

Aalborg Universitet



Energibesparelser i nybyggeriet

Status år 2000

Aggerholm, Søren

Publication date:
2001

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Aggerholm, S. (2001). *Energibesparelser i nybyggeriet: Status år 2000*. SBI forlag. By og Byg Dokumentation Nr. 006

General rights

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

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

Take down policy

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

By og Byg Dokumentation 006

Energibesparelser i nybyggeriet

Status år 2000

Energibesparelser i nybyggeriet

Status år 2000

Søren Aggerholm

Titel	Energibesparelser i nybyggeriet
Undertitel	Status år 2000
Serietitel	By og Byg Dokumentation 006
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2001
Forfatter	Søren Aggerholm
Sprog	Dansk
Sidetæl	96
Litteratur-henvisninger	Side 95-96
English summary	Side 93-94
Emneord	Energiforbrug, energibesparelse, klimaskærm, ventilation, varmeisolering, nybyggeri, varmebehov, energiøkonomi
ISBN	87-563-1081-1
ISSN	1600-8022
Pris	Kr. 210,00 inkl. 25 pct. moms
Tekstbehandling	Annelise W. Danielsen
Udgiver	By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut, P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post by-og-byg@by-og-byg.dk www.by-og-byg.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Dokumentation 006: Energibesparelser i nybyggeriet. Status år 2000. (2001)*

Indhold

Forord	4
Sammenfatning og konklusion.....	5
Indledning	12
Beregningsforudsætninger	13
Vurderingsmetoder	16
Eksempelbygninger	18
Klimaskærmen	20
Hule ydervægge	20
Betonsandwichelementer	24
Træskeletvægge	26
Vinduer	28
Lofter	30
Skråvægge	31
Flade tage	32
Terrændæk	33
Kælderydervægge.....	34
Ydervægsfundamenter.....	35
Ventilation	37
Enfamiliehuse.....	37
Etageboliger	39
Administrationsbygninger.....	41
Teknisk isolering	44
Rør	44
Beholdere	46
Kondenserende kedler.....	48
Parcelhuse	48
Større bygninger og bebyggelser.....	48
Solvarme.....	49
Varmepumper	50
Besparelser i typiske bygninger.....	51
Klimaskærmen	51
Ventilation.....	66
Andre forhold.....	71
Samlet reduktion	72
Summary and Conclusions.....	93
Referencer	95

Forord

Denne By og Byg Dokumentation indeholder resultaterne fra projektet: "Udredning om potentielle muligheder for energibesparelser i nybyggeriet". Projektet er et led i rammeprogrammet: "Nye energibestemmelser i Bygningsreglementet år 2005. Rammeprogram for forskning, udvikling og forsøgsbyggeri 1998-2003", der blev igangsat som opfølgning på målsætningerne vedrørende energiforbruget i nybyggeriet i regeringens energihandlingsplan Energi 21.

Projektet er fulgt af en styregruppe med deltagelse fra By- og Boligministeriet og Energistyrelsen samt Statens Byggeforskningsinstitut, og resultaterne har været forelagt en bredt sammensat følgegruppe nedsat af By- og Boligministeriet.

Projektet er finansieret af By- og Boligministeriet og Energistyrelsen.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima
Januar 2001

Erik Christophersen
Forskningschef

Sammenfatning og konklusion

Formålet med udredningen er at vurdere, dels hvor meget det er muligt at reducere varme- og energibehovet i nybyggeriet ved forbedring af kendte og almindeligt anvendte byggetekniske løsninger, dels hvor der er behov for udvikling af nye løsninger for at kunne opfylde målsætningen i Energi 21 om yderligere 33 pct. reduktion af varmebehovet i nybyggeriet og om reduktion af elforbruget. I udredningens første del er der foretaget en vurdering af de tekniske, økonomiske, energi- og miljømæssige konsekvenser ved at forbedre de enkelte konstruktioner og installationer i nybyggeriet. I anden del af udredningen er der dernæst foretaget en samlet vurdering for typiske bygninger.

Der er taget udgangspunkt i konstruktioner, installationer og bygninger, som netop opfylder kravene i BR 95 inklusive tillæg 2 og BR-S 98 inklusive tillæg 1. Transmissionstab er beregnet efter DS 418 inklusive tillæg 1-4. Priser er i år 2000-niveau. De samfundsøkonomiske priser gælder for år 2005. Det er forudsat, at de energimæssige forbedringer ikke må påvirke fx holdbarheden eller vedligeholdelsesbehovet i negativ retning.

Konstruktioner

Der er over de senere år sket en betydelig udvikling af ruder med nye belægningstyper og bedre energimæssige egenskaber. Med de nuværende priser er den økonomiske tilbagebetalingstid ved at anvende såkaldte super energiruder i stedet for almindelige energiruder af størrelsesordenen 7-9 år og CO₂-skyggeprisen er 500-900 kr./ton CO₂. Merprisen for super energiruder i forhold til almindelige energiruder varierer en del og er generelt aftagende. På sigt må det forventes, at almindelige energiruder helt vil udgå, og at der kun vil være super energiruder tilbage på markedet. Yderligere energibesparelser i relation til vinduer kan opnås ved at anvende nye typer af standsprofiler i ruderne med reduceret kuldebrovirkning samt ved at anvende slanke profiler til fx karm og ramme, hvilket forøger glasarealet og medfører både større solindfald og reduceret varmetab. Beregningerne viser, at det ikke er energiøkonomisk at gå videre med andre typer fyldning i ruderne, fx krypton, eller med et tredje glaslag. Den økonomiske tilbagebetalingstid for disse tiltag er 30-60 år og CO₂-skyggeprisen er 3.500-7.000 kr./ton CO₂.

For hule ydervægge og betonsandwichelementer kan varmetabet reduceres ved at anvende kl. 36 isolering i stedet for kl. 39 isolering og ved at forøge kuldebroafbrydelsen, fx i vinduesfalsene. Den økonomiske tilbagebetalingstid ved at anvende kl. 36 isolering i stedet for kl. 39 isolering er 13-18 år og CO₂-skyggeprisen er 0-390 kr./ton CO₂. Ved traditionelle byggetekniske løsninger vil forøgelse af isoleringstykkelsen i hule ydervægge kræve større tagareal samt bredere kældervægge og fundamenter, hvilket medfører en ikke uvæsentlig forøgelse af merinvesteringen. Den økonomiske tilbagebetalingstid ved også at forøge isoleringstykkelsen med 25 mm fra 125 mm til 150 mm i etagebyggeri og med 65 mm fra 125 mm til 190 mm i småhuse er henholdsvis 19-26 år og 25-33 år. De tilsvarende CO₂-skyggepriser er 230-620 kr./ton CO₂ og 390-900 kr./ton CO₂. Ved en løsning, hvor en forøgelse af isoleringstykkelsen fra 125 til 150 mm kompenseres af en tilsvarende reduktion af formurens tykkelse, fx ved at anvende slanke bloksten, bliver den økonomiske tilbagebetalingstid overslagsmæssigt 10-18 år og CO₂-skyggeprisen 40-290 kr./ton CO₂. For betonsandwichelementer, hvor det ikke vil være nødvendigt at øge kældervægs- eller fundamentsbredden, vil en forøgelse af isoleringstykkelsen med 50 mm fra 150 til 200 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 23-30 år og CO₂-skyggepriser på 580-1.400 kr./ton CO₂.

Tabel A. Økonomisk tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved forøget isolering i typiske konstruktioner.

	Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Hule ydervægge	19 - 33	230 - 900
Betonsandwichelementer	23- 30	580 - 1.400
Træskeletvægge	56- 75	2.200 - 3.600
Vinduer	7- 9	500 - 900
Løfter	24- 33	800 - 1.500
Skråvægge	27- 36	860 - 1.500
Flade tage	46- 62	2.100 - 4.000
Terrændæk uden gulvvarme	35- 47	1.200 - 3.900
Terrændæk med gulvvarme	25- 33	480 - 1.300
Kælderydervægge	24- 32	350 - 810
Ydervægsfundamenter	18- 28	210 - 780

For træskeletvægge vil en forøgelse af isoleringstykkelsen med 50 mm fra 200 til 250 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 56-75 år og CO₂-skyggepriser på 2.200-3.600 kr./ton CO₂. For lofter vil en forøgelse af isoleringstykkelsen fra 250 til 300 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 24-33 år og CO₂-skyggepriser på 800-1.500 kr./ton CO₂. For skråvægge vil en forøgelse af isoleringstykkelsen med 25 mm fra 200 til 225 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 27-36 år og CO₂-skyggepriser på 860-1.500 kr./ton CO₂, mens en forøgelse med 50 mm til 250 mm vil medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 62-83 år og CO₂-skyggepriser på 2.400-3.800 kr./ton CO₂. For flade tage vil en forøgelse af middelisoleringstykkelsen med 50 mm fra 200 til 250 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 46-62 år og CO₂-skyggepriser på 2.100-4.000 kr./ton CO₂.

For terrændæk uden gulvvarme vil en forøgelse af isoleringstykkelsen fra 50 til 100 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 35-47 år og CO₂-skyggepriser på 1.200-3.900 kr./ton CO₂. For terrændæk med gulvvarme vil en forøgelse af isoleringstykkelsen med 50 mm fra 50 til 100 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 25-33 år og CO₂-skyggepriser på 480-1.300 kr./ton CO₂. For kælderydervægge vil en forøgelse af isoleringstykkelsen med 50 mm fra 100 til 150 mm medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 24-32 år og CO₂-skyggepriser på 350-810 kr./ton CO₂.

For ydervægsfundamenter ved terrændæk uden isolering over terrændækket og uden gulvvarme vil en forbedring fra almindelige letklinkerblokke til letklinkerblokke med midterisolering medføre økonomiske tilbagebetalingstider på 18-28 år og CO₂-skyggepriser på 210-780 kr./ton CO₂.

For konstruktioner med lang levetid vil en merinvestering med simpel tilbagebetalingstid på 15-20 år kunne finansieres med 30-årige lån og være udgiftsneutral ved en realrente på 3-5 pct./år. Hvis merinvesteringen blot skal være udgiftsneutral over levetiden, kan den simple tilbagebetalingstid øges til 20-30 år. Energi- og CO₂-tilbagebetalingstiden er altid væsentligt kortere end den økonomiske tilbagebetalingstid.

Økonomiske, energi- og CO₂-tilbagebetalingstider samt CO₂-skyggepriser ved energiforbedringerne er generelt lidt lavere ved individuel fyring med naturgas end ved fjernvarmeforsyning fra kraftvarme.

Installationer

For teknisk isolering tyder beregningerne på, at det kan være energiøkonomisk hensigtsmæssigt at øge isoleringen i forhold til de nuværende krav i DS 452. For varmtvandsbeholdere isoleret med lamelmåtter er den økonomiske tilbagebetalingstid ved at øge isoleringstykkelsen fra 100 til 120 mm 7-9 år og CO₂-skyggeprisen er 130-360 kr./ton CO₂. Energi- og CO₂-tilbagebetalingstiden for dette er mindre end et år. For små rør isoleret med rørskele er den økonomiske tilbagebetalingstid ved at øge isoleringstykkelsen med 10 mm fra 30 til 40 mm 9-13 år og CO₂-skyggeprisen er 250-620 kr./ton CO₂.

Energi- og CO₂-tilbagebetalingstiden for dette er også mindre end et år. For større rør isoleret med lamelmåtter er den økonomiske tilbagebetalingstid ved at øge isoleringstykkelsen med 20 mm fra 60 til 80 mm 17-28 år og CO₂-skyggeprisen er 750-1.600 kr./ton CO₂. Energi- og CO₂-tilbagebetalingstiden for dette er op til et år. Der er ikke foretaget vurdering af løsninger med præisolerende beholdere og rør eller af færdigfabrikerede isoleringssystemer til rør og armaturer. Der er heller ikke taget hensyn til de ekstra pladskrav, som den forøgede isoleringstykkelse kan medføre.

Tabel B. Økonomisk tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved forøget isolering af typiske installationer.

	Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Varmtvandsbeholdere	7 - 9	130 - 360
Små rør	9 - 13	250 - 620
Store rør	17 - 28	750 - 1.600

I fremtiden vil det formodentligt være energioekonomisk at anvende kondenserende gaskedler selv i små, fritliggende parcelhuse. For et parcelhus på 120 m² er der beregnet en økonomisk tilbagebetalingstid på 10 år ved at anvende en kondenserende gaskedel i stedet for en almindelig gaskedel og en CO₂-skyggepris på 890 kr./ton CO₂. I større bygninger vil tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris være mindre, fordi selv en lille kedel kan dække et areal, der er væsentligt større end 120 m². Prisforskellen mellem almindelige og kondenserende gaskedler er desuden generelt aftagende.

For solvarmeanlæg i fritliggende, naturgasopvarmede enfamiliehuse er der beregnet en økonomisk tilbagebetalingstid på 25 år, hvor levetiden for VVS-anlæg typisk sættes til 20-25 år. CO₂-skyggeprisen er beregnet til 2.600 kr./ton CO₂. I større bygninger vil tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris formodentligt være mindre, men dette er ikke vurderet nærmere.

For varmepumper er effektfaktoren set i forhold til virkningsgrad og miljøbelastning ved elforsyningen for lav til, at det er energioekonomisk at benytte varmepumper til rumopvarmning eller opvarmning af varmt brugsvand.

Med de specifikke elforbrug til lufttransport og med de temperaturvirkningsgrader i varmegenvindere, der benyttes i dag, er det ikke hensigtsmæssigt at installere mekanisk ventilation i bygninger, hvor den ikke er nødvendig af hensyn til fx komfort eller sundhed. Årsagen til dette er især den forholdsvis store udgift til elektricitet, miljøbelastningen ved elproduktionen samt større behov for vedligeholdelse. I et typisk, naturgasopvarmet enfamiliehus vil installation af mekanisk ventilation medføre en stigning af energiodgifterne på ca. 20 pct. og en fordobling af CO₂-emissionen, selv under forudsætning af samme udeluftskifte ved henholdsvis naturlig og mekanisk ventilation. Hertil kommer så, at bygningsreglementet i dag stiller krav, som medfører væsentligt større udeluftskifte i mekanisk ventilerede end i naturligt ventilerede enfamiliehuse. I typiske etageboliger vil introduktion af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding i stedet for almindelig mekanisk udsugning kunne reducere energiodgiften lidt, mens CO₂-emissionen vil stige ca. 10 pct. i naturgasområderne og ca. 25 pct. i kraftvarmeforsynede fjernvarmeområder. I typiske administrationsbygninger vil anvendelse af mekanisk ventilation med varmegenvinding i stedet for naturlig ventilation kunne betyde en lille besparelse på energiodgifterne, mens CO₂-emissionen vil stige ca. 35 pct. i naturgasområderne og ca. 70 pct. i kraftvarmeforsynede fjernvarmeområder. I ovenstående er forudsat enten naturlig eller mekanisk ventilation med samme udeluftskifte. Der kan opnås en væsentlig forbedring af energioekonomien ved at reducere det specifikke elbehov og forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad i mekaniske ventilationsanlæg samt ved at anvende behovsstyring og hybride ventilationsløsninger, der kombinerer fordelene ved naturlig og mekanisk ventilation.

Tabel C. Scenarier for fremtidige isoleringsniveauer i nybyggeriet.

Bygningsdel	Nuværende krav	Scenarier	
	BR 95 og BR-S 98 inkl. tillæg	I	II
U-værdier i W/m ² K:			
Lette ydervægge	0,20	0,20	0,17
Tunge ydervægge, småhuse	0,30	0,23	0,20
Tunge ydervægge, andre bygninger	0,30	0,25	0,20
Terrændæk	0,20	0,20	0,15
Do. med gulvvarme	0,15	0,15	0,12
Loft og tagkonstruktioner	0,15	0,15	0,13
Flade tage og skråvægge	0,20	0,20	0,17
Vinduer og yderdøre	1,80	1,40	1,40
Linietab i W/m K:			
Ydervægsfundamenter	0,25	0,20	0,20
Do. ved gulvvarme	0,20	0,20	0,15
Samling ydervæg – vinduer	0,03	0,00	0,00

Typiske bygninger

På baggrund af de beregnede tilbagebetalingstider og CO₂-skyggepriser for de enkelte konstruktioner er der opstillet to scenarier for fremtidige isoleringsniveauer i nybyggeriet, se tabel C. De benyttede isoleringsniveauer i scenarierne svarer ikke nødvendigvis direkte til de mulige fremtidige isoleringskrav i kommende BR og BR-S 2005, men til de isoleringsniveauer, der faktisk vil blive anvendt i konkrete byggerier, som opfylder en kommende varmetabs- eller energiramme. Scenario II svarer til, hvad der kan opnås med kendt og almindelig anvendt byggeteknik.

De nuværende U-værdikrav i bygningsreglementet medfører, at varmebehovet er 5-10 pct. større i bygninger med tunge ydervægge end i bygninger med lette ydervægge. Det er derfor også i disse bygninger, der er det største potentiale hvad angår reduktion af varmebehovet.

I et typisk, naturligt ventileret parcelhus med tunge ydervægge og terrændæk, kan nettovarmebehovet til rumopvarmning inklusive ventilation reduceres ca. 18 pct. ved at gå til scenario I og ca. 27 pct. ved at gå til scenario II. Er huset fjernvarmeforsynet, bliver de tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovet henholdsvis 13 og 20 pct. I naturgasopvarmede huse, hvor der også samtidig introduceres en kondenserende kedel, bliver reduktionerne i bruttovarmebehovet henholdsvis 22 og 28 pct. Investeringerne i et fjernvarmeforsynet hus bliver henholdsvis ca. 60 og ca. 160 kr. pr. m² med tilbagebetalingstid på 13 og 24 år samt CO₂-skyggepris på henholdsvis ca. 600 og ca. 1.000 kr./ton CO₂. I et naturgasopvarmet hus bliver investeringerne henholdsvis ca. 100 og ca. 210 kr. pr. m² med tilbagebetalingstid på 10 og 15 år samt CO₂-skyggepris på henholdsvis ca. 450 og ca. 550 kr./ton CO₂. Investeringerne er opgivet eksklusive moms. Opføres det samme parcelhus med lette ydervægge, bliver reduktionen af nettovarmebehovet ved at gå til scenario I ca. 12 pct. og ca. 22 pct. ved at gå til scenario II. I et naturgasopvarmet hus bliver reduktionerne i bruttovarmebehovet henholdsvis 18 og 25 pct., investeringerne ca. 80 og ca. 200 kr. pr. m², tilbagebetalingstid 9 og 17 år samt CO₂-skyggepris henholdsvis ca. 550 og ca. 700 kr./ton CO₂.

I dobbelt- og rækkehuse bliver reduktionen i varmebehovet ved at gå til scenario I og II 1-2 pct. point mindre end i de tilsvarende parcelhuse, samtidig med, at investeringsbehovet også er lidt lavere. Resultatet er lidt kortere tilbagebetalingstid og lidt mindre CO₂-skyggepris.

Tabel D. Reduktion i bruttovarmebehov, investering, økonomisk tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved forbedring af klimaskærmens isolering i typiske nye bygninger svarende til scenario I.

	Reduktion pct.	Investering kr. pr. m ²	PB år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
<u>Parcelhuse</u>				
Tunge ydervægge				
Fjernvarme	13	60	13	600
Naturgas	22	100	10	450
Lette ydervægge				
Naturgas	18	80	9	550
<u>Etageboliger</u>				
Tunge ydervægge				
Fjernvarme	10	40	12	600
Naturgas	19	60	6	250
<u>Administrationsbygninger</u>				
Tunge ydervægge				
Fjernvarme	15	35	12	650
Naturgas	23	55	8	400

Tabel E. Reduktion i bruttovarmebehov, investering, økonomisk tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved forbedring af klimaskærmens isolering i typiske nye bygninger svarende til scenario II.

	Reduktion pct.	Investering kr. pr. m ²	PB år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
<u>Parcelhuse</u>				
Tunge ydervægge				
Fjernvarme	20	160	24	1.000
Naturgas	28	210	15	550
Lette ydervægge				
Naturgas	25	200	17	700
<u>Etageboliger</u>				
Tunge ydervægge				
Fjernvarme	13	100	22	950
Naturgas	22	120	11	350
<u>Administrationsbygninger</u>				
Tunge ydervægge				
Fjernvarme	20	130	32	1.300
Naturgas	28	150	17	650

Varmebehovet er kraftigt afhængigt af rumtemperaturen og af styringen af et eventuelt gulvvarmesystem. Den relative ændring af nettovarmebehovet til rumopvarmning er ca. 10 pct. pr. °C ændring af rumtemperaturen, og huse med forbedret varmeisolering er i absolutte tal mindre følsomme over for forhøjelse af rumtemperaturen. I huse med gulvvarme kan ønsket om komfortabel, høj overfladetemperatur på gulvet medføre en fordobling af varmebehovet i de pågældende rum.

I etageboliger med tunge ydervægge og kælder kan nettovarmebehovet til rumopvarmning inklusive ventilation reduceres ca. 14 pct. ved at gå til scenario I og ca. 19 pct. ved at gå til scenario II. Er bygningen fjernvarmeforsynet, bliver de tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovet henholdsvis 10 og 13 pct. I naturgasopvarmede bygninger, hvor der også introduceres en kondenserende kedel, bliver reduktionerne i bruttovarmebehovet henholdsvis 19 og 22 pct. Investeringerne i en fjernvarmeforsynet bygning bliver henholdsvis ca. 40 og ca. 100 kr. pr. m² med tilbagebetalingstid på 12 og 22 år samt CO₂-skyggepris på henholdsvis ca. 600 og ca. 950 kr./ton CO₂. I en naturgasopvarmet bygning bliver investeringerne henholdsvis ca. 60 og ca. 120 kr. pr. m² med tilbagebetalingstid på 6 og 11 år samt CO₂-skyggepris på henholdsvis ca. 250 og ca. 350 kr./ton CO₂. I etageboliger kan der opnås yderligere reduktioner.

tion af varmebehovet ved bedre styring af ventilationen. Behovsstyring af emhætten og bedre forceringsmuligheder kan for typiske lejlighedsstørrelser skønsomt reducere nettovarmebehovet til rumopvarmning med yderligere ca. 15 pct. point, uden at det må forventes at forringe indeklimaet.

I lidt større administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder kan nettovarmebehovet til rumopvarmning inklusive ventilation reduceres ca. 18 pct. ved at gå til scenario I og ca. 24 pct. ved at gå til scenario II. Er bygningen fjernvarmeforsynet, bliver de tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovet henholdsvis 15 og 20 pct. I naturgasopvarmede bygninger, hvor der også introduceres en kondenserende kedel, bliver reduktionerne i bruttovarmebehovet henholdsvis 23 og 28 pct. Investeringerne i en fjernvarmeforsynet bygning bliver henholdsvis ca. 35 og ca. 130 kr. pr. m², med tilbagebetalingstid på 12 og 32 år samt CO₂-skyggepris på henholdsvis ca. 650 og ca. 1.300 kr./ton CO₂. I en naturgasopvarmet bygning bliver investeringerne henholdsvis ca. 55 og ca. 150 kr. pr. m², med tilbagebetalingstid på 8 og 17 år samt CO₂-skyggepris på henholdsvis ca. 400 og ca. 650 kr./ton CO₂.

I administrationbygninger med lette ydervægge bliver reduktionen i nettovarmebehovet til rumopvarmning ved at gå til scenario I og II 3-6 pct. point mindre end i de tilsvarende bygninger med tunge ydervægge samtidig med, at investeringsbehovet også er lidt lavere. Resultatet er lidt længere tilbagebetalingstider og lidt større CO₂-skyggepriser. I administrationbygninger med terrændæk bliver reduktionen i nettovarmebehovet til rumopvarmning ved at gå til scenario I og II 2-4 pct. point større end i de tilsvarende bygninger med kælder, samtidig med at investeringsbehovet også er lidt højere. Resultatet er lidt længere tilbagebetalingstider og næsten uændrede CO₂-skyggepriser. Forskellene mellem tunge og lette ydervægge og mellem kælder og terrændæk er geometrisk betingede og må derfor også gælde for etageboliger med samme proportioner.

I små administrationsbygninger er reduktionsmuligheder, investeringer og CO₂-skyggepriser sammenlignelige med dem for enfamiliehuse.

I administrationsbygninger med mekanisk ventilation kan der opnås yderligere 5-10 pct. points reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 70 pct., forudsat at der ikke samtidig sker en ændring af det specifikke elforbrug til lufttransporten. Den største reduktion ved forbedring af varmegenvindingen opnås i bygninger med stort udeluftskifte.

I nye bygninger vil energiomkostningerne til opvarmning og elektricitet være af samme størrelsesorden, mens CO₂-emissionen fra elektricitetsforbruget normalt vil være mindst dobbelt så stort som CO₂-emissionen fra opvarmningen. Af det samlede elforbrug går en ikke uvæsentlig del til belysning og ventilation især i kontorer, undervisningsbygninger og lignende.

Konklusioner

Resultaterne viser, at det ikke med almindelig kendte og i dag anvendte byggetekniske løsninger er muligt at nå målsætningen i Energi 21 om yderligere 33 pct. reduktion af varmebehovet i nybyggeriet. Der er således behov for væsentlig forbedring af allerede kendte løsninger og for udvikling af helt nye byggetekniske løsninger, hvis målsætningen skal nås.

For konstruktionerne er det især tunge ydervægge og fundamenterne til tunge ydervægge samt terrændæk specielt i forbindelse med gulvvarme, hvor der er behov for markant forbedring af isoleringsevnen med større isoleringstykkelse og bedre kuldebroafbrydelser. For de øvrige konstruktioner vedkommende er der især behov for at kunne opnå større isoleringsevne med begrænsede ekstraomkostninger. Ved udviklingen af nye løsninger bør der også fokuseres på, at de skal være byggeteknisk enkle og sikre samt holdbare og smukke.

For vinduerne gælder at der allerede er sket væsentlige forbedringer af rudernes energiegenskaber, således at vinduerne i dag typisk er væsentligt bedre end krævet i BR 95 og BR-S 98. Der er behov for, at denne udvikling

fortsætter, bl.a. med udvikling og anvendelse af bedre afstandsprofiler i ruderne samt slanke karm- og rammeprofiler med bedre energiegenskaber.

Specielt for gulvvarmeanlæg er der behov for at udvikle og anvende bedre styringer, samt for at undgå gulvoverflader, som føles kolde, og medfører at der alene af den årsag sættes varme på gulvet. Der er også behov for at udvikle nye løsninger herunder at anvende pumper og styringer, som reducerer elforbruget til cirkulation af vandet i varme- og brugsvandsanlæg.

For den tekniske isolerings vedkommende er der behov for at revurdere kravene i DS 452 både i relation til varme-, brugsvands- og ventilationsanlæg. Der er behov for at udvikle bedre præisolerede rør- og beholderløsninger samt bedre og billigere færdigfabrikerede isoleringssystemer til rør og armaturer.

Der er allerede sket en væsentlig udvikling af kondenserende naturgaskedler. Behovet her er derfor mest at få reduceret meromkostningen for kondenserende kedler i forhold til almindelige gaskedler især til mindre bygninger.

For solvarme er der behov for både at forbedre ydelserne og reducere installationsomkostningerne samt føre bevis for en gunstig økonomi i praksis, inklusive vedligeholdelsesomkostningerne, hvis solvarme skal være et alternativ til opvarmning af det varme brugsvand.

Med de nuværende virkningsgrader og miljøbelastninger ved elforsyningen er der behov for en markant forbedring af varmepumpernes resulterende effektfaktor, hvis varmepumper skal være et alternativ til naturgasopvarmning af det varme brugsvand eller rumopvarmning udenfor fjernvarmeområderne. På lidt længere sigt, med forbedrede virkningsgrader og reducerede miljøbelastninger fra elforsyningen samt forbedrede effektfaktorer kan varmepumper blive særdeles relevant som opvarmningskilde.

Hvis balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding skal blive et energi- og miljømæssigt attraktivt alternativ til naturlig ventilation i parcelhuse, er der behov for udvikling af små simple ventilationsaggregater med ekstra lavt elforbrug, høj temperaturvirkningsgrad og behovsstyring, som er enkle at installere og betjene samt driftsikre med et minimum af vedligeholdelse.

Der er stort behov for at udvikle energieffektive løsninger til behovsstyret mekanisk udsugning i etageboliger, som også kan sikre et tilfredsstillende indeklima. Ligeledes kan der være behov for at udvikle energieffektive balancerede ventilationsløsninger til etageboliger.

Til kontorer, undervisning og lignende er der behov for at udvikle løsninger, som reducerer elforbruget til lufttransport i mekaniske ventilationsanlæg samtidig med, at der opnås en forbedring af temperaturvirkningsgraden for varmegenvinderen. Der er også behov for at udvikle løsninger, som udvider anvendelsesområdet for naturlig ventilation under hensyntagen til komfortforholdene, herunder problemerne med at undgå træk og opnå god luftkvalitet især om vinteren, samt for at udvikle hybride løsninger, fx baseret på mekanisk ventilation om vinteren og naturlig ventilation om sommeren. Desuden er der behov for at udvikle billige, brugervenlige løsninger til behovsstyring af ventilationen.

For at reducere ventilationsbehovet er der behov for at fremme anvendelsen af materialer og rengøringsmetoder, som reducerer indeklimalastningerne mest muligt, samt for at anvende apparatur med lille varmeafgivelse. Desuden er der behov for at fremme anvendelsen af effektiv, behovsstyret solafskærmning især i kontorer, undervisningslokaler og lignende, således at solvarmebelastningen om sommeren ikke fører til øget ventilationsbehov eller mekanisk køling.

For yderligere at reducere elforbruget især i kontorer, undervisningslokaler og lignende er der behov for at udvikle mere energiøkonomiske belysningsanlæg og styringssystemer, som på optimal vis tager hensyn til belysningsbehovet og dagslysadgangen samt til brugervenlighed og komfort. Der er desuden brug for udvikling af løsninger, som optimerer dagslysadgangen med hensyn til mulighederne for at slukke eller reducere den elektriske belysning under hensyntagen til brugernes komfort.

Indledning

Formålet med projektet har været at vurdere, hvor meget det er muligt at reducere varme- og energibehovet i nybyggeriet ved forbedring af kendte og almindeligt anvendte byggetekniske løsninger, og at udpege områder, hvor der er særligt behov for udvikling af nye løsninger for at kunne opfylde målsætningerne i regeringens energihandlingsplan Energi 21.

Som et led i Energi 21 er det målet at skærpe Bygningsreglementets energibestemmelser i år 2005 således, at varmebehovet i nybyggeriet reduceres med yderligere 33 pct. i forhold til Bygningsreglement 1995 og Bygningsreglement for småhuse 1998, og der ligeledes opnås en yderligere reduktion af elbehovet til ventilation og belysning.

Om forudsætningerne for indførelse af skærpede krav til nybyggeriets energibehov i år 2005 står der i Energi 21 (citeret fra side 46): "Før en yderligere skærpelse iværksættes, gennemføres de nødvendige udredninger og forsøgsprojekter, der belyser de økonomiske, byggetekniske, indeklimate og komfortmæssige konsekvenser. Regeringen vil på den baggrund arbejde for en revision af bygningsreglementet med virkning fra år 2005 med skærpede krav til bygningers energibehov". Vurderingen af hensigtsmæssigheden af skærpelserne må forventes at blive baseret på en totalbetragtning, der også inddrager fx arkitektur og miljøforhold.

Bygningsreglementet indeholder de minimumskrav, som samfundet med rimelighed kan stille til alt nyt byggeri. Det er derfor begrænset, hvor langt der kan gås i retning af at energieffektivisere nybyggeriet, når der samtidig skal tages hensyn til fx økonomien. Det er selvfølgelig altid tilladt at gøre de enkelte byggerier mere energieffektive end svarende til bygningsreglementets minimumskrav.

I publikationens første del vurderes de tekniske, økonomiske, energi- og miljømæssige konsekvenser af at forbedre de enkelte konstruktioner og installationer i nybyggeriet. I anden del er der dernæst foretaget en samlet vurdering for typiske bygninger. Vurderingerne tager udgangspunkt i kendte løsninger, der netop opfylder de nuværende krav i bygningsreglementerne BR 95 (Boligministeriet, 1995) og BR-S 98 (Bolig- og Byministeriet, 1998) inklusive henholdsvis tillæg 2 til BR 95 og tillæg 1 til BR-S 98.

For de enkelte konstruktioner og installationer samt for det samlede bygværk beregnes de tekniske, økonomiske, energi- og miljømæssige konsekvenser af at reducere varmekonsumet. De miljømæssige konsekvenser beskrives ved CO₂-emissionerne. Ved beregning af de samfundsøkonomiske konsekvenser anvendes priser og metoder beskrevet af Energistyrelsen i (Energistyrelsen, 1995) og (Energistyrelsen, 1999).

De økonomiske, energi- og miljømæssige konsekvenser afhænger i nogen grad af varmeforsyningen. Det må forventes, at både varmeforsyning og elforsyning i Danmark vil ændre sig over levetiden for bygninger, der opføres efter år 2005. I beregningerne i denne dokumentation anvendes data for energiforsyningen, som den kan forventes at se ud i år 2005.

Introduktionen af flere ny europæiske standarder i Danmark, som endnu ikke er endeligt vedtaget, kan bevirke nogle mindre forskydninger af resultaterne, men næppe af de generelle tendenser. Eksempelvis kan nævnes, at der i Dansk Standards regi arbejdes på at ændre beregningen af konstruktionernes transmissionskoefficienter, således at de installationsbetingede korrektioner foretages som tillæg til U-værdien i stedet for som tillæg til λ -værdien, som det kendes i dag.

Beregningsforudsætninger

Priser er generelt angivet i år 2000-niveau, se tabel 1. Energipriser for boliger er inklusive moms og afgifter. Energipriser for erhverv er eksklusive moms, men inklusive afgifter. Investeringer er generelt angivet eksklusive moms. Ved beregning af tilbagebetalingstider er moms på investeringer og energiuudgifter indregnet for boliger. De samfundsøkonomiske brændselspriser gælder for år 2005 og er baseret på (Energistyrelsen, 1999).

Tabel 1. Anvendte data for energiforsyningen. Priser er angivet i år 2000-niveau. Samfundsøkonomiske priser gælder for år 2005.

	Priser i kr./kWh			CO ₂ -emission Kg CO ₂ /kWh	Virkningsgrad
	Boliger	Erhverv	Samfund		
Naturgas	0,60	0,48	0,092	0,205	1,00
Fjernvarme	0,45	0,36	0,052	0,144	2,00
El	1,25	0,75	0,232	0,846	0,38
Gasolie	0,60	0,48	0,136	0,266	0,90

Individuelle naturgaskedler antages at være kondenserende kedler med en årsnyttevirkning på 100 pct. i forhold til den nedre brændværdi på 11,0 kWh/m³ (39,6 MJ/m³), baseret på data for eksisterende kondenserende naturgaskedler angivet i (Dansk Gasteknisk Center, 2000). Priserne for boliger og erhverv er baseret på typiske priser indhentet i efteråret 2000. Der er kun lille variation i prisen mellem de forskellige naturgasselskaber. Den samfundsøkonomiske pris for naturgas er fra (Energistyrelsen, 1999) og gælder ab net for perioden 2005-2030. CO₂-emissionen er ifølge (Energistyrelsen, 1999) 57 kg CO₂/GJ.

Prisen for fjernvarme er baseret på typiske priser indhentet i foråret 2000. Prisen kan variere en del mellem de forskellige forsyningsselskaber. Den samfundsøkonomiske pris for fjernvarme og CO₂-emissionen kan variere meget, især afhængigt af de benyttede brændsler. I tabel 2 er vist CO₂-emissionen fra forskellige brændsler ifølge (Energistyrelsen, 1999). Både den samfundsøkonomiske pris for fjernvarme og CO₂-emissionen er beregnet under forudsætning af, at det drejer sig om ændringer i efterspørgslen på varme.

Den samfundsøkonomiske pris for fjernvarme, CO₂-emissionen og energivirkningsgraden er baseret på forholdene i hovedstadsområdet inden for CTR og VEKS's forsyningsområde, se (Energistyrelsen, 1998b). Beregningerne i (Energistyrelsen, 1998b) er baseret på situationen i år 2002 inklusive Avedøreværk 2 og med et samlet varmebehov på ca. 26.000 TJ, hvilket er knap 1.000 TJ højere end det nuværende behov, for at tage højde for nye tilslutninger inklusive nybyggeri. I tallene er indregnet brændselsforbruget til produktion af varmen samt elforbruget bl.a. til pumperne i fjernvarmenettet. Det er antaget, at ændringen i varmebehovet ikke påvirker varmetabet fra fjernvarmenettet. Der er ikke indregnet et eventuelt investeringsbehov til nye værker for at dække en forøget efterspørgsel på varme. Prisen er reduceret med 20 pct. i forhold til tallene i (Energistyrelsen, 1998b) for at kompensere for de lavere priser i den nuværende udgave af (Energistyrelsen, 1999). Til sammenligning er den gennemsnitlige samfundsøkonomiske brændselspris for hele varmeproduktionen i hovedstadsområdet 0,017 kr./kWh og den gennemsnitlige CO₂-emission 0,093 kg-CO₂/kWh. Forskellen skyldes, at næsten 40 pct. af det samlede varmebehov dækkes af affald og biomasse, mens ændringen i varmebehovet hovedsageligt dækkes af de kulfyrede værker.

Tabel 2. CO₂-emission fra forskellige brændsler ifølge [0]. Værdierne i tabellen gælder for nedre brændværdi.

	kg CO ₂ /kWh
Kul	0,342
Fuelolie	0,281
Gasolie	0,266
Naturgas	0,205
Halm, træ og affald	0

Tabel 3. Oplysninger om CO₂-emission fra fjernvarme- og elforsyningen ifølge Energistatistik 1999 (Energistyrelsen, 1999).

År	Fjernvarme kg CO ₂ /kWh	El kg CO ₂ /kWh
1980	0,324	-
1988	0,216	0,955
1990	0,205	0,946
1997	0,148	0,715
1998	0,144	0,676
1999	0,140	0,642

I en rapport fra Elkraft (Elkraft, 2000) er der på tilsvarende vis for Glostrup, som indgår i hovedstadens fjernvarmenet, beregnet en samfundsøkonomisk pris for fjernvarmen på 0,037 kr./kWh og en CO₂-emission på 0,151 kg CO₂/kWh ved ændring i varmebehovet. I rapporten fra Elkraft er der taget hensyn til eludveksling og -overløb. Der er derimod ikke taget hensyn til elforbruget til pumperne i fjernvarmenettet.

Gennemsnitstal for CO₂-emissionen fra fjernvarmeforsyningen i Danmark ifølge (Energistyrelsen, 2000) er vist i tabel 3. Ifølge Håndbog for energikon-sulenter (Teknologisk Institut, Sekretariatet for Energimærkning, 1998) varierer CO₂-emissionen for de forskellige forsyningsområder mellem 0 og 0,42 kg CO₂/kWh. Der kan således være stor forskel på data fra de enkelte forsyningsområder.

Elprisen er baseret på normaltarifferne, hvor elprisen er uafhængig af leveringstidspunktet. Elprisen til erhverv er inklusive CO₂- og svovlafgift, men eksklusive energiafgift og moms. Elprisen kan variere en del mellem de forskellige forsyningselskaber, for leverance til boliger typisk mellem ca. 1,15 kr./kWh og 1,40 kr./kWh, og for leverance til erhverv typisk mellem ca. 0,40 kr./kWh og 0,65 kr./kWh. Der findes også en tidstarif, hvor prisen afhænger af leveringstidspunktet på døgnet, ugen og året. Prisen er da opdelt i tre niveauer - lavlast, højlast og spidslast - hvor spidslast har den højeste elpris. Spidslast er typisk mellem klokken 8 og 12 på hverdage hele året samt mellem klokken 17 og 19 på hverdage i vintermånederne fra og med oktober til og med marts. Højlast er mellem klokken 6 og 21 på hverdage uden for spidslastperioderne, og lavlastperioden er resten af tiden, fx om natten mellem klokken 21 og 6 samt i weekender og på helligdage. I forhold til normaltariffen er spidslastprisen typisk 0,25-0,40 kr./kWh højere og lavlastprisen typisk 0,15-0,30 kr./kWh lavere for både boliger og erhverv. Højlastprisen afviger kun lidt fra normaltariffen, typisk mellem -0,10 og +0,10 kr./kWh. For boliger med elvarme er prisen 0,08 kr./kWh lavere for forbrug over 4000 kWh/år. For erhverv med stort elforbrug kan der gælde andre priser. Tidstarifferne indgår som nævnt ikke i beregningerne i dette dokument. Den samfundsøkonomiske elpris er angivet ifølge (Energistyrelsen, 1999) og gælder ved leverance fra 400 V-nettet for perioden 2005-2030. I tallene er der ikke indregnet et eventuelt investeringsbehov til nye værker for at dække en forøget efterspørgsel på el. CO₂-emissionen er angivet ifølge (Energistyrelsen, 1999) ved leverance fra 400 V-nettet. I (Energistyrelsen, 1999) forudsættes et fald i CO₂-emissionen ved elproduktion efter år 2008 og en halveret CO₂-emission efter år 2013. I Energimærkningsordningen anvendes en CO₂-

emission på 0,750 kg CO₂/kWh. Tal fra Energistatistik 1999 (Energistyrelsen, 2000) er vist i tabel 3.

Vurderingsmetoder

I beregningerne anvendes generelt simpel tilbagebetalingstid som økonomisk, energi- og miljømæssig målestok. Den simple tilbagebetalingstid er defineret som den samlede investering divideret med den årlige besparelse. Ved investering i energibesparelser i bygninger kan det normalt antages, at de årlige besparelser er konstante over bygningsdelens levetid eller indtil en større genopretning er påkrævet. Alle investeringer og besparelser opgøres i faste priser på investeringstidspunktet. Energi- og CO₂-tilbagebetalingstider opgøres efter samme princip som de økonomiske tilbagebetalingstider.

I tabel 4 angives den privatøkonomiske tilbagebetalingstid i det antal år som netop svarer til, at investeringen over bygningsdelens levetid er udgiftsneutral og nuværdien af investeringen er 0 kr. Denne neutrale tilbagebetalingstid afhænger af bygningsdelens levetid og realrenten, der tilnærmet kan beregnes som

$$r_r = r_n(1-s) - i_e$$

hvor r_n er den nominelle rente i pct./år

i_e er energiprisens stigningstakt i pct./år

og s er beskatningen af renter som decimalbrøk.

Se i øvrigt (Johnsen, Kvetny & Skifter Andersen, 1982).

De senere år har renten været tæt på 5 pct./år og energiprisen næsten konstant. For boligejere, der betaler ca. 40 pct. i skat på renter, har det betydet en realrente på ca. 3 pct./år. Det samme gælder for erhvervsvirksomheder efter skat. Realrenten for erhvervslivet før skat samt for offentlige bygherrer, fx boligselskaber, har været ca. 5 pct./år. Som gennemsnit over en længere årrække kan der fx antages en rente på 8 pct./år og en energiprisstigning på 3 pct./år. Dette vil medføre en realrente for boligejere og for erhvervslivet efter skat på ca. 2 pct./år og en realrente for erhvervslivet før skat samt offentlige bygherrer og boligselskaber på ca. 5 pct./år. Erhvervslivet vil dog ofte anvende en intern kalkulationsrente, der er et par procentpoint højere end den almindelige lånerente.

Tabel 4. Privatøkonomisk tilbagebetalingstid i år svarende til neutral investering (nuværdi = 0 kr.) i afhængighed af levetid og realrente.

Levetid År	Realrente i pct./år						
	1	2	3	4	5	6	8
5	4,9	4,7	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0
6	5,8	5,6	5,4	5,2	5,1	4,9	4,6
8	7,7	7,3	7,0	6,7	6,5	6,2	5,8
10	9,5	9,0	8,5	8,1	7,7	7,4	6,7
12	11,3	10,6	10,0	9,4	8,9	8,4	7,5
15	13,9	12,9	11,9	11,1	10,4	9,7	8,6
20	18,1	16,4	14,9	13,6	12,5	11,5	9,8
25	22,0	19,5	17,4	15,6	14,1	12,8	10,7
30	25,8	22,4	19,6	17,3	15,4	13,8	11,3
40	32,8	27,4	23,1	19,8	17,2	15,1	11,9
50	39,2	31,4	25,7	21,5	18,3	15,8	12,2
60	45,0	34,8	27,7	22,6	18,9	16,2	12,4
80	54,9	39,7	30,2	23,9	19,6	16,5	12,5
100	63,0	43,1	31,6	24,5	19,9	16,6	12,5
120	69,7	45,4	32,4	24,8	20,0	16,7	12,5

Renteniveau, inflation og energiprisens stigningstakt er normalt sammenkoblede økonomiske størrelser, der stiger og falder i samme takt. Den normale sammenkobling kan selvfølgelig blive forrykket, hvis der i bygningsdelens levetid sker væsentlige ændringer af afgifts- eller beskatningsforhold, fx på energi.

For samfundet er målet at få størst mulig effekt for de penge, der samfundsøkonomisk investeres i at reducere CO₂-udledningen. Den samfundsøkonomiske vurdering baseres på den såkaldte CO₂-skyggepris (Energistyrelsen, 1995). CO₂-skyggeprisen bestemmes ved at opgøre alle investeringer, brændsels-, drifts- og vedligeholdelsesomkostninger samt miljømæssige konsekvenser over en 20-års periode. Alle omkostninger og besparelser opgøres til periodens start med en kalkulationsrente på 5 pct./år. Til korrektion af omkostninger i andre prisniveauer forudsættes en inflation på 2 pct./år. Alle samfundsøkonomiske priser omregnes til år 2000-prisniveau. Ved opgørelse af de miljømæssige konsekvenser indregnes CO₂-emissionen til fremstilling af byggevarerne. De anvendte samfundsøkonomiske brændselspriser og CO₂-emissioner er fra (Energistyrelsen, 1999). Ved de samfundsøkonomiske beregninger er alle priser eksklusive moms, afgifter, skatter og tilskud mv.

For anlæg - fx bygninger - med levetid ud over den 20-årige periode, regnes der ifølge (Energistyrelsen, 1995) med lineær afskrivning og indregning af scrapværdi. For en bygningsdel med levetid på fx 100 år er det ensbetydende med, at 20 pct. af investeringen regnes afskrevet over den 20-årige periode, og at restværdien (scrapværdien) er 80 pct. af investeringen opgjort i år 2000-prisniveau.

Eksempelbygninger

Ved beregningerne i næste kapitel anvendes der tre eksempelbygninger: Et 120 m² parcelhus og en 1440 m² etagebygning i tre etager plus kælder, der forudsættes enten at være et etagehus med 18 lejligheder eller et kontorhus.

Parcelhuset er 8,0 × 15,0 m i ét plan med et etageareal på 120 m². Huset er med terrændæk. Etagehøjden er 2,6 m målt fra oversiden af gulvet til oversiden af isoleringen i taget. Det samlede facadeareal er 120 m², hvoraf vinduerne og yderdørene udgør 27 m² svarende til ca. 23 pct. af etagearealet. Den samlede fundamentslængde er 46 m, og den samlede omkreds af huller til vinduer og døre, som ligger til grund for bestemmelse af kuldebroens længde, er 67 m.

Etagebygningen er 10,0 × 48,0 m med et samlet etageareal på 1440 m². Bygningen er med kælder. Etagehøjden er 2,8 m. Det samlede facadeareal er 974 m², hvoraf vinduerne og yderdørene udgør 333 m² svarende til ca. 23 pct. af etagearealet. Den samlede ydre omkreds af bygningen er 116 m, og den samlede omkreds af huller til vinduer og døre er 752 m.

Energiforbrug, energiudgifter og miljøbelastning fra energiforbruget i bygningerne er skønsmæssigt opgjort i tabel 5, baseret på data for energiforsyningen i tabel 1. Nettoenergiforbruget til rumopvarmning og ventilation er fastlagt til energirammekravene i BR 95 og BR-S 98. Det forudsættes, at parcelhuset har naturlig ventilation. Det antages, at der i etagehuset er konstant mekanisk udsugning på 35 l/s pr. lejlighed og et specifikt elforbrug på 1,0 W pr. l/s. I etagehuset udgør ventilationstillægget til energirammen ca. 20 pct. af den resulterende energiramme. Det antages, at der i kontorhuset er balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding (som alene skal sikre en tilfredsstillende luftkvalitet) på 1,0 l/s m² etageareal, 2500 driftstimer/år og et specifikt elforbrug på 2,5 W pr. l/s.

I parcelhuset antages et nettoenergiforbrug til produktion af varmt vand på 3000 kWh/år inklusive varmetab fra rør og beholdere. I etagehuset antages et nettoenergiforbrug til produktion af varmt vand på 2000 kWh/år pr. lejlighed, i kontorhuset 10 kWh/m² år.

I parcelhuset antages et elforbrug til belysning og apparatur på 4000 kWh/år, hvoraf 20 pct. antages at gå til belysning. I etagehuset antages et elforbrug til belysning og apparatur på 2500 kWh/år pr. lejlighed, hvoraf 20 pct. antages at gå til belysning. Herudover antages et samlet fælles elforbrug til belysning på adgangsveje, trapper og i andre fælles rum på 150 kWh/år pr. lejlighed samt et elforbrug til elevatorer på 75 kWh/år pr. lejlighed. I kontorhuset antages et elforbrug til belysning på i gennemsnit 10 W/m² og en driftstid på 2000 timer/år samt apparatur med en samlet installeret effekt på i gennemsnit 10 W/m² og en driftstid på 1500 timer/år.

Tabel 5. Eksempelbygninger. Energiforbrug, energiudgifter og CO₂-emission opgjort pr. m² etageareal.

Opvarmning						
	Parcelhuset		Etagehuset		Kontorhuset	
<i>Nettovarmeforbrug i kWh/m² år</i>						
Opvarmn. og vent.	69		71		44	
Varmt brugsvand	<u>25</u>		<u>25</u>		<u>10</u>	
I alt	94		96		54	
	N-gas	FV	N-gas	FV	N-gas	FV
<i>Udgift i kr./m² år</i>	41,25	37,50	42,25	38,50	19,00	17,25
<i>CO₂-emission i kg CO₂/m² år</i>	19,3	13,5	19,7	13,8	11,1	7,8
Elforbrug						
	Parcelhuset		Etagehuset		Kontorhuset	
<i>Elforbrug i kWh/m² år</i>						
Belysning	7		6		20	
Ude- og trappelys	0		2		1	
Ventilation	0		4		6	
Pumper	1		1		1	
Fyr	2		2		2	
Apparater mv.	27		25		15	
Elevatore	<u>0</u>		<u>1</u>		<u>1</u>	
I alt ekskl. fyr	35		39		44	
I alt inkl. fyr	37		41		46	
	N-gas	FV	N-gas	FV	N-gas	FV
<i>Udgift i kr./m² år</i>	46,25	43,75	51,25	48,75	23,00	22,00
<i>CO₂-emission i kg CO₂/m² år</i>	31,4	29,7	34,8	33,1	39,1	37,4

Klimaskærmen

Beregningerne tager udgangspunkt i konstruktioner, der netop opfylder de nuværende U-værdikrav i bygningsreglementerne BR 95 (Boligministeriet, 1995) og BR-S 98 (Bolig- og Byministeriet, 1998) inklusive tillæg 2 til BR 95 (By- og Boligministeriet, 2001b) og tillæg 1 til BR-S 98 (By- og Boligministeriet, 2001a).

Ved beregning af U-værdierne anvendes DS 418: Beregning af bygnings varmetab (Dansk Ingeniørforening, 1986) inklusive tillæg 1: Vinduer og yderdøre (Dansk Standard, 1997) og tillæg 3: Betonsandwichelementer samt kileformet isolering (Dansk Standard, 1998) samt tillæg 4: Kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og -vægge samt samlinger omkring vinduer og døre (Dansk Standard, 2000), der er udsendt september 2000, og som kræves anvendt fra august 2001.

Der er så vidt muligt taget udgangspunkt i konstruktioner, som er beskrevet i V&S's prispbøger (V&S priser: Bygningsdele 2000, 2000), i VIF's U-værditabel (Dansk Forening af Fabrikanten af Varmeisoleringsmaterialer, VIF, 1995), i SBI-anvisning 184: Bygningers Energibehov (Aggerholm et. al., 1995) eller i SBI-anvisning 189: Småhuse (Statens Byggeforskningsinstitut, 1999), som er udgivet i tilknytning til BR 95 og BR-S 98.

Der antages en rumtemperatur på 20 °C, og en opvarmningssæson fra begyndelsen af oktober til slutningen af april, svarende til 3500 graddøgn pr. år.

Hvor ikke andet er nævnt, anvendes priser fra V&S Bygningsdele (V&S priser: Bygningsdele 2000, 2000) og fra V&S Husbygning-Brutto (V&S priser: Husbygning-Brutto 2000, 2000). Priserne er inklusive materialer, arbejdsløn, materielleje, byggepladsspild og administrationsomkostninger. For isoleringstykkelser, som ikke er medtaget i V&S-bøgerne, er priserne bestemt ved lineær inter- eller extrapolation. For isolering kl. 36 antages en merpris på 15 pct. i forhold til tilsvarende isolering i kl. 39.

I energi- og CO₂-vurderingerne antages, at den forøgede isolering opnås ved hjælp af et isoleringsmateriale med et energiforbrug til fremstillingen på 14,0 MJ/kg isolering og en CO₂-emission på 0,92 kg CO₂/kg isolering. Disse data svarer til data for stenuld angivet i Håndbog i miljørigtig projektering (BPS-centret, 1998). Øvrige energi- og CO₂-konsekvenser er beregnet med databaseprogrammet beskrevet i SBI-rapport 296 (Holleris Petersen, Krogh & Dinesen, 1998).

I øvrigt kan det nævnes, at der under Energiforskningsprogrammet i 1998 er igangsat et større projekt, som bl.a. skal fremme yderligere varmebesparelser i nybyggeriet ved en teknologisk udvikling af klimaskærmen.

Hule ydervægge

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet til tunge ydervægge 0,30 W/m² K.

U-værdien for de forskellige ydervægskonstruktioner vil bl.a. afhænge af kuldebroerne omkring vinduer og døre. Næsten alle typer vindues- og yderdørskarme er mindst 90 mm brede, og kan derfor spænde over en kuldebroisolering på 50 mm inklusive 20 mm overlæg mellem karm og formur, bagmur eller ribbe, som er nødvendig for at bære den ind- og udvendige fug. Mange karme er 115 mm brede, hvilket giver mulighed for en kuldebroafbrydelse på 75 mm. Større kuldebroafbrydelse vil kræve, at vinduet eller døren forsynes med lysningspaneler, der slutter tæt. Montering af karmen direkte i formur, bagmur eller ribbe vil normalt kræve, at der ud for monte-

ringpunkterne er et overlæg på 40-50 mm. Ved større kuldebroafbrydelse ud for monteringspunkterne må vinduet monteres med særlige beslag, se fx BPS-publikation 111 (BPS-centret, 1993).

Beregningerne er gennemført for hule ydervægge med formur i tegl og bagmur opbygget som beskrevet i tabel 6. Som udgangspunkt antages, at der er udmuring hele vejen rundt om vinduer og døre. Desuden antages 8 stk. 4 mm rustfaste murbindere anvendt pr. m². Som udgangspunkt har ydervæggen i parcelhuset en tykkelse på 335 mm henholdsvis 355 mm, mens ydervæggen i etage- og kontorhuset har en tykkelse på 385 mm henholdsvis 415 mm, hvor de største tykkelser er for bagmure i tegl inklusive pudslag.

Betydningen af kuldebroafbrydelsen er vist i tabel 7. Det ses, at det nuværende U-værdikrav i Bygningsreglementet til tunge ydervægge forudsætter en kuldebroafbrydelse på 30-50 mm i parcelhuset og 50-70 mm i etage- og kontorhuset.

Tabel 8 viser betydningen af at anvende plastbindere eller isoleringsmateriale kl. 36. Det ses, at især valget af isolering i lavere lambda-klasse reducerer U-værdien.

Tabel 9 viser betydningen af at øge isoleringstykkelsen med udgangspunkt i 125 mm isolering kl. 36. I tabel 10 er den samme beregning gentaget under forudsætning af, at det drejer sig om ydervægspartier uden vinduer og døre eller om ydervægspartier uden kuldebro omkring vinduer og døre, hvor der er fuld isoleringstykkelse i hele væggen.

Tabel 6. Bagmurens opbygning i de hule ydervægge. Elementer er rumhøje.

		Tykkelse mm	Densitet kg/m ³	Varmeledningsevne W/m K
Parcelhuset	Tegl	108	1600	0,57
	Klinkerbetonelement	100	1200	0,45
	Porebetonelement	100	645	0,20
Etagehuset og kontorhuset	Betonelement	150	2300	1,60
	Tegl	168	1600	0,57
	Klinkerbetonelement	150	1200	0,45

Tabel 7. Kuldebroafbrydelsens betydning for U-værdien i hule ydervægge. 125 mm isolering kl 39. Bindere er rustfast stål.

Tabel 8. Betydningen af at anvende plastbindere eller isoleringsmateriale kl. 36 i hule ydervægge. 125 mm isolering. 70 mm kuldebroafbrydelse.

		Isolering: Bindere:	Kl. 39 Rustf. stål	Kl. 39 Plast	Kl. 36 R.f. stål
Parcelhuset	Tegl		0,287	0,282	0,270
	Klinkerbetonelement		0,283	0,279	0,267
	Porebetonelement		0,261	0,257	0,247
Etagehuset og kontorhuset	Betonelement		0,304	0,299	0,286
	Tegl		0,286	0,282	0,271
	Klinkerbetonelement		0,281	0,276	0,266

Tabel 9. Forøget isoleringstykkelse i hule ydervægge. Isolering kl. 36. 70 mm kuldebroafbrydelse.

Isoleringstykkelse:		125 mm	150 mm	190 mm
Parcelhuset	Tegl	0,270	0,235	0,195
	Klinkerbetonelement	0,267	0,231	0,192
	Porebetonelement	0,247	0,215	0,179
Etagehuset og kontorhuset	Betonelement	0,286	0,251	0,212
	Tegl	0,271	0,239	0,202
	Klinkerbetonelement	0,266	0,234	0,197

Tabel 10. Forøget isoleringstykkelse i hule ydervægge. Isolering kl. 36. Ingen udmuring omkring vinduer eller ydervægsparti uden vinduer og døre.

		125 mm	150 mm	190 mm
Parcelhuset	Tegl	0,257	0,219	0,176
	Klinkerbetonelement	0,255	0,217	0,176
	Porebetonelement	0,238	0,205	0,168
Etagehuset og kontorhuset	Betonelement	0,263	0,223	0,180
	Tegl	0,250	0,214	0,173
	Klinkerbetonelement	0,248	0,212	0,172

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer i forbindelse med at ændre 125 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 i hule ydervægge er opgjort i tabel 11. Det er forudsat, at kl. 39 isolering har en densitet på 30 kg/m³, mens kl. 36 isolering har en densitet på 45 kg/m³. Endvidere er der antaget en merpris for isolering kl. 36 på 15 pct. Det er forudsat, at levetiden er på 100 år, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Set i forhold til en samlet pris for hule ydervægge på 1300-1500 kr./m² er merinvesteringen under 1 pct.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre de 125 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 er opgjort i tabel 12 for henholdsvis parcelhuset og etage- og kontorhuset i afhængighed af varmforsyningen. Ændringen vil koste 8,25 kr./m² etageareal inklusive moms i parcelhuset og reducere energiforbrug til opvarmning og ventilation med 1,3 pct. I etage- og kontorhuset vil ændringen koste 4,75 kr./m² etageareal inklusive moms og reducere energiforbrug til opvarmning og ventilation med 0,6 pct. I kontorhuset vil ændringen koste 3,75 kr./m² etageareal eksklusiv moms og reducere energiforbrug til opvarmning og ventilation med 1,1 pct.

Investeringerne for at øge isoleringen af ydervæggen i parcelhuset fra 125 mm til 190 mm kl. 36 er opgjort i tabel 13. Dette vil øge væggenes tykkelse med 65 mm og medføre den samme forøgelse af taget og fundamentet. Der er forudsat en merpris på 15 pct. for isolering kl. 36 i forhold til isolering kl. 39. For parcelhuset er forudsat fundamenter med to letklinkerblokke i toppen, som øges fra 330 mm til 390 mm tykkelse, og tagkonstruktion med gitterspær.

Tabel 11. Investeringer for at ændre 125 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 i hule ydervægge.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
8,60	7,3	1,7

I tabel 13 er også opgjort investeringerne for at øge isoleringen i etage- og kontorhuset fra 125 mm til 150 mm kl. 36. Valget af 150 mm frem for 190 mm skyldes tilgængeligheden af prisoplysninger fra V&S (V&S priser: Bygningsdele 2000, 2000). For etage- og kontorhuset er forudsat kælderydervæg af beton, som øges fra 375 mm til 400 mm, og tagdæk af forspændte betonelementer. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbage-

betalingstid samt CO₂-skyggepris er opgjort i tabel 14 i afhængighed af varmemeforsyningen.

Investeringerne for at øge isoleringen i ydervæggen fra 125 mm til 150 mm kl. 36 og samtidig ændre formuren fra 108 mm almindelige teglsten til 88 mm bloksten er opgjort i tabel 15. Det er forudsat, at ydervæggens tykkelse ikke øges i en grad, der giver behov for ændring ved fundament eller tag. Det er desuden forudsat, at de to formures pris-, energi- og miljøforhold er ens. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris er opgjort i tabel 16 i afhængighed af varmemeforsyningen.

Tabel 12. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre 125 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 i hule ydervægge.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	1,34	N-gas	13	5	6	50
		FV	18	11	9	390
Etagehuset og kontorhuset	1,51	N-gas	12	5	5	0
		FV	16	10	8	280

Tabel 13. Investering for at øge isoleringen i hule ydervægge fra 125 mm isolering kl. 39 til 190 mm isolering kl. 36 i parcelhuset og til 150 mm isolering kl. 36 i etage- og kontorhuset.

		Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
Parcelhuset	Ydervæg	55,00	18,7	4,4
	Tag	9,00	3,1	0,6
	Fundament	<u>45,00</u>	<u>7,6</u>	<u>3,8</u>
	I alt	109,00	29,4	8,8
Etagehuset og kontorhuset	Ydervæg	20,00	4,4	1,0
	Tag	3,00	0,8	0,3
	Kældervæg	<u>9,50</u>	<u>2,3</u>	<u>1,1</u>
	I alt	32,50	7,5	2,4

Tabel 14. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen i hule ydervægge fra 125 mm isolering kl. 39 til 190 mm isolering kl. 36 i parcelhuset og til 150 mm isolering kl. 36 i etage- og kontorhuset.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	9,16	N-gas	25	3	5	390
		FV	33	6	7	900
Etagehuset og kontorhuset	4,45	N-gas	19	3	4	230
		FV	26	7	6	620

Tabel 15. Investeringer for at øge isoleringen i hule ydervægge fra 125 mm isolering kl. 39 til 150 mm isolering kl. 36 og samtidig ændre formuren fra 108 mm almindelige teglsten til 88 mm bloksten.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg-CO ₂ /m ²
22,00	11,7	2,7

Tabel 16. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen i hule ydervægge fra 125 mm isolering kl. 39 til 150 mm isolering kl. 36 og samtidig ændre formuren fra 108 mm almindelige teglsten til 88 mm bloksten.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	5,88	N-gas	10	2	2	-40
		FV	14	4	3	140
Etagehuset og kontorhuset	4,45	N-gas	14	3	3	40
		FV	18	5	4	290

Betonsandwichelementer

I BR 95 er U-værdikravet til tunge ydervægge, herunder betonsandwichelementer, 0,30 W/m² K.

Beregningerne er gennemført for etagehøje betonsandwichelementer med 120 mm bagskive og 75 mm forplade. Med nominelt 150 mm isolering, som komprimeres til 145 mm i konstruktionen, giver det en samlet elementtykkelse på 340 mm. Ved beregningerne er anvendt det samme etage- og kontorhus som tidligere.

Betydningen af topribbens højde, vindues- og dørribbernes bredde samt kuldebroafbrydelsens tykkelse er vist i tabel 17, under forudsætning af at der anvendes 145 mm isolering kl. 39. Det er desuden antaget, at der er samme kuldebroafbrydelse rundt om vinduer og døre som ved topribben.

I tabel 18 angives betydningen af at anvende isolering kl. 36 i hele elementet, også ud for ribberne.

I tabel 19 angives betydningen af at øge isoleringstykkelsen i elementet.

Tabel 17. Topribbens og vinduesribbens samt kuldebroafbrydelsens betydning for U-værdien i betonsandwichelementer. 145 mm isolering kl. 39.

Topribbens højde	Vinduesribbernes bredde	Kuldebroafbrydelse				
		30 mm	50 mm	70 mm	90 mm	110 mm
100 cm	15 cm	0,754	0,540	0,425	0,354	0,304
	10 cm	0,709	0,514	0,409	0,345	0,299
50 cm	15 cm	0,584	0,442	0,366	0,319	0,285
	10 cm	0,539	0,416	0,350	0,310	0,280
30 cm	15 cm	0,508	0,397	0,337	0,299	0,278
	10 cm	0,471	0,377	0,327	0,296	0,273

Tabel 18. Betydningen af at anvende isolering kl. 36 i hele betonsandwichelementet, også ud for ribberne. Vinduesribbernes bredde er 10 cm.

Topribbens højde	Kuldebro- afbrydelse	Isolering	
		kl. 39	kl. 36
50 cm	70 mm	0,350	0,327
	90 mm	0,310	0,289
	110 mm	0,280	0,261
30 cm	70 mm	0,327	0,305
	90 mm	0,296	0,275
	110 mm	0,273	0,253

Tabel 19. Forøget isoleringstykkelse i betonsandwichelementer. Isolering kl. 36 i hele elementet, også ud for ribberne. Vinduesribbernes bredde er 10 cm.

Topribbens højde	Kuldebro- afbrydelse	Isoleringstykkelse		
		145 mm	170 mm	195 mm
50 cm	70 mm	0,327	0,313	0,299
	90 mm	0,289	0,274	0,261
	110 mm	0,261	0,246	0,233
30 cm	70 mm	0,305	0,287	0,271
	90 mm	0,275	0,258	0,242
	110 mm	0,253	0,236	0,220

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at ændre de nominelt 150 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 i betonsandwichelementer er opgjort i tabel 20. Ved beregningen er det antaget, at kl. 39 isoleringen har en densitet på 70 kg/m³, mens kl. 36 isoleringen har en densitet på 85 kg/m³. Der er antaget en merpris for isolering kl. 36 i forhold til isolering kl. 39 på 15 pct. På baggrund af prisoplysninger fra leverandør er bruttomaterialeprisen for 150 mm kl. 39 betonelementbatts sat til 80 kr./m². Der er antaget en levetid på 80 år, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre de 150 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 er opgjort i tabel 21 i afhængighed af varmemforsyningen.

Investeringerne for at øge isoleringen i betonsandwichelementet fra nominelt 150 mm til 200 mm isolering kl. 36 er opgjort i tabel 22. Dette vil øge væggen tykkelse med 50 mm og medføre den samme forøgelse af taget. Det er antaget, at sandwichelementet alene står på bagpladen, og at der derfor ikke vil være behov for at ændre kældervæggen.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen fra nominelt 150 mm til 200 mm er opgjort i tabel 23 i afhængighed af varmemforsyningen.

Tabel 20. Investeringer for at ændre nominelt 150 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 i betonsandwichelementerne i etage- og kontorhuset.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
12,00	8,8	2,1

Tabel 21. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre de nominelt 150 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 i betonelementerne i etage- og kontorhuset.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Etagehuset og	1,76	N-gas	14	5	6	190
kontorhuset		FV	19	10	8	620

Tabel 22. Investeringer for at øge isoleringstykkelsen fra nominelt 150 mm isolering kl. 39 til nominelt 200 mm isolering kl. 36 i betonsandwichelementerne i etage- og kontorhuset.

		Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
Etagehuset og	Ydervæg	43,00	25,3	6,0
kontorhuset	Tag	6,00	1,6	0,5
	I alt	49,00	26,9	6,5

Tabel 23. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen fra nominelt 150 mm isolering kl. 39 til nominelt 200 mm isolering kl. 36 i betonsandwichelementerne i etage- og kontorhuset.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Etagehuset og	4,54	N-gas	23	6	7	580
kontorhuset		FV	30	12	10	1.420

Træskeletvægge

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet til lette ydervægge 0,20 W/m² K.

Beregningerne er gennemført for en bærende træskeletvæg med gipsplader indvendig og cementbaserede plader udvendig. Som udgangspunkt er både stolperne og de vandrette planker 50 × 100 mm med en centerafstand på 60 cm. Isoleringen er kl. 39. Væggen har en samlet tykkelse på 290 mm.

Betydningen af at øge isoleringstykkelserne samt af at anvende isolering kl. 36 i træskeletydervægge er opgjort i tabel 24.

Tabel 24. Forøget isoleringstykkelser i træskeletvæg.

Isolering	Isoleringstykkelser			
	200 mm	225 mm	250 mm	300 mm
kl. 39	0,202	0,181	0,164	0,139
kl. 36	0,190	0,170	0,154	0,130

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at ændre de 200 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 i træskeletvægge er opgjort i tabel 25. Ved beregningen er det antaget, at kl. 39 isoleringen har en densitet på 30 kg/m³, mens kl. 36 isoleringen har en densitet på 45 kg/m³. Der er antaget en merpris for isolering kl. 36 i forhold til kl. 39 på 15 pct. Der er antaget en levetid på 60 år, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre de 200 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 er opgjort i tabel 26 i afhængighed af varmemforsyningen.

Investeringerne for at øge isoleringen i træskeletvægge fra 200 mm til 250 mm kl. 39 er opgjort i tabel 27. Den øgede isoleringstykkelser opnås billigst ved at øge stolpernes bredde fra 100 til 150 mm. Dette vil øge væggens tykkelse med 50 mm og medføre den samme forøgelse af taget. Det er antaget, at forøgelsen af træskeletvæggens tykkelse ikke medfører behov for at ændre fundamentet i parcelhuset eller kældervæggen i etage- og kontorhuset. For parcelhuset er forudsat tagkonstruktion med gitterspær. For etage- og kontorhuset er forudsat tagdæk af forspændte betonelementer. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge fra 200 mm til 250 mm isolering kl. 39 er opgjort i tabel 28 i afhængighed af varmemforsyningen.

I tabel 29 angives investeringerne for at øge isoleringen i træskeletvægge fra 200 mm til 300 mm kl. 39. Den øgede isoleringstykkelser opnås billigst ved indvendigt at opsætte et lag krydsende planker 50 × 100 mm med centerafstand 60 cm. Øvrige antagelser er som ovenfor. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge fra 200 mm til 300 mm isolering kl. 39 er opgjort i tabel 30.

Tabel 25. Investeringer for at ændre 200 mm isolering i træskeletvægge fra kl. 39 til kl. 36.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
16,50	11,7	2,8

Tabel 26. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre 200 mm isolering i træskeletvægge fra kl. 39 til kl. 36.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Alle husene	1,01	N-gas	34	12	14	3.200
		FV	46	23	19	47.000

Tabel 27. Investeringer for at ændre isoleringstykkelser fra 200 mm til 250 mm isolering i træskeletvægge. Isolering kl. 39.

		Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
Parcelhuset	Ydervæg	80,00	5,8	1,4
	Tag	<u>7,00</u>	<u>0,9</u>	<u>0,2</u>
	I alt	87,00	6,7	1,6
Etagehuset og kontorhuset	Ydervæg	80,00	5,8	1,4
	Tag	<u>6,00</u>	<u>1,6</u>	<u>0,5</u>
	I alt	86,00	6,8	1,9

Tabel 28. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen fra 200 mm til 250 mm i træskeletvægge. Isolering kl. 39.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	3,19	N-gas	57	2	2	2.200
		FV	76	4	3	3.500
Etagehuset og kontorhuset	3,19	N-gas	56	2	3	2.200
		FV	75	5	4	3.600

Tabel 29. Investeringer for at ændre isoleringstykkelser fra 200 mm til 300 mm isolering i træskeletvægge. Isolering kl. 39.

		Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
Parcelhuset	Ydervæg	120,00	11,6	2,8
	Tag	<u>14,00</u>	<u>1,8</u>	<u>0,4</u>
	I alt	134,00	13,4	3,2
Etagehuset og kontorhuset	Ydervæg	120,00	11,6	2,8
	Tag	<u>12,00</u>	<u>3,1</u>	<u>1,1</u>
	I alt	132,00	14,7	3,9

Tabel 30. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen fra 200 mm til 300 mm i træskeletvægge. Isolering kl. 39.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	5,29	N-gas	53	3	3	2.100
		FV	70	5	4	3.400
Etagehuset og kontorhuset	5,29	N-gas	52	3	4	2.100
		FV	69	6	5	3.500

Vinduer

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet til vinduer $1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Der er over de senere år sket en betydelig udvikling af ruder med nye belægningstyper og bedre energimæssige egenskaber. Udviklingen af vinduets karm og ramme har derimod været begrænset. Det må forventes, at Projekt vindue (Energistyrelsen, 1998a) og Energimærkningen af vinduer og ruder vil fremme udvikling og anvendelse af mere energieffektive vinduer, herunder især bedre karm- og rammekonstruktioner.

I tabel 31 er beregnet U-værdier og varmebalance for et oplukkeligt trævindue med forskellige rudetyper. I tabellen er både angivet center U-værdien for rudemidten og den samlede U-værdi for vinduet beregnet efter DS 418, Tillæg 1 (Dansk Standard, 1997). Det er antaget, at der anvendes afstandsprofiler i aluminium eller almindeligt stål med en lineær transmissionskoefficient på $0,06 \text{ W/m K}$. Varmebalancen er beregnet over perioden september til maj for henholdsvis et nordvendt og et sydvendt vindue. Ved beregningen er forudsat en skyggefaktor for det nordvendte vindue på 0,9 og for det sydvendte vindue på 0,8, samt at 90 pct. af solindfaldet udnyttes til opvarmningen.

Forskellen på den almindelige energirude og super energiruden er alene emissiviteten for lavemissionsbelægningen på glaslaget mod mellemrummet. Det midterste lag i en trelagsrude kan eventuelt være en udspændt plastfolie.

Teknikken er anvendt fx i demonstrationprojekter især i Canada og USA. Der er også enkelte eksempler på anvendelse i Danmark.

I tabel 32 er på tilsvarende vis beregnet U-værdi og varmebalance for trævinduer af forskellig type og dimension. Der forudsættes anvendt 2-lags super energiruder med 18 mm glasafstand og argonfyldning samt afstandsprofiler af aluminium eller almindeligt stål.

I tabel 33 er det antaget, at der i stedet anvendes forbedrede afstandsprofiler med en lineær transmissionskoefficient på $0,04 \text{ W/m K}$. Det kan fx tænkes opnået ved at anvende tynde rustfaste stålprofiler eller såkaldte 'super spacers'.

Tabel 31. U-værdi og varmebalance for oplukkeligt trævindue med dimension $1,2 \times 1,2 \text{ m}$ og forskellige rudeløsninger.

Rude	Fyldning	Glasafst. mm	U-værdi i $\text{W/m}^2 \text{ K}$		Varmebal. i kWh/m^2	
			Center	Vindue	Nord	Syd
2-lags alm. energi	Argon	12	1,50	1,70	-115	-29
		20	1,35	1,60	-107	-20
2-lags super energi	Argon	12	1,25	1,53	-104	-25
		15-18	1,10	1,43	-95	-16
2-lags super energi	Krypton	9-18	1,00	1,36	-89	-10
3-lags super energi, 1 lavem.	Argon	15-18	0,85	1,26	-82	-9
3-lags super energi, 2 lavem.	Argon	15-18	0,70	1,16	-74	-3
3-lags super energi, 1 lavem.	Krypton	12-18	0,75	1,19	-76	-3
3-lags super energi, 2 lavem	Krypton	12	0,50	1,02	-63	8

Tabel 32. U-værdi og varmebalance for trævinduer i afhængighed af type og dimension. Ruder er 2-lags super energiruder med 18 mm glasafstand og argonfyldning. Afstandprofiler af aluminium eller almindeligt stål.

Dimension bredde × højde	Type	U-værdi W/m ² K	Varmebal. i kWh/m ²	
			Nord	Syd
0,6 × 0,6 m	Fast	1,52	-105	-34
	Oplukkeligt	1,65	-126	-81
1,2 × 1,2 m	Fast	1,33	-80	+16
	Oplukkeligt	1,43	-95	-16
	Do. med lodpost	1,56	-112	-47
1,2 × 1,6 m	Fast	1,30	-77	+23
	Oplukkeligt	1,39	-90	-6
	Do. med vandret post	1,49	-103	-29
	Do. med lodpost	1,61	-117	-57

Tabel 33. U-værdi og varmebalance for trævinduer i afhængighed af type og dimension. Ruder er 2-lags super energiruder med 18 mm glasafstand og argonfyldning. Afstandprofiler af tynde rustfaste stålprofiler eller 'super spacers'.

Dimension bredde × højde	Type	U-værdi W/m ² K	Varmebal. i kWh/m ²	
			Nord	Syd
0,6 × 0,6 m	Fast	1,41	-96	-24
	Oplukkeligt	1,56	-119	-74
1,2 × 1,2 m	Fast	1,27	-75	+21
	Oplukkeligt	1,37	-90	-11
	Do. med lodpost	1,48	-105	-40
1,2 × 1,6 m	Fast	1,25	-72	+27
	Oplukkeligt	1,34	-86	-2
	Do. med vandret post	1,43	-97	-23
	Do. med lodpost	1,53	-110	-49

Energi, økonomi og CO₂

Tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved at forbedre ruden i et oplukkeligt trævindue med dimension 1,2 × 1,2 m fra at være en almindelig energirude til at være en super energirude er vist i tabel 34. Ruderne er begge 2-lags med argonfyldning og 18-20 mm glasafstand. Det er antaget, at ruden har en levetid på 20 år, og at forbedringen ikke påvirker vedligeholdelsesbehovet. På baggrund af prisoplysninger fra rudeleverandører er der antaget en merpris for ruden på 40,00 kr./m² rude eksklusive moms. Merprisen for super energiruder i forhold til almindelige energiruder varierer en del mellem leverandørerne. Merprisen er generelt aftagende. Det antages, at energiforbruget til fremstilling af ruden og at CO₂-emissionen fra fremstillingen er uforandret.

I tabel 35 er vist netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at anvende kryptonfyldning i stedet for argon. Ifølge rudeleverandørers prisoplysninger er merprisen for at fylde ruden med krypton ca. 200 kr./m² rude eksklusive moms. På grund af mangel på oplysninger er der set bort fra ekstra energiforbrug til fremstilling af ruden og ekstra CO₂-emission fra fremstillingen. Der er formodentlig et ikke uvæsentligt ekstra energiforbrug til fremstilling af ruden og en ekstra CO₂-emission fra fremstillingen.

I tabel 36 er vist investeringerne ved at anvende en 3-lags super energirude med to lavemissionsbelægninger frem for en 2-lags super energirude. Ruderne antages i begge tilfælde at være fyldt med argon. Ifølge rudeleverandørers prisoplysninger er merprisen for 3-lagsruden ca. 600 kr./m² rude eksklusive moms. I beregningen er alene medtaget det ekstra energiforbrug til fremstilling af det tredje lag glas i ruden og CO₂-emissionen fra denne fremstilling. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris er opgjort i tabel 37.

Tabel 34. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at forbedre ruden i et oplukkeligt trævindue med dimension 1,2 × 1,2 m fra at være en almindelig energirude til at være en super energirude.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Alle husene	8,0	N-gas	7	0	0	490
		FV	9	0	0	870

Tabel 35. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at fylde super energiruden i et oplukkeligt trævindue med dimension 1,2 × 1,2 m med krypton i stedet for argon.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Alle husene	6,0	N-gas	44	–	–	4.800
		FV	58	–	–	7.100

Tabel 36. Investeringer for at anvende en 3-lags super energirude med to lavemissionsbelægninger frem for en 2-lags super energirude. Oplukkeligt trævindue med dimension 1,2 × 1,2 m.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
378,00	33,0	9,4

Tabel 37. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at anvende en 3-lags super energirude med to lavemissionsbelægninger i stedet for en 2-lags super energirude. Oplukkeligt trævindue med dimension 1,2 × 1,2 m.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton-CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Alle husene	26,0	N-gas	30	1	1	3.600
		FV	40	3	3	5.500

Løfter

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet til lofter 0,15 W/m² K.

Beregningerne er gennemført for en tagkonstruktion med gipsplader indvendigt og en tung tagkonstruktion med undertag. Spærfødderne er 50 × 125 mm. Spærene er opstillet med en centerafstand på 90 cm. Som udgangspunkt er der antaget 250 mm isolering kl. 39.

Betydningen af at øge isoleringstykkelsen og af at anvende isolering kl. 36 er opgjort i tabel 38.

Tabel 38. Forøget isoleringstykkelse på loftet i tagkonstruktioner.

Isolering	Isoleringstykkelse			
	250 mm	275 mm	300 mm	325 mm
kl. 39	0,150	0,137	0,126	0,116
kl. 36	0,140	0,127	0,117	0,108

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at ændre 250 mm isolering på lofter fra kl. 39 til kl. 36 er opgjort i tabel 39. Ved beregningen er det antaget, at kl. 39 isoleringen har en densitet på 30 kg/m³, mens kl. 36 isoleringen har en densitet på 45 kg/m³. Der er antaget en merpris for kl. 36 isoleringen på 15 pct. Der er antaget en levetid på 60 år, og at forøgelsen af isoleringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre de 250 mm isolering fra kl. 39 til kl. 36 er opgjort i tabel 40 i afhængighed af varmemforsyningen.

Investeringerne for at øge isoleringen på loftet fra 250 mm til 300 mm kl. 39 er opgjort i tabel 41. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris er opgjort i tabel 42.

Tabel 39. Investeringer for at ændre 250 mm isolering på loftet i tagkonstruktioner fra kl. 39 til kl. 36.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
17,60	14,6	3,5

Tabel 40. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at ændre de 250 mm isolering på loftet i tagkonstruktionen i parcelhuset fra kl. 39 til kl. 36.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	0,84	N-gas	44	17	20	-
		FV	58	35	29	-

Tabel 41. Investeringer for at øge isoleringen på loftet i tagkonstruktioner fra 250 mm til 300 mm. Isolering kl. 39.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
23,60	5,8	1,4

Tabel 42. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen på loftet i tagkonstruktioner fra 250 mm til 300 mm. Isolering kl. 39.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	2,02	N-gas	24	3	3	800
		FV	33	6	5	1.470

Skråvægge

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet til skråvægge 0,20 W/m² K.

Beregningerne er gennemført for en skråvæg med spær på 75 × 150 mm opstillet med en centerafstand på 90 cm, gipsplader indvendigt og tagbelægning med undertag. Som udgangspunkt er der forudsat krydslægter indvendigt på 50 × 50 mm med en centerafstand på 60 cm og i alt 200 mm isolering kl. 39. Dampspærren kan placeres beskyttet 50 mm inde i konstruktionen på spærenes inderside.

Betydningen af at øge isoleringstykkelsen og af at anvende isolering kl. 36 i skråæggen er opgjort i tabel 43.

Tabel 43. Forøget isoleringstykkelse i skråvæg.

Isolering	Isoleringstykkelse				
	200 mm	225 mm	250 mm	275 mm	300 mm
kl. 39	0,199	0,179	0,163	0,149	0,137
kl. 36	0,187	0,168	0,153	0,140	0,129

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at øge isoleringen i skråvægge fra 200 mm til 225 mm er opgjort i tabel 44.

Den forøgede isoleringstykkelse forudsættes opnået ved at øge krydslægternes tykkelse fra 50 mm til 75 mm. Der er antaget en levetid på 60 år, og

at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen i skråvægge fra 200 mm til 225 mm isolering kl. 39 er opgjort i tabel 45 i afhængighed af varmforsyningen.

Investeringerne for at øge isoleringen i skråvægge fra 200 mm til 250 mm kl. 39 er opgjort i tabel 46. Den forøgede isoleringstykkel forudsættes opnået ved at laske 50 × 50 mm lægter på indersiden af spærene. Arbejdslønnen ved opsætning af lægterne og det ekstra isoleringslag udgør ca. 60 pct. af merinvesteringen.

Tabel 44. Investeringer for at øge isoleringen i skråvægge fra 200 mm til 225 mm. Isolering kl. 39.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
22,00	2,9	0,7

Tabel 45. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen i skråvægge fra 200 mm til 225 mm. Isolering kl. 39.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Alle husene	1,68	N-gas	27	2	2	860
		FV	36	3	3	1.490

Tabel 46. Investeringer for at øge isoleringen i skråvægge fra 200 mm til 250 mm. Isolering kl. 39.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
90,00	5,8	1,4

Tabel 47. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen i skråvægge fra 200 mm til 250 mm. Isolering kl. 39.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Alle husene	3,02	N-gas	62	2	2	2.400
		FV	83	4	3	3.800

Flade tage

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet til flade tage 0,20 W/m² K.

Beregningerne er gennemført for et fladt tag med tagdæk af betonelementer og kileformet isolering med en hældning på 1:40.

Betydningen af isoleringstykkelsen er vist i tabel 48 i afhængighed af kilelængden for henholdsvis isolering kl. 39 og isolering kl. 42. Ved en kilelængde på 4,0 m er isoleringen 50 mm tykkere end middeltykkelsen i den tykke ende og 50 mm tyndere i den tynde ende. For 6,0 m og 8,0 m kilelængde drejer det sig tilsvarende om 75 mm henholdsvis 100 mm.

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at øge middelisoleringstykkelsen på flade tage med kileskåret isolering kl. 42 fra 200 mm til 250 mm er opgjort i tabel 49. Ved beregningen er det antaget, at kl. 42 isoleringen har en densitet på 95 kg/m³. Der er antaget en levetid på 60 år for isoleringen, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Eventuelle reparationer eller udskiftninger af tagpappet indenfor de 60 år forudsættes ikke at berøre isoleringen.

Tabel 48. Forøget isoleringstykkelser i fladt tag af betonelementer med kileformet isolering og en hældning på 1:40.

Isolering	Kilelængde	Isoleringstykkelser, middel				
		200 mm	225 mm	250 mm	275 mm	300 mm
Kl. 42	4,0 m	0,203	0,180	0,163	0,148	0,136
	6,0 m	0,208	0,184	0,165	0,150	0,138
	8,0 m	0,216	0,190	0,169	0,153	0,140
Kl. 39	4,0 m	0,189	0,168	0,152	0,138	0,127
	6,0 m	0,194	0,172	0,154	0,140	0,128
	8,0 m	0,201	0,177	0,158	0,143	0,130

Ved beregning af merinvesteringerne er der set bort fra investeringer i forhøjelse af fx ovenlyskarme og tagkanter. Beregningen er gennemført for 6,0 m kilelængde.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge middelisoleringstykkelser på flade tage med kileskåret isolering kl. 42 fra 200 mm til 250 mm er opgjort i tabel 50 i afhængighed af varmemforsyningen.

Tabel 49. Investeringer for at øge middelisoleringstykkelser på flade tage med kileskåret isolering kl. 42 fra 200 til 250 mm.

Pris ekskl. Moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
80,00	18,5	4,4

Tabel 50. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge middelisoleringstykkelser på flade tage med kileskåret isolering kl. 42 fra 200 til 250 mm.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Etagehuset og kontorhuset	3,61	N-gas	46	5	6	2.100
		FV	62	10	8	4.000

Terrændæk

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet til terrændæk 0,20 W/m² K.

Beregningerne er gennemført for et terrændæk med isolering under betonpladen og 180 mm løse letklinker, hvoraf de nederste 75 mm fungerer som kapillarbrydende lag. Over betonpladen er der enten en tynd gulvbelægning eller gulv på strøer. Ved gulv på strøer kan 50-75 mm af isoleringen placeres over betonpladen afhængigt af isoleringen under betonpladen og risikoen for kondens på betonpladens overside.

Betydningen af isoleringstykkelser under betonpladen er vist i tabel 51 i afhængighed af gulvbelægningen.

Tabel 51. Forøget isoleringstykkelser i terrændæk. Isolering kl. 39 under betonpladen.

	Isolering under betonplade				
	50 mm	75 mm	100 mm	125 mm	150 mm
Tynd gulvbelægning	0,198	0,176	0,158	0,143	0,131
Gulv på strøer	0,187	0,167	0,151	0,138	0,127

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at øge isoleringstykkelser under betonpladen i terrændæk fra 50 mm til 100 mm isolering kl. 39 er opgjort i tabel 52. Ved beregningen er det antaget, at der er tynd gulvbelægning, og at kl. 39 isoleringen har en densitet på 110

kg/m³. Der er antaget en levetid på 100 år, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Ved beregning af merinvesteringerne er der set bort fra eventuelle omkostninger til fjernelse af jord.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringstykkelsen under betonpladen i terrændæk fra 50 mm til 100 mm isolering kl. 39 er opgjort i tabel 53 i afhængighed af varmforsyningen. Det er antaget, at middeltemperaturforskellen over terrændækket i opvarmningssæsonen er 70 pct. af temperaturforskellen mellem inde- og udetemperaturen.

I tabel 54 er på tilsvarende vis opgjort netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringstykkelsen under betonpladen i terrændæk fra 50 mm til 100 mm isolering kl. 39, hvis der er gulvvarme. Det er antaget, at gulvvarmen er dimensioneret med en maksimal gulvtemperatur på ca. 28 °C, således at middeltemperaturforskellen over terrændækket i opvarmningssæsonen svarer til temperaturforskellen mellem inde- og udetemperaturen.

Tabel 52. Investeringer for at øge isoleringstykkelsen under betonpladen i terrændæk fra 50 mm til 100 mm isolering kl. 39.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
40,00	21,4	5,1

Tabel 53. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringstykkelsen under betonpladen i terrændæk fra 50 mm til 100 mm isolering kl. 39.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	2,35	N-gas	35	9	11	1.200
		FV	47	18	15	3.900

Tabel 54. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringstykkelsen under betonpladen i terrændæk fra 50 mm til 100 mm isolering kl. 39. Konstruktion med gulvvarme.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	2,88	N-gas	25	6	7	480
		FV	33	13	11	1.270

Kælderydervægge

I BR 95 og BR-S 98 er U-værdikravet 0,30 W/m² K til kælderydervægge i rum, der normalt opvarmes til mindst 18 °C.

Beregningerne er gennemført for en 350 mm kælderydervæg i henholdsvis beton og letklinkerbeton med udvendig isolering. Der er forudsat en densitet for letklinkerbetonen på 600 kg/m³. Betydningen af den udvendige isoleringstykkelse er vist i tabel 55. Dybden måles til underkant af kældervæggen. For kælderydervægge med dybde større end 2,0 m opdeles i en U-værdi for de øverste 2,0 m og en for arealet i mere end 2,0 m dybde.

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at øge tykkelsen af den udvendige isolering på en kælderydervæg af beton fra 100 mm til 150 mm isolering kl. 39 er opgjort i tabel 56. Ved beregningen er det antaget, at kældervæggens underkant ligger i 2,0 m dybde, og at kl. 39 isoleringen har en densitet på 110 kg/m³. Der er antaget en levetid på 100

år, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Ved beregning af merinvesteringerne er der set bort fra eventuelle omkostninger til fjernelse af jord.

Tabel 55. Den udvendige isolerings betydning for U-værdien af kælderydervægge i henholdsvis beton og klinkerbeton. Isolering kl. 39.

Vægmaterialer	Dybde	Udvendig isolering						
		0 mm	25 mm	50 mm	75 mm	100 mm	125 mm	150 mm
Beton	1,0 m	-	-	-	0,359	0,292	0,246	0,213
	2,0 m	-	-	-	0,324	0,269	0,229	0,200
	>2,0 m	-	0,333	0,275	0,234	0,203	0,180	0,161
Letklinkerbeton	1,0 m	-	0,395	0,315	0,262	0,225	0,196	0,174
	2,0 m	-	0,353	0,288	0,243	0,210	0,185	0,166
	>2,0 m	0,295	0,248	0,214	0,188	0,168	0,152	0,138

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge tykkelsen af den udvendige isolering på en kælderydervæg af beton fra 100 mm til 150 mm isolering kl. 39 er opgjort i tabel 57 i afhængighed af varmforsyningen.

Tabel 56. Investeringer for at øge tykkelsen af den udvendige isolering på en kælderydervæg af beton fra 100 mm til 150 mm isolering kl. 39.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
66,00	21,4	5,1

Tabel 57. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge tykkelsen af den udvendige isolering på en kælderydervæg af beton fra 100 mm til 150 mm isolering kl. 39.

	Energibesparelse kWh/m ² år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Alle husene	5,80	N-gas	24	4	4	350
		FV	32	7	6	810

Ydervægsfundamenter

I tillæg 4 til DS 418 om kuldebroer (Dansk Standard, 2000) betragtes ydervægsfundamenter omkring terrændæk som en selvstændig konstruktion. Det er derfor forventningen, at bygningsreglementet i fremtiden vil stille separat krav til maksimalt linietab for fundamenter.

I tabel 58 er fra tillæg 4 til DS 418 vist linietabet for ydervægsfundamenter fx til lette vægge og hule vægge med henholdsvis to letklinkerblokke a 20 cm i toppen og to letklinkerblokke med midterisolering oven på en tredje almindelig letklinkerblok. I tabel 59 er tilsvarende vist linietabet for fundamenter til betonsandwichelementer med henholdsvis 50 mm udvendig isolering, 100 mm udvendig isolering og 75 mm midterisolering 60 cm ned. For fundamenterne til betonsandwichelementer er desuden forudsat 15 mm kuldebroafbrydelse langs terrændækkets rand.

Tabel 58. Linietab i W/m K for ydervægsfundamenter. Terrændæk med U-værdi 0,20 W/m² K.

Fundamentstop	Bagmur: Isolering over betonpladen	Skelet	Letbeton	Tegl og klinkerbeton
Letklinkerblokke	Ingen	0,23	0,23	0,24
	75 mm	0,13	0,15	0,18
Midterisolerede letklinkerblokke	Ingen	0,15	0,17	0,17
	75 mm	0,11	0,12	0,16

Tabel 59. Linietab i W/m K for fundamenter til betonsandwichelementer. Terrændæk med U-værdi 0,20 W/m² K.

Fundamentstop	Isolering over betonpladen	
50 mm udvendig isolering	Ingen	0,30
	75 mm	0,25
100 mm udvendig isolering	Ingen	0,26
	75 mm	0,22
75 mm isolering i fundamentsmidte	Ingen	0,26
	75 mm	0,23

Energi, økonomi og CO₂

Investeringerne for at forbedre ydervægsfundamenternes top fra to letklinkerblokke til to letklinkerblokke med midterisolering er vist i tabel 60. Det er antaget, at der ikke er ekstra energiforbrug eller ekstra CO₂-emission til fremstilling af letklinkerblokke med midterisolering i forhold til fremstilling af almindelige letklinkerblokke. Konstruktionen under de to øverste blokke vil normalt afhænge af de lokale byggeforhold, fx muldlagets tykkelse og terrænets eventuelle hældning. Det vil formodentligt være forholdsvis dyrt at etablere et tredje lag letklinkerblokke alene af hensyn til linietabet i forhold til den reduktion af linietabet, som det må forventes at give. De forventede reduktioner i linietabet er sat til 80 pct. af værdierne ifølge i tabel 58 for at modregne den tredje blok. Der er antaget en levetid på 60 år for fundamenter til lette ydervægge, fx skeletvægge, og på 100 år for fundamenter til tunge ydervægge, fx hule vægge med bagmur i letbeton, samt at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved at forbedre ydervægsfundamenterne er vist i tabel 61.

Tabel 60. Investeringer for at forbedre ydervægsfundamenterne fra to letklinkerblokke til to letklinkerblokke med midterisolering oven på en almindelig letklinkerblok.

Pris ekskl. moms kr./m	Energi kWh/m	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m
47,00	-	-

Tabel 61. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at forbedre ydervægsfundamenterne fra to letklinkerblokke til to letklinkerblokke med midterisolering.

	Bagmur	Isol. over betonen	Besparelse kWh/m år	Varme-forsy- ning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -pris kr./ton CO ₂
					Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	Skelet	Ingen	5,38	N-gas	18	-	-	420
				FV	24	-	-	780
		75 mm	1,34	N-gas	73	-	-	2.500
				FV	97	-	-	3.800
	Tung	Ingen	4,70	N-gas	21	-	-	210
				FV	28	-	-	470
		75 mm	1,34	N-gas	73	-	-	1.430
				FV	97	-	-	2.200

Ventilation

Beregningerne tager udgangspunkt i ventilationsanlæg, der netop opfylder de nuværende krav i BR 95 og BR-S 98 i relation til indeklima og energieffektivitet.

Investeringer for at forbedre ventilationsløsningernes energieffektivitet er baseret på bedst mulige skøn, da der mangler generelle og mere præcise prisoplysninger, som dem, der fx findes for klimaskærmen. Desuden vil merpriserne i stor udstrækning afhænge af de aktuelle forhold fx bygningsdesign, ventilations- og indeklimakrav samt anlægsstørrelser.

Enfamiliehuse

Kravene til ventilation i enfamiliehuse i BR-S 98 kan opfyldes med naturlig ventilation gennem udeluftventiler i ydervæggene og aftrækskanaler fra køkken og bad. Der er krav om et luftskifte på mindst $0,5 \text{ h}^{-1}$. Hvis der installeres mekanisk udsugning eller balanceret mekanisk ventilation, skal der være en udsugning fra køkkener på mindst 20 l/s konstant og fra baderum på mindst 15 l/s.

I tabel 62 er opgjort varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO_2 -emission ved ventilation i enfamiliehuse med forskellige ventilationsløsninger. Der er forudsat en ventilation på 0,30 l/s pr. m^2 etageareal, som ved normal rumhøjde og -volumen svarer til et luftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$. For mekanisk ventilation er der desuden antaget et yderligere luftskifte ved normal infiltration og udluftning på 0,10 l/s pr. m^2 etageareal. For reduceret infiltration og udluftning er der antaget 0,05 l/s pr. m^2 etageareal. Der er forudsat et specifikt elforbrug på 1,0 W pr. l/s til mekanisk udsugning og på 3,0 W pr. l/s til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Baggrunden for at tage udgangspunkt i et specifikt elforbrug på 3,0 W pr. l/s er udsagn fra ventilationsbranchen om, at det er vanskeligt at overholde det nuværende krav i BR 95, når det drejer sig om små anlæg. Der er antaget en temperaturvirkningsgrad for varmegenvinderen på 60 pct.

For mekanisk ventilation er betydningen af det specifikke elforbrug til transport af luften samt af varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad vist i tabel 63. Der er forudsat et luftskifte ved infiltration og udluftning på 0,05 l/s pr. m^2 -etageareal.

Energi, økonomi og CO_2

Tilbagebetalingstid og CO_2 -skyggepris ved at forbedre det specifikke elforbrug fra 3,0 til 2,0 W pr. l/s i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til enfamiliehuse er vist i tabel 64. Det er antaget, at ventilationsanlægget har en levetid på 20 år, og at forbedringen ikke påvirker vedligeholdelsesbehovet, samt at merprisen er 10 pct. af prisen på det samlede anlæg, som er sat til 30.000 kr., svarende til 25,00 kr. pr. m^2 etageareal. Reduktion af det specifikke elforbrug kan også medføre en forbedring af varmegenvindingen, som dog ikke er indregnet.

Tabel 62. Varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission ved ventilation i enfamiliehuse med forskellige ventilationsløsninger.

		Naturlig ventilation	Mekanisk udsugning	Mekanisk ventilation	
				Normal infiltr. og udluftning	Reduc. infiltr. og udluftning
Netto energiforbrug i kWh/m ² år					
Varme		32,3	32,3	23,4	18,0
El		0	2,6	7,9	7,9
Energiomkostninger i kr./m ² år					
Varme	N-gas	19,40	19,40	14,10	10,80
	FV	14,50	14,50	10,60	8,10
El		0	3,30	9,90	9,90
I alt	N-gas	19,40	22,70	23,90	20,60
	FV	14,50	17,80	20,40	18,00
CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år					
Varme	N-gas	6,6	6,6	4,8	3,7
	FV	4,7	4,7	3,4	2,6
El		0	2,2	6,7	6,7
I alt	N-gas	6,6	8,8	11,5	10,4
	FV	4,7	6,9	10,1	9,3

Tabel 63. Betydningen af det specifikke elforbrug og varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad for varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission ved ventilation i enfamiliehuse.

		Specifikt elforbrug: 3,0 W pr. l/s	2,0 W pr. l/s	3,0 W pr. l/s	2,0 W pr. l/s
		60 pct.	60 pct.	80 pct.	80 pct.
Netto energiforbrug i kWh/m ² år					
Varme		18,0	18,0	11,5	11,5
El		7,9	5,3	7,9	5,3
Energiomkostninger i kr./m ² år					
Varme	N-gas	10,80	10,80	6,90	6,90
	FV	8,10	8,10	5,20	5,20
El		9,90	6,60	9,90	6,60
I alt	N-gas	20,60	17,40	16,80	13,50
	FV	18,00	14,70	15,00	11,80
CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år					
Varme	N-gas	3,7	3,7	2,4	2,4
	FV	2,6	2,6	1,7	1,7
El		6,7	4,5	6,7	4,5
I alt	N-gas	10,4	8,2	9,1	6,9
	FV	9,3	7,1	8,4	6,2

I tabel 65 er på tilsvarende vis vist tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 80 pct. Der er anvendt de samme antagelser som ovenfor dog med en merpris for anlægget på 5 pct., svarende til 12,50 kr. pr. m² etageareal.

Tabel 64. Tilbagebetalingstid (kapital) og CO₂-skyggepris ved at forbedre det specifikke elforbrug fra 3,0 til 2,0 W pr. l/s i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til enfamiliehuse.

Varmeforsyning		Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Parcelhuset	N-gas	10	400
	FV	10	400

Tabel 65. Tilbagebetalingstid (kapital) og CO₂-skyggepris ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 80 pct. i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til enfamiliehuse.

Varmeforsyning		Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Parcelhuset	N-gas	4	190
	FV	5	440

Etageboliger

Kravene til ventilation i etageboliger i BR 95 forudsætter mekanisk udsugning eller balanceret mekanisk ventilation med en udsugning fra køkkener på mindst 20 l/s konstant og fra baderum på mindst 15 l/s.

I tabel 66 er opgjort varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission ved ventilation i etageboliger med forskellige ventilationsløsninger. Der er forudsat en ventilation på 0,44 l/s pr. m² etageareal, som svarer til lejligheder på 80 m². For mekanisk ventilation er der desuden antaget et yderligere luftskifte ved normal infiltration og udluftning på 0,10 l/s pr. m² etageareal. For reduceret infiltration og udluftning er der antaget 0,05 l/s pr. m²-etageareal. Der er forudsat et specifikt elforbrug på 1,0 W pr. l/s til mekanisk udsugning og på 2,5 W pr. l/s til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Der er antaget en temperaturvirkningsgrad for varmegenvinderen på 60 pct.

For mekanisk ventilation er betydningen af det specifikke elforbrug til transport af luften samt af varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad vist i tabel 67. Der er forudsat et luftskifte ved infiltration og udluftning på 0,05 l/s pr. m² etageareal.

Tabel 66. Varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission ved ventilation i etageboliger med forskellige ventilationsløsninger.

		Mekanisk udsugning	Mekanisk ventilation	
			Normal infilt. og udluftning	Reduc. infilt. og udluftning
Netto energiforbrug i kWh/m ² år				
Varme		45,3	27,6	22,4
EI		3,9	9,6	9,6
Energiomkostninger i kr./m ² år				
Varme	N-gas	27,20	16,60	13,40
	FV	20,40	12,40	10,10
EI		4,80	12,10	12,10
I alt	N-gas	32,00	28,60	25,50
	FV	25,20	24,50	22,10
CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år				
Varme	N-gas	9,3	5,7	4,6
	FV	6,5	4,0	3,2
EI		3,3	8,2	8,2
I alt	N-gas	12,6	13,9	12,8
	FV	9,8	12,2	11,4

Tabel 67. Betydningen af det specifikke elforbrug og varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad for varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission til ventilation i etageboliger.

		Specifikt elforbrug: 2,5 W pr. l/s	2,0 W pr. l/s	2,5 W pr. l/s	2,0 W pr. l/s
		60 pct.	60 pct.	80 pct.	80 pct.
Netto energiforbrug i kWh/m ² år					
Varme		22,4	22,4	13,4	13,4
EI		9,6	7,7	9,6	7,7
Energiomkostninger i kr./m ² år					
Varme	N-gas	13,40	13,40	8,00	8,00
	FV	10,10	10,10	6,00	6,00
EI		12,10	9,60	12,10	9,60
I alt	N-gas	25,50	23,00	20,10	17,60
	FV	22,10	19,70	18,10	15,60
CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år					
Varme	N-gas	4,6	4,6	2,7	2,7
	FV	3,2	3,2	1,9	1,9
EI		8,2	6,5	8,2	6,5
I alt	N-gas	12,8	11,1	10,9	9,2
	FV	11,4	9,7	10,1	8,4

Energi, økonomi og CO₂

Tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved at forbedre det specifikke elforbrug fra 2,5 til 2,0 W pr. l/s i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til etageboliger er vist i tabel 68. Det er antaget, at ventilationsanlægget har en levetid på 20 år, og at forbedringen ikke påvirker vedligeholdelsesbehovet, samt at merprisen er 5 pct. af prisen på det samlede anlæg, som er sat til 15.000 kr. pr. lejlighed, svarende til 9,40 kr. pr. m² etageareal.

I tabel 69 er på tilsvarende vis vist tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 80 pct. Der er anvendt de samme antagelser som ovenfor, inklusive en merpris for anlægget på 5 pct., svarende til 9,40 kr. pr. m² etageareal.

Tabel 68. Tilbagebetalingstid (kapital) og CO₂-skyggepris ved at forbedre det specifikke elforbrug fra 2,5 til 2,0 W pr. l/s i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til etageboliger.

	Varmeforsyning	Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Etagehuset	N-gas	5	120
	FV	5	120

Tabel 69. Tilbagebetalingstid (kapital) og CO₂-skyggepris ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 80 pct. i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til etageboliger.

	Varmeforsyning	Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Etagehuset	N-gas	2	-20
	FV	3	140

Administrationsbygninger

I BR 95 er der ikke direkte krav til ventilationsløsningen i administrationsbygninger, men alene en vejledning om at naturlig ventilation i visse tilfælde kan dække behovet, mens der i andre tilfælde bør anvendes mekanisk ventilation for at opnå et sundhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima. Som eksempel på rum, hvor ventilationsbehovet kan dækkes med naturlig ventilation, angives kontorrum til én eller få personer. Som eksempel på rum, der kræver mekanisk ventilation, er fx angivet kontorrum til mange personer, forsamlingslokaler og kantiner.

I tabel 70 er opgjort varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission til ventilation i administrationsbygninger med forskellige ventilationsløsninger. Der er forudsat en ventilation på 1,0 l/s pr. m² etageareal i brugstiden, som typisk svarer til ca. 10 l/s pr. person. Brugstiden er ca. 2350 timer/år, svarende til 45 timer pr. uge. Uden for brugstiden er der forudsat en infiltration på 0,1 l/s pr. m² etageareal. For mekanisk udsugning og balanceret mekanisk ventilation er der desuden antaget et yderligere luftskifte ved normal infiltration og udluftning på 0,1 l/s pr. m² etageareal. Der er forudsat et specifikt elforbrug på 1,0 W pr. l/s til mekanisk udsugning og på 2,5 W pr. l/s til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Der er antaget en temperaturvirkningsgrad for varmegenvinderen på 60 pct.

For mekanisk ventilation er betydningen af det specifikke elforbrug til transport af luften samt af varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad vist i tabel 71.

Tabel 70. Varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission til ventilation i administrationsbygninger med forskellige ventilationsløsninger.

		Naturlig ventilation	Mekanisk udsugning	Mekanisk ventilation
Netto energiforbrug i kWh/m ² år				
Varme		32,7	35,3	19,9
El		0	2,4	5,9
Energikomkostninger i kr./m ² år				
Varme	N-gas	15,70	16,90	9,50
	FV	11,80	12,70	7,10
El		0	1,80	4,40
I alt	N-gas	15,70	18,70	13,90
	FV	11,80	14,50	11,50
CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år				
Varme	N-gas	6,7	7,2	4,1
	FV	4,7	5,1	2,9
El		0	2,0	5,0
I alt	N-gas	6,7	9,2	9,1
	FV	4,7	7,1	7,9

Tabel 71. Betydningen af det specifikke elforbrug og varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad for varme- og elforbrug samt energiomkostninger og CO₂-emission ved ventilation i administrationsbygninger.

		Specifikt elforbrug: 2,5 W pr. l/s	2,0 W pr. l/s	2,5 W pr. l/s	2,0 W pr. l/s
		Varmegenvinding: 60 pct.	60 pct.	80 pct.	80 pct.
Netto energiforbrug i kWh/m ² år					
Varme		19,9	19,9	14,7	14,7
El		5,9	4,7	5,9	4,7
Energikomkostninger i kr./m ² år					
Varme	N-gas	9,50	9,50	7,10	7,10
	FV	7,10	7,10	5,30	5,30
El		4,40	3,50	4,40	3,50
I alt	N-gas	13,90	13,00	11,50	10,60
	FV	11,50	10,60	9,70	8,80
CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år					
Varme	N-gas	4,1	4,1	3,0	3,0
	FV	2,9	2,9	2,1	2,1
El		5,0	4,0	5,0	4,0
I alt	N-gas	9,1	8,1	8,0	7,0
	FV	7,9	6,9	7,1	6,1

Energi, økonomi og CO₂

Tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved at forbedre det specifikke elforbrug fra 2,5 til 2,0 W pr. l/s i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til administrationsbygninger er vist i tabel 72. Det er antaget, at ventilationsanlægget har en levetid på 20 år, og at forbedringen ikke påvirker vedligeholdelsesbehovet, samt at merprisen er 2 pct. af prisen på det samlede anlæg, som er sat til 500 kr. pr. m² etageareal, svarende til 10,00 kr. pr. m² etageareal.

I tabel 73 er på tilsvarende vis vist tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 80 pct.

Merprisen for anlægget er sat til 50 pct. af prisen for en roterende varmegenvinder, som er ca. 40 kr. pr. l/s, svarende til 20,00 kr. pr. m² etageareal.

Tabel 72. Tilbagebetalingstid (kapital) og CO₂-skyggepris ved at forbedre det specifikke elforbrug fra 2,5 til 2,0 W pr. l/s i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til administrationsbygninger.

	Varmedforsyning	Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Kontorhuset	N-gas	11	320
	FV	11	320

Tabel 73. Tilbagebetalingstid (kapital) og CO₂-skyggepris ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 80 pct. i et ventilationsanlæg med balanceret ventilation og varmegenvinding til administrationsbygninger.

	Varmedforsyning	Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Kontorhuset	N-gas	5	260
	FV	6	550

Der er startet et projekt for CO₂-midler, som mere detaljeret skal afklare mulighederne for at opnå mere energieffektive mekaniske ventilationsanlæg til administrationsbygninger. Projektet forventes afsluttet år 2001.

Teknisk isolering

De nuværende krav til isolering af tekniske installationer i bygninger, fx rør til varme og varmt brugsvand, beholdere, ventilationskanaler og aggregater, er angivet i DS 452 (Dansk Standard, 1999), som BR 95 og BR-S 98 henviser til som krav. Der er en ny udgave af DS 452, som indeholder de samme isoleringskrav, men hvori beskrivelsen af beregningsmetoden er i overensstemmelse med en ny CEN standard på området.

I energi- og CO₂-vurderingerne er der antaget, at den forøgede isolering opnås ved hjælp af et isoleringsmateriale med et energiforbrug til fremstillingen på 14,0 MJ/kg isolering og en CO₂-emission på 0,92 kg CO₂/kg isolering. Disse data svarer til data for stenuld angivet i Håndbog i miljørigtig projektering (BPS-centret, 1998). Priser er fra V&S Husbygning-Brutto (V&S priser: Husbygning-Brutto 2000, 2000).

Der findes i dag en række installationsdele med færdig isolering, fx mindre rør og varmtvandsbeholdere. Disse indgår ikke i de gennemførte beregninger.

Rør

I tabel 74 er for rør isoleret med almindelige rørskåle beregnet det specifikke varmetab i W/m K i afhængighed af isoleringens tykkelse. Det er antaget, at rørskålenes varmeledningsevne er 0,043 W/m K. Der er kun medtaget kombinationer af rørdiameter og isoleringstykkelse, som opfylder minimumskravene til isoleringsklasse 1 i DS 452.

I tabel 75 er for større rør isoleret med lamelmåtte på tilsvarende vis beregnet det specifikke varmetab i W/m K i afhængighed af isoleringens tykkelse. Det er antaget, at lamelmåttens varmeledningsevne er 0,051 W/m K.

Varmetabet fra fx ventiler og pumper samt i forbindelse med bæringer og gennemføringer kan udgøre et væsentligt bidrag til det samlede varmetab fra et rørsystem, selv om de i en vis udstrækning er isolerede. DS 452 tillader generelt mindre isoleringstykkelse på fx ventiler og ved gennemføringer samt udeladelse af isolering hvor den er uhensigtsmæssig af hensyn til funktion eller drift.

Tabel 74. Specifikt varmetab i W/m K fra rør i afhængighed af isoleringstykkelse. Almindelige rørskåle. Varmeledningsevne 0,043 W/m K.

Udvendig rørdiameter mm	Rørstørrelse tommer	Isoleringstykkelse				
		20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm
17	3/8	0,197	0,166			
21	1/2	0,223	0,185	0,163		
27	3/4	0,256	0,211	0,184	0,166	
34	1		0,240	0,208	0,186	
42	1 1/4		0,277	0,237	0,211	0,193
48	1 1/2		0,302	0,257	0,228	0,207
60	2		0,351	0,296	0,260	0,235

Tabel 75. Specifikt varmetab i W/m K fra rør i afhængighed af isoleringstykkelse. Lamelmåtter. Varmeledningsevne 0,051 W/m K.

Udvendig rørdiameter mm	Rørstørrelse tommer	Isoleringstykkelse		
		60 mm	80 mm	100 mm
48	1 ½	0,244	0,211	0,190
60	2	0,277	0,238	0,213
76	2 ½	0,319	0,272	0,241
89	3	0,353	0,298	0,263

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at øge isoleringen fra 30 mm til 40 mm med almindelige rørskåle på henholdsvis 3/4", 1 1/4" og 2" rør er opgjort i tabel 76. Ved beregningen er det antaget, at isoleringen har en densitet på 65 kg/m³. Der er antaget en levetid på 40 år, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Det er forudsat, at der er tilstrækkelig plads til den ekstra isolering.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen fra 30 mm til 40 mm med almindelige rørskåle er opgjort i tabel 77 for henholdsvis 3/4" og 1 1/4" rør i afhængighed af varmforsyningen. Det er forudsat, at rørene er varmerør i uopvarmet kælder, krybekælder, skunk eller loftrum, at temperaturen i rørene styres efter udetemperaturen, at anlægget kun er i drift i varmesæsonen, samt at 20 pct. af varmetabet fra rørene kommer de opvarmede rum til gode. Med de angivne forudsætninger skal rørene isoleres svarende til klasse 2, hvilket med almindelige rørskåle kan opfyldes med 30 mm isolering på 3/4" og 1 1/4" rør.

I tabel 78 er vist de nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at øge isoleringen fra 60 mm til 80 mm med lamelmåtter på 2", 2 1/2" og 3" rør. Ved beregningen er det antaget, at isoleringen har en densitet på 45 kg/m³.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen fra 60 mm til 80 mm med lamelmåtter er opgjort i tabel 79 for henholdsvis 2", 2 1/2" og 3" rør i afhængighed af varmforsyningen. Forudsætningerne er i øvrigt som ovenfor. Med 30 mm isolering kan rørene netop opfylde kravene til isoleringsklasse 2.

Tabel 76. Investeringer for at øge rørisoleringen fra 30 til 40 mm. Rør isoleret med almindelige rørskåle.

Rørstørrelse tommer	Pris ekskl. moms kr./m	Energi kWh/m	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m
¾	18,00	0,77	0,18
1 ¼	24,00	0,89	0,21
2	34,00	1,03	0,24

Tabel 77. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge rørisoleringen fra 30 til 40 mm. Varmerør isoleret med almindelige rørskåle.

Rørstørrelse tommer	Energibesparelse kWh/m år	Varmeforsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
¾	3,8	N-gas	10	<1	<1	310
		FV	13	<1	<1	620
1 ¼	5,5	N-gas	9	<1	<1	250
		FV	12	<1	<1	540

Tabel 78. Investeringer for at øge rørisoleringen fra 60 til 80 mm. Rør isoleret med lamelmåtter.

Rørstørrelse tommer	Pris ekskl. moms kr./m	Energi kWh/m	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m
1 ½	54,00	2,07	0,49
2	56,00	2,21	0,52
2 ½	59,00	2,38	0,56
3	64,00	2,52	0,60

Tabel 79. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge rørisoleringen fra 60 til 80 mm. Varmerør isoleret med lamelmåtter.

Rørstørrelse tommer	Energibesparelse kWh/m år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
2	5,5	N-gas	21	<1	<1	980
		FV	28	1	1	1.590
2 ½	6,6	N-gas	19	<1	<1	820
		FV	25	1	1	1.360
3	7,7	N-gas	17	<1	<1	750
		FV	23	<1	<1	1.260

Beholdere

I tabel 80 er for beholdere og varmevekslere isoleret med lamelmåtter beregnet det specifikke varmetab i W/m² K i afhængighed af isoleringens tykkelse. Det er antaget, at lamelmåtternes varmeledningsevne er 0,051 W/m K.

Ud over varmetabet fra en beholders overflade er der ofte et ikke ubetydeligt varmetab fra fx ventiler, flanger og rørtilslutninger.

Tabel 80. Specifikt varmetab i W/m² K fra beholdere og veksler i afhængighed af isoleringstykkelse. Lamelmåtter. Varmeledningsevne 0,051 W/m K.

Isoleringstykkelse mm	Varmetab W/m ² K
80	0,595
90	0,533
100	0,483
120	0,406
130	0,376
150	0,328
200	0,248

Energi, økonomi og CO₂

De nødvendige økonomiske, energi- og CO₂-mæssige investeringer for at øge isoleringen af en varmtvandsbeholder fra 100 mm til 120 mm med brug af lamelmåtter er opgjort i tabel 81. Ved beregningen er det antaget, at isoleringen har en densitet på 45 kg/m³. Der er antaget en levetid på 40 år, og at ændringen i konstruktionen ikke påvirker hverken vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Det er forudsat, at der er tilstrækkelig plads til den ekstra isolering.

Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen af en varmtvandsbeholder fra 100 mm til 120 mm med lamelmåtter er opgjort i tabel 82 i afhængighed af varmemeforsyningen. Med 100 mm isolering kan varmtvandsbeholderen netop opfylde kravene til isoleringsklasse 3.

Tabel 81. Investeringer for at øge isoleringen af en varmtvandsbeholder fra 100 til 120 mm. Varmtvandsbeholder isoleret med lamelmåtter.

Pris ekskl. moms kr./m ²	Energi kWh/m ²	CO ₂ -emission kg CO ₂ /m ²
84,00	3,5	0,8

Tabel 82. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at øge isoleringen af varmtvandsbeholdere fra 100 til 120 mm. Varmtvandsbeholder isoleret med lamelmåtter.

Energibesparelse kWh/m år	Varmeforsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
		Kapital	Energi	CO ₂	
23,0	N-gas	7	<1	<1	130
	FV	9	<1	<1	360

Kondenserende kedler

Som udgangspunkt antages det, at naturgaskedler, der installeres i nybyggeriet, er almindelige kedler med en årsnyttevirkning på ca. 90 pct.

Parcelhuse

De mest effektive af de små kondenserende naturgaskedler med maksimal effekt på 10-25 kW kan i dag opnå årsnyttevirkninger på over 100 pct., målt i forhold til nedre brændværdi, ved et årligt varmeforbrug inklusive brugsvand på 10-30 MWh/år ifølge "Positivliste for naturgasfyrede kedler" (Dansk Gasteknisk Center, 2000) og "De effektive får tilskud" (De effektive får tilskud, 1999). Merprisen for en kondenserende naturgaskedel er ifølge (De effektive får tilskud, 1999) 5000-7000 kr. Merprisen afhænger tilsyneladende ikke af kedelstørrelsen.

Der er taget udgangspunkt i det tidligere anvendte parcelhus på 120 m² og antaget, at merprisen er 6000 kr., samt at årsnyttevirkningen ændres fra 90 til 100 pct.

Inden for kedlernes ydelsesområde er der tilnærmelsesvis omvendt proportionalitet mellem varmebehov og tilbagebetalingstid henholdsvis CO₂-skyggepris, idet tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris bliver mindre i fx større parcelhuse og dobbelthuse med fælles kedel.

Tabel 83. Tilbagebetalingstid (kapital) og CO₂-skyggepris ved at installere en kondenserende naturgaskedel i stedet for en almindelig kedel i et 120 m² parcelhus.

	Varmeforsyning	Tilbagebetalingstid år	CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
Parcelhuset	N-gas	10	890

Større bygninger og bebyggelser

I større bygninger og bebyggelser med fælles kedel, som fx etageboliger, administrationsbygninger, skoler, institutioner, rækkehuse og tæt/lav bebyggelser, må det antages, at der kan opnås den samme forbedring af årsnyttevirkningen, enten ved at installere én højeffektiv kedel, eller ved at installere flere små kondenserende kedler i kaskade. Tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved dette må forventes at være bedre end i parcelhuse.

Solvarme

Beregninger er gennemført for et standard solvarmeanlæg til produktion af varmt brugsvand i et parcelhus. Anlægget er med to solfangerpaneler a 2,2 m² og 300 l varmtvandsbeholder. Det er antaget, at solvarmepanelerne er monteret sydvendt med en hældning på ca. 45 grader. Nettoydelsen fra solvarmepanelerne er ifølge "Solvarme" (Informationssekretariatet for Vedvarende Energi, 2000) 1570 kWh/år og beholderfaktoren er 1,03.

Ved bestemmelse af merinvesteringen til at etablere et solvarmeanlæg er der modregnet omkostninger til installation af en almindelig varmtvandsbeholder. Priserne er fra V&S Husbygning-Brutto (V&S priser: Husbygning-Brutto 2000, 2000).

Ved beregningerne er der antaget et energiforbrug til fremstilling af solvarmeanlægget på 2200 kWh og CO₂-emissionen fra fremstillingen på 37 kg CO₂, baseret på (Teknologisk Institut, Sol Energi Center Danmark, 1999).

Der er alene gennemført beregninger for parcelhuse med gaskedel. I beregningerne er det antaget, at gaskedlens virkningsgrad er lavere om sommeren, når den kun skal producere varmt brugsvand. Der er således anvendt en virkningsgrad på 70 pct.

I beregningerne er der set bort fra eventuelle besparelser ved at integrere solvarmepanelerne i tagfladen. Omkostningerne til en almindelig tagbelægning i tegl er ifølge V&S Husbygning-Brutto 175-200 kr./m². For anlægget vil besparelsen på tagbelægningen således være ca. 800 kr. Besparelsen opvejes delvis af ekstra omkostninger til inddækning af solvarmepanelerne i tagfladen.

Ved beregningerne er der antaget et servicebesøg hvert andet år a 500 kr. eksklusive moms, som også inkluderer et eventuelt skift af væsken, men ingen andre vedligeholdelsesomkostninger, samt en levetid på 20 år. Der er antaget et elforbrug til pumpe og styring på 100 kWh/år.

Det må antages, at økonomien for større solvarmeanlæg er noget gunstigere, men det er ikke analyseret nærmere.

Tabel 84. Investeringer for at installere et standard solvarmeanlæg til produktion af varmt brugsvand i et parcelhus.

	Pris ekskl. moms kr./anlæg
Solvarmeanlæg	22.700
Alm. varmtvandsbeholder	-3.500
Resulterende	19.200

Tabel 85. Netto energibesparelse, kapital-, energi- og CO₂-tilbagebetalingstid samt CO₂-skyggepris ved at installere et standard solvarmeanlæg til produktion af varmt brugsvand i et parcelhus.

	Energibesparelse kWh/år	Varme- forsyning	Tilbagebetalingstid i år			CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			Kapital	Energi	CO ₂	
Parcelhuset	1617	N-gas	25	1	<1	2.600

Varmepumper

Ifølge oversigten "Systemgodkendte varmepumpeanlæg" (Teknologisk Institut, 2000) kan der i dag opnås en samlet effektfaktor på op til 2,5 for varmepumper til opvarmning af varmt brugsvand, og på op til 3,0 for varmepumper til rumopvarmning. Med de nuværende effektfaktorer for varmepumper og de nuværende elproduktionsmetoder vil anvendelse af varmepumper til rumopvarmning og produktion af varmt brugsvand ikke medføre en reduktion af CO₂-udledningen i forhold til opvarmning med naturgas.

På lidt længere sigt kan forbedrede effektfaktorer for varmepumper og en større grad af vedvarende energi i elproduktionen, fx fra vindmøller og solceller, medføre, at varmepumper bliver et attraktivt alternativ til reduktion af CO₂-udledningen. Dette antages dog først at være opnåeligt efter år 2005.

Besparelser i typiske bygninger

I dette kapitel beregnes de potentielle muligheder for at reducere det samlede energiforbrug i typiske nye bygninger.

Klimaskærmen

På baggrund af tilbagebetalingstiderne og CO₂-skyggepriserne, beregnet i de foregående kapitler, er der i tabel 86 opstillet to scenarier for fremtidige isoleringsniveauer i nybyggeriet. De benyttede isoleringsniveauer i scenarierne svarer ikke nødvendigvis direkte til de mulige fremtidige isoleringskrav i BR og BR-S 2005, men til de isoleringsniveauer, der faktisk vil blive anvendt i konkrete byggerier, som opfylder en kommende varmetabs- eller energiramme. Scenario II svarer til, hvad der kan opnås med kendt og almindeligt anvendt byggeteknik. Tillæg 2 til BR 95 (By- og Boligministeriet, 2001b) og tillæg 1 til BR-S 98 (By- og Boligministeriet, 2001a) indeholder blandt andet nye krav til linietab fra ydervægsfundamenter og samling mellem vindue og ydervæg samt skærpede krav til ydervægsfundamenter, terrændæk, kældergrulve og etageadskillelser i forbindelse med gulvvarme. Disse ændringer er en følge af tillæg 4 til DS 418 (Dansk Standard, 2000).

Nettovarmebehovet til rumopvarmning og ventilation er beregnet med programmet Bv 98 (Grau & Aggerholm, 1999) efter metoden beskrevet i SBI-anvisning 184 (Aggerholm et al., 1995) og SBI-anvisning 189 (Statens Byggeforskningsinstitut, 1999). Varmetabet, som indgår i beregningen af varmebehovet, er bestemt efter DS 418, inklusive tillæg 1-4.

Tabel 86. Nuværende isoleringskrav i BR 95 og BR-S 98, inklusive tillæg som følge af tillæg 4 til DS 418, samt scenarier for fremtidige isoleringsniveauer i nybyggeriet baseret på varmetabs- og energirammer i kommende BR og BR-S 2005.

Bygningsdel	Nuværende krav	Fremtidsscenarier	
	BR 95 og BR-S 98 inkl. tillæg	I	II
U-værdier i W/m ² K:			
Lette ydervægge	0,20	0,20	0,17
Tunge ydervægge, småhuse	0,30	0,23	0,20
Tunge ydervægge, andre bygninger	0,30	0,25	0,20
Terrændæk	0,20	0,20	0,15
Do. med gulvvarme	0,15	0,15	0,12
Loft og tagkonstruktioner	0,15	0,15	0,13
Flade tage og skråvægge	0,20	0,20	0,17
Vinduer og yderdøre	1,80	1,40	1,40
Linietab i W/m K:			
Ydervægsfundamenter	0,25	0,20	0,20
Do. ved gulvvarme	0,20	0,20	0,15
Samling ydervæg - vinduer	0,03	0,00	0,00

Enfamiliehuse

Beregningerne er gennemført for enfamiliehuse med en rektangulær grundplan og vinduer med lige store arealer i to modstående retninger, og for vinduesorienteringerne nord og syd henholdsvis øst og vest. Det er i alle beregninger antaget, at der er moderate skygger foran vinduerne og en gladsandel på 70 pct. Det samlede vinduesareal svarer til 22 pct. af etagearea-

let. Det er desuden antaget, at der er 2,0 m samling omkring vinduerne pr. 1,0 m² vinduesareal. Det er antaget, at husene har en bygningsbredde på 8,0 m og en rumhøjde på 2,3 m. Det er desuden antaget, at et isoleret loft er 30 cm tykt, mens et isoleret skråt tag er udført med 20 cm isolering og er 35 cm tykt, målt til oversiden af tagbelægningen, samt at tunge ydervægge er 35 cm tykke og lette ydervægge er 25 cm tykke, mens lette vægge med skalmur er 35 cm tykke.

Ved beregning af varmebehovet i bygninger med terrændæk er der anvendt de nye beregningsregler i tillæg 4 ved bestemmelse af varmetabet gennem terrændækket og benyttet en temperaturfaktor på 0,3 for at tage hensyn til, at der i tillæg 4 er antaget en højere jordtemperatur end tidligere under bygningerne.

Som udgangspunkt er det antaget, at husene er naturligt ventilerede med et udeluftskifte på 0,3 l/s m².

I tabel 87 er der for étplans parcelhuse med et bebygget areal på 120 og 160 m², tunge ydervægge og terrændæk vist varmebehovet, dels efter de nuværende krav i BR-S 98 inklusive tillæg 1, dels med isoleringsniveauer svarende til scenario I i tabel 86, samt reduktionen af varmebehovet i henholdsvis MJ/m² år og procent. I tabel 88 er det samme vist under forudsætning af, at isoleringsniveauer forbedres svarende til scenario II i tabel 86. I tabel 89 og 90 er det samme vist for étplans parcelhuse med lette ydervægge og terrændæk.

Tabel 87. Reduktion af varmebehov i parcelhuse i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario I i tabel 86.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	271	285	223	235	48	50	18	18
160	260	275	214	227	46	48	18	17

Tabel 88. Reduktion af varmebehov i parcelhuse i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario II i tabel 86.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	271	285	199	212	73	74	27	26
160	260	275	191	204	69	70	27	26

Tabel 89. Reduktion af varmebehov i parcelhuse i ét plan med lette ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario I i tabel 86.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	251	266	220	233	31	33	12	12
160	243	257	213	226	30	31	13	12

Tabel 90. Reduktion af varmebehov i parcelhuse i ét plan med lette ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario II i tabel 86.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	251	266	196	209	56	57	22	21
160	243	257	189	202	54	55	22	22

Det ses, at der opnås den største reduktion i huse med tunge ydervægge, og at det beregnede varmebehov med de foreslåede forbedringer vil være på samme niveau i huse med lette ydervægge og i huse med tunge ydervægge.

I tabel 91 og 92 er de tilsvarende varmebehov og reduktioner vist for étplans dobbelthuse på fx $2 \times 120 \text{ m}^2$ og for étplans rækkehuse på fx $5 \times 120 \text{ m}^2$ med tunge ydervægge og terrændæk. I tabel 93 og 94 er varmebehov og reduktioner vist for parcelhuse med udnyttet tagetage.

Det ses, at både varmebehovene og reduktionerne er lidt mindre for de mere kompakte dobbelthuse og rækkehuse samt for huse med udnyttet tagetage, fordi ydervægsarealer og fundamentslængder forholdsmæssigt er mindre, og selv om relativt vinduesareal og udeluftskifte er ens.

I tabel 95, 96, 97 og 98 er for henholdsvis étplans parcelhuse med tunge ydervægge, étplans parcelhuse med lette ydervægge, dobbelthuse med tunge ydervægge og huse med udnyttet tagetage vist reduktionen i MJ/m^2 etageareal pr. år, investeringen i kr./m^2 etageareal og investeringen i kr. pr. kWh besparelse pr. år for de enkelte tiltag og summeret. Alle investeringer er angivet eksklusive moms. Der er både medtaget forbedringer, som indgår i scenario I i tabel 86, og forbedringer som indgår i scenario II.

Forbedringernes rækkefølge er som hovedprincip bestemt af tilbagebetalingstiderne og CO_2 -skyggepriserne beregnet i de foregående kapitler, dog således, at der er foretaget et vist skøn med hensyn til den mulige udvikling over de næste år. Talværdierne for den "sidste" forbedring, som indgår i scenario I, er fremhævet i kursiv i tabellerne.

Tabel 91. Reduktion af varmebehov i dobbelthuse og rækkehuse i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario I i tabel 86.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m^2 pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m^2 pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
240	249	264	206	219	43	45	17	17
600	236	251	196	210	40	41	17	17

Tabel 92. Reduktion af varmebehov i dobbelthuse og rækkehuse i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario II i tabel 86.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m^2 pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m^2 pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
240	249	264	184	197	65	67	26	25
600	236	251	175	189	61	62	26	25

Tabel 93. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med udnyttet tagetage, tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario I i tabel 86. Tagetages bruttoareal svarer til 60 pct. af det bebyggede areal.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m^2 pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m^2 pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
80	244	257	203	215	41	42	17	16

Tabel 94. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med udnyttet tagetage, tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario II i tabel 86. Tagetages bruttoareal svarer til 60 pct. af det bebyggede areal.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m^2 pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR-S 98		Forbedret		MJ/m^2 pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
80	244	257	182	194	62	63	25	25

Investeringen pr. sparet kWh/år generelt er højere for de forbedringer, som ligger ud over scenario I i tabel 86. I investeringerne indgår samlinger mellem vinduer og ydervægge med en skønnet pris på 20 kr. pr. meter samling, eksklusive moms. Alle øvrige priser er hentet i de foregående kapitler.

Den samlede investering for at nå scenario I i tabel 86 i enfamiliehuse med tunge ydervægge og terrændæk er mellem 53 og 63 kr. pr. m² etageareal, mens den er mellem 160 og 205 kr. pr. m² etageareal for at nå scenario II. Den største investering er i små fritliggende étplans parcelhuse. I parcelhuse med lette ydervægge er investeringen noget mindre.

Tabel 95. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i parcelhuse i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,20	2,20
Ydervægge: 0,23 W/m ² K	18	43	30,00	45,00	5,90	3,80
Fundament: 0,20 W/m K	6	49	18,00	63,00	10,30	4,60
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	10	59	35,00	98,00	12,70	6,00
Loft: 0,13 W/m ² K	7	66	24,00	122,00	13,40	6,70
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	8	73	48,00	170,00	23,00	8,40
<u>160 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,30	2,20
Ydervægge: 0,23 W/m ² K	16	41	26,00	42,00	6,00	3,70
Fundament: 0,20 W/m K	6	47	16,50	58,00	10,40	4,50
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	10	57	35,00	93,00	12,70	6,00
Loft: 0,13 W/m ² K	6	63	24,00	117,00	13,50	6,70
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	7	70	43,00	160,00	23,00	8,30

Tabel 96. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i parcelhuse i ét plan med lette ydervægge og terrændæk.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,10	1,10
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	26	8,80	15,40	7,30	2,20
Fundament: 0,20 W/m K	6	32	18,00	33,00	10,30	3,80
Ydervægge: 0,17 W/m ² K	8	39	68,00	101,00	32,00	9,20
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	10	50	36,00	137,00	12,60	9,90
Loft: 0,13 W/m ² K	7	56	24,00	161,00	13,40	10,30
<u>160 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,10	1,10
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,40	2,20
Fundament: 0,20 W/m K	6	31	16,50	32,00	10,30	3,70
Ydervægge: 0,17 W/m ² K	7	38	60,00	92,00	32,00	8,70
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	10	48	37,00	128,00	12,70	9,60
Loft: 0,13 W/m ² K	7	55	24,00	152,00	13,40	10,00

Tabel 97. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i dobbelthuse i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>2 × 120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,40	2,20
Ydervægge: 0,23 W/m ² K	14	39	23,00	38,00	6,00	3,60
Fundament: 0,20 W/m K	5	44	14,90	53,00	10,50	4,40
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	10	54	36,00	89,00	12,80	6,00
Loft: 0,13 W/m ² K	7	60	24,00	113,00	13,40	6,80
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	6	66	37,00	150,00	23,00	8,20
<u>5 × 120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,40	2,20
Ydervægge: 0,23 W/m ² K	11	36	19,00	34,00	6,10	3,40
Fundament: 0,20 W/m K	5	41	13,00	47,00	10,50	4,20
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	10	51	36,00	84,00	12,80	5,90
Loft: 0,13 W/m ² K	6	57	24,00	108,00	13,60	6,80
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	5	62	31,00	139,00	24,00	8,10

Tabel 98. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i parcelhuse med udnyttet tagetage med tunge ydervægge og terrændæk.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>128 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	19	19	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	24	10,50	17,10	8,90	2,60
Ydervægge: 0,23 W/m ² K	13	37	23,00	40,00	6,20	3,90
Fundament: 0,20 W/m K	5	41	13,20	53,00	10,70	4,60
Gavle: 0,17 W/m K	2	44	22,00	75,00	33,00	6,20
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	6	49	21,00	96,00	13,30	7,00
Tag: 0,17 W/m ² K	8	57	72,00	168,00	34,00	10,60
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	6	63	37,00	205,00	24,00	11,80

Vinduesarealer

Som udgangspunkt er der antaget, at det samlede vinduesareal svarer til 22 pct. af etagearealet og med lige store vinduesarealer i to modstående facader. I tabel 99 er det for parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk, som netop opfylder kravene i BR-S 98, vist, hvor meget varmebehovet ændres, når vinduesarealet i en af facaderne forøges svarende til 5 pct. af etagearealet. I tabel 100 er det samme vist for parcelhuse med forbedret isolering svarende til scenario I i tabel 86.

Det ses, at parcelhuse med forbedret varmeisolering svarende til scenario I er mindre følsomme over for forøgelse af vinduesarealerne mod nord, øst eller vest, og at gevinsten ved en forøgelse af vinduesarealet mod syd er lidt større i huse med forbedret varmeisolering end i huse, der netop opfylder BR-S 98.

Tabel 99. Ændring af varmebehov ved forøgelse af vinduesarealet. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk. Isolering ifølge BR-S 98.

Bebygget areal m ²	Større vinduer mod:	Ændring af varmebehovet	
		MJ/m ² pr. år	pct.
120	Nord	+17	+6
	Øst eller vest	+10	+4
	Syd	-3	-1
160	Nord	+17	+6
	Øst eller vest	+10	+4
	Syd	-3	-1

Tabel 100. Ændring af varmebehov ved forøgelse af vinduesarealet. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

Bebygget areal m ²	Større vinduer mod:	Ændring af varmebehovet	
		MJ/m ² pr. år	pct.
120	Nord	+12	+5
	Øst eller vest	+7	+3
	Syd	-5	-2
160	Nord	+12	+6
	Øst eller vest	+7	+3
	Syd	-4	-2

Rumtemperatur

I tabel 101 er vist reduktionen af varmebehovet i afhængighed af rumtemperaturen ved at forbedre varmeisoleringen svarende til scenario I i tabel 86 i parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk, der som udgangspunkt netop opfylder kravene i BR-S 98. I tabel 102 er vist, hvor meget varmebehovet ændres, når rumtemperaturen ændres i parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk, som netop opfylder kravene i BR-S 98. I tabel 103 er det samme vist for parcelhuse med forbedret isolering svarende til scenario I i tabel 86.

Det ses, at den absolutte reduktion af varmebehovet i MJ/m² pr. år ved at forbedre varmeisoleringen er størst i huse med høj rumtemperatur, mens den relative reduktion af varmebehovet er næsten uafhængig af rumtemperaturen. Det ses også, at det absolutte varmebehov i MJ/m² pr. år i huse med forbedret varmeisolering er mindre følsomt for ændringer i rumtemperaturen, samt at den relative ændring af varmebehovet er ca. 10 pct. pr. °C både i huse, der netop opfylder BR-S 98, og i huse med forbedret isolering svarende til scenario I i tabel 86.

Tabel 101. Reduktion af varmebehov ved at forbedre varmeisoleringen svarende til scenario I i tabel 86 i parcelhuse i afhængighed af rumtemperaturen. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk.

Bebygget areal m ²	Rumtemperatur °C	Reduktion af varmebehovet			
		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	19	44	46	18	18
	20	49	49	18	18
	21	53	54	18	17
	22	57	58	17	17
160	19	42	43	18	17
	20	46	47	18	17
	21	51	51	17	17
	22	55	55	17	17

Tabel 102. Ændring af varmebehov ved ændret rumtemperatur. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk. Isolering ifølge BR-S 98.

Bebygget areal m ²	Rumtemperatur °C	Ændring i varmebehovet			
		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	19	-27	-27	-10	-9
	20	0	0	0	0
	21	+29	+28	+11	+10
	22	+58	+57	+21	+20
160	19	-26	-26	-10	-9
	20	0	0	0	0
	21	+28	+27	+11	+10
	22	+56	+55	+22	+20

Tabel 103. Ændring af varmebehov ved ændret rumtemperatur. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk. Forbedret varmeisolering svarende til scenario I i tabel 86.

Bebygget areal m ²	Rumtemperatur °C	Ændring af varmebehovet			
		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	19	-23	-23	-10	-10
	20	0	0	0	0
	21	+24	+24	+11	+10
	22	+50	+49	+22	+21
160	19	-22	-22	-11	-10
	20	0	0	0	0
	21	+24	+23	+11	+10
	22	+48	+47	+22	+21

Gulvvarme

Med tillæg 1 til BR-S 98 [0] indføres der skærpede krav til varmeisoleringen i ydervægsfundamenter, terrændæk, kældergulve og etageadskillelser i forbindelse med gulvvarme. I tabel 104 er vist reduktionen af varmebehovet i parcelhuse med gulvvarme som følge af de nye krav til ydervægsfundamenter og terrændæk med gulvvarme. Øvrige konstruktioner antages uændret at opfylde kravene i BR-S 98 inklusive tillæg 1.

Det ses, at de nye krav til konstruktioner med gulvvarme reducerer varmebehovet med 7-8 pct. under forudsætning af ideel regulering af gulvvarmen efter varmebehovet i rummene. Varmebehovet i tabel 104 for parcelhuse med gulvvarme, der opfylder de nye krav til konstruktioner med gulvvarme, kan sammenlignes med varmebehovet i tabel 87 for de tilsvarende parcelhuse uden gulvvarme. Det ses, at parcelhuse med og uden gulvvarme, efter de nye krav, næsten har det samme beregnede varmebehov under forudsætning af, at der i begge tilfælde er ideel regulering af varmen efter varmebehovet i rummene.

I tabel 105 er dernæst beregnet reduktionen af varmebehovet i parcelhuse med gulvvarme ved at anvende isoleringsniveauer svarende til scenario I i tabel 86 og under forudsætning af ideel regulering af gulvvarmen efter varmebehovet. Sammenlignes igen med værdierne i tabel 87, ses det, at reduktionen af varmebehovet i parcelhuse med gulvvarme er lidt mindre end i huse uden gulvvarme, hovedsageligt fordi der ikke i scenario I i tabel 86 er medtaget yderligere forbedring af ydervægsfundamenterne i huse med gulvvarme.

I tabel 106, 107 og 108 er vist styringens indflydelse på reduktionen af varmebehovet i parcelhuse med gulvvarme. I tabel 106 er det antaget, at der er konstant varme på gulvene i baderummene i perioden fra og med september til og med maj, at golvtemperaturen i denne periode er 4 °C over rumtemperaturen, fx 22 °C og 26 °C, og at der er lukket for varmen til gulve-

ne i månederne juni, juli og august. Det er desuden antaget, at baderummene tilsammen har et gulvareal på 10 m² og at overskudsvarmen fra baderummene fordeler sig i hele huset. I tabel 107 er det på tilsvarende vis antaget, at der både er varme på gulvene i baderummene og i et alrum på 20 m². I tabel 108 er det antaget, at der også er varme på gulvene i en stue på 20 m².

Det ses, at reduktionen i varmebehovet på grund af merisoleringen aftager markant, når der er konstant varme på gulvene i en større del af huset.

Tabel 104. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med gulvvarme i hele huset som følge af nye krav til konstruktioner med gulvvarme i tillæg 1 til BR-S 98. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk. Ideel regulering af gulvvarmen efter varmebehovet.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	Oprindelig BR-S 98		Nye krav		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	298	312	275	289	23	23	8	7
160	287	301	264	279	23	22	8	7

Tabel 105. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med gulvvarme i hele huset ved at forbedre vinduerne, vinduesfalsene og ydervæggene. Ideel regulering af gulvvarmen efter varmebehovet. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	275	289	233	246	42	44	15	15
160	264	279	224	237	40	42	15	15

Tabel 106. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med gulvvarme i hele huset ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario I i tabel 86. Varme på gulve i baderum september til maj. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	293	308	252	266	41	42	14	14
160	277	292	238	252	39	41	14	14

Tabel 107. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med gulvvarme i hele huset ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario I i tabel 86. Varme på gulve i baderum og alrum september til maj. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	355	367	320	330	35	37	10	10
160	318	332	283	294	35	37	11	11

Tabel 108. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med gulvvarme i hele huset ved at forbedre isoleringsniveauerne svarende til scenario I i tabel 86. Varme på gulve i baderum, alrum og stue september til maj. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	451	459	427	432	24	27	5	6
160	379	390	350	358	29	31	8	8

I tabel 109 og 110 er der tilsvarende vist stigningen i varmebehovet som følge af, at der er konstant varme på gulvene i en del af et parcelhus. I tabel

109 er det vist for et parcelhus, som netop opfylder kravene i BR-S 98 inklusive tillæg 1, og i tabel 110 er det vist for et parcelhus med forbedret varmeisolerings, svarende til scenario I i tabel 86.

Det ses, at konstant varme på gulvene medfører et markant overforbrug, og at det absolutte overforbrug målt i MJ/m² pr. år næsten er upåvirket af den forbedrede varmeisolerings. Ifølge beregningerne er det absolutte overforbrug lidt større i huse med forbedret isolering. Dette skyldes, at der er regnet med konstant overtemperatur på gulvene i forhold til rumtemperaturen og dermed konstant varmetilførsel fra gulvene til rummet, bl.a. af hensyn til muligheden for at kunne gennemføre beregningerne i Bv 98. Det bedst isolerede hus vil så have det mindste behov og den dårligste mulighed for udnyttelse af den ekstra varmetilførsel. Beboernes reaktioner med hensyn til at lufte varmeoverskuddet ud eller regulere varmetilførslen vil formodentlig have stor betydning for varmekonsumet i huse med gulvvarme.

Tabel 109. Ændring af varmebehov ved ændret brug af gulvvarmen. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk. Isolering ifølge BR-S 98 inklusive tillæg med nye krav til terrændæk og fundamenter ved gulvvarme. Gulvvarme i hele huset.

Bebygget areal m ²	Konstant varme på gulve september til maj i:	Ændring i varmebehovet			
		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	Ingen	0	0	0	0
	Baderum	+18	+19	+7	+6
	Baderum og alrum	+80	+78	+29	+27
	Baderum, alrum og stue	+176	+170	+64	+59
160	Ingen	0	0	0	0
	Baderum	+13	+14	+5	+5
	Baderum og alrum	+54	+53	+20	+19
	Baderum, alrum og stue	+115	+111	+44	+40

Tabel 110. Ændring af varmebehov ved ændret brug af gulvvarmen. Hus i ét plan med tunge ydervægge og terrændæk. Forbedret isolering svarende til scenario I i tabel 86. Gulvvarme i hele huset.

Bebygget areal m ²	Konstant varme på gulve september til maj i:	Ændring i varmebehovet			
		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	Ingen	0	0	0	0
	Baderum	+19	+20	+8	+8
	Baderum og alrum	+87	+85	+37	+34
	Baderum, alrum og stue	+194	+187	+83	+76
160	Ingen	0	0	0	0
	Baderum	+14	+15	+6	+6
	Baderum og alrum	+59	+55	+26	+24
	Baderum, alrum og stue	+126	+121	+56	+51

Etageboliger

Beregningerne er gennemført for etagehuse med en rektangulær grundplan og vinduer med lige stort areal i to modstående retninger og for vinduesorienteringerne nord og syd, henholdsvis øst og vest. Det er i alle beregninger antaget, at der er moderate skygger foran vinduerne og en glasandel på 70 pct. Det samlede vinduesareal svarer til 22 pct. af etagearealet. Det er desuden antaget, at der er 2,0 m samling omkring vinduerne pr. 1,0 m² vinduesareal.

Det er antaget, at etagehusene har en bygningsbredde på 10,0 m og en rumhøjde på 2,5 m. Det er desuden antaget, at både kælderdekke og tagdekke inklusive isolering og tagbelægning er 30 cm tykt, samt at tunge ydervægge er 35 cm tykke, og lette ydervægge er 25 cm tykke, mens lette vægge med skalmur er 35 cm tykke. I lejlighederne er der som udgangs-

punkt konstant mekanisk udsugning med en samlet luftstrøm på 35 l/s pr. lejlighed. Betingelserne er i øvrigt som for enfamiliehusene.

I tabel 111 er der for etageboliger med tunge ydervægge og kælder vist varmebehovet, dels efter de nuværende krav i BR 95 inklusive tillæg 2, med isoleringsniveauer svarende til scenario I i tabel 86, samt reduktionen af varmebehovet i henholdsvis MJ/m² år og procent. I tabel 112 er det samme vist under forudsætning af, at isoleringsniveauer forbedres svarende til scenario II i tabel 86. I tabel 113 er vist reduktionen i MJ/m² etageareal pr. år, investeringen i kr./m² etageareal og investeringen i kr. pr. kWh besparelse pr. år for de enkelte tiltag og summeret.

I tabel 114 er vist sammenhængen mellem lejlighedernes størrelse og reduktionen af varmebehovet ved forbedring af isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86. Det ses, at den absolutte reduktion i varmebehovet er uafhængig af lejlighedernes størrelse.

Tabel 111. Reduktion af varmebehov i etageboliger med tunge ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86. Lejligheder på 80 m².

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	240	266	280	231	243	35	37	13	13
	1.200	245	260	214	227	31	33	13	13
5	240	217	232	184	197	33	35	16	15
	1.200	198	114	168	182	30	32	15	15

Tabel 112. Reduktion af varmebehov i etageboliger med tunge ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario II i tabel 86. Lejligheder på 80 m².

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	240	266	280	215	228	51	52	19	19
	1.200	245	260	201	215	44	45	18	17
5	240	217	232	172	186	45	47	21	20
	1.200	198	114	160	173	39	40	20	19

Tabel 113. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i etageboliger med tunge ydervægge og kælder.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>2 etager a 240 m², i alt 480 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,20	2,20
Ydervægge: 0,25 W/m ² K	11	36	16,90	42,00	9,00	4,30
Tag: 0,17 W/m ² K	5	41	40,00	82,00	29,00	7,30
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	11	52	43,00	126,00	14,50	8,80
<u>5 etager a 1.200 m², i alt 6.000 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,60	2,30
Ydervægge: 0,25 W/m ² K	7	31	16,90	32,00	9,30	3,70
Tag: 0,17 W/m ² K	2	33	16,00	48,00	31,00	5,30
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	7	40	27,00	76,00	15,20	6,90

Tabel 114. Reduktion af varmebehov i etageboliger med forskellige lejlighedsstørrelser ved forbedring af isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86. Etageboliger i to etager a 1200 m², med køkken og ét baderum. Tunge ydervægge og kælder. Vinduer mod nord og syd.

Lejlighedsstørrelse m ²	Varmebehov i MJ/m ² pr. år		Reduktion af varmebehovet	
	BR 95	Forbedret	MJ/m ² pr. år	pct.
60	304	272	31	11
80	245	214	31	13
100	210	179	31	15
120	191	160	31	16

Administrationsbygninger

Administrationsbygningerne antages at have samme geometri som etagehusene i det foregående afsnit, og konstruktionernes hovedkarakteristika antages at være som boligernes. Som udgangspunkt antages administrationsbygningerne at have naturlig ventilation med et udeluftskifte på 0,6 l/s m² i en brugstid på 45 timer pr. uge. Uden for brugstiden antages der et udeluftskifte på 0,1 l/s m².

I den nuværende beregningsmetode til bestemmelse af nettovarmebehovet til rumopvarmning og ventilation i SBI-anvisning 184 (Aggerholm et al., 1995) og i Bv 98 (Grau & Aggerholm, 1999) er der antaget samme udnyttelse af det potentielle varmetilskud i boliger og i andre bygninger. I Draft prEN ISO 13790 (European Committee for Standardization, 1999), som har været ude til høring i efteråret 1999, er der forslag om at anvende en fast tidskonstant på 24 timer for andre bygninger end boliger, hvis de kun anvendes en del af døgnet. Dette vil medføre en væsentligt lavere beregnet udnyttelse af det potentielle varmetilskud i både tunge og lette bygninger, og vil svare bedre til de faktiske forhold i disse bygninger. I tabel 115-118 er for administrationsbygninger med naturlig ventilation og forskellige typer konstruktioner vist ændringen i det beregnede varmebehov på grund af beregningsreglerne i prEN ISO 13790. Det ses, at det beregnede varmebehov vil stige 5-15 pct. med de nye beregningsregler, og at stigningen vil være størst i kompakte administrationsbygninger med flere etager og stort etageareal.

Tabel 115. Betydningen af nye beregningsregler i prEN ISO 13790 for udnyttelsen af varmetilskuddet i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Ændring i beregnet varmebehov			
		Nuværende metode		prEN ISO 13790		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	287	301	307	320	20	19	7	6
	360	249	264	271	284	22	20	8	7
	1.200	236	251	259	271	23	20	9	8
2	120	204	219	228	240	24	21	11	9
	360	171	186	197	209	26	23	13	11
	1.200	160	175	186	198	26	23	14	11
3	240	154	169	180	192	26	23	15	12
	1.200	135	151	163	174	28	23	17	13
5	240	134	149	161	172	27	23	17	13
	1.200	116	132	144	155	28	23	19	15

Tabel 116. Betydningen af nye beregningsregler i prEN ISO 13790 for udnyttelsen af varmetilskuddet i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Ændring i beregnet varmebehov			
		Nuværende metode		prEN ISO 13790		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	257	271	275	287	18	16	7	6
	1.200	224	238	243	255	19	17	8	7
5	240	119	134	143	154	24	20	17	13
	1.200	108	123	133	144	25	21	19	15

Tabel 117. Betydningen af nye beregningsregler i prEN ISO 13790 for udnyttelsen af varmetilskuddet i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Ændring i beregnet varmebehov			
		Nuværende metode		prEN ISO 13790		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	267	281	289	301	22	20	8	7
	360	226	240	249	262	23	22	10	8
	1.200	211	226	235	248	24	22	10	9
2	120	194	209	219	231	25	22	11	9
	360	160	175	186	198	26	23	14	11
	1.200	148	164	175	187	27	23	15	12

Tabel 118. Betydningen af nye beregningsregler i prEN ISO 13790 for udnyttelsen af varmetilskuddet i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Ændring i beregnet varmebehov			
		Nuværende metode		prEN ISO 13790		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	243	257	261	274	18	17	7	6
	360	213	227	232	245	19	18	9	7
	1.200	202	217	222	235	20	18	9	8
2	120	172	187	193	205	21	18	11	9
	360	148	163	171	182	23	19	14	11
	1.200	139	155	163	175	24	20	15	12

Med udgangspunkt i varmebehovet beregnet med reduceret udnyttelse efter Draft prEN ISO 13790 er dernæst beregnet reduktionen i nettovarmebehovet til rumopvarmning og ventilation ved at forbedre isoleringen.

I tabel 119 er der for administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder vist varmebehovet, efter de nuværende krav i BR 95 inklusive tillæg 2, dels med isoleringsniveauer svarende til scenario I i tabel 86, samt reduktionen af varmebehovet i henholdsvis MJ/m² år og procent. I tabel 120 er det samme vist under forudsætning af, at isoleringsniveauer forbedres svarende til scenario II i tabel 86.

For at undersøge ventilationens betydning for reduktionen af varmebehovet ved forbedring af klimaskærmen er der i tabel 121 og 122 vist reduktionen af varmebehovet ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86 i administrationsbygninger med mekanisk ventilation på 1,0 henholdsvis 2,0 l/s m² i 45 timer pr. uge og en varmegenvinding med 60 pct. temperaturvirkningsgrad. Det ses, at den absolutte besparelse ved at forbedre klimaskærmen, målt i MJ/m² pr. år, er uafhængig af ventilationen i bygningen.

Tabel 119. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	307	320	267	278	40	42	13	13
	360	271	284	237	248	34	36	13	13
	1.200	259	271	227	237	32	34	13	13
2	120	228	240	190	200	38	40	17	17
	360	197	209	164	174	33	35	17	16
	1.200	186	198	156	166	30	32	16	16
3	240	180	192	148	158	32	34	18	18
	1.200	163	174	134	143	29	31	18	18
5	240	161	172	129	139	32	33	20	20
	1.200	144	155	116	125	28	30	20	20

Tabel 120. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario II i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	307	320	240	251	67	69	22	22
2	360	197	209	151	161	46	48	23	23
5	1.200	144	155	108	117	36	38	25	25

Tabel 121. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86. Mekanisk ventilation 1,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Varmegenvinding med 60 pct. temperaturvirkningsgrad.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	360	187	199	155	165	32	34	17	17
5	1.200	135	146	107	116	28	30	21	21

I tabel 123 til 128 er reduktionen af varmebehovet ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til henholdsvis scenario I og scenario II vist for forskellige typer konstruktioner.

Tabel 122. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86. Mekanisk ventilation 2,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Varmegenvinding med 60 pct. temperaturvirkningsgrad.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	360	226	239	194	204	33	35	15	15
5	1.200	172	184	143	153	29	31	17	17

Tabel 123. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	275	287	250	261	25	26	9	9
	1.200	243	255	219	230	24	25	10	10
5	240	143	154	121	131	22	23	15	16
	1.200	133	144	111	120	22	24	17	17

Tabel 124. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario II i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	275	287	232	242	43	45	16	16
5	1.200	133	144	105	114	27	29	21	20

Tabel 125. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	289	301	244	255	41	46	16	15
	360	249	262	213	223	36	39	15	15
	1.200	235	248	201	211	34	37	15	15
2	120	219	231	179	190	40	41	18	18
	360	186	198	153	163	33	35	18	18
	1.200	175	187	144	154	31	33	18	18

Tabel 126. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario II i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	289	301	210	221	80	81	27	27
2	1.200	175	187	129	139	46	48	26	26

Tabel 127. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario I i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	261	274	231	242	30	32	12	12
	360	232	245	204	215	28	30	12	12
	1.200	222	235	195	206	27	29	12	12
2	120	193	205	167	178	26	27	14	14
	360	171	182	146	156	25	26	15	15
	1.200	163	175	138	148	25	27	16	16

Tabel 128. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk ved at forbedre isoleringsniveauet svarende til scenario II i tabel 86.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		BR 95		Forbedret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
1	120	261	274	204	214	58	59	22	22
2	1.200	163	175	125	135	38	40	23	23

Tabel 129. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>1 etage a 120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,20	2,20
Ydervægge: 0,25 W/m ² K	17	42	42,00	58,00	9,10	5,00
Tag: 0,17 W/m ² K	9	51	80,00	137,00	31,00	9,70
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	17	68	66,00	204,00	13,90	10,80
<u>2 etager a 360 m², i alt 720 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,10	1,10
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,50	2,20
Ydervægge: 0,25 W/m ² K	8	33	24,00	39,00	10,30	4,20
Tag: 0,17 W/m ² K	5	38	40,00	79,00	31,00	7,50
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	9	47	66,00	145,00	26,00	11,10
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	20	20	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	3	23	8,80	15,40	10,90	2,40
Ydervægge: 0,25 W/m ² K	6	29	16,90	32,00	9,70	4,00
Tag: 0,17 W/m ² K	2	31	16,00	48,00	33,00	5,60
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	6	37	66,00	114,00	38,00	11,00

I tabel 129-132 er der for forskellige konstruktionstyper vist reduktionen i MJ/m² etageareal pr. år, investeringen i kr./m² etageareal og investeringen i kr. pr. kWh besparelse pr. år, både for de enkelte tiltag og summeret.

Tabel 130. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>1 etage a 120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,10	1,10
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,20	2,20
Ydervægge: 0,17 W/m ² K	10	35	88,00	104,00	33,00	10,70
Tag: 0,17 W/m ² K	9	44	80,00	184,00	31,00	14,90
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	20	20	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	3	23	8,80	15,40	11,30	2,40
Ydervægge: 0,17 W/m ² K	4	27	35,00	51,00	35,00	6,90
Tag: 0,17 W/m ² K	2	28	16,00	67,00	32,00	8,50

Tabel 131. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>1 etage a 120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,10	1,10
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	26	8,80	15,40	7,20	2,20
Ydervægge: 0,25 W/m ² K	14	40	38,00	53,00	9,80	4,80
Fundament: 0,20 W/m K	6	46	17,20	70,00	10,20	5,60
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	9	55	35,00	105,00	13,40	6,90
Tag: 0,17 W/m ² K	10	65	80,00	185,00	29,00	10,30
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	15	80	66,00	251,00	15,70	11,30
<u>2 etager a 1200 m², i alt 2400 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,60	2,20
Ydervægge: 0,25 W/m ² K	6	30	17,20	33,00	11,30	3,90
Fundament: 0,20 W/m K	2	32	5,10	38,00	10,80	4,20
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	5	37	18,50	56,00	13,20	5,50
Tag: 0,17 W/m ² K	4	41	40,00	96,00	41,00	8,50
Ydervægge: 0,20 W/m ² K	7	47	66,00	162,00	37,00	12,40

Tabel 132. Omkostninger ved forbedring af klimaskærmens isolering i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk.

	Reduktion MJ/m ² år		Investering kr./m ²		Investering kr. pr. kWh/år	
	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet	Enkelt	Samlet
<u>1 etage a 120 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,10	1,10
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	26	8,80	15,40	7,20	2,20
Fundament: 0,20 W/m K	5	31	17,20	33,00	11,70	3,80
Ydervægge: 0,17 W/m ² K	9	40	79,00	111,00	31,00	10,10
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	10	50	36,00	148,00	13,60	10,80
Tag: 0,17 W/m ² K	9	59	80,00	228,00	32,00	14,00
<u>2 etager a 1.200 m², i alt 2.400 m²</u>						
Vinduer: 1,40 W/m ² K	21	21	6,60	6,60	1,20	1,20
Saml. v. vinduer: 0,00 W/m K	4	25	8,80	15,40	7,70	2,30
Fundament: 0,20 W/m K	2	26	5,10	20,00	11,10	2,80
Ydervægge: 0,17 W/m ² K	3	29	36,00	57,00	46,00	7,00
Terrændæk: 0,15 W/m ² K	5	34	18,90	75,00	13,40	7,90
Tag: 0,17 W/m ² K	5	39	40,00	115,00	32,00	10,70

Ventilation

I det følgende er mulighederne for at reducere varmebehovet til ventilation vurderet.

Enfamiliehuse

I BR-S 98 er der alene krav om naturlig ventilation i småhuse med et ude-luftskifte på 0,5 h⁻¹. Hvis der installeres mekanisk ventilation, skal der ifølge BR-S 98 i et hus med køkken, bryggers og to badeværelser være en konstant ventilation på mindst 60 l/s. I tabel 133 er vist reduktionen af varmebehovet i parcelhuse på henholdsvis 120 m² og 160 m² ved at installere balan-

ceret mekanisk ventilation med varmegenvinding, der har en temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Ved beregningerne er der antaget et yderligere udeluftskifte på 0,1 l/s m² på grund af infiltration, åbning af døre og udluftning. Det ses, at varmebehovet i det lille parcelhus på 120 m² ikke ændres ved, at der installeres mekanisk ventilation, fordi der samtidig sker en forøgelse af udeluftskiftet. I det lidt større parcelhus på 160 m² er der en reduktion af varmebehovet på 9 pct. Besparelserne er beregnet for parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk, hvor isoleringsniveauet er forbedret svarende til scenario I i tabel 86.

Hvis der antages et specifikt elforbrug på 2,5 J/l og konstant drift af ventilationen, vil den mekaniske ventilation forøge elforbruget i husene med 1314 kWh/år, svarende til 11,0 kWh/m² år i parcelhuset på 120 m², og 8,2 kWh/m² år i parcelhuset på 160 m². Dette vil forøge CO₂-emissionen med henholdsvis 9,3 og 7,0 kg CO₂/m² år. Til sammenligning vil reduktionen af varmebehovet i parcelhuset på 160 m² medføre en reduktion af CO₂-emissionen på 1,1 kg CO₂/m² år under forudsætning af, at huset er opvarmet med naturgas.

Tabel 133. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk ved installation af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Boliger med køkken, bryggers og to baderum.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	Naturlig vent.		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	223	235	223	235	0	0	0	0
160	214	227	195	208	20	19	9	9

I tabel 134 er vist reduktionen af varmebehov i parcelhuse med balanceret mekanisk ventilation og varmegenvinding med en temperaturvirkningsgrad på 60 pct. ved at forbedre styringen af emhætten således, at emhætten ændres fra at køre med konstant udsugning på 20 l/s til at køre med 10 l/s som basisventilation og 40 l/s ved forceret drift. Det er antaget, at emhætten kører med forceret drift i gennemsnit 2 timer pr. dag. Det ses, at den forbedrede styring af emhætten vil reducere det samlede varmebehov med 4 pct. i både små og store huse.

En typisk krydsstrøms-pladevarmeveksler i et mindre ventilationsaggregat vil ofte have en temperaturvirkningsgrad på højst 60 pct. Hvis der i stedet anvendes modstrømsvarmevekslere, kan der typisk opnås temperaturvirkningsgrader på ca. 80 pct. I tabel 135 er der vist reduktionen i varmebehovet ved at forbedre varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 70 pct. Det ses, at der opnås en reduktion af varmebehovet på 6-8 pct.

Tabel 134. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med balanceret mekanisk ventilation ved forbedret styring af emhætten. Boliger med køkken, bryggers og to baderum. Varmegenvinding med temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Tunge ydervægge og terrændæk.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	Naturlig vent.		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	223	235	213	226	10	10	4	4
160	195	208	187	201	7	7	4	4

Tabel 135. Reduktion af varmebehov i parcelhuse med balanceret mekanisk ventilation ved ændring af temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen fra 60 til 70 pct. Behovsstyring af emhætten. Boliger med køkken, bryggers og to baderum. Tunge ydervægge og terrændæk.

Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	60 pct.		70 pct.		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
120	213	226	196	209	17	17	8	8
160	187	201	175	188	13	13	7	6

Etageboliger

I BR 95 er der for etageboliger krav om mekanisk udsugning fra køkken og baderum. I en lejlighed med køkken og ét baderum skal der således være en konstant udsugning fra lejligheden på 35 l/s. I tabel 136 er vist reduktionen i varmebehovet i lejligheder på 80 m² ved at forbedre styringen af emhætten således, at emhætten ændres fra at køre med konstant udsugning på 20 l/s til at køre med 10 l/s som basisventilation og 40 l/s ved forceret drift. Det er antaget, at emhætten kører med forceret drift i gennemsnit 2 timer pr. dag. Det ses, at den forbedrede styring af emhætten vil reducere det samlede varmebehov med 15-19 pct., lidt afhængig af antal etager og bebygget areal. Besparselserne er beregnet for etageboliger med tunge ydervægge og kælder, hvor isoleringsniveauet er forbedret svarende til scenario I i tabel 86.

I tabel 137 er vist reduktionens afhængighed af lejlighedernes størrelse. Det ses, at reduktionen bliver negativ for lejligheder på 120 m². Årsagen er, at der er forudsat et minimumsudeluftskefte på 0,5 h⁻¹, således at emhætten må køre med en basisventilation på 20 l/s, som yderligere forceres til 40 l/s i 2 timer pr. dag.

Tabel 136. Reduktion af varmebehov i etageboliger med mekanisk udsugning, tunge ydervægge og kælder ved behovsstyring af emhætten. Lejligheder på 80 m² med køkken og ét baderum.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		Konstant 20 l/s		Behovsstyret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	240	231	243	193	207	37	37	16	15
	1.200	214	227	177	190	37	36	17	16
5	240	184	197	148	162	36	35	20	18
	1.200	168	182	133	147	35	35	21	19

Tabel 137. Reduktion af varmebehov i etageboliger med forskellige lejlighedsstørrelser ved forbedret styring af emhætten. Etageboliger i to etager a 1.200 m² med køkken og ét baderum. Mekanisk udsugning, tunge ydervægge og kælder. Vinduer mod nord og syd.

Lejlighedsstørrelse m ²	Varmebehov i MJ/m ² pr. år		Reduktion af varmebehovet	
	Konstant 20 l/s	Behovsstyret	MJ/m ² pr. år	pct.
60	272	222	50	19
80	214	177	37	17
100	179	168	11	6
120	160	165	-5	-3

I tabel 138 er alternativt vist reduktionen af varmebehovet i etageboliger med lejligheder på 80 m² ved at installere balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding, der har en temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Besparselserne er beregnet for etageboliger med tunge ydervægge og kælder, hvor isoleringsniveauet er forbedret svarende til scenario I i tabel 86. Ved beregningerne er der antaget et yderligere udeluftskefte på 0,1 l/s m² på grund af infiltration, åbning af døre og udluftning. Det ses, at varmebehovet reduceres med 26-36 pct., og at den absolutte reduktion af varmebehovet i MJ/m² år ikke afhænger væsentligt af bygningens kompaktthed.

Hvis der antages et specifikt elforbrug på 1,0 J/l ved mekanisk udsugning og 2,5 J/l ved balanceret mekanisk ventilation, vil elforbruget blive forøget med 460 kWh/år pr. lejlighed, svarende til 5,8 kWh/m² år i en lejlighed på 120 m². Dette vil forøge CO₂-emissionen med 4,9 kg CO₂/m² år. Til sammenligning vil reduktionen af varmebehovet medføre en reduktion af CO₂-emissionen på ca. 3,5 kg CO₂/m² år under forudsætning af, at bygningen er opvarmet med naturgas.

I tabel 139 er vist reduktionens afhængighed af lejlighedernes størrelse. Det ses, at der opnås den største reduktion i varmebehovet i små lejligheder både målt absolut og relativt.

Tabel 138. Reduktion af varmebehov i etageboliger med tunge ydervægge og kælder ved installation af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Lejligheder på 80 m² med køkken og ét baderum.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		Udsugning		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	240	231	243	167	181	64	63	28	26
	1.200	214	227	151	165	63	62	29	27
5	240	184	197	122	136	61	61	33	31
	1.200	168	182	108	122	60	60	36	33

I tabel 140 og 141 er vist reduktionen af varmebehovet ved at indføre en forbedret styring af emhætten i etageboliger, hvor der er balanceret mekanisk ventilation med en temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Styringen af emhætten er som tidligere beskrevet. Det ses, at der i lejligheder på 80 m² opnås en reduktion af varmebehovet på 9-11 pct.

I tabel 142-144 er vist varmebehovets afhængighed af varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad. Det ses, at en ændring af varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad vil ændre varmebehovet med 8-13 pct., lidt afhængig af bygningens kompakthed. Det ses også, at lejlighedernes størrelse ikke spiller nogen større rolle.

Tabel 139. Reduktion af varmebehov i etageboliger med forskellige lejlighedsstørrelser ved installation af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Etageboliger i to etager a 1.200 m² med køkken og ét baderum. Tunge ydervægge og kælder. Vinduer mod nord og syd.

Lejlighedsstørrelse m ²	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
	Udsugning		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
60	272	284	173	186	99	98	36	34
80	214	227	151	165	63	62	29	27
100	179	193	138	152	42	41	23	21
120	160	174	130	144	30	30	19	17

Tabel 140. Reduktion af varmebehov i etageboliger med balanceret mekanisk ventilation ved forbedret styring af emhætten. Lejligheder på 80 m², med køkken og ét baderum. Varmegenvinding med temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Tunge ydervægge og kælder.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		Konstant 20 l/s		Behovsstyret		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	240	167	181	153	166	14	14	9	8
	1.200	151	165	137	151	14	14	9	8
5	240	122	136	109	123	14	14	11	10
	1.200	108	122	95	109	13	13	12	11

Tabel 141. Reduktion af varmebehov i etageboliger med balanceret mekanisk ventilation ved forbedret styring af emhætten. Forskellige lejlighedsstørrelser. Etageboliger i to etager a 1.200 m² med køkken og ét baderum. Varmegenvinding med temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Tunge ydervægge og kælder. Vinduer mod nord og syd.

Lejlighedsstørrelse m ²	Varmebehov i MJ/m ² pr. år		Reduktion af varmebehovet	
	Konstant 20 l/s	Behovsstyret	MJ/m ² pr. år	pct.
60	173	154	19	11
80	151	137	14	9
100	138	133	4	3
120	130	132	-2	-2

Tabel 142. Forøgelse af varmebehov i etageboliger med balanceret mekanisk ventilation ved ændring af temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen fra 60 til 50 pct. Behovsstyring af emhætten. Lejligheder på 80 m² med køkken og ét baderum. Tunge ydervægge og kælder.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Forøgelse af varmebehovet			
		60 pct.		50 pct.		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	240	153	166	166	179	13	13	9	8
	1.200	137	151	150	163	13	13	9	8
5	240	109	123	121	135	12	12	11	10
	1.200	95	109	107	121	12	12	13	11

Tabel 143. Reduktion af varmebehov i etageboliger med balanceret mekanisk ventilation ved ændring af temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen fra 60 til 70 pct. Behovsstyring af emhætten. Lejligheder på 80 m² med køkken og ét baderum. Tunge ydervægge og kælder.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		60 pct.		70 pct.		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	240	153	166	140	154	13	13	8	8
	1.200	137	151	124	138	13	13	9	8
5	240	109	123	97	111	12	12	11	10
	1.200	95	109	83	97	12	12	12	11

Tabel 144. Reduktion af varmebehov i etageboliger med balanceret mekanisk ventilation ved ændring af temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen fra 60 til 70 pct. Behovsstyring af emhætten. Forskellige lejlighedsstørrelser. Etageboliger i to etager a 1.200 m² med køkken og ét baderum. Tunge ydervægge og kælder. Vinduer mod nord og syd.

Lejlighedsstørrelse m ²	Varmebehov i MJ/m ² pr. år		Reduktion af varmebehovet	
	60 pct.	70 pct.	MJ/m ² pr. år	pct.
60	154	137	17	11
80	137	124	13	9
100	133	122	12	9
120	132	121	12	9

Administrationsbygninger

I BR 95 er der ikke specifikke krav til ventilationen i administrationsbygninger. I tabel 145 er der vist reduktionen i varmebehovet ved at installere balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og en temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Ved beregningerne er der antaget et mekanisk udeluftskifte på 1,0 l/s m² i brugstiden. Der er desuden antaget et yderligere udeluftskifte på 0,1 l/s m² både i og uden for brugstiden. Det ses, at varmebehovet reduceres 5-7 pct.

Hvis der antages et specifikt elforbrug på 2,5 J/l, vil den mekaniske ventilation forøge elforbruget i bygningen med 5,6 kWh/m² år. Dette vil forøge CO₂-emissionen med henholdsvis 4,7 kg CO₂/m² år. Til sammenligning vil reduktionen af varmebehovet medføre en reduktion af CO₂-emissionen på

ca. 0,5 kg CO₂/m² år under forudsætning af, at bygningen er opvarmet med naturgas.

I tabel 146 er der på tilsvarende vis vist forøgelsen i varmebehovet ved at installere balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og en temperaturvirkningsgrad på 60 pct., hvis der er et mekanisk udeluftskifte på 2,0 l/s m² i brugstiden. Beslutningen om udeluftskiftets størrelse bør afhænge nøje af belastningerne. Et for stort udeluftskifte kan medføre et væsentligt overforbrug af varme og el.

I tabel 147 og 148 er vist reduktionen af varmebehovet ved forbedring af varmegenvinderens virkningsgrad fra 60 til 70 pct. ved et mekanisk udeluftskifte i brugstiden på henholdsvis 1,0 og 2,0 l/s m².

Tabel 145. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder ved installation af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Mekanisk luftskifte 1,0 l/s pr m².

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		Naturlig vent.		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	360	164	174	155	165	9	9	6	5
5	1.200	116	125	107	116	8	9	7	7

Tabel 146. Forøgelse af varmebehov i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder ved installation af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og temperaturvirkningsgrad på 60 pct. Mekanisk luftskifte 2,0 l/s pr m².

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Forøgelse af varmebehovet			
		Naturlig vent.		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	360	164	174	194	204	29	30	18	17
5	1.200	116	125	143	153	27	28	24	22

Tabel 147. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med balanceret mekanisk ventilation ved at forbedre varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 70 pct. Mekanisk luftskifte 1,0 l/s pr m². Tunge ydervægge og kælder.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		Naturlig vent.		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	360	155	165	146	156	9	9	6	6
5	1.200	107	116	99	108	8	9	8	7

Tabel 148. Reduktion af varmebehov i administrationsbygninger med balanceret mekanisk ventilation ved at forbedre varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 70 pct. Mekanisk luftskifte 2,0 l/s pr m². Tunge ydervægge og kælder.

Antal etager	Bebygget areal	Varmebehov i MJ/m ² pr. år				Reduktion af varmebehovet			
		Naturlig vent.		Balanceret vent.		MJ/m ² pr. år		pct.	
		N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V	N-S	Ø-V
2	360	194	204	174	1184	20	20	10	10
5	1.200	143	153	124	134	19	19	13	12

Andre forhold

Generelt er der alene foretaget analyse af de forhold, som er beskrevet i de foregående afsnit. Derudover kan der være yderligere reduktioner at hente ved at kigge nærmere på systemerne nedenfor, men det indgår ikke i de samlede resultater af beregningerne.

Varmefordelingssystem

Der kan eventuelt opnås reduktion af varmebehovet ved forøgelse af rørisoleringen og bedre isolering af fx ventiler, armaturer, fordelerrør og manifolder.

Varmt brugsvand

Der kan ikke umiddelbart peges på besparelser ved produktion af varmt brugsvand, som er økonomisk acceptable. Der kan eventuelt opnås reduktion ved bedre isolering af rør og beholdere, men det kræver en nærmere analyse af reglerne i DS 452.

Belysning

Der kan formodentligt opnås væsentlig reduktion af elforbruget til belysning ved at anvende effektive belysningsanlæg og udnytte dagslyset bedst muligt. Dette kræver mere detaljerede overvejelser og er vanskeligt at omsætte til konkrete bestemmelser, fx i et bygningsreglement.

Samlet reduktion

I det følgende er dels beregnet reduktionen i varmemeforbruget og nødvendig investering i typiske bygninger pr. m^2 etageareal, dels den nødvendige investering pr. sparet kWh/år. Desuden er der beregnet simpel økonomisk tilbagebetalingstid, PB for de samlede investeringer og den samlede reduktion i CO_2 -emissionen fra driften af bygningen samt CO_2 -skyggeprisen.

Der er antaget 80 års levetid på bygninger og konstruktioner, fx ydervægge og fundamenter, og 20 års levetid på vinduer og installationer, fx vinduer, samling mellem vindue og ydervæg, gaskedler og ventilationsanlæg. Investering til forbedring af vindue og samling er opgjort under et som "Vinduer" i tabellerne, og øvrige investeringer i klimaskærmen er opgjort under "Klimaskærm". "Kedel" dækker investeringen ved at anvende kondenserende gaskedler i stedet for almindelige gaskedler. Der er antaget en tilbagebetalingstid for CO_2 -investeringerne på 6 år i bygninger opvarmet ved individuel fyring med naturgas, og på 9 år ved fjernvarmeforsyning med kraftvarme.

Enfamiliehuse

I tabel 149-152 er beregnet reduktionen i varmemeforbrug og nødvendige investeringer i parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk ved at gå til et isoleringsniveau svarende til henholdsvis scenario I og II i tabel 86. Forbrug og reduktion er beregnet henholdsvis for nettovarmebehovet til rumopvarmning inklusive ventilation og for bruttovarmebehovet i bygningen inklusive varmt brugsvand og kedeltab ved henholdsvis fyring med naturgas og fjernvarmeforsyning.

Det ses, at der for en relativt lille investering på 15 kr. pr. m^2 etageareal i bedre vinduer og vinduesfalse kan opnås en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 9 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 6-7 pct. Det ses også, at anvendelsen af kondenserende gaskedler i stedet for almindelige gaskedler, som antages at give 10 pct. reduktion af bruttovarmebehovet i naturgasopvarmede bygninger, maksimalt kræver en investering på 50 kr. m^2 etageareal i små parcelhuse. Ved at isolere resten af klimaskærmen svarende til scenario I i tabel 86 opnås der en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 8-9 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 6-7 pct. ved en investering på 43-48 kr. pr. m^2 etageareal. Ved i stedet at gå til scenario II fordobles reduktionen i varmebehovet relateret til klimaskærmen eksklusive vinduerne, mens investeringen stiger til 145-155 kr. pr. m^2 . Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver på 18 pct. ved at gå til scenario I, og 27 pct. ved at gå til scenario II. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver

henholdsvis 22-23 pct. og 28-29 pct. ved naturgasopvarmning samt 13-14 pct. og 20-21 pct. ved fjernvarmeforsyning.

Tabel 149. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 120 m² parcelhus med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	75	111	100					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	6	7	15	2,30
Klimaskærm		7		9	6	7	48	7,20
Kedel		11			10		50	4,50
I alt	13	24	13	18	22	13		
Forbedret	62	87	87					

Tabel 150. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 120 m² parcelhus med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	75	111	100					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	6	7	15	2,30
Klimaskærm		13		18	12	13	155	11,60
Kedel		11			10		50	4,50
I alt	20	31	20	27	28	20		
Forbedret	55	80	80					

Tabel 151. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 160 m² parcelhus med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	72	101	91					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	7	7	15	2,30
Klimaskærm		6		8	6	7	43	7,00
Kedel		10			10		38	3,80
I alt	13	23	13	18	23	14		
Forbedret	59	78	78					

Tabel 152. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 160 m² parcelhus med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	72	101	91					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	7	7	15	2,30
Klimaskærm		13		17	12	14	145	11,60
Kedel		10			10		38	3,80
I alt	19	29	19	27	29	21		
Forbedret	53	72	72					

Tabel 153. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeformbruget i parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>120 m²</u>					
N-gas	113	10	22,8	5,0	530
FV	63	13	14,4	1,9	620
<u>160 m²</u>					
N-gas	96	9	20,8	4,7	430
FV	58	13	13,1	1,8	600

Tabel 154. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeformbruget i parcelhuse med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering	PB	CO ₂ -emmission i kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>120 m²</u>					
N-gas	220	15	22,8	6,4	610
FV	170	24	14,4	2,9	1.000
<u>160 m²</u>					
N-gas	198	14	20,8	6,0	530
FV	160	23	13,1	2,8	1.000

I tabel 153-154 er for de samme huse vist den samlede investering ved at gå til et isoleringsniveau svarende til henholdsvis scenario I og II i tabel 86. Det ses, at den samlede investering ved at gå til scenario I i et naturgasopvarmet parcelhus med tunge ydervægge og terrændæk er 96-113 kr. pr. m², mens den er 58-63 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende ses det, at den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II er 198-220 kr. pr. m², mens den er 160-170 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 9-13 år ved at gå til scenario I og 14-24 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 430-620 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 530-1000 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

I tabel 155-160 er de samme beregninger vist for parcelhuse med lette ydervægge og terrændæk. Det ses, at reduktionsmuligheder og økonomi ved forbedring af vinduer og kedel er som for parcelhuse med tunge ydervægge. Det ses også, at reduktionen fra resten af klimaskærmen eksklusive vinduer ved at gå til scenario I kun er 2 pct. på både netto- og bruttovarmebehovet, fordi det alene drejer sig om en forbedring af terrændækkets isolering. Investeringen er 17-18 kr. pr. m² etageareal. Ved i stedet at gå til scenario II opnås der en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 12 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 8-10 pct. ved en investering på 137-146 kr. pr. m² etageareal. Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 12 pct. ved at gå til scenario I og 22 pct. ved at gå til scenario II. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver henholdsvis 18-19 pct. og 25-26 pct. ved naturgasopvarmning, og 9-10 pct. og 15-17 pct. ved fjernvarmeforsyning. Det ses, at den samlede investering ved at gå til scenario I i et naturgasopvarmet parcelhus med lette ydervægge og terrændæk er 70-83 kr. pr. m², mens den er 32-33 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning.

Tabel 155. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 120 m² parcelhus med lette ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	70	105	95					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	7	15	2,20
Klimaskærm		2		2	2	2	18	10,80
Kedel		11			10		50	4,80
I alt	9	19	9	12	18	9		
Forbedret	61	86	86					

Tabel 156. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 120 m² parcelhus med lette ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	70	105	95					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	7	15	2,20
Klimaskærm		8		12	8	9	146	17,50
Kedel		11			10		50	4,80
I alt	15	26	15	22	25	15		
Forbedret	54	79	79					

Tabel 157. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 160 m² parcelhus med lette ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	68	96	87					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	8	15	2,30
Klimaskærm		2		2	2	2	17	10,20
Kedel		10			10		38	4,00
I alt	8	18	8	12	19	10		
Forbedret	59	78	78					

Tabel 158. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et 160 m² parcelhus med lette ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	68	96	87					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	8	15	2,30
Klimaskærm		8		12	9	10	137	16,40
Kedel		10			10		38	4,00
I alt	15	25	15	22	26	17		
Forbedret	53	72	72					

Tabel 159. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i parcelhuse med lette ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering kr. pr. m ²	PB år	CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			BR 95	Reduktion	
<u>120 m²</u>					
N-gas	83	9	21,6	3,9	620
FV	33	11	13,6	1,2	610
<u>160 m²</u>					
N-gas	70	8	19,7	3,7	510
FV	32	11	12,5	1,2	630

Tabel 160. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i parcelhuse med lette ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering kr. pr. m ²	PB år	CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			BR 95	Reduktion	
<u>120 m²</u>					
N-gas	211	17	21,6	5,3	750
FV	161	29	13,6	2,2	1.300
<u>160 m²</u>					
N-gas	190	16	19,7	5,0	650
FV	152	28	12,5	2,2	1.200

Tilsvarende ses det, at den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II er 190-211 kr. pr. m², mens den er 152-161 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 9-11 år ved at gå til scenario I og 17-29 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 510-630 kr./ton-CO₂ ved at gå til scenario I og 750-1200 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

I tabel 161-166 er de samme beregninger vist for et dobbelthus og et rækkehus med tunge ydervægge og terrændæk. Det ses, at reduktionsmuligheder og økonomi ved forbedring af vinduerne er som for parcelhusene. Investeringen i en kondenserende gaskedel bliver lidt gunstigere end i parcelhusene, fordi den samme kedel uden videre kan forsyne de større huse. Reduktionen i varmebehovet ved forbedring af klimaskærmen eksklusive vinduer bliver 1-2 pct. point mindre end i de tilsvarende fritliggende parcelhuse. Det ses, at den samlede investering ved at gå til scenario I i et naturgasopvarmet dobbelthus eller rækkehus med tunge ydervægge og terrændæk er 67-78 kr. pr. m², mens den er 47-53 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende ses det, at den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II er 159-175 kr. pr. m², mens den er 139-150 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 7-12 år ved at gå til scenario I og 13-23 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 230-610 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 360-990 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

Tabel 161. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et dobbelthus på 2 × 120 m² med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	69	105	94					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	6	7	15	2,30
Klimaskærm		5		8	5	6	38	7,20
Kedel		10			10		25	2,40
I alt	12	22	12	17	21	13		
Forbedret	57	82	82					

Tabel 162. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et dobbelthus på 2 × 120 m² med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	69	105	94					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	6	7	15	2,30
Klimaskærm		11		16	11	12	135	11,90
Kedel		10			10		25	2,40
I alt	18	29	18	26	27	19		
Forbedret	51	76	76					

Tabel 163. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et rækkehus på 5 × 120 m² med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	66	101	91					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	7	15	2,30
Klimaskærm		4		7	4	5	48	7,20
Kedel		10			10		20	2,00
I alt	11	21	11	17	21	12		
Forbedret	54	79	79					

Tabel 164. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i et rækkehus på 5 × 120 m² med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	66	101	91					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	7	15	2,30
Klimaskærm		10		16	10	11	124	12,10
Kedel		10			10		20	2,00
I alt	17	27	17	26	27	19		
Forbedret	49	74	74					

Tabel 165. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i dobbelthuse og rækkehuse med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	CO ₂ -emission i kg-CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>Doppelthus 2 × 120 m²</u>					
N-gas	78	7	21,4	4,6	280
FV	53	12	13,6	1,7	610
<u>Rækkehus 5 × 120 m²</u>					
N-gas	67	7	20,6	4,3	230
FV	47	12	13,0	1,6	600

Tabel 166. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i dobbelthuse og rækkehuse med tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering kr. pr. m ²	PB år	CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			BR 95	Reduktion	
<u>Doppelthus 2 × 120 m²</u>					
N-gas	175	13	21,4	5,8	400
FV	150	23	13,6	2,6	990
<u>Rækkehus 5 × 120 m²</u>					
N-gas	159	12	20,6	5,5	360
FV	139	23	13,0	2,4	990

I tabel 167-170 er vist beregninger for et parcelhus med udnyttet tagetage, tunge ydervægge og terrændæk. Det ses, at reduktionsmuligheder og økonomi ved forbedring af vinduer og kedel er som for de øvrige enfamiliehuse. Reduktionen i varmebehovet ved forbedring af klimaskærmen eksklusive vinduer bliver lidt mindre end i de tilsvarende étplanshuse. Ved at isolere resten af klimaskærmen svarende til scenario I i tabel 86 opnås der en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 7 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 5 pct. ved en investering på 36 kr. pr. m² etageareal. Ved i stedet at gå til scenario II, stiger reduktionen af nettovarmebehovet til rumopvarmning til 16 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 10-12 pct., mens investeringen stiger til 188 kr. pr. m². Den samlede investering ved at gå til scenario I i et naturgasopvarmet hus er 100 kr. pr. m², mens den er 53 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende er den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II 252 kr. pr. m² ved naturgasfyring, mens den er 139-150 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 10-13 år ved at gå til scenario I og 19-33 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 590-700 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 800-1500 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

Tabel 167. Reduktion i varmeforbrug og nødvendige investeringer i et 128 m² parcelhus med udnyttet tagetage, tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	68	101	91					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	7	17	2,60
Klimaskærm		5		7	5	5	36	7,60
Kedel		10			10		47	4,70
I alt	11	21	11	17	22	13		
Forbedret	56	79	79					

Tabel 168. Reduktion i varmeforbrug og nødvendige investeringer i et 128 m² parcelhus med udnyttet tagetage, tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	68	101	91					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	7	7	17	2,60
Klimaskærm		11		16	10	12	188	17,80
Kedel		10			10		47	4,70
I alt	17	27	17	25	27	19		
Forbedret	51	74	74					

Tabel 169. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i parcelhuse med udnyttet tagetage, tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	CO ₂ -emission i kg-CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton-CO ₂
<u>128 m²</u>					
N-gas	100	10	20,7	4,4	590
FV	53	13	13,1	1,6	700

Tabel 170. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i parcelhuse med udnyttet tagetage, tunge ydervægge og terrændæk. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering	PB	CO ₂ -emission i kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>128 m²</u>					
N-gas	252	19	20,7	5,6	800
FV	205	33	13,1	2,5	1.500

Etageboliger

I tabel 171-176 er beregnet reduktionen i varmeforbrug og nødvendige investeringer i etageboliger med tunge ydervægge og kælder ved at gå til et isoleringsniveau svarende til henholdsvis scenario I og II i tabel 86. Reduktionsmuligheder i absolutte tal og økonomi ved forbedring af vinduerne er som for de øvrige boliger, mens reduktionen i procent er større i bygninger med flere etager, fordi de generelt har et lavere transmissionstab. Ved forbedring af vinduer og vinduesfalske kan der opnås en reduktion af nettovarmebehovet på 9-12 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 6-8 pct. Investeringen i kondenserende gaskedler er mere gunstig end i enfamiliehusene med en investering på kun 20 kr. pr. m² etageareal. Ved at isolere resten af klimaskærmen svarende til scenario I i tabel 86 opnås der en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 3-4 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 2-3 pct. ved en investering på 17-27 kr. pr. m² etageareal. Ved i stedet at gå til scenario II bliver reduktionen af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 7-10 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 4-8 pct., mens investeringen stiger til 61-111 kr. pr. m². Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 13-15 pct. ved at gå til scenario I og 19 pct. ved at gå til scenario II. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver henholdsvis 19 pct. og 22-23 pct. ved naturgasopvarmning, og 10 pct. og 13-14 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering ved at gå til scenario I i et naturgasopvarmet etagehus med tunge ydervægge og kælder er 52-62 kr. pr. m², mens den er 32-42 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende er den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II 96-146 kr. pr. m² ved gasopvarmning, mens den er 76-126 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 6-12 år ved at gå til scenario I og 10-25 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 220-620 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 350-1000 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

Tabel 171. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i etageboliger med tunge ydervægge og kældere. 2 etager a 240 m², 6 lejligheder i alt. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	74	110	99					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	6	7	15	2,30
Klimaskærm		3		4	3	3	27	8,80
Kedel		11			10		20	1,80
I alt	10	21	10	13	19	10		
Forbedret	64	89	89					

Tabel 172. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i etageboliger med tunge ydervægge og kældere. 2 etager a 240 m², 6 lejligheder i alt. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	74	110	99					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	6	7	15	2,30
Klimaskærm		7		10	7	8	111	14,80
Kedel		11			10		20	1,80
I alt	14	25	14	19	23	14		
Forbedret	60	85	85					

Tabel 173. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i etageboliger med tunge ydervægge og kældere. 5 etager a 1200 m², 75 lejligheder i alt. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	55	89	80					
Reduktion:								
Vinduer		7		12	8	8	15	2,30
Klimaskærm		2		3	2	2	17	10,20
Kedel		9			10		20	2,30
I alt	9	17	9	15	19	10		
Forbedret	47	72	72					

Tabel 174. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i etageboliger med tunge ydervægge og kældere. 5 etager a 1200 m², 75 lejligheder i alt. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	55	89	80					
Reduktion:								
Vinduer		7		12	8	8	15	2,30
Klimaskærm		4		7	4	5	61	15,70
Kedel		9			10		20	2,30
I alt	11	19	11	19	22	13		
Forbedret	44	69	69					

Tabel 175. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i etageboliger med tunge ydervægge og kælder. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>2 etager a 240 m², i alt 480 m²</u>					
N-gas	62	6	22,5	4,2	220
FV	42	12	14,2	1,4	620
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>					
N-gas	52	6	18,2	3,5	280
FV	32	11	11,5	1,2	620

Tabel 176. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i etageboliger med tunge ydervægge og kælder. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>2 etager a 240 m², i alt 480 m²</u>					
N-gas	146	12	22,5	5,2	350
FV	126	25	14,2	2,0	1.000
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>					
N-gas	96	10	18,2	4,0	360
FV	76	20	11,5	1,5	880

I tabel 177-179 er for de samme bygninger for scenario I vist reduktionen i varmekonsum og nødvendige investeringer, når der samtidig introduceres en behovsstyring af emhætten i køkkenet som tidligere beskrevet. Det ses, at der ved en investering skønnet til 25 kr. pr. m² kan opnås en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 14-18 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 10-12 pct. Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 27-33 pct. ved at gå til scenario I kombineret med behovsstyring af emhætten. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver 28-30 pct. ved naturgasopvarmning og 21-23 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering i et naturgasopvarmet etagehus er 77-87 kr. pr. m², mens den er 57-67 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 6-9 år og CO₂-skyggeprisen bliver 250-650 kr./ton CO₂.

Tabel 177. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i etageboliger med tunge ydervægge og kælder. 2 etager a 240 m², 6 lejligheder i alt. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86. Behovsstyring af emhætte.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	74	110	99					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	6	7	15	2,30
Klimaskærm		3		4	3	3	27	8,80
Ventilation		11		14	10	11	25	2,40
Kedel		11			10		20	1,80
I alt	20	31	20	27	28	21		
Forbedret	54	79	79					

Tabel 178. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i etageboliger med tunge ydervægge og kælder. 5 etager a 1.200 m², 75 lejligheder i alt. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86. Behovsstyring af emhætte.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	55	89	80					
Reduktion:								
Vinduer		7		12	8	8	15	2,30
Klimaskærm		2		3	2	2	17	10,20
Ventilation		10		18	11	12	25	2,60
Kedel		9			10		20	2,30
I alt	18	27	18	33	30	23		
Forbedret	37	62	62					

Tabel 179. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i etageboliger med tunge ydervægge og kælder. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86. Behovsstyring af emhætte.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>2 etager a 240 m², i alt 480 m²</u>					
N-gas	87	6	22,5	6,4	250
FV	67	9	14,2	2,9	610
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>					
N-gas	77	6	18,2	5,5	310
FV	57	9	11,5	2,6	650

Administrationsbygninger

I tabel 180-187 er beregnet reduktionen i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge, kælder og naturlig ventilation ved at gå til et isoleringsniveau svarende til henholdsvis scenario I og II i tabel 86. Ved forbedring af vinduer og vinduesfalske kan der opnås en reduktion af nettovarmebehovet på 7-15 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 6-12 pct. Investeringen i kondenserende gaskedler er gunstigst i større administrationsbygninger med en investering på kun 20 kr. pr. m² etageareal. Ved at isolere resten af klimaskærmen svarende til scenario I i tabel 86 opnås der ved en investering på 17-42 kr. pr. m² etageareal en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 4-6 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 3-4 pct. Ved i stedet at gå til scenario II bliver reduktionen af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 10-14 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 7-13 pct., mens investeringen stiger til 99-188 kr. pr. m². Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 13-19 pct. ved at gå til scenario I, og 22-25 pct. ved at gå til scenario II. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver henholdsvis 20-24 pct. og 28 pct. ved naturgasopvarmning, og 12-16 pct. og 20 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering ved at gå til scenario I i en naturgasopvarmet administrationsbygning med tunge ydervægge, kælder og naturlig ventilation er 52-107 kr. pr. m², mens den er 32-57 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende er den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II 134-253 kr. pr. m² ved gasopvarmning, mens den er 114-203 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. De største investeringer og reduktioner i varmebehovet er i de små administrationsbygninger. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 8-12 år ved at gå til scenario I og 17-32 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 340-690 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 580-13000 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

Tabel 180. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	85	106	95					
Reduktion:								
Vinduer		6		7	6	7	15	2,40
Klimaskærm		5		6	4	5	42	8,90
Kedel		11			10		50	4,70
I alt	11	22	11	13	20	12		
Forbedret	74	84	84					

Tabel 181. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	85	106	95					
Reduktion:								
Vinduer		6		7	6	7	15	2,40
Klimaskærm		12		14	12	13	188	15,40
Kedel		11			10		50	4,70
I alt	19	29	19	22	28	20		
Forbedret	67	77	77					

Tabel 182. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 2 etager a 360 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	55	72	65					
Reduktion:								
Vinduer		7		13	10	11	15	2,20
Klimaskærm		2		4	3	3	25	10,80
Kedel		7			10		20	2,80
I alt	9	16	9	17	23	14		
Forbedret	46	56	56					

Tabel 183. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 2 etager a 360 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	55	72	65					
Reduktion:								
Vinduer		7		13	10	11	15	2,20
Klimaskærm		6		11	8	9	130	22,30
Kedel		7			10		20	2,80
I alt	13	20	13	23	28	20		
Forbedret	42	52	52					

Tabel 184. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 5 etager a 1.200 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	40	56	50					
Reduktion:								
Vinduer		6		15	11	12	15	2,50
Klimaskærm		2		4	3	3	17	10,20
Kedel		6			10		20	3,60
I alt	8	13	8	19	24	16		
Forbedret	32	42	42					

Tabel 185. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 5 etager a 1.200 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	40	56	50					
Reduktion:								
Vinduer		6		15	11	12	15	2,50
Klimaskærm		4		10	7	8	99	25,50
Kedel		6			10		20	3,60
I alt	10	16	10	25	28	20		
Forbedret	30	40	40					

Tabel 186. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid, PB og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	107	10	21,7	4,4	590
FV	57	14	13,7	1,6	670
<u>2 etager a 360 m², i alt 720 m²</u>					
N-gas	59	8	14,7	3,4	340
FV	39	12	9,3	1,3	620
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>					
N-gas	52	8	11,4	2,7	450
FV	32	11	7,2	1,1	690

Tabel 187. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid, PB og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	253	18	21,7	6,0	720
FV	203	30	13,7	2,7	1.200
<u>2 etager a 360 m², i alt 720 m²</u>					
N-gas	165	17	14,7	4,1	580
FV	145	32	9,3	1,8	1.300
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>					
N-gas	134	18	11,4	3,2	690
FV	114	32	7,2	1,4	1.300

I tabel 188-190 er for de to største af de samme bygninger for scenario I vist reduktionen i varmekonsum og nødvendige investeringer, når der er mekanisk ventilation på 1,0 l/s m² i 45 timer pr. uge og introduceres en forbedring af varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad fra 60 til 70 pct. Det ses, at der opnås yderligere reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 5-6 pct. ved en investering skønnet til 10 kr. pr. m², svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 4-5 pct. Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 22-27 pct., svarende til en reduktion i bruttovarmebehovene på 27-29 pct. ved naturgasopvarmning, og 18-21 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering i en naturgasopvarmet administrationsbygning bliver 62-69 kr. pr. m², og 42-49 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 8-12 år og CO₂-skyggeprisen bliver 410-840 kr./ton CO₂.

Tabel 188. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 2 etager a 360 m². Mekanisk ventilation 1,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	52	69	62					
Reduktion:								
Vinduer		7		13	10	11	15	2,30
Klimaskærm		2		4	3	4	24	10,80
Ventilation		3		5	4	4	10	4,00
Kedel		7			10		20	2,90
I alt	11	18	11	22	27	18		
Forbedret	41	51	51					

Tabel 189. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 5 etager a 1.200 m². Mekanisk ventilation 1,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	38	53	48					
Reduktion:								
Vinduer		6		16	12	13	15	2,50
Klimaskærm		2		4	3	4	17	10,20
Ventilation		2		6	4	5	10	4,50
Kedel		5			10		20	3,80
I alt	10	15	10	27	29	21		
Forbedret	28	38	38					

Tabel 190. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid, PB og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. Mekanisk ventilation 1,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>2 etager a 360 m², i alt 720 m²</u>					
N-gas	69	8	14,1	3,7	410
FV	49	12	8,9	1,6	770
<u>5 etager a 1.200 m², i alt 6.000 m²</u>					
N-gas	62	9	10,8	3,1	520
FV	42	12	6,8	1,4	840

I tabel 191-193 er det samme vist, når der er mekanisk ventilation på 1,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Det ses, at reduktionen af nettovarmebehovet til

rumopvarmning ved en investering skønnet til 20 kr. pr. m² stiger til 9-11 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 7-9 pct. Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 23-28 pct., svarende til en reduktion i bruttovarmebehovene på 28-31 pct. ved naturgasopvarmning og 20-23 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering i en naturgasopvarmet administrationsbygning bliver 72-79 kr. pr. m² og 52-59 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 7-11 år og CO₂-skyggeprisen bliver 390-830 kr./ton CO₂.

Hertil kommer så elforbruget til ventilationen og eventuelle muligheder for reduktion af denne.

Tabel 191. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 2 etager a 360 m². Mekanisk ventilation 2,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	63	81	73					
Reduktion:								
Vinduer		7		11	8	9	15	2,30
Klimaskærm		2		4	3	3	24	10,80
Ventilation		6		9	7	8	20	3,60
Kedel		8			10		20	2,50
I alt	14	23	14	23	28	20		
Forbedret	48	58	58					

Tabel 192. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. 5 etager a 1.200 m². Mekanisk ventilation 2,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	48	64	58					
Reduktion:								
Vinduer		6		13	10	11	15	2,40
Klimaskærm		2		3	3	3	17	10,20
Ventilation		5		11	8	9	20	3,80
Kedel		6			10		20	3,10
I alt	13	20	13	28	31	23		
Forbedret	34	44	44					

Tabel 193. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid, PB og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmekonsumet i administrationsbygninger med tunge ydervægge og kælder. Mekanisk ventilation 2,0 l/s m² i 45 timer pr. uge. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering kr. pr. m ²	PB år	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			BR 95	Reduktion	
<u>2 etager a 360 m², i alt 720 m²</u>					
N-gas	79	7	16,6	4,6	390
FV	59	11	10,5	2,1	800
<u>5 etager a 1200 m², i alt 6000 m²</u>					
N-gas	72	8	13,2	4,0	460
FV	52	11	8,3	1,9	830

I tabel 194-199 er de samme beregninger vist for administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder. Det ses, at reduktionsmuligheder og økonomi ved forbedring af vinduer og kedel er som for administrationsbygninger med tunge ydervægge. Det ses også, at der ikke er nogen reduktion fra resten af klimaskærmen eksklusive vinduer ved at gå til scenario I. Ved

at gå til scenario II opnås der ved en investering på 52-169 kr. pr. m² etageareal en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 5-7 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 3-5 pct. Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 9-17 pct. ved at gå til scenario I, og 16-21 pct. ved at gå til scenario II. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver henholdsvis 17-22 pct. og 22-25 pct. ved naturgasopvarmning, og 8-13 pct. og 14-17 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering ved at gå til scenario I i en naturgasopvarmet administrationsbygning med lette ydervægge og kælder er 35-65 kr. pr. m², mens den er 15 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende er den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II er 87-234 kr. pr. m² ved naturgasfyring, mens den er 67-184 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 6-8 år ved at gå til scenario I og 14-43 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 470-680 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 460-1700 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

Tabel 194. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	76	96	86					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	7	8	15	2,20
Klimaskærm		-		-	-	-	-	-
Kedel		10			10		50	5,20
I alt	7	17	7	9	17	8		
Forbedret	69	79	79					

Tabel 195. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	76	96	86					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	7	8	15	2,20
Klimaskærm		5		7	5	6	169	33,80
Kedel		10			10		50	5,20
I alt	12	22	12	16	22	14		
Forbedret	64	74	74					

Tabel 196. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder. 5 etager a 1.200 m². Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	37	52	47					
Reduktion:								
Vinduer		6		17	12	13	15	2,50
Klimaskærm		-		-	-	-	-	-
Kedel		5			10		20	3,80
I alt	6	11	6	17	22	13		
Forbedret	31	41	41					

Tabel 197. Reduktion i varmeforbrug og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder. 5 etager a 1.200 m². Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	37	52	47					
Reduktion:								
Vinduer		6		17	12	13	15	2,50
Klimaskærm		2		5	3	4	52	31,20
Kedel		5			10		20	3,80
I alt	8	13	8	21	25	17		
Forbedret	29	39	39					

Tabel 198. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	65	8	19,7	3,4	680
FV	15	6	12,4	1,0	520
<u>5 etager a 1.200 m², i alt 6.000 m²</u>					
N-gas	35	6	10,7	2,3	470
FV	15	7	6,8	0,8	630

Tabel 199. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i administrationsbygninger med lette ydervægge og kælder. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	234	23	19,7	4,4	980
FV	184	43	12,4	1,7	1.700
<u>5 etager a 1.200 m², i alt 6.000 m²</u>					
N-gas	87	14	10,7	2,7	640
FV	67	24	6,8	1,1	1.100

I tabel 200-205 er vist beregningerne for administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk. Det er antaget, at administrationsbygninger med terrændæk mest er i en eller to etager. Reduktionsmuligheder og økonomi ved forbedring af vinduer og kedel er som for de andre administrationsbygninger. Ved at isolere resten af klimaskærmen svarende til scenario I i tabel 86 opnås der ved en investering på 23-55 kr. pr. m² etageareal en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 4-7 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 3-6 pct. Ved i stedet at gå til scenario II bliver reduktionen af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 13-19 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 9-17 pct., mens investeringen stiger til 147-236 kr. pr. m². Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 16-18 pct. ved at gå til scenario I og 26-27 pct. ved at gå til scenario II. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver henholdsvis 22-23 pct. og 30-32 pct. ved naturgasopvarmning, og 14-15 pct. og 22-24 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering ved at gå til scenario I i en naturgasopvarmet administrationsbygning med tunge ydervægge og terrændæk er 58-120 kr. pr. m², mens den er 38-70 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende er den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II 182-301 kr. pr. m² ved naturgasfyring, mens den er 162-251 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske

tilbagebetalingstid bliver 8-16 år ved at gå til scenario I og 20-35 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 390-680 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 670-1400 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

Tabel 200. Reduktion i varmemeforbrug og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	80	100	90					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	7	8	15	2,20
Klimaskærm		6		7	6	6	55	9,90
Kedel		10			10		50	5,00
I alt	13	23	13	16	22	14		
Forbedret	68	78	78					

Tabel 201. Reduktion i varmemeforbrug og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	80	100	90					
Reduktion:								
Vinduer		7		9	7	8	15	2,20
Klimaskærm		15		19	15	17	236	15,70
Kedel		10			10		50	5,00
I alt	22	32	22	27	32	24		
Forbedret	58	68	68					

Tabel 202. Reduktion i varmemeforbrug og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk. 2 etager a 1.200 m². Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	49	65	59					
Reduktion:								
Vinduer		7		14	10	11	15	2,30
Klimaskærm		2		4	3	3	23	11,80
Kedel		7			10		20	3,10
I alt	9	15	9	18	23	15		
Forbedret	40	50	50					

Tabel 203. Reduktion i varmemeforbrug og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk. 2 etager a 1.200 m². Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	49	65	59					
Reduktion:								
Vinduer		7		14	10	11	15	2,30
Klimaskærm		6		13	9	10	147	24,10
Kedel		7			10		20	3,10
I alt	13	19	13	26	30	22		
Forbedret	36	46	46					

Tabel 204. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	120	11	20,6	4,6	600
FV	70	16	13,0	1,8	680
<u>2 etager a 1200 m², i alt 2400 m²</u>					
N-gas	58	8	13,4	3,1	390
FV	38	12	8,4	1,2	660

Tabel 205. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i administrationsbygninger med tunge ydervægge og terrændæk. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering	PB	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris
	kr. pr. m ²	år	BR 95	Reduktion	kr./ton CO ₂
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	301	20	20,6	6,6	730
FV	251	32	13,0	3,2	1.200
<u>2 etager a 1200 m², i alt 2400 m²</u>					
N-gas	182	20	13,4	4,0	670
FV	162	35	8,4	1,8	1.400

I tabel 206-211 er vist beregningerne for administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk. Reduktionsmuligheder og økonomi ved forbedring af vinduer og kedel er som for de andre administrationsbygninger. Ved at isolere resten af klimaskærmen svarende til scenario I i tabel 86 opnås der ved en investering på 5-18 kr. pr. m² etageareal en reduktion af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 1-2 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på op til 2 pct.. Ved i stedet at gå til scenario II bliver reduktionen af nettovarmebehovet til rumopvarmning på 9-12 pct., svarende til en reduktion af bruttovarmebehovet på 6-11 pct., mens investeringen stiger til 100-213 kr. pr. m². Den samlede reduktion i nettovarmebehovet til rumopvarmning bliver 11-15 pct. ved at gå til scenario I og 22-23 pct. ved at gå til scenario II. De tilsvarende reduktioner i bruttovarmebehovene bliver henholdsvis 19-21 pct. og 27 pct. ved naturgasopvarmning, og 10-13 pct. og 19 pct. ved fjernvarmeforsyning. Den samlede investering ved at gå til scenario I i en naturgasopvarmet administrationsbygning med lette ydervægge og terrændæk er 40-83 kr. pr. m², mens den er 20-33 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Tilsvarende er den samlede investering ved i stedet at gå til scenario II 135-278 kr. pr. m² ved naturgasfyring, mens den er 115-228 kr. pr. m² ved fjernvarmeforsyning. Den økonomiske tilbagebetalingstid bliver 8-11 år ved at gå til scenario I og 17-40 år ved at gå til scenario II. CO₂-skyggeprisen bliver 400-700 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario I og 630-1600 kr./ton CO₂ ved at gå til scenario II.

Tabel 206. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	73	92	83					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	8	8	15	2,20
Klimaskærm		1		2	2	2	18	13,00
Kedel		9			10		50	5,50
I alt	8	18	8	11	19	10		
Forbedret	64	74	74					

Tabel 207. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk. 1 etage a 120 m². Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	73	92	83					
Reduktion:								
Vinduer		7		10	8	8	15	2,20
Klimaskærm		9		12	10	11	213	24,00
Kedel		9			10		50	5,50
I alt	16	25	16	22	27	19		
Forbedret	57	67	67					

Tabel 208. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk. 2 etager a 1.200 m². Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	45	61	55					
Reduktion:								
Vinduer		7		15	11	12	15	2,30
Klimaskærm		1		1	0	1	5	18,00
Kedel		6			10		20	3,30
I alt	7	13	7	15	21	13		
Forbedret	38	48	48					

Tabel 209. Reduktion i varmekonsum og nødvendige investeringer i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk. 2 etager a 1.200 m². Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Forbrug i kWh/m ² år			Reduktion i pct.			Investering i kr.	
	Rum	N-gas	FV	Rum	N-gas	FV	pr. m ²	pr. kWh/år
BR 95	45	61	55					
Reduktion:								
Vinduer		7		15	11	12	15	2,30
Klimaskærm		4		9	6	7	100	25,70
Kedel		6			10		20	3,30
I alt	11	17	11	23	27	19		
Forbedret	35	45	45					

Tabel 210. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario I i tabel 86.

	Investering kr. pr. m ²	PB år	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			BR 95	Reduktion	
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	83	10	18,8	3,6	700
FV	33	11	11,9	1,2	620
<u>2 etager a 1200 m², i alt 2400 m²</u>					
N-gas	40	6	12,6	2,7	400
FV	20	8	8,0	1,0	600

Tabel 211. Samlet investering, simpel tilbagebetalingstid og CO₂-skyggepris ved reduktion af varmeforbruget i administrationsbygninger med lette ydervægge og terrændæk. Naturlig ventilation. Isoleringsniveau svarende til scenario II i tabel 86.

	Investering kr. pr. m ²	PB år	kg CO ₂ /m ² år		CO ₂ -skyggepris kr./ton CO ₂
			BR 95	Reduktion	
<u>1 etage a 120 m²</u>					
N-gas	278	23	18,8	5,1	940
FV	228	40	11,9	2,3	1.600
<u>2 etager a 1200 m², i alt 2400 m²</u>					
N-gas	135	17	12,6	3,4	630
FV	115	30	8,0	1,5	1.300

Summary and Conclusions

By og Byg Documentation 006: Energy conservation in new buildings

Status year 2000

The purpose of this report is to assess to what extent it is possible to reduce the heat and energy demand in new buildings by improving already known and today applied solutions. It is also the purpose to determine the need for new solutions in order to reach the target outlined in the Danish Government's action plan for energy, Energy 21, to reduce heat demand in new buildings by a further 33 % and also to reduce electricity consumption. The first part of the report presents assessments of the technical, economic, energy and environmental consequences of improving the individual constructions and installations in new buildings. The second part of the report presents an overall assessment covering typical buildings.

The starting point are constructions, installations and buildings that precisely meets the requirements stipulated in the Danish Building Regulations BR 95 including Appendix 2 and BR-S 98 including Appendix 1. Transmission loss is calculated in accordance with Danish Standard DS 418 including Appendices 1-4. Prices are given in terms of 2000 prices. Socio-economic prices are given in projected 2005 prices. This presupposes that energy improvements do not have a negative effect e.g. on durability or maintenance requirements.

The results show that it is impossible to meet the targets of Energy 21 by applying already known and today applied solutions in order to reach the target of a further 33 % reduction of the heating demand in new buildings. Significant improvement of already known solutions are needed as well as development of novel solutions if this target is to be reached.

For constructions, especially for heavy exterior walls and foundations for heavy exterior walls and slabs on the ground, specifically in connection with floor heating, insulating properties needs to be significantly improved by means of thicker insulation and a reduction of thermal bridges. For other structural parts, focus centres especially on achieving increased insulating properties with limited additional costs. The development of novel solutions should focus on simple solutions that are durable and architecturally acceptable.

Major improvements of windows have already taken place as the energy performance of window glazing today is typically much better than stipulated in BR 95 and BR-S 98. Continued development is required, e.g. development and use of improved spacers in glazing and slim frames with improved energy properties.

Especially for floor heating systems, development and application of better controls are needed, and to avoid floor surfaces that feel cold to the touch and are heated for that reason alone. New solutions should be developed including how to use pumps and controls that reduce the electricity consumption for circulation water in heating and domestic water systems.

The requirement of DS 452 regarding the technical insulation should be re-assessed with respect to heating, domestic water and ventilation systems. New improved solutions for pre-insulated pipe and storage tanks should be developed as well as better and more inexpensive pre-fabricated insulation systems for pipes and fixtures.

Important development of condensing natural gas boilers has already taken place. Here the priority is to reduce additional costs of condensing boilers compared with ordinary gas boilers, especially for smaller buildings.

Improved performance of solar heat systems and reduction of installation costs are needed as well a proof of an advantageous economy in practice including maintenance costs if solar heat is to be an alternative to heating hot domestic water.

With the existing efficiency and environmental loads of the electricity supply, significant improvement of the resultant coefficient of performance of heat pumps is needed if heat pumps are to be an alternative to heating hot domestic water with natural gas or for space heating outside the district heating areas. With improved efficiency and reduced environmental loads from the electricity supply as well as improved coefficients of performance, heat pumps can become exceedingly relevant as a source of heat in the longer term

If balanced mechanical ventilation with heat recovery is to be an attractive alternative to natural ventilation in single family houses in terms of energy and environment, development of small simple ventilation systems with exceedingly low electricity consumption, high temperature efficiency and demand control is required, which are easy to install and operate as well as reliable and with a minimum of maintenance.

Development of energy efficient solutions is greatly needed for demand controlled mechanical exhaust in multi-storey buildings, solutions that can also ensure a satisfactory indoor climate. Moreover development of energy efficient balanced ventilation solutions for multi-storey buildings might be needed

Solutions should be developed for buildings used for offices, educational purposes etc. to reduce the electricity consumption for air transport in mechanical ventilation systems. At the same time the solutions should achieve improved temperature efficiency for heat recovery. Solutions should be developed that extend the field of application of natural ventilation while considering the comfort conditions including how to avoid draught and obtain good air quality, especially during winter. Also hybrid solutions using mechanical ventilation during winter and natural ventilation during summer should be developed. Moreover, inexpensive, user-friendly solutions for demand-controlled ventilation are needed.

To reduce the demand for ventilation, the use of materials and cleansing procedures, which reduce the indoor climate loads as much as possible should, be promoted, as well as the use of equipment with small heat gains. Moreover, the use of efficient demand controlled solar shading should be promoted, especially in office and educational buildings etc., so that the solar heat load during summer does not lead to increased ventilation demand or mechanical cooling.

In order to reduce the electricity consumption even more, especially in office and educational buildings, energy economic lighting systems will have to be developed and control systems that in an optimal way takes account of the lighting required and the daylight access as well as to the user-friendliness and comfort. Moreover solutions should be developed that optimises the daylight access with regard to the possibilities for turning off or reducing artificial lighting with the user's comfort in mind.

Referencer

Aggerholm, S., et al. (1995). *Bygningers energibehov: Varmeisolering. Konstruktionseksempler. Ventilation. Belysning* (SBI-anvisning 184). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Aggerholm, S. (1998). *Nye energibestemmelser i Bygningsreglementet år 2005: Rammeprogram for forskning, udvikling og forsøgsbyggeri 1998-2003* (2. udg.). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Bolig- og Byministeriet. (1998). *Bygningsreglement for småhuse 1998*. København.

Boligministeriet. (1995). *Bygningsreglement 1995*. København.

BPS-centret. (1993). *Typiske detaljer, lavenergibyggeri* (BPS-publikation 111). Hørsholm.

BPS-centret. (1998). *Håndbog i miljørigtig projektering* (BPS-publikation 121-1/2). Taastrup.

By- og Boligministeriet. (2001b). *Tillæg 2 til Bygningsreglement 1995*. København.

By- og Boligministeriet. (2001a). *Tillæg 1 til Bygningsreglement for småhuse 1998*. København.

Dansk Forening af Fabrikanten af Varmeisoleringsmaterialer, VIF. (1995). *U-værdier '95*. Hørsholm.

Dansk Gasteknisk Center. (2000). *Positivliste for naturgasfyrede kedler*. Hørsholm. Lokaliseret 20010223 på: <http://www.dgc.dk/villa>.

Dansk Ingeniørforening. (1986). *Regler for beregning af bygningers varmetab* (5. udg.) (Dansk Standard DS 418). København.

Dansk Standard. (1997). *Tillæg 1 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab: Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre* (DS 418/Til. 1). København.

Dansk Standard. (1998). *Tillæg 3 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab: Tillæg omhandlende betonsandwichelementer samt kileformet isolering* (DS 418/Til. 3). København.

Dansk Standard. (1999). *Termisk isolering af tekniske installationer* (DS 452:1999). København.

Dansk Standard. (2000). *Tillæg 4 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab: Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og – vægge samt samlinger omkring vinduer og døre* (DS 418/Til. 4). København.

De effektive får tilskud. (1999). *Råd & Resultater*, 39(2), 2-8.

- Elkraft. (2000). *Projekt om varmebesparelser og -forsyning i Glostrup: Hovedrapport*. Ballerup.
- Energistyrelsen. (1995). *Generelle forudsætninger for samfundsøkonomiske beregninger*. København.
- Energistyrelsen. (1998a). *Projekt vindue: Program for den produktrettede indsats på vinduesområdet*. København.
- Energistyrelsen. (1998b). *Varmebesparelsmuligheder i hovedstadsområdet kraftvarme- og naturgasforsynede områder: Udkast*. København.
- Energistyrelsen. (1999). *Brændselsprisforudsætninger for samfundsøkonomiske beregninger*. København.
- Energistyrelsen. (2000). *Energistatistik 1999*. København.
- European Committee for Standardization. (1999). *Thermal performance of buildings : Calculation of energy use for heating* (ISO prEn 13790:1999 E). Bruxelles.
- Grau, K., & Aggerholm, S. (1999). *Bygningers varmebehov 98: Pc-program til beregning af varmebehov og energiramme*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Holleris Petersen, E., Krogh, H., & Dinesen, J. (1998). *Miljødata for udvalgte bygningsdele* (SBI-rapport 296). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Informationssekretariatet for Vedvarende Energi. (2000). *Typegodkendte solfangere, solvarmebeholdere og solvarmestyringer*. Taastrup.
- Johnsen, K., Kvetny, M., & Skifter Andersen, H. (1982). *Økonomisk vurdering af energibesparende foranstaltninger* (SBI-anvisning 132). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Miljø & Energiministeriet. (1996). *Energi 21: Regeringens energihandlingsplan 1996*. København.
- Statens Byggeforskningsinstitut. (1999). *Småhuse* (2. udg.) (SBI-anvisning 189). Hørsholm.
- Teknologisk Institut, Sekretariatet for Energimærkning. (1998). *Håndbog for energikonsulenter: Energimærkningsordningen. Små ejendomme*. Taastrup.
- Teknologisk Institut, Sol Energi Center Danmark. (1999). *Livscyklusvurderinger. Analyse og vurdering af markedsførte solfangere i Danmark*. Taastrup.
- Teknologisk Institut. (2000). *Systemgodkendte varmepumpeanlæg*. Taastrup.
- V&S priser: *Bygningsdele 2000*. (2000). Brønshøj: V&S Byggedata.
- V&S priser: *Husbygning-Brutto 2000*. (2000). Brønshøj: V&S Byggedata.

Rapporten dokumenterer, hvor langt det er muligt at reducere varme- og energibehovet i nybyggeriet ved at forbedre kendte og almindeligt anvendte byggetekniske løsninger. Rapporten beskriver desuden, hvor der er behov for udvikling af nye løsninger for at kunne opfylde målsætningen i Energi 21 om yderligere 33 procent reduktion af varmebehovet i nybyggeriet og om reduktion af elforbruget.

1. udgave, 2001

ISBN 87-563-1081-1

ISSN 1600-8022