



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Fremtidssikring af komponentkrav

Netværk for energirenovering

Rose, Jørgen; Mortensen, Lone Hedegaard

Publication date:
2013

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rose, J., & Mortensen, L. H. (2013). *Fremtidssikring af komponentkrav: Netværk for energirenovering*. SBI forlag. SBI Bind 2013 Nr. 03

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.

SBi 2013:03

Fremtidssikring af komponentkrav

Netværk for energireovering



Statens Byggeforskningsinstitut
AALBORG UNIVERSITET

Fremtidssikring af komponentkrav

Netværk for energirenovering

Jørgen Rose

Lone Hedegaard Mortensen

Titel	Fremtidssikring af komponentkrav
Undertitel	Netværk for energirenovering
Serietitel	SBi 2013:03
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2013
Forfattere	Jørgen Rose, Lone Hedegaard Mortensen
Sprog	Dansk
Sidetæl	35
Litteratur- henvisninger	Side 32
Emneord	Komponenter, enfamiliehus, etagebolig, energieffektivitet, installationer, energibesparelsespotentialer, bygningsdele, energibehov, eksisterende bygninger,
ISBN	978-87-92739-20-9
Omslag	Colourbox
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, A.C. Meyers Vænge 15, DK-2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

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 rapporten er, at analysere i hvilket omfang nye og kommende teknologier kan være medvirkende til at nedbringe energiforbruget i eksisterende bygninger i forbindelse med energirenovering. Udviklingen indenfor isoleringsmaterialers varmeledningsevne, vinduer, energieffektive facade-løsninger samt bygningernes varme- og ventilationssystemer mv. medfører, at energirenovering i de kommende år frem mod 2020 vil blive bedre og bedre, og formålet med rapporten er således at vurdere, i hvilket omfang udviklingen kan være medvirkende til at understøtte energipolitiske mål.

Rapporten består af en kortfattet beskrivelse af formål og metode, en gennemgang af de udførte analyser for enkeltkomponenter samt en række analyser af eksempler på pakked løsninger til vurdering af det samlede potentiale for energibesparelser. Rapporten afrundes med en sammenfattende konklusion på fremtidens muligheder i forhold til dybtgående energirenovering af eksisterende bygninger.

Siden rapporten blev offentliggjort i 2013 er den i maj 2014 blevet forsynet med et appendiks, der viser et eksempel på den økonomiske konsekvens, når et enfamiliehus fra 60'erne gennemgår en tagrenovering, og hvor der er begrænset plads i konstruktionen. Der regnes totaløkonomisk på forskelle i forhold til isoleringens varmeledningsevne.

Projektet er udført af seniorforsker Jørgen Rose og seniorforsker Lone Hedegaard Mortensen fra SBI.

Projektet påbegyndtes august 2012

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og miljø
Januar 2013

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indholdsfortegnelse

Fremtidssikring af komponentkrav Netværk for energireovering	1
Forord	3
Indholdsfortegnelse	4
Formål.....	5
Metode.....	6
Eksempelbygninger	6
Enfamiliehus fra 1930'erne.....	6
Enfamiliehus fra 1960'erne.....	7
Etagebolig fra 1930'erne	9
Etagebolig fra 1960'erne	10
Udviklingsmuligheder op mod 2020	13
Vurdering af mulige forbedringer af energieffektiviteten	14
Forbedringer for bygningsdele	14
Ydervægge.....	15
Tag/loft.....	16
Terrændæk.....	17
Etagaadskillelse mod uopvarmet kælder	17
Kælderydervægge.....	18
Kuldebroer	18
Lufttæthed	19
Vinduer	20
Glasfacader, solafskærmning og belysning	20
Forbedringer for installationer	21
Ventilation.....	21
Solvarmeanlæg	24
Varmepumper.....	24
Cirkulationspumper	25
Varme rør	25
Eksempler på samlet besparelsespotentialer	27
Parcelhus 30'erne	27
Parcelhus 60'erne	27
Etagebolig 30'erne	28
Etagebolig 60'erne	28
Sammenfatning	30
Bygningsdele	30
Installationer	30
Samlet energibesparelsespotentialer	31
Referencer	32
Appendiks: Økonomiske konsekvenser ved valg af bedre isolering	33

Formål

Formålet med analysen er at vurdere, i hvilken udstrækning det vil være muligt med nye og eksisterende bygnings- og installationstekniker yderligere at reducere energibehovet i eksisterende bygninger ved udvikling af bedre komponenter, som kan anvendes ved fremtidige energirenoveringer. Det kan f.eks. være kendte løsninger, der på grund af deres høje pris kun benyttes i begrænset omfang i nybyggeri, men som anvendt i eksisterende bygninger kan muliggøre løsninger, der samlet set er fordelagtige med hensyn til økonomien og bygningskulturen.

Analysen fokuserer på elementerne i klimaskærmen f.eks. loft, ydervægge, vinduer og gulve og på installationerne i bygningen f.eks. ventilation, varmeformdeling, varmt brugsvand og fjernvarmeinstallation. Analysen omfatter alene de elementer af energiforsyningen, som er en integreret del af den individuelle bygning f.eks. varmepumper og solvarme. Analysen omfatter ikke mulighederne for at forbedre selve forsyningen f.eks. fjernvarmesystemet, elsystemet eller kedlen eller for at installere f.eks. mikrokraftvarme i de enkelte bygninger.

Analysen tager udgangspunkt i den tilsvarende analyse op til indførelsen af Bygningsklasse 2020 for nybyggeri (Analyse 6. Komponentkrav, konkurrence og eksport. En kortlægning af innovation i byggekomponenter. BYG-DTU og TI. Februar 2011), samt eksisterende viden om nye produkter indsamlet i "Task Force. Netværk for energirenovering".

Der er ikke taget højde for de økonomiske konsekvenser i forbindelse med analyserne i rapporten, men da dette er vigtigt incitament i forbindelse med energirenovering er det medtaget i Appendiks 1: Økonomiske konsekvenser ved valg af bedre isolering. I Appendiks 1 regnes der på et eksempel med en tagrenovering af et enfamiliehus fra 60'erne. Resultatet viser, at der kan tillades en relativt stor merpris for nye og bedre isoleringstyper på steder med begrænset plads i konstruktionen. Hertil kommer den forbedrede komfort, som opnås ved højere isoleringsniveau, som ikke indgår i den økonomiske beregning.

Metode

I forbindelse med analyserne af besparelsespotentialer benyttes en række eksempelbygninger som repræsenterer typiske bygninger fra to forskellige perioder; 1930'erne og 1960'erne. Fra begge perioder anvendes hhv. et enfamiliehus og en etageejendom. Bygningerne er i øvrigt de samme som er anvendt i forbindelse med Energistyrelsens Eksempelsamling (se evt. www.ens.dk), I det efterfølgende gives en kortfattet beskrivelse af bygningerne.

Eksempelbygninger

Enfamiliehus fra 1930'erne

Huset er en typisk bungalow fra 1932 på 103 m^2 . Der er fuld, højt beliggende kælder i bygningen med et bruttoareal på 103 m^2 . Det samlede vinduesareal i stueetagen er på 16 % af etagearealet. Det samlede rudeareal i stueetagen er $12,0 \text{ m}^2$.



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 $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ydervæggen er en uisoleret hulmur med faste udmuringer omkring vinduer og døre. Radiatorerne i opholdsrummene er placeret i nicher under vinduerne. Hulmuren har en U-værdi på $1,45 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ved de faste udmuringer er U-værdien $1,59 \text{ W/m}^2\text{K}$ og ved radiatornicher er den $2,56 \text{ W/m}^2\text{K}$.

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 $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Huset har fået nye vinduer i 60'erne med 2-lags termoruder. Vinduerne har dermed 2-lags termoruder og rudens U-værdi er $2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ 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 $1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ og kældergulvet har en U-værdi på $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

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 $0,45 \text{ l/s pr. m}^2$.

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).

Enfamiliehus fra 1960'erne

Huset er på 108 m^2 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 $19,9 \text{ m}^2$.



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 $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$. Omkring vinduer og døre er der udmuret hvilket medfører en U-værdi i disse områder på $1,59 \text{ W/m}^2\text{K}$. 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 $0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Loftet består af bjælkelag med spredt forskalling og gipsplader indvendigt. Loftet har en U-værdi på $0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$, som normalt kan opnås med 100 mm isolering.

Vinduer er med traditionelle 2-lags termoruder. Rudens U-værdi er $2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ og den har en solenergitransmittans på $0,75$.

De indvendige skillevægge er $\frac{1}{2}$ -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 $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

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

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

Der er naturlig ventilation i huset og som udgangspunkt kan bygningen kategoriseres som utæt med væsentligt ekstra luftskifte, dvs. $q_n = 0,45 \text{ l/s pr. m}^2$.

Varmefordelingsanlægget er et 2-strengs radiatoranlæg med en fremløbstemperatur på $80 \text{ }^\circ\text{C}$ og returløbstemperatur på $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Varmeanlægget er en gammel oliefyret kedelunit placeret i bryggerset. Alle varmerør er isoleret med 10 mm isolering. Varmt vand produceres i en 200 liter varmtvandskappebeholder med 30 mm isolering.

Etagebolig fra 1930'erne

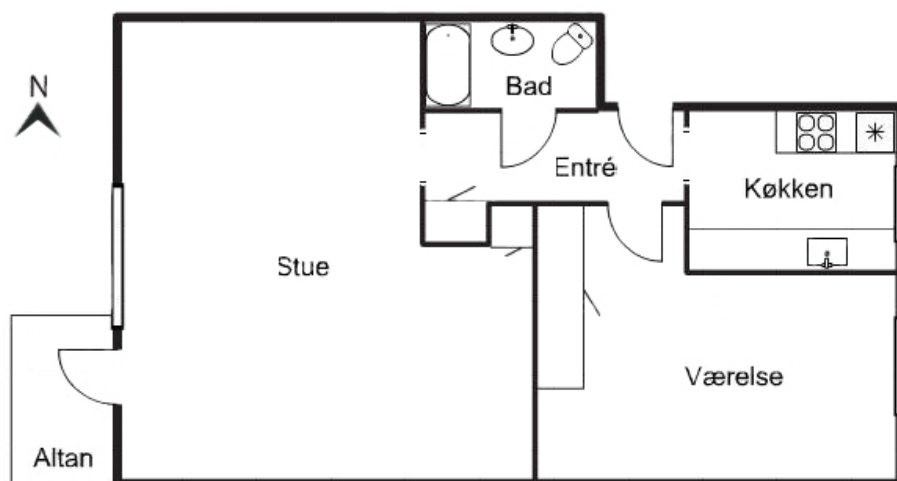
Bygningen er på 1664 m² og indeholder 24 lejligheder i 4 etager. Der er fuld kælder under bygningen med et bruttoareal på 416 m². Det samlede vinduesareal er på 12 % af etagearealet. Det samlede glasareal er 136 m².



Figur 5. Etagebolig fra 30'erne, facade ved altaner.



Figur 6. Etagebolig fra 30'erne, facade ved indgang.



Figur 7. Etagebolig 30'erne, plantegning for typisk lejlighed.

Etageadskillelsen mod kælderen er et uisoleret træbjælkelag med 20 mm luft hulrum og 70 mm lerindskud. U-værdien er $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ydervæggen er 480 mm massiv teglvæg i de to nederste etager og 240 mm massiv teglvæg i de to øverste etager. U-værdien for hulmuren er hhv. $1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Loftet er uisoleret og består af bjælkelag med spredt forskalling og puds indvendigt. Loftet har en U-værdi på $1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vinduer er traditionelle 2-lags termoruder. Rudens samlede U-værdi er $2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ og den har en solenergitransmittans (g-værdi) på $0,75$.

De indvendige skillevægge er $\frac{1}{2}$ -stens mur med puds.

Kælderydervæggene er 500 mm beton mod jord. U-værdien for kælderydervæggene er $1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kældergulvet er 100 mm beton udstøbt på 200 mm sten/skærver. Kældergulvet har en U-værdi på $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Samlingen mellem vinduer/døre og ydervæg har ingen kuldebroafbrydelse og linjetabskoefficienten er $0,11 \text{ W/mK}$.

Fundamenter under kælderydervægge er i beton og har en linjetabskoefficient på $0,42 \text{ W/mK}$.

Der er naturlig ventilation i huset og som udgangspunkt kan bygningen kategoriseres som utæt, dvs. $q_n = 0,45 \text{ l/s pr. m}^2$.

Varmefordelingsanlægget er et 2-strengs radiatoranlæg med en fremløbs-temperatur på $80 \text{ }^\circ\text{C}$ og returløbstemperatur på $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Varmeanlægget er en ældre uisoleret oliefyret kedel placeret i kælderen. Alle varmerør er isoleret med 10 mm isolering. Varmt vand produceres i en 1000 liter varmtvandsbeholder med 30 mm isolering.

Etagebolig fra 1960'erne

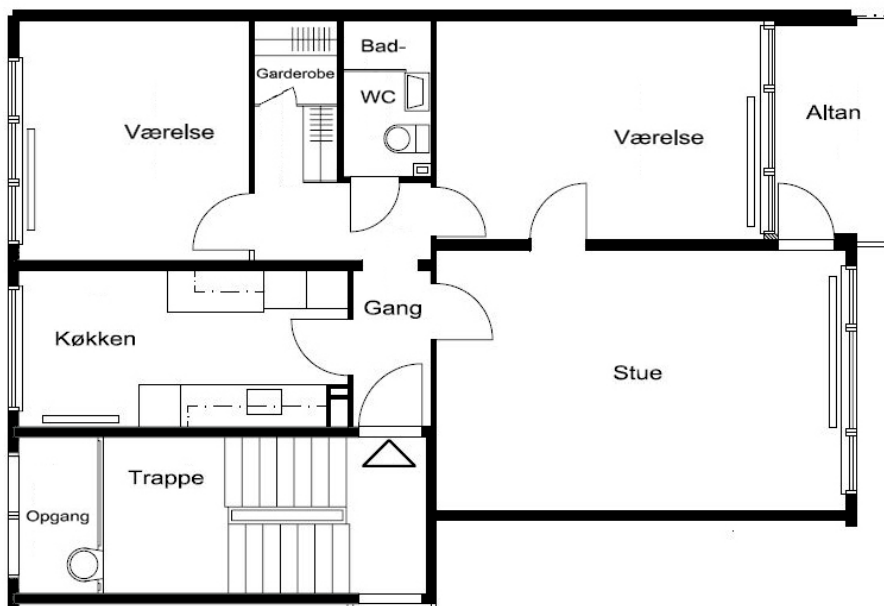
Bygningen er på 3640 m^2 og indeholder 40 lejligheder i 4 etager. Lejlighederne er 3 værelses på 91 m^2 , og heraf udgør trapper 6 m^2 . Der er fuld kælder under bygningen med et bruttoareal på 910 m^2 . Det samlede vinduesareal er på 17 % af etagearealet. Det samlede glasareal er 495 m^2 .



Figur 8. Etagebolig fra 60'erne, facade ved indgang.



Figur 9. Etagebolig fra 60'erne, facade ved indgang.



Figur 10. Etagebolig fra 60'erne, plantegning for typisk lejlighed.

Etageadskillelser er 200 mm beton. Der benyttes enten trægulve på strøer eller klinkegulve. Etageadskillelsen har en U-værdi på $1,52 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ydervæggen er en let konstruktion med gips indvendigt og eternit udvendigt. Der er 75 mm batts i væggen og ca. 30 mm ventileret hulrum mellem isolering og eternitplader. U-værdien for ydervæggen er $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Loftet består af beton med udvendig isolering. Loftet har en U-værdi på $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, som normalt kan opnås med 100 mm isolering.

Vinduer er traditionelle 2-lags termoruder. Rudens samlede U-værdi er $2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ og den har en solenergitransmittans på 0,75.

De indvendige skillevægge er 150 mm beton.

Kælderydervæggene består af 300 mm beton og har en U-værdi på $1,28 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kælderdækket består af 100 mm beton udstøbt på 200 mm balastgrus. Kældergulvet har en U-værdi på $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vinduer/døre har 20 mm overlap til isoleringen i ydervæggen og linjetabskoefficienten er 0,08 W/mK.

Fundamenter under kælderydervægge er i beton og har en linjetabskoefficient på 0,42 W/mK.

Der er mekanisk udsugning fra hhv. køkken og bad i hver lejlighed hvilket resulterer i et luftskifte på $q_n = 0,50$ l/s pr. m^2 .

Varmefordelingsanlægget er et 2-strengs radiatoranlæg med en fremløbstemperatur på 80 °C og returløbstemperatur på 60 °C. Varmeanlægget er en uisolereet oliefyret kedel placeret i kælderen. Alle varmerør er isoleret med 10 mm isolering.

Udviklingsmuligheder op mod 2020

Udviklingsmulighederne op mod 2020 er allerede beskrevet i forbindelse med "Task Force. Netværk for energirenovering", og derfor henvises til denne rapport for en detaljeret beskrivelse af forventningerne.

Vurdering af mulige forbedringer af energieffektiviteten

I dette afsnit gennemføres en vurdering af de mulige forbedringer af energieffektiviteten der kan opnås for bygningsdele i klimaskærmen og installationer. Tiltagene vurderes i første omgang enkeltvis og i næste kapitel opstilles der samlede pakkeløsninger som viser hvor meget længere man samlet set kan nå ved at kombinere løsningerne.

Forbedringer for bygningsdele

I forbindelse med den isolerede del af klimaskærmen, er det stort set udelukkende varmeledningsevnen for isoleringsmaterialerne der kan være medvirkende til at forbedre energieffektiviteten i forhold til allerede eksisterende løsninger.

I "Task Force. Netværk for energirenovering" er det fastlagt at de typiske isoleringsmaterialer som vil være tilgængelige frem mod 2020 vil have varmeledningsevner ned til 14 mW/mK. De materialer som typisk anvendes i dag har normalt varmeledningsevner på mellem 36 – 40 mW/mK. I de følgende analyser er det derfor valgt at gennemføre beregninger af mulige besparelser for 3 forskellige niveauer af varmeledningsevnen; 37 mW/mK (reference), 27 mW/mK og 17 mW/mK. Hermed dækker undersøgelsen niveauer svarende til dagens standard og frem til hvad der forventes i forhold til udviklingen i de kommende år.

Da varmeledningsevnen er den afgørende faktor for energioptimering af bygningsdele vises sammenhængen mellem isoleringsklasser og nødvendige isoleringstykkelser til at opnå samme varmeisolering.

Tabel 1. Efterisolering.

Efterisolering	Nødvendig isoleringstykkelse i mm for at opnå samme U-værdi, udgangspunkt i kl. 37	Ændret varmeledningsevne og tykkelse, %	Nødvendig isoleringstykkelse i mm for at opnå samme U-værdi, udgangspunkt i kl. 17	Ændret varmeledningsevne og tykkelse, %
Isolering kl. 37, $\lambda = 0,037$ W/mK	100	0 %	218	118 %
Isolering kl. 27, $\lambda = 0,027$ W/mK	73	27 %	159	59 %
Isolering kl. 17, $\lambda = 0,017$ W/mK	46	54 %	100	0 %

Tabellen viser, at hvis der er pladsbegrænsninger i forhold til at efterisolere, kan der være fordele ved at vælge en bedre isolering. Det kan f.eks. være relevant hvis der er begrænset plads eller hvis æstetiske forhold gør, at der ikke ønskes øgede dimensioner. Det kunne eksempelvis være isolering af kviste, tage med lav hældning, under trægulve i enfamiliehuse uden isolering i terrændækket mv. Isoleringsmaterialer med lavere varmeledningsevne kan dermed medvirke til at der bliver gennemført efterisolering i konstruktioner, som ellers ikke ville være blevet efterisoleret.

Ydervægge

For ydervæggens vedkommende er der mulighed for at tilføje et udvendigt isoleringslag. I enfamiliehuset fra 30'erne vil der ligeledes være mulighed for at tilføje en hulmursisolering, men da denne umiddelbart ikke giver mulighed for anvendelse af nye typer isoleringsmaterialer er der i analysen udelukkende regnet på en situation hvor der tilføjes 150 mm isolering udvendigt.

Tabel 2. Enfamiliehus 30'erne. 150 mm isolering udvendig på ydervæg. De angivne U-værdier er for muren alene, herudover er der dårligere isolerede dele som ved radiatornicher og fuld udmuring omkring vinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,45 W/m ² K	432,1	2,6	0,0	438,6	
150 mm iso. kl. 37, U = 0,43 W/m ² K	285,5	1,9	0,0	290,2	-148,4
150 mm iso. kl. 27, U = 0,29 W/m ² K	278,8	1,8	0,0	283,4	-155,2
150 mm iso. kl. 17, U = 0,19 W/m ² K	273,3	1,8	0,0	277,9	-160,7

Tabel 3. Enfamiliehus 60'erne. 150 mm isolering udvendig på ydervæg. De angivne U-værdier er for muren alene, herudover er der dårligere isolerede dele som ved radiatornicher og fuld udmuring omkring vinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 0,46 W/m ² K	239,4	1,9	0,0	244,3	
150 mm iso. kl. 37, U = 0,20 W/m ² K	209,3	1,8	0,0	213,7	-30,6
150 mm iso. kl. 27, U = 0,15 W/m ² K	205,4	1,7	0,0	209,7	-34,6
150 mm iso. kl. 17, U = 0,10 W/m ² K	201,0	1,7	0,0	205,2	-39,1

Tabel 4. Etagebolig 30'erne. 150 mm isolering udvendig på ydervæg. De angivne U-værdier er for muren alene, herudover er der dårligere isolerede dele som ved radiatornicher og fuld udmuring omkring vinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference U = 1,14 W/m ² K	211,5	0,4	0,0	212,4	
150 mm iso. kl. 37 U = 0,20 W/m ² K	133,7	0,4	0,0	134,6	-77,8
150 mm iso. kl. 27 U = 0,16 W/m ² K	130,9	0,3	0,0	131,7	-80,7
150 mm iso. kl. 17 U = 0,10 W/m ² K	127,8	0,3	0,0	128,7	-83,7

Tabel 5. Etagebolig 60'erne. 150 mm isolering udvendig på ydervæg. De angivne U-værdier er for muren alene, herudover er der dårligere isolerede dele som ved radiatornicher og fuld udmuring omkring vinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference U = 0,50 W/m ² K	128,5	9,7	0,0	152,7	
150 mm iso. kl. 37 U = 0,19 W/m ² K	116,4	9,7	0,0	140,6	-12,1
150 mm iso. kl. 27 U = 0,15 W/m ² K	115,0	9,7	0,0	139,1	-13,6
150 mm iso. kl. 17 U = 0,11 W/m ² K	113,3	9,7	0,0	137,5	-15,2

Betragtes resultaterne i tabel 2 – 5, er det tydeligt at det er ret begrænset hvor store ekstra energibesparelser der kan opnås ved at anvende bedre isolerende materialer. Den ekstra energibesparelse der opnås varierer fra ca. 0,9 – 1,6 % af det samlede energiforbrug hvis man går fra den traditionelle isolering til næste niveau (fra 0,037 W/mK til 0,027 W/mK), og de største ændringer sker for enfamiliehusenes vedkommende

I forbindelse med efterisolering af ydervæggen kan der imidlertid være forhold der begrænser den mulige tykkelse af en udvendig efterisolering, f.eks. æstetiske forhold eller pladsmangel. Tagudhænget på enfamiliehuse vil f.eks. typisk udgøre en begrænsning, da efterisolering og afslutning skal holdes indenfor rammerne af tagudhænget, hvis man ikke samtidig inddrager udskiftning af tag og dermed gør renoveringen betydeligt mere omfat-

tende. I disse tilfælde, kan nye isoleringsmaterialer med bedre varmeledningsevne betyde, at det oftere kan lade sig gøre at efterisolere og opfylde evt. krav til isoleringsniveauer (U-værdier).

Tag/loft

For tag- og lofts konstruktioner vil efterisolering oftest være uproblematisk, men pladmangel kan være medvirkende til at vanskeliggøre vidtgående efterisolering, specielt over samlingen mellem ydervæg og loft i forbindelse med tage med lav hældning.

For de to bygninger fra 30'erne er lofts konstruktionen som udgangspunkt uisolaret, mens bygningerne fra 60'erne har eksisterende isolering svarende til ca. 100 mm. I alle 4 tilfælde isoleres lofts konstruktionen således at der totalt er 300 mm isolering.

Tabel 6. Enfamiliehus 30'erne. 300 mm isolering på loft.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 0,545 W/m ² K	432,1	2,6	0,0	438,6	
300 mm iso. kl. 37, U = 0,12 W/m ² K	384,6	2,4	0,0	390,6	-48,0
300 mm iso. kl. 27, U = 0,09 W/m ² K	381,2	2,4	0,0	387,1	-51,5
300 mm iso. kl. 17, U = 0,06 W/m ² K	377,8	2,3	0,0	383,7	-54,9

Tabel 7. Enfamiliehus 60'erne. 200 mm isolering på loft.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 0,386 W/m ² K	239,4	1,9	0,0	244,3	
300 mm iso. kl. 37, U = 0,12 W/m ² K	210,3	1,8	0,0	214,7	-29,6
300 mm iso. kl. 27, U = 0,10 W/m ² K	205,4	1,7	0,0	212,1	-32,2
300 mm iso. kl. 17, U = 0,07 W/m ² K	204,5	1,7	0,0	208,9	-35,4

Tabel 8. Etagebolig 30'erne. 300 mm isolering på loft.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,14 W/m ² K	211,5	0,4	0,0	212,4	
300 mm iso. kl. 37, U = 0,12 W/m ² K	184,5	0,4	0,0	185,4	-27,0
300 mm iso. kl. 27, U = 0,09 W/m ² K	183,7	0,4	0,0	184,6	-27,8
300 mm iso. kl. 17, U = 0,06 W/m ² K	182,9	0,4	0,0	183,8	-28,6

Tabel 9. Etagebolig 60'erne. 200 mm isolering på loft.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 0,40 W/m ² K	128,5	9,7	0,0	152,7	
200 mm iso. kl. 37, U = 0,13 W/m ² K	121,3	9,7	0,0	145,4	-7,3
200 mm iso. kl. 27, U = 0,10 W/m ² K	120,6	9,7	0,0	144,7	-8,0
200 mm iso. kl. 17, U = 0,07 W/m ² K	119,7	9,7	0,0	143,9	-8,8

Betragtes resultaterne i tabel 6 – 9, er det igen tydeligt at det er ret begrænset hvor store ekstra energibesparelser der kan opnås ved at anvende bedre isolerende materialer. Den ekstra energibesparelse der opnås varierer fra ca. 0,4 – 1,1 % ved ét spring i varmeledningsevne, og igen forekommer de største ændringer for enfamiliehusenes vedkommende

I forbindelse med efterisolering af loft/tag kan det dog visse steder være fordelagtigt at benytte nye isoleringsmaterialer med lav varmeledningsevne. Det kan eksempelvis være ved tagkonstruktioner med lav hældning, hvor der kun kan isoleres op til spærhøjden, her kan nye materialer være med til at sikre at minimumsisoleringskrav (U-værdier) kan overholdes. De nye bedre isoleringsmaterialer kan dermed være med til at sikre, at den oprindelige

tagudformning kan bibeholdes. Bedre isolerende materialer vil også kunne benyttes i samlingsdetaljer hvor det kun er meget lidt plads, og dermed være med til at sikre at man undgår kuldebroer i de efterisolerede konstruktioner.

Terrændæk

Det er ikke umiddelbart muligt at efterisolere et terrændæk uden at hele den eksisterende konstruktion fjernes. Derfor regnes der ikke på besparelsmuligheder for denne bygningsdel. Efterisolering af terrændækket kan anbefales når det eksisterende gulv, ved renovering skal fjernes som f.eks. ved etablering af gulvvarme. I den forbindelse bør det overvejes at fjerne det eksisterende terrændæk og etablere nyt med anbefalet isoleringstykkel.

Herudover kan isoleringsmaterialerne med lav varmeisoleringssevne med fordel benyttes til efterisolering under eksempelvis trægulve i enfamiliehuse, hvor der vil være begrænset plads. Hvis der i forvejen er isolering under gulvet kan dette skiftes til en bedre type i forbindelse med renovering af gulvene og dermed kan komforten øges i form af reduceret fodkulde. Hvis der ikke er isolering i forvejen vil isoleringen have endnu større effekt.

Etageadskillelse mod uopvarmet kælder

Hvordan en etageadskillelse mod uopvarmet kælder vil kunne efterisoleres afhænger af opbygningen af konstruktionen. Hvis der er tale om en dækkonstruktion, vil man kunne efterisolere på oversiden såfremt der er gulv på strøer (se under terrændæk), eller alternativt på undersiden hvis kældersens højde tillader det. Hvis der er tale om en konstruktion med bjælkelag, vil det normalt kunne lade sig gøre at isolere mellem bjælkerne, og om nødvendigt og muligt kan der tilføjes ekstra isolering på undersiden af konstruktionen.

Der er ikke kælder i parcelhuset fra 60'erne. For parcelhuset og etageboligen fra 30'erne er etageadskillelsen opbygget som et uisolere træbjælkelag med lerinskud og for etageboligen fra 60'erne er der tale om en 200 mm betondækkonstruktion. I de to bygninger fra 30'erne fjernes lerinskuddet og erstattes med 75 mm isolering og i etageboligen fra 60'erne opsættes der 100 mm isolering på undersiden af dækket.

Tabel 10. Enfamiliehus 30'erne. 75 mm isolering i etageadskillelse til kælder.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,023 W/m ² K	432,1	2,6	0,0	438,6	
75 mm iso. kl. 37, U = 0,40 W/m ² K	413,7	2,5	0,0	420,0	-18,6
75 mm iso. kl. 27, U = 0,35 W/m ² K	408,7	2,5	0,0	414,9	-23,7
75 mm iso. kl. 17, U = 0,28 W/m ² K	402,9	2,5	0,0	409,0	-29,6

Tabel 11. Etagebolig 30'erne. 75 mm isolering i etageadskillelse til kælder.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,02 W/m ² K	211,5	0,4	0,0	212,4	
75 mm iso. kl. 37, U = 0,40 W/m ² K	209,4	0,4	0,0	210,3	-2,1
75 mm iso. kl. 27, U = 0,35 W/m ² K	209,2	0,4	0,0	210,1	-2,3
75 mm iso. kl. 17, U = 0,28 W/m ² K	208,9	0,4	0,0	209,8	-2,6

Tabel 12. Etagebolig 60'erne. 100 mm isolering i etageadskillelse til kælder.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,52 W/m ² K	128,5	9,7	0,0	152,7	
100 mm iso. kl. 37, U = 0,30 W/m ² K	121,5	9,7	0,0	145,7	-7,0
100 mm iso. kl. 27, U = 0,23 W/m ² K	120,9	9,7	0,0	145,0	-7,7
100 mm iso. kl. 17, U = 0,15 W/m ² K	120,1	9,7	0,0	144,2	-8,5

Hvis man betragter resultaterne i tabel 10 kan det ses, at anvendelsen af bedre isolerende materialer i etageadskillelsen for parcelhuset fra 30'erne giver en væsentlig forøgelse af energibesparelsen. Dette skyldes, at der kun er plads til 75 mm isolering, og dermed bliver den lavere varmeledningsevne af større betydning end den gjorde for hhv. ydervæg og loft, hvor tykkelsen af efterisoleringen kunne være større. I tabel 11 – 12, kan det ses at der kun er tale om ganske små ekstra besparelser ved at anvende bedre isolerende materialer, og overvejslen om anvendelse af bedre isolerende materialer bør derfor i højere grad handle om komfort end egentlige energibesparelser. Årsagen til den lave effekt er, at etageadskillelsen udgør et relativt lille areal sammenlignet med den øvrige klimaskærm, samtidig med at etageadskillelsen vender mod et uopvarmet rum i stedet for udeklimaet.

Kælderydervægge

Idet ingen af bygningerne har en opvarmet kælder vil efterisolering af kælderydervæggene umiddelbart kun have en mindre betydning for bygningernes samlede energibehov. Her er det naturligvis vigtigt at nævne, at efterisoleringen af kælderydervæggene ligeledes vil påvirke temperaturforholdene i kælderen, og dermed eventuelle installationer, rør mv. der er placeret her.

Parcelhuset fra 60'erne har, som tidligere nævnt, ikke kældre. I de øvrige bygninger tilføjes der 100 mm udvendig isolering på kælderydervæggene, hvorved både kælderydervæggens U-værdi og kuldebroen ved fundament reduceres væsentligt.

Tabel 13. Enfamiliehus 30'erne. 100 mm isolering udvendig på kælderydervægge.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,243 W/m ² K	432,1	2,6	0,0	438,6	
100 mm iso. kl. 37, U = 0,29 W/m ² K	400,3	2,5	0,0	406,5	-32,1
100 mm iso. kl. 27, U = 0,22 W/m ² K	397,2	2,4	0,0	403,3	-35,3
100 mm iso. kl. 17, U = 0,15 W/m ² K	393,8	2,4	0,0	399,9	-38,7

Tabel 14. Etagebolig 30'erne. 100 mm isolering udvendig på kælderydervægge.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,13 W/m ² K	211,5	0,4	0,0	212,4	
100 mm iso. kl. 37, U = 0,29 W/m ² K	205,6	0,4	0,0	206,5	-5,9
100 mm iso. kl. 27, U = 0,22 W/m ² K	205,1	0,4	0,0	206,0	-6,4
100 mm iso. kl. 17, U = 0,15 W/m ² K	204,4	0,4	0,0	205,3	-7,1

Tabel 15. Etagebolig 60'erne. 100 mm isolering udvendig på kælderydervægge.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 1,28 W/m ² K	128,5	9,7	0,0	152,7	
100 mm iso. kl. 37, U = 0,29 W/m ² K	121,9	9,7	0,0	146,1	-6,6
100 mm iso. kl. 27, U = 0,22 W/m ² K	121,4	9,7	0,0	145,5	-7,2
100 mm iso. kl. 17, U = 0,15 W/m ² K	120,8	9,7	0,0	144,9	-7,8

Tabel 13 – 15 viser, at der kun er relativt små ekstra besparelser at hente ved at efterisolere kælderydervæggene med bedre isolerende materialer. Dette skyldes naturligvis primært at der er tale om uopvarmede kældre.

Kuldebroer

Der er i nærværende rapport ikke gennemført separate analyser af kuldebroernes betydning for bygningernes samlede energibehov, eller mulighederne for at efterisolere og dermed reducere kuldebroer i bygningerne. Der er til gengæld, i forbindelse med de tiltag hvor det er relevant, taget højde for

at kuldebroer reduceres når der efterisoleres. F.eks. reduceres kuldebroen ved fundament når der isoleres udvendigt på ydervæg/kælderydervæg osv.

Lufttæthed

Lufttætheden af klimaskærmen har en stor betydning for bygningens samlede energibehov, og dette bliver desto mere udtalt i takt med at bygningens klimaskærm og installationer forbedres. Derfor vil en generel tætning af bygningen være relevant i forbindelse med at øvrige tiltag gennemføres. Erfaringer fra gennemgribende energireoveringsprojekter viser, at man i nogle tilfælde kan opnå en tæthed, som er helt på højde med nybyggeri. Det gælder f.eks. i projektet EnergiParcel (EnergiParcel, Statusrapport august 2010), som er udført i samarbejde med AAU, hvor lufttætheden af et parcelhus fra 70'erne før en gennemgribende renovering blev målt til 6,4 l/s·m² og efter renoveringen målt til 0,97 l/s·m², hvilket overholder BR10 (Bygningsreglement 2010) kravet til lufttæthed for lavenergibygninger klasse 2015 på 1,0 l/s·m² (BR10, afsnit 7.2.1 stk. 4). Udskiftning af vinduer i sig selv medfører ofte en væsentlig bedre tæthed af klimaskærmen, og derfor må det forventes, at man uden væsentlige økonomiske eller tekniske barrierer vil kunne opnå en høj grad af tæthed i en stor del af de energireoverede bygninger.

I denne analyse vurderes det i første omgang, hvilken betydning det har for energibehovet i de fire bygninger hvis tætheden for bygningerne kommer op på et niveau svarende til nybyggeriet efter BR10 (dvs. tæthedskravet på 1,5 l/s pr. m² ved trykprøvning med 50 Pa).

Tabel 16. Enfamiliehus 30'erne. Forbedring af tæthed af bygning.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, q _n = 0,45 l/s pr. m ²	432,1	2,6	0,0	438,6	
Bedre tæthed, q _n = 0,30 l/s pr. m ²	411,8	2,5	0,0	418,1	-20,5

Tabel 17. Enfamiliehus 60'erne. Forbedring af tæthed af bygning.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, q _n = 0,45 l/s pr. m ²	239,4	1,9	0,0	244,3	
Bedre tæthed, q _n = 0,30 l/s pr. m ²	219,3	1,8	0,0	223,9	-20,4

Tabel 18. Etagebolig 30'erne. Forbedring af tæthed af bygning.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, q _n = 0,45 l/s pr. m ²	211,5	0,4	0,0	212,4	
Bedre tæthed, q _n = 0,30 l/s pr. m ²	192,3	0,4	0,0	193,3	-19,1

I bygningen fra 60'erne er der som udgangspunkt mekanisk udsugning fra køkken og bad med samlet luftskifte på 0,5 l/s pr. m². I denne situation sættes der styring på, som sikrer et samlet luftskifte på 0,3 l/s pr. m² og samtidig installeres der mere energieffektive ventilatorer.

Tabel 19. Etagebolig 60'erne. Forbedring af luftskifte i bygning.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, q _m = 0,50 l/s pr. m ²	128,5	9,7	0,0	152,7	
Bedre tæthed, q _m = 0,30 l/s pr. m ²	103,3	6,1	0,0	118,6	-34,1

Tabel 16-18 viser hvor stor en betydning bygningens tæthed og kontrol med luftskiftet har for det samlede energibehov. I de tre bygninger med naturlig ventilation medfører tætning af klimaskærmen ca. samme energibesparelse. Dermed er det tydeligt, at betydningen er størst i de bygninger, der har det laveste energibehov. For etageboligen fra 60'erne er den samlede energibe-

sparelse ca. 50 % større, og dette skyldes den ekstra elbesparelse der opnås ved at udskifte de gamle ineffektive ventilatorer i anlægget.

Vinduer

Udviklingen indenfor vinduer forudses ikke at give væsentlige forbedringer ift. energieffektiviteten frem mod 2020, og hermed tages der for nærværende udgangspunkt i en løsning, som svarer til de bedste vinduer på markedet i dag, dvs. en 3-lags energirude med en U-værdi på 0,80 W/m²K og en sol-energitransmittans på 0,62.

I denne analyse er der, som angivet i afsnittet om lufttæthed, taget højde for at vinduesudskiftning ofte samtidig vil øge tætheden af bygningen således, at der regnes med en bedre tæthed, $q_n = 0,30$ l/s pr. m².

Tabel 20. Enfamiliehus 30'erne. Udskiftning af vinduer til A-mærkede.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 2,70 W/m ² K, g = 0,75	432,1	2,6	0,0	438,6	
A-vinduer, U = 0,80 W/m ² K, g = 0,62	386,8	2,4	0,0	392,7	-45,9

Tabel 21. Enfamiliehus 60'erne. Udskiftning af vinduer til A-mærkede.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 2,70 W/m ² K, g = 0,75	239,4	1,9	0,0	244,3	
A-vinduer, U = 0,80 W/m ² K, g = 0,62	198,6	1,7	0,0	202,8	-41,5

Tabel 22. Etagebolig 30'erne. Udskiftning af vinduer til A-mærkede.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 2,70 W/m ² K, g = 0,75	211,5	0,4	0,0	212,4	
A-vinduer, U = 0,80 W/m ² K, g = 0,62	175	0,4	0	175,9	-36,5

Tabel 23. Etagebolig 60'erne. Udskiftning af vinduer til A-mærkede.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, U = 2,70 W/m ² K, g = 0,75	128,5	9,7	0,0	152,7	
A-vinduer, U = 0,80 W/m ² K, g = 0,62	75,9	6,1	0	91,2	-61,5

Udskiftning af de traditionelle termovinduer til nye A-mærkede lavenergivinduer og samtidig forbedring af tætheden i bygningerne reducerer energibehovet med 10 – 40 %, og de største relative besparelser opnås i bygningerne fra 60'erne. Reduktionen er mindst i enfamiliehuset fra 30'erne, hvilket skyldes at klimaskærmen har et stort varmetab og at vinduerne kun udgør en lille del af den samlede klimaskærm.

Glasfacader, solafskærmning og belysning

Glasfacader og solafskærmning er mindre relevant i nærværende sammenhæng idet der er tale om boliger. Teknologierne anvendes typisk i kontorbygninger eller lignende, hvor der på grund af et højt internt varmetilskud kombineret med store glaspartier kan være risiko for overtemperaturer og dermed køling i bygningen.

Belysning medtages ikke i energiberegninger for boliger, og derfor behandles dette område ikke videre i nærværende analyse.

Udviklingsmulighederne indenfor glasfacader, solafskærmning og belysning er behandlet i "Task Force. Netværk for energireovering".

Forbedringer for installationer

I forbindelse med installationer, er der adskillige områder hvor udviklingen i øjeblikket og de kommende år vil bibringe en øget energieffektivitet og dermed kan være medvirkende til at nedbringe energiforbruget i eksisterende bygninger. I "Task Force. Netværk for energirenovering" er gennemgået den forventede udvikling på området, og nedenfor er kort opsummeret for de områder, som har relevans i nærværende sammenhæng.

I forbindelse med traditionelle mekaniske ventilationssystemer med varmegenvinding forventes det, at SEL-værdien reduceres til 500-600 J/m³, mens effektiviteten af genvindingen formentlig ikke ændres nævneværdigt. Nuværende anlæg har en temperatureffektivitet på 85 – 90 %, og der kan på kolde dage være risiko for tilisning af varmeveksleren ved højeste effektivitet. Derfor må forbedringer af effektiviteten også fokusere på at løse problemerne omkring risikoen for tilisning (tab af effektivitet).

Etablering af traditionel mekanisk ventilation med varmegenvinding i eksisterende bygninger kan være vanskeligt, dels i forhold til placeringen af aggregatet og dels i forhold til føring af ventilationskanaler. I sådanne situationer kan det være en mulighed at overveje decentral ventilation, og i øjeblikket eksisterer og udvikles der flere gode løsninger.

Solvarmeanlæg til opvarmning af varmt brugsvand, er også en mulighed for at reducere energibehovet i bygninger, og specielt i forbindelse med større bygninger er potentialet stort. Endvidere fremgår det af "Analyse 6. Komponentkrav, konkurrence og eksport, En kortlægning af innovation i byggekomponenter" at ydelsen af solvarmeanlæg i løbet af de kommende år, frem mod 2020, forventes at kunne forbedres med mellem 30 – 50 %. I nærværende analyse betragtes udelukkende solvarmeanlæg til produktion af varmt brugsvand, og potentialet beregnes for de to etageboliger.

I forbindelse med varmepumper er udviklingen i øjeblikket mest rettet mod kombinationer med andre teknologier og i mindre grad på optimering af effektiviteten. Det forventes dog, at COP vil kunne forhøjes med ca. 10 % henover de kommende år, og samtidig forventes el-effektivisering af pumperne ligeledes at kunne nedbringe elforbruget til automatik, stand-by mv. med ca. 10 %. Udviklingen går samtidig i retning af kapacitetsregulering, hvilket medfører en væsentlig forbedring af den relative COP (coefficient of performance) og dermed varmepumpernes energieffektivitet. Kapacitetsregulering (eller omdrejningstalsregulering) giver i dag en relativ COP på 1,4 for luft/luft varmepumper og 1,2 for jordvarmepumper (mod hhv. 0,8 og 0,9 ved traditionel on/off styring).

De bedste cirkulationspumper man kan få i dag, opfylder allerede forventede europæiske krav i 2020, og hermed bliver 3 W cirkulationspumper standard. For nærværende regnes med cirkulationspumper med en nominal effekt på 45 W og en reduktionsfaktor på 0,4. Dette svarer til en pumpe med automatisk styring og et energiforbrug svarende til de bedste pumper på markedet i dag.

Ventilation

Bygningerne har som udgangspunkt enten naturlig ventilation eller mekanisk udsugning fra køkken/bad, og i begge tilfælde regnes der med at luftskiftet ligger noget over det niveau der kræves i BR10. Hermed vil installation af mekanisk ventilation med varmegenvinding kombineret med en generel tætning af bygningen medføre en relativt stor reduktion i energibehovet.

I forbindelse med "Task Force. Netværk for energireovering" er det fastlagt, at mekaniske ventilationssystemer med varmegenvinding formentlig vil nå ned på lavere elbehov inden 2020, samtidig med at genvindingsgraden for aggregaterne vil fastholdes og evt. forbedres en anelse.

For nærværende benyttes for enfamiliehusene 90 % VGV og SEL 0,6 kJ/m³, og for etageboligerne benyttes 85 % VGV og SEL 0,8 kJ/m³.

Tabel 24. Enfamiliehus 30'erne. Indføring af mekanisk ventilation med varmegenvinding på 90 %.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	432,1	2,6	0,0	438,6	
Mek. vent., $\eta = 0,9$ og SEL = 0,6	394,3	4,0	0,0	404,4	-34,2

Tabel 25. Enfamiliehus 60'erne. Indføring af mekanisk ventilation med varmegenvinding på 90 %.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Mekanisk udsugning	239,4	1,9	0,0	244,3	
Mek. vent., $\eta = 0,9$ og SEL = 0,6	200,8	3,3	0,0	209,0	-35,3

Tabel 26. Etagebolig 30'erne. Indføring af mekanisk ventilation med varmegenvinding på 85 %.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	211,5	0,4	0,0	212,4	
Mek. vent., $\eta = 0,85$ og SEL = 0,8	176,9	2,5	0,0	183,1	-29,3

Tabel 27. Etagebolig 60'erne. Indføring af mekanisk ventilation med varmegenvinding på 85 %.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Mekanisk udsugning	128,5	9,7	0,0	152,7	
Mek. vent., $\eta = 0,85$ og SEL = 0,8	87,3	4,1	0,0	97,6	-55,1

Installation af ventilation med varmegenvinding medfører generelt store energibesparelser, men det kan være vanskeligt at installere de traditionelle anlæg i eksisterende bygninger pga. pladsmangel og derfor er det relevant også at vurdere alternativer hertil.

Der findes umiddelbart to teknologier som kan sammenlignes med den traditionelle ventilation med varmegenvinding; 1) små ventilationsenheder som kan tilføjes i de enkelte rum og som genvinder en vis del af energien fra den ventilerede luft (f.eks. MicroVent) og 2) ventilationsvinduer som forvarmer ventilationsluften ved at lade den passere mellem glaslagene i vinduet (f.eks. ClimaWin).

De små ventilationsenheder har typisk en tør virkningsgrad (varmegenvindingsgrad) på mere end 85 % og elforbruget (SEL-værdien) ligger på ca. 300 J/m³. Der er imidlertid en række begrænsninger i brugen af de små enheder, idet de dels kræver at bygningens beboelsesrum i høj grad ligger ved facaderne og samtidig er de meget påvirkelige overfor støj, forurening, vindforhold mv., og dermed kan der være situationer hvor de små anlæg ikke er egnede.

Tabel 28. Enfamiliehus 30'erne. Installation af MicroVent ventilationsanlæg.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	432,1	2,6	0,0	438,6	
MicroVent, $\eta = 0,85$ og SEL = 0,3	394,3	4,3	0,0	405,1	-33,5

Tabel 29. Enfamiliehus 60'erne. Installation af MicroVent ventilationsanlæg.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Mekanisk udsugning	239,4	1,9	0,0	244,3	
MicroVent, $\eta = 0,85$ og SEL = 0,3	202,8	2,5	0,0	209,1	-35,2

Tabel 30. Etagebolig 30'erne. Installation af MicroVent ventilationsanlæg.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	211,5	0,4	0,0	212,4	
MicroVent, $\eta = 0,85$ og SEL = 0,3	176,9	1,1	0,0	179,8	-32,6

Tabel 31. Etagebolig 60'erne. Installation af MicroVent ventilationsanlæg.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Mekanisk udsugning	128,5	9,7	0,0	152,7	
MicroVent, $\eta = 0,85$ og SEL = 0,3	87,3	2,8	0,0	94,3	-58,4

Generelt bliver de opnåede energibesparelser en anelse højere end ved anvendelse af traditionelle mekaniske ventilationsanlæg, og dette skyldes det noget lavere elforbrug, som er nødvendigt i de små anlæg.

For ventilationsvinduerne vedkommende gælder der naturligvis nogle af de samme begrænsninger som for de små ventilationsenheder, idet systemet baserer sig på bygningens facade. Ventilationsvinduerne har 3 lag glas og de to inderste glaslag er udformet som en traditionel 2-lags rude. Ventilationen foretages gennem vinduet mellem den indvendige rude og det udvendige glaslag, og kan styres således at luften kan passere mellem glassene eller direkte gennem rammekonstruktionen. Systemet har en gennemsnitlig temperaturvirkningsgrad på ca. 65 %, og der er ikke behov for el til at drive ventilationen. Vinduet i sig selv har en U-værdi på 1,20 W/m²K og en solenergitransmittans på 0,60.

Tabel 32. Enfamiliehus 30'erne. Installation af ClimaWin ventilationsvinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	432,1	2,6	0,0	438,6	
ClimaWin, $\eta = 0,65$ og SEL = 0 U = 1,2 W/m ² K, g = 0,6	385,1	2,4	0,0	391,1	-47,5

Tabel 33. Enfamiliehus 60'erne. Installation af ClimaWin ventilationsvinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	239,4	1,9	0,0	244,3	
ClimaWin, $\eta = 0,65$ og SEL = 0 U = 1,2 W/m ² K, g = 0,6	181,9	1,6	0,0	185,8	-58,5

Tabel 34. Etagebolig 30'erne. Installation af ClimaWin ventilationsvinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	211,5	0,4	0,0	212,4	
ClimaWin, $\eta = 0,65$ og SEL = 0 U = 1,2 W/m ² K, g = 0,6	174,6	0,4	0,0	175,5	-36,9

Tabel 35. Etagebolig 60'erne. Installation af ClimaWin ventilationsvinduer.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Mekanisk udsugning	128,5	9,7	0,0	152,7	
ClimaWin, $\eta = 0,65$ og SEL = 0 U = 1,2 W/m ² K, g = 0,6	79,0	0,9	0,0	81,2	-71,5

Resultaterne i tabel 32 – 35 viser at ClimaWin vinduet giver mulighed for relativt store energibesparelser. Sammenlignes resultaterne med tilsvarende for hhv. det traditionelle ventilationsanlæg med varmegenvinding og MicroVent systemet, bliver besparelserne her væsentligt højere. Det skyldes, at der i forbindelse med installation af ClimaWin vinduerne dels indføres ventilation med varmegenvinding, som ikke kræver el til at drive ventilationen, og dels at der samtidig sker en udskiftning af de gamle termovinduer til nye med væsentligt lavere U-værdi. I beregningerne er det ligeledes antaget at bygningerne bliver mere tætte, således at de overholder kravene til tæthed for nybyggeri.

Solvarmeanlæg

Solvarmeanlæg til større varmtvandsforbrug kan medvirke til at nedbringe energiforbruget i etageboligerne. Den forventede udvikling i solvarmeanlæg til større varmtvandsforbrug er behandlet i "Analyse 6. Komponentkrav, konkurrence og eksport", hvor der bl.a. peges på forventede udviklingspunkter/energieffektivisering indenfor skift til low-flow anlæg (frem for high-flow anlæg, som typisk anvendes i dag), anvendelse af antirefleksionsbehandling af dækglasser, seriekobling af forskellige solfangertyper og placering af rørtilslutninger i bunden af varmelager samt yderligere reduktion af varmetabet fra varmelageret. Det forventes, at man ved denne udvikling samlet set kan forbedre ydelsen for solvarmeanlæg med 30 – 50 %. I nærværende analyse regnes med en forbedring på ca. 30 %.

I etageboligen fra 30'erne opsættes et solvarmeanlæg med 50 m² solfanger og i etageboligen fra 60'erne opsættes 80 m² solfanger.

Tabel 36. Etagebolig 30'erne. Installation af solvarmeanlæg.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Naturlig ventilation	211,5	0,4	0,0	212,4	
50 m ² solfanger, 2010	202,5	0,5	0,0	203,6	-8,8
50 m ² solfanger, 2020	199,1	0,5	0,0	200,3	-12,1

Tabel 37. Etagebolig 60'erne. Installation af solvarmeanlæg.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Mekanisk udsugning	128,5	9,7	0,0	152,7	
80 m ² solfanger, 2010	119,5	9,7	0,0	143,7	-9,0
80 m ² solfanger, 2020	117,5	9,7	0,0	141,7	-11,0

Resultaterne i tabel 36 og 37 viser at energibesparelserne er i størrelsesordenen 4,0 – 4,5 % for de anlæg som anvendes i dag, mens energibesparelsen for de anlæg som forventes at blive installeret i 2020 er ca. 5,5 – 6,0 % af det samlede energibehov i bygningerne. Dette stemmer meget godt overens med forventningen om at ydelsen for anlæggene vil stige med mindst 30 % over de kommende år.

Varmepumper

I begge parcelhuse er der som udgangspunkt installeret gamle ineffektive oliekedler til opvarmning via radiatorer og produktion af varmt brugsvand. I beregningerne erstattes varmeinstallationen med en jordvarmepumpe til opvarmning og produktion af varmt brugsvand. Varmepumpen, svarende til de som kan købes i dag, har en COP på 3,4 og en relativ COP ved 50 % last på 1,2 (svarende til en kapacitetsreguleret pumpe). De varmepumper man vil kunne få i 2020, forventes at kunne nå en COP på ca. 3,74, svarende til en stigning i COP på 10 %, og samtidig vil elforbruget til styring mv. nedbringes med 10 %. I tabellerne nedenfor er opstillet resultater for to situationer, sva-

rende til hhv. de bedste jordvarmepumper der findes i dag og de forventede forbedringer frem mod 2020.

Tabel 38. Parcelhus 30'erne. Installation af jordvarmepumpe.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Oliefyr, $\eta = 0,85$	432,1	2,6	0,0	438,6	
Jordvarmepumpe, COP = 3,40 Relativ COP ved 50 % last = 1,2	0,0	96,9	0,0	242,2	-196,4
Jordvarmepumpe, COP = 3,74 Relativ COP ved 50 % last = 1,2	0,0	88,1	0,0	220,2	-218,4

Tabel 39. Parcelhus 60'erne. Installation af jordvarmepumpe.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, Oliefyr, $\eta = 0,85$	239,4	1,9	0,0	244,3	
Jordvarmepumpe, COP = 3,4 Relativ COP ved 50 % last = 1,2	0,0	56,0	0,0	140,0	-104,3
Jordvarmepumpe, COP = 3,74 Relativ COP ved 50 % last = 1,2	0,0	50,9	0,0	127,2	-117,1

Resultaterne i tabel 38 og 39 viser, at forventningerne til udviklingen indenfor effektiviteten af jordvarmepumper (og varmepumpeteknologien i det hele taget) vil medføre væsentlige forbedringer af energieffektiviteten. I de to eksempler, som er medtaget her, medfører forøgelsen af energieffektiviteten en forøgelse af energibesparelsen i bygningerne på ca. 11 – 12 %

Cirkulationspumper

I etageejendommene er der installeret cirkulationspumpe til det varme brugsvand. Pumpen kan udskiftes til en mere energieffektiv pumpe med automatisk styring. Som udgangspunkt er der tale om en pumpe med en effekt på 150 W og en reduktionsfaktor på 1,0, hvilket svarer til en pumpe, som er i konstant drift. Pumpen udskiftes med en pumpe med en nominal effekt på 45 W og en reduktionsfaktor på 0,4, svarende til en med automatisk styring.

Tabel 40. Etagebolig 30'erne. Installation af ny cirkulationspumpe.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, 150 W, $F_p = 1,0$	211,5	0,4	0,0	212,4	
Ny cirk. pumpe, P = 45 W, $F_p = 0,4$	207,3	0,2	0,0	207,8	-4,6

Tabel 41. Etagebolig 60'erne. Installation af ny cirkulationspumpe.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, 150 W, $F_p = 1,0$	128,5	9,7	0,0	152,7	
Ny cirk. pumpe, P = 45 W, $F_p = 0,4$	125,9	8,9	0,0	148,1	-4,6

Varme rør

I begge etageboliger samt parcelhuset fra 30'erne er varmeinstallationen og dermed også en del af varmfordelingsrørene placeret i kælderen. Rørene er som udgangspunkt isoleret med 10 mm gammel isolering. Der laves en beregning hvor den gamle isolering erstattes af 75 mm ny rørisolering.

Tabel 42. Parcelhus 30'erne. Efterisolering af rør i varmeinstallation.

kWh/m ² pr. år	Varme	EI	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, 10 mm isolering	432,1	2,6	0,0	438,6	
Ny rørisolering 75 mm	401,7	2,5	0,0	407,9	-30,7

Tabel 43. Etagebolig 30'erne. Efterisolering af rør i varmeinstallation.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, 10 mm isolering	211,5	0,4	0,0	212,4	
Ny rørisolering 75 mm	207,7	0,4	0,0	208,6	-3,8

Tabel 44. Etagebolig 60'erne. Efterisolering af rør i varmeinstallation.

kWh/m ² pr. år	Varme	El	Overtemp.	Energibehov	Ændring
Reference, 10 mm isolering	128,5	9,7	0,0	152,7	
Ny rørisolering 75 mm	126,4	9,7	0,0	150,6	-2,1

Tabel 42 – 44 viser, at der er relativt store besparelser at hente ved at bruge ny isolering på rørene i den uopvarmede kælder, specielt i parcelhuset. I dette tilfælde er anvendt 75 mm isolering. Hvis man i stedet havde brugt isolering med en lavere varmeledningsevne, svarende f.eks. til niveau 2 under gennemgangen af klimaskærmskonstruktionerne ($\lambda = 0,027 \text{ W/mK}$), så ville man have kunnet nøjes med at bruge ca. 55 mm isolering for at opnå samme effekt. Det medfører, at det oftere bliver udførelsesmæssigt muligt at opnå en god og effektiv varmeisolering af varmerør, også selvom der er begrænset plads til isolering.

Eksempler på samlet besparelspotentiale

På baggrund af analyserne i det foregående kapitel, kan der opstilles eksempler på samlede besparelspotentiale for forskellige pakker af energirenoveringsløsninger, som afspejler den forventede udvikling i teknologierne. De opnåede energibesparelser i de enkelte pakkedløsninger kan herefter sammenholdes med tilsvarende energibesparelser for pakkedløsninger, som svarer til de løsninger der kan realiseres i dag, og derved kan potentialet frem mod 2020 fastlægges.

Parcelhus 30'erne

I tabellen nedenfor er vist en pakkedløsning for parcelhuset fra 30'erne, og resultaterne er givet dels for de løsninger som findes på markedet i dag (2010) og de løsninger som forventes i fremtiden (2020). I tabellen er vist energibehovet i bygningen for hvert skridt i energirenoveringen. Tiltag markeret med "*" angiver at der er benyttet samme data for begge beregninger, svarende til at der ikke forventes en nævneværdig udvikling for tiltaget indenfor de kommende år.

Tabel 45. Parcelhus 30'erne. Energiforbrug i kWh/m² pr. år for pakkedløsning.

Tiltag	2010	2020
Udgangspunkt:	438,6	438,6
1. Rørisolering*	407,9	407,9
2. Ydervæg	279,4	272,6
3. Loft	230,9	220,6
4. Etageadskillelse	204,6	190,7
5. Tæthed*	183,8	169,6
6. Vinduer*	157,8	143,9
7. Mek. vent. m. VGV	145,3	130,3
8. Jordvarmepumpe	76,8	62,8
Samlet energibesparelse	361,8	375,8

Resultaterne i tabellen viser, at man ved den pågældende pakkedløsning i 2020 vil kunne opnå en ekstra energibesparelse på ca. 14 kWh/m² pr. år, hvilket svarer til ca. 4 %. Der er tale om en ret beskeden ændring, og stort set hele ekstra-besparelsen stammer fra tiltag, der vedrører isolering af klimaskærmen.

Parcelhus 60'erne

I tabellen nedenfor vises pakkedløsningen for parcelhuset fra 60'erne. I tabellen er energibehovet i bygningen vist for hvert skridt i energirenoveringen. Tiltag markeret med "*" angiver, at der er benyttet samme data for begge beregninger, svarende til at der ikke forventes en nævneværdig udvikling for tiltaget indenfor de kommende år.

Tabel 46. Parcelhus 60'erne. Energibehov i kWh/m² pr. år for pakkelse.

Tiltag	2010	2020
Udgangspunkt:	244,3	244,3
1. Ydervæg	213,7	209,7
2. Loft	184,2	177,6
3. Tæthed*	164,4	157,7
4. Vinduer*	124,1	117,5
5. Mek. vent. m. VGV	112,5	104,6
6. Jordvarmepumpe	68,9	58,6
Samlet energibesparelse	175,4	185,7

For pakkelsen til parcelhuset fra 60'erne opnås der en ekstra energibesparelse på 10,3 kWh/m² pr. år, hvilket svarer til ca. 6 % af den samlede energibesparelse. Igen er det isolering af klimaskærmen, der er medvirkende til at opnå den ekstra besparelse, men jordvarmepumpen giver det største enkeltbidrag til reduktionen i energibehovet.

Etagebolig 30'erne

I tabellen nedenfor vises pakkelsen for etageboligen fra 30'erne. I tabellen er energibehovet i bygningen vist for hvert skridt i energirenoeringen. Tiltag markeret med "*" angiver, at der er benyttet samme data for begge beregninger, svarende til at der ikke forventes en nævneværdig udvikling for tiltaget indenfor de kommende år.

Tabel 47. Etagebolig 30'erne. Energibehov i kWh/m² pr. år for pakkelse.

Tiltag	2010	2020
Udgangspunkt:	212,4	212,4
1. Rørisolering*	208,6	208,6
2. Ydervæg	133,4	130,6
3. Loft	107,5	104,1
4. Etageadskillelse	104,5	103,1
5. KlimaWin*	70,7	67,6
6. Solvarme	61,6	54,8
7. Cirkulationspumpe*	56,8	48,6
Samlet energibesparelse	155,6	163,8

Eksemplet med pakkelsen for etageboligen fra 30'erne viser, at man i 2020 vil kunne forvente en ekstra energibesparelse på 8,2 kWh/m² pr. år, hvilket svarer til ca. 5 % af den samlede energibesparelse. Udover de ekstra energibesparelser, der opnås ved isolering af klimaskærmen, er det også forbedringen af solvarmeanlæggets ydelse, der er medvirkende til at opnå den ekstra besparelse.

Etagebolig 60'erne

I tabellen nedenfor vises pakkelsen for etageboligen fra 60'erne. I tabellen er energibehovet i bygningen vist for hvert skridt i energirenoeringen. Tiltag markeret med "*" angiver, at der er benyttet samme data for begge beregninger, svarende til at der ikke forventes en nævneværdig udvikling for tiltaget indenfor de kommende år.

Tabel 48. Etagebolig 60'erne. Energiforbrug i kWh/m² pr. år for pakkeløsning.

Tiltag	2010	2020
Udgangspunkt:	152,7	152,7
1. Rørisolering*	150,6	150,6
2. Ydervæg	138,5	137,1
3. Loft	131,5	129,4
4. Etageadskillelse	123,6	120,8
5. MicroVent*	67,9	65,3
6. Vinduer*	44,8	42,8
7. Solvarme	37,6	33,4
8. Cirkulationspumpe*	32,5	27,3
Samlet energibesparelse	120,2	125,4

Pakkeløsningen for etageboligen fra 60'erne viser en forventet forøgelse af energibesparelsen på ca. 5,2 kWh/m² pr. år, hvilket svarer til ca. 4 % af den samlede energibesparelse. I dette tilfælde betyder efterisolering af klimaskærmen knapt så meget, og solvarmeanlægget er den primære grund til at der opnås en ekstra besparelse.

Sammenfatning

Nærværende rapport har haft til formål at vurdere, i hvilken udstrækning det vil være muligt med nye og eksisterende bygnings- og installationsteknologier yderligere at reducere energibehovet i eksisterende boliger ved udvikling af bedre komponenter, som kan anvendes ved fremtidige energireoveringer.

Bygningsdele

Analyserne viser, at der i forbindelse med forbedringer af traditionelle bygningsdele kun i begrænset omfang er mulighed for yderligere energibesparelser. Dette hænger sammen med, at forbedringerne i materialerne, på trods af at varmeledningsevnen for isoleringsmaterialer er blevet væsentligt lavere, kun i relativt beskeden grad forøger energibesparelserne. I tabel 49 er sammenfattet de forventede ekstra energibesparelser for bygningsdele.

Tabel 49. Sammenfatning af mer-energibesparelser for bygningsdele i %. (ved ét spring i isoleringens varmeledningsevne, 0,037 W/mK → 0,027 W/mK).

Bygningsdel	Mer-besparelse
Ydervæg (150 mm isolering)	3,7 – 13,1 %
Loftskonstruktion (300 mm isolering)	3,0 – 9,6 %
Etageadskillelse (75 mm isolering)	9,5 – 27,4 %
Kælderydervægge (100 mm isolering)	8,5 – 10,0 %

Konklusionen er, at de bedre isolerende materialer giver mulighed for gode besparelser, så snart der er tale om konstruktioner, hvor der kun er begrænset plads til isolering, eller hvor det af æstetiske hensyn er nødvendigt at minimere isoleringstykkelsen, som f.eks. ved kviste, etageadskillelse, kælderydervægge eller i forbindelse med isolering under trægulve på strøer. For de konstruktioner som i forvejen indeholder isolering, eller hvor man kommer op i større isoleringstykkelser, giver de bedre materialer næsten ingen effekt. Energireovering vil ud over energibesparelsen forbedre den termiske komfort i boligerne, og det kan give ekstra incitament til at vælge en bedre isoleringstype ved renovering af konstruktioner med begrænset plads.

Installationer

For installationernes vedkommende viser analyserne i nærværende rapport, at den forventede udvikling på visse områder vil medføre muligheder for forøgede energibesparelser, men at hovedparten af installationsområdet kun udvikler sig relativt lidt gennem de kommende år frem mod 2020. I tabel 50 er opsummeret forventede ekstra energibesparelser for installationer.

Tabel 50. Sammenfatning af merenergibesparelser i % ved udvikling af energieffektiviteten.

Bygningsdel	Mer-besparelse
Solvarmeanlæg	22,2 – 37,5 %
Jordvarmepumpe	11,2 – 12,3 %

Konklusionen er her, at der i forbindelse med hhv. solvarmeanlæg og varmepumper generelt, forventes gode udviklingsmuligheder frem mod 2020, som kan medvirke til yderligere energibesparelser.

Herudover er der også en række produkter på ventilationsområdet, som giver nye muligheder for energibesparelser. Decentrale ventilationsanlæg (f.eks. MicroVent) og ventilationsvinduer (f.eks. ClimaWin) kan ses som mulige alternativer til traditionel mekanisk ventilation med varmegenvinding. Det vil kunne bruges f.eks. i bygninger, hvor der ikke er plads til de traditionelle løsninger (aggregat og kanalføring). Produkterne giver besparelser, som er sammenlignelige med tilsvarende for energieffektive traditionelle anlæg. Produkterne kan sikre bedre indeklima med etablering af ventilation, men der kan være steder, hvor de ikke kan bruges, da begge systemer er følsomme i forhold til støj og forurening.

Samlet energibesparelspotentiale

I rapporten er der også gennemført beregninger af samlede pakkeløsninger af energibesparende tiltag. Disse analyser viser, at den forventede forøgelse af energibesparelsen er ret beskeden, som følge af udviklingen. For parcelhusenes vedkommende forventes således en ekstra besparelse på mellem 4 – 6 % og for etageboligernes vedkommende forventes en ekstra besparelse på mellem 4 – 5 %.

Der er altså ikke noget der tyder på, at fremtidens bygnings- og installationsteknologier i væsentligt omfang vil kunne medvirke til yderligere reduktion af energibehovet i eksisterende bygninger i forhold til, hvad der kan opnås i dag. Til gengæld vil de nye teknologier på ventilationsområdet medføre, at flere bygninger vil kunne få installeret ventilation med varmegenvinding, hvilket vil udvide det samlede energireoveringspotentiale i Danmark væsentligt. Hertil bidrager også udviklingen i bedre isolerende materialer, som ligeledes vil medføre, at bygninger hvor det hidtil har været vanskeligt at få plads til isolering, eller hvor æstetiske hensyn har sat begrænsninger, vil kunne energireoveres mere gennemgribende. Samlet vil de nye bygnings- og installationsteknologier derfor også kunne øge komforten og kvaliteten af indeklimaet i de danske boliger.

Referencer

2011. Analyse 6. Komponentkrav, konkurrence og eksport, En kortlægning af innovation i byggekomponenter. Svend Svendsen m.fl., DTU BYG
http://www.ens.dk/da-DK/ForbrugOgBespareser/IndsatsIBygninger/lavenergiklasser/Documents/kortlaegning_af_innovation_i_bygnings_dtu.pdf

2012. Task Force. Netværk for energirenovering. Kirsten Engelund Thomsen m. fl., SBI, Aalborg Universitet.
<http://www.ens.dk/da-DK/byggeri/renoveringsstrategi/analyser/Documents/SBI%202012-09.pdf>

2010. EnergiParcel: Statusrapport august 2010. Tine Steen Larsen, Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, (DCE Technical Reports; Nr. 102).
<http://vbn.aau.dk/files/37270775/EnergiParcel.pdf>

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

Appendiks: Økonomiske konsekvenser ved valg af bedre isolering

Formålet med denne rapport har ikke været at belyse de økonomiske konsekvenser ved brug af standard isolering kontra nye og bedre isoleringsmaterialer, men blot at fokusere på mulige energibesparelser. Da økonomien imidlertid er meget vigtig for igangsættelse af renoveringer, vises der i dette appendiks et eksempel på en analyse af de økonomiske konsekvenser ved at anvende isoleringsmaterialer med lavere varmeledningsevne. Der tages udgangspunkt i et beregningseksempel, hvor der er begrænset plads til isoleringen. Som i den øvrige del af rapporten ses der på forskellen ved valg af bedre isoleringsmaterialer. Isoleringsklassens betydning for varmetabet fra et paralleltag ses i Tabel A1 for varmeledningsevner på henholdsvis 0,037 W/mK, 0,027 W/mK og 0,017 W/mK.

Tabel A1. Efterisolering af tagkonstruktion i enfamiliehus fra 60'erne, hvor der antages en begrænset konstruktionshøjde til isoleringen. Betydning af isoleringshøjde og isoleringsklasse for U-værdien.

Isoleringshøjde i tagkonstruktion mm	U-værdi for tagkonstruktion, iso. kl. 37 W/m ² K	U-værdi for tagkonstruktion, iso. kl. 27 W/m ² K	U-værdi for tagkonstruktion, iso. kl. 17 W/m ² K
95	0,346	0,280	0,208
120	0,286	0,230	0,169
145	0,244	0,195	0,143
170	0,213	0,169	0,123
215	0,173	0,137	0,099
240	0,157	0,124	0,089
265	0,143	0,113	0,081

Tabel A1 viser, at hvis der er pladsbegrænsninger i forhold til at efterisolere, kan der være fordele ved at vælge en isolering med lavere varmeledningsevne, og samtidig kan det være med til at sikre at minimumskrav til U-værdien for konstruktionsdele kan overholdes.

Ved renovering af taget er kravet i Bygningsreglementet 2010 som udgangspunkt at bygningsdelen skal overholde minimumskravet om en U-værdi på 0,15 W/m²K. Hvis det eksempelvis af æstetiske årsager ikke er muligt at isolere med mere i 170 mm kan kravet opfyldes hvis der vælges en isolering med en varmeledningsevne på 0,017W/mK (kl. 17), men her kan man nøjes med 145 mm isolering.

I den næste del af eksemplet regnes der på økonomien ved at vælge en bedre isolering, når enfamiliehuset fra 60erne gennemgår en tagrenovering. De økonomiske omkostninger for de energibesparende tiltag er baseret på priser hentet fra online udgaven af V&S priskatalog 2012.

I beregningerne er det forudsat, at der er begrænset plads i konstruktionen til isoleringen. Der er ikke regnet direkte på prisen af de forbedrede isoleringstyper med lavere varmeledningsevne, men på den samlede totaløkonomi inkl. drift over en 30 årig periode for henholdsvis kl. 37, kl. 27 og kl.17 isolering. Efter opstilling af beregningen kan prisen for investeringen tilpasses så resultatet af beregningen giver den samme totaløkonomi. De økonomiske beregninger følger metoden, som er beskrevet i rapporten "Cost-

optimal levels of minimum energy performance requirements in the Danish Building Regulations” (Aggerholm, 2013). Resultaterne præsenteres i tabel A2 med forskellige isoleringstykkelser og varmeledningsevner på 0,037 W/mK, 0,027 W/mK og 0,017 W/mK.

Tabel A2. Efterisolering af tagkonstruktion i enfamiliehus fra 60'erne, hvor der antages en begrænset konstruktionshøjde til isoleringen. Der sammenlignes reference investeringer, som resulterer i samme totaløkonomi inkl. drift for isoleringstyperne kl. 37, kl. 27 og kl. 17.

Isoleringshøjde i tagkonstruktion mm	Reference investering for tagre- novering eksk. moms, iso. kl. 37	Reference investering for tagre- novering eksk. moms, iso. kl.27	Reference investering for tagre- novering eksk. moms, iso. kl. 17	Tilladelig ekstra- investering for kl. 27 isolering		Tilladelig ekstra- investering for kl. 17 isolering	
	DKK/m ²	DKK/m ²	DKK/m ²	DKK/m ²	%	DKK/m ²	%
95	189,26	283,00	384,00	93,74	49,5	194,74	102,9
120	229,15	308,00	394,00	78,85	34,4	164,85	71,9
145	262,95	332,00	406,00	69,05	26,3	143,05	54,4
170	297,02	359,00	424,00	61,98	20,9	126,98	42,8
215	432,91	484,00	537,00	51,09	11,8	104,09	24,0
240	458,79	505,00	554,00	46,21	10,1	95,21	20,8
265	480,12	523,00	568,00	42,88	8,9	87,88	18,3

Af tabel A2 fremgår det at investeringen for en bedre isolering kan være fra 9 – 50 % større hvis der benyttes en kl. 27 isolering. Det fremgår også at betydningen af isoleringens varmeledningsevne mindskes jo større isoleringstykkelser der er tale om. Ligeledes gælder for den endnu bedre kl. 17 isolering, hvor spændet for ekstra isoleringen kan være fra 18 – 103 % dyrere end den almindelige kl. 37 isolering. Beregningerne viser igen at de forbedrede isoleringstyper er særligt attraktive for områder med begrænset plads da det særligt er ved små isoleringstykkelser der kan tillades relativt store ekstra investeringer for at opnå samme totaløkonomi over 30 år, dvs. når der er taget højde for forrentning af lån og besparelse på varmeregningen.

Ud fra resultaterne i tabel A2 er der regnet på hvor stor prisforøgelse der kan tillades på den rene materialepris til isoleringen. Resultatet ses i tabel A3.

Tabel A3. Efterisolering af tagkonstruktion i enfamiliehus fra 60'erne, hvor der antages en begrænset konstruktionshøjde til isoleringen. Betydning af isoleringshøjde og isoleringsklasse for U-værdien.

Isoleringshøjde i tagkonstruktion mm	Pris for isole- ringsmateriale, kl. 37*	Tilladelig ekstra- investering for kl. 27 isolering	Tilladelig prisfor- øgelse af isole- ringen, kl. 27	Tilladelig ekstra- investering for kl. 17 isolering	Tilladelig prisfor- øgelse af isole- ringen, kl. 17
	DKK/m ²	DKK/m ²	%	DKK/m ²	%
95	50,02	93,74	187,4	194,74	389,3
120	59,27	78,85	133,0	164,85	278,1
145	65,59	69,05	105,3	143,05	218,1
170	85,53	61,98	72,5	126,98	148,5
215	102,43	51,09	49,9	104,09	101,6
240	119,47	46,21	38,7	95,21	79,7
265	136,72	42,88	31,4	87,88	64,3

*Prisen stammer fra den rene isoleringsomkostning til løn og materiale, hvor der er antaget at materialet udgør 50 % af prisen.

Resultatet i tabel A3 viser, at der kan tillades en relativt stor merpris for nye og bedre isoleringstyper. Ligesom i tabel A2, fremgår det af opgørelsen at effekten af en bedre isolering falder med isoleringstykkelsen og den tilladte prisforøgelse er derfor afhængig af tykkelsen af isoleringen.

Hvis tagkonstruktionen eksempelvis er opbygget af 7 tommer lægter er det muligt at lægge op til 170 mm isolering. I det tilfælde kan der tillades en

merpris på næsten 50 % for isoleringen hvis der vælges en kl. 17 isolering, som hvis der benyttes en standard isolering kl. 37.

Generelt viser beregningerne, at der er vide økonomiske rammer for at benytte en bedre type isolering specielt på særligt udsatte steder med begrænset plads. Hertil kommer den forbedrede komfort, som opnås ved højere isoleringsniveau, som ikke indgår i den økonomiske beregning.

Referencer

Aggerholm, S. (2014). *Cost-optimal levels of minimum energy performance requirements in the Danish Building Regulations*. (SBI 2013: 25). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Bygningsreglement 2010 (BR10). Energistyrelsen.

V&S Prisdata 2012. Byggecentrum 2012.

I rapporten belyses den nuværende og forventede fremtidige udvikling på kort og lang sigt inden for komponenter og tekniske løsninger til energirenovering af eksisterende bygninger. Analysen omfatter både løsninger til klimaskærmen og installationer i byggeriet.

Formålet med rapporten er, at analysere i hvilket omfang teknologiudvikling kan være medvirkende til at nedbringe energiforbruget i eksisterende bygninger i forbindelse med energirenovering. Udviklingen indenfor isoleringsmaterialers varmeledningsevne, vinduer, energiefektive facade-løsninger samt bygningernes varme- og ventilationssystemer mv. medfører, at energirenovering i de kommende år frem mod 2020 vil blive bedre og bedre. Formålet med rapporten er at vurdere, i hvilket omfang udviklingen kan være medvirkende til at understøtte energipolitiske mål.

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 978-87-92739-20-9