



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Model for adfærdens effekt for energiforbruget**

*Netværk for energirenovering*

Rose, Jørgen

*Publication date:*  
2013

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Rose, J. (2013). *Model for adfærdens effekt for energiforbruget: Netværk for energirenovering*. SBI forlag. SBI Bind 2013 Nr. 04

### **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](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SBi 2013:04

# Model for adfærdens effekt for energiforbruget

Netværk for energireovering



Statens Byggeforskningsinstitut  
AALBORG UNIVERSITET



# Model for adfærdens effekt for energiforbruget

Netværk for energirenovering

Jørgen Rose

Titel	Model for adfærdens effekt for energiforbruget
Undertitel	Netværk for energirenovering
Serietitel	SBi 2013:04
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2013
Forfattere	Jørgen Rose
Sprog	Dansk
Sidetæl	33
Litteratur- henvisninger	Side 33
Emneord	Brugeradfærd, energirenovering, enfamiliehuse, energiforbrug, energibesparelser, parcelhus
ISBN	978-87-92739-21-6
Omslag	Colourbox
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, DK-2450 København SV E-post <a href="mailto:sbi@sbi.aau.dk">sbi@sbi.aau.dk</a> <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a>

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

# Forord

Denne rapport er udarbejdet for Energistyrelsen og er målrettet deltagerne i netværket for energirenovering, især byggebranchen og styrelserne samt de politiske beslutningstagere.

Formålet med analysen er, at undersøge hvor stor indflydelse brugernes adfærd kan have på i hvilket omfang forventede energibesparelser opnås i forbindelse med energirenovering af enfamiliehuse. Derudover er formålet ligeledes at fastlægge en metode til bedre at kunne forudsige faktiske energibesparelser.

Rapporten består af en kortfattet beskrivelse af formål og metode, en gennemgang af de udførte analyser, behandling og vurdering af resultater samt en konklusion og udvikling af metode til vurdering af energibesparelspotentiale under hensyntagen til brugernes adfærd.

Projektet er udført af seniorforsker Jørgen Rose fra SBI.

Arbejdet påbegyndtes primo november 2012.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
Energi og miljø  
Januar 2013

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

# Indholdsfortegnelse

Model for adfærdens effekt for energiforbruget.....	1
Forord .....	3
Indholdsfortegnelse .....	4
Formål.....	5
Metode.....	6
Enfamiliehus fra 1930'erne .....	6
Energirenoveringspakke 1.....	7
Energirenoveringspakke 2.....	7
Enfamiliehus fra 1960'erne .....	8
Energirenoveringspakke 1.....	9
Energirenoveringspakke 2.....	10
Enfamiliehus nybyggeri.....	10
Vurdering af adfærdens betydning for energiforbruget .....	12
Parametervariationer .....	12
Indetemperaturen .....	12
Internt varmetilskud .....	16
Forbrug af varmt brugsvand .....	20
Luftskiftet i bygningen.....	24
Kombinerede effekter.....	26
Sammenfatning .....	29
Indetemperaturen .....	29
Internt varmetilskud .....	29
Varmt brugsvand .....	30
Luftskifte .....	31
Metode til fastlæggelse af energibesparelse .....	32
Referencer .....	33

# Formål

Formålet med analysen er at skabe et overblik over hvordan brugeradfærd påvirker forventede energibesparelser i bygninger der energirenoveres, og derigennem forsøge at fastlægge en metode til fastlæggelse af forventede energibesparelser under hensyntagen til brugeradfærd.

Brugeradfærd spiller en væsentlig rolle for bygningers energiforbrug, og i forbindelse med energirenovering af eksisterende bygninger kan dette medføre at forventede energibesparelser ikke realiseres. Oftest skyldes udeblivende energibesparelser, at brugerne opnår mulighed for og fokuserer på øget komfort, som f.eks. gennem en let forøgelse af indetemperaturen.

Formålet med analysen er dermed, at kortlægge betydningen af fire primære brugerrelaterede parametre mht. deres indbyrdes og kombinerede effekt på det samlede energibehov før/efter energirenovering:

1. Indetemperaturen
2. Internt varmetilskud
3. Varmt brugsvand
4. Luftskiftet

På baggrund af analyserne fastlægges en metode som kan anvendes til at opstille mere realistiske og retvisende forudsigelser af forventede energibesparelser i forbindelse med energirenovering under hensyntagen til brugernes adfærd. Ønsket er en metode hvor der leveres en energiberegning, foretaget for en konkret sammensætning af parametre, svarende til at en konkret familie får energirenoveret en konkret bygning.



# Metode

I forbindelse med analysen af adfærdens betydning for de opnåede besparelser, benyttes eksempelbygninger som repræsenterer typiske parcelhuse fra tre forskellige perioder; 1930'erne og 1960'erne og nybyggeri svarende til nu gældende krav (BR10). Bygningerne er i øvrigt de samme som er anvendt i forbindelse med Energistyrelsens eksempelsamling (se evt. [www.ens.dk](http://www.ens.dk)). I det følgende gives en kortfattet beskrivelse af bygningerne.

## Enfamiliehus fra 1930'erne

Huset er en typisk bungalow fra 1932 på 103 m<sup>2</sup>. Der er fuld, højt beliggende kælder i bygningen med et bruttoareal på 103 m<sup>2</sup>. Det samlede vinduesareal i stueetagen er på 16 % af etagearealet. Det samlede rudeareal i stueetagen er 12,0 m<sup>2</sup>.



Figur 1. Parcelhus fra 30'erne.



Figur 2. Parcelhus fra 30'erne, plantegning.

Etageadskillelsen mod kælderen er lavet som et uisoleret træbjælkelag med lerindskud. U-værdien for konstruktionen er 1,02 W/m<sup>2</sup>K.

Ydervæggen er en uisoleret hulmur med faste udmuringer omkring vinduer og døre. Radiatorerne i opholdsrummene er placeret i nicher under vinduer-

ne. Hulmuren har en U-værdi på 1,45 W/m<sup>2</sup>K. Ved de faste udmuringer er U-værdien 1,59 W/m<sup>2</sup>K og ved radiatornicher er den 2,56 W/m<sup>2</sup>K.

Loftet består af bjælkelag med brædder, bjælker og pudset underside og som udgangspunkt er der 50 mm isolering i loftet. U-værdien for loftet er 0,55 W/m<sup>2</sup>K.

Huset har fået nye vinduer i 60'erne med 2-lags termoruder. Vinduerne har dermed 2-lags termoruder og rudens U-værdi er 2,70 W/m<sup>2</sup>K og den har en solenergitransmittans på 0,75.

Kælderydervæggene er beton mod jord og kældergulvet er af beton uden isolering under. Kælderydervæggene har en U-værdi på 1,24 W/m<sup>2</sup>K og kældergulvet har en U-værdi på 0,40 W/m<sup>2</sup>K.

Der er naturlig ventilation i huset og som udgangspunkt kan bygningen kategoriseres som utæt, hvilket betyder at det samlede luftskifte i huset er sat til 0,45 l/s pr. m<sup>2</sup>.

Huset har et gammelt oliefyringsanlæg i kælderen med et 2-strengs radiatoranlæg. Alle varmerør er isoleret med 10 mm isolering. Varmtvandsbeholderen er på 200 liter med 30 mm isolering (gammel).

Bygningen har som udgangspunkt et energibehov på 417,3 kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

### Energireoveringspakke 1

I tabellen nedenfor er vist en oversigt for de energibesparende tiltag som gennemføres i energireoveringspakke 1 for parcelhuset fra 30'erne. I tabellen er ligeledes angivet energibesparelsen som opnås ved hvert step.

Tabel 1. Parcelhus fra 30'erne energireoveringspakke 1.

Tiltag	Energibehov kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Samlet reduktion kWh/m <sup>2</sup> pr. år
Udgangspunkt:	417,3	0,0
1. Etageadskillelse	390,4	26,9
2. Loft	341,8	75,5
3. Ydervæg, udvendig	211,2	206,1
4. Vinduer A	185,6	231,7
5. Fjernvarme	143,8	273,5

Ad 1. 70 mm lerindskud erstattes med 75 mm isolering

Ad 2. Ny 300 mm isolering

Ad 3. 150 mm udvendig isolering samt udvendigt pudslag

Ad 4. Vinduer udskiftes med A-mærkede

Ad 5. Tilslutning til fjernvarme

### Energireoveringspakke 2

Nedenfor er vist en oversigt for de energibesparende tiltag som gennemføres i energireoveringspakke 2 for parcelhuset fra 30'erne.

Tabel 2. Parcelhus fra 30'erne energireoveringspakke 2.

Tiltag	Energibehov kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Samlet reduktion kWh/m <sup>2</sup> pr. år
Udgangspunkt:	417,3	0,0
1. Etageadskillelse	390,4	26,9
2. Loft	341,8	75,5
3. Ydervæg, udvendig	211,2	206,1

4. Vinduer C	192,9	224,4
5. Tæthed	172,4	244,9
6. Mekanisk ventilation	164,6	252,7
7. Fjernvarme	126,6	290,7

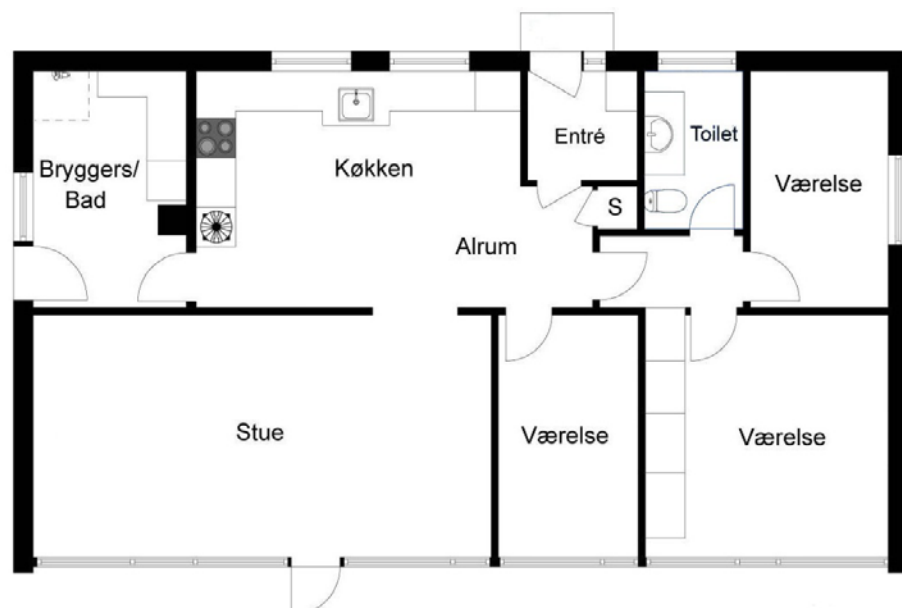
- Ad 1. 70 mm lerindskud erstattes med 75 mm isolering
- Ad 2. Ny 300 mm isolering
- Ad 3. 150 mm udvendig isolering samt udvendigt pudslag
- Ad 4. Vinduer udskiftes med C-mærkede
- Ad 5. Luftskiftet reduceres fra 0,45 l/s pr. m<sup>2</sup> til 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup>
- Ad 6. Effektivitet af VGV 80 % og SEL-værdi 1,0
- Ad 7. Tilslutning til fjernvarme

## Enfamiliehus fra 1960'erne

Huset er på 108 m<sup>2</sup> og består af stue, køkken/alrum, bryggers/bad, entré, toilet og 3 værelser. Det samlede vinduesareal er på 22 % af etagearealet. Det samlede glasareal er 19,9 m<sup>2</sup>.



Figur 3. Parcelhus fra 60'erne.



Figur 4. Parcelhus fra 60'erne, plantegning.

Størstedelen af ydervæggen er 300 mm hulmur isoleret med 75 mm batts i hulrum og 10 mm puds. U-værdien for hulumuren er 0,46 W/m<sup>2</sup>K. Omkring vinduer og døre er der udmuret hvilket medfører en U-værdi i disse områder på 1,59 W/m<sup>2</sup>K. Mod haven er ydervæggen en let konstruktion baseret på en stolpevæg med udvendig bræddebeklædning, indvendig forskalling og puds og et hulrum isoleret med 70 mm isolering. Denne del af ydervæggen har en U-værdi på 0,49 W/m<sup>2</sup>K.

Loftet består af bjælkelag med spredt forskalling og gipsplader indvendigt. Loftet har en U-værdi på 0,39 W/m<sup>2</sup>K, som normalt kan opnås med 100 mm isolering.

Vinduer er med traditionelle 2-lags termoruder. Rudens U-værdi er 2,70 W/m<sup>2</sup>K og den har en solenergitransmittans på 0,75.

De indvendige skillevægge er ½-stens mur med puds.

Terrændækket består af 22 mm gulvbrædder på strøer med 50 mm isolering, 100 mm beton udstøbt på 200 mm balastgrus. Terrændækket har en U-værdi på 0,30 W/m<sup>2</sup>K.

Samlingen mellem vinduer/døre og hulmur har ingen kuldebroafbrydelse og linjetabskoefficienten er 0,11 W/mK. Samlingen mellem vinduer/døre og let facade har en linjetabskoefficient på 0,03 W/mK.

Fundamenterne er i beton. Ved den tunge ydervæg har fundamentet en linjetabskoefficient på 0,66 W/mK og ved den lette ydervæg 0,44 W/mK.

Der er naturlig ventilation i huset og som udgangspunkt kan bygningen kategoriseres som utæt med væsentligt ekstra luftskifte, dvs.  $q_n = 0,45$  l/s pr. m<sup>2</sup>.

Varmefordelingsanlægget er et 2-strengs radiatoranlæg med en fremløbstemperatur på 80 °C og returløbstemperatur på 60 °C. Varmeanlægget er en gammel oliefyret kedelunit placeret i bryggerset. Alle varmerør er isoleret med 30 mm isolering. Varmt vand produceres i en 200 liter varmtvandskappebeholder med 30 mm isolering.

Bygningen har som udgangspunkt et energibehov på 239,9 kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

### Energireoveringspakke 1

I tabellen nedenfor er vist en oversigt for de energibesparende tiltag som gennemføres i energireoveringspakke 1 for parcelhuset fra 60'erne. I tabellen er ligeledes angivet energibesparelsen som opnås ved hvert step.

Tabel 3. Parcelhus fra 60'erne energireoveringspakke 1.

Tiltag	Energibehov kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Samlet reduktion kWh/m <sup>2</sup> pr. år
Udgangspunkt:	239,9	0,0
1. Ydervæg udvendig	208,7	31,2
2. Loft	178,5	61,4
3. Vinduer A	137,2	102,7
4. Tæthed	117,4	122,5
5. Mek. Vent. M. VGV	104,4	135,5
6. Jordvarmepumpe	78,5	161,4

Ad 1. 160 mm udvendig isolering samt udvendigt pudslag for den tunge ydervæg og 125 mm isolering og ny beklædning på den lette ydervæg

Ad 2. 200 mm isolering tilføjes til de eksisterende 100 mm

- Ad 3. Vinduer udskiftes med A-mærkede
- Ad 4. Luftsiftet reduceres fra 0,45 l/s pr. m<sup>2</sup> til 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup>
- Ad 5. Effektivitet af VGV 90 % og SEL-værdi 0,8
- Ad 6. Jordvarmepumpe

## Energireoveringspakke 2

Nedenfor er vist en oversigt for de energibesparende tiltag som gennemføres i energireoveringspakke 2 for parcelhuset fra 60'erne.

Tabel 4. Parcelhus fra 60'erne energireoveringspakke 2.

Tiltag	Energibehov kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Samlet reduktion kWh/m <sup>2</sup> pr. år
Udgangspunkt:	239,9	0,0
1. Ydervæg udvendig	208,7	31,2
2. Loft	178,5	61,4
3. Vinduer A	137,2	102,7
4. Tæthed	117,4	122,5
5. Fjernvarme	97,7	142,2

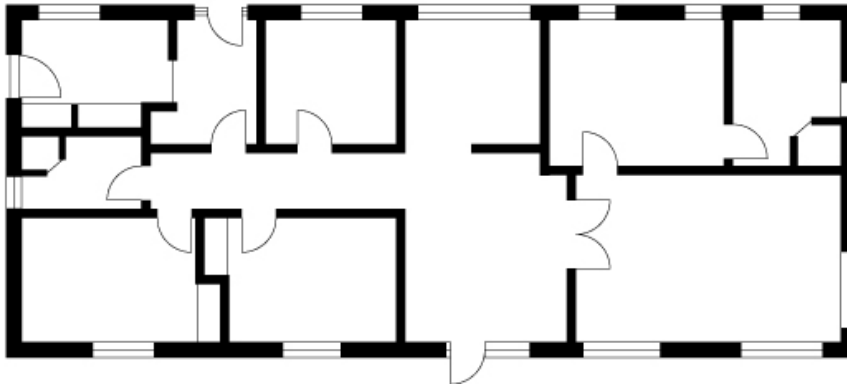
- Ad 1. 160 mm udvendig isolering samt udvendigt pudslag for den tunge ydervæg og 125 mm isolering og ny beklædning på den lette ydervæg
- Ad 2. 200 mm isolering tilføjes til de eksisterende 100 mm
- Ad 3. Vinduer udskiftes med A-mærkede
- Ad 4. Luftsiftet reduceres fra 0,45 l/s pr. m<sup>2</sup> til 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup>
- Ad 5. Tilslutning til fjernvarme

## Enfamiliehus nybyggeri

Huset er på 150 m<sup>2</sup> og består af stue, køkken/alrum, 4 værelser, bryggers og 2 baderum. Det samlede vinduesareal er på 22 % af etagearealet.



Figur 5. Parcelhus nybyggeri.



Figur 6. Parcelhus nybyggeri, plantegning.

Ydervæggen er 400 mm mur med tegl udvendigt og letbeton indvendigt. Væggen er isoleret med 190 mm isolering med en U-værdi på  $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Omkring vinduer og døre er der 10 mm kuldebroafbrydelse mellem for- og bagmur, som giver en U-værdi på  $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Loftet har en U-værdi på  $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , som normalt kan opnås med 350 mm isolering.

Vinduer har energimærke C. Større glasfelter er opdelt med vandret og lodret post. Vinduerne har en gennemsnitlig U-værdi på  $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  og solenergitransmittans på 0,62.

Skillevægge er i letbeton.

Terrændækket har en U-værdi på  $0,13 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  svarende til 220 mm isolering udlagt på kapillarbrydende lag, alternativt 500 mm letklinker eller kombination af disse.

Ydervæggsfundamenter er med 2 skifter letklinkerblokke med isoleret kerne på ca. 100 mm og et linjetab på  $0,13 \text{ W/m} \text{ K}$ .

Der er mekanisk ventilation med varmegenvinding i bygningen, med indblæsning i beboelsesrummene og udsugning fra køkken og bad samt almindelig emhætte i køkken.

Der er gulvvarme i alle rum. For at begrænse varmetilførsel til rum, der ikke altid har behov for varme, er fordelingsrør til varme og varmt vand trukket øverst i isoleringslaget under betonen i terrændækket.

Cirkulationspumpen er en A-pumpe. Rør, armaturer, ventiler og pumper er isoleret efter kravene i DS 452.

Varmeforsyningen er naturgas. Naturgasfyret er kondenserende med 96 % virkningsgrad ved fuldlast og 105 % ved 30 % dellast i henhold til CE-mærkningen.

Bygningen har som udgangspunkt et energibehov på  $62,4 \text{ kWh/m}^2$  pr. år.

# Vurdering af adfærdens betydning for energiforbruget

I dette afsnit gennemføres analyser af hvordan brugernes adfærd kan påvirke energiforbruget i bygningerne, og derigennem hvordan de forventede besparelspotentialer påvirkes. De enkelte parametre vurderes i første omgang enkeltvis og derefter foretages en vurdering af hvordan parametrene samlet kan påvirke energiforbruget.

Alle beregninger i analysen er foretaget med beregningsprogrammet Be10 (version 6.12.6.23) (Aggerholm og Grau, 2011). Be10 vil typisk være det program som anvendes til at beregne forventede energibesparelser i forbindelse med energirenovering, idet programkernen ligger til grund for energimærkningsprogrammerne.

## Parametervariationer

Der gennemføres en række parameteranalyser for at fastlægge betydningen af forskellige parametre relateret til brugeradfærden i forhold til deres indflydelse på energiforbruget i bygningerne. Følgende parametre analyseres:

1. Indetemperaturen
2. Internt varmetilskud
3. Varmt brugsvand
4. Luftsifte

Parametrene er alle relaterede til antallet af brugere i bygningen eller deres adfærd. I forbindelse med den efterfølgende gennemgang af hver enkelt parameter er givet en kort beskrivelse af hvordan parameteren påvirker bygningens energiforbrug.

### Indetemperaturen

Indetemperaturen spiller en væsentlig rolle for bygningens energiforbrug, idet der er en lineær sammenhæng mellem indetemperaturen og bygningens varme- og ventilationstab. Den gennemsnitlige udetemperatur i fyringssæsonen i Danmark er ca. 4 °C og som udgangspunkt beregnes varmetab fra bygninger ved en indetemperatur på 20 °C, dvs. at den gennemsnitlige temperaturforskel er ca. 16 °C. Hvis indetemperaturen er f.eks. 1 °C højere end antaget, vil varmetabet derfor stige med ca. 6 %.

#### *Parcelhus 30'erne*

I nedenstående tabeller er opstillet sammenhængen mellem indetemperaturen og det samlede energiforbrug. Standardværdien er fremhævet med fed.

Tabel 5. Parcel30, før renovering. Energiforbrug som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
18	363,3	-54,0	87
19	390,3	-27,0	94
<b>20</b>	<b>417,3</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
21	444,3	27,0	106
22	471,6	54,3	113
23	499,2	81,9	120

Tabel 6. Parcel30, energirenovering 1. Energiforbrug som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
18	127,5	-16,3	89
19	135,2	-8,6	94
<b>20</b>	<b>143,8</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
21	152,7	8,9	106
22	161,3	17,5	112
23	170,1	26,3	118

Tabel 7. Parcel30, energirenovering 2. Energiforbrug som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
18	115,6	-11,0	91
19	120,6	-6,0	95
<b>20</b>	<b>126,6</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
21	134,0	7,4	106
22	142,0	15,4	112
23	150,6	24,0	119

Af tabel 5 – 7 fremgår det, at det samlede energiforbrug øges/reduceres med ca. 5-6 % pr. grad temperaturen afviger fra de 20 °C som er standard i energiberegninger. Dette stemmer meget godt med den forventede stigning i bygningens varme- og ventilationstab angivet tidligere (6 %).

I tilfældet hvor der ikke er gennemført energibesparende foranstaltninger, er der en tendens til at indetemperaturen relativt set betyder lidt mere for energibehovet end i de to tilfælde hvor der er gennemført energibesparende foranstaltninger, men der er tale om meget små afvigelser.

Hvis man beregner de forventede energibesparelser for de to energirenoveringspakker som funktion af indetemperaturen, fås følgende:

Tabel 8. Parcel30. Energibesparelse som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Pakke 1 [kWh]	Pakke 2 [kWh]
18	235,8	247,7
19	255,1	269,7
<b>20</b>	<b>273,5</b>	<b>290,7</b>
21	291,6	310,3
22	310,3	329,6
23	329,1	348,6

Tabellen viser at energibesparelsen i meget høj grad er afhængig af indetemperaturen, og desto højere indetemperaturen er, desto højere energibesparelse opnås der (givet at temperaturen er den samme før/efter renoveringen). Hvis indetemperaturen er 18 °C falder energibesparelsen med ca. 15 %, og hvis den er 22 °C stiger energibesparelsen tilsvarende.

#### *Parcelhus 60'erne*

I nedenstående tabeller er på samme måde som for parcelhuset fra 30'erne opstillet sammenhæng mellem indetemperatur og energiforbrug. Standardværdien er igen fremhævet med fed.



Tabel 9. Parcel60, før renovering. Energiforbrug som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
18	203,6	-36,3	85
19	221,6	-18,3	92
<b>20</b>	<b>239,9</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
21	258,5	18,6	108
22	277,5	37,6	116
23	296,8	56,9	124

Tabel 10. Parcel60, energirenovering 1. Energiforbrug som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
18	66,6	-11,9	85
19	72,4	-6,1	92
<b>20</b>	<b>78,5</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
21	85,1	6,6	108
22	92,0	13,5	117
23	99,1	20,6	126

Tabel 11. Parcel60, energirenovering 2. Energiforbrug som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
18	82,8	-14,9	85
19	90,1	-7,6	92
<b>20</b>	<b>97,7</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
21	105,4	7,7	108
22	113,3	15,6	116
23	121,1	23,4	124

Af tabel 9 – 11 fremgår det, at det samlede energiforbrug øges/reduceres med ca. 8 % pr. grad temperaturen afviger fra de 20 °C. I parcelhuset fra 60'erne betyder indetemperaturen altså relativt set lidt mere end i parcelhuset fra 30'erne.

De forventede energibesparelser som funktion af indetemperaturen, bliver:

Tabel 12. Parcel60. Energibesparelse som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Pakke 1	Pakke 2
	[kWh]	[kWh]
18	137,0	120,8
19	149,2	131,5
<b>20</b>	<b>161,4</b>	<b>142,2</b>
21	173,4	153,1
22	185,5	164,2
23	197,7	175,7

Igen ses det at den forventede energibesparelse er meget afhængig af indetemperaturen, og energibesparelsen falder/stiger med ca. 15 % hvis indetemperaturen afviger 2 °C fra udgangspunktet på 20 °C.

#### *Parcelhus BR10*

I nedenstående tabel er opstillet sammenhængen mellem indetemperaturen og det samlede energiforbrug. Standardværdien er fremhævet med fed.

Tabel 13. ParcelBR10. Energiforbrug som funktion af indetemperaturen.

Indetemperatur [°C]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
18	53,6	-8,8	86
19	57,7	-4,7	92
<b>20</b>	<b>62,4</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
21	67,3	4,9	108
22	72,2	9,8	116
23	77,3	14,9	124

Af tabel 13 fremgår det, at det samlede energiforbrug øges/reduceres med ca. 8 % pr. grad temperaturen afviger fra de 20 °C. I parcelhuset som opfylder BR10 betyder afvigelser i indetemperaturen altså nogenlunde det samme som i parcelhuset fra 60'erne.

Hvis man betragter samtlige situationer analyseret ovenfor, er det tydeligt at der er meget lille forskel på hvordan indetemperaturen påvirker det samlede energibehov i bygningerne. Gennemsnitligt betyder én grads forskel i indetemperaturen ca. 7 % forskel på energibehovet. Dette medfører, at hvis indetemperaturen fastholdes (før/efter en energirenovering), så vil den forventede relative besparelse ved at gennemføre energibesparende tiltag være den samme.

#### Relative besparelser

Det er imidlertid ofte sådan, at indetemperaturen i en bygning stiger efter en energirenovering. Inden energirenoveringen har det måske været vanskeligt for beboerne at opnå den reelt ønskede komforttemperatur og derfor øges temperaturen efter renoveringen når denne mulighed er til stede. I følgende tabel er sammenfattet hvordan indetemperaturen før og efter en energirenovering vil påvirke den forventede energibesparelse.

Tabel 14. Parcel30, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af temperatur før/efter energirenovering af bygningen.

		Indetemperatur efter [°C]					
		18	19	20	21	22	23
Indetemperatur før [°C]	18	<b>100,0</b>	96,7	93,1	89,3	85,7	81,9
	19	103,0	<b>100,0</b>	96,6	93,1	89,8	86,3
	20	106,0	103,1	<b>100,0</b>	96,7	93,6	90,4
	21	108,6	106,0	103,1	<b>100,0</b>	97,1	94,0
	22	110,9	108,4	105,6	102,8	<b>100,0</b>	97,2
	23	112,9	110,6	108,0	105,3	102,7	<b>100,0</b>

#### Eksempel:

Hvis f.eks. indetemperaturen er 20 °C inden energirenoveringen (eller temperaturen er ukendt er derfor antages at være 20 °C) og 22 °C efter, så vil den reelle energibesparelse være 93,6 % af det forventede.

De tilsvarende tabeller for hhv. "energirenovering 2" for 30'er parcelhuset samt begge energirenoveringspakker for 60'er parcelhuset er vist nedenfor.

Tabel 15. Parcel30, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af temperatur før/efter energirenovering af bygningen.

		Indetemperatur efter [°C]					
		18	19	20	21	22	23
Indetemperatur før [°C]	18	<b>100,0</b>	98,0	95,6	92,6	89,3	85,9
	19	101,9	<b>100,0</b>	97,8	95,0	92,1	88,9
	20	103,8	102,1	<b>100,0</b>	97,5	94,7	91,7
	21	105,9	104,3	102,4	<b>100,0</b>	97,4	94,7
	22	108,0	106,5	104,7	102,4	<b>100,0</b>	97,4
	23	110,0	108,6	106,9	104,8	102,5	<b>100,0</b>

Tabel 16. Parcel60, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af temperatur før/efter energirenovering af bygningen.

		Indetemperatur efter [°C]					
		18	19	20	21	22	23
Indetemperatur før [°C]	18	<b>100,0</b>	95,8	91,3	86,5	81,5	76,3
	19	103,9	<b>100,0</b>	95,9	91,5	86,9	82,1
	20	107,4	103,8	<b>100,0</b>	95,9	91,6	87,2
	21	110,7	107,3	103,8	<b>100,0</b>	96,0	91,9
	22	113,7	110,6	107,3	103,7	<b>100,0</b>	96,2
	23	116,4	113,5	110,4	107,1	103,6	<b>100,0</b>

Tabel 17. Parcel60, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af temperatur før/efter energirenovering af bygningen.

		Indetemperatur efter [°C]					
		18	19	20	21	22	23
Indetemperatur før [°C]	18	<b>100,0</b>	94,0	87,7	81,3	74,8	68,3
	19	105,6	<b>100,0</b>	94,2	88,4	82,4	76,4
	20	110,5	105,3	<b>100,0</b>	94,6	89,0	83,5
	21	114,8	110,0	105,0	<b>100,0</b>	94,8	89,7
	22	118,6	114,1	109,5	104,8	<b>100,0</b>	95,2
	23	121,8	117,6	113,3	108,9	104,4	<b>100,0</b>

Betragtes tabel 15 – 17 er det tydeligt, at de relative energibesparelser for parcelhuset fra 60'erne bliver lavere end tilsvarende for parcelhuset fra 30'erne, hvis indetemperaturen stiger i forbindelse med en energirenovering. F.eks. reduceres den forventede energibesparelse med 8 – 12 % hvis indetemperaturen er 2 grader højere i 60'er huset mens den kun reduceres med 4 – 7 % for 30'er huset.

### Internt varmetilskud

Antallet af beboere i bygningen påvirker det interne varmetilskud, dels pga. den varme personerne i sig selv afgiver og dels via det varmetilskud der kommer fra apparater mv. som beboerne benytter. Ved beregning af boligens energiforbrug anvendes normalt 1,5 W/m<sup>2</sup> for personer og 3,5 W/m<sup>2</sup> for apparatur mv., dvs. totalt 5 W/m<sup>2</sup>. Hvis det interne varmetilskud er lavere end 5 W/m<sup>2</sup>, f.eks. fordi der er færre personer i husholdningen, de er mindre til stede end antaget eller hvis apparaterne i bygningen afgiver mindre varme end antaget, så vil den tilsvarende varmemængde (i fyringszonen) skulle leveres via varmeanlægget i stedet.

En reduktion af det interne varmetilskud på 1 W/m<sup>2</sup> svarer for et hus på 150 m<sup>2</sup> til 150 W, hvilket over et år bliver til ca. 828 kWh, eller ca. 5,5 kWh/m<sup>2</sup> uafhængigt af bygningens samlede energiforbrug. Afvigelser i det interne varmetilskud vil dermed have en relativt større indflydelse i bygninger med lavt energiforbrug, og derfor er parameteren af større betydning i nybyggeri eller i byggeri som energirenoveres.

I analyserne varieres det interne varmetilskud fra 2 W/m<sup>2</sup> til 7 W/m<sup>2</sup>, og der anvendes en fordelingsnøgle som vist i tabellen nedenfor. Fordelingen har ingen indflydelse på resultaterne så længe der ikke er installeret el-producerende enheder som f.eks. solceller eller vindmøller.

Tabel 18. Fordelingsnøgle for internt varmetilskud

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Personer [W/m <sup>2</sup> ]	Apparatur [W/m <sup>2</sup> ]
2,0	0,6	1,4
3,0	0,9	2,1
4,0	1,2	2,8
5,0	1,5	3,5
6,0	1,8	4,2
7,0	2,1	4,9

### Parcelhus 30'erne

Nedenfor er opstillet sammenhængen mellem det interne varmetilskud og det samlede energiforbrug. Standardværdien er fremhævet med fed.

Tabel 19. Parcel30, før renovering. Energiforbrug som funktion af internt varmetilskud.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
2,0	439,3	22,0	105
3,0	431,9	14,6	103
4,0	424,6	7,3	102
<b>5,0</b>	<b>417,3</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6,0	410,0	-7,3	98
7,0	402,9	-14,4	97

Tabel 20. Parcel30, energirenovering 1. Energiforbrug som funktion af internt varmetilskud.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
2,0	162,6	18,8	113
3,0	156,3	12,5	109
4,0	150,1	6,3	104
<b>5,0</b>	<b>143,8</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6,0	137,7	-6,1	96
7,0	132,1	-11,7	92

Tabel 21. Parcel30, energirenovering 2. Energiforbrug som funktion af internt varmetilskud.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
2,0	145,0	18,4	115
3,0	138,7	12,1	110
4,0	132,4	5,8	105
<b>5,0</b>	<b>126,6</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6,0	121,3	-5,3	96
7,0	116,2	-10,4	92

Af tabellerne er det tydeligt, at desto lavere energiforbrug bygningen har, desto større betydning har afvigelser i det interne varmetilskud.

Tabel 22. Parcel30. Energibesparelse som funktion af internt varmetilskud.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energibesparelse,	
	Pakke 1 [kWh]	Pakke 2 [kWh]
2,0	276,7	294,3
3,0	275,6	293,2
4,0	274,5	292,2
<b>5,0</b>	<b>273,5</b>	<b>290,7</b>
6,0	272,3	288,7
7,0	270,8	286,7

Tabel 22 viser imidlertid, at den forventede energibesparelse kun i meget lille omfang er afhængig af det interne varmetilskud. Hvis det interne varmetilskud er det samme før/efter en energirenovering, er den forventede energibesparelse altså kun meget lidt afhængig af niveauet.

#### Parcelhus 60'erne

Nedenfor er opstillet sammenhængen mellem det interne varmetilskud og det samlede energiforbrug. Standardværdien er fremhævet med fed.

Tabel 23. Parcel60, før renovering. Energiforbrug som funktion af internt varmetilskud.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
2,0	261,0	21,1	109
3,0	253,8	13,9	106
4,0	246,8	6,9	103
<b>5,0</b>	<b>239,9</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6,0	233,1	-6,8	97
7,0	226,5	-13,4	94

Tabel 24. Parcel60, energirenovering 1. Energiforbrug som funktion af internt varmetilskud. Tal markeret med rødt angiver at der forekommer overtemperaturer.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
2,0	92,5	14,0	118
3,0	87,7	9,2	112
4,0	83,1	4,6	106
<b>5,0</b>	<b>78,5</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6,0	74,2	-4,3	95
7,0	<b>72,9</b>	-5,6	93

Tabel 25. Parcel60, energirenovering 2. Energiforbrug som funktion af internt varmetilskud. Tal markeret med rødt angiver at der forekommer overtemperaturer.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
2,0	114,3	16,6	117
3,0	108,7	11,0	111
4,0	103,0	5,3	105
<b>5,0</b>	<b>97,7</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6,0	92,3	-5,4	94
7,0	<b>91,1</b>	-6,6	93

Igen ses det, at desto lavere energiforbrug bygningen har, desto større betydning har afvigelser i det interne varmetilskud. Energiforbruget i de to renoveringspakker er generelt lavere end tilsvarende for 30'er parcelhuset, og dermed får det interne varmetilskud også en større betydning.

Tabel 26. Parcel60. Energibesparelse som funktion af internt varmetilskud.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energibesparelse,	
	Pakke 1 [kWh]	Pakke 2 [kWh]
2,0	168,5	146,7
3,0	166,1	145,1
4,0	163,7	143,8
<b>5,0</b>	<b>161,4</b>	<b>142,2</b>
6,0	158,9	140,8
7,0	<b>153,6</b>	<b>135,4</b>

Tabel 26 viser som for 30'er parcelhuset, at den forventede energibesparelse kun i meget lille omfang er afhængig af det interne varmetilskud. Hvis det interne varmetilskud afviger med 1,0 W/m<sup>2</sup> stiger/falder energibesparelsen kun med ca. 1,5 %.

#### Parcelhus BR10

I nedenstående tabel er opstillet resultaterne for det nybyggede parcelhus.

Tabel 27. ParcelBR10. Energiforbrug som funktion af internt varmetilskud. Tal markeret med rødt angiver at der forekommer overtemperaturer.

Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
2,0	78,0	15,6	125
3,0	72,6	10,2	116
4,0	67,5	5,1	108
<b>5,0</b>	<b>62,4</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6,0	57,7	-4,7	92
7,0	<b>54,8</b>	<b>-7,6</b>	<b>88</b>

Hvis man betragter de samlede resultater, er det tydeligt at afvigelser i det interne varmetilskud har størst betydning i de energirenoverede bygninger samt bygningen opført efter gældende energikrav. Dette skyldes, at en ændring i det interne varmetilskud påvirker det samlede energibehov stort set ens uafhængigt af bygningens øvrige energimæssige forhold.

Det ses endvidere, at sammenhængen mellem det interne varmetilskud og energibehovet i bygningerne er stort set lineær, men at lineariteten brydes så snart der forekommer overtemperaturer.

#### Relative besparelser

Nedenfor er vist hvor meget en energibesparelsen påvirkes, hvis det interne varmetilskud før/efter en energirenovering varierer. Tabellerne kan også betragtes således, at man har en antagelse om det interne varmetilskud (svarende til før) og man kan så aflæse hvordan energibesparelsen vil påvirkes hvis det faktiske interne varmetilskud afviger fra den oprindelige antagelse.

Tabel 28. Parcel30, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af internt varmetilskud før/efter energirenovering af bygningen.

		Internt varmetilskud efter [W/m <sup>2</sup> ]					
		2	3	4	5	6	7
Internt varmetilskud før [W/m <sup>2</sup> ]	2	<b>100,0</b>	102,3	104,5	106,8	109,0	111,0
	3	97,7	<b>100,0</b>	102,2	104,5	106,7	108,8
	4	95,4	97,7	<b>100,0</b>	102,3	104,5	106,6
	5	93,1	95,4	97,7	<b>100,0</b>	102,2	104,3
	6	90,9	93,2	95,4	97,8	<b>100,0</b>	102,1
	7	88,7	91,1	93,4	95,7	97,9	<b>100,0</b>

Tabel 29. Parcel30, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af internt varmetilskud før/efter energirenovering af bygningen.

		Internt varmetilskud efter [W/m <sup>2</sup> ]					
		2	3	4	5	6	7
Internt varmetilskud før [W/m <sup>2</sup> ]	2	<b>100,0</b>	102,1	104,3	106,3	108,1	109,8
	3	97,9	<b>100,0</b>	102,1	104,1	105,9	107,7
	4	95,7	97,8	<b>100,0</b>	102,0	103,8	105,5
	5	93,7	95,8	98,0	<b>100,0</b>	101,8	103,6
	6	91,8	94,0	96,2	98,2	<b>100,0</b>	101,8
	7	90,0	92,2	94,3	96,4	98,2	<b>100,0</b>

Tabel 30. Parcel60, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af internt varmetilskud før/efter energirenovering af bygningen. Tal markeret med rødt angiver at der forekommer overtemperaturer.

		Internt varmetilskud efter [W/m <sup>2</sup> ]					
		2	3	4	5	6	7
Internt varmetilskud før [W/m <sup>2</sup> ]	2	<b>100,0</b>	102,8	105,6	108,3	110,9	<b>111,6</b>
	3	97,1	<b>100,0</b>	102,8	105,5	108,1	<b>108,9</b>
	4	94,3	97,2	<b>100,0</b>	102,8	105,4	<b>106,2</b>
	5	91,3	94,3	97,1	<b>100,0</b>	102,7	<b>103,5</b>
	6	88,5	91,5	94,4	97,3	<b>100,0</b>	<b>100,8</b>
	7	<b>87,2</b>	<b>90,4</b>	<b>93,4</b>	<b>96,4</b>	<b>99,2</b>	<b>100,0</b>

Tabel 31. Parcel60, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af internt varmetilskud før/efter energirenovering af bygningen. Tal markeret med rødt angiver at der forekommer overtemperaturer.

		Internt varmetilskud efter [W/m <sup>2</sup> ]					
		2	3	4	5	6	7
Internt varmetilskud før [W/m <sup>2</sup> ]	2	<b>100,0</b>	103,8	107,7	111,3	115,0	<b>115,8</b>
	3	96,1	<b>100,0</b>	103,9	107,6	111,3	<b>112,1</b>
	4	92,1	96,0	<b>100,0</b>	103,7	107,4	<b>108,3</b>
	5	88,3	92,3	96,3	<b>100,0</b>	103,8	<b>104,6</b>
	6	84,4	88,4	92,4	96,2	<b>100,0</b>	<b>100,9</b>
	7	<b>82,9</b>	<b>87,0</b>	<b>91,2</b>	<b>95,1</b>	<b>99,1</b>	<b>100,0</b>

Hvis man betragter tabellerne ovenfor, ses det at de største udsving i den relative energibesparelse forekommer for parcelhuset fra 60'erne. Dette skyldes at parcelhuset fra 60'erne for begge energirenoveringspakkers vedkommende har et væsentligt lavere energiforbrug end for parcelhuset fra 30'erne.

Sammenlignes de to energirenoveringspakker for hvert af husene, er billedet knapt så klart idet det i begge tilfælde er situationen med det højeste energiforbrug som har de største udsving i den relative energibesparelse. Dette skyldes at den ekstra reduktion i energibehovet for disse løsningers vedkommende, kommer fra effektivisering af systemer som ikke på samme måde som f.eks. klimaskærmen påvirker bygningens varmebalance.

### Forbrug af varmt brugsvand

Forbruget af varmt brugsvand er i høj grad afhængigt af antallet af beboere, men også individuelle forskelle i forbrugsmønstre kan have stor betydning for hvor stor en andel af det samlede energiforbrug det andrager.

Forbruget af varmt brugsvand er beregningsmæssigt uafhængigt af bygningens øvrige energiforbrug, mens det i praksis vil kunne spille en mindre rolle i forbindelse med varmetab fra rør mv. Udgangspunktet for energiberegninger er et forbrug af varmt brugsvand på 250 l/m<sup>2</sup> pr. år for boliger, dvs. f.eks. 37,5 m<sup>3</sup> for et hus på 150 m<sup>2</sup>.

Det samlede energiforbrug til opvarmning og fordeling af varmt brugsvand afhænger af varmtvandsystemets udformning, men alene energiforbruget til at opvarme vandet fra 10 °C til 55 °C kræver ca. 13 kWh/m<sup>2</sup> pr. år (under forudsætning af et forbrug på 250 l/m<sup>2</sup> pr. år), og denne værdi er altså uafhængig af bygningens øvrige energimæssige forhold. Dette medfører at desto lavere energiforbruget er i bygningen desto større relativ betydning har forbruget af varmt brugsvand, således at energiforbruget hertil har væsentlig større betydning i nye huse eller dybt energirenoverede huse.

#### Parcelhus 30'erne

I nedenstående tabeller er opstillet sammenhængen mellem forbruget af varmt brugsvand og det samlede energiforbrug.

Tabel 32. Parcel30, før renovering. Energiforbrug som funktion af varmt brugsvandsforbrug.

Varmt brugsvand [l/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
150	412,5	-4,8	99
200	414,9	-2,4	99
<b>250</b>	<b>417,3</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
300	419,7	2,4	101
350	422,1	4,8	101
400	424,5	7,2	102

Tabel 33. Parcel30, energirenovering 1. Energiforbrug som funktion af varmt brugsvandsforbrug.

Varmt brugsvand [l/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
150	138,6	-5,2	96
200	141,2	-2,6	98
<b>250</b>	<b>143,8</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
300	146,4	2,6	102
350	149,1	5,3	104
400	151,8	8,0	106

Tabel 34. Parcel30, energirenovering 2. Energiforbrug som funktion af varmt brugsvandsforbrug.

Varmt brugsvand [l/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
150	121,4	-5,2	96
200	124,0	-2,6	98
<b>250</b>	<b>126,6</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
300	129,2	2,6	102
350	131,9	5,3	104
400	134,5	7,9	106

Tabellerne viser, at ændringer i forbruget af varmt brugsvand kun i beskedent omfang påvirker det samlede energiforbrug, men at betydningen er størst i de energirenoverede bygninger.

Tabel 35. Parcel30. Energibesparelse som funktion af varmtvandsforbrug.

Internt varmetilskud [l/m <sup>2</sup> pr. år]	Energibesparelse,	
	Pakke 1 [kWh]	Pakke 2 [kWh]
150	273,9	291,1
200	273,7	290,9
<b>250</b>	<b>273,5</b>	<b>290,7</b>
300	273,3	290,5
350	273,0	290,2
400	272,7	290,0



Tabel 35 viser, at den energibesparelse som opnås kun i meget lille omfang er afhængig af varmtvandsforbruget, hvis dette fastholdes efter energireno-  
veringen.

#### Parcelhus 60'erne

I nedenstående tabeller er opstillet sammenhængen mellem forbruget af varmt brugsvand og det samlede energiforbrug.

Tabel 36. Parcel60, før renovering. Energiforbrug som funktion af varmt brugsvandsforbrug.

Varmt brugsvand [l/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
150	235,0	-4,9	98
200	237,4	-2,5	99
<b>250</b>	<b>239,9</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
300	242,3	2,4	101
350	244,8	4,9	102
400	247,3	7,4	103

Tabel 37. Parcel60, energirenovering 1. Energiforbrug som funktion af varmt brugsvandsforbrug.

Varmt brugsvand [l/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
150	74,5	-4,0	95
200	76,5	-2,0	97
<b>250</b>	<b>78,5</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
300	80,6	2,1	103
350	82,6	4,1	105
400	84,7	6,2	108

Tabel 38. Parcel60, energirenovering 2. Energiforbrug som funktion af varmt brugsvandsforbrug.

Varmt brugsvand [l/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
150	92,4	-5,3	95
200	95,0	-2,7	97
<b>250</b>	<b>97,7</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
300	100,3	2,6	103
350	102,9	5,2	105
400	105,5	7,8	108

Tabellerne viser som tidligere, at ændringer i forbruget af varmt brugsvand kun i beskedent omfang påvirker det samlede energiforbrug, men den relative betydning i parcelhuset fra 60'erne er en anelse højere end i parcelhuset fra 30'erne.

Tabel 39. Parcel60. Energibesparelse som funktion af varmtvandsforbrug.

Internt varmetilskud [l/m <sup>2</sup> pr. år]	Energibesparelse,	
	Pakke 1 [kWh]	Pakke 2 [kWh]
150	160,5	142,6
200	160,9	142,4
<b>250</b>	<b>161,4</b>	<b>142,2</b>
300	161,7	142,0
350	162,2	141,9
400	162,6	141,8

Tabellen viser samme billede som tidligere, at energibesparelsen som opnås kun i meget lille omfang er afhængig af varmtvandsforbruget.

## Parcelhus BR10

I nedenstående tabel er opstillet sammenhængen mellem forbruget af varmt brugsvand og det samlede energiforbrug.

Tabel 40. ParcelBR10. Energiforbrug som funktion af varmt brugsvandsforbrug.

Varmt brugsvand [l/m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi	
		[kWh]	[%]
150	57,1	-5,3	92
200	59,8	-2,6	96
<b>250</b>	<b>62,4</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
300	65,0	2,6	104
350	67,7	5,3	108
400	70,3	7,9	113

Betragtes resultaterne i ovenstående tabeller, ses tydeligt før omtalte forhold vedrørende den relative betydning af energiforbruget til varmt brugsvand, dvs. at betydningen stiger desto lavere det samlede energiforbrug er.

### Relative besparelser

I de følgende tabeller er vist hvorledes en forventet energibesparelse påvirkes, hvis forbruget af varmt brugsvand ændres fra før til efter renoveringen, eller hvis antagelsen (før) vedrørende forbruget er forkert.

Tabel 41. Parcel30, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af varmt brugsvand før/efter energirenovering af bygningen

		Varmt brugsvand efter [l/m <sup>2</sup> ]					
		150	200	250	300	350	400
Varmt brugsvand før [l/m <sup>2</sup> ]	150	<b>100,0</b>	99,1	98,1	97,2	96,2	95,2
	200	100,9	<b>100,0</b>	99,1	98,1	97,1	96,1
	250	101,9	101,0	<b>100,0</b>	99,0	98,1	97,1
	300	102,9	101,9	101,0	<b>100,0</b>	99,0	98,0
	350	103,8	102,9	101,9	101,0	<b>100,0</b>	99,0
	400	104,8	103,9	102,9	102,0	101,0	<b>100,0</b>

Tabel 42. Parcel30, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af varmt brugsvand før/efter energirenovering af bygningen.

		Varmt brugsvand efter [l/m <sup>2</sup> ]					
		150	200	250	300	350	400
Varmt brugsvand før [l/m <sup>2</sup> ]	150	<b>100,0</b>	99,1	98,2	97,3	96,4	95,5
	200	100,9	<b>100,0</b>	99,1	98,2	97,3	96,4
	250	101,8	100,9	<b>100,0</b>	99,1	98,2	97,3
	300	102,7	101,8	100,9	<b>100,0</b>	99,1	98,2
	350	103,6	102,7	101,8	100,9	<b>100,0</b>	99,1
	400	104,5	103,6	102,7	101,8	100,9	<b>100,0</b>

Tabel 43. Parcel60, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af varmt brugsvand før/efter energirenovering af bygningen.

		Varmt brugsvand efter [l/m <sup>2</sup> ]					
		150	200	250	300	350	400
Varmt brugsvand før [l/m <sup>2</sup> ]	150	<b>100,0</b>	98,8	97,5	96,2	95,0	93,6
	200	101,2	<b>100,0</b>	98,8	97,5	96,2	94,9
	250	102,5	101,2	<b>100,0</b>	98,7	97,5	96,2
	300	103,8	102,5	101,3	<b>100,0</b>	98,8	97,5
	350	105,0	103,8	102,5	101,2	<b>100,0</b>	98,7
	400	106,3	105,0	103,8	102,5	101,3	<b>100,0</b>

Tabel 44. Parcel60, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af varmt brugsvand før/efter energirenovering af bygningen.

		Varmt brugsvand efter [l/m <sup>2</sup> ]					
		150	200	250	300	350	400
Varmt brugsvand før [l/m <sup>2</sup> ]	150	<b>100,0</b>	98,2	96,3	94,5	92,6	90,8
	200	101,8	<b>100,0</b>	98,1	96,3	94,5	92,6
	250	103,7	101,9	<b>100,0</b>	98,2	96,3	94,5
	300	105,6	103,7	101,8	<b>100,0</b>	98,2	96,3
	350	107,4	105,6	103,7	101,8	<b>100,0</b>	98,2
	400	109,2	107,4	105,5	103,7	101,8	<b>100,0</b>

Tabellerne 41 – 44 viser, at den relative energibesparelse påvirkes relativt lidt af en forskel mellem varmtvandsforbruget før/efter en energirenovering, og i de fleste tilfælde er der tale om få %. Hvis f.eks. det antages at forbruget er 250 l/m<sup>2</sup> pr. år, men forbruget reelt er 350 l/m<sup>2</sup> pr. år, så opnås mellem 96,2 – 98,2 % af den forventede energibesparelse.

## Luftskiftet i bygningen

### Parcelhus 30'erne

I nedenstående tabeller er opstillet sammenhængen mellem luftskiftet og det samlede energiforbrug.

Tabel 45. Parcel30, energirenovering 1. Energiforbrug som funktion af luftskifte (naturlig ventilation).

Naturlig ventilation [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
0,30	126,3	-17,5	88
0,35	132,0	-11,8	92
0,40	137,9	-5,9	96
<b>0,45</b>	<b>143,8</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>

Tabel 46. Parcel30, energirenovering 2. Energiforbrug som funktion af luftskifte (infiltration).

Infiltration [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	[%]
<b>0,13</b>	<b>126,6</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
0,19	133,4	6,8	105
0,25	140,4	13,8	111
0,31	147,5	20,9	117

Tabellerne viser at luftskiftet har en stor betydning for energiforbruget i bygningerne. I tilfældet med naturlig ventilation (reoveringspakke 1) falder energiforbruget med ca. 4 % for hver 0,05 l/s pr. m<sup>2</sup> luftskiftet falder, og i tilfældet med mekanisk ventilation (reoveringspakke 2) stiger energiforbruget med ca. 5 % for hver 0,06 l/s pr. m<sup>2</sup> infiltrationen stiger med.

Tabel 47. Parcel30. Energibesparelse som funktion af luftskifte.

Naturlig ventilation/ Infiltration [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Energibesparelse, Pakke 1 [kWh]	Energibesparelse, Pakke 2 [kWh]
0,30/ <b>0,13</b>	291,0	<b>290,7</b>
0,35/0,19	285,3	283,9
0,40/0,25	279,4	276,9
<b>0,45/0,31</b>	<b>273,5</b>	269,8

Tabel 47 viser også, at der er stor afhængighed mellem luftskifte og energibesparelse, og desuden at desto lavere luftskiftet er desto større energibesparelser kan der opnås.

### Parcelhus 60'erne

I nedenstående tabeller er opstillet sammenhængen mellem luftskiftet og det samlede energiforbrug.

Tabel 48. Parcel60, energireovering 1. Energiforbrug som funktion af luftskifte (infiltration).

Infiltration [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
<b>0,13</b>	<b>78,5</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
0,19	84,4	5,9	108
0,25	90,4	11,9	115
0,31	96,3	17,8	123

Tabel 49. Parcel60, energireovering 2. Energiforbrug som funktion af luftskifte (naturlig ventilation).

Naturlig ventilation [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
<b>0,30</b>	<b>97,7</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
0,35	103,2	5,5	106
0,40	108,8	11,1	111
0,45	114,5	16,8	117

Tabellerne viser samme tendens som for parcelhuset fra 30'erne, dog er det tydeligt at betydningen af luftskiftet er større for parcelhuset fra 60'erne. Dette skyldes at ventilationstabet er stort set uafhængigt af bygningens øvrige energimæssige forhold, og dermed bliver indflydelsen relativt set større når der er tale om bygninger med et lavt energiforbrug.

Tabel 50. Parcel60. Energibesparelse som funktion af luftskifte.

Infiltration/ Naturlig ventilation [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Energibesparelse, Pakke 1 [kWh]	Energibesparelse, Pakke 2 [kWh]
<b>0,13/0,30</b>	<b>161,4</b>	<b>142,2</b>
0,19/0,35	155,5	136,7
0,25/0,40	149,5	131,1
0,31/0,45	143,6	125,4

Tabel 50 viser igen, at desto lavere luftskiftet er desto større energibesparelser opnås der.

### Parcelhus BR10

I nedenstående tabel er opstillet sammenhængen mellem luftskiftet og det samlede energiforbrug.

Tabel 51. ParcelBR10. Energiforbrug som funktion af luftskifte (infiltration).

Infiltration [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Energiforbrug [kWh]	Ændring ift. standardværdi [kWh]	Ændring ift. standardværdi [%]
0,07	56,3	-6,1	90
0,10	59,3	-3,1	95
<b>0,13</b>	<b>62,4</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
0,16	65,6	3,2	105
0,19	68,8	6,4	110

Tabel 51 viser hvor stor en betydning bygningens tæthed har i nybyggeri. For hver 0,03 l/s pr. m<sup>2</sup> infiltrationen falder/stiger, falder/stiger det samlede energiforbrug med ca. 5 %. De 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer til nu gældende krav til tæthed, de 0,10 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer til forventet tæthedskrav i 2015 og de 0,07 l/s pr. m<sup>2</sup> til forventet tæthedskrav i 2020.

### Relative besparelser

På tilsvarende vis som ved de øvrige parametre, opstilles tabeller som viser hvordan energibesparelsen påvirkes afhængigt af hvordan luftskiftet er før/efter (antagelse/faktisk) renovering.

Tabel 52. Parcel30, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af luftskifte før/efter energirenovering af bygningen.

		Luftskifte efter [l/s pr. m <sup>2</sup> ]			
		0,30	0,35	0,40	0,45
Luftskifte før [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	0,30	<b>100,0</b>	98,0	96,0	94,0
	0,35	102,0	<b>100,0</b>	97,9	95,9
	0,40	104,2	102,1	<b>100,0</b>	97,9
	0,45	106,4	104,3	102,2	<b>100,0</b>

Tabel 53. Parcel30, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af luftskifte før/efter energirenovering af bygningen.

		Luftskifte efter [l/s pr. m <sup>2</sup> ]			
		0,13	0,19	0,25	0,31
Luftskifte før [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	0,13	<b>100,0</b>	97,7	95,3	92,8
	0,19	102,4	<b>100,0</b>	97,5	95,0
	0,25	105,0	102,5	<b>100,0</b>	97,4
	0,31	107,7	105,2	102,6	<b>100,0</b>

Tabel 54. Parcel60, energirenovering 1. Relativ energibesparelse i % som funktion af luftskifte før/efter energirenovering af bygningen.

		Luftskifte efter [l/s pr. m <sup>2</sup> ]			
		0,13	0,19	0,25	0,31
Luftskifte før [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	0,13	<b>100,0</b>	96,3	92,6	89,0
	0,19	103,8	<b>100,0</b>	96,1	92,3
	0,25	108,0	104,0	<b>100,0</b>	96,1
	0,31	112,4	108,3	104,1	<b>100,0</b>

Tabel 55. Parcel60, energirenovering 2. Relativ energibesparelse i % som funktion af luftskifte før/efter energirenovering af bygningen.

		Luftskifte efter [l/s pr. m <sup>2</sup> ]			
		0,30	0,35	0,40	0,45
Luftskifte før [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	0,30	<b>100,0</b>	96,1	92,2	88,2
	0,35	104,0	<b>100,0</b>	95,9	91,7
	0,40	108,5	104,3	<b>100,0</b>	95,7
	0,45	113,4	109,0	104,5	<b>100,0</b>

Tabellerne viser, at den relative energibesparelse påvirkes væsentligt hvis der er forskel på luftskiftet før/efter en energirenovering, eller hvis man som udgangspunkt antager et luftskifte som ikke er korrekt. Hvis man f.eks. antager at luftskiftet er 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> i forbindelse med energirenoveringspakke 2 for parcelhuset fra 60'erne, og det siden viser sig at det faktiske luftskifte er 0,45 l/s pr. m<sup>2</sup>, så opnår man kun ca. 88 % af den oprindeligt forventede energibesparelse.

### Kombinerede effekter

De fire parametre analyseret i det foregående påvirker energibehovet i bygningen forskelligt. Forbruget af varmt brugsvand påvirker som den eneste parameter ikke bygningens varmebalance, og dermed vil den ikke være afhængig af de øvrige parametre som altså alle påvirker varmebalancen.

Hermed er forbruget af varmt brugsvand irrelevant i forhold til betragtninger vedrørende kombinerede effekter. De øvrige tre parametre er derimod indbyrdes afhængige, og den samlede påvirkning af bygningens energibehov kan ikke nødvendigvis fastlægges ved en simpel summering af de enkelte effekter.

Eksempel:

Parcelhuset fra 60'erne energirenoveres svarende til energirenoveringspakke 1, hvorved energibehovet falder fra 239,9 til 78,5 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, under forudsætning af at parametrene ikke ændres i forløbet.

Hvis rumtemperaturen før renovering antages at være 20 °C og efter renovering faktisk er 22 °C, så vil energibehovet efter renoveringen være 92,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, dvs. 13,5 kWh/m<sup>2</sup> pr. år højere end oprindelig forventet.

Hvis det interne varmetilskud antages at være 5 W/m<sup>2</sup> før renoveringen men faktisk er 3 W/m<sup>2</sup>, så vil energibehovet være 87,7 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, dvs. 9,2 kWh/m<sup>2</sup> pr. år højere end oprindelig forventet.

Hvis de to parametre var indbyrdes uafhængige, så ville det samlede energibehov for bygningen altså være 78,5 + 13,5 + 9,2 = 101,2 kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

Gennemfører man den faktiske beregning fås 101,9 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Der er altså en lille ekstra stigning i energibehovet som følge af kombinationen.

Gennemføres forskellige beregninger for forskellige kombinationer af parametre, viser resultaterne at energibehovet kun påvirkes ganske lidt som funktion af kombinationen af effekter, svarende til nogenlunde samme niveau som vist i ovenstående eksempel.

Der er dog et enkelt sted hvor kombinationen af parametre har større betydning, og det er når indetemperatur og ventilation kombineres. Dette skyldes at bygningens ventilationstab påvirkes direkte af både luftskifte og indetemperatur. Påvirkningen af ventilationstabet kan beregnes relativt simpelt af følgende udtryk:

$$\Phi_v = \rho \cdot c \cdot \Delta q \cdot \Delta T$$

Hvor:

$\Phi_v$  er ventilationstabet i W

$\rho$  er luftens massefylde i kg/m<sup>3</sup>

$c$  er luftens varmekapacitet i J/kg K

$\Delta q$  er forskellen i luftstrøm af udeluft tilført rummet

$\Delta T$  er temperaturforskellen

Hvis f.eks. rumtemperaturen er 22 °C i stedet for 20 °C og luftskiftet er 0,19 l/s pr. m<sup>2</sup> i stedet for 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup>, så kan tillægget til ventilationstabet bestemmes med god tilnærmelse som:

$$\Phi_v = 1005 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,205 \text{ J/kgK} \cdot (0,19 - 0,13) \text{ l/s pr. m}^2 \cdot (22 - 20) \text{ K} = 0,1453 \text{ W/m}^2$$

Det ekstra energibehov bestemmes herefter ved at gange med antallet af timer i fyringssæsonen (5520), hvilket giver 802 Wh/m<sup>2</sup> pr. år eller 0,8 kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

Eksempel:

Parcelhuset fra 60'erne energirenoveres svarende til energirenoveringspakke 1, hvorved energibehovet falder fra 239,9 til 78,5 kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

Hvis rumtemperaturen antages at være 20 °C men faktisk er 22 °C, så vil energibehovet efter renoveringen være 92,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, dvs. 13,5 kWh/m<sup>2</sup> pr. år højere end oprindelig forventet.

Hvis infiltrationen antages at være 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup> efter renoveringen men faktisk er 0,25 l/s pr. m<sup>2</sup>, så vil energibehovet være 90,4 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, dvs. 11,9 kWh/m<sup>2</sup> pr. år højere end oprindelig forventet.

Tillægget til ventilationstabet, beregnet efter ovenstående formel, bliver:

$$\Phi_v = 1005 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,205 \text{ J/kgK} \cdot (0,25 - 0,13) \text{ l/s pr. m}^2 \cdot (22 - 20) \text{ K} = 0,2906 \text{ W/m}^2$$

Hvilket giver et tillæg til energibehovet på 1,6 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Det samlede energibehov bliver således 78,5 + 13,5 + 11,9 + 1,6 = 105,5 kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

Gennemfører man den faktiske beregning fås 105,9 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, og igen er der tale om meget små afvigelser.

Sammenfattende kan der altså opstilles 3 regler, som beskriver hvordan energibehovet påvirkes ved kombinationen af parametre:

1. Forbruget af varmt brugsvand er uafhængigt af de øvrige parametre
2. Luftsifte, rumtemperatur og internt varmetilskud er tilnærmelsesvis uafhængige
3. Ved kombinationen af rumtemperatur og luftsifte beregnes et tillæg til energirammen

Konklusionen er dermed, at man ved opstilling af en metode til forudsigelse af den faktiske energibesparelse for en konkret bygning og en konkret adfærd fra brugernes side, kan betragte de enkelte parametre uafhængigt af hinanden.

# Sammenfatning

Når mindre bygninger skal energirenoveres, benyttes Be10-beregningsprogrammet typisk til at beregne de forventede energibesparelser, og på denne baggrund fastlægges det, hvilke energiløsninger der vælges. Be10 beregningen beror imidlertid på en lang række standardantagelser omkring bygningen og beboernes adfærd, og hvis disse standardantagelser ikke afspejler de konkrete forhold, kan det medføre, at de forventede energibesparelser ikke realiseres.

Ud over afvigelser i standardantagelserne, er der også sandsynlighed for, at t beboernes adfærd ændres i forbindelse med energirenovering af bygningen for at opnå en bedre komfort end det var muligt inden energirenoveringen, f.eks. ved forhøjelse af indetemperatur eller luftskifte. Denne adfærdændring kan ligeledes være medvirkende til, at forventede energibesparelser ikke realiseres.

Parametrene analyseret i de foregående kapitler er alle afhængige af antallet af brugere og deres adfærd, og i det følgende sammenfattes de enkelte parametres påvirkning af energiforbruget og forventede energibesparelser.

## Indetemperaturen

Indetemperaturen påvirker i høj grad energiforbruget i bygningen, og analyserne viser, at for hver grad indetemperaturen afviger fra standardantagelsen om 20 °C, så stiger/falder energiforbruget med 6 – 8 %. Dette gælder uanset, om der er tale om ikke-renoverede bygninger, omfattende energirenoverede bygninger eller helt nye bygninger.

Analyserne viser endvidere, at jo højere indetemperaturen er, jo større energibesparelse vil der opnås i forbindelse med en energirenovering. Energibesparelspotentialet er dermed i høj grad afhængigt af indetemperaturen, og det er derfor væsentligt for at kunne fastlægge forventede energibesparelser at vide, hvad indetemperaturen er før energirenoveringen, og hvilken temperatur man i fremtiden ønsker.

Hvis indetemperaturen ændrer sig i forbindelse med en energirenovering, og f.eks. stiger med 2 °C, så vil den relative besparelse reduceres med 4 – 7 % i parcelhuset fra 30'erne og 8 – 12 % i parcelhuset fra 60'erne. Den relative energibesparelse er i denne sammenhæng forholdet mellem den faktiske opnåede energibesparelse og den oprindeligt forventede energibesparelse.

## Internt varmetilskud

Det interne varmetilskud udtrykker hvor meget varme, der afgives fra personer og apparater (belysning, tv, radio, computer, komfur osv.) i bygningen.

Standardværdien for boliger er 5 W/m<sup>2</sup>, og fra Danmarks Statistik ved man, at vi i gennemsnit har et boligareal på 60 m<sup>2</sup> pr. person. I boliger antages derfor et varmetilskud på mindst 300 W pr. bolig og maksimalt 1200 W pr. boligenhed, svarende til mindst én person og maksimalt fire personer pr. bolig.

For parcelhuset fra 30'erne, kan man dermed beregne det samlede interne varmetilskud under standardforudsætninger som:  $103 \text{ m}^2 * 5 \text{ W/m}^2 = 515 \text{ W}$ .



Hver person giver som nævnt anledning til 300 W, og i parcelhuset fra 30'erne vil man regne med, at der er 1,7 person i gennemsnit til stede i huset altid.

Det interne varmetilskud kan afvige fra standardantagelsen, hvis der enten er flere eller færre personer eller apparater end forventet, eller hvis personerne er til stede i bygningen mere eller mindre end forventet, og hvis apparaterne er i drift mere eller mindre end forventet.

I nærværende analyse er der regnet på situationer, hvor det interne varmetilskud varierer fra 2 – 7 W/m<sup>2</sup>. Afviger det interne varmetilskud 1 W/m<sup>2</sup> fra den oprindelige antagelse om 5 W/m<sup>2</sup>, vil det for parcelhuset fra 30'erne betyde, at man går fra 1,7 person til stede i gennemsnit til hhv. ca. 1,5 eller 2,1 person, afhængigt af om værdien falder eller stiger.

Det interne varmetilskud påvirker i høj grad energiforbruget i bygningen, og jo lavere energiforbruget i bygningen er, jo større relativ betydning har afvigelser i det interne varmetilskud. I de ikke-renoverede eksisterende bygninger betyder 1 W/m<sup>2</sup> afvigelse ca. 2 – 3 %, i de renoverede bygninger fra 30'erne ca. 4 – 5 %, i de renoverede bygninger fra 60'erne ca. 5 – 6 % og i den nye bygning opført efter BR10 ca. 8 %.

Analyserne viser endvidere, at de opnåede energibesparelser er stort set uafhængige af niveauet af det interne varmetilskud, hvis dette fastholdes i forløbet. Energibesparelsepotentialet er dermed stort set uafhængigt af det interne varmetilskud, og det er derfor mindre væsentligt at kende det interne varmetilskud forud for en energirenovering.

Hvis det interne varmetilskud ændrer sig i forbindelse med en energirenovering, og f.eks. falder med 1 W/m<sup>2</sup>, så vil den relative besparelse reduceres med 2 – 3 % i parcelhuset fra 30'erne og 3 – 4 % i parcelhuset fra 60'erne. Det er dog mindre sandsynligt, at der sker en ændring i det interne varmetilskud i forbindelse med energirenoveringer.

### **Varmt brugsvand**

En person bruger i gennemsnit 114 liter vand pr. døgn, og heraf er ca. de 40 liter varmt vand (Energistyrelsens Hjemmeside, [www.ens.dk](http://www.ens.dk)). Dette svarer til 15 m<sup>3</sup> varmt brugsvand pr. person pr. år.

Ved energiberegninger antages et varmtvandsforbrug i boliger på 250 l/m<sup>2</sup> pr. år. For parcelhuset fra 30'erne vil man altså regne med et forbrug på ca.  $103 \text{ m}^2 * 250 \text{ l/m}^2 = 25,75 \text{ m}^3$  pr. år. Sammenholdes dette med det gennemsnitlige forbrug pr. person, svarer det altså til, at der er  $25,75/15 = 1,7$  beboere med gennemsnitligt forbrug i parcelhuset fra 30'erne.

I nærværende analyse er der regnet på situationer, hvor varmtvandsforbruget varierer fra 150 – 400 l/m<sup>2</sup>. Forhøjes varmtvandsforbruget med 50 l/m<sup>2</sup> fra den oprindelige antagelse om 250 l/m<sup>2</sup>, vil det for parcelhuset fra 30'erne betyde, at man går fra 1,8 beboere med gennemsnitligt forbrug til hhv. ca. 2,1 beboere med gennemsnitligt forbrug.

Forbruget af varmt brugsvand påvirker energiforbruget i bygningen med samme niveau, uanset bygningens øvrige energimæssige tilstand, og dermed har afvigelser i varmtvandsforbruget størst betydning i bygninger som har gennemgået en omfattende energirenovering. Et eksempel er, at hvis energiforbruget til opvarmning af varmt brugsvand er 20 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, og man så energirenoverer, så er forbruget stadig 20 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, men det samlede energiforbrug er reduceret. Dermed bliver varmtvandsforbrugets relative indflydelse større efter renovering.

Analyserne viser, at for hver 50 l/m<sup>2</sup> pr. år forbruget af varmt brugsvand afviger fra standardantagelsen om 250 l/m<sup>2</sup> pr. år, så stiger/falder energiforbruget med ca. 1 % i de ikke renoverede eksisterende bygninger, ca. 2 – 3 % i de energirenoverede bygninger og ca. 4 % i nybyggeriet.

Analyserne viser endvidere, at de opnåede energibesparelser er stort set uafhængige af forbruget af varmt brugsvand, hvis dette fastholdes i forløbet. Energibesparelspotentialet er dermed stort set uafhængigt af forbruget af varmt brugsvand, og det er derfor mindre væsentligt at kende forbruget forud for en energirenovering.

Hvis forbruget af varmt brugsvand ændrer sig i forbindelse med en energirenovering, og f.eks. stiger med 50 l/m<sup>2</sup> pr. år, så vil den relative besparelse reduceres med ca. 1 % i parcelhuset fra 30'erne og 1 – 2 % i parcelhuset fra 60'erne. Ligesom med det interne varmetilskud er det dog mindre sandsynligt, at der sker en ændring i forbruget i forbindelse med almindelige energirenoveringer.

### Luftskifte

Bygningsreglementet (2010) stiller krav om udeluftstilførsel på mindst 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal, hvilket svarer til et luftskifte på 0,50 h<sup>-1</sup>.

Ved boliger med naturlig ventilation regnes normalt med et samlet luftskifte på 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup>. Ved boliger med mekanisk ventilation regnes normalt med et luftskifte på 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> gennem selve ventilationsanlægget og dertil regnes med yderligere et luftskifte på 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup> som infiltration, dvs. luftskifte gennem utætheder i klimaskærm, åbning af vinduer/døre osv.

I nærværende analyse er der for eksemplerne med naturlig ventilation regnet med, at luftskiftet varierer mellem 0,30 – 0,45 l/s pr. m<sup>2</sup>, i spring på 0,05 l/s pr. m<sup>2</sup>. De 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer som nævnt til kravet i Bygningsreglementet og de 0,45 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer til en meget utæt bygning. Hvis luftskiftet stiger fra f.eks. 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> til 0,35 l/s pr. m<sup>2</sup>, svarer det til, at luftskiftet stiger fra 0,50 h<sup>-1</sup> til 0,58 h<sup>-1</sup>. Herved stiger samtidig ventilationstabet i bygningen med ca. 17 %.

I bygningerne med mekanisk ventilation forventes det, at luftskiftet via ventilationsanlægget fastholdes på Bygningsreglementets krav, dvs. 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup>. I disse tilfælde varierer i stedet infiltrationen i bygningerne, svarende til at bygningen er mere eller mindre utæt. Værdien varierer fra 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup> til 0,31 l/s pr. m<sup>2</sup> med spring på 0,06 l/s pr. m<sup>2</sup>. De 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer til det niveau af tæthed der kræves for nye bygninger opført efter BR10. De 0,31 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer til en meget utæt bygning.

Luftskiftet påvirker i nogen grad energiforbruget i bygningen, og jo lavere energiforbrug bygningen har, jo større betydning har luftskiftet. I parcelhuset fra 30'erne medfører en stigning i luftskiftet på 0,05 l/s pr. m<sup>2</sup> en stigning i energibehovet på ca. 4 %. I parcelhuset fra 60'erne betyder en tilsvarende stigning i luftskiftet en stigning i energibehovet på ca. 6 %.

Analyserne viser også, at jo lavere luftskiftet er, jo større energibesparelse vil der opnås i forbindelse med en energirenovering, hvis luftskiftet fastholdes i forløbet. Energibesparelspotentialet er dermed afhængigt af luftskiftet, og det er derfor en fordel at kende luftskiftet før energirenoveringen, når mulige energibesparelser skal fastlægges.

Hvis luftskiftet stiger med f.eks. 0,05 l/s pr. m<sup>2</sup> i forbindelse med en energirenovering, så vil den relative besparelse reduceres med ca. 2 % for parcelhu-

set fra 30'erne og ca. 4 % for parcelhuset fra 60'erne. Den relative energibesparelse er i denne sammenhæng forholdet mellem den faktiske opnåede energibesparelse og den oprindeligt forventede energibesparelse.

## Metode til fastlæggelse af energibesparelse

På baggrund af analyserne i nærværende rapport kan der opstilles en relativt simpel metode til fastlæggelse af energibesparelsen for energirenoveringstiltag under hensyntagen til brugernes adfærd. Formålet er at opstille en metode, som kan forudsige energibesparelsen for et konkret energibesparende tiltag i en konkret bygning under hensyn til brugeradfærd.

Analyserne viser, at hhv. det interne varmetilskud og forbruget af varmt brugsvand kun i beskedent omfang påvirker energibesparelspotentialet for bygninger, så længe at værdien af parametrene ikke ændres i forbindelse med energirenoveringen. Ingen af parametrene er direkte relateret til komfort, og dermed vil de typisk ikke ændres i processen. Derfor kan parametrene udelades af metoden, men kan naturligvis inddrages i specielle tilfælde, hvor det er relevant.

Indetemperaturen og luftskiftet i bygningen påvirker begge energibesparelspotentialet, og samtidig er begge parametre relateret til komforten i bygningen og er dermed parametre, som potentielt kunne ændres i forbindelse med en energirenovering. Dermed er det oplagt, at disse parametre medtages i metoden.

Indetemperaturen er klart den vigtigste af de to parametre, og resultaterne af analyserne viser, at for hver grad indetemperaturen stiger efter en energirenovering, så falder den forventede besparelse med ca. 6 – 8 %, afhængigt af hvilket energiniveau der renoveres til. Jo længere ned i energibehov der renoveres til, jo større betydning har indetemperaturen. Det er således en fordel at kende den gennemsnitlige indetemperatur i bygningen inden energirenoveringen.

Luftskiftet er knapt så vigtigt, men det er klart, at hvis der er store afvigelser mellem antagelse om niveau og faktisk niveau, så kan det påvirke energibesparelsen i væsentlig grad. Luftskiftets betydning for energibesparelsen er meget afhængig af bygningens samlede energiforbrug, og jo lavere energiforbruget bliver, jo større betydning får luftskiftet. Resultaterne af analyserne viser, at for hver 0,01 l/s pr. m<sup>2</sup> der er i forskel mellem luftskiftet før og efter en energirenovering, så falder den forventede energibesparelse med ca. 0,4 – 0,8 %, afhængigt af hvilket energiniveau der renoveres til. Dette lyder umiddelbart ikke så voldsomt, men hvis man f.eks. går fra kravet til luftskiftet for nye bygninger (0,30 l/s pr. m<sup>2</sup>) til det man kategoriserer som en utæt bygning (0,45 l/s pr. m<sup>2</sup>), så falder den forventede energibesparelse med op til 12 %.

## Referencer

2011. **Bygningers energibehov**. SBI-anvisning 213, 2. udgave. Søren Aggerholm og Karl Grau, SBI, Aalborg Universitet.

2010. **Bygningsreglement 2010**. (24.08.2011), Erhvervs- og Byggestyrelsen.

I rapporten præsenteres en analyse af, brugeradfærdens indflydelse på realisering af forventede energibesparelser i forbindelse med energirenovering af eksisterende bygninger.

Analyserne i rapporten omfatter de fire vigtigste parametre, hvor brugernes adfærd kan påvirke de forventede energibesparelser. Parametrene er: Indetemperaturen, forbruget af varmt brugsvand, det interne varmetilskud og luftskiftet.

På baggrund af analyserne er der opstillet en metode til at fastlægge forventede energibesparelser under hensyntagen til brugeradfærdens indflydelse.

Rapporten er udarbejdet for Energistyrelsen i forbindelse med etablering af netværk for energirenovering og er især rettet mod byggebranchen og styrelser samt politiske beslutningstagere.

1. udgave, 2013

ISBN 978-87-92739-21-6