dellastsituationer ligger for stort tryktab over termostatventilen, kan dette give anledning til støj. Bemærk, at der findes særlige ventiler til et-strengsanlæg.

Moderne cirkulationspumper med proportionalregulering egner sig godt til anlæg med termostatventiler. Hvis flowet i anlægget går ned, når termostaterne lukker, reducerer pumpen trykket, så risikoen for støj mindskes.

Eksempel 9

Et rum med varmebehov 1.500 W, en radiator med ydelse 3 kW efter EN 442 /16/. Tilgængeligt differenstryk 7,5 kPa. Anlægget skal dimensioneres efter 70/40.

Løsning:
Radiatorens ydelse ved 70/40 er (se kapitel 9.5) 59 % af EN 442, dvs. 1.770 W. Radiatoren er altså stor nok, men flowet dimensioneres efter rummets varmebehov. Til gengæld anvendes ofte til dimensionering af ventilen en mindre afkøling end 30 °K. Specielt ved forindstillelige ventiler skal man passe på med de helt små værdier. Der vælges 20 °K. Ved hjælp af en omskrivning af udtrykket for varmebehovet Q, kan massestrømmen $\dot{m}$ beregnes således:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \Rightarrow \dot{m} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta T}$$

$$\dot{m} = \frac{1{,}5\ \text{kW}}{4{,}2\ \text{kJ/kg°K} \cdot 20\text{°K}} = 0{,}0179\ \text{kg/s}$$

Flowet q kan herefter beregnes:

$$q = 0{,}0179\ \text{kg/s} \cdot \frac{3600\ \text{s/h}}{1000\ \text{kg/m}^3} = 0{,}064\ \text{m}^3\text{/h}$$

K_v-værdien beregnes nu:

$$k_v = \frac{q}{\sqrt{\Delta p}} = \frac{0{,}064}{\sqrt{0{,}075}} = 0{,}23\ \text{m}^3\text{/h}$$

ved 1 bar differenstryk over ventilen.

Herefter kan ventilen findes i katalogernes diagrammer og tabeller.

Ved indregulering i praksis anvendes oftest radiatorydelsen til beregning af flow og forindstilling, idet varmebehovet ikke kendes.

Ydelsen til dette formål findes i gamle kataloger, eller der kan henvises til regnearket: "Bestemmelse af radiatorydelser", der kan downloades fra www.femsek.dk

9.4.4 Forindstilling af termostatventiler

Termostatventiler kan fås med og uden forindstilling. Hvis ventilerne er forindstillede, er anlægget i hydraulisk balance, også når anlægget og bygningen er kold, så termostaterne er fuldt åbne. Der foregår stadig en diskussion om, hvornår det er nødvendigt og en fordel med forindstilling, og om forindstillingen kan erstatte strengreguleringsventiler. Det understreges, at montering af termostatventiler med forindstilling, der ikke bliver beregnet korrekt og herefter heller ikke indstillet korrekt, gør mere skade end gavn.

Følgende anbefales pt. som hovedregler, men der er undtagelser:

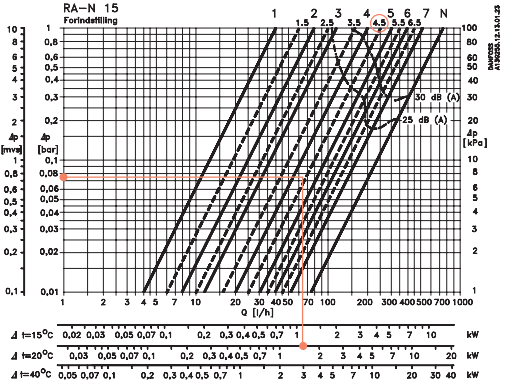
- I enfamiliehuse er forindstilling ikke nødvendig.
- Ved lidt større anlæg end enfamiliehuse (nogle få opgange) kan strengreguleringsventiler erstattes af forindstillede termostater, men kun i de tilfælde, hvor tryktabet i fordelingsledningerne holdes under 5 kPa.
- I udstrakte anlæg med strengreguleringsventiler og mere end nogle få radiatorer pr. streng anbefales forindstilling.

Beregning af forindstilling

Der anvendes normalt et tryk på 5 - 10 kPa som udgangspunkt, jf. eksempel 9.

Drejer det sig om en stigstreng i en ejendom med nedre fordeling, beregnes først den øverste radiatorventil. Herefter lægges rørmodstanden til ned til næste etage. Herved fås trykket for næste ventil. Det er meget almindeligt, at man kan se bort fra tryktabet i stigstrengene.

I figur 9.3 ses et eksempel på en kurve til bestemmelse af forindstillingen af en radiatortermostatventil. Forindstillingen findes ved at gå ind på x-aksen med vandmængden og y-aksen med differenstrykket. Skæring mellem de to viser forindstillingsværdien. I figur 9.3 er skæringen mellem varmebehovet (1,5 kW) og differenstrykket over ventilen (0,075 bar) indtegnet. Skæringspunktet svarer til en forindstilling på 4,5.



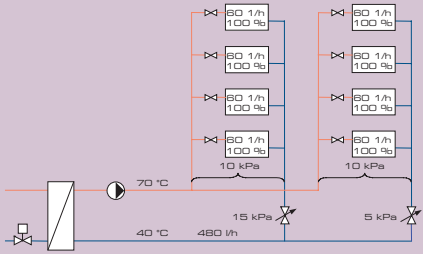
Figur 9.3. Kurve til bestemmelse af forindstilling af radiatortermostatventil.

60

Eksempel 10
Fejl i forindstilling på radiatortermostaterne

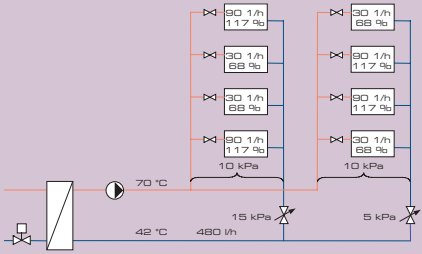
I figur 9.4 ses et centralvarmeanlæg med otte radiatorer (én pr. rum). Anlægget er dimensioneret således, at ved en fremløbstemperatur på 70 °C og et flow på 60 l/h kan hver radiator dække varmebehovet (relativ varmeydelse på 100 %) og holde en rumtemperatur på 20 °C.

Med en omdrejningstalregulerbar pumpe søges at opretholde et differenstryk over hver stigstreng på 10 kPa.



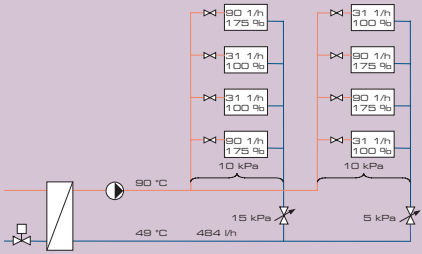
Figur 9.4. Dimensionering af centralvarmeanlæg.

Da anlægget er sat i drift modtager varmemesteren klager, da der kun kan opnås en temperatur på 17 °C i halvdelen af rummene. På en kold vinterdag foretages der en måling af flowet i og differenstrykket over de to anlægsgrene. Både flowet og differenstryk vurderes at være i orden. Det konstateres, at radiatorerne kun bliver varme i toppen på halvdelen af radiatorerne.



Figur 9.5. Driftstilstand for centralvarmeanlæg.

Det er forindstillingerne på radiatorerne det er galt med. På figur 9.5 ses en skønnet flowfordeling for de to strenge. Der er også vist den procentvise fordeling af varmeafgivelsen fra radiatorerne. Ydelserne er beregnet ud fra formelmaterialet i DS 439.



Figur 9.6. Driftstilstand for centralvarmeanlæg ved hævning af fremløbstemperaturen.

Hvad er konsekvenserne for anlægget, hvis denne forindstilling ikke ændres?

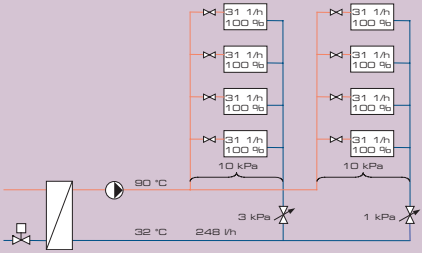
1. Ændring af pumpetryk
   Hvis flowet i de kritiske radiatorer skal fordobles, skal trykket over strengene med tilnærmelse firdobles. Dette vil give en række andre problemer, særligt med støj i anlægget, så dette er sjældent en farbar vej.

2. Ændring af fremløbstemperatur
   For at kunne opretholde 20 °C i alle rummene beslutter varmemesteren, som det ses i figur 9.6, at hæve fremløbstemperaturen. Ved en udetemperatur på -12 °C vil fremløbstemperaturen være 90 °C, mens returtemperaturen vil være 49 °C. Den relative varmeydelse bliver nu 100 % i den ene halvdel af rummene og 175 % i den anden.

   Denne situation er mere realistisk, end man skulle tro. Med henvisning til kapitel 12 om varmeregnskaber og varmemåling er det helt almindeligt, at der i nogle lejligheder findes meget store forbrug fx tre gange så store som gennemsnittet. Hvis der er tale om en indvendig lejlighed med naboer, underboer og overboer vil en fordobling af varmeforbruget kun forøge temperaturen med 2 til 3 °C.

   Hvis forbrugervaner med fx åbne vinduer også er relevant, fås måske kun en ganske ringe forøgelse af temperaturen.

   Hvis termostaterne fungerede med et meget lille proportionalbånd, og/eller beboerne lukkede passende for de overforsynede radiatorer, ville situationen kunne være som på figur 9.7.



Figur 9.7. Driftstilstand for centralvarmeanlæg, når beboerne i de overforsynede lejligheder har indstillet termostaterne til den korrekte varmeafgivelse.

Her er returen så lav som ca. 32 °C. Tryktabet over strengreguleringerne er næsten forsvundet, så de ikke behøver at være der, og pumpen skal næsten ingenting bestille, pumpearbejdet er faldet til måske 15 % af det oprindelige.

Det er forsøgt et drive anlæg på den måde, specielt fordi den lave returtemperatur er attraktiv ved fjernvarmeforsynede anlæg. Det lykkes imidlertid kun sjældent af en række årsager:

- Den høje fremløbstemperatur giver mulighed for en meget stor varmeafgivelse og derfor et stort potentiale for store forbrug i ejendommen.
- Flowene bliver så små i radiatorerne, at forindstilling ikke altid er mulig.
- Den meget parallelle drift af radiatorerne er vanskelig at opnå. Meget ofte bliver nogle radiatorer lukket helt, så kun en del af anlæggets hedeflade udnyttes. Herved stiger returtemperaturen sammen med fremløbstemperaturen. Den typiske erfaring er da også, at en ændring af varmekurven mod højere temperaturer bevirker en stigning i både fremløbs- og returtemperaturen.

Eksempel 10 – fortsat

I praksis findes der energibesparelser ved at indregulere anlæggene (se endvidere kapitel 9.8). Den ideelle situation er, at alle radiatorer er i drift, og at fremløbstemperaturen er så lav som muligt. Forindstillingerne på radiatorerne tager først og fremmest højde for, at radiatorerne på en streng er forskellige. Herved fås i praksis også den laveste returtemperatur og den mindste spredning på varmeforbrug i de enkelte lejligheder. Det er rimeligt verificeret, at der stadig er et stort potentiale på dette område. Fremløbstemperaturerne er stadig for høje i mange anlæg.

Konklusionen på ovenstående er, at der bør foretages en indregulering af anlægget samt en forindstilling af radiatortermostatventilerne som angivet i dimensioneringskriterierne.

9.5 Radiatorer

Radiatorer testes og CE mærkes efter EN 442. Varmenormen DS 469 /17/ kræver veldokumenterede ydeevner.

Radiatorer dimensioneres til at kunne opvarme rummet ved det dimensionerende varmetab, men også andre hensyn spiller ind, fx at radiatoren skal forhindre koldt nedfald fra vinduerne.

Radiatorers ydelse bestemmes efter EN 442 ved temperatursættet fremløb/returløb/rum på 75/65/20 °C. Ved andre temperaturer må der fortages en omregning, og bygningsreglementet stiller krav til andre temperaturer. Normalt foretages omregningen af radiatorfabrikanten, men der findes et formelmateriale i varmenormen baseret på logaritmisk middeltemperaturdifferens. Normalt er disse omregninger på den sikre side.

En undtagelse herfra er konvektorer med vandret vandstrømning. Ved disse typer bør omregningen foretages efter den såkaldte to eksponentmetode,

der er angivet i varmeståbien. Ved DS 469 - formlen kan der nemt blive en fejl på op til 30 %.

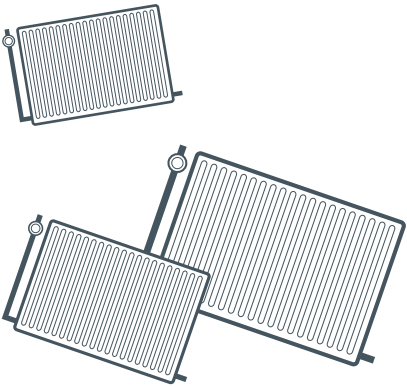
	Fremløb [°C]	Retur [°C]
Direkte fjernvarme[1)]	70	40
Indirekte fjernvarme[1)]	65	35
Gas og olie i større ejendomme	70	40
Gaskedler i enfamiliehuse[2)]	60	50
Varmepumper i enfamiliehuse[2)]	60	50

[1)] Forudsætter at der er vedtaget lavtemperaturdrift
[2)] Middel = 55 °C, men afkøling på 10 K er et godt udgangspunkt

Tabel 9.1. Temperatursæt ved dimensionering af radiatoranlæg.

Ved oliefyring i små anlæg og ved fjernvarme uden "lavtemperaturdrift" er temperaturerne fri, men i praksis overholdes også ovenstående i disse tilfælde.

I tabel 9.2 og 9.3 ses korrektionsfaktorer for en radiators og en konvektors ydelse ved andre temperatursæt end 75/65, som der foretages standardmålinger ved iht. EN 442-2.



Returtemperatur °C	Fremløbstemperatur °C											
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
80	1,35	1,30										
75	1,27	1,23	1,18									
70	1,20	1,16	1,11	1,07								
65	1,13	1,09	1,04	1,00	0,96							
60	1,05	1,01	0,97	0,93	0,89	0,844						
55	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,776	0,733					
50	0,89	0,855	0,819	0,782	0,744	0,706	0,666	0,624				
45	0,81	0,77	0,739	0,704	0,669	0,633	0,596	0,557	0,517			
40	0,716	0,685	0,654	0,622	0,590	0,557	0,522	0,487	0,450	0,412		
35	0,619	0,591	0,563	0,535	0,505	0,475	0,445	0,413	0,380	0,345	0,309	
30	0,512	0,487	0,463	0,438	0,412	0,386	0,359	0,332	0,303	0,274	0,243	0,209
25	0,382	0,362	0,342	0,322	0,302	0,281	0,259	0,237	0,215	0,191	0,167	0,141

Tabel 9.2. Ydelsestabel for panelradiatorer med højder over ca. 400 mm. Ved lavere panelraditorer kan interpoleres mellem de to tabeller.

Returtemperatur °C	Fremløbstemperatur °C											
	90	**85**	**80**	**75**	**70**	**65**	**60**	**55**	**50**	**45**	**40**	**35**
80	1,62	1,48										
75	1,53	1,40	1,27									
70	1,44	1,32	1,19	1,07								
65	1,35	1,23	1,11	1,00	0,89							
60	1,26	1,15	1,04	0,93	0,82	0,723						
55	1,17	1,06	0,96	0,86	0,76	0,665	0,574					
50	1,07	0,971	0,875	0,782	0,692	0,605	0,521	0,441				
45	0,97	0,88	0,789	0,704	0,622	0,543	0,466	0,394	0,324			
40	0,860	0,778	0,699	0,622	0,548	0,477	0,409	0,344	0,283	0,224		
35	0,744	0,672	0,602	0,535	0,470	0,408	0,348	0,292	0,238	0,188	0,142	
30	0,615	0,554	0,495	0,438	0,383	0,331	0,282	0,235	0,190	0,149	0,111	0,077
25	0,459	0,412	0,366	0,322	0,280	0,241	0,203	0,168	0,135	0,104	0,077	0,052

Tabel 9.3. Ydelsestabel for konvektortyper med vandret strømning.

Eksempel 11

Korrektionsfaktor for:
Lavtemperatur fjernvarme uden varmeveksler, panelradiator: 70/40: 0,590

Denne radiator projekteres 1,000 : 0,590 = 1,69 gange større ved dette temperatursæt end ved 75/65.

Korrektionsfaktor for:
Lavtemperatur fjernvarme med varmeveksler, panelradiator: 65/35: 0,475

0,590/0,475 = 1,24 og der skal således projekteres med 24 % større radiatorer ved løsningen med varmeveksler.

Anboringer

Panel- og søjleradiatorer testes med anboring i samme side. Ved diagonal anboring stiger ydelsen med 0 - 5 %. Normal regnes med at ydelsen er uændret, hvis ikke det specifikt oplyses i katalogerne. For radiatorer med vandret strømning skal leverandørens forskrifter følges nøje, idet der kan være indbygget ledeplader i radiatorerne, der afhænger af anboringerne.

Indbygning i paneler

Ved indbygning skal der sikres cirkulationsmuligheder for luften. Normalt regnes med at ydelsen falder med 10 - 20 %. Der er dog ikke udført nyere undersøgelser af dette forhold.

Overslagsmæssige radiatorydelser

Disse kan fås ved hjælp af regnearket "Bestemmelse af radiatorydelser", der kan downloades fra www.femsek.dk.

9.6 Gulvvarme

Gulvvarme er blevet en populær opvarmningsform, også som eneste varmeanlæg.

Der skelnes mellem barfodsområder og opholdsrum.

- I barfodsområder bør overfladetemperaturen være fra 26 - 30 °C ved tunge materialer, ved lette materialer som træ 23 - 28 °C.
- I opholdsrum angiver EN ISO 7730 19 til 29 °C ved normale sko.
- I praksis skal nok regnes med ved almindeligt brug, at overfladetemperaturen i opholdsrum skal være 22 - 23 °C som minimum.

I randzoner kan tolereres højere temperaturer.

Gulve kan give ca. 100 W pr. m^2. Dette er rigeligt i forhold til dimensionerende varmetab i moderne huse, dvs. senere end BR 77.

9.6.1 Dimensionering af gulvvarmeanlæg

Gulve kan testes og beregnes, se EN 1264 /18/ og pr. EN 15377 /19/. Ved prøvning og beregning bestemmes varmeledningsmodstanden fra vand til overflade og overfladetemperaturens variation. Varmeydelsen bestemmes herefter for alle gulve ved:

$$\Phi = 8{,}92 \cdot (t_{gulv} - t_o)^{1{,}1} \ W/m^2$$

Der findes en del ydelsesangivelser fra de forskellige leverandører, som er baseret på testresultater. Disse ydelser er ofte væsentligt højere end beregnet efter standarden. Det skyldes, at der i standarden er lagt væsentlige sikkerheder ind. Der er en meget væsentlig pointe i, at gulvet skal udføres præcis, som det testede, hvis man skal regne med de høje ydeevner.

Hvis gulvet i praksis afviger, kan det skyldes følgende:

- Afvigende rørafstand.
- Afvigende udførelse af klaplag.
- Afvigende udførelse af kontakt mellem varmeplader og træoverflade ved lette gulve.
- Afvigende kontakt mellem rør og varmefordeler ved lette gulve.

Man bør regne med standardens metoder, for lette gulve efter pr. EN 15377 og ved tunge gulve efter EN 1264. For lette gulve giver standardens beregninger ofte en værdi, der er mellem 50 og 75 % af de opgivne ydelser.

For tunge gulve findes et beregningsprogram på Danfoss's hjemmeside (www.danfoss.dk).

Tung gulvvarme (vandbårent med klaplag).

Let gulvvarme (vandbårent).

Elektrisk gulvvarme (varmemåtte).

9.6.2 Regulering af gulvvarmeanlæg

Normalt reguleres større gulvvarmeanlæg af en regulator med rumføler. Gulvvarmeslangerne er forbundet til en manifold, hvor hver kreds kan reguleres (on/off eller modulerende) efter en rumføler. Det er en almindelig opfattelse, at det tunge gulvvarmeanlæg kan give merforbrug pga. træg regulering. Mod dette taler, at gulvvarmeanlægget er delvis selvregulerende. Reguleringsteknisk

skal man undgå tunge anlæg, der samtidig har en stor varmemodstand mellem det cirkulerende vand og gulvoverfladen. Eksempelvis at man har et tungt og varmt betondæk liggende under et trægulv med dårlig varmekontakt til betonen.

Hvis gulvvarmeanlægget ikke er i stand til at opvarme rummet med en overfladetemperatur på 26 - 29 °C for opholdsrum, må der (af hensyn til føddernes komfort) suppleres med en radiator. Gulvet reguleres (eller bare indreguleres) til en passende overfladetemperatur, og radiatoren klarer resten med sin termostat. Ved sådanne kombinationer er det i visse tilfælde nødvendigt at montere separate pumpe- og blandekredse til gulvvarmeanlægget. Det skal bemærkes, at det i moderne huse med lille varmebehov normalt ikke er nødvendigt at supplere med radiatorer.

9.7 Kaloriferer

Kaloriferer findes som direkte opvarmningsform, men installeres til rumopvarmning som en indirekte opvarmningsform, idet varmen fra røggasserne i en varmeveksler overføres til rumluften. Røggasserne er ved indirekte opvarmning ikke i kontakt med opstillingsrummet.

Kaloriferer kan ligeledes drives af et varmtvandssystem. I det tilfælde fungerer kaloriferen som en radiator med tvungen konvektion uden friskluftfilførsel. Princippet er det samme som for den gasfyrede kalorifere.

Gasfyrede kaloriferer findes i et produktsortiment, der spænder fra ydelser på ca. 12 kW op til ca. 580 kW. Nyttevirkningen af gasfyrede kaloriferer med ydelser i området ca. 20 - 90 kW oplyses i informationsmateriale og brochurer til typisk at være ca. 90 %.

Kaloriferer anvendes fx til opvarmning og ventilation af industrihaller, fabriks- og montagehaller, salgslokaler, sportshaller og væksthuse. Anvendelse af kaloriferer sker således i bygninger, hvor det ikke er muligt at benytte traditionelle centralvarmeanlæg, fx på grund af lokalernes indretning

eller fordi der er højt til loftet. Endvidere benyttes kaloriferer i bygninger, hvor det enten ikke er muligt, eller det er for omkostningskrævende at installere mekanisk ventilation.

Kalorifere med varmtvandstilslutning.

9.8 Indregulering af centralvarmeanlæg

Formålet med indregulering er at få vandet fordelt på en sådan måde, at de enkelte forbrugssteder netop tilføres de beregnede mængder. Som afslutning indstilles den automatiske regulering i henhold til forudsætningerne for indreguleringen. Ofte er centralvarmeanlæg ikke indregulerede, eller det er adskillige år siden, en indregulering har fundet sted.

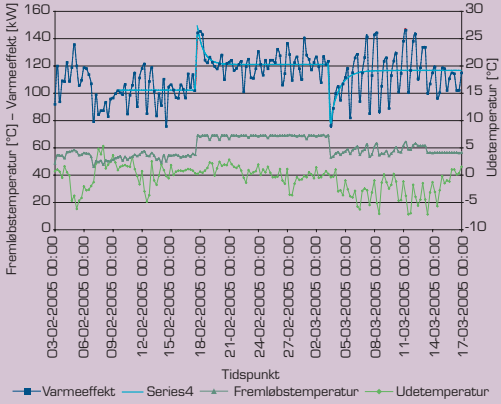
Symptomer på manglende indregulering:

- Et tydeligt tegn på manglende indregulering er for høje returtemperaturer på de strenge, der er tættest ved varmecentralen og faldende returtemperaturer hen mod anlæggets yderender.
- For høj fremløbstemperatur i forhold til det projekterede er en anden indikation af, at indreguleringen er mangelfuld.
- En cirkulationspumpe, der er større end den oprindelig projekterede, og som ikke skyldes ombygninger eller udvidelser, der kræver større pumpekapacitet.
- Klager fra brugerne over dårlig komfort (udsving i rumtemperaturen) er god indikator for manglende indregulering.
- For lille afkøling.

Eksempel 12

I forskningsprojektet "Værktøj for pumpevalg – overvågning og renovering (varmeinstallationer)" /7b/, blev der på et af demonstrationsanlæggene (VIBO i Hedehusene) foretaget et eksperiment med varmeanlægget. I to uger midt i varmesæsonen blev fremløbstemperaturen hævet til 70 °C fra varmekurvens ca. 55 °C ved en udetemperatur på 0 °C. Formålet med eksperimentet var at se, hvorledes flowet i anlægget blev påvirket af fremløbstemperaturen.

Det forventede resultat var, at radiatortermostaterne i anlægget lukkede, så den afgivne varmeeffekt var nogenlunde konstant, og at flowet derfor ville falde, og afkølingen tilsvarende ville blive større. Det blev dog, som det ses i figur 9.8, slet ikke resultatet.



Figur 9.8. Eksperiment der viser, hvorledes varmeeffekten i et centralvarmeanlæg bliver påvirket af fremløbstemperaturen.

	Ude-tempe-ratur [°C]	Effekt [kW]	Frem-løbs-temp. [°C]	Retur-temp. [°C]	Flow [m³/h]
Varmeeffekt	0,33	101,7	55,2	46,8	10,6
Varmeeffekt - eksperiment	0,33	121,7	68,6	57,3	9,2

Tabel 9.4. Resultater af eksperiment.

På baggrund af resultaterne i tabel 9.4 kan man uddrage følgende:

Stigning i varmeeffekt pr. grad stigning i fremløbstem-peratur [kW/°C]	Fald i flow pr. grad stigning i fremløbstemperatur [m³/h/°C]
1,49	0,11

Tabel 9.5. Stigning i varmeeffekt og fald i flow pr. grad stigning i fremløbstemperaturen.

Ved den forhøjede fremløbstemperatur ses, på figur 9.8, en kraftigt – hurtig – forøget varmeeffekt, der klinger ud med en tidskonstant på ca. 3 døgn. Tilsvarende når anlægget går tilbage til normal varmekurve. Varmeeffekten forøges med næsten 20 %, der ikke når at falde til tidligere niveau, selvom udetemperaturen ligger på samme niveau omkring 0 °C. Det er ganske foruroligende, da det ser ud til, at radiatortermostatventilerne kun har ringe virkning i anlægget. Den forhøjede fremløbstemperatur medfører således, at rumtemperaturen kan blive højere end nødvendigt.

Der er selvfølgelig grund til at tro, at varmeeffekten vil finde tilbage til et af beboerne bestemt niveau, når fx varmeregningerne vil gøre deres virkning. Det er også muligt, at beboerne på kortere sigt vil lukke yderligere ned for varmen i lejlighederne, så et passende niveau opnås. Men der er en betydelig usikkerhed ved det.

Eksempel 12 – fortsat

Det sikre er at holde fremløbstemperaturen så lav som muligt. Det vil dog betyde, at termostaternes proportionalbånd yderligere øges, og reguleringen for basisvarmetilskud m.m. vil blive ringere.

Indregulering i praksis

Der findes flere firmaer, der har specialiseret sig i dette. Fremgangsmåderne kræver en væsentlig indsats i forhold til dokumentation, hvis indreguleringen skal have varig værdi.

Hvis der anvendes faste modstande er et typisk forløb i en større ejendom:

- Udarbejdelse af principdiagram for hele anlæg, nummerering af alle ventiler.
- Beregning af alle vandmængder efter rumvarmebehov eller radiatorstørrelser.
- Beregning af alle forindstillinger på radiatorer og strengreguleringsventiler, hvis man anvender den såkaldte forindstillingsmetode.
- Indstilling af alle ventiler og kontrol måling.
- Hvis man anvender proportionalmetoden, forindstilles radiatorventilerne, og strengreguleringsventilerne indstilles efter de beregnede forholdstal mellem flowene i strengene. Herefter indstilles hovedflow på pumpe eller en central måleventil.

Hvis der anvendes aktive ventiler, dvs. trykdifferensventiler eller flowbegrænsere, indstilles de enkelte strenge efter de ønskede tryk eller de ønskede flow. Der kræves altså også beregning af flow.

Fordelen ved de aktive ventiler er først og fremmest, at vekselvirkningen mellem de enkelte strenge er langt mindre.

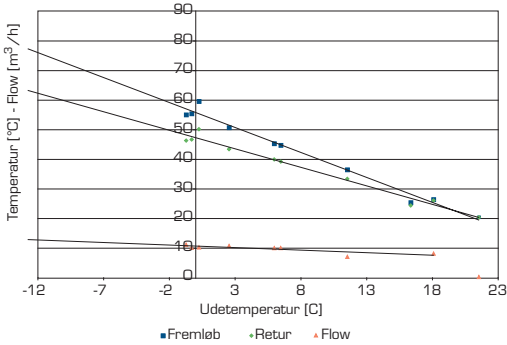
Med hensyn til ovennævnte forindstillingsmetode og proportionalmetode henvises til Varme Ståbi /6/.

9.9 Regulering af varmeanlæg

9.9.1 Udetemperaturkompensering af fremløbstemperaturen

På det, i kapitel 9.8, nævnte demonstrationsanlæg (Eksempel 12, VIBO i Hedehusene) blev der foretaget kontinuerte registreringer af fremløbs- og returtemperaturer samt flow. På anlægget benyttes udetemperaturkompensering af fremløbstemperaturen, hvilket fremgår af figur 9.9. Der er store energimæssige fordele ved at benytte denne reguleringsform:

- Reguleringsformen bevirker, at der ikke kan opnås unødvendige høje rumtemperaturer, specielt i overgangsperioderne.
- Reguleringsformen bevirker, at varmetabene fra cirkulationsledningerne (inkl. strengregulerings- og afspærringsventiler) bliver reducerede.



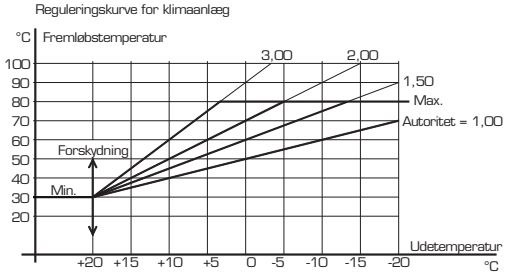
Figur 9.9. Udetemperaturkompensering af fremløbstemperaturen.

Som det ses i figur 9.9, medfører reguleringsformen, at flowet i anlægget stort set er konstant. Det betyder, at effekten af omdrejningstal regulerbare pumper bliver begrænset.

Indstilling af fremløbstemperaturkurven

I et udetemperaturkompenseringsanlæg kan der, som det ses i figur 9.10, vælges forskellige kurver, dvs. forskellige kurver for sammenhængen

mellem fremløbstemperatur og udetemperatur. Kurverne har, som det ses, forskellige hældninger (her kaldet autoritet). Kurverne kan endvidere parallelforskydes. I dette tilfælde ±20 °C. Der kan endvidere vælges en minimum- og maksimumbegrænsning af fremløbstemperaturen. I dette tilfælde henholdsvis 30 °C og 80 °C.



Forskydning:	Parallelforskydning af reguleringskurven. (± 20 °C)
Autoritet:	Hældning af reguleringskurven, Delta T_{Frem}: delta T_{Ude}
Min.:	Minimumbegrænsning af fremløbstemperatur. Her 30 °C
Max.:	Maximumbegrænsning af fremløbstemperatur. Her 80 °C

Figur 9.10. Udetemperaturkompensering af fremløbstemperaturen (Regulator - RECITHERM 2000).

Som udgangspunkt vælges en kurve, der går gennem to punkter. Det ene punkt er fremløbstemperaturen ved dimensionerende driftstilstand, dvs. ved en udetemperatur på -12 °C. Det andet punkt er fremløbstemperaturen ved ophør af fyringssæsonen, dvs. ved en udetemperatur på 17 °C. Den temperatur vil man typisk vælge til 25 - 30 °C.

Hvis det viser sig, at den valgte kurve ikke giver den ønskede komfort i opholdsrummene/lokalerne, kan man enten forskyde kurven eller vælge en kurve med en anden hældning.

I figur 9.10 ses, at kurverne er rette linjer. I nyere udetemperaturkompenseringsanlæg er kurverne krumme. Denne krumning sikrer, at fremløbstemperaturen i overgangsperioder (forår og efterår) bliver højere, end den ville være blevet, hvis kurven var en ret linje.

9.9.2 Natsænkning

I tabel 9.6 ses eksempler på besparelser og genopvarmningstider ved nat- og weekendsænkning. De angivne værdier, som kommer fra SBi-anvisning 196, "Varmeanlæg med vand som medium" /3/, skal betragtes som vejledende til brug ved en overslagsmæssig vurdering af, i hvilke tilfælde en sænkning kan være hensigtsmæssig. Værdierne er beregnet ved edb-simulering ved følgende forudsætninger:

- Den operative temperatur er sat til 21 °C i komforttiden. Udenfor komforttiden (i sænkningsperioden er minimumstemperaturen sat til 15 °C). Der er regnet med lokal regulering af radiatortermostatventiler. Udeklimaet er i beregningerne baseret på "short reference year" (SRY).

Eksempel 13

I et parcelhus på 140 m^2 fra 1990 hvor konstruktionen er ekstra let (trægulv, gipsloft m.m.) ønskes etableret natsænkning i otte timer pr. døgn. I parcelhuset er installeret en gaskedel, der kan yde 200 % ved det dimensionerende varmetab. Antallet af personer i parcelhuset er tre.

I tabel 9.6 ses, at der kan opnås en varmebesparelse på 6 kWh/m^2. Varmebesparelsen bliver således 840 kWh/år.

I tabel 4.1 ses, at et parcelhus på 140 m^2 fra 1990 skønsmæssigt vil have et varmenøgletal på 115 kWh/m^2. Parcelhusets varmeforbrug vil således være 16.100 kWh. Derfra skal, iflg. kapitel 10, trækkes 2.400 kWh til opvarmning af varmt brugsvand. Varmeforbruget til rumopvarmning er derfor 13.700 kWh. Etablering af natsænkning vil således medføre en besparelse på ca. 6 % af varmeforbruget til rumopvarmning.

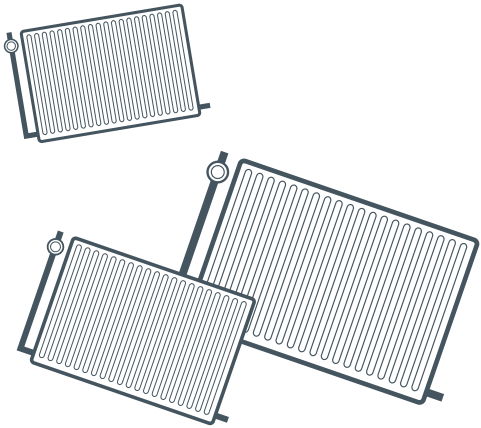
Eksempel 13 – fortsat

Hvis gaskedelen kun kunne yde 100 % ved det dimensionerende varmetab, ville der iflg. tabel 9.6 kunne opnås en varmebesparelse på 4 kWh/m^2. Varmebesparelsen ville så blive 560 kWh/år. Det ville svare til ca. 4 %.

Hvis parcelhuset havde været et ekstra let lavenergihus klasse 2 og med en gaskedel, der kan yde 200 % ved det dimensionerende varmetab, ville der iflg. tabel 9.6 kunne opnås en varmebesparelse på 2 kWh/m^2. Varmebesparelsen ville så blive 280 kWh/år.

Nøgletallet for varmeforbruget til rumopvarmning for et lavenergihus klasse 2 er ca. 45 kWh/m^2 (data fra det nye parcelhus i kapitel 5.1.2). Varmeforbruget til rumopvarmning er derfor 6.300 kWh. Etablering af natsænkning vil således medføre en besparelse på ca. 4 % af varmeforbruget til rumopvarmning.

Ved overslagsberegninger af varmebesparelser ved etablering af natsænkning kan man benytte et besparelsespotentiale på 5 %.



Bygningsvariant og sænkningsperioder	Varmetab [W/m² K]	Tidskon-stant [h]	Besparelse over varmesæsone		Genopvarmningstider			
			100 %[3] [kWh/m²]	100 % [kWh/m²]	tu = 0 °C[1]		tu = -12 °C[2]	
					100 % [h]	200 % [h]	100 % [h]	200 % [h]
Parcelhus med natsænkning i 8 h								
BR 82, ekstra let	1,4[5]	24	4	6	3	2	6	4
BR 82, middeltung	1,4[5]	72	4	5	2	1	4	3
Lavenergi, ekstra let	0,9[6]	36	1	2	1	1	5	3
Lavenergi, middeltung	0,9[6]	110	1	1	1	1	3	2
Etagebolig med natsænkning i 8 h								
Før 1979, middeltung	2,3[4]	43	8	9	4	3	7	6
BR 82, ekstra let	1,2[5]	28	4	5	2	1	4	2
BR 82, middeltung	1,2[5]	86	4	4	2	1	4	2

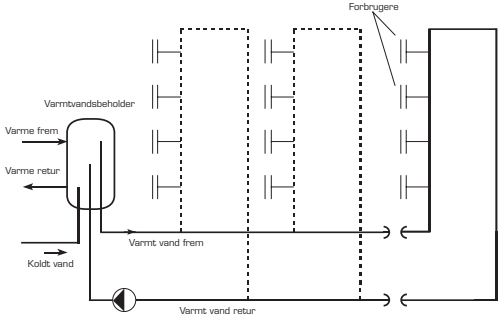
Bygningsvariant og sænkningsperioder	Varmetab [W/m² K]	Tidskon-stant [h]	Besparelse over varmesæsone		Genopvarmningstider			
			100 %[3] [kWh/m²]	100 % [kWh/m²]	tu = 0 °C[1]		tu = -12 °C[2]	
					100 % [h]	200 % [h]	100 % [h]	200 % [h]
Kontor/Institution med natsænkning i 14 h og weekendsænkning i 62 h (talværdier i parentes)								
Før 1979, middeltung	2,2[4]	40	23	34	7 (7)	3 (3)	- (>24)	7 (7)
BR 82, ekstra let	1,1[5]	20	12	16	7 (7)	3 (3)	13 (>24)	5 (5)
BR 82, middeltung	1,1[6]	80	10	12	10 (13)	2 (3)	- (>24)	2 (3)

[1] Typisk vintertilfælde
[2] Dimensionerende vintertilfælde
[3] Angiver varmegivers ydelse ved det dimensionerende varmetab i henhold til DS 418
[4] Luftskifte = 0,75 · h-1
[5] Luftskifte = 0,5 · h-1
[6] Luftskifte = 0,3 · h-1

Tabel 9.6. Besparelsespotentialer ved natsænkning /3/.

Brugsvandssystemer

10.1 Systemer til varmt brugsvand



Figur 10.1. Brugsvandsanlæg med cirkulation.

Ud over det viste system med beholder findes følgende:

- Systemer med ladekreds, dvs. en beholder med separat veksler (typisk en fembenet veksler, som er en veksler, der også tilgås af cirkulationsledningen) og en beholder uden indbygget varmeflade. Beholderen kan gøres mindre, og der kan opnås bedre afkøling af fjernvarmevand eller kedelvand. Der findes en del anlæg i etageboliger af denne type, men de er erfaringsmæssigt vanskelige både at designe og styre i praksis.
- Systemer med veksler. I enfamiliehuse er dette system almindeligt (uden cirkulation). I virkeligheden er anlægget mere egnet pga. samtidigheden i større anlæg.

10.1.1 Varmtvandsforbrug og beholdervolumen

Mange eksisterende varmtvandsbeholdere er overdimensionerede i forhold til det aktuelle forbrug. Mange ejendomme har beholdere, som har et volumen, der svarer til mellem et halvt og et helt døgns forbrug. Dette vurderes ikke at være hensigtsmæssigt i relation til bakterieproblematikken.

Når det eksisterende forbrug kendes – eventuelt ved at have aflæst en måler på koldtvandstilgangen til beholderne – kan den eksisterende reguleringsventil ofte med fordel dimensioneres efter det aktuelle behov i stedet for beholderens påstemplede effekt. Der skal dog være plads til varmetab, især fra brugsvandscirkulationen.

Det er svært at finde argumenter for, at en beholder skal kunne varmes op på 20 min., når den måske kun bliver tømt 1-2 gange i døgnet. Den hurtige gennemstrømning af fjernvarmevandet vil altid give en højere returvandstemperatur.

Afkølingen kan forbedres ved at reducere den gennemstrømmende fjernvarmemængde, således at opvarmningstiden forlænges nogle timer – vel at mærke uden at det medfører komfortmæssige ulemper.

10.1.2 Cirkulationsledning

For at kunne overholde vandnormens krav om maksimalt 10 sekunders ventetid (vejledning) før der kommer varmt vand ud af vandhanen, forsynes anlægget som oftest med en cirkulationsledning.

Det har været almindeligt, at cirkulationsledningen blev anbragt på koldtvandsledningen, lige før beholderen.

Ved beholdere skal cirkulationsvandet bestryge varmefladen på en sådan måde, at føleren kan føle temperaturen på det opvarmede cirkulationsvand. Det er vigtigt, at der ikke skabes for meget omrøring i beholderen, da det vil gå ud over afkølingen af fjernvarmevandet.

I eksempelvis en etagebolig skal pumpens flow være dimensioneret således, at temperaturfaldet (grundet varmetabet i cirkulationsledningen) på brugsvandet – fra varmtvandsbeholderen til den yderste forbruger – maksimalt er 3 - 5 °C.

I enfamiliehuse bør cirkulationsledning ofte undværes.

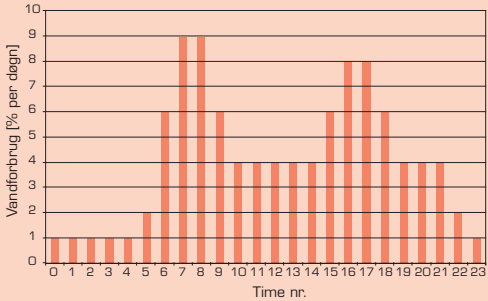
Eksempel 14

I en etagebolig med 100 beboere er det daglige forbrug af varmt brugsvand målt til 4 m^3. I varmecentralen er installeret en varmtvandsbeholder på 2.000 liter. Beholderen tømmes således to gange i døgnet.

Beholderens påstemplede effekt er 210 kW. Ved den effekt kan beholderen varmes op på en halv time.

For at bestemme den nødvendige effekt, er det nødvendigt at se på tappeprogrammet, dvs. varmtvandsstrømmen i % pr. døgn som funktion af tidspunktet, for ejendommen.

Tappeprogrammet fastlægges ud fra et skøn over det forventede forbrugsmønster i ejendommen. I figur 10.2 ses det forventede tappeprogram for ejendommen.



Figur 10.2. Tappeprogram for varmt brugsvand.

Den maksimale vandstrøm q i et interval på to timer (time 8+9) er:

$$q = \frac{4\ m^3/\text{døgn}\cdot(0{,}09+0{,}09)}{2h/\text{døgn}\cdot 3600\ s/h} = 0{,}0001\ m^3/s$$

Den nødvendige effekt i time 8 og 9 er:

$P = 0{,}0001\ m^3/s \cdot 1.000\ kg/m^3 \cdot 4{,}2\ kJ/kg\ K \cdot (55\text{-}10)\ °C = 18{,}9\ kW$

Endvidere tillægges et effekttab fra cirkulationsledningen. Dette effekttab er beregnet til 2,5 kW.

Den samlede effekt bliver således (18,9 kW + 2,5 kW) = 21,4 kW

For enhver tidsperiode gælder det, at en beholders energiindhold ved periodens begyndelse, adderet med den energimængde der produceres i perioden, skal være større end det aktuelle forbrug i perioden. Det antages, at varmefladens effekt i en vilkårlig tidsperiode kan betragtes som konstant, hvilket udtrykkes ved følgende:

$$E_{eff} + P_{eff} \cdot (\tau_2 - \tau_1) - \int_{\tau_1}^{\tau_2} P(\tau) \cdot dt \geq 0$$

Hvor:
E_{eff} er energiindholdet til tidspunktet t1 [kWh]
P_{eff} er den effektive beholdereffekt [kW]
τ_1 er tiden ved periodens begyndelse
τ_2 er tiden ved periodens slutning
$P(\tau)$ Den tappede effekt som funktion af tiden [kW]

Den effektive beholdereffekt er et mål for den effekt, som varmefladen kontinuert kan overføre til brugsvandet, dvs. den varmtvandsydelse som beholderen yder kontinuert ved en given effekttilførsel.

Indsættes effekten på 21,4 i ovenstående udtryk fås:

$$E_{eff} + P_{eff} \cdot (9\text{-}7) - \int_{7}^{9} 21{,}4 \cdot dt \geq 0 \Leftrightarrow$$

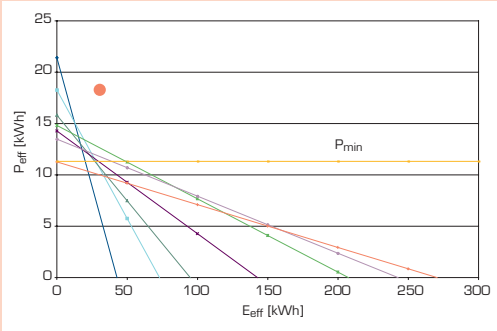
$$P_{eff} \geq -\tfrac{1}{2} \cdot E_{eff} + 21{,}4\ kW$$

Gentages dette for intervallerne 4, 6, 10, 14, 18 og 24 fås ulighederne anført i tabel 10.1.

τ [h]	$P(\tau)$ [kW]	Ulighed
2	21,4	$P_{eff} \geq -1/2 \cdot E_{eff} + 21{,}4$ kW
4	18,3	$P_{eff} \geq -1/4 \cdot E_{eff} + 18{,}3$ kW
6	15,8	$P_{eff} \geq -1/6 \cdot E_{eff} + 15{,}8$ kW
10	14,3	$P_{eff} \geq -1/10 \cdot E_{eff} + 14{,}3$ kW
14	14,8	$P_{eff} \geq -1/14 \cdot E_{eff} + 14{,}8$ kW
18	13,5	$P_{eff} \geq -1/18 \cdot E_{eff} + 13{,}5$ kW
24	11,3	$P_{eff} \geq -1/24 \cdot E_{eff} + 11{,}3$ kW

Tabel 10.1. Tappeprogram for varmt brugsvand.

Med disse uligheder kan (E_{eff}, P_{eff})-kurverne indtegnes, jf. figur 10.3.



Figur 10.3. (E_{eff}, P_{eff})-kurver.

Det mulige løsningsområde, jf. udtrykkene for P_{eff}, er området over kurverne.
Punktet (25 kWh, 18 kW) vælges som løsning.

Effekten på de 18 kW gælder for en ren varmeflade, men denne vil under driften kalke til, derfor tillægges effekten en multiplikationsfaktor, fp, der her sættes til 1,2.

Effekten P bliver derfor (1,2 · 18 kW) 21,6 kW.

Hvis det forudsættes, at varmtvandsbeholderen aftappes med en konstant volumenstrøm, q_v, vil temperaturen af det aftappede vand falde med tiden. Når temperaturen når ned på den mindste værdi, der kan accepteres, er den effektive energi udtømt. Volumenet, der svarer til dette tidspunkt, kaldes for det effektive beholdervolumen, og kan bestemmes ved hjælp af nedenstående formel:

$$V_{eff} = \frac{E_{eff}}{(T_{v,0} - T_k) \cdot c_p \cdot \rho}$$

Hvor:
E_{eff} er beholderens effektive energiindhold [kWh]
$T_{v,o}$ er temperaturen for det vand der aftappes først [°C]
T_k er temperaturen på det kolde vand [°C]
c_p er vandets specifikke varmefylde [kJ/kg·°C]
ρ er vandets massefylde [kg/m^3]

Det effektive beholdervolumen kan herefter beregnes til:

$$V_{eff} = \frac{25\ \text{kWh} \cdot 36\ \text{kJ/kWh}}{(55 - 10)\ °\text{C} \cdot 4{,}2\ \text{kJ/kg}\ °\text{C} \cdot 1000\ \text{kg/m}^3} \approx 0{,}5\ \text{m}^3$$

V_{eff} er dermed et udtryk for det vandvolumen med den ønskede tappetemperatur, der kan tages i regning. Det geometriske volumen af beholderen, V_{geo}, er større end V_{eff}, hvilket udtrykkes gennem en multiplikationsfaktor, f_v, der kan sættes til 1,4.

Det geometriske volumen af beholderen er dermed (1,4 · 0,5 m^3) 0,7 m^3.

Som det ses, er beholderen og beholderens varmeflade betydelig større end nødvendigt.

I tabel 11.4 ses varmetab fra varmtvandsbeholdere i forskellige størrelser som funktion af isoleringstykkelsen.

Eksempel 14 – fortsat

Antages det, at beholderen på 2.000 liter er isoleret med 50 mm isoleringsmateriale, kan varmetabet aflæses til 9,2 W/K. Udskiftes beholderen til en 750 liter beholder med 100 mm isoleringsmateriale, kan varmetabet aflæses til 3,7 W/K. Varmetabet kan således mere end halveres ved at udskifte beholderen til en mindre og bedre isoleret beholder.

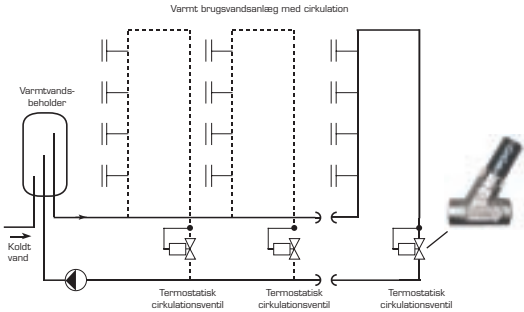
10.2 Cirkulationsventiler (varmt brugsvand)

På varmt brugsvandsanlæg kan man ofte komme ud for, at temperaturen på det cirkulerende vand er højere end nødvendigt, når det returnerer til beholderen. Dette medfører et højere varmetab fra cirkulationsledningen og dermed et højere energiforbrug.

Anlæggene kan ofte også være utilstrækkeligt indregulerede, hvilket bevirker, at ventetiden på varmt brugsvand bliver relativ lang. Det medfører også et højere energi- og vandforbrug.

Ovenstående problemer kan løses ved at montere termostatiske cirkulationsventiler på returledningerne, som vist på figur 10.4. Det sikrer, at den cirkulerende vandmængde overalt har en given minimumstemperatur. Ved faldende temperatur i cirkulationsledningen åbner cirkulationsventilen for vandgennemstrømning. Ved stigende temperatur lukker cirkulationsventilen for gennemstrømning. Anvendelse af termostatiske cirkulationsventiler vil endvidere ofte medføre et reduceret elforbrug til drift af cirkulationspumper.

Termostatiske ventiler kan øge risikoen for legionella, og der fås i dag systemer med elektriske aktuatorer, så der med regelmæssige mellemrum kan cirkuleres vand af høj temperatur gennem de forskellige anlægsgrene.

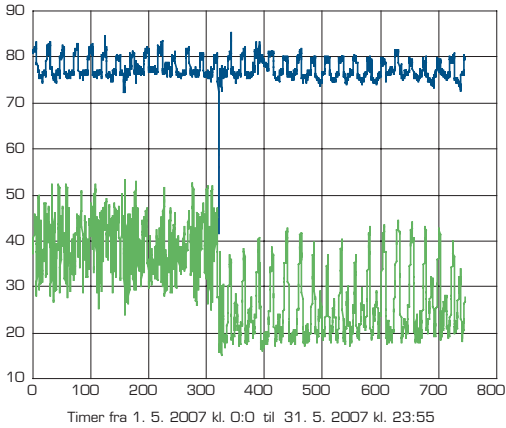


Figur 10.4. Varmt brugsvandsanlæg med cirkulationsventiler

10.2.1 Vedligeholdelse

I figur 10.5 ses vigtigheden af at vedligeholde anlægget. I figuren ses frem- og returtemperaturer på fjernvarmekredsen til en varmtvandsbeholder. Før rensningen af varmeveksleren lå returtemperaturen gennemsnitligt på 40 °C. Efter rensningen lå returtemperaturen gennemsnitligt på 25 °C. Altså et fald på 15 °C.

En reduktion af returtemperaturen medfører ikke energibesparelser hos den enkelte forbruger, men bevirker, at energien i fjernvarmevandet udnyttes bedre. Stor afkøling af fjernvarmevandet kan i bedste fald betyde en bonus fra fjernvarmeselskabet.



Figur 10.5. Frem og returtemperaturer på fjernvarmekredsen til varmtvandsbeholder. Rensning af varmeveksler.

10.2.2 Bakterier i det varme vand

Der kan vokse farlige legionellabakterier i det varme vand. Særligt kan varmtvandsbeholdere med længere opholdstider og ved lave temperaturer give problemer. Der findes forholdsregler herimod som fx høje temperaturer, "temperaturgymnastik", diverse filtre, UV behandling m.m.

Anlæg med varmevekslere regnes for mindre kritiske, men der kan i udstrakte anlæg også godt komme problemer. Høje temperaturer hjælper, men giver også større energiforbrug og større kalkbelægninger på varmefladerne.

10.2.3 Energiforhold ved opvarmning af brugsvand

Enfamiliehuse:

- Nettoenergiforbrug til varmt vand er 800 kWh pr. person pr. år med en meget stor spredning.
- For enfamiliehuse med tre personer ca. 2.400 kWh pr. år, dvs. en gennemsnitseffekt (i 8.760 timer) på ca. 275 W.

- Hvis sommerforbruget betragtes for enfamiliehuse, kan dette tal sammenlignes med tomgangstabet:

Typisk tomgangstab for varmeproducerende enhed	Bedste system		Dårlige systemer	
	Tab [W]	Marginalvirkningsgrad[1] [%]	Tab [W]	Marginalvirkningsgrad[1]) [%]
Fjernvarme	100	100	400	100
Gasfyring	150	100	500	85
Oliefyring	150	98	1000	85

[1] Marginalvirkningsgraden er virkningsgraden på brænderen, som kan antages konstant året rundt

Tabel 10.2. Typiske tomgangstab.

- Cirkulationsledningen i enfamiliehuse kan let give et yderligere tab på 200 - 300 W ved konstant anvendelse. Hertil kommer elforbrug, der - ved en god pumpe – kan være 100 - 200 kWh pr. år.

Lejligheder:
- For ældre lejligheder findes typisk et varmtvandsforbrug på 25 - 30 % af det samlede forbrug.
- Ca. halvdelen af dette går til varmetab fra beholder/veksler og cirkulationsledningen.
- Forbruget, dvs. den energi, der kommer ud af hanerne, er ca. 800 kWh pr. person pr. år.

10.3 Regulering af anlæg til varmt brugsvand med beholder

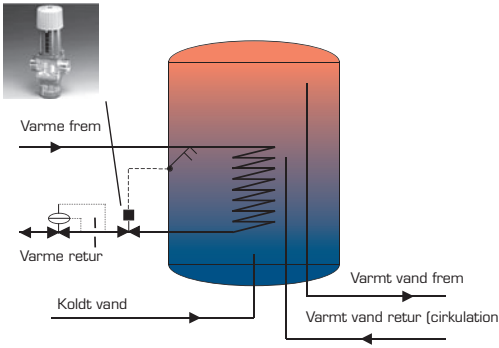
I figur 10.6 ses et anlæg til varmt brugsvand med beholder. I det følgende behandles anlæg, hvor brugsvandet opvarmes med fjernvarme, da der specielt på den type anlæg er forhold, der har stor betydning for energiøkonomien.

For anlæg, hvor brugsvandet opvarmes med fjernvarme, er det vigtigt, at de er konstrueret og dimensioneret således, at der opnås stor afkøling af fjernvarmevandet, når de fysiske forhold er til stede herfor. Det vil sige, når der er tappet

meget varmt vand, og beholderen derfor er kold i bunden.

Som grundregel gælder, at fjernvarmereturtemperaturen altid skal tilstræbes kun at være få grader højere end beholdertemperaturen i bunden. Man skal dog her være opmærksom på, at cirkulationsledningen i lange perioder af døgnet er den eneste belastning. Når "dynamiske effekter" er døet ud, er det cirkulationsledningens temperatur, der afgør afkølingen.

For kedeldrevne anlæg er styringen mindre kritisk. En simpel termostat, der starter og stopper en ekstra pumpe, kan være en god løsning. Ved kondenserende gaskedler kan bemærkningerne om afkøling gælde i visse tilfælde. Man skal dog være opmærksom på, at mange lette gaskedler ikke kan køre med stor forskel mellem frem og returtemperatur.



Figur 10.6. Anlæg til varmt brugsvand med beholder.

10.3.1 Reguleringsventil

I anlæg til varmt brugsvand med beholder benyttes typisk selvvirkende ventiler. For større anlæg anvendes dog ofte elektronisk automatik (se figur 10.6).

Føleren til regulering af temperaturen på det varme vand skal være placeret vandret på beholderens side lidt lavere end toppen af varmefladen

i beholderen. Derved er hele spiralen med til at varme vandet op uden at "overopvarme" det allerede varme vand i toppen af beholderen.

Det er vigtigt af hensyn til afkølingen af fjernvarmevandet, at der findes en begrænsning af den maksimale vandstrøm til varmefladen. Denne mængdebegrænsning kan realiseres på flere måder:

- Ved en ekstra føler/ventil i returen. Man skal dog her være opmærksom på, at der uundgåeligt ved de fleste anlæg i perioder vil komme en høj returtemperatur, jf. ovenstående.
- Ved en egentligt mængde begrænsning som vist på figur 10.6. Ved denne løsning anvendes en stor ventil, der så får et lille proportionalbånd, fx 2 K eller måske virker on/off. Det spiller ingen rolle for komforten, og løsningen giver den maksimale ydelse af beholderen.
- Ved at bruge en meget lille ventil med proportionalbånd svarende til fuldt åben ventil på 6 - 10 K, der i sig selv giver en mængdebegrænsning. Denne løsning kan give nogle fordele, den er billig og giver en vis temperaturvariation, som kan være en fordel mht. til legionella. Løsningen kan reducere beholderens ydelse.

Eksempel 15

Et anlæg til varmt brugsvand er dimensioneret efter værkets forskrifter, hvori der står, at mindste forekommende differenstryk ved stikket er 3 mVS.

Ventilen er derfor dimensioneret således, at der strømmer den maksimale beregnede vandmængde (100 %) igennem den ved et ΔP på ca. 1,5 mVS.

Proportionalbåndet (Xp) er 2 °C. Det vil sige, at følertemperaturen skal falde 2 °C fra den indstillede temperatur, for at ventilen har åbnet så meget, at den gennemstrømmes af 100 % vand.

Problemet for reguleringen er, at fjernvarmeværket normalt leverer et differenstryk, der er ca.

fire gange større end forudsat ved beregningen af ventilen. Ved et differenstryk over ventilen på 6 mVs vil der strømme det dobbelte af den beregnede maksimale vandmængde igennem ventilen.

Varmtvandsbeholderne vil derfor i enhver driftssituation gennemstrømmes af en større mængde fjernvarmevand end forudsat ved dimensioneringen. Konsekvensen vil være, at returtemperaturen bliver højere.

Der er flere løsningsmuligheder:

- En trykdifferensregulator monteret over ventilen. Denne løsning vil man vælge ved en gennemstrømningsvandvarmer, og løsningen anvendes også ved beholdere. Det er imidlertid svært at forudsige, hvorledes ventilens proportionalbånd påvirker varmtvandsydelsen og reguleringsnøjagtigheden. Det hænger sammen med, at reguleringens føler i beholderen køles meget mere end svarende til ventilens proportionalbånd, når der tappes fra beholderen.
- En kobling, hvor ventilen gøres rigeligt stor, altså med et lille proportionalbånd, men hvor der til gengæld monteres en mængdebegrænser i returledningen, som vist på figur 10.6.

En mængdebegrænser er en trykdifferensregulator, der måler differenstrykket over en fast modstand. Denne ventil står derfor fuldt åben, når temperaturventilen er lukket. Når beholderen kalder på varme, indstiller mængdebegrænseren sig til det ønskede flow.

Generelt er regulering af beholdertemperaturen temmelig ukritisk, idet der er et gunstigt forhold mellem beholderens reaktionstid og reguleringens reaktionstid. Simple reguleringssystemer kan give god varmtvandskapacitet og nøjagtige temperaturer. Problemet med beholdere (inklusiv cirkulationsledning) er fjernvarmens krav til stor afkøling. Det krav kan også findes ved installationer med kondenserende kedler.

10.4 Regulering af anlæg til varmt brugsvand med veksler

Varmevekslere uden forråd anvendes i betydelig udstrækning i enfamiliehuse og lejlighedsvis i etageboliger. Fordelene burde være størst i etageboliger pga. samtidigheden.

Fordele ved vekslerløsningen:

- Meget kompakte anlæg.
- Vekslerne løber aldrig tør.
- Mindre risiko for legionella.
- Der kan principielt opnås en bedre afkøling ved vekslerløsningen.

Ulemper ved vekslerløsningen:

- Der skal påregnes vedligeholdelse på grund af tilstening. Dette afhænger af forsyningstemperaturen.
- Reguleringen er mere kritisk. Der kan ved anvendelse af de såkaldte fembenede vekslere opnås en gunstig selvregulerende virkning.
- Der skal i reglen bruges et højere forsyningstryk.

Generelt kan man sige at vekslerløsninger egner sig i fjernvarmenet med lav temperatur, og hvor nettet er hydraulisk kraftig, dvs. giver et stabilt differenstryk. Beholdere egner sig til hydraulisk svage net med højere fremløbstemperatur.

Teknisk isolering

I BR08 står der, at installationer skal udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås. De skal isoleres mod varmetab og kondens i overensstemmelse med DS 452 /20/, norm for termisk isolering af tekniske installationer. I henhold til DS 452 kan normale bygningsinstallationer og dele af dem klassificeres efter tabel 11.1.

Isoleringsklassen for installationerne vist i tabel 11.1 er fastlagt af driftsparameteren, der afhænger af den årlige driftstid for installationen, sat i relation til forskellen mellem installationens og omgivelsernes temperatur.

I tabel 11.2 ses eksempler på isoleringstykkelser for forskellige rørdiametre og isoleringsklasser. Driftstemperaturen er 60 °C og omgivelsestemperaturen er 20 °C.

Anlægstype	Isoleres ikke	Klasse			
		1	2	3	4
Centralvarmeanlæg Ledninger i drift i varmesæsonen med temperaturer varierende med belastningen:					
Uopvarmede rum					
Opvarmede rum					
Installationer, der er i drift hele året, fx hovedledninger og varmtvandsbeholder					
Mindre varmevekslere der forsyner en bolig og er anbragt i boligen, kan isoleres som anført for vandvarmere	Den beregningsmæssige eller den målte varmeafgivelse må ikke overstige de i figur 11.1 angivne værdier				
Stikledninger i samme rum som radiatoren					

Tabel 11.1 del 1. Klassificering af normale bygningsinstallationer og dele af dem (angivet med rødt).

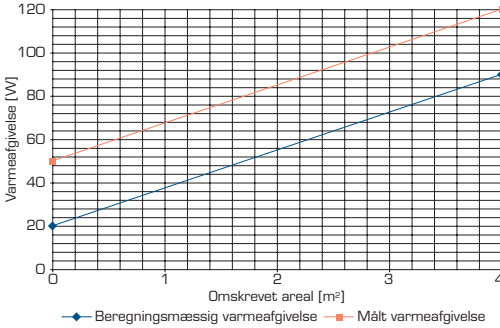
Anlægstype	Isoleres ikke	Klasse			
		1	2	3	4
Varmt brugsvandsanlæg Fordelingsledninger i drift hele året, (anlæg med T < 55 °C):					
Driftstid mere end 60 timer pr. uge					
Driftstid mindre end 60 timer pr. uge					
Vandvarmere der forsyner ét eller flere steder i samme bolig og som er anbragt i boligen:					
Kappetype (T max = 65 °C)	Den beregningsmæssige eller den målte varmeafgivelse må ikke overstige de i figur 11.1 angivne værdier				
Beholder med indlagt varmeflade og gennemstrømningsvandvarme (T max = 55 °C)	Den beregningsmæssige eller den målte varmeafgivelse må ikke overstige de i figur 11.1 angivne værdier				
Ventilationsanlæg					
Udsugningsanlæg uden varmegenvindingskomponenter					
Udsugningsanlæg med varmegenvindingskomponenter i uopvarmede rum					

Tabel 11.1 del 2. Klassificering af normale bygningsinstallationer og dele af dem (angivet med rødt).

Udvendig rørdiameter [mm]	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
15	20	20	30	30
17	20	20	30	30
21	20	20	30	40
27	20	30	40	40
34	20	30	40	50

Tabel 11.2. Eksempler på isoleringstykkelser i mm for forskellige rørdiametre og isoleringsklasser.

Til beregning af tilladelig varmeafgivelse fra mindre varmevekslere, vandvarmere og lignende, kan figur 11.1 anvendes. Figuren viser den beregningsmæssige og målte varmeafgivelse som funktion af det omskrevne areal. Med den omskrevne areal menes det "omsluttende" areal. Altså det samlede yderareal.



Figur 11.1. Tilladelig varmeafgivelse fra mindre varmevekslere, vandvarmere og lignende.

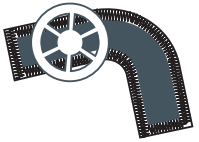
11.1 Varmetab for rør, ventiler og andre armaturer

I tabel 11.3 ses varmetab fra henholdsvis stålrør og kobberrør.

For at beregne varmetabet for ventiler og andre armaturer er det nødvendigt at kende ventilernes og armaturernes ækvivalente rørlængder. Nedenfor ses ækvivalent rørlængde for typiske ventiler og pumper:

- Lille ventil (< 25 mm) 0,2 m
- Middel ventil (≥ 25 mm, < 50 mm) 0,5 m
- Stor ventil (≥ 50 mm) 1,0 m
- Stor ventil med flanger (≥ 50 mm) 1,5 m
- Pumpe 2,0 m

Når ventilernes og armaturernes ækvivalente rørlængder kendes, kan varmetabet findes i tabel 11.3 (uisolerede stålrør).



Rørtyperørdiameter	Tab i W/m K							
Stålrør/isoleringstykkelse	0 mm	10 mm	15 mm	20mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm
3/8"	0,83	0,25	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,12
1/2"	1,01	0,29	0,24	0,21	0,17	0,15	0,14	0,13
3/4"	1,23	0,34	0,28	0,24	0,2	0,17	0,16	0,14
1"	1,49	0,4	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17	0,16
1 1/4"	1,82	0,48	0,39	0,33	0,26	0,22	0,2	0,18
1 1/2"	2,04	0,54	0,43	0,36	0,28	0,24	0,21	0,19
2"	2,47	0,64	0,51	0,42	0,33	0,28	0,24	0,22
2 1/2"	3,03	0,79	0,61	0,51	0,39	0,33	0,28	0,25
3"	3,46	0,9	0,7	0,58	0,44	0,36	0,32	0,28
4"	4,31	1,13	0,86	0,71	0,54	0,44	0,38	0,33
5"	5,13	1,35	1,03	0,84	0,63	0,51	0,44	0,39
6"	6,03	1,61	1,22	0,99	0,74	0,59	0,51	0,44

Tabel 11.3 del 1. Varmetab fra rør.

Rørtyperørdiameter	Tab i W/m K							
Kobberrør/isoleringstyk-kelse	0 mm	10 mm	15 mm	20mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm
10/12 mm	0,61	0,2	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1
15/13 mm	0,74	0,23	0,2	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
18/16 mm	0,87	0,26	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,12
22/20 mm	1,03	0,3	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13
28/25 mm	1,27	0,35	0,29	0,25	0,2	0,18	0,16	0,15
35/32 mm	1,54	0,42	0,34	0,29	0,23	0,2	0,18	0,16
42/39 mm	1,81	0,48	0,38	0,33	0,26	0,22	0,2	0,18
54/50 mm	2,25	0,59	0,46	0,39	0,31	0,26	0,23	0,21

Tabel 11.3 del 2. Varmetab fra rør.

11.2 Varmetab fra varmtvandsbeholdere

I tabel 11.4 ses varmetab fra varmtvandsbeholdere i forskellige størrelser som funktion af isoleringstykkelse.

Beholder Volumen	Tab i W/K				
			30 mm PUR	50 mm PUR	
	0 mm	30 mm	50 mm	75 mm	100 mm
50 l	6,1	1,2	1	0,9	0,8
100 l	9,7	1,8	1,5	1,3	1,2
150 l	12,4	2,2	1,9	1,6	1,5
200 l	14,8	2,6	2,3	1,9	1,7
300 l	20	3,5	3	2,5	2,2
500 l	27,4	4,7	4	3,3	2,9
750 l	35,3	6	5,1	4,1	3,7
1.000 l	42,1	7,1	6,1	4,9	4,3
1.500 l	54,3	9	7,7	6,2	5,4
2.000 l	65,6	10,8	9,2	7,3	6,4
2.500 l	73,1	12	10,2	8,1	7,1
3.000 l	82,6	13,5	11,5	9,1	7,9
5.000 l	112,6	17,5	14,7	11,4	9,7
10.000 l	181,8	28,7	24,2	18,9	16,2

Tabel 11.4. Varmetab fra varmtvandsbeholdere som funktion af isoleringstykkelse.

Eksempel 16

I forbindelse med energimærkning af en ældre etagebolig har energimærkningskonsulenten registreret følgende på ejendommens loft:

- 400 m 2" cirkulationsledning (fremløb – hovedledninger) isoleret med 15 mm isoleringsmateriale og med en gennemsnitlig medietemperatur i fyringssæsonen på 55 °C.
- 300 m 1" cirkulationsledning (fremløb – stikledninger) isoleret med 15 mm isoleringsmateriale og med en gennemsnitlig medietemperatur i fyringssæsonen på 55 °C.

Energikonsulenten foreslår at rørene og ventilerne efterisoleres med 25 mm isoleringsmateriale.

Idet den gennemsnitlige temperatur på loftet er vurderet til ca. 10 °C, kan varmebesparelsen vha. tabel 11.3 (markeret rød) beregnes til:

$E_{besparelse}$ = ((400 m · (0,51 W/m °K – 0,28 W/m °K) · (55 - 10) °K) + (300 m · (0,33 W/m °K – 0,19 W/m °K) · (55 - 10) °K)) · 5.500 timer/år = 33.200 kWh/år

De 5.500 timer er det omtrentlige antal timer i fyringssæsonen.

Varmemåling og -afregning

I 1998 blev det påbudt (Bekendtgørelse nr. 891 af oktober 1996) at måle el og varme individuelt. For varme anvendes varmeenergimålere og/eller varmefordelingsmålere.

For fælles varmeforsyning er det boligejeren, der er varmeleverandøren, og som fordeler udgifterne efter reglerne i dels ovennævnte bekendtgørelse dels efter lejeloven.

Følgende træk af disse regler kan fremhæves:

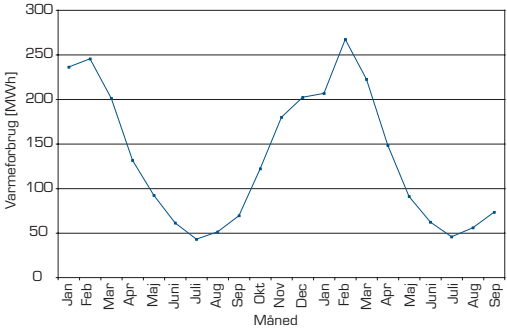
- Man kan slippe for måling, hvis udgifterne hertil er for høje i forhold til besparelsen.
- Der skal korrigeres for udsat beliggenhed. Korrektionen kan foretages i både den variable del (målerforbrug/tællinger) og i den faste del (typisk en m^2 afhængig afgift).
- Mindst 40 % af den forbrugsafhængige del af den samlede varmeregning skal afregnes over målerne i de enkelte lejemål.
- De enkelte lejemål kan klage til beboerklagenævnet.
- Der kan klages til sikkerhedsstyrelsen, hvis der konstateres måletekniske problemer.

Det er vigtigt at vide, at varmeforbruget varierer meget i lejlighedsbebyggelser. Typisk er der lejligheder, der ingen varme bruger, og der er lejligheder, der bruger 3 - 4 gange så meget varme som gennemsnittet. Dette gælder også i ejendomme, hvor de individuelle lejemål er forsynet med varmeenergimålere. En af årsagerne til dette er, at der sker en vis udveksling af varme lejligheder imellem. Hertil kan komme, at varmefordelingsmålere har systembetingede fejl, som både kan forstærke og mindske den store forskel i forbrug. Varmefordelingsmålere skal dimensioneres og skaleres korrekt.

Videre gælder, at varmeregnskabets fordelingsnøgler kan vælges, så der også her kan ske en udjævning af varmeregningerne. Der er flere muligheder for at forbedre et varmeregnskab, så antallet af klager formindskes.

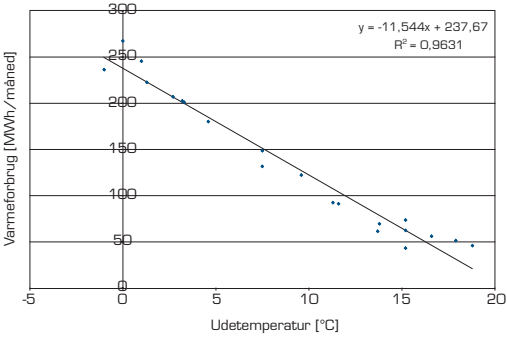
12.1 Energisignatur

I figur 12.1 ses målinger af månedlige varmeforbrug (januar 2004 til september 2005) i den tidligere nævnte etagebolig /7b/.



Figur 12.1. Målinger af månedlige varmeforbrug.

I figur 12.2 ses energisignaturen for etageboligen. Energisignaturen indeholder målte månedlige varmeforbrug som funktion af månedlige middeludetemperaturer (fra DMI).



Figur 12.2. Energisignatur – Målte varmeforbrug som funktion af udetemperaturen.

I figuren, er indtegnet en tendenslinie, og der ses en tydelig lineær sammenhæng mellem varme-

forbruget og udetemperaturen. Determinationskoefficienten (R^2-værdien) for dataene er således 96 % (0,96), hvilket viser, at sammenhængen mellem målepunkterne og den rette tendenslinie er stor.

Energisignaturen kan anvendes til at afsløre betydelig udsving i varmeforbruget, forårsaget af fx:

- Defekt udetemperaturkompenseringsanlæg.
- Uhensigtsmæssig adfærd, fx forkert indstilling af radiatortermostatventiler eller opvarmning i mange timer med åbne vinduer.
- Forhøjet forbrug af varmt brugsvand.

Energisignaturen vil ændre sig, hvis der eksempelvis foretages ændringer af klimaskærmen (efterisolering eller udskiftning af vinduer), udskiftning af kedel eller ændring af vaner (fx reduktion af rumtemperaturer).

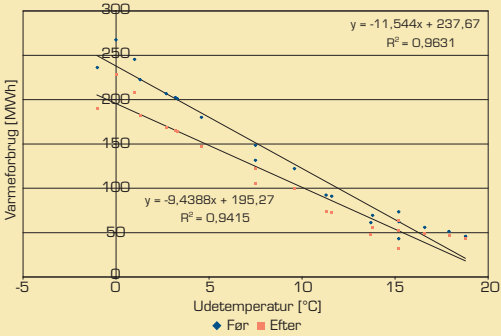
Eksempel 17

I etageboligen udskiftes samtlige vinduer med 2 lags termoruder til vinduer med 2 lags lavenergiruder. Det samlede vinduesareal i ejendommen er 2.100 m^2.

I figur 12.3 ses energisignaturen fra figur 12.2 samt energisignaturen efter udskiftning af vinduerne. Ganske naturligt er hældningen på kurven for den nye energisignatur lavere.

For at beregne den årlige varmebesparelse som følge af den energimæssige forbedring er man nødt til at anvende data for udetemperaturen i normalåret. Man kan ikke sammenligne energi målingerne umiddelbart, i og med forbruget som oftest er registreret ved forskellige udetemperaturer.

Disse udetemperaturer indsættes i de matematiske udtryk for energisignaturerne.



Figur 12.3. Energisignaturer – Målte varmeforbrug som funktion af udetemperaturen før og efter udskiftning af vinduer.

Indsætter man de månedlige udetemperaturer i normalåret i udtrykkene for energisignaturerne får man:

Varmeforbrug før:	1.762 MWh
Varmeforbrug efter:	1.452 MWh
Varmebesparelse:	310 MWh

Efter udskiftningen af vinduerne vil det sandsynligvis være muligt at reducere fremløbstemperaturen. Det vil igen ændre energisignaturen, idet hældningen på kurven for energisignaturen vil blive lavere.

Andre kilder

Andre hjælpeværktøjer – links – kilder

Håndbøger

/1/ Håndbog for energikonsulenter 2008, Energistyrelsen.

/2/ Indeklimahåndbogen - 2. udgave, SBi-anvisning 196, Statens Byggeforsknings Institut, 2000, Ole Valbjørn, Susse Lausten, John Høwisch, Ove Nielsen og Peter A. Nielsen. ISBN 87-563-1041-6

/3/ Varmeanlæg med vand som medium, SBi-anvisning 196, Statens Byggeforsknings Institut, 2000, Kaj Ovesen. ISBN 87-563-1058-7

/4/ Energiledelsesordningen, kapitel 2 "Varmeanlæg" i ELO-kompendie, Teknologisk Institut, 2005.

/5/ Den lille blå om Sparepumper, 2. udgave, ELFOR, 2005, Otto Paulsen og Claus M. Hvenegaard. ISBN 87-91326-11-7

/6/ Varme Ståbi, 4. udgave, Nyt Teknisk Forlag, 2004. ISBN 87-571-2546-5

Rapporter, kataloger, vejledninger og standarder

/7a/ Varmepumpeanlæg til fritidshus eventuelt i kombination med solvarme, Projekt nr. 336-070 som er bevilget under PSO 2004 administreret af Dansk Energi.

/7b/ Værktøj for pumpevalg – overvågning og renovering (varmeinstallationer), Projekt nr. 337-080 som er bevilget under PSO 2005 administreret af Dansk Energi.

/8/ Energi-effektiv produktion og distribution af varmt brugsvand i bygninger, EFP 2005, MEK DTU, SBi og Birch- & Krogboe.

/9/ Energibesparelser i eksisterende og nye boliger, 2004, Byg DTU R-080. ISBN 87-7877-143-9

/10/ Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug, Dansk Energi Analyse, september 2000.

/11/ Katalog for standardværdier, Energistyrelsen, 1. januar 2008.

/12/ ELMODEL-bolig, Nye husholdningsapparaters elforbrug 1970-2004, ELMODEL-bolig Datagrundlag 2004, IT Energy rapport TR 2005/2.

/13/ Elsparefondens indkøbsvejledning for belysningsanlæg.

/14/ DS/EN ISO 7730 "Ergonomi indenfor termisk miljø – Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregninger af PMV- og PPD indekser og lokale termiske komfortkriterier", Dansk Standard.

/15/ DS/CEN/CR 1752 "Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet", Dansk Standard.

/16/ DS/EN 442-1/A1 "Radiatorer og konvektorer". 2006.

/17/ DS 469/Till. 2. "Varmeanlæg med vand som varmebærende medium". 2007

/18/ DS/EN 1264-1 "Gulvvarme. Systemer og komponenter".1998

/19/ DS/EN 15377-3 " Varmesystemer i bygninger". 2007

/20/ DS 452 "Termisk isolering af tekniske installationer". 2. udgave. 1999.

Hjemmesider

Dansk Energi
www.danskenergi.dk

Dansk Fjernvarme
www.dff.dk

Dansk Gasteknisk Center – DGC
www.dgc.dk

Dansk Standard
www.ds.dk

ELFORSK
www.elforsk.dk

Elselskaberne i Danmark
www.elselskaberneidanmark.dk

Elsparefonden
www.elsparefonden.dk

Energistyrelsen
www.ens.dk

Erhvervs og Byggestyrelsen
www.ebst.dk

FEM-sekretariatet
www.femsek.dk

Fælles sparesite
www.sparenergi.dk

Isover
www.isover.dk

Rockwool
www.rockwool.dk

Statens Byggeforsknings Institut
www.sbi.dk

Teknologisk Institut
www.teknologisk.dk

Energieffektivisering af bygninger – et ansvar vi alle skal løfte

40 procent af vores energiforbrug sker i vores bygninger. Men vi kan nemt bringe forbruget i enfamiliehuse, etageejendomme og kontorbygninger ned. Og vi kan alle bidrage ved at effektivisere vores anvendelse af energien. Det kan fx ske ved at isolere vores bygninger bedre og ved at ændre vores adfærd. Med et reduceret energiforbrug vil vi samtidig bidrage til at reducere CO_2-udslippet væsentligt. Det er godt for klimaet. Det er godt for økonomien. Og så er det sund fornuft.

Der er masser af muligheder for at spare på energien i bygninger, men vi skal selvfølgelig vide, hvor vi skal sætte ind. Her er "Den lille blå om Varme" et godt redskab.

Jeg håber, at "Den lille blå om Varme" fra Dansk Energi kan bidrage til, at komfort og energiforhold i vores bygninger forbedres til gavn for os alle – og til gavn for klodens klima.

Klima- og energiminister Connie Hedegaard.