



Lavenergihus 2010 forprojekt



Lavenergihus 2010 forprojekt

**Teknologisk Institut, Energi
By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut
BYG·DTU, Danmarks Teknologiske Institut
Cenergia Energy Consultants Aps
Esbensen Rådgivende Ingeniører A/S**

Maj 2001

Forord

Nærværende rapport afslutter projektet ”Lavenergihus 2010 – forprojekt”, journal nr. 1213/99-0007 finansieret via Energistyrelsens Energiforskningsprogram EFP99. Projektet er gennemført som et samarbejde mellem fem danske aktører inden for forskning og udvikling af lavenergi huse og sol-energi.

Rapporten indeholder to separate delrapporter. Første delrapport indeholder resume og introduktion til hele rapporten samt beskrivelsen af 6 scenarier for helhedsløsninger for lavenergi huse anno 2010. Anden delrapport indeholder en status for de væsentligste teknologier i bygninger samt et bilag med eksempler på eksisterende lavenergi bygninger.

Følgende personer har deltaget i projektet:

Teknologisk Institut Energi

Poul Erik Kristensen
Søren Østergaard Jensen
Ivan Katic
Connie Honoré

Cenergia

Ove Mørck
Ole Balslev Olesen

Esbensen

Olaf Bruun Jørgensen

BYG·DTU, Danmarks Tekniske Universitet

Simon Furbo
Jørgen M. Schultz

By og Byg

Kirsten Engelund Thomsen

Lavenergihus 2010 – forprojekt
1. udgave, 1. oplag 2001
© Teknologisk Institut, 2001
Energidivisionen

ISBN 87-7756-624-6

Indholdsfortegnelse

1	Resume	3
1.1	<i>Helhedsløsninger</i>	3
1.2	<i>Bygningsdele og energiteknologier</i>	4
1.3	<i>Udviklingsbehov</i>	5
2	Introduktion.....	6
3	Helhedsløsninger for lavenergi huse anno 2010	8
3.1	<i>Beskrivelse af scenarier</i>	9
3.2	<i>Fritliggende enfamiliehuse.....</i>	12
3.3	<i>Rækkehuse</i>	15
3.4	<i>Etageboliger</i>	18
3.5	<i>Energibalancer</i>	22
4	Udviklingsbehov	27
5	Referencer	29

1 Resume

I nærværende forprojekt er der gennemført en vurdering af det nuværende stade for bygningsdeles og energiteknologiers udformning i relation til fremtidigt lavenergibyggeri i Danmark, samt peget på forventede forbedringer og dermed forbundne udviklingsbehov. Endvidere er der i projektet opstillet 2 mulige fremtidsscenarier for 3 forskellige boligtyper: etagebyggeri, rækkehuse og fritliggende enfamiliehus. På baggrund af energiberegninger for disse 6 scenarier er der opstillet 6 systemløsninger – 2 for hver af de 3 boligtyper. Som illustration af nuværende stade og udviklingsmuligheder er der i projektet endvidere samlet beskrivelser af i alt 9 lavenergibyggerier, heraf 6 danske, samt 3 artikler fra IEA Solar Heating & Cooling Task 13 projektet. ”Advanced Solar Low Energy Buildings”.

Herunder opsummeres projektets konklusioner.

1.1 Helhedsløsninger

Der findes mange forskellige kombinationsmuligheder mellem energibesparende tiltag og energieffektive energiproduktionssystemer, der hver for sig kan lede til en reduktion i boligens energiforbrug. I nærværende projekt er opstillet 6 systemløsninger - på basis af 2 scenarier for fremtidens isolerings- og installationsniveau. De seks systemløsninger, som eventuelt kan lede frem til konkurrencedygtige lavenergiboliger er:

1. Enfamiliehus stor satsning på besparelser og begrænset solvarme
2. Enfamiliehus forsynet fra brændselscelle og med moderat satsning på besparelser.
3. Rækkehus med stor satsning på besparelser og begrænset solvarme.
4. Rækkehus med moderat satsning på besparelser og meget solenergi.
5. Etageejendom uden varmesystem, men med stor satsning på besparelser og solenergi.
6. Etageejendom tilkoblet kraftvarmesystem baseret på biomasse med moderat satsning på besparelser og solenergi.

På basis af beregninger for de 2 opstillede scenarier er følgende nettoenergiforbrug for de 6 helhedsløsninger estimeret, samt antydnet hvorledes dette dækkes:

Helhedsløsning nr.	Antal m ²	Opvarmningsform	Netto energibehov, kWh/år	CO ₂ -reduktion, %
1	160	el	2700	60
2	160	brændselscelle	10080	100
3	100	el	2100	61
4	100	el	2000	63
5	72	el	1050	70
6	72	bio-kraftvarme	4430	100

Det fremgår af tabellen, at nettoenergiebehovet for rækkehuse og etageboliger ved de skitserede foranstaltninger kommer så langt ned at det er rimeligt at supplere med elvarme og derved undgår at installere et egentligt varmesystem. For enfamiliehuset uden brændselscelle er nettoenergiebehovet lidt for højt til at det virker rimeligt at anvende elvarme, men installeres yderligere 5 m² solceller bringes dette ned på niveau med de øvrige.

1.2 Bygningsdele og energiteknologier

1.2.1 Konstruktioner og isolering

De i praksis anvendte isoleringsmaterialer er alle porøse, og varmetransmissionen gennem et isoleringsmateriale skyldes derfor både ledning, konvektion og stråling. Strålingsbidraget bliver ligesom konvektionsbidraget mindre jo flere fibre eller celler der findes i isoleringsmaterialet, men vil bewirke en større varmeledning gennem grundmaterialet. Det er derfor klart, at det er svært at forbedre isoleringsmaterialer med luft i porerne. Der er dog muligheder for at forbedre materialerne ved fx at erstatte luften med en gas med lavere varmeledningsevne eller ligefrem at tømme isoleringsmaterialets porer for luft (vakuumisolering). Ved begge løsninger er hovedproblemet at forsegle isoleringskanter.

De *miljømæssige* egenskaber hos isoleringsmaterialer kan bl.a. vurderes via livscyklusanalyser, som medtager hele livsforløbet og alle væsentlige miljøeffekter og derfor kræver et meget omfattende datamateriale. En vurdering af materialer, især når nye og bedre materialer skal udvikles, skal være helhedsorienteret. Desuden kan isoleringsmaterialerne have indflydelse på indeklimaet i en bygning under drift, idet isoleringsmaterialers afgang af organiske stoffer til indeklimaet.

1.2.2 Vinduer

Med udgangspunkt i kryptonfyldte ruder og lavemissionsbelægninger med en emittans på 0,04 er det vanskeligt at forestille sig yderligere væsentlige forbedringer af de energimæssige egenskaber for energiruder bortset fra en forbedring af g-værdien gennem anvendelse af jernfrit glas og eventuelt antirefleksionsbehandling af glasoverfladerne

Betragtes derimod vakuumruder og aerogelruder, der stadig er på udviklingsstadiet, er der et stort potentiale for yderligere energibesparelser relateret til vinduerne. Rudetyperne er karakteriseret ved en relativ lav center U-værdi kombineret med en relativ høj g-værdi.

Ramme/karmkonstruktionen er den del af vinduet med de dårligste termiske egenskaber samtidig med at den typisk udgør 25 – 40% af det totale vinduesareal. En væsentlig energibesparelse kan opnås ved udvikling af bedre isolerende og smallere ramme/karmkonstruktioner.

Samlingen mellem vinduet og de tilstødende konstruktioner udgør i dag en væsentlig kuldebro, hvorfor der er behov for udvikling af termisk set bedre indbygningsforhold og/eller vinduer der er tilpasset de store isoleringstykkelser i velisolerede bygninger.

1.2.3 Varme- og ventilation

De meget små dimensionerende varmetab i fremtidens boliger vil muliggøre opførelse uden traditionelle varme anlæg.

Behovsstyret ventilation baseret på el-effektive ventilationsanlæg med varmegenvinding eller på naturlig ventilation forventes at være standard i boliger opført efter år 2005.

1.2.4 Solvarmeanlæg

Der er gode muligheder for at forbedre små solvarmeanlæg. Først og fremmest kan der udvikles optimalt udformede low-flow solvarmeanlæg baseret på komponenter som gør installationen af anlæggene lettere og billigere.

1.2.5 Solceller

Solcellemoduler er veludviklede med en dokumenteret holdbarhed på 20-40 år, men der mangler endnu en del udvikling af rationelle montagemetoder og af veksellrettere, som er billige, driftssikre og effektive.

Der er desuden behov for at udvikle fleksible byggelementer med indbyggede solceller, som er tilpasset dansk byggeskik og arkitektur, herunder også elementer til kombineret el- og varmeudnyttelse.

Der bør lægges vægt på arkitektonisk gode løsninger, som præsenterer state-of-the-art på området, så det store spektrum af muligheder bliver præsenteret for potentielle brugere. Særligt tagløsninger er relevante, da det er her de store ubrudte og solåbne flader findes.

1.3 Udviklingsbehov

På basis af de krav, der udmyntes af de opstillede helhedsløsninger samt statusafsnittene for de forskellige teknologier er der i rapporten opstillet en række udviklingsbehov for forskellige bygningsdele og -installationer. Sammenfattende kan det konkluderes, at der stadig i høj grad er brug for demonstrationsbyggeri til at drive udviklingen fremad og til at anvise, hvorledes nye teknologier integreres optimalt i kendt byggeteknologi. De områder der specielt fremhæves med udviklingsbehov er:

- isoleringsmaterialer med lav varmeledningsevne,
- ramme/karm konstruktioner med lav U-værdi
- behovsstyret ventilation, såvel naturlig som baseret på mekanisk udsugning
- genvinding af varme fra gråt spildevand
- optimering af solvarmesystemer til varmt brugsvand
- demonstrationsbyggeri med luftsolvarmesystemer
- demonstrationsbyggeri med integration af solceller i tag og facader

Det er i fremtidens udviklingsprojektet vigtigt ikke kun at fokusere på opnåelse af det mindst mulige energiforbrug, men også at sikre sig et godt termisk indeklima uden overhophedning, træk- og støjgener hele året rundt. Velisolerede boliger burde have alle forudsætninger for at tilbyde et godt termisk indeklima, idet der ikke er nogen kolde overflader, der kan give anledning til træk. Imidlertid registreres der af og til problemer med det termiske indeklima enten i form af ubehagelige overtemperaturer eller i form af træk og støj fra ventilationsanlæg. Overtemperaturer optræder når energien i solindfaldet gennem vinduerne overstiger varmetabet fra bygningen/rummet, hvilket for højisolerede bygninger også kan forekomme på en kold solrig vinterdag.

2 Introduktion

Siden energikrisen først i 70'erne er der sket en stor reduktion i energiforbruget til opvarmning af danske boliger. Bygningsreglementet før energikrisen ledte til et årligt opvarmningsbehov for et parcelhus på 160 m² på i gennemsnit omkring 200 kWh/m², mens det er 78 kWh/m² for et parcelhus bygget efter dagens bygningsreglement. For at kunne karakteriseres som lavenergihus efter definitionen i BR-S 85 skal opvarmningsbehovet i dag ned under 40 kWh/m². I et igangværende IEA (International Energy Agency) projekt (Annex 28 "Sustainable Solar Housing") er det målet at nå ned under 25 kWh/m².

Det er i dag muligt at nå længere ned end 25 kWh/m² ved en massiv anvendelse af besparende foranstaltninger og vedvarende energi i form af solvarme, solceller og vindenergi. Men sådanne bygninger er ikke konkurrencedygtige med traditionelt byggeri bygget efter bygningsreglementet, da de sidste sparede kWh er meget dyre at opnå.

For rentabelt at komme ned på 25 kWh/m² kræves i dag en bevidst optimering af bygning og energisystemer som en helhed, hvor der koncentrerer om enkelte teknologier fremfor hele spektret af teknologier. Formålet med nærværende projekt er at undersøge og beskrive, hvilke muligheder der er for i 2010 at bygge rentable lavenergi boliger med et meget lavt energiforbrug – i størrelsesordenen 25 kWh/m² til opvarmning og varmt brugsvand og under 20 kWh/m² til elforbrugende komponenter.

Projektets deltagere har alle en lang og solid erfaring både nationalt og internationalt med lavenergi huse og solenergi. Deltagerne repræsenterer forskningsinstitutioner (By og Byg og DTU), en GTS-institution (Teknologisk Institut) og rådgivere (2 rådgivende ingeniørfirmaer), hvilket har givet mulighed for at inddrage den seneste såvel praktiske som teoretiske viden i projektet.

Rapporten er delt op i tre dele:

- I første del gennemgås 6 udvalgte scenarier over helhedsløsninger for, hvordan lavenergiboliger kan være opbygget i 2010. Der er gennemgået 2 scenarier for hver af de tre hovedboligtyper i Danmark: Parcelhuse, rækkehuse og lejligheder.
- I anden del er givet en status for de væsentligste teknologier i en bygning: Vinduer, den ikke transparente klimaskærm, elektriske installationer, styring og infoteknologi, ventilation, solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, solvægge samt PV-anlæg. Beskrivelsen af de enkelte teknologier afsluttes med en opstilling af det fremtidige potentiale herunder nødvendige forsknings- og udviklingstiltag.
- I bilaget er vist forskellige eksempler på eksisterende lavenergi bygninger. Beskrivelserne i bilaget er uanset, og udtrykker derfor ikke nødvendigvis forfatterne af denne rapport's mening. De er taget med for at vise, hvad der i øjeblikket foregår på området og for at virke som inspiration for kommende projekter.

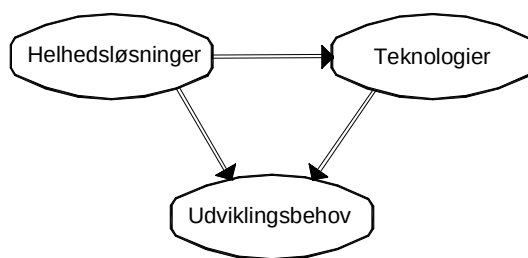
Ovenstående opbygning af rapporten er valgt, fordi det er vigtigt først og fremmest at gøre sig klart, hvor vi står i dag, samt hvor eksperter på området mener, at udviklingen er på vej hen eller bør drejes hen imod. Det er ikke muligt i dag at fastslå, i hvilken retning markedskræfterne (materialepri-

ser, arbejdskraft, energipriser, efterspørgsel, m.m.) og den teknologiske udvikling vil dreje boligbyggeriet i Danmark. Derfor er første del af rapporten udformet som en beskrivelse af mulige scenarier over helhedsløsninger, der tager udgangspunkt i eksisterende viden kombineret med potentielle muligheder i fremtiden.

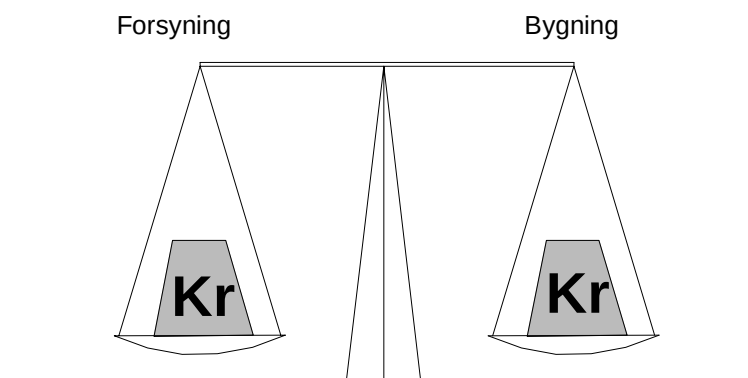
Projektet var et forprojekt og som sådan ikke tænkt som et projekt, hvor der skulle udvikles konkrete teknikker til nedbringelse af energiforbruget i danske bygninger. Projektet var tænkt til at danne basis for et egentlig forsknings/udviklingsprojekt gerne i et tæt internationalt samarbejde f.eks. med deltagelse i IEA Task 28 "Sustainable Solar Housing". Desværre har det for indeværende ikke været muligt at opnå midler til denne fortsættelse af projektet. Nærværende rapport må derfor indtil videre stå alene, men det er håbet, at den alligevel vil medvirke til den fortsatte udvikling af danske lavenergi huse ved at virke som en inspirationskilde for læserne.

3 Helhedsløsninger for lavenergihuse anno 2010

Et af formålene med EFP99-projektet "Lavenergihus 2010" er at afklare hvilke systemløsninger og dermed teknologier, der totalt set forventes at være de mest lovende med henblik på at kunne producere konkurrencedygtige lavenergiboliger i år 2010. Denne afklaring vil pege på indenfor hvilke områder (teknologier og bygningskonstruktioner), der er behov for yderligere forskning og udvikling.



Det er allerede i dag muligt næsten at eliminere bygningers energiforbrug ved massiv anvendelse af diverse teknologier for energibesparelse i kombination med en udstrakt anvendelse af vedvarende energi. Problemet er blot, at sådanne bygninger ikke vil være konkurrencedygtige med traditionelt byggeri, da de sidste sparede kWh ud fra en totaløkonomisk betragtning er meget dyre at opnå. For at opnå konkurrencedygtigt design er det i dag og sandsynligvis også de næste 10 år fremover nødvendigt at fokusere enten på besparelser eller på energieffektive energiproduktions-systemer, idet der ikke vil være økonomi til en massiv satsning på begge områder på een gang. Det er endvidere nødvendigt at erkende, at der kan være et direkte modsætningsforhold mellem at opnå et særdeles lavt energiforbrug til opvarmning og at forsyne boligerne med særdeles effektivt produceret, måske endda CO₂-neutral varme fra et kraftvarmeanlæg baseret på biomasse, eller affald. Investeringen i forsynings- og distributionsanlæg skal forrentes. Hvis energiforbruget er "for lavt" er det vanskeligt at opnå denne forrentning uden at sætte enhedsenergi prisen meget højt – hvilket ødelægger totaløkonomien. Enten skal der investeres i bygningerne, eller i forsyningen, -det er ikke klart, hvad der miljømæssigt og samfundsøkonomisk på langt sigt er mest fordelagtigt. Der er et behov for en tilbundsående analyse af denne problemstilling, specielt med henblik på at afklare, hvilken strategi, der resulterer i lavest mulig CO₂ – emission.



Der findes mange forskellige kombinationsmuligheder mellem energibesparende tiltag og energieffektive energiproduktionssystemer, der hver for sig kan lede til en reduktion i boligens energiforbrug. Mange flere end det er muligt at behandle her. I stedet vil der i det følgende kort blive gennemgået 6 systemløsninger, som hver for sig eller i kombination kunne lede frem til konkurrencedygtige lavenergiboliger. De seks systemløsninger er:

1. Enfamiliehus stor satsning på besparelser og begrænset solvarme
2. Enfamiliehus med moderat satsning på besparelser og brændselsceller.
3. Rækkehus med stor satsning på besparelser og begrænset solvarme.
4. Rækkehus med moderat satsning på besparelser og meget solenergi.
5. Etageejendom uden varmesystem, men med stor satsning på besparelser og solenergi.
6. Etageejendom tilkoblet kraftvarmesystem baseret på biomasse med moderat satsning på besparelser og solenergi.

Ovenstående 6 hustyper er valgt, fordi de dækker et relativt stort spektrum af løsninger, der kunne tænkes at vinde indpas i fremtidens lavenergibyggeri. De 6 typer dækker de tre mest almindelige boligtyper: Enfamiliehuse, rækkehuse og lejligheder. For hver boligtype er der ét scenarie med stor satsning på besparelser og ét scenarie hvor der fokuseres mere på energiforsyningen.

De tre boligtyper er væsensforskellige på flere måder, der direkte indvirker på energiforbruget i boligerne:

- Lejligheder har typisk et mindre klimaskærm-areal pr. volumenenhed end rækkehuse, hvor det igen er lavere end for parcelhuse.
- Lejligheder er typisk mindre enheder end rækkehuse, som igen er mindre end parcelhuse.
- Der bor statistisk set færre personer i en lejlighed end i rækkehuse og parcelhuse.

3.1 Beskrivelse af scenarier

3.1.1 Indledning

I forbindelse med beskrivelse af helhedsløsninger for hhv. et parcelhus, et rækkehus og et etagehus, er der valgt at se på de to yderpunkter i mulighederne for reduktion af energiforbruget: Scenario I med tilpasning af husets energibehov til maksimal udnyttelse af CO₂ neutral energiforsyning (biomasse, solvarme, brændselsceller etc.) og scenario II med stor satsning på energibesparende foranstaltninger. En beskrivelse af de **fælles** forudsætninger i de to scenarier for alle tre hustyper fremgår af nedenstående kapitel, mens de særlige forudsætninger nævnes under de enkelte helhedsløsninger.

Beregning af energibalancer for de to scenarier er gennemført i kapitel 3.5.

3.1.2 Klimaskærm

Der anvendes tre eksempelbygninger. Den ene er et 160 m² parcelhus, den anden er et rækkehus på 600 m² opdelt i 6 husstande á 100 m², og den tredje er en 1080 m² etagebolig. Sidstnævnte er i tre etager (360 m² pr. etage) plus kælder, som kan tænkes at være et etagehus med 15 lejligheder i alt, dvs. 5 lejligheder pr. etage á 72 m².

Tabel 3.1. U-værdier for de to scenarier.

Bygningsdele	Fremtids scenarier	
	I	II
U-værdier i $\text{W/m}^2 \text{K}$:		
Tunge ydervægge	0,20	0,10
Terrændæk	0,15	0,09
Loft og tagkonstruktioner	0,13	0,08
Vinduer og yderdøre	1,10	0,70

Scenario I

Den ikke transparente del af klimaskærmen:

Der anvendes konstruktioner med en U-værdi på $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ for taget, $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ for terrændæk og $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ for ydervæggene, svarende til 200 - 300 mm mineraluld. Ved anvendelse af bedre isolerende materialer under udvikling, som f.eks. vakuumisolering, kan isoleringstykkelserne reduceres betydeligt.

Den transparente/translucente del af klimaskærmen:

Vinduerne er med 2 lag glas, argonfyldning og 1 lavemissionsbelægning, hvorved rudens center U-værdi bliver $1,0 - 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ruderne monteres i smalle godt isolerende rammer der giver et stort glasareal i forhold til vindueshullet. Den samlede U-værdi for vinduet er $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Solenergitransmittansen er sat til ca. 0,6.

Scenario II

Den ikke transparente del af klimaskærmen:

Der anvendes konstruktioner med en U-værdi på $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ for taget, $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ for terrændæk og $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ for ydervæggene, svarende til 400 - 500 mm mineraluld. Ved anvendelse af bedre isolerende materialer under udvikling, som fx vakuumisolering, kan isoleringstykkelserne reduceres betydeligt.

Konstruktionerne udføres lufttætte og uden kuldebroer. Specielt fokuseres der på samlingerne omkring vinduer og døre samt fundamentsdetaljen, der ofte udgør de største kuldebroer. Spring i facaden holdes på et minimum for at mindske overfladearealet og undgå geometriske kuldebroer.

Den transparente/translucente del af klimaskærmen:

Vinduerne er med 3 lag glas, argonfyldning og 2 lavemissionsbelægninger, hvorved rudens center U-værdi bliver $0,6 - 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ruderne monteres i smalle godt isolerende rammer der giver et stort glasareal i forhold til vindueshullet. Den samlede U-værdi for vinduet er $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. De tre lag glas med 2 belægninger medfører en relativ lille solenergitransmittans på ca. 0,4.

3.1.3 Termisk masse*Scenario I og II*

Der er ingen specielle krav til husets termiske masse, idet denne har forsvindende betydning for det årlige energiforbrug. Hensynet til den termiske komfort taler for en tung konstruktion (reduktion af overtemperaturer), mens hensynet til genopvarmningstiden efter en afkølingsperiode taler for en let konstruktion.

3.1.4 Ventilation

Scenario I

Frisklufttilførslen sker via et behovsstyret (på basis af luftfugtighed) naturlig ventilationsanlæg, hvorved der spares på elforbruget til drift af et mekanisk ventilationsanlæg. Den naturlige ventilation indeholder en automatisk udluftningsfunktion, der styres efter indetemperaturen, hvorved der sikres et forøget luftskifte, hvis indetemperaturen bliver for høj.

Scenario II

Frisklufttilførslen sker via et behovsstyret mekanisk ventilationsanlæg med en højeffektiv modstrømsvarmeveksler med en varmegenvindingseffektivitet på 85% eller derover. Derudover sikres det, at der automatisk foretages udluftning af huset, hvis indetemperaturen overstiger 23 °C. Det sidste system udføres som naturlig ventilation eller ventilatorunderstøttet naturlig ventilation (hybrid ventilation), så udluftningen ikke medfører et væsentligt øget elforbrug. Under udluftningsdrift og i sommerperioden ledes ventilationen uden om varmeveksleren. Kanalføring og –dimensionering foretages ud fra en minimering af tryktabet, og der vælges energieffektive regulerbare ventilatorer.

Ved behovsstyret ventilation varierer luftskiftet over døgnet for at matche behovet. Det vil sige, at middeldøgnluftskiftet oftest er lavere, end det luftskifte bygningsreglementet foreskriver, men meget højere i belastede perioder. Tilsammen giver det et mindre gennemsnitligt luftskifte og samtidigt et markant bedre indeklima.

Undgåelse af for høje indetemperaturer er ofte baseret på en forudsætning om, at der sker en forøget ventilation ved at beboerne åbner vinduer og døre. Idet det ikke kan forventes at beboerne er hjemme, når det er påkrævet, skal den naturlige ventilation til sommerbrug udformes med ventilationsåbninger, der dels er nemme at betjene for huset beboere, og dels er sikret mod indbrud, således at de kan indstilles om morgenen, inden beboerne forlader huset.

3.1.5 Varmt brugsvand og solvarme

Det er forudsat at solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er low flow anlæg baseret på højeffektive plane solfangere og varmelagre, hvori der opbygges en stor temperaturlagdeling under driften.

Scenario I

Der installeres et aktivt solvarme anlæg til varmt brugsvand.

Alle installationer udføres med vandbesparende armaturer. Cirkulation af det varme brugsvand undgås ved en fornuftig planløsning med korte strækninger af varmtvandsrørene med en lille diameter.

Scenario II

Bygningen udstyres med et solvarmeanlæg, der dækker 50-75% af opvarmningsbehovet til varmt brugsvand. Resten af opvarmningsbehovet kommer via en el-patron i brugsvandsbeholderen, da bygningen ikke har et egentligt opvarmningssystem. Back-up fra el-nettet reguleres, så det fortrinsvis sker på tidspunkter med overløbs-el. Solfangerarealet skal være i størrelsesordenen ca. 1-2 m² pr. bolig.

Alle installationer udføres med de mest effektive vandbesparende armaturer. Cirkulation af det varme brugsvand undgås ved en fornuftig planløsning med korte strækninger af varmtvandsrørene

med en lille diameter. Hvis muligt anvendes varmegenvinding på det grå spildevand, hvilket imidlertid vil reducere solvarmeanlæggets dækningsgrad.

3.1.6 Elforbrug og solceller

I begge scenarier forsynes boligen med et ressourceforbrugs-registrerings- og informationssystem, der løbende vil kunne orientere såvel beboerne som udlejer om den enkelte boligs ressourceforbrug. Anlægget kan desuden anvendes til oplysning om lav-tarif-el samt oplysning om, hvorvidt solcelleanlægget vil kunne dække et eventuelt elbehov. Energiinformationssystemet vil desuden kunne virke motiverende for en yderligere reduktion af boligens ressourceforbrug.

Fremtidens boliger må desuden forventes at blive forsynet med en intelligent styring i en eller anden form, hvorfor også en række automatiske slukfunktioner vil blive anvendt, både i de enkelte boliger og for de fælles installationer.

Scenario I

Alle vandforbrugende husholdningsapparater tilsluttes varmt vand, så der opnås et bedre forhold mellem el- og varmeproduktion. Derudover vælges der på alle områder de mest energieffektive apparater samt lavenergi belysning overalt.

Der installeres et solcelle-anlæg, og så meget som muligt af den producerede solcelle-el anvendes direkte i bygningen – dvs. der vaskes og vaskes op primært om dagen, hvor solcelle-anlægget direkte kan drive det el-forbrugende apparatur. Overskuds-el sælges til nettet. Solcellerne forventes at have en effektivitet på 18 %.

Scenario II

Det forudsættes, at der anvendes energieffektive husholdningsapparater og energisparepærer samt de mest energieconomiske apparater i øvrigt.

Der installeres et solcelle-anlæg, der kan dække en stor del af bygningens el-forbrug. Så meget som muligt af den producerede solcelle-el anvendes direkte i bygningen – dvs. der vaskes og vaskes op primært om dagen, hvor solcelle-anlægget direkte kan drive det el-forbrugende apparatur. Overskuds-el sælges til nettet. Der tilstræbes en anlægsstørrelse, der i gennemsnit over året dækker elforbruget i boligen ved anvendelse af nettet som lager. Solcellerne forventes at have en effektivitet på 18 %.

3.2 Fritliggende enfamiliehuse

Enfamiliehuse har i forhold til etageboliger og rækkehuse et langt større overfladeareal eksponeret for udeklimaet og dermed et potentielt større varmetab end de andre bygningstyper. Mange enfamiliehuse ligger i bymæssig bebyggelse, hvilket giver mulighed for tilslutning til en fælles varmeforsyning, som f.eks. fjernvarme produceret ved biogas og/eller solvarme, mens øvrige installationer vil være knyttet til det enkelte hus. Der er imidlertid også mange enfamiliehuse, der ligger i tyndt befolkede områder, hvor tilslutning til en fælles varmeforsyning vil være energimæssigt og økonomisk urentabel. Det er denne sidste gruppe af enfamiliehuse, der er valgt som udgangspunkt for beskrivelse af to forskellige koncepter for reduceret energiforbrug og/eller CO₂-belastning knyttet til opvarmning, varmt brugsvand og el.

Der er valgt at se på de to yderpunkter i mulighederne for reduktion af energiforbruget: 1) Stor satsning på energibesparende foranstaltninger og beskeden udnyttelse af solvarme og 2) Tilpasning af

husets energibehov til maksimal udnyttelse af individuelt brændselscelleanlæg. En oversigt over indholdet i de to helhedsløsninger fremgår af nedenstående tabel.

Teknologi	Besparelsesløsning	Brændselscelleløsning
Isoleringsniveau	Scenario II	Scenario I
Termisk masse	Underordnet	Lille (genopvarmningstid)
Ventilation med varmegenvinding	Ja, $\eta > 85\%$	Nej
Naturlig ventilation	Ja, i sommerperiode	Ja
El-besparelser	Ja	Ja (vigtigste besparelsesområde)
Vandbesparende armaturer	Ja	Ja
Solvarme til varmt brugsvand	2 m ² low flow	(2 m ² low flow)
Solceller	12 m ²	2 m ²

3.2.1 Fritliggende enfamiliehus – besparelsesløsning

I dette afsnit beskrives mere detaljeret de valgte tiltag der fører frem til et hus uden et egentligt opvarmningssystem. Huset har et meget lavt energiforbrug til rumopvarmning (1920 kWh/år), hvilket betyder at varmeanlægget kun periodevis skal levere varme. Med så lille energiforbrug til opvarmning vil el-varme være den bedste løsning, hvorved et traditionelt vandbaseret opvarmningssystem kan udelades med deraf følgende anlægsbesparelse.

Der kræves et opvarmningssystem med meget lille tidskonstant, hvilket opnås ved anvendelse af små decentrale el-varmeplader i det balancerede ventilationsanlæg.

Beskrivelse

Parcelhusets konstruktioner og installationer svarer til beskrivelsen af *scenario II*.

Det aktuelle vinduesvalg med en relativt lille solenergitransmittans på 0,4 betyder, at en stor del af den mulige gratisvarme fra solen bliver udelukket. Imidlertid vil et for stort solindfald nemt føre til ubehagelige overtemperaturer i et så velisoleret hus, hvorfor kombinationen af lav g-værdi og lav U-værdi kan være en god løsning i højisolerede bygninger. I og med at solenergitilskuddet er af mindre betydning kan vinduerne med fordel placeres så der opnås den bedst mulige dagslystilførsel til huset, hvilket kan kompensere for den lavere lystransmittans ved den valgte vinduestype.

Udnyttelse af glasfacader og/eller solstuer til forvarmning af ventilationsluften anses for urentabel med en genvindingsgrad på 85% på den mekaniske ventilation.

Energiforbrug

Det årlige energiforbrug til rumopvarmning vil være ca. 12 kWh/m² svarende til ca. 15% af energirammen. Opvarmning af varmt brugsvand udgør ca. 10 kWh/m², hvoraf 50% dækkes af solvarmeanlægget. Det totale årlige el-forbrug ekskl. varmt vand og opvarmning forventes at være ca. 16 kWh/m² ved valg af de mest effektive apparater på markedet, hvilket forventes dækket af solcelleanlægget. Nettotilførslen af energi (i form af el) vil da for et enfamiliehus med en gennemsnitsstørrelse på ca. 160 m² være ca. 2700 kWh/år, svarende til ca. 17 kWh/m² (= 12 kWh/m² + 0,5 × 10 kWh/m²).

Der vil således være tale om en CO₂ –emissionsreduktion i forhold til et naturgasopvarmet BR-S 98 hus på ca. 60 %.

3.2.2 Fritliggende enfamiliehus med egen energiforsyning baseret på brændselsceller

Brændselscelleteknologien er i en rivende udvikling og flere firmaer reklamerer med, at de vil have enheder til enfamiliehuse på markedet inden 2005. Brændselscelleteknologien giver mulighed for en meget ren energiomdannelse med samtidig produktion af el og varme. Anvendes ren brint bliver restproduktet rent vand. Da teknikken også er interessant til biler er der oplagte muligheder for at kombinere husets og bilens energiforsyning. Brændselsceller kan anvende alle former for ”brændstof” der indeholder brintatomer, men effektiviteten afhænger af brændstoftypen.

Dette afsnit beskriver udformningen af et hus hvis totale energiforbrug dækkes af et brændselscelle anlæg fælles med husets bilpark. Konceptet kræver en akkumuleringsmulighed for el og varme, dels fordi el- og varmeproduktionen kommer samtidigt, hvilket ikke altid modsvarer behovene, og dels af hensyn til at bilen/bilerne kun er hjemme noget af tiden.

Udnyttelsen af et fælles anlæg for bil og bolig har ikke nogen energimæssig gevinst, men vil betyde at der kun skal investeres i ét brændselscelleanlæg og dermed en bedre udnyttelse af investeringen. Daimler/Chrysler er ved at udvikle en brændselscelle-bil bygget over Mercedes A-klassen som yder op til 55 kW el. Kapaciteten i et bil-brændselscelle anlæg er således rigelig til at dække energibehovet i et parcelhus.

Det tyske firma Vaillant har lavet en prototype på en individuel enhed til boliger, der producerer 7 kW varme og 4,6 kW el ved en nyttevirkning på ca. 80% ved anvendelse af naturgas. Driftstemperaturen er ca. 90 °C . Ydelsen kan tilpasses behovet, men forholdet mellem varme og elenergi ligger fast for den enkelte type brændselscelle. For optimal udnyttelse af brændselscellen er det derfor nødvendigt at tilpasse forholdet mellem varme- og elforbruget til brændselscellens driftsforhold. Det er i denne forbindelse især situationen i sommer eller overgangsperioderne, der er dimensionerende, idet en spidsbelastning på opvarmningssiden kan imødegås ved at omdanne noget af den producerede strøm til varme.

Varmeanlægget vil være et traditionelt vandbårent system, hvor varmeafgiverne dog er flyttet væk fra ydervæggene og placeret centralt omkring husets kerne. Det kan komfortmæssigt lade sig gøre pga. af en velisoleret klimaskærm uden kuldebroer samt godt isolerende energiruder.

Beskrivelse

Klimaskærmens isoleringsniveau styres dels af investeringsomkostningerne til brændselscellen, hvis størrelse og dermed pris afhænger af det maksimale energibehov og dels af den forventede energipris for ”brændstoffet” til brændselscellen. Begge dele fører til anvendelse af et isoleringsniveau, der er lidt bedre end niveauet for nybyggeri i dag.

Konstruktioner og installationer udføres som anført i beskrivelsen af *scenario I*, med følgende kommentarer.

Af hensyn til balancen mellem el- og varmeproduktion fra brændselscellen er en høj dagslysudnyttelse vigtig i bestræbelserne på at reducere elforbruget mest muligt, så der opnås den mest effektive udnyttelse af brændselscellerne.

Huset opføres som et termisk let hus, hvilket reducerer effektbehovet til genopvarmning efter en afkølingsperiode, og dermed reducerer kravet til brændselscellens størrelse.

Ventilationen udføres som naturlig ventilation for at reducere elforbruget mest muligt. Det vil være muligt at reducere ventilationstabt gennem forvarmning af ventilationsluften ved anvendelse af glasfacader/solstuer. Imidlertid vil investeringen i brændselscelleanlægget formodentlig have en størrelse, der kun tillader særdeles rentable merinvesteringer i energibesparende tiltag, hvilket ikke skønnes at være tilfældet for glasfacader/solstuer til forvarmning af ventilationsluften. Især ikke når der alene pga. elproduktionen formodentlig vil være et tilstrækkeligt overskud af varme.

Varmt brugsvand leveres af brændselscellen, idet elforbruget og varmtvandsforbruget er nogenlunde konstant over året, og dermed kan bringes til at matche hinanden også om sommeren. Afhængig af brændselscelleprisen kan der alternativt installeres et aktivt solvarmeanlæg til varmt brugsvand samt et solcelleanlæg til dækning af elforbruget om sommeren. Her vil brændselscellen fungere godt som back-up, idet manglende solindfald både vil kræve back-up af varme til varmt brugsvand og el til husholdningen. Solcelle-anlæggets størrelse tilpasses, så det på solskinsdage i sommerhalvåret dækker bygningens el-forbrug.

Som tidligere beskrevet er elforbruget den dimensionerende faktor for brændselscellens størrelse, hvorfor der regnes med en væsentlig reduktion i elforbruget svarende til det skønnede elforbrug angivet for scenario II i kapitel 3.5 *Energibalancer*.

Energiforbrug

Det årlige energiforbrug til opvarmning vil være ca. 47 kWh/m^2 svarende til ca. 65% af energirammen. Opvarmning af varmt brugsvand udgør ca. 12 kWh/m^2 . Hvis der installeres et solvarmeanlæg til varmt brugsvand, vil det kunne dække ca. 50% af behovet.

Det totale årlige el-forbrug ekskl. varmt vand og opvarmning forventes at være ca. 13 kWh/m^2 ved valg af de mest effektive apparater på markedet (scenario II). Hvis der installeres et solcelleanlæg til dækning af det meste af behovet i sommerperioden skønnes ca. 20% af det årlige elforbrug dækket af disse.

Netto energiforbruget i tilfældet uden solvarme og solceller bliver for et 160 m^2 enfamiliehus ca. 11520 kWh/år , svarende til ca. 72 kWh/m^2 ($= 47 \text{ kWh/m}^2 + 12 \text{ kWh/m}^2 + 0,8 \times 13 \text{ kWh/m}^2$), mens det ved anvendelse af solvarme og solceller kan reduceres til ca. 10080 kWh/år , svarende til ca. 63 kWh/m^2 ($= 47 \text{ kWh/m}^2 + 0,5 \times 12 \text{ kWh/m}^2 + 0,8 \times 13 \text{ kWh/m}^2$). Nettoenergiforbruget dækkes udelukkende af brændselscellen, der fødes med en CO_2 neutral energikilde som biogas eller brint produceret med vedvarende energi. CO_2 reduktionen bliver således 100%.

3.3 Rækkehuse

På grund af den, i forhold til fritliggende enfamiliehus, begrænsede overflade, er der i rækkehuse gode muligheder for at begrænse energiforbruget til opvarmning. Endvidere rummer rækkehuset mulighed for installation og udnyttelse af fælles forsyningsanlæg, f.eks. i form af solceller, ventilations- og solvarmeanlæg.

Reduktion af energiforbrug til opvarmning og elforbrug kan opnås ved enten primært at investere i besparesestiltag, eller ved at forsyne (en velisoleret bolig) med solenergianlæg. Naturligvis vil der

være mellemløsninger, men for at tydeliggøre de valgte koncepter, præsenteres herunder to helhedsløsninger med stærk satsning på henholdsvis besparelser og solenergiforsyning. Tabellen herunder sammenfatter de to helhedsløsninger.

Teknologi	Besparelsesløsning	Solenergiløsning
Isoleringsniveau	Scenario II	Scenario I
Stor termisk masse	Nej	Ja
Ventilation med varmegenvinding	Ja	Nej
Naturlig ventilation	Nej – ja i sommerperiode	Ja
Forvarmning af frisk luft	Nej	Ja
Solvarme til rumopvarmning	Nej	Ja – ca. 10 m ²
Solvarme til brugsvand	Ja – ca. 2 m ²	Ja – sommerdrift
Solceller	6 – 8 m ²	15 m ²

Begge løsninger resulterer i meget lave nettoenergiforbrug til rumopvarmning og installation af traditionelt varmesystem kan dermed undgås.

3.3.1 Rækkehus - besparelsesløsning

Dette afsnit beskriver udformning af og valg af teknologier til et rækkehus uden varmesystem med stor vægt på energibesparelse af både el og varme. Der vil være tidspunkter i de koldeste perioder om vinteren, hvor det er nødvendigt med suppleringsvarme, men da det er korte perioder, kan suppleringsvarmen bestå i et par flytbare el-radiatorer eller el-varmeblæsere. Eventuelt kan der installeres små elvarmeblædere i ventilationsanlægget. El til opvarmningsformål kan accepteres her, da der kun er brug for et beskedent opvarmningsbidrag (2100 kWh/år til såvel rumvarme som opvarmning af varmt brugsvand).

Beskrivelse

For at reducere opvarmningsbehovet til et minimum, er det nødvendigt med yderligere isolering end der i dag anvendes i lavenergibyggeri. Konstruktioner og installationer svarer til beskrivelsen af scenario II.

Transparente og translucente partier:

Transparente og translucente partier udformes med henblik på passiv solvarmeudnyttelse i fyringssæsonen. Denne er dog meget begrænset, da varmebehovet er så lavt. Samtidigt skal der sikres mod overophedning uden for fyringssæsonen ved hjælp af forskellige former for fast og mobil solafskærmning.

Glasfacader:

Der kan anvendes glasfacader i form af f.eks. en solstue. Imidlertid vurderes det ikke at være umagen værd at forvarme den friske luft til bygningen, idet der regnes med et varmegenvindingsanlæg med en virkningsgrad på 0,85. Eventuelle solstuer skal være uden varmeanlæg, således at de ikke indbyder til brug i fyringssæsonen og dermed ikke resulterer i et øget opvarmningsbehov.

Solceller:

Der installeres et solcelle-anlæg af en anlægsstørrelse, der i gennemsnit over året dækker elforbruget i boligen ved anvendelse af nettet som lager.

Energiforbrug

Med anvendelse af ovenstående tiltag forventes det, at det årlige opvarmningsbehov pr. bolig kan nedbringes til ca. 21 kWh/m², hvoraf rumopvarmningsbehovet udgør ca. 11 kWh/m² og opvarmningsbehovet til varmt brugsvand udgør ca. 10 kWh/m².

Elforbruget pr. bolig vil i alt være ca. 13 kWh/m² pr. år ~1300 kWh per år, der som nævnt ovenfor dækkes af et solcelleanlæg på 6-8 m².

Nettilførslen af energi (i form af el) vil da for et rækkehus af gennemsnitsstørrelse på ca 100 m² være ca. 2100 kWh (= 21 kWh/m² x 100 m²). Sammenlignes dette med et energiforbrug til opvarmning på 7800 kWh og til el på 2025 kWh fås en samlet CO₂-reduktion på 61.5 %.

3.3.2 Rækkehus med solenergiløsning

Dette afsnit beskriver udformning af og valg af teknologier til et rækkehus uden varmesystem med middel vægt på energibesparelse af varme og stor vægt på el- og vandbesparelser, samt solvarme. Der vil, ligesom i besparelsesløsningen, være tidspunkter i de koldeste perioder om vinteren, hvor det er nødvendigt med suppleringsvarme, men da det er korte perioder, kan suppleringsvarmen dækkes med elektricitet.

Da bygningen er udformet med tunge etagedæk til lagring af solvarme kan disse anvendes til lagring (og efterfølgende opvarmning med) ”billig overskuds-el”. På grund af udbygning med kraftvarme og vindmøller forventes det, at det, der i dag registreres som overskudsproduktion af el om vinteren i korte perioder, i fremtiden vil give sig udslag i længere perioder med billig strøm. El til opvarmning kan accepteres her, da der kun er brug for et beskedent nettoopvarmningsbidrag (2000 kWh/år – til rumvarme og opvarmning af varmt brugsvand).

For at reducere opvarmningsbehovet til et minimum, er det nødvendigt med isoleringsniveau, konstruktioner og installationer på niveau med, hvad der i dag anvendes i lavenergibyggeri – svarende til scenario I. For vandforbrug og elforbrug er regnet med antagelser for scenario II.

Termisk masse

I modsætning til den generelle beskrivelse af scenario I udformes bygningen med en optimeret anvendelse af termisk masse, der primært anvendes til lagring af solvarme fra luftsolvarmeanlægget og sekundært korttidslager og temperaturudjævner kraftigt varmetilskud fra passiv solvarme gennem vinduerne. Pga. de lave overfladetemperaturer på bygningskonstruktionerne (eksempelvis i gulvet) vil systemet i høj grad være selvregulerende.

Ventilation

Som beskrevet for scenario I arbejdes her med behovstyret naturlig ventilation. Muligheden for forvarmning af den friske luft i solvæg eller udestue kan udnyttes.

Glasfacader

Der anvendes glasfacader i form af f.eks. solvæg eller solstue, hvor den friske luft til bygningen kan forvarmes. Solstuer skal være uden varmeanlæg, således at de ikke indbyder til brug i fyringssæsonen og dermed ikke resulterer i et øget opvarmningsbehov.

Solvarme til rumvarme

Bygningen forsynes med et solvarmesystem baseret på luft som varmebærende medium. Systemet består af luftsolfangere og varmelager i etagedækkene, forbundet i et lukket kredsløb. Systemet et

såkaldt hybrids solvarmeanlæg, idet den indfangne solvarme transporteres vha. en ventilator fra solfanger til lager (aktiv varmetransport), hvorfra den passivt afgives til bygningens rum. Systemet er beskrevet i detaljer i [1], hvori der refereres til det som system 4. Solfangerarealet skal være ca. 12 m² per bolig. Ydelsen er ca. 1550 kWh per år per bolig [1].

Varmt brugsvand og solvarme

Uden for opvarmningssæsonen anvendes luftsolvarmeanlægget til opvarmning af varmt brugsvand. Luftsolfangerne kan eventuelt forsynes med væskeabsorber. Det forventes at ca. halvdelen af opvarmningsbehovet til varmt brugsvand dækkes herved. Resten af opvarmningsbehovet må nødvendigvis komme via en el-patron i varmtvandsbeholderen, da bygningen ikke har andet forsyningssystem. Solvarmeanlægget udformes sådan, at back-up fra el-nettet fortrinsvis sker på tidspunkter med overløbs-el på nettet. Solvarmeanlægget har et varmelager for varmt brugsvand på ca. 150 liter.

El-forbrug og solceller

Der installeres et solcelle-anlæg, der på årsbasis i gennemsnit kan dække lidt over 1/3 af bygningens samlede nettoforbrug af el til dækning af resterende nettobehov til rumvarme og varmt brugsvand, samt al elforbrug i øvrigt. Så meget som muligt af den producerede solcelle-el anvendes direkte i bygningen – dvs. der vaskes og vaskes op primært om dagen, hvor solcelle-anlægget direkte kan drive det el-forbrugende apparatur. Overskuds-el sælges til nettet. Elnettet anvendes som lager. Solcellerne forventes at have en effektivitet på 18 %.

Energiforbrug

Med anvendelse af ovenstående tiltag forventes det, at det årlige opvarmningsbehov pr. bolig kan nedbringes til ca. 37 kWh/m² (43 kWh/m² til rumopvarmning iflg. beregningerne for scenario I + 10 kWh/m² til varmt brugsvand - solvarmeanlæggets ydelse på ca. 16 kWh/m² [1]).

På årsbasis yder 15 m² solceller ca. 3100 kWh ~ 30-32 kWh/m² (boligareal). Elforbruget pr. bolig vil i alt være ca. 13 kWh/m² pr. år (som for scenario II), der dækkes ”fuldt ud” (i gennemsnit over året) af solcellestrøm. Solcelleanlægget kan således levere 17-19 kWh/m² til opvarmningsformål.

Nettotilførslen af energi (i form af el) vil da for et rækkehus af gennemsnitsstørrelse på ca. 100 m² være ca. 2000 kWh ((37-17) kWh/m² x 100 m²). Sammenlignes dette med et energiforbrug til opvarmning på 7800 kWh og til el på 2025 kWh fås en samlet CO₂-reduktion på 63%.

3.4 Etageboliger

I etageboliger er overfladearealet i forhold til boligarealet betydeligt mindre end i vores øvrige boligformer, hvorfor varmetransmissionstab udgør en mindre andel af det samlede varmetab. Ventilationstab udgør således en større andel af det samlede energiforbrug til rumopvarmning.

En minimering af energiforbruget til rumopvarmning og el kan opnås ved at udføre byggeriet med minimeret varmetransmissions- og ventilationstab ved anvendelse af effektive energibesparelsetiltag, og ved samtidig at supplere med en maksimal anvendelse af bygningsintegreret solvarme. Herved kan bygningen udføres uden et egentligt varmeanlæg.

Alternativt kan byggeriet tilknyttes et CO₂-neutralt kraftvarmeanlæg baseret på biomasse, affaldsforbrænding el. lign. Dette vil især være relevant i etageboligbyggerier i de nye byområder, der etableres udenfor landets større byer.

For de 2 typer vil der være tale om forskellige løsninger, ”teknisk niveau” og fokusering i forhold til de enkelte dele af byggeriet. Nedenstående tabel illustrerer disse forskelle for de to helhedsløsninger.

Teknologi	Besparelse/solenergi	CO ₂ -neutral energi
Varmeanlæg	El-backup	Biomasse, affaldsforbrænding etc.
Isoleringsniveau	Scenario II	Scenario I
Termisk masse	Ja	Nej
Ventilation m. behovsstyring	Ja	Ja
Ventilation m. varmegenvinding	Ja/Nej	Nej
Forvarmning af ventilationsluft	Ja	Ja/Nej
Solvarme til rumopvarmning	Ja	Nej
Solvarme til varmt brugsvand	1-2 m ²	3 m ²
Solceller	7-10 m ²	2 m ²

3.4.1 Etageejendom uden varmesystem

En etageejendom uden et traditionelt opvarmningssystem kan opnås ved en stor udnyttelse af forskellige besparelseteknologier samt en udstrakt udnyttelse af bygningsintegreret solvarme. Dog vil der være tidspunkter i de koldeste perioder om vinteren, hvor det er nødvendigt med suppleringsvarme, men da det er korte perioder, kan suppleringsvarmen f.eks. bestå af nogle få flytbare el-radiatorer eller el-varmluftblæsere.

Det er en forudsætning, at bebyggelsen er orienteret og placeret således, at et stort solenergitilskud er til rådighed.

Klimaskærm

For at reducere opvarmningsbehovet til et minimum er det nødvendigt at isolere bedre, end der i dag isoleres i lavenergibyggeri. Bygningen forudsættes opført med konstruktioner og installationer som beskrevet for scenario II uden varmegenvinding på ventilationsluften.

Den ikke transparente del af klimaskærmen

For solvægge med transparent isolering vil den samlede mørke U-værdi dog næppe blive mindre end 0,65 W/m²K.

Den transparente/translucente del af klimaskærmen

Transparente og translucente partier udformes med henblik på stor passiv solvarmeudnyttelse i fyringssæsonen. Samtidigt sikres der mod overophedning uden for fyringssæsonen ved hjælp af forskellige former for fast og mobil solafskærmning.

Glasfacader

Der anvendes glasfacader i form af inddækkede altaner/solstuer, uventilerede solvægge med transparent isolering samt ventilerede solvægge, hvor den friske luft til bygningen kan forvarmes. Altaner/solstuer skal være velisolerede, således at utilsigtet brug ikke udgør en potentiel risiko for et øget opvarmningsbehov, som det ofte er set i forbindelse med renovering af altaner i den eksisterende boligmasse.

Ventilation

Ventilationen kan enten være balanceret mekanisk ventilation eller konstanttrykreguleret udsugningsventilation (begge med effektive ventilatorer med et lavt el-forbrug), naturlig ventilation eller hybrid ventilation (ventilatorunderstøttet naturlig ventilation).

I nærværende forslag arbejdes med mekanisk behovstyret og konstanttrykreguleret ventilation uden varmegenvinding.

For yderligere at nedbringe opvarmningsbehovet kan den friske luft forvarmes af solen i f.eks. en inddækket altan, en solstue, en solvæg eller en luftsolfanger. For at reducere el-forbruget i forbindelse med mekanisk ventilation bør ventilationen udenfor fyringssæsonen ske ved naturlig ventilation. Dette kan dog være problematisk i etageboliger, idet bygninger med mange beboere typisk vil betyde, at der vil være stor variation med hensyn til opfattelsen af, hvornår fyringssæsonen starter og slutter, og dermed hvornår der er et reelt opvarmningsbehov.

Brugsvand

Der anvendes de mest effektive vandbesparende armaturer overalt i bygningen. Om muligt anvendes varmegenvinding på det grå spildevand.

El-forbrug

Der installeres et bygningsintegreret solcelle-anlæg, der kan dække en stor del af bygningens el-forbrug. Anlægget kan placeres i såvel facade som tag.

Energiforbrug

Med anvendelse af ovenstående tiltag forventes det, at det årlige opvarmningsbehov pr. bolig kan nedbringes til ca. 15 kWh/m² (scenario II), hvoraf rumopvarmningsbehovet udgør ca. 5 kWh/m² og opvarmningsbehovet til varmt brugsvand udgør ca. 10 kWh/m².

Elforbruget pr. bolig vil i alt være ca. 20 kWh/m² pr. år ~1.400 kWh per år, der som nævnt ovenfor dækkes af et solcelle-anlæg på 7-10 m².

Nettilførslen af energi (i form af el) vil da for en etagebolig af gennemsnitsstørrelse på ca. 70 m² være ca. 1050 kWh (= 15 kWh/m² x 70 m²).

Der vil således være tale om en energiforbrugs- og CO₂-emissionsreduktion på ca. 70 % i forhold til dagens typiske niveau.

3.4.2 Etageejendom tilkoblet kraftvarmesystem med CO₂-neutral energiproduktion

Her er etageejendommen tilknyttet et CO₂-neutralt kraftvarmeanlæg f.eks. baseret på biomasse el. affaldsforbrænding. Det kan enten være et større regionalt kraftvarmeanlæg eller et mindre anlæg udelukkende tilknyttet den aktuelle bebyggelse. På grund af den relativt store el-bundne varmeproduktion vil det ikke være økonomisk rentabelt at anvende de samme besparelsetiltag som under 1. Dog vil det være formålstjenligt at have et større solvarmeanlæg til dækning af det varme brugsvand i sommermånederne, således at kraftvarmeanlægget kan lukkes for vedligeholdelse i op til 4 måneder om året.

Klimaskærm

Bygningen vil blive isoleret svarende til scenarie I.

Glasfacader

Altanerne inddækkes på en sådan måde, at de ikke leder til et øget energiforbrug på grund af uhenigtsmæssig brug. Dvs. enten ved at de er så utætte, at de ikke kan forventes anvendt (opvarmet) i fyringssæsonen, eller at de er så velisolerede, at de ikke forøger bygningens opvarmningsbehov. Der sikres i den forbindelse mod overophedning uden for fyringssæsonen ved hjælp af forskellige former for fast og mobil solafskærmning.

Ventilation

Der anvendes behovsstyret fugtreguleret ventilation. Den friske luft forvarmes delvist gennem de inddækkede altaner.

Brugsvand

Der anvendes vandbesparende armaturer overalt i bygningen. Bygningen udstyres med et solvarmeanlæg, der kan dække brugsvandsbehovet i sommermånederne. Solfangerarealet er ca. 3 m² pr. bolig.

Afhængig af størrelsen af solvarmeanlægget vil der være mulighed for komfortopvarmning af f.eks. badeværelsesgulvet.

El-forbrug

Der installeres et mindre solcelleanlæg (2 m²) primært som supplement i sommermånederne, hvor kraftvarmeanlægget er lukket ned. Den solcelleproducerede el anvendes primært i bygningen.

Energiforbrug

Med anvendelse af ovenstående tiltag forventes det, at det årlige opvarmningsbehov pr. bolig kan nedbringes til ca. 35 kWh/m² (scenario I, med fugtstyret mekanisk ventilation), hvoraf rumopvarmningsbehovet udgør ca. 25 kWh/m², og opvarmningsbehovet til varmt brugsvand udgør ca. 10 kWh/m².

Elforbruget pr. bolig vil i alt være ca. 34 kWh/m² pr. år ~2.400 kWh per år, der i fyringssæsonen dækkes af det lokale CO₂-neutrale kraftvarmeanlæg og udenfor fyringssæsonen dækkes delvist af et solcelle-anlæg på 2 m².

Nettotilførslen af energi vil da for en etagebolig af gennemsnitsstørrelse på ca. 70 m² være ca. 4430 kWh (= 63 kWh/m² x 70 m²).

Der vil således være tale om en energiforbrugsreduktion på ca. 45% i forhold til dagens typiske niveau. Da el- og varmeproduktionen er mere eller mindre CO₂-neutral forventes en 100% CO₂-emmissionsreduktion i f. t. dagens typiske niveau i denne type bygning.

3.5 Energibalancer

3.5.1 Indledning

Der er i nedenstående opstillet energibalancer for hhv. et parcelhus, et rækkehus og et etagehus. Der er brugt programmet ”Bygningers varmebehov 98” (Bv98) [2], som er et pc-program, som bl.a. kan eftervise, om energirammen i bygningsreglementerne BR 95 [3] og BR-S 98 [4] er overholdt. Beregningerne i programmet svarer til metoden beskrevet i SBI-anvisning 184: Bygningers energibehov [5].

Formålet med at opstille energibalancerne er bl.a. at vurdere, hvor langt det er muligt at reducere varmebehovet i nybyggeriet i år 2010.

Der er beregnet energibalancer for parcel-, række- og etagehuse med forskellige isoleringsniveauer. Der er taget udgangspunkt i konstruktioner, installationer og bygninger, som netop opfylder kravene i BR 95 inklusive tillæg 2 og BR-S 98 inklusive tillæg 1. Transmissionstab er beregnet med DS 418 [6] inklusive tillæg 1-4 [7], [8]. For parcel- og rækkehuset er det bestemmelserne i BR-S 98, der gælder, mens det for etageboligen er BR 95.

3.5.2 Beregningsforudsætninger

Der er opstillet to scenarier for fremtidige isoleringsniveauer i nybyggeriet. Scenario I svarer til, hvad der kan opnås med kendt og almindelig byggeteknik, og i scenario II er brugt U-værdier, der forudsættes mulige i år 2010.

Tabel 3.2. Scenarier for fremtidige isoleringsniveauer i nybyggeriet.

Bygningsdele	Nuværende krav	Fremtids scenarier	
	BR95 og BR-S 98	I	II
	Inkl. nyt tillæg		
U-værdier i W/m ² K:			
Tunge ydervægge	0,30	0,20	0,10
Terrændæk	0,20	0,15	0,09
Loft og tagkonstruktioner	0,15	0,13	0,08
Vinduer og yderdøre	1,80	1,10	0,70
Linietab i W/m K:			
Ydervægsgundamenter	0,25	0,20	0,10
Samling ydervæg – vinduer	0,03	0,00	0,00

Der er i scenario I brugt en g-værdi for vinduerne på 0,56, og i scenario II en g-værdi på 0,4. Yderligere er arealfaktoren i scenario II (den faktor der tager hensyn til, hvor stor en andel ruden udgør af det samlede transmissionsareal) sat op fra 0,7 til 0,8, idet vinduernes ramme/karmareal vurderes til at blive smallere i fremtiden.

Det forudsættes som udgangspunkt, at parcel- og rækkehuset har naturlig ventilation med 0,3 l/s m². Det er antaget, at der i etageboligen er konstant mekanisk udsugning på 35 l/s pr. lejlighed. I scenario II er luftskiftet forudsat uændret i parcel- og rækkehuset, mens der i etagehuset er et behovssty-

ret luftskifte, som sættes til 20 l/s pr. lejlighed. Dernæst beregnes scenario I og II for alle tre hustyper med mekanisk ventilation 0,3 l/s m² (samt 0,1 l/s m² infiltration) med hhv. 0,75 og 0,85% genvinding.

Det gennemsnitlige interne varmetilskud i boliger fra personer, belysning og el-udstyr er som udgangspunkt i alle energibalancerne sat til 5 W/m² opvarmet etageareal i middel for hele den opvarmede del af boligen og hele døgnet i opvarmningssæsonen. Desuden er scenario I og II beregnet med 3 W/m².

Ved beregningerne anvendes tre eksempelbygninger. Den ene er et 160 m² parcelhus, den anden er et rækkehus på 600 m² opdelt i 6 husstande á 100 m², og den tredje er en 1080 m² fritliggende etagebolig. Sidstnævnte er i tre etager (360 m² pr. etage) plus kælder, som kan tænkes at være et etagehus med 15 lejligheder i alt, dvs. 5 lejligheder pr. etage á 72 m².

Parcelhuset er 10,0 x 16,0 m i ét plan med et etageareal på 160 m². Huset er med terrændæk. Etagehøjden er 2,6 m målt fra oversiden af gulvet til oversiden af isoleringen i taget. Det samlede facadeareal er 145 m², hvoraf vinduerne og yderdørene udgør 35 m² svarende til ca. 24 pct. af etagearealet. Den samlede fundamentslængde er 56 m. Den samlede omkreds af huller til vinduer og døre, som ligger til grund for bestemmelse af kuldebroernes længde, er 70 m.

Rækkehuset er i ét plan med et etageareal på 600 m². Huset er med terrændæk. Etagehøjden er 2,6 m målt fra oversiden af gulvet til oversiden af isoleringen i taget. Det samlede facadeareal er 432 m², hvoraf vinduerne og yderdørene udgør 132 m² svarende til ca. 31 pct. af etagearealet. Den samlede fundamentslængde er 166 m. Den samlede omkreds af huller til vinduer og døre, som ligger til grund for bestemmelse af kuldebroernes længde, er 264 m.

Etageboligen er 10,0 x 36,0 m med et samlet etageareal på 1080 m². Boligen er med kælder. Etagehøjden er 2,8 m. Det samlede facadeareal er 828 m², hvoraf vinduerne og yderdørene udgør 238 m² svarende til ca. 29 pct. af etagearealet. Den samlede omkreds af huller til vinduer og døre er 475 m.

3.5.3 Energibalancer

Ifølge de nye tillæg til bygningsreglementerne er energirammen for parcel- og rækkehuset 280 MJ/m² år (78 kWh/m² år) og for den valgte etagebolig 207 MJ/m² år (58 kWh/m² år) plus et tillæg pga. udsugningsanlægget 74 MJ/m² år (20 kWh/m² år), i alt 281 MJ/m² år (78 kWh/m² år).

I tabel 3.3 er anført de beregnede varmebehov til rumopvarmning og ventilation på årsbasis for alle ovennævnte tilfælde.

I tabel 3.4 er energiforbrugene for de tre eksempelbygninger samlet, når bygningerne er opført efter bygningsreglementet, dels energiforbruget til opvarmning, ventilation og varmt brugsvand og dels elforbruget. Der er antaget et nettoenergiforbrug til produktion af varmt brugsvand i parcelhuset på ca. 2000 kWh/år; i rækkehuset på ca. 1200 kWh pr. husstand og i etagehuset på ca. 900 kWh/år pr. lejlighed.

I parcelhuset er der antaget et elforbrug til belysning og apparatur på ca. 4000 kWh/år, hvoraf 20 pct. antages at gå til belysning. I række- og etageboligen er der antaget et elforbrug til belysning og apparatur på ca. 2700 kWh/år pr. husstand/lejlighed. Herudover antages i etageboligen et samlet fælles elforbrug til belysning på adgangsveje, trapper og andre fælles rum svarende til 200 kWh/år

pr. lejlighed samt et elforbrug til elevatorer svarende til 75 kWh/år pr. lejlighed. Elforbruget til udsugning er sat til 1000 J/m^3 , hvilket svarer til ca. 290 kWh pr. lejlighed pr. år.

Tabel 3.3. De samlede varmebehov til rumopvarmning og ventilation i kWh/m² år for alle tre hustyper med forskellige forudsætninger.

	Varmebehov i kWh/m ² år		
	Parcelhus	Rækkehus	Etagebolig
BR-S 98/BR 95	72	66	69
Scenario I	47	43	47
Scenario II	27	25	15
Scenario I med 3 W/m ² i stedet for 5 W/m ² internt varmetilskud	58	53	58
Scenario II med 3 W/m ² i stedet for 5 W/m ² internt varmetilskud	36	34	24
Scenario I med mekanisk ventilation	34	30	17
Scenario II med mekanisk ventilation	12	11	5

Tabel 3.4. Energiforbrug i eksempelbygningerne opført efter bygningsreglementet.

	<u>Parcelhuset</u>	<u>Rækkehuset</u>	<u>Etagehuset</u>
Opvarmning			
<i>Nettovarmeforbrug i kWh/m² år</i>			
Opvarmning og ventilation	72	66	69
Varmt brugsvand	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>12</u>
I alt	84	78	81
Elforbrug			
<i>Elforbrug i kWh/m² år</i>			
Belysning	5	5	6
Ude- og trappelys	0	0	3
Ventilation	0	0	4
Pumper	1	1	1
Fyr	2	2	2
Apparater mv.	19	19	22
Elevatore	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>
I alt ekskl. fyr	25	25	37
I alt inkl. fyr	27	27	39

I tabel 3.5 er energiforbrugene vist for eksempelbygningerne opført efter scenario I med forskellige forudsætninger for ventilation. Ved mekanisk ventilation er elforbruget til lufttransport sat til 2000 J/m^3 , hvilket svarer til 5 kWh/m^2 .

Tabel 3.5. Energiforbrug i eksempelbygningerne opført efter scenario I med forskellige forudsætninger for ventilation.

	<u>Parcelhuset</u>		<u>Rækkehuset</u>		<u>Etagehuset</u>	
	Naturlig vent.	Mek. vent.	Naturlig vent.	Mek. vent.	Mek. udsug.	Mek. vent.
Opvarmning						
<i>Nettovarmeforbrug i kWh/m² år</i>						
Opvarmning og ventilation	47	34	43	30	47	17
Varmt brugsvand	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>12</u>
I alt	59	46	55	42	59	29
Elforbrug						
<i>Elforbrug i kWh/m² år</i>						
Belysning	5	5	5	5	6	6
Ude- og trappelys	0	0	0	0	3	3
Ventilation	0	5	0	5	4	5
Pumper	1	1	1	1	1	1
Fyr	2	2	2	2	2	2
Apparater mv.	19	19	19	19	22	22
Elevatore	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
I alt ekskl. fyr	25	30	25	30	37	38
I alt inkl. fyr	27	32	27	32	39	40

I tabel 3.6 er energiforbrugene for de tre eksempelbygninger samlet for bygningerne opført efter scenarium II (i år 2010).

Der forudsættes et halveret elforbrug i forhold til, at bygningerne opføres med nuværende kendt og almindelig teknik. Ved mekanisk ventilation er elforbruget til lufttransport sat til 1000 J/m³, hvilket svarer til 3 kWh/m². Vandforbruget sættes til 75% i forhold til det nuværende pga. øget brug af vandbesparende foranstaltninger.

Tabel 3.6. Energiforbrug i eksempelbygningerne opført efter scenario II med forskellige forudsætninger for ventilation.

	<u>Parcelhuset</u>		<u>Rækkehuset</u>		<u>Etagehuset</u>	
	Naturlig vent.	Mek. vent.	Naturlig vent.	Mek. vent.	Mek. udsug.	Mek. vent.
Opvarmning						
<i>Nettovarmeforbrug i kWh/m² år</i>						
Opvarmning og ventilation	27	12	25	11	15	5
Varmt brugsvand	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>
I alt	37	22	35	21	25	15
Elforbrug						
<i>Elforbrug i kWh/m² år</i>						
Belysning	2	2	2	2	3	3
Ude- og trappelys	0	0	0	0	1	1
Ventilation	0	3	0	3	2	3
Pumper	1	1	1	1	1	1
Fyr	1	1	1	1	1	1
Apparater mv.	10	10	10	10	11	11
Elevatore	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
I alt ekskl. fyr	13	16	13	16	19	20
I alt inkl. fyr	14	17	14	17	20	21

4 Udviklingsbehov

4.1.1 Ikke transparent klimaskærm:

Det er målet at skabe velisolerede konstruktioner med god holdbarhed til laveste totalomkostninger, såvel økonomiske som miljømæssige. Derfor er det ikke kun materialets egenskaber, men den samlede konstruktion, som bestemmer resultatet.

Der er behov for at udvikle:

- Nye isoleringsformer med lav varmeledningsevne.
- Ydervægskonstruktioner tilpasset meget store isoleringstykkelser til en rimelig pris.
- Fundamentskonstruktioner tilpasset meget store isoleringstykkelser til en rimelig pris.

4.1.2 Transparent/translucent del af klimaskærmen:

Der er behov for udvikling af smalle og velisolerende ramme/karmkonstruktioner, der samtidig giver en termisk god løsning i vindue/vægsamlingen, idet indbygningsforholdene har en betydelig indflydelse på det samlede varmetab.

Udvikling af vinduer eller vinduessystemer, der både kan have en høj solenergitransmittans, når der er behov for energitilskuddet, og som kan være solafskærmende, når der ikke er et opvarmningsbehov.

Ved anvendelse af vinduer med meget lav U-værdi er det desuden nødvendigt at udvikle løsninger, der eliminerer risikoen for udvendig kondens, der ellers vil betyde, at vinduerne i lange perioder om vinteren vil være permanent tilisede.

4.1.3 Ventilation

I fremtidigt boligbyggeri vil et energi-effektivt ventilationsanlæg være af stor betydning for minimering af bygningen samlede energiforbrug til rumopvarmning og ventilation.

Det vurderes, at 4 ventilationsprincipper vil være attraktive:

1. Naturlig ventilation (åbning af vinduer)
2. Naturlig (hybrid) ventilatorunderstøttet ventilation med behovsstyring
3. Behovsstyret konstantryks- og fugtreguleret udsugningsventilation
4. Mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding

Af disse vurderes især nr. 2 ,3 og 4 at være interessante.

I rapportens teknologiansnit vedr. varme og ventilation er vist en vurdering af 2 af disses indflydelse på det samlede energiforbrug samt de årlige energiudgifter. Af appendixet fremgår, at der er gode besparelsesmuligheder ved en øget energieffektivitet og reduktion af el-forbruget ved ventilationsanlæg med varmegenvinding. Tilsvarende vil et fugtreguleret behovsstyret udsugningsanlæg blive betydeligt mere attraktivt, såfremt prisen på fugtfølere kan reduceres, da disse udgør en betragtelig del af de samlede anlægsomkostninger for et behovsstyret ventilationsanlæg. For maksimale energibesparelser og bedst mulig luftkvalitet vil der derfor være behov for at analysere og udvikle en kombineret anvendelse af disse to typer ventilationsanlæg. Dette arbejde kan med fordel baseres på

erfaringerne fra det igangværende forskningsprojekt på By og Byg vedr. behovsstyret boligventilation.

Der er desuden behov for yderligere udvikling og demonstration af energieffektive og lønsomme ventilationsanlæg, der kombinerer ovenstående ventilationstyper med forvarmning af ventilationsluft ved anvendelse af luftsolfangere. Endelig er der behov for en omhyggelig vurdering af energieffektiviteten ved anvendelse af naturlig (hybrid) ventilation i boliger.

Der er behov for klarlægning af energieffektivitet og økonomi ved behovsstyret ventilation, og der er behov for udvikling af metoder og komponenter til opnåelse af en effektiv udluftning baseret på naturlig ventilation, der er indbrudssikker og ikke kræver indgriben fra beboerne.

Behovsstyret naturlig ventilation skal udvikles til pålidelige, letforståelige og prisbillige systemer. Der er endvidere behov for at udvikle integrationsdetaljer mellem glasfacader til forvarmning af frisk luft i anlæg for naturlig ventilation: spjæld, kanaler, styring.

4.1.4 Genvinding af varmen fra gråt spildevand

Problemerne med tilstopning af varmevekslerne til varmegenvinding af gråt spildevand er endnu ikke er løst. Der er derfor behov for et udviklingsprojekt på dette område.

4.1.5 Solvarme til varmt brugsvand

Der er gode muligheder for at forbedre rentabiliteten af solvarmeanlæg væsentligt. Der er behov for at udvikle:

- optimalt udformede små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Anlægget bør baseres på et varmelager med størst mulig temperaturlagdeling og med øvrige komponenter som gør installationen af anlægget let og billig.
- optimalt udformede mellemstore solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Forskelligt udformede varmelagre bør undersøges. Trykløse vandtanke og varmtvandsbeholdere, eksterne og interne varmevekslere og stratifikationsindløbsrør inkluderes i undersøgelserne.

4.1.6 Luftsolvarmesystemer til rumvarme

Behov for demonstrationsbyggeri med afprøvning af luftsolvarmeanlæg i praksis med mulighed for udvikling af god bygningsintegrationsløsninger for solvarme, kanaler mv.

4.1.7 Solceller

Udviklingsbehov: Demonstrationsbyggeri med integration af solceller. Det forventes at branchen udvikler nye, effektive, økonomisk attraktive solceller over de næste 10 år.

5 Referencer

- [1] Hastings, S.R & O. Mørck, "Solar Air Systems - A Design Handbook", IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2000. James & James Science Publishers Ltd. ISBN 1 873936 69 9.
- [2] Karl Grau og Søren Aggerholm: Bygningers varmebehov 98 (Bv98). Pc-program til beregning af varmebehov og energiramme. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm. 1998.
- [3] Bygningsreglement 1995 (BR-95). Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen. København 1995. ISBN 87-90247-01-9.
- [4] Bygningsreglement for småhuse (BR-S 98). Bolig- og Byministeriet. København 1998. ISBN 87-90247-14-0.
- [5] Søren Aggerholm et al.: Bygningers energibehov. Varveisolering. Konstruktionseksempler. Ventilation. Belysning. SBI anvisning 184. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm. 1995. ISBN 87-563-08883-3.
- [6] Dansk Standard DS 418: Dansk Ingeniørforening's Regler for beregning af bygningers varmetab. 5.udgave, december 1986. ISBN 87-571-0967-2.
- [7] Tillæg 1 til DS 418: Beregning af bygningers varmetab. Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre. 1997.
- [8] Tillæg 4 til DS 418: Beregning af bygningers varmetab. Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og -vægge samt samlinger omkring vinduer og døre. 2000.

Statusrapport

Hovedindhold

Resume

1. Glas og vinduer
2. Konstruktioner og isoleringsmaterialer
3. Installationer (udstyr og apparater)
4. Energistyring og infoteknologi
5. Varme- og ventilationsinstallationer i fremtidens lavenergiboligbyggeri
6. Små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning
7. Solvægge
8. Solcelleanlæg
9. Bilag:

Eksempler på lavenergihuse

- Økohuse i Kolding
- 2-generations lavenergihus i Hjortekær
- Lavenergi bebyggelsen Lillevangsvej, Farumsødal Boligselskab
- Totalenergiløsning i Agerskrænten, Egebjerggård i Ballerup
- Havrevangen, Hillerød
- Two Danish low-energy row houses, Vonsild, Kolding
- Solar Sustainable Housing, Spijkenisse & Leeuwarden (NL)
- The Passive House in Damstadt-Kranichstein. Planning, Construction, Results
- No heating at all? -Is it possible in Swedish climate? Artikel fra Swedish Building Research 3/98

IEA Task 13

- Solar low energy houses of task 13
- EuroSun '96: Reaching Extremely Low Levels of Energy Consumption: Strategies Used in Task 13
- EuroSun '96: Advanced Solar Low Energy Dwellings: The Experiences of IEA Task 13

Indholdsfortegnelse

1. Glas og vinduer	
af Jørgen M. Schultz, BYG·DTU, Danmarks Tekniske Universitet.....	6
1.1. Indledning.....	6
1.2. Forsegledede ruder.....	6
1.2.1. Lavemissionsbelægnings.....	6
1.2.2. Gasfyldninger.....	7
1.2.3. Kantforseglingen.....	8
1.3. Ramme/karmkonstruktioner.....	9
1.4. U-værdi / g-værdi.....	11
1.5. Bygningsreglements krav.....	12
1.6. Sammenfatning af eksisterende vinduesløsninger.....	13
1.7. Forskning og udvikling.....	13
1.7.1. Superisolerende ruder.....	14
1.7.2. Forbedring af ramme/karmkonstruktionen og g-værdien.....	14
1.8. Vinduesets betydning for det resulterende energiforbrug.....	15
1.9. Konklusion.....	16
1.10. Referencer.....	17
1.10.1. Øvrigt anvendt materiale.....	18
1.11. Appendix.....	19
2. Konstruktioner og isoleringsmaterialer	
af Kirsten Engelund Thomsen, By og Byg.....	21
2.1. Indledning.....	21
2.2. Konstruktioner.....	21
2.2.1. Bygningsreglementets krav.....	21
2.2.2. Eksempel på konstruktion.....	22
2.2.3. Tillæg til DS 418 omhandlende kuldebroer.....	23
2.2.4. IEA Task 13.....	23
2.3. Isoleringsmaterialer.....	24
2.3.1. Typer af materialer.....	24
2.3.2. Varmeledningsevne.....	26
2.4. Forskning og udvikling.....	27
2.4.1. Konstruktioner.....	27
2.4.2. Isoleringsmaterialer.....	27
2.5. Referencer.....	29
3. Installationer (udstyr og apparater)	
af Poul Erik Kristensen og Connie Honoré, Teknologisk Institut, Energi.....	30
3.1. Indledning.....	30
3.2. Status.....	30
3.2.1. Mærkning af hårde hvidevarer.....	30
3.3. Fremskrivning af elforbrug.....	30
3.4. Krav til fremtidens installationer.....	32
3.4.1. Tilskudsordninger og forbrugerinformation.....	32
3.4.2. Stand-by.....	32
3.4.3. Synliggørelse af elforbrug.....	32
3.4.4. Belysning.....	32

3.4.5. Omlægning fra elanvendelse i hårde hvidevarer til miljøvenlige energiformer..	32
3.4.6. Elforbrug i apparater 1995 - 2010.....	33
3.5. Referencer.....	34
4. Energistyring og infoteknologi	
af Olaf Bruun Jørgensen, Esbensen A/S	35
4.1. Indledning.....	35
4.2. Status for traditionelle anlæg.....	35
4.2.1. Udefølerstyret anlæg	35
4.2.2. CTS-anlæg	35
4.3. Status for avancerede anlæg	35
4.3.1. IHC-systemer	35
4.3.2. Fjernafslæsningsanlæg	36
4.3.3. Visionære energistyrings- og informationssystemer	36
4.3.4. TV-GYR.....	36
4.3.5. Synergys	37
4.3.6. Økogy	37
4.4. Krav til fremtidens anlæg	38
4.5. Metoder til opfyldelse af krav.....	39
4.5.1. IHC-systemer	39
4.5.2. Syngyr - Økogy	39
5. Varme- og ventilationsinstallationer i fremtidens lavenergiboligbyggeri	
af Ove Mørck og Ole Balslev Olesen, Cenergia Energy Consultants	40
5.1. Indledning.....	40
5.2. Emneområder og forsknings- og udviklingstemaer	40
5.3. Forsknings- og udviklingstemaer.....	41
5.3.1. Rumopvarmning - varmeafgivere.....	41
5.3.2. Ventilation - systemer	42
5.3.3. Fjernvarmetilslutning, distribution og solvarmetilslutning.....	42
5.3.4. Gaskedler	43
5.4. Første fase af et evt. nyt forskning- og udviklingsprojekt.....	43
5.5. References	53
Apendixes.....	54
6. Små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning	
af Simon Furbo, BYG-DTU, Danmarks Tekniske Universitet	57
6.1. Indledning.....	57
6.2. Status	57
6.2.1. Traditionelle anlæg	57
6.2.2. Low flow anlæg	58
6.2.3. Ydelser	60
6.2.4. Varmtvandsbeholdere.....	61
6.3. Fremtidens solvarmeanlæg	61
6.4. Referencer.....	62
7. Solvægge	
af Ove Mørck, Cenergia Energy Consultants	64
7.1. Introduktion	64
7.2. Solvægskategorier	64
7.3. Anlægstyper.....	65

7.4. Realiserede anlæg	65
7.4.1. <i>Den canadiske solvæg</i>	66
7.4.2. <i>Solvægge til betonrenovering</i>	66
7.4.3. <i>Erfaringer fra øvrige udførte solvægsprojekter</i>	67
8. Solcelleanlæg	
af Ivan Katic, SolenergiCentret, Teknologisk Institut	70
8.1. Introduktion	70
8.2. Anlægskategorier	70
8.3. Solcelletyper	71
8.4. Billiggørelse.....	74
8.4.1. <i>Nye processer</i>	74
8.4.2. <i>Billigere installation</i>	74
8.4.3. <i>Billigere/bedre vekselrettere</i>	74
8.5. Solcelleanlægget år 2010.....	75
8.6. Hvor skal der satses?	75
8.7. Referencer.....	76
9. Bilag	78

1. Glas og vinduer af Jørgen M. Schultz, BYG-DTU, Danmarks Tekniske Universitet

1.1. Indledning

Energimæssigt indtager vinduerne en speciel position i forhold til andre klimaskærmskonstruktioner på grund af deres mange funktioner: 1) vinduerne tilfører dagslys til bygningen og giver beboerne visuel kontakt med omgivelserne, 2) vinduerne skærmer mod udeklimaet og 3) vinduerne transmitterer solenergi, der kan medvirke til reduktion af energiforbruget men som også kan føre til ubehagelige overtemperaturer.

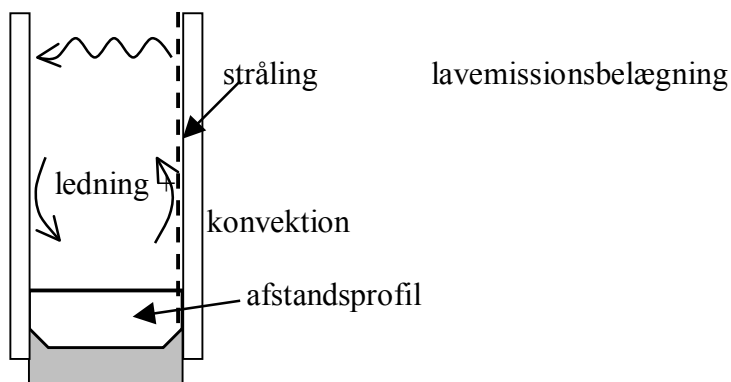
Isoleringsmæssigt er vinduet stadig den dårligst isolerende del af klimaskærmen med en varmetabskoefficient, U-værdi, der typisk er 4-10 gange større end for de øvrige klimaskærmselementer. Dette har en overgang ført til anvendelse af meget små vinduesarealer til skade for dagslysniveauet, men i takt med udviklingen af bedre isolerende rudetyper er det typiske vinduesareal atter øget.

I de efterfølgende afsnit er der forsøgt at give en status på vinduesområdet med hovedvægt på de energimæssige forhold, mens mere specielle produkter som solafskærmende ruder og sikkerhedsruder ikke er beskrevet. Afslutningsvis beskrives kort, hvilke områder der i øjeblikket er forskningsaktuelle.

1.2. Forseglede ruder

1.2.1. Lavemissionsbelægninger

En forseglet rude (termorude, energirude, lavenergirude etc.) er opbygget af to eller flere lag glas, der langs rudekanten er samlet omkring et afstandsprofil, der sikrer den ønskede glasafstand og giver en næsten luft- og fugttæt forsegling af hulrummet mellem glaslagene (se figur 1.1). Varmetransporten i en forseglet rude sker ved ledning og konvektion i hulrummet samt ved varmestråling fra det varme til det kolde glas. I en almindelig termorude udgør varmetransporten ved stråling ca. 2/3 af den samlede varmetransport mellem glaslagene. Den primære udvikling har derfor gået på at nedsætte varmetransporten ved stråling gennem anvendelse af lavemissive belægninger på en eller flere glasoverflader. En lavemissionsbelægning består af et meget tyndt metallag, der er næsten 100% transparent over for sollys (kortbølget stråling). Derimod vil belægningen kun udsende meget lidt varmestråling (langbølget stråling), hvorved varmetransporten ved stråling reduceres.



Figur 1.1: Skitse af en tolags forseglet rude med én lavemissionsbelægning.

Udviklingen på rudeområdet er primært koncentreret om udvikling af lavemissionsbelægninger med meget lille emittans. Der skelnes mellem ”hårde” og ”bløde” belægninger, der betegner to forskellige metoder til at påføre belægningen. De hårde belægninger påføres under produktionen af glasset og er modstandsdygtige overfor ydre påvirkninger (deraf navnet hårde), mens de bløde belægninger påføres det færdige glas i et vakuumkammer. Sidstnævnte belægninger angribes af alm. fugtig atmosfærisk luft og ødelægges af mekaniske påvirkninger, hvorfor bløde belægninger altid skal vende ind mod et forsegleet tørt hulrum.

Belægningerne påvirker sollys- og solenergitransmittansen for glasset, idet der absorberes en større mængde af den kortbølgede stråling. Dette betyder, at det belagte glas opvarmes mere end almindeligt glas ved solpåvirkning. Ved anvendelse af ruder med mere end to glaslag bør der derfor ikke anvendes lavemissionsbelægninger på de mellemliggende glaslag, da temperaturen på glasset kan blive meget høj og føre til termisk brud i ruden. I ovenstående refererer sollys til bølgelængdeområdet for synligt lys, mens solenergi i princippet refererer til hele solstrålingens bølgelængdeområde.

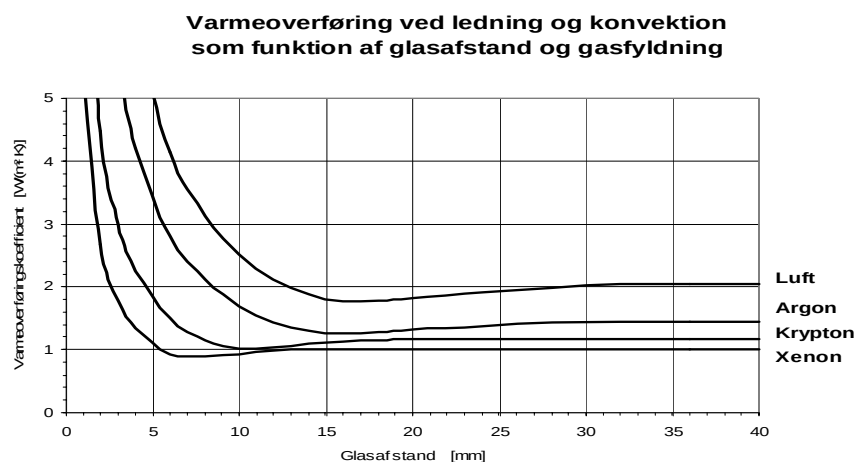
Tabel 1.1: Typiske værdier for en forseglet argonfyldt tolagsrude med en belægning på det inderste glas afhængig af belægningstypen. Glasafstanden er 15 mm.

Belægningstype	Emittans	Sollystransmittans	Solenergitransmittans	center U-værdi
Hårde	0,35	0,73	0,66	1,9
	0,12	0,76	0,64	1,4
Bløde	0,09	0,77	0,54	1,3
	0,04	0,75	0,47	1,1

Som det fremgår af ovenstående tabel, er det ikke muligt med de hårde belægninger at opnå så lave emittanser som med de bløde belægninger, men til gengæld er sollys- og solenergitransmittansen højere end for de bløde belægninger.

1.2.2. Gasfyldninger

Anvendelsen af lavemissive belægninger reducerer varmetransporten ved stråling med op til ca. 90%, hvorved varmeledning og konvektion i det forseglede hulrum bliver dominerende. Varmeledning og konvektion afhænger af luftarten og glasafstanden som vist i nedenstående figur.



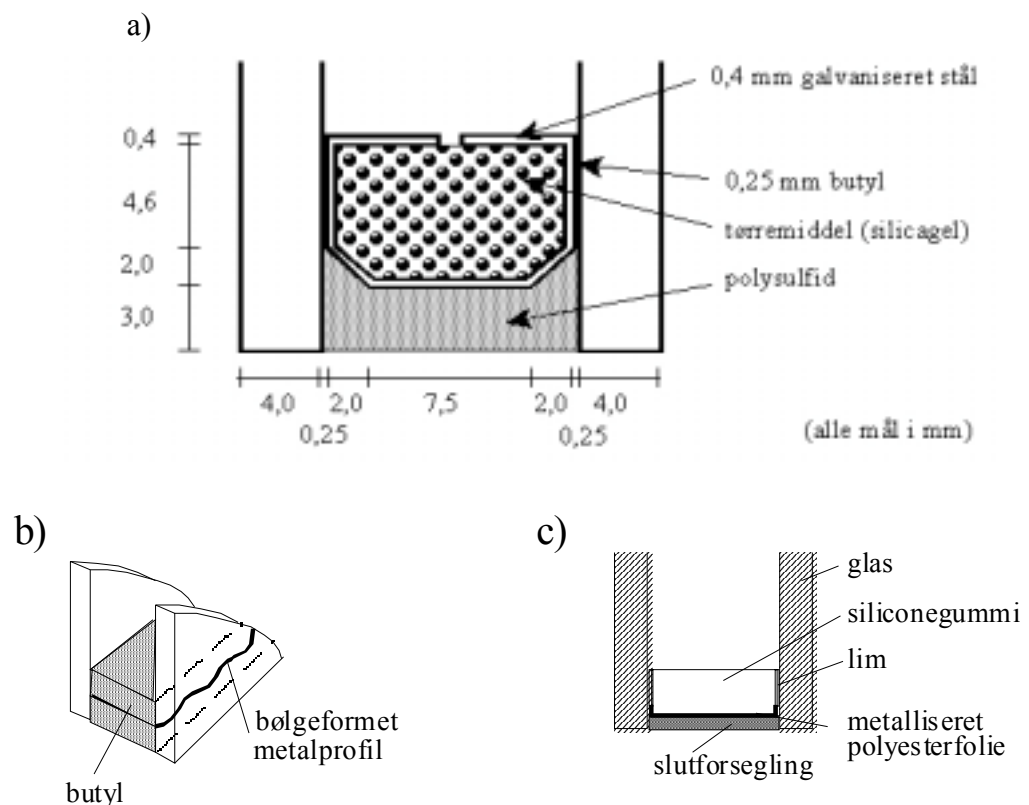
Figur 1.2: Varmetransport ved ledning og konvektion som funktion af glasafstand og luftart.

Det er muligt, ved kombination af flere glaslag, lavemissionsbelægninger og isolerende gasarter at opbygge en rude med meget lav U-værdi, men for hvert glaslag og hver belægning der anvendes reduceres sollys- og solenergitransmittansen betydeligt. Eksempelvis kan der med en trelags rude med 2 lavemissionsbelægninger og kryptonfyldning opnås en U-værdi på $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, men med en direkte solenergitransmittans på 0,29.

1.2.3. Kantforseglingen

Afstandsprofilet, der indgår i rudens kantforsegling, består traditionelt af et metalprofil af 0,4 mm aluminium eller galvaniseret stål, kun adskilt fra glasoverfladerne med en ca. 0,3 mm butylfuge (figur 1.3 a). Metal er fuldstændig diffusionstæt overfor gas og vanddamp, mens diffusionen gennem butylfugen begrænses til et næsten negligerbart niveau på grund af fugens meget lille tværsnitsareal og butylmassens store diffusionsmodstand.

Termisk set udgør kantforseglingen på grund af metalprofilet en markant kuldebro i forhold til resten af ruden. Kuldebroen har betydning for overfladetemperaturerne ca. 0,10 m regnet fra rudekanten og ind mod rudemidten. Betydningen af kuldebroen for rudens totale U-værdi er afhængig af rudens form og størrelse, men fører typisk til en total U-værdi for ruden der er 5 – 10% større end U-værdien ved rudens midte.



Figur 1.3: Eksempler på afstandeprofiler. a) Traditionelt aluminium- eller stålprofil. b) Butyl med indstøbt tyndt metalprofil. c) Silikoneskum med metalliseret polyesterfilm.

I USA og Canada er man langt fremme med anvendelse af andre typer afstandeprofiler baseret på butyl eller silikoneskum (figur 1.3 b,c), hvor metalprofilet er udskiftet med en metalliseret plastfolie, hvorved kuldebroen reduceres betragteligt. De nye typer afstandeprofiler har ikke vundet indpas i Danmark, primært på grund af prisen, men også fordi det kræver indførelse af

ny produktionsteknik. Enkelte producenter tilbyder dog at levere vinduer med isolerende afstandsprofiler i ruderne - typisk i tilfælde, hvor der er forøget risiko for kondensdannelse.

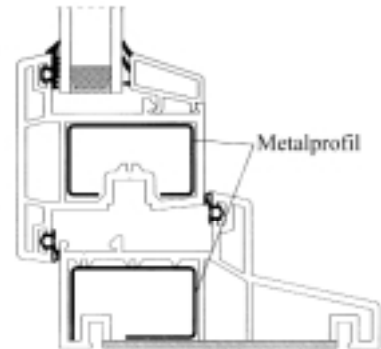
En anden mulighed for reduktion af kuldebroen er anvendelse af afstandsprofiler af rustfrit stål med en godstykkelse på ca. 0,15 mm. Denne type afstandsprofil vil ikke kræve indførelse af ny teknologi og vil medføre en reduktion i kuldebroen, der nærmer sig niveauet for de metalfri profiler [1]. Ruder med disse profiler leveres nu som standard i Velux ovenlysvinduer.

1.3. Ramme/karmkonstruktioner

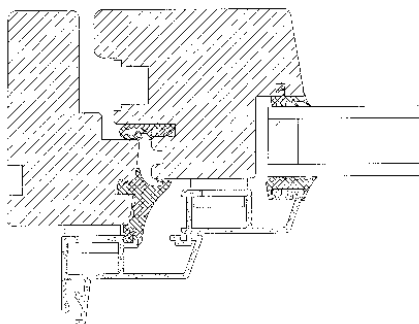
Det færdige vindue består af en rude monteret i en ramme/karmkonstruktion, hvis formål er at fastholde ruden, gøre det muligt at åbne vinduet og skabe overgangen mellem ruden og de omkransende konstruktioner.



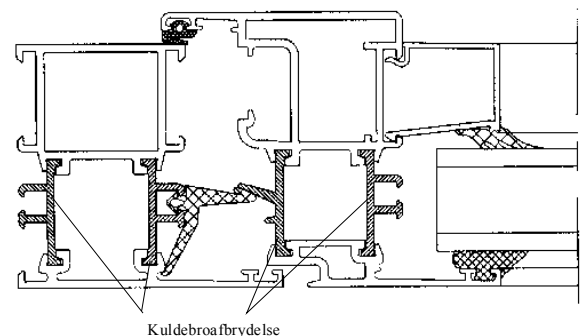
Traditionel trækonstruktion



Typisk plastvindue



Trævindue beklædt med aluminium



Typisk aluminiumsvindue
med brudt kuldebro

Figur 1.4: Snit i typiske ramme/karmkonstruktioner

Ramme/karmkonstruktionen udføres traditionelt i træ, der er nemt at arbejde med og som har en relativ lav varmeledningsevne. Trævinduer udgør stadig den største del af markedet, men udgifterne til vedligeholdelse har betydet udvikling af plast og aluminiumsvinduer, hvor vedligeholdelsesomkostningerne er minimale. Plastvinduerne er dårligere isolerende end

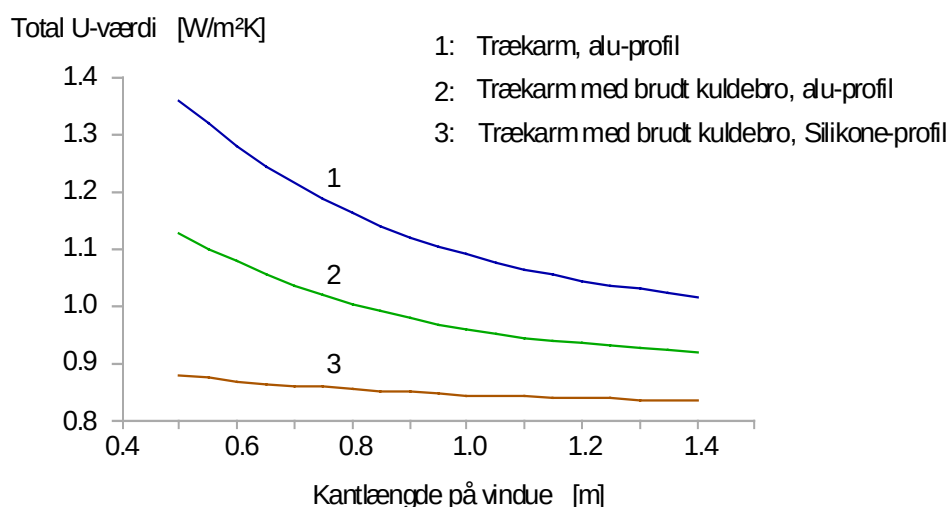
trævinduer tildels på grund af et indlagt metalprofil, der er nødvendigt af styrkemæssige årsager. For aluminiumsvinduer er der krav om, at den udvendige og den indvendige del af konstruktionen skal være termisk adskilt, f.eks. ved hjælp af en kuldebroafbrydelse af plast, men U-værdien er væsentlig højere end for trævinduer.

En kombination der efterhånden vinder større og større udbredelse er trævinduet forsynet med et udvendigt ventileret aluminiumsprofil, hvorved de lave vedligeholdelsesomkostninger kombineres med trævinduets gode isoleringsevne.

I udlandet er der udviklet nye ramme/karmkonstruktioner af ubrudt isoleringsmateriale som f.eks. PU-skum beklædt med aluminium. Konstruktionen har en lidt bedre isoleringsevne end den traditionelle trækonstruktion, men der findes endnu ikke en kommercielt tilgængelig ramme/karmkonstruktion, der forbedrer isoleringsevnen markant.

U-værdien for typiske ramme/karmkonstruktioner er ca. $1,4 - 2,0 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ og er således væsentlig højere end center U-værdien for de oftest anvendte energiruder. Idet ramme/karmarealet ofte udgør en stor del af det samlede vinduesareal får den højere U-værdi mærkbar indflydelse på vinduets totale U-værdi.

I forbindelse med den danske deltagelse i IEA Task 13 Solar Heating and Cooling Programme – Advanced Solar Low Energy Houses finansieret af midler fra Energistyrelsen blev der for de danske huse udført detaljerede analyser af vinduernes totale U-værdi som funktion af størrelse og ramme/karmarealets isoleringsevne (figur 1.5).



Figur 1.5: Total U-værdi beregnet for et kvadratisk vindue med en 3 lags energirude (center U-værdi = $0,85 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$) som funktion af vinduets størrelse. Der er regnet på en traditionel ramme/karmkonstruktion af træ ($U \cong 1,6 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$) og en ramme/karmkonstruktion af træ med et indbygget isoleringslag ($U \cong 0,8 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$) samt to forskellige afstandsprofiler.

Ramme/karmkonstruktionen af træ med brudt kuldebro er beskrevet i [2]. Analyserne udført i forbindelse med deltagelsen i IEA Task 13 resulterede i anvendelse af 3 lags energiruder med en center U-værdi på $0,7 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ og en g-værdi på 0,5. Anvendelsen af isolerende afstandsprofiler og bedre isolerende ramme/karmkonstruktioner var på daværende tidspunkt ikke muligt. Imidlertid er der i husene anvendt relativt store sammenhængende vindues-

arealer, hvilket medvirker til minimering af kuldebrovirkningen af afstandsprofil og ramme/karm ($U_{\text{total}} = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$).

Alternativet til anvendelse af bedre isolerende ramme/karmkonstruktioner er en minimering af ramme/karmdimensionerne, der umiddelbart vil føre til en lavere total U-værdi for vinduet, hvis ramme/karm U-værdien ikke ændres, men ikke mindst til et større transparent areal med deraf følgende større sollys- og solenergi-tilskud til boligen. I afsnit 1.4, tabel 1.2, er vist effekten af forskellige ramme/karmdimensioner.

1.4. U-værdi / g-værdi

Som tidligere nævnt er vinduets varmetabskoefficient væsentlig højere end de øvrige klimaskærmskonstruktioner, men samtidig tillader vinduet passage af solenergi, der kan komme boligen tilgode. De to mekanismer beskrives ved henholdsvis U-værdien og g-værdien.

U-værdien beregnes i henhold til DS-418 tillæg 1 [3] som en arealvægtning af de rudens U-værdi og ramme/karmkonstruktionens U-værdi plus et tillæg for kuldebroforholdene omkring rudens kant. Sidstnævnte tillæg beregnes som produktet af rudens omkreds og den lineære transmissionskoefficient Ψ_g , der udtrykker det ekstra varmetab pr. meter rudekant.

g-værdien er et mål for hvor stor en del af den solenergi der rammer vinduets yderside, der tilføres det bagvedliggende rum og kaldes den totale solenergitransmittans. Den totale solenergitransmittans består af to bidrag: 1) den direkte transmitterede solenergi og 2) det indirekte tilførte solenergi. Det indirekte bidrag stammer fra opvarmningen af rudens glaslag på grund af absorption af solenergi i glasset og af eventuelle belægnings. En del af den absorberede varme vil blive tilført det bagvedliggende rum ved stråling, ledning og konvektion og således også bidrage til dækning af varmetabet. Den totale solenergitransmittans er derfor højere end den direkte solenergitransmittans.

Begrebet g-værdi anvendes både for ruder og for det færdige vindue, hvorfor det er meget vigtigt at vide, hvilket af de to tilfælde g-værdien refererer til. g-værdien for et vindue vil typisk være meget mindre end for ruden, idet ramme/karmarealet ikke transmitterer solenergi, jf. nedenstående tabel 1.2.

For godt isolerende rudetyper betyder den smalle og dårligere isolerende ramme/karmkonstruktion at total U-værdien bliver lavere end i den traditionelle og bedre isolerende trækarm på grund af det større glasareal.

Der er i Danmark netop indført en frivillig mærkningsordning for vinduer og ruder med henblik på at sætte fokus på vinduets energimæssige forhold og gøre disse til en reel konkurrenceparameter, der kan stimulere udviklingen af energimæssigt bedre vinduesløsninger. Mærkningsordningen sikrer en entydig fastlæggelse af U- og g-værdi for det enkelte produkt og gør det muligt at anvende værdier direkte til beregningsformål.

Tabel 1.2: Eksempler på forskellige kombinationer af ramme/karmkonstruktion og rudetyper og deres betydning for den totale U-værdi og g-værdien. Vinduets ydre mål er $1 \times 1 \text{ m}^2$. Den lineære transmissionskoefficient er $0,06 \text{ W/(m K)}$.

Karmhøjde	Karmareal	Glasareal	Rudeomkreds	Center U-værdi	Ramme/karm U-værdi	Total U-værdi	g-værdi ruden	g-værdi vinduet
mm	m^2	m^2	m	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	-	-
110	0,39	0,61	3,12	1,4	1,6	1,66	0,64	0,39
110	0,39	0,61	3,12	1,1	1,6	1,48	0,59	0,36
110	0,39	0,61	3,12	0,45	1,6	1,09	0,39	0,24
55	0,21	0,79	3,56	1,4	2,0	1,74	0,64	0,51
55	0,21	0,79	3,56	1,1	2,0	1,50	0,59	0,47
55	0,21	0,79	3,56	0,45	2,0	0,99	0,39	0,31

Det er imidlertid ikke entydigt hvorledes U-værdi og g-værdi skal vægtes i forhold til hinanden, idet andre forhold i det aktuelle tilfælde er afgørende. Det drejer sig om vinduets orientering, skyggeforhold, bygningens termiske masse, intern varmebelastning, etc. hvorfor der i det enkelte tilfælde skal foretages en vurdering/beregning for at finde det energimæssigt optimale vinduesvalg.

1.5. Bygningsreglements krav

I bygningsreglementet BR-95 [4] og bygningsreglementet for småhuse BR-S 98 [5] er der opstillet 3 forskellige metoder til opfyldelse af isoleringskravene (valgfrihed mellem metoderne):

- 1) Alle konstruktioner skal udføres med U-værdier der er lig med eller mindre end de i bygningsreglementet anførte værdier. For vinduer er kravet en U-værdi mindre end eller lig med $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ og et maksimalt vindue- og dørareal på 22% af etagearealet.
- 2) Bygningen skal overholde varmetabsrammen svarende til kravene i 1), men de enkelte konstruktioners U-værdier og arealer kan varieres dog med en maksimum værdi som angivet i bygningsreglementet. For vinduer og døre gælder en maksimal U-værdi på $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ og ingen krav til maksimalt areal.
- 3) Bygningens energiforbrug til opvarmning pr. m^2 etageareal må ikke overstige en given værdi, energirammen, men kravene til maksimale U-værdier for de enkelte konstruktionsdele skal overholdes. For vinduer og døre gælder en maksimal U-værdi på $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ og ingen krav til maksimalt areal.

Som det fremgår af ovenstående er der ikke direkte nævnt noget om vinduernes g-værdi, men vælges metode 3) indgår solenergitilskuddet gennem vinduerne i beregningen af energiforbruget til opvarmning.

1.6. Sammenfatning af eksisterende vinduesløsninger

Vinduer opbygges af en række delkomponenter (glastype, gasfyldning, afstandsprofil, ramme/karm) der kan kombineres så vinduet netop opfylder de krav, der i det enkelte tilfælde stilles til isoleringsevne, dagslysforhold, solafskærmning, støjdæmpning etc.

I nedenstående tabel 1.3 er der vist de typiske værdier for ruder til boligbyggeri. I oversigten er medtaget et par solafskærmende rudetyper til illustration af mulighederne for at begrænse solenergitilskuddet.

Ved de godt isolerende rudetyper, det vil sige for ruder med en center U-værdi mindre end ca. $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ opstår der et æstetisk problem med kondensation på rudens yderside. Kondensdannelsen optræder primært på klare stille nætter, men vil først forsvinde sidst på morgenen eller ud på formiddagen. Hvor meget dette vil påvirke brugerens indstilling til godt isolerende vinduer vil tiden vise.

Vedrørende afstandsprofiler anvender de fleste rudeproducenter i dag 0,4 mm galvaniseret stål, men i enkelte tilfælde anvendes isolerende afstandsprofiler, primært for at undgå kondensdannelse på indersiden af ruden, mens det energimæssige aspekt sjældent fører til brug af bedre afstandsprofiler.

*Tabel 1.3: Oversigt over typiske værdier for kommercielt tilgængelige rudetyper. Rudeopbygningen er beskrevet som f.eks. 4-15-*4, der angiver en tolagsrude med glastykkelsen 4 mm og 15 mm glasafstand, med en belægning på det inderste glas.*

Beskrivelse	Emittans	Center U-værdi			Sollystransmittans	g-værdi
		Luft	Argon	Krypton		
	-	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	-	-
4-12-4	-	2,9	2,7	2,6	0,82	0,76
4-12-*4	0,09	1,8	1,4	1,2	0,77	0,66
4-15-*4	0,12	1,7	1,4	1,4	0,75	0,71
4-15-*4	0,09	1,6	1,3	1,2	0,77	0,66
4-15-*4	0,04	1,4	1,1	1,0	0,75	0,59
4-12-4-12-*4	0,09	1,4	1,1	0,9	0,70	0,59
*4-12-4-12-*4	0,09	1,0	0,8	0,6	0,66	0,48
*4-12-4-12-*4	0,04	0,9	0,7	0,4	0,62	0,40
*4-12-4 solafsk	0,09	1,8	1,4	1,2	0,56	0,46
*4-12-4 solafsk	0,04	1,6	1,3	1,0	0,65	0,44

På ramme/karmområdet er der praktisk taget ikke sket nogen udvikling hen mod bedre isolerende konstruktioner, idet hovedindsatsen fra producentside er lagt i at reducere vedligeholdelsesomkostningerne. Der findes på markedet smalle ramme/karmkonstruktioner med en ramme/karmhøjde der er ca. det halve af det man finder for traditionelle trævinduer. U-værdien er til gengæld en del højere, men opvejes tildels af det mindre ramme/karmareal.

1.7. Forskning og udvikling

I Danmark er forskningen vedrørende vinduer koncentreret om udvikling af nye superisolierende rudetyper, isoleringsmæssig forbedring af ramme/karmkonstruktionen og forøgelse af vinduernes g-værdi.

1.7.1. Superisolerende ruder

Der arbejdes med udvikling af to forskellige former for superisolerende ruder:

- 1) Vakuumsruder er en tolags forseglet rude, hvor det forseglede hulrum er evakueret til et tryk lavere end 10^{-7} atm, hvorved al varmeledning og konvektion ophører. Varmerovergangen ved stråling bremses ved anvendelse af to lavemissionsbelægninger. For at det udvendige atmosfæretryk ikke skal få ruden til at klappe sammen er der anbragt en række små jævnt fordelte afstandsklodser mellem rudens glaslag. Klodserne er kun synlige på nært hold.

Vakuumsruden er meget tynd, idet glasafstanden kun er ca. 0,2 mm, hvilket gør ruden egnet til erstatning af ruder med et enkelt lag glas. Den teoretiske center U-værdien er ca. $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, men på grund af afstandsklodserne vil den reelle center U-værdi blive omkring $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. g-værdien bliver ca. 0,6 på grund af de to belægninger. Kantforseglingen skal være 100% lufttæt hvilket giver anledning til en væsentlig kuldebro langs rudens kant.

- 2) Aerogelruder er en tolags forseglet rude, hvor hulrummet mellem glassene er udfyldt med monolitisk silica aerogel og evakueret til et tryk på ca. 10^{-3} atm. Aerogel er et porøst materiale med åbne porer, der udgør 90% af volumenet. Den fine porestruktur gør, at ledning og konvektion i luften bremses allerede ved et groft vakuum samtidig med at materialet er ugenomskinnet for varmestråling. Aerogel har trykstyrke, der kan modstå belastningen fra det udvendige atmosfæretryk, hvorved ruden ikke klapper sammen.

Rudetykkelsen kan vælges vilkårligt, men ved 20 mm glasafstand kan der opnås en center U-værdi for ruden på ca. $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Den store fordel ved aerogelruden er den høje g-værdi på ca. 0,7. Aerogelruden er endnu ikke udviklet til et niveau, der gør den egnet til brug i almindelige vinduer, idet aerogelmaterialet ikke er 100% klart, men giver et let sløret gennemsyn. Kantforseglingen kan udføres uden nævneværdig kuldebro ved hjælp af en speciel plastfolie, der har en tilstrækkelig diffusionsmodstand overfor fugt- og gasdiffusion til, at ruden kan holde det grove vakuum i ca. 25 år.

1.7.2. Forbedring af ramme/karmkonstruktionen og g-værdien

Muligheden for at opnå lave U-værdier på rudesiden har sat fokus på at få reduceret kuldebrovirkningen af kantforseglingen og ramme/karmkonstruktionen. Med hensyn til kantforseglingen findes allerede løsningsmuligheder gennem anvendelse af isolerende afstandsprofiler, hvorfor forskningen er koncentreret omkring ramme/karmkonstruktionen. Specielt er udviklingen af smalle konstruktioner højt prioriteret, idet en større del af vinduesarealet vil blive udfyldt af den godt isolerende rude, hvilket også giver et større gennemskinnet areal, der kan kompensere for de godt isolerende ruders ofte lavere g-værdi.

Andre områder der arbejdes med er en forbedring af rudens g-værdi gennem anvendelse af såkaldt jernfrit glas, hvorved absorptionen af sollys og solenergi i glasset kan reduceres med ca. 5%. Anvendelse af jernfrit glas vil også betyde en mindre farvning af lyset. Derudover kan glasset overfladebehandles med en anti-refleksions behandling, hvorved en mindre del af sollyset reflekteres fra rudens overflader. Begge de nævnte metoder vil medføre en væsentlig forbedring af g-værdien.

Derudover arbejdes der med at udvikle metoder til nemt og hurtigt at kunne vurdere hvilken kombination af U- og g-værdi, der vil være energimæssig optimal i en given situation.

Problemet med udvendig kondensdannelse på godt isolerende ruder vurderes som et generelt problem for udbredelse af bedre isolerende vinduer, og der arbejdes med en mere detaljeret fastlæggelse af de forhold der fører til kondensdannelsen, samt hvilke muligheder der findes for at reducere problemet.

1.8. Vinduets betydning for det resulterende energiforbrug

U- og g-værdien for et vindue beskriver entydigt vinduets energimæssige kvaliteter, men hvilken betydning den kombinerede virkning af U- og g-værdi har for energiforbruget til opvarmning afhænger af en lang række forhold, som vinduernes orientering, bygningens termiske masse, internt varmetilskud fra beboere og deres anvendelse af huset etc. I appendix 1 er gengivet en række kurveblade, der beskriver energibalancen for ruder/vinduer med forskellig orientering som funktion af U- og g-værdien **uden** hensyn til hvordan mulighederne er for udnyttelse af solindfaldet. Desuden er der vist den resulterende energibalance for det samlede vinduesareal som funktion af U- og g-værdien beregnet for et énfamiliehus isoleret i henhold til BR-95 under hensyntagen til husets termiske masse og internt energitilskud. Kurvebladene er gengivet fra [6].

I nedenstående tabel 1.4 er vist det beregnede årlige energiforbrug til opvarmning i et lavenergihus med et energiforbrug, der er ca. 50% af energirammekravet i BR-95. Huset er et 130 m² enfamiliehus med et vinduesareal der udgør 21,5% af bruttoarealet. Vinduerne er fordelt med 8,7 m² mod nord, 3,7 m² mod øst, 13,0 m² mod syd og 2,4 m² mod vest. Det relativt store glasareal mod nord skyldes to døre med glaspartier.

Betragtes nedenstående tabel fremgår det, at det for de fleste rudetyper vedkommende energimæssigt kan betale sig at vælge en mindre ramme/karmkonstruktion selvom den er dårligere isolerende. Det skyldes dels at en stor del af det forøgede varmetab opvejes af et større solindfald og dels, at forøgelsen af U-værdien er koncentreret på et mindre areal.

Rudens g-værdi kan øges med ca. 0,1 ved anvendelse af jernfrit glas, hvilket for en 2-lags energirude giver en reduktion i opvarmningsbehovet på ca. 220 kWh/år. De tre sidste rudetyper i ovenstående tabel, beskriver de muligheder der kan forventes indenfor en tidshorisont på 10 år, hvor 3-lags energiruden i princippet kan anskaffes på nuværende tidspunkt, mens vakuumruden og aerogelruden stadig er under udvikling. Der er i alle 3 rudetyper anvendt jernfrit glas.

Anvendelse af en 3-lags energirude betyder en årlig energibesparelse på ca. 300 kWh i forhold til en 2-lags energirude på trods af en halvering af rudens center U-værdi, hvilket primært skyldes den lave solenergitransmittans (g-værdi), men også kuldebroen i rudens afstandsprofil. Sammenlignes f.eks. med aerogelruden, der har omtrent samme center U-værdi, men meget lille kuldebro i kantforseglingen og en høj solenergitransmittans, kan der opnås en energibesparelse på ca. 1600 kWh/år i forhold til 2-lags ruden med jernfrit glas.

Vakuumruden ligger midt mellem 3-lags ruden og aerogelruden på grund af den højere center U-værdi, der tildels reddes af en relativ høj g-værdi.

Generelt viser ovenstående beregninger, at der er store muligheder for at reducere energiforbruget til opvarmning gennem anvendelse af vinduer med forbedrede termiske egenskaber – i dette eksempel er det muligt at reducere energiforbruget med 50% i forhold til udgangsniveauet. Det er imidlertid vigtigt, at udviklingen af bedre vinduer både inddrager U-

værdien og g-værdien for det færdige vindue, hvilket vil sige, at ramme/karmarealet skal reduceres og en forbedring af rudens U-værdi ikke må medføre en væsentlig reduktion i g-værdien for ruden.

Tabel 1.4: Beregnet energiforbrug til opvarmning af et lavenergihus ved anvendelse af forskellige typer vindueskonstruktioner og rudetyper. Vinduerne er i tabellen karakteriseret dels ved center U- og g-værdi og dels ved den resulterende middelværdi for alle husets vinduer af den totale U- og g-værdi. Beregningerne er foretaget med tsbi3.

Ramme/karm	Rudebeskrivelse	U-værdi		g-værdi		Energiforbrug opvarmning kWh/år
		center	middel	center	middel	
		W/(m ²)	W/(m ²)	-	-	
træ, 110 mm	2-lag, 15 mm argon,	1,1	1,4	0,59	0,39	3726
træ/alu, 63 mm	1 lav-E, $\epsilon = 0,04$	1,1	1,5	0,59	0,47	3683
træ, 110 mm	2-lag, 12 mm krypton	0,9	1,3	0,59	0,39	3456
træ/alu, 63 mm	1 lav-E, $\epsilon = 0,04$	0,9	1,4	0,59	0,47	3365
træ, 110 mm	2-lag jernfrit glas, 12 mm	0,9	1,3	0,70	0,47	3245
træ/alu, 63 mm	krypton, 1 lav-E, $\epsilon = 0,04$	0,9	1,4	0,70	0,56	3123
træ, 110 mm	3 lag jernfrit glas, 2×10	0,5	1,0	0,48	0,32	2929
træ/alu, 63 mm	mm krypton, 2 lav-E, $\epsilon = 0,04$	0,5	1,0	0,48	0,38	2739
træ, 110 mm	2 lag jernfrit glas,	0,7	1,0	0,74	0,49	2663
træ/alu, 63 mm	vakuum, 2 lav-E, $\epsilon = 0,15$	0,7	1,2	0,74	0,59	2678
træ, 110 mm	2 lag jernfrit glas,	0,4	0,7	0,86	0,57	1618
træ/alu, 63 mm	20 mm evakueret aerogel	0,4	0,9	0,86	0,69	1842

1.9. Konklusion

Udviklingen på vinduesområdet har ført til kommercielt tilgængelige rudetyper med to lag glas, der fører til mindst en halvering af varmetabet gennem vinduet sammenlignet med den traditionelle termorude. Den videre udvikling på området fører til stadig lavere U-værdier, men på bekostning af en lavere total solenergitransmittans, hvorved den resulterende energibesparelse normalt bliver beskeden. I det gennemregnede eksempel medfører anvendelse af en 3-lags energirude med en center U-værdi på 0,5 W/(m² K) kun til en årlig energibesparelse på ca. 200 kWh i forhold til en 2-lags energirude med en center U-værdi på 0,9 W/(m² K).

Solenergitransmittansen for ruden kan generelt øges med ca. 0,1 ved anvendelse af jernfrit glas. Derudover kan vinduets totale solenergitransmittans øges ved anvendelse af smallere ramme/karmkonstruktioner. I det beregnede eksempel er effekten af en ændring af ramme-/karmhøjden fra 110 mm til 63 mm af samme størrelsesorden som anvendelse af jernfrit glas frem for alm. jernholdigt glas.

Med udgangspunkt i kryptonfyldte ruder og lavemissionsbelægninger med en emittans på 0,04 er det vanskeligt at forestille sig yderligere væsentlige forbedringer af de energimæssige egenskaber for energiruder bortset fra en forbedring af g-værdien gennem anvendelse af jernfrit glas og eventuelt antirefleksionsbehandling af glasoverfladerne

Betragtes derimod vakuumruder og aerogelruder, der stadig er på udviklingsstadiet, er der et stort potentiale for yderligere energibesparelser relateret til vinduerne. Rudetyperne er karakteriseret ved en relativ lav center U-værdi kombineret med en relativ høj g-værdi. Anvendelse af aerogelruder vil i det gennemregnede eksempel føre til en halvering af energiforbruget til opvarmning i forhold til udgangsniveauet med 2-lags energiruder.

Både vakuumruder og aerogelruder er lavet som prototyper, men det er vanskeligt at vide om og hvornår en eventuel industriel produktion kan forventes etableret. For aerogelrudens vedkommende kræves en væsentlig forbedring af udsynskvaliteten før ruden er aktuel som vinduesrude, samt erfaringer med fremstilling af aerogelmaterialet i større dimensioner end 60×60 cm.

Ruder med lave U-værdier medfører at rudens yderside kan blive koldere end udeluftens dugpunkt, hvorved der udfældes kondens på ruden. Dette kan vise sig at blive et anvendelsesmæssigt problem, hvis ruden ofte er dugget til på ydersiden i en større del af dagen og dermed forhindrer udsyn gennem vinduet. Problemet opstår ved U-værdier under $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ og tiltager med faldende U-værdi. Der er endnu ikke nogen erfaringer med hvorledes brugerne vil reagere på dette forhold.

Udviklingen af rudetyper med U-værdier under $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ og høj g-værdi, betyder at energibalancen set over fyringssæsonen i Danmark for en nordvendt rude vil være positiv, hvilket vil sige, at der tilføres mere energi via diffus solstråling på ruden end, der tabes ved varmeledning gennem ruden. Dermed vil enhver ydervægskonstruktion med energimæssig fordel kunne udskiftes med et højisolerende dagslyselement. I den forbindelse ønskes typisk en diffus lystilførsel, hvorved en forringet udsynskvalitet er uden betydning. Det vil derfor være muligt at anvende f.eks. aerogelruder på det nuværende optiske niveau, ligesom problemet med udvendig kondensdannelse vil være uden betydning.

Netop øget dagslystilgang til vore boliger, og især i traditionelt mørke nordvendte rum, må anses for at være et kommende komfortmæssigt ønske fra brugerne ligesom det giver arkitekterne større muligheder for at arbejde med lysindfaldet uden, at det går ud over energiforbruget – måske nærmere tværtimod. Betydningen for elforbruget til belysning anses derimod for ubetydelig.

1.10. Referencer

- [1] Fritzel, Peter. *Bedre afstandsprofiler til lavenergiruder*. Laboratoriet for Varmeisolering, Medd. nr. 283, December 1995.
- [2] Schultz, Jørgen M. *Ramme/karmkonstruktioner til højisolerende vinduer*. Laboratoriet for Varmeisolering, Medd. nr. 237, September 1992.
- [3] *DS 418 Beregning af bygningers varmetab, tillæg 1 omhandlende vinduer og døre*.
- [4] *Bygningsreglement (BR 95)*. Bygge- og Boligministeriet. København 1995.
- [5] *Bygningsreglement for småhuse 1998 (BR-S 98)*. Bolig- og Byministeriet. København 1998.

- [6] *Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 1: Grundlæggende energimæssige egenskaber.* Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 1999.

1.10.1. Øvrigt anvendt materiale

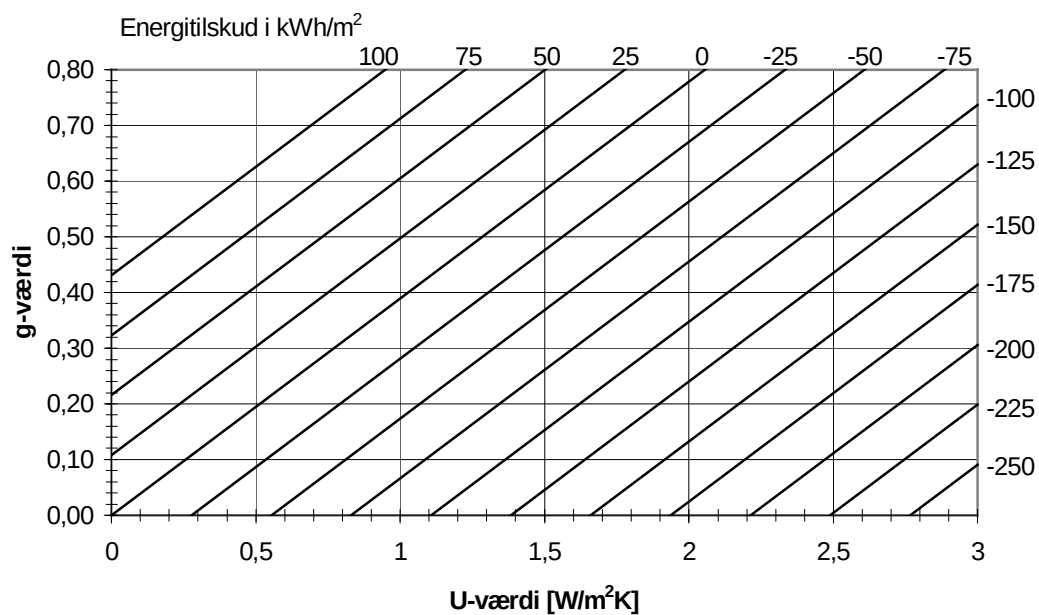
Glas 98. Pilkington Floatglas A/S. 1998

Thomsen, Kirsten Engelund; Schultz, Jørgen M.; Svendsen, Svend; Duer, Karsten; Kragh, Mikkel Kristian. *Håndbog om vinduer og energi.* Institut for Bygninger og Energi, Rapport nr. R-016, 1997.

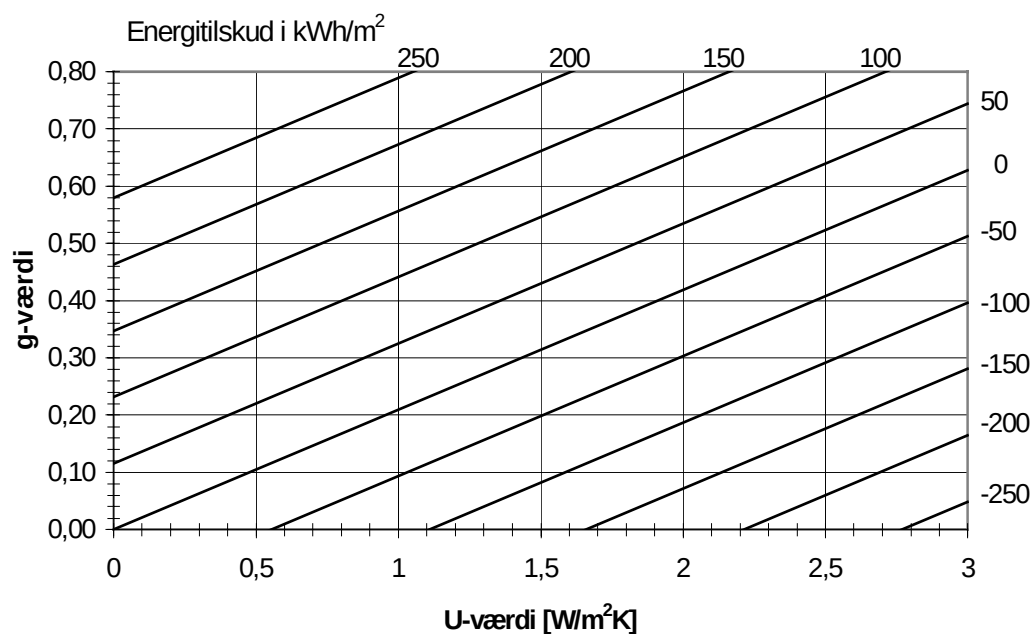
prEN 673: Glass in building – Determination of thermal transmittance (U-value) – Calculation method.

ISO 15099: Windows and doors – Thermal transmission properties – Detailed calculations.

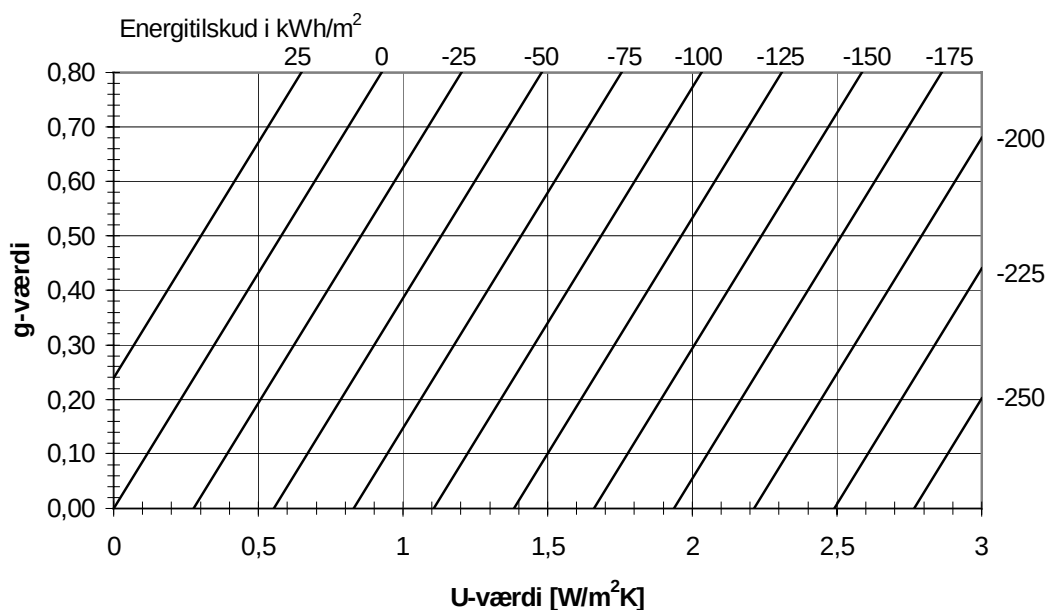
1.11. Appendix



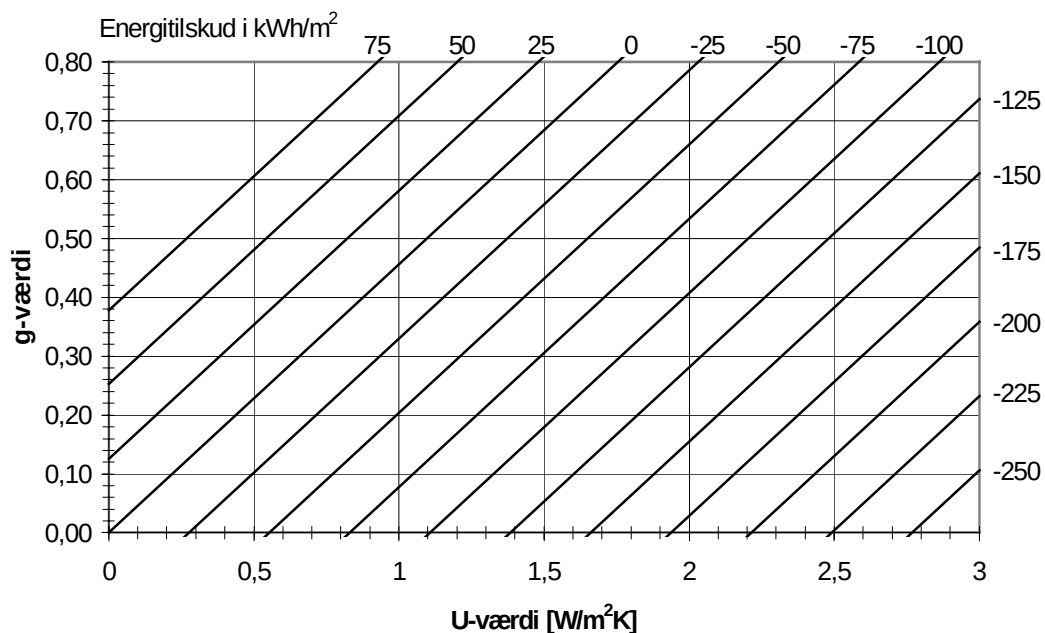
Figur 1.6: Energitilskud for lodrette, øst/vestvendte ruder og vinduer over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



Figur 1.7: Energitilskud for lodrette, sydvendte ruder og vinduer over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



Figur 1.8: Energitilskud for lodrette, nordvendte ruder og vinduer over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen)



Figur 1.9: Energitilskud for vinduer i huset beskrevet i DS 418 tillæg 4 [15] over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen). Energitilskuddet er midlet mht. vinduernes glas- og vinduesareal. Ved aflæsning i diagrammet skal derfor benyttes en middelværdi af U-værdien og g-værdien for vinduerne i boligen svarende til vinduesarealerne

2. Konstruktioner og isoleringsmaterialer af Kirsten Engelund Thomsen, SBI

2.1. Indledning

I forbindelse med EFP-99 projektet ”Lavenergihus 2010” er der i dette notat forsøgt at give en status på konstruktions- og isoleringsområdet med hovedvægten lagt på de energimæssige forhold. Isoleringsmaterialet indgår i klimaskærms konstruktionen og har stor betydning for, hvordan konstruktionen opfylder de øvrige funktionskrav fx lydisolering, brandsikkerhed, regn- og vindtæthed, fugtforhold, miljøbelastning og holdbarhed. Et isoleringsmateriale som samtidig med en lav varmeledningsevne bidrager til at løse de øvrige funktionskrav i konstruktionen, giver forudsætningen for en god totaløkonomi.

Afslutningsvis beskrives kort, hvilke forskningsprojekter der er i gang på området.

2.2. Konstruktioner

2.2.1. Bygningsreglementets krav

I Bygningsreglementerne BR 95 [1] og BR-S 98 [2] stilles der krav om, at klimaskærmen kun må indeholde kuldebroer i uvæsentligt omfang. Det vil for en bærende væg normalt sige, at kræfterne skal overføres på den indvendige side af isoleringen, således at dæk eller indvendige afstivende vægge ikke skal føres ud gennem isoleringen. Bygningsreglementet foreskriver også, at konstruktionerne skal være udformet, så varmeisoleringsevnen ikke nedsættes væsentligt som følge af fugt, vindpåvirkning eller utilsigtet luftgennemgang, dvs. at konstruktionen skal være lufttæt.

Bygningsreglementet foreskriver endvidere, at varmeisoleringen kan eftervises efter en af 3 metoder (der er valgfrihed mellem disse metoder): 1) overholdelse af U-værdi krav til de enkelte bygningsdele og samtidig begrænsning af arealet af vinduer og yderdøre til højst 22% af det opvarmede etageareal, 2) overholdelse af den såkaldte varmetabsramme for huset med ændrede U-værdier og arealer af vinduer og yderdøre og 3) overholdelse af den såkaldte energiamme vedrørende husets varmebehov til opvarmning og ventilation.

Der gælder i BR 95 følgende krav til U-værdierne, dels ved anvendelse af metode 1 (overholdelse af U-værdi krav) og dels ved anvendelse af metode 2 og 3 (varmetabs- eller energirammen), hvor de enkelte bygningsdele mindst skal isoleres svarende til de maksimale U-værdier:

Tabel 2.1: U-værdier dels ved anvendelse af U-værdi krav dels de maksimale U-værdier, hvis der benyttes varmetabs – eller energiramme, [1].

Konstruktioner	U-værdier i W/m ² K	Max. U-værdier i W/m ² K
Ydervægge med vægt under 100 kg/m ²	0,20	0,30
Ydervægge med vægt over 100 kg/m ² og kældervægge mod jord	0,30	0,40
Skillevægge mod rum, der er uopvarmede eller mere end 8°C lavere end rummet	0,40	0,60
Etageadskillelser mod rum, der er uopvarmede eller mere end 8°C lavere end rummet	0,30	0,40
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over det fri eller kryberum	0,20	0,30
Loft- og tagkonstruktioner	0,15	0,25
Flade tage og skråvægge direkte mod tag	0,20	0,25
Vinduer og yderdøre	1,80	2,90

U-værdier for en bygningsdel kan i reglen findes i tabelværket ”U-værdier ’95” [3]. I en byggesag er det tilstrækkelig dokumentation at henvise til, at en U-værdi er slået op i ”U-værdier ’95”, når der samtidig gøres rede for, hvilket varmeisoleringsprodukt, der anvendes.

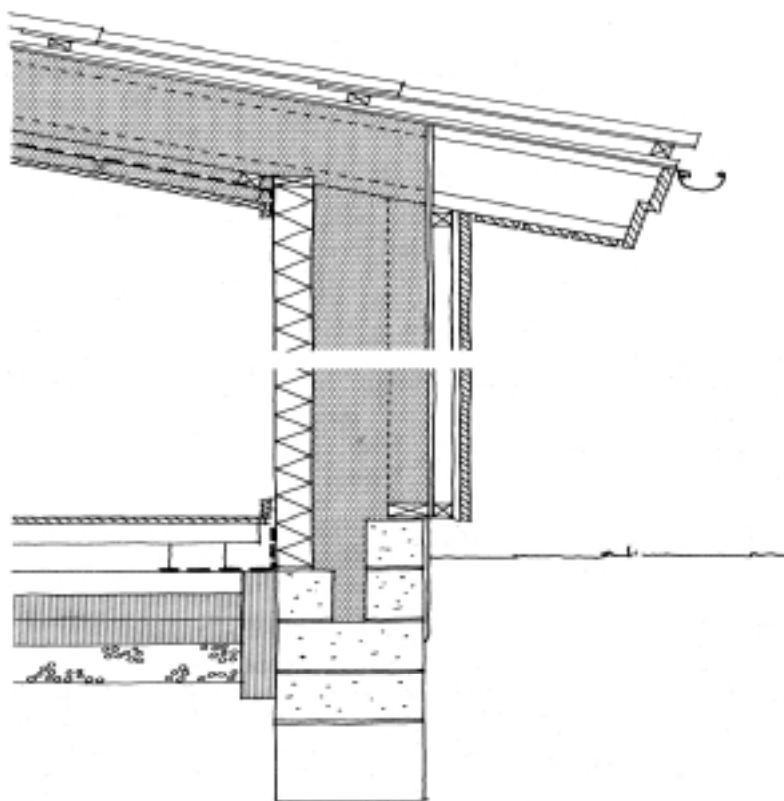
2.2.2. Eksempel på konstruktion

De fleste vægkonstruktioner herhjemme isoleres med mineraluld, og i lavenergihuset anvendes isoleringstykkelser på 250-300 mm i ydervægge, og da det er muligt at udforme konstruktioner, så der kun kommer ubetydelige eller slet ingen kuldebroer, kan der opnås U-værdier, der er væsentlig lavere end de i Bygningsreglementet fastsatte krav.

Et eksempel på et let ydervægskonstruktion er en væg udformet til 2. generations lavenergihuset i Hjortekær (figur 2.1). Det er en sandwichkonstruktion med en indvendig bærende væg af 100 mm letbeton og et udvendigt stolpeskelet, som bærer regnskærmen, der i dette hus består af en træbeklædning eller eternitplader. Stolperne er fastgjort til tag og fundament og stolpemellemrummene isoleret med 100 mm mineraluld. Mellem letbetonvæg og isoleret træskelet findes 200 mm mineraluld, i ubrudte, forskudte lag. Væggen har en U-værdi på 0,11 W/m²K eller omkring halvdelen af kravet i BR 95. Spartling og sædvanlig maling af den indvendige letbetonoverflade gør væggen lufttæt.

Væggen kan uden større ændringer udføres med større isoleringstykkelser, og den bærende væg ville også kunne udføres som pladebeklædt trækonstruktion. Det har kun en lille betydning for varmeforbruget, om den indvendige del af væggen består af lette eller tunge

materialer, men det kan have betydning for temperatursvingningerne og temperaturreguleringsmulighederne i rummet.



Figur 2.1: Let ydervæg, lodret snit, [4].

For at finde betydningen af, hvor meget energi, der kan spares ved at isolere klimaskærmen, kan der som et eksempel tages udgangspunkt i et 130 m² lavenergihus, hvor energiforbruget er ca. det halve af energirammen i henhold til BR 95 (~ 29 kWh/m²). Vinduerne er typiske trævinduer med 2-lags energiruder med en center U-værdi på 1,15 W/m²K og en center g-værdi på 0,59. Vægge og gulv er isoleret med 250 mm isolering og loftet med 400 mm. Hvis man i dette hus havde lagt 100 mm isolering mere overalt, ville besparelsen på varmemeforbruget være ca. 16%, mens 200 mm ville give en besparelse på ca. 25%. Hvis man derimod havde lagt 100 mm isolering mindre end oprindeligt, ville varmemeforbruget stige med 32%.

2.2.3. Tillæg til DS 418 omhandlende kuldebroer

Formålet med dette tillæg er at opdatere de generelle regler for beregning af kuldebroer. Tillægget omhandler både beregning af kuldebroer i de enkelte bygningsdele, og hvor bygningsdelene sammenføjes, [5].

2.2.4. IEA Task 13

2- og 3-dimensionale beregninger

I et projekt finansieret af Energistyrelsen, er der projekteret og opført 2 lavenergihuse. Projektet udgjorde samtidig den danske deltagelse i et task under IEA programmet Solar Heating and Cooling System, Task 13, "Solar Low Energy Buildings" [6]. De to lavenergi-

rækkehustyper er opført i Vonsild, den ene med facader vendt nord og syd, den anden med facader mod øst og vest.

En detaljeret analyse af de 2- og 3-dimensionale varmestrømme viste, at beregninger udført efter normal fremgangsmåde undervurderer varmetabet i fyringssæsonen med 15 og 50% afhængig af vinduestypen. Dette er et meget væsentlig forhold, også i forbindelse med måleprojekter, der jo gerne skulle bekræfte de teoretisk forudsagte varmetab. Afvigelserne forekommer i de analyserede huse ved især gulv/fundament og ved vindues- og døråbninger.

Orienteringens betydning

Huset med facader vendt mod nord og syd har ca. 26% vinduesareal mod syd i forhold til gulvarealet. Det årlige energiforbrug er 1550 kWh/år, når de 2-dimensionale varmestrømme indregnes. Vendes bygningerne 180° forøges varmetaforbruget typisk med 700-800 kWh/år, og vendes bygninger $\pm 30^\circ$ fra syd giver dette en forøgelse på 10%. Huset med facader vendt øst og vest er meget lidt følsom overfor orienteringen grundet en ensartet fordeling af vinduerne mod de 3 af verdenshjørnerne.

IEA Task 13's erfaringer om konstruktioner

I slutrapporten fra IEA Task 13 "Solar Low Energy Buildings" [6] er erfaringer i at designe klimaskærme til super-lavenergi huse listet og kan kort gengives herunder:

- Konstruer isolerende og lufttætte konstruktioner og samlinger.
- Brug mindst dobbelt så meget isolering som bygningsreglementet eller normal standard foreskriver (gyldig for standarder gældende 1997).
- Brug isolering med så lille varmeledningsevne som mulig bl.a. for at begrænse tab af indvendig areal.
- Når der bruges pladebatts, brug flere lag med forskudte samlinger for at undgå luftkanaler og være sikker på at isoleringen udfylder den disponible plads.
- Lav trækonstruktioner lufttætte ved at indlægge en dampspærre 50-75 mm inde i konstruktionen (op til 1/3 af isoleringstykkelsen), således at dampspærren er godt beskyttet og at de elektriske installationer kan trækkes uden at gennembryde den. Dampspærren skal have klemte overlap eller overlap, der er effektivt tapet. Vær særlig omhyggelig ved 2- og 3-dimensionale samlinger, hjørner, vinduer og døråbninger.
- Brug den naturlige lufttæthed i mursten og element byggeri enten i materialet eller i lufttætte pudsninger.
- Planlæg de nødvendige gennemføringer til installationer, således at der bliver færrest mulige gennembrydninger af klimaskærmens tæthedsplan. Hvis tætheden er baseret på tynde folier, er den enkleste måde at klemme folien mellem fx to krydsfinerplader, som omkring gennemføringen sømmes eller skrues sammen, derefter bores et hul i svag overstørrelse og fugen forsegles.
- Minimer kuldebroer i samlingerne.

2.3. Isoleringsmaterialer

2.3.1. Typer af materialer

De dominerende isoleringsmaterialer på det danske marked er stenuld og glasuld - under et betegnet mineraluld. Yderligere findes en række andre typiske isoleringsmaterialer, og der kan fx nævnes:

porebeton, letklinker, celleglas, ekspanderet polystyren, ekstruderet polystyren, polyurethan, perlite, cellulosefibre, træfiberplader og træbeton.

Den stigende interesse for at byggeriet skal udvikle sig hen mod større miljøvenlighed, har bevirket, at en gruppe isoleringsmaterialer har udskilt sig med fællesbetegnelsen "alternative isoleringsmaterialer". Herved forstås såkaldte miljøvenlige isoleringsmaterialer, der kan produceres via dyrkning eller genanvendelse. I dansk byggeri går det trægt med anvendelsen af disse materialer, mens man i udlandet i mange år har anvendt fx cellulose. I de seneste år er man begyndt at fremstille pladeformede isoleringsprodukter (som kendes fra mineraluld) af organiske fibermaterialer som fåreuld, hør og papiruld. I nedenstående tabel er en række af de alternative produkters råmateriale og produkttyper listet:

Tabel 2.2: Liste over alternative produkters råmaterialer og produkttyper, [7].

Produkt	Råmaterialer	Produkttyper
Cellulosefibre	Papirgranulat/cellulosefibre Boraks (+Borsyre) (Aluminiumshydroxid)	Granulat Bløde plader Hårde plader
Kork	Naturligt eller ekspanderet korkgranulat fra korkegetræer	Granulat Hårde plader
Træfiberplader	Findelt træ, træaffald (Aluminiumssulfat)	Bløde plader Hårde plader
Træbetonplader	Træspåner Cement/magnesit	Hårde plader
Hørfibre	Hørfibre Ammoniumfosfat (borsalt) Polyesterfibre	Bløde plader Ruller
Fåreuld	Renset fåreuld Borsalt, insektmiddel (Polyesterfibre)	Bløde plader Ruller
Kokosfibre	Fibre fra kokosnødders yderskal Brandhæmmer	Bløde plader Hårde plader
Bomuld	Bomuld Borsalt	Bløde plader Ruller
Polyesterfibre	Syntetiske (genbrugs-) Polyesterfibre	Bløde plader

Desuden bruges også halm, ikke bare som et isoleringsmateriale, men som konstruktion af selve råhuset. Der er på verdensplan bygget ca. 1000 halmhuse, hvoraf de fleste ligger i USA. Der er d.d. bygget 3 huse i Danmark, mens der er en del byggeprojekter i gang. Råd og svamp er uden tvivl halmens svageste punkt, så det er nødvendigt at sikre mod vandindtrængen.

For at kunne prioritere miljøindsatsen er det nødvendigt at opgøre en bygnings energiforbrug i hele dens livscyklus samt de hertil relaterede emissioner af CO₂, NO_x og SO₂. Der pågår på SBI et projekt "Alternative isoleringsmaterialer", hvor formålet er at indsamle og behandle produktspecifikke miljødata for hele livsforløbet, og desuden at opstille et katalog over miljøbelastningen for et antal bygningsdele, hvori der indgår alternative isoleringsmaterialer. Projektet vil afrapporteres ultimo 1999.

Begrebet ”Dynamisk isolering” dækker over, at det er muligt at bruge isoleringen som udeluftfilter. Ved at skabe undertryk i huset, og dermed lade luften passere gennem isoleringen bliver luften opvarmet af transmissionstabet. Dynamisk isolering kan opfattes som en form for varmeveksler, og jo tættere huset er, jo større energibesparelser kan opnås.

Begrebet vakuumisolering anvendes som fællesnævner for den gruppe af isoleringsmaterialer, som har den fælles egenskab, at et vakuum mellem to flader hjælper til at forbedre isoleringsevnen i elementet. Fladerne er separeret med et fyldstof, som tjener flere formål end blot at adskille membraner fra hinanden, bl.a. kan de tjene som strålingsbarriere, hvorved varmetabet ved stråling nedsættes i forhold til vakuumelementer, der ikke indeholder strålingsbarriere. Omvendt bidrager fyldstoffet til ledningen gennem panelet, hvilket modvirker denne effekt. Der er i juli 1998 udkommet en rapport, [8], der nævner, at en mængde vakuumisoleringspaneler er udviklet i forbindelse med køle- og fryseskabe samt i transportbranchen til kølebiler og containere. Fordelen ved vakuumisoleringspaneler fremfor almindelige isoleringsmaterialer er bedre samlet isoleringsevne ved mindre vægtykkelser. Der foregår en del forskning mange steder i verden, men oplysningerne om fremskridt er små.

I handelen findes desuden formstøbte polystyren blokke med huller til udfyldning af cement, fx et produkt fra New Zealand, som kaldes ”Formfour wall system”. Hver blok er lavet af EPS i målene 1000 mm x 250 mm x 300 mm (l x b x h), og har 4 cirkulære huller med en diameter på 160 mm. Produktet er udviklet til brug for én- og toetages huse.

2.3.2. Varmeledningsevne

I DS 418: ”DIF’s regler for beregning af bygninger varmetab” [9] er beregningen af U-værdier baseret på materialers praktiske varmeledningsevne (λ_p).

I DS 418 findes et afsnit, hvor standardværdier for varmeledningsevnen for de hyppigst forekommende byggematerialer kan findes. Der anvendes artsbetegnelser og ikke varebetegnelser for byggematerialerne.

Varmeisoleringskontrollen – VIK – er en frivillig prøvnings- og kontrolordning for varmeisoleringsmaterialer. VIK udfører 3. parts kontrol af produkter til termisk isolering af bygninger og tekniske installationer. For *kontrollerede* produkter fastsætter VIK værdierne for den praktiske varmeledningsevne λ_p . For ikke kontrollerede produkter angiver DS 418 værdier, der under hensyntagen til usikkerhed mht. disse produkters egenskaber er højere end for kontrollerede. Isoleringstykkelsen må derfor øges tilsvarende for at opnå samme U-værdi som for kontrollerede produkter. VIK offentliggør løbende den praktisk anvendelige varmeledningsevne eller isolans for de varmeisoleringsprodukter, der er tilmeldt kontrolordningen [10].

I VIK’s produktoversigt ligger lambda-værdien for pladebatts af mineraluld mellem 36 og 55 mW/m K alt efter type af produkt. For *løsfyldprodukter* er lambda-værdien for cellulosefibre mellem 50 og 55 mW/m K, Perlite ligger mellem 45 og 50 og mineraluld ligger mellem 42 og 50. For letklinker gælder, at lambda-værdien mod jord er 110-150 mW/m K, men hvis materialet bruges i en tør konstruktion er værdien 80-100 mW/m K.

I tillæg 2 til DS 418 er givet reglerne for beregning af lambda-værdien samt minimum overtykkelse løst udblæst på loft for de *ikke* kontrollerede løsfyldprodukter. Lambda værdierne er blevet korrigeret, så der ikke indgår tillæg for sætning, [11].

Der er forskel på, hvordan man opgiver varmeledningsevnen i de nordiske lande. I Finland bestemmer man, som i Danmark, varmeledningsevnen af det tørre produkt og giver derefter denne værdi et tillæg, der kompenserer for det fugtindhold, det forventes materialet har i praksis og for eventuelle mangler i udførelsen. I Sverige bestemmer man varmeledningsevnen af det tørre produkt, hvilket placerer det i en given lambda-klasse og efterfølgende gives der et tillæg til konstruktionens transmissionskoefficient (U-værdi), der korrigerer for produktionsforudsætninger, kontrol med de udførte isoleringsarbejder og beregningsmetoder og konstruktionens udformning, [12].

2.4. Forskning og udvikling

2.4.1. Konstruktioner

Målet er at skabe velisolerede konstruktioner med god holdbarhed til laveste totalomkostninger, såvel økonomiske som miljømæssige. Derfor er det ikke kun materialets egenskaber, men den samlede konstruktion, som bestemmer resultatet.

Klimaskærmsprojekt

De større isoleringstykkelser til nybyggeriet rejser en række teoretiske og praktiske problemer. Der er derfor igangsat et stort forskningsprojekt på Institut for Bygninger og Energi, DTU, hvor det er projektets formål at sikre det teoretiske, eksperimentelle og praktiske grundlag for fremtidens klimaskærm med større isoleringstykkelser i både nybyggeriet og energirenovering af eksisterende bygninger.

Nye bestemmelser i bygningsreglementet

BR-95 og BR-S 98 har medført en reduktion på 25% i nybyggeriets varmebehov i forhold til BR-82. Der forventes en revision af bygningsreglementet med virkning fra år 2005 med en skærpelse af kravene til bygningers energibehov på 33% i forhold til BR-95.

Energikravene vedrørende bygningsopvarmning i BR-95 drejer sig alene om nettovarmebehovet til rumopvarmning og ventilation. I fremtidens nybyggeri, hvor varmebehovet til rumopvarmning og ventilation allerede er kraftigt reduceret, får varmebehovet til varmt brugsvand, elforbruget til ventilation, belysning og apparatur samt virkningsgrader, konverterings- og transmissionstab ved varme- og elforsyningen større betydning for det samlede energiforbrug og miljøbelastningen. Der er derfor igangsat projekter, i hvilke der skal udvikles metoder til beregning af bruttoenergiforbruget og bruttoenergirammer i de nye bygningsreglementer.

2.4.2. Isoleringsmaterialer

Varmetransport i materialer

De i praksis anvendte isoleringsmaterialer er alle porøse, og varmetransmissionen gennem et isoleringsmateriale skyldes derfor både ledning, konvektion og stråling. Strålingsbidraget bliver ligesom konvektionsbidraget mindre jo flere fibre eller celler der findes i isoleringsmaterialet, men vil bevirke en større varmeledning gennem grundmaterialet. Det er derfor klart, at det er svært at forbedre isoleringsmaterialer med luft i porerne. Der er dog muligheder for at forbedre materialerne ved fx at erstatte luften med en gas med lavere varmeledningsevne eller ligefrem at tømme isoleringsmaterialets porer for luft (vakuumisolering). Ved begge løsninger er hovedproblemet at forsegle isoleringens kanter.

Ved at bruge en bedre og dermed tyndere isolering vil boligarealet ved det samme bruttoareal blive større.

Udviklingsprogram

De fleste alternative isoleringsmaterialer er dyrere end de traditionelle materialer. Mange af dem er primært på grund af de tilsatte imprægneringsmidler heller ikke uproblematisk med hensyn til miljø- og arbejdsmiljøforhold.

I forbindelse med udvikling og anvendelse af miljø- og arbejdsmiljøvenlige isoleringsmateriale er det nødvendigt at producenten af materialet kan dokumentere de væsentligste egenskaber. Disse kan deles op i tre grupper: de *miljømæssige*, de *arbejdsmiljø-mæssige* og de *byggetekniske*.

De *miljømæssige* egenskaber hos isoleringsmaterialer kan bl.a. vurderes via livscyklusanalyser, som medtager hele livsforløbet og alle væsentlige miljøeffekter og derfor kræver et meget omfattende datamateriale. En vurdering af materialer, især når nye og bedre materialer skal udvikles, skal være helhedsorienteret. Desuden kan isoleringsmaterialerne have indflydelse på indeklimaet i en bygning under drift, idet isoleringsmaterialers afgasning af organiske stoffer til indeklimaet. Det er derfor vigtigt at undersøge isoleringsmaterialernes betydning for luftkvaliteten og indeklimaet i nybyggeri i hele bygningens levetid.

Vurdering af den *arbejdsmiljø-mæssige* belastning sker ud fra graden af eksponering og af materialernes toksiske egenskaber. Både øvre luftveje, lunger, hud og øjne kan blive eksponeret, og der kan være tale om støv, gasser, dampe og mikroorganismer. De arbejdsmiljø-mæssige fordele og ulemper ved både fremstilling, montering samt nedrivning og bortskaffelse af de forskellige produkter, der markedsføres i Danmark, bør dokumenteres.

I forbindelse med den *byggetekniske* vurdering er det vigtigt foruden de isoleringsmæssige forhold at kunne dokumentere isoleringsmaterialernes holdbarhed, svind- og sætningsforhold, kemisk stabilitet samt evne til at modstå angreb af mikroorganismer. Både de fugt- og brandtekniske forhold skal være i orden, og det bør sikres, at de bygningsakustiske krav kan opfyldes med de valgte isoleringsmaterialer.

Ifølge finanslovaftalen for 1997 blev der afsat fra og med 1997 og tre år frem et årligt tilskudsbeløb på 10 mill. kr. til "udvikling af miljø- og arbejdsmiljøvenlige isoleringsmetoder, herunder papiruld". Sigtet med midlerne er at fremme udvikling og anvendelse af miljø- og arbejdsmiljøvenlige isoleringsmetoder og isoleringsmaterialer. Herudover indgår midlerne som brik i det generelle arbejde for at tilpasse isoleringsområdet til det økologiske byggeri.

Et udviklingsarbejde, som omfatter en dybtgående undersøgelse af alle aspekter omkring miljø- og arbejdsmiljøvenlige isoleringsmetoder og -materialer vil blive meget mere omfattende end en bevilling på 40 mill. kr. vil kunne dække. Programmet skal derfor ikke ses isoleret, men dels som et element i at skabe grundlag for nye isoleringsmetoder og -materialer kan fremmes og dels indgå i de generelle aktiviteter omkring vurderinger af og kravspecifikationer for isoleringsområdet.

2.5. Referencer

- [1] Bygningsreglement (BR 95). Bygge- og Boligministeriet. København, 1995.
- [2] Bygningsreglement for småhuse 1998 (BR-S 98). Bolig- og Byministeriet. København, 1998.
- [3] U-værdier '95. Dansk Forening af Fabrikanten af Varmeisoleringsmaterialer, VIF. Hørsholm, 1995.
- [4] Bjarne Saxhof: Lavenergikonstruktioner – Implementering af erfaringer. Laboratoriet for Varmeisolering, Meddelelse nr. 250, Danmarks Tekniske Højskole. December 1993.
- [5] Tillæg 4 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab. Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og -vægge samt samlinger omkring vinduer og døre. 1. udgave, 2000.
- [6] IEA Task 13: Solar Energy Houses – Strategies, Technologies and Examples. James & James. 1997.
- [7] Bent Lund Nielsen & Johnny H. Jensen: Alternative økologiske isoleringsmaterialer. DTI. 1997.
- [8] DTI og Rockwool: Vakuumisolering – undersøgelse af vakuummembran og –fyldstof. DTI Energi. Juli 1998.
- [9] DS 418: Beregning af bygningers varmetab. 5. udgave december 1986.
- [10] Varmeisoleringkontrollen: Produktoversigt. Marts 1999 - april 2000.
- [11] Tillæg 2 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab. Tillæg omhandlende løsfyldprodukter. 1. udgave, 2000.
- [12] Morten Hjorslev Hansen & Søren Skibstrup Eriksen: Brug af alternativ isolering i Finland og Sverige. SBI. Udkast april 1999.

3. Installationer (udstyr og apparater) af Poul Erik Kristensen og Connie Honoré, Teknologisk Institut, Energi

3.1. Indledning

Set i lyset af den store volumen og apparaternes lange levetid, har forbrugernes valg af hårde hvidevarer og andre elektriske apparater stor betydning for husholdningernes elforbrug de kommende 10 år. Målgruppen for de igangsatte og fremtidige initiativer vedr. energirigtigt indkøb og udbredelse af de mest energieffektive apparater er i høj grad de forbrugere, der fremover står overfor at anskaffe el-udstyr (udskiftning eller 1. gangs køb).

3.2. Status

3.2.1. Mærkning af hårde hvidevarer

I 1994 blev indført en obligatorisk fælles europæisk energimærkning af hårde hvidevarer. Ordningen omfattede i første omgang køl og frys, men siden er vaskemaskiner, tørretumblere og opvaskemaskiner kommet til. I EU arbejdes der løbende med energimærkningen, så flere typer apparater efterhånden vil blive omfattet af mærkningen.

Energimærkningen har bevirket at boligerne i dag udstyres med stadig mere effektive apparater, hvor ca. 80% af markedet ligger i kategorien B og C. Derimod er salget af de bedste apparater, dem med et A mærke, kun på ca. 7%. [1]

Ca. 20 % af de elforbrugende apparater bliver solgt til storindkøbere indenfor den almene boligsektor og offentlige institutioner. Tendensen viser at kvaliteten er klart ringere – typisk C og D mærket varer. [1]

Spareskab® eller sparefryser®

Spareskab® eller sparefryser® er et køleskab, køle/fryseskab eller fryser med et lavt elforbrug dokumenteret af leverandørerne efter europæisk standard.

Sparepærer®

Sparepærer® er lavenergipærer, som lever op til elselskabernes krav til holdbarhed mv. Sparepæren afgiver den lysmængde, og bruger den energi, fabrikanten angiver. Pæren kan "brænde" i mindst 8.000 timer, og kan tåle mindst 20.000 tændinger.

EU's miljøblomst

EU's miljøblomst fortæller, at varen er den mindst miljøbelastende indenfor den pågældende varegruppe. Kravene for at opnå mærket skærpes hvert tredje år.

Svanemærket

Svanemærket er det nordiske miljømærke og fortæller, at varen er blandt de mindst miljøbelastende indenfor den pågældende varegruppe. Kravene for at opnå mærket skærpes hvert tredje år.

3.3. Fremskrivning af elforbrug

Der er foretaget en fremskrivning af elforbruget i boligsektoren fra 1995-2020 [3]. Fremskrivningen viser, at det stagnerende, svagt faldende forbrugsudvikling må forventes at fortsætte i de kommende år. Den faldende tendens bliver forstærket af omlægningen af

elvarme til andre opvarmningsformer. Usikkerhed i fremskrivningen ligger primært i boligallet og udviklingen i elforbruget til diverse apparater og PC'er. Begge elementer kan påvirke forbruget i opadgående retning, således at et svagt faldende udviklingsforløb erstattes af en moderat stigning. Omvendt kan en større indsats omkring apparaternes energieffektivitet give en yderligere reduktion af elforbruget. Endelig ligger der en betydelig usikkerhed i den elvarmeomlægning, der finder sted i de kommende år.

Udvikling i boligaltal for parcelhuse

1995: 1.274.169 millioner boliger.

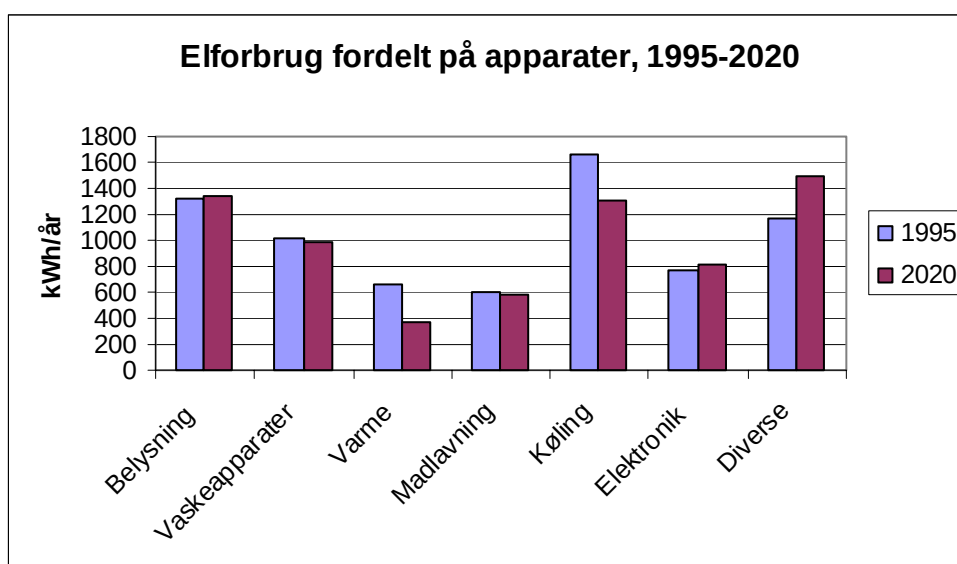
2010: 1.375.669 millioner boliger.

Generelle resultater

Fremskrivningen viser en forbrugsreduktion fra 7200 GWh i 1995 til 6900 GWh i 2020 for boliger uden elvarme.

Forbrugsfordeling

I figur 3.1 fremgår elforbrugets (ekskl. elvarme) fordeling på hovedgrupper af apparater i henholdsvis år 1995 og 2020 [3].



Figur 3.1: Elforbrug og brugsfordeling 1995 – 2020 [3]

Opgøres fordelingen i % ses de største forskydninger for køle/fryseskabe. Her ses forbrugsandelen reduceret fra 23% til 18,9% samt diverse apparater, hvor andelen forøges fra 16,3% til 21,7%. Andelen af elektronik (TV, radio, PC'er mv.) virker forbløffende høj (10,7-11,9%), men hænger sammen med længere brugstider for især PC'er incl. stand-by. Når andelen ikke øges særligt fremover på trods af tilvæksten, skyldes det en fortsat energieffektivisering. I gruppen diverse indgår ligeledes elektronik, så det samlede elforbrug til elektronik er væsentlig større end figuren angiver.

3.4. Krav til fremtidens installationer

3.4.1. Tilskudsordninger og forbrugerinformation

Uden en præcis offentlig styring går udviklingen ikke nødvendigvis i den rigtige retning. Et moralsk minimumskrav bør være, at det kan betale sig for den enkelte forbruger at købe lavenergiapparater. Derfor skal grønne afgifter og tilskud løbende justeres, således at det er privatøkonomisk fornuftigt at investere miljørigtigt.

Forbrugerne skal informeres om, hvordan man køber energirigtigt ind. Informationen skal være synlig og let forståelig og fortælle folk, at når de køber A-mærke produkter, har de anskaffet sig et energirigtigt produkt. Apparaternes mærkning skal løbende justeres i forhold til det bedste kommercielt tilgængeligt udstyr.

3.4.2. Stand-by

Der er her tale om et nytteløst forbrug. Stand-by funktionen ses normalt for TV, video, PC'er, mikroovn m.v. Oplysning til forbrugerne om apparaternes energiforbrug i stand-by funktionen iværksættes samtidig med udvikling af nye og eksisterende elapparater med et markant lavere stand-by forbrug.

3.4.3. Synliggørelse af elforbrug

Forbrugernes opmærksomhed om de enkelte apparaters elforbrug, herunder stand-by kan øges ved hjælp af en lille, billig og brugervenlig el-måler til brug i boliger. En anden løsning er en integreret el-måler i de enkelte apparater som en fremtidig standard.

3.4.4. Belysning

Belysningsområdet udgør en stor del af husholdningernes samlede elforbrug.

Der satses på udvikling af nye og effektive lysgivere, designet specielt til lavenergipærer. Samtidig med udvikling af energisparepærer der i højere grad kan anvendes i eksisterende lamper og armaturer. Forbedring af lyskvaliteten for energisparepærer er ligeledes et afgørende punkt. Øget anvendelse af energisparepærer vil resultere i en væsentlig reduktion af priserne for disse.

Ved anvendelse af lysstyring med person- og dagslysfølere i boligerne skønnes væsentlige besparelser opnået. I alt en reduktion på 0,5 TWh svarende til 10% af det samlede elforbrug til belysning. [2]

Design af højeffektive armaturer (HF-koblinger til lysstofrør og anvendelse af optimerede gitre og reflektorer) kan øge virkningsgraden for sådanne armaturer med op til ca. 40%. I alt en reduktion på 1 TWh svarende til 20% af det samlede elforbrug til belysning. [2]

Der udvikles standardløsninger på energieffektive belysningsløsninger indenfor udvalgte områder. Områderne vil først og fremmest være baseret på offentlige bygninger. Der skal udvikles og afprøves samlede ”pakketilbud” for f.eks. gangbelysning, med faste priser på materialer og installationsarbejder. På længere sigt kan tilsvarende standardløsninger for boligsektoren gennemføres. [1]

3.4.5. Omlægning fra elanvendelse i hårde hvidevarer til miljøvenlige energiformer.

Hovedparten af elforbruget til vask, opvask og tørring går til opvarmning. I boligens brugsvandssystem foreligger muligheden for at udnytte det varme brugsvand som varmekilde, til erstatning af elektricitet. Det kræver, at ældre modeller skal konverteres, og nye modeller med en effektiv temperaturstyring skal udvikles.

Elsparefondens handlingsplan [1] har lagt op til demonstrationsprojekter og forhandlinger med hvidevarerbranchen om undersøgelser af muligheden for at udnytte det varme brugsvand (økonomisk støtte til udviklingsprojekter og/eller tilskud til apparater).

Et andet område er brug af gas, herunder naturgas og bygas til madlavning, tørretumblere m.v. Et særligt indsatsområde er bygassen, hvor det p.t. er en betydelig omlæg fra gas til el.

3.4.6. Elforbrug i apparater 1995 - 2010

For nogle elektriske apparater må man forvente, at effektivitetsforbedringerne efterhånden vil gå i mætning, idet de mest økonomiske metoder til reduktion af elforbruget er taget i anvendelse. I andre tilfælde vil den hidtidige udvikling fortsætte eller endog blive forstærket. Det gælder eksempelvis køle/fryseskabe, hvor mærkningsordningen har fremmet salget af de mest energieffektive modeller betydeligt. For køle/fryseapparater er der vedtaget en energinorm, der vil udelukke salget af den mest ineffektive modeller. I tabel 3.1 ses resultatet af fremskrivningen for nye apparater.

Tabel 3.1: Elforbrug (kWh) i nye apparater [3]

Apparat	1995 kWh	2010 kWh
Cirkpumpe	175	84
Diverse	638	755
Elbageovn	130	121
Elkogeplader	200	200
Elvandvarmer	2440	2261
Elvarme	7000	7200
Farve TV 1	167	138
Farve TV 2	116	106
Kombiskab	470	355
Kummefryser 1	375	267
Kummefryser 2	375	267
Køleskab m. boks	330	260
Køleskab u. boks	245	173
Lavenergipærer	12	12
Lys-glødelamper	31	31
Mikrobølgeovn	55	55
Naturgasfyr	155	85
Oliegasfyr	180	131
Opvaskemaskine	295	241
PC'er	175	81
Skabsfryser	443	362
Sort/hvid TV	35	35
Tørretumbler	355	298
Vandseng	730	580
Vaskemaskine	310	269
Video	75	47

For at udelukke stærkt forbrugende apparater på marked, bør der sættes ind med skrappe krav til producenterne, f.eks. normer for hvor meget nye el-apparater må forbruge.

3.5. Referencer

- [1] Elsparefondens handlingsplan for 1999
- [2] Energiforskning –Status og perspektiver, Danmarks energifremtider 1995, Miljø- og Energiministeriet
- [3] Prognose for boligsektorens elforbrug 1996-2020, DEFU Teknisk rapport 393, 1997

4. Energistyring og infoteknologi af Olaf Bruun Jørgensen, Esbensen A/S

4.1. Indledning

I det følgende er kort redegjort for status og forventninger til såvel traditionelle som mere avancerede energistyrings- og energi informationssystemer.

4.2. Status for traditionelle anlæg

Energistyring sker traditionelt efter to forskellige styringssystemer:

4.2.1. Udefølerstyrede anlæg

Disse anlæg styrer på effektiv vis varmforsyningen til varmegiverne i den enkelte bebyggelse. Fremløbstemperaturen justeres i forhold til udetemperaturen, således at en faldende udetemperatur betyder, at fremløbstemperaturen automatisk øges. Tilsvarende vil en forøget udetemperatur bevirke at fremløbstemperaturen reduceres. Styringssystemet giver dog næsten ingen information til brugeren om systemets ”performance”.

4.2.2. CTS-anlæg

Hermed opnås særdeles effektive styringer og store variationsmuligheder for individuel tilpasning af såvel varme som ventilationsanlæg i de enkelte zoner i de respektive bebyggelser. CTS-anlæg giver samtidig gode muligheder for information om varme- og ventilationsanlæggets ydelser og kan desuden bruges i forbindelse med gennemførelse af detaljerede måleprojekter for de aktuelle byggerier. CTS-anlæg er ofte forholdsvis dyre i forhold til det informationsniveau de tilbyder.

4.3. Status for avancerede anlæg

Fælles for de avancerede anlæg er, at de endnu kun har ringe udbredelse i boliger, og at de i en konservativ branche som byggeri må forventes stadig at blive opfattet som en slags fremtidsanlæg. For avancerede anlæg kan systemerne grupperes i tre typer:

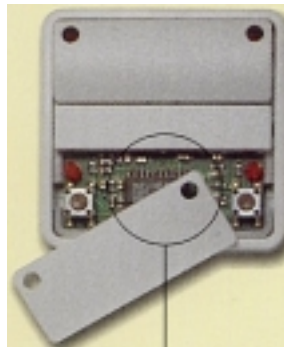
4.3.1. IHC-systemer

Varmetab i cirkulationsledninger kan nedsættes ved styring af varmtvandssystemer med ”kloge huse teknologi”, således at varmtvands cirkulationen afbrydes, når der ikke er et varmtvandsbehov og automatisk startes, når en vaskemaskine eller en opvaskemaskine med varmtvandstilslutning startes. Som eksempel har LK udviklet lav-volts elinstallationssystemer, der integrerer elinstallationen med en ”intelligent” overvågnings- og styringsfunktion, et såkaldt ”Intelligent House Concept” = IHC. Systemet er væsentligt billigere en almindelige CTS-systemer (f.eks. er etablering af et målepunkt ca. en faktor 6 billigere end i et CTS-anlæg).

Et andet interessant intelligent styringssystem er ”smart house”, der som flere andre avancerede systemer giver mulighed for en enkel styring af ressourceforbrug, indeklima og elforbrug til belysning og udstyr. Systemet er baseret på et bus-system og kan let udbygges, uden at der skal trækkes flere ledninger tilbage til bygningens hovedtavle. Systemet er således ganske fleksibelt og således også velegnet i renoveringssammenhæng. Den mest markante

forskel i forhold til andre systemer er dog, at "smart house" systemet allerede er forberedt til ekstern programmering og styring via internet og SMS-kommunikation.

"Smart House" – Bus, kontakt og programmeringspanel



"Bluetooth"

Et væsentligt element for de forskellige intelligente systemer er evnen til at kommunikere hurtigt og effektivt. "Bluetooth wireless"-teknologien, som udvikles af en række af de største IT og telekommunikationsvirksomheder i fællesskab tilbyder en sådan kommunikationsform. "Bluetooth" vil helt overflødiggøre faste kabelforbindelser, idet de udviklede to-vejs transmittere kan indbygges i elektroniske apparater som derefter kan kommunikere over kortere afstande og gennem faste emner v.h.a. radiobølger. Der vil således kunne ske en tæt fusion mellem internet, mobiltelefoner og PC'er og således muliggøre en effektiv og avanceret samt interaktiv fjernbetjening og programmering af elektroniske systemer. Disse muligheder vil selvfølgelig også få stor betydning for udvikling af intelligente styrings, overvågnings- og registreringssystemer i forbindelse med energistyring og energiinformation.

"Bluetooth"-teknologien er endnu relativt ny og må forventes først at slå igennem indenfor mere "almindelige" områder som mobiltelefoni, internet forbindelser og andre mere forbrugerorienterede kommunikationsområder. Indenfor få år forventes teknologien dog at være udbredt også indenfor energistyringssystemer til bygninger.

4.3.2. Fjernaflæsningsanlæg

Fjernaflæsningsanlæg, som de f. eks. kendes fra Brunata (ledningsfri radiatoraflæsning) eller større centrale anlæg (f.eks. SAF-systemet til central aflæsning hos kraftvarmeselskaberne) anvendes til indhentning af information om forbrugte energimængder på varmeafgiver- eller ejendomsniveau. Systemerne giver ikke mulighed for nogen form for styring. Der er således ikke tale om et interaktivt system med mulighed for på baggrund af indhentet information umiddelbart at forbedre eller optimere driftssituationen.

4.3.3. Visionære energistyrings- og informationssystemer

De mest visionære energistyrings- og informationssystemer, der kendes i dag, og som forventes at opnå betydeligt større udbredelse i fremtiden, er systemer af samme type som "TV-GYR/Synergys® – Økogyr®". Systemet er udviklet af Landis & Staefa (nu SIEMENS Landis & Staefa division). Funktionen af disse visionære systemer er eksemplificeret nedenfor.

4.3.3.1. TV-GYR

TV-GYR er et energiforbrugsregistreringssystem, som via tekst-tv giver mulighed for at informere brugerne om boligens energimæssige status (f.eks. mængden af forbrugt varme i

kWh) i forhold til f.eks. bebyggelsens gennemsnit. Informationerne kan hvis det ønskes opdateres time for time. Detaljerede informationer om energiforbruget kan indhentes via tekst-TV, idet systemet dog er anonymt og brugerne kun kan indhente absolutte værdier for egne forbrug. Der kan desuden indhentes detaljerede oplysninger om energiforbrug omregnet til kr., som kan sammenlignes med det til det pågældende tidspunkt indbetalte a conto beløb. TV-GYR systemet kan desuden anvendes til fra administrators eller beboerforenings side til at udsende informationer til hele beboergruppen om f.eks. lukning af vandforsyning, flytning af gårdfest el. lign.

4.3.3.2. Synergys®

Disse anlæg giver mulighed for særdeles avanceret styring af energiforsyningen på lejlighedsniveau efter opvarmningsscenarier, som beboerne selv definerer. Styringen sker via en kombineret reguleringsventil og energimåler placeret i hver lejlighed. Energiforsyningen til rumopvarmning kan programmeres efter syv individuelle scenarier og kan programmeres af beboerne selv eller sammen med bebyggelsens varmemester. Ved etablering af TV-GYR/Synergys® systemet ”medfølger” et programmeringskursus. Herudover kan systemet ”overrules” eller optimeres centralt f. eks. fra varmemesterens eller administrators PC. Denne regulering sker umiddelbart efter ændringen i styringsprogrammet er foretaget. Systemet er desuden forsynet med en ”energispare-knap” som ved et enkelt tryk automatisk regulerer varmforsyningen til et nærmere defineret lavt niveau.

Systemet kan således foruden at være et energistyrings- og ressourceforbrugsbesparelsesværktøj anvendes som et præcist og detaljeret ressourceforbrugsregistrerings- og målesystem (også i forhold til varmt og koldt vand, el og gas). Disse registreringer vil kunne opsamles f.eks. time for time og lagres lokalt på en PC. Ejendommens administrator, varmeregnskabsansvarlig eller en eventuel måleprojektgruppe vil herefter let kunne afhente de opsamlede data via et modem (fjerneflæsning).

Denne funktion vil bevirke en markant reduktion af omkostningsniveauet i forbindelse med såvel udarbejdelse af varmeregnskab som gennemførelse af måleprojekter.

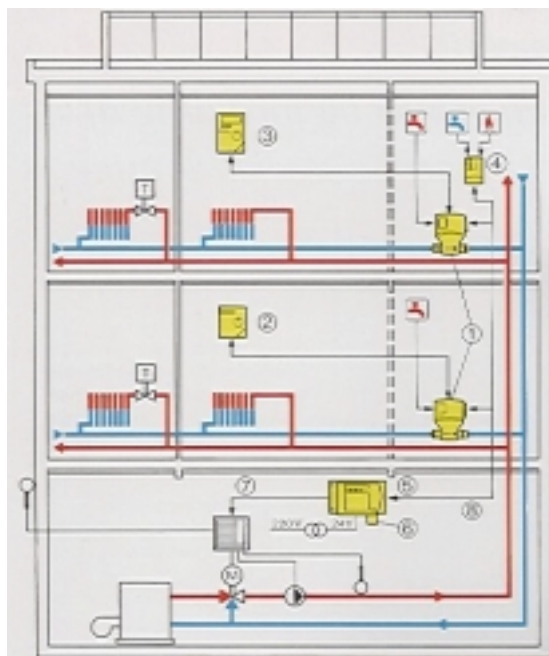
Systemet vil desuden kunne anvendes som et alarmsystem f.eks. i forhold uforholdsmæssigt store energiforbrug (konstant el-forbrug – lys ikke slukket) eller vandforbrug (konstant vandforbrug – toilet i stykker), hvilket også vil betyde, at sådanne fejl vil kunne rettes hurtigere end i konventionelle større boligbebyggelser.

4.3.3.3. Økogy®

I stedet for at skulle benytte tekst-TV for at få detaljerede oplysninger om boligens energimæssige status kan benyttes et nyudviklet energiinformationspanel, der via et trefarvet display løbende giver information om energiforbruget for forskellige forbrugsarter i forhold til et defineret referenceniveau (et på forhånd defineret niveau, ejendommens gennemsnit, boligens eget middelniveau i en foregående periode eller f.eks. i f. t. det indbetalte a conto beløb). Visningen sker via diodesøjler, der veksler fra grøn over gul til rød afhængigt af afvigelsen i f. t. referencen. I dette system opereres med samtidig visning af forbruget for fem forbrugsarter (varme, koldt vand, varmt vand, el og gas). Systemet er desuden forsynet med mulighed for visning af, om der på det pågældende tidspunkt opereres med lav-tarif for elforsyningen, hvorved eksempelvis vaskemaskine eller opvaskemaskine kan tændes, når strømmen er billig.

Fra flere netop afsluttede etageboligprojekter er konstateret, at blot ved at oplyse om den enkelte boligs energiforbrug er opnået ressourceforbrugsreduktioner på op til 20%.

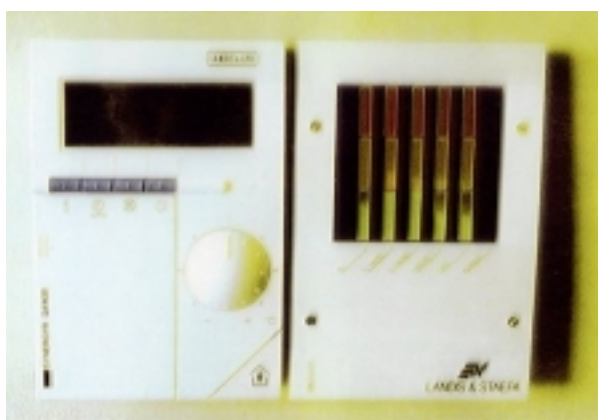
Efterfølgende er vist et principdiagram for Synergys®- og Økogyrs® systemerne.



SYNERGYR® - ØKOgyr®

Landis & Staefa, division

- 1) Kombineret kontrolreguleringsventil og energimåler
- 2) Analogt rumapparat
- 3) Programmerbart rumapparat
- 4) Universal adapter
- 5) Central enhed (PC)
- 6) Udlæsnings kort
- 7) Varme regulator



Energi Informationssystem

Programmeringsmodulet med den fleksible "energispareknop" til venstre er placeret nær boligens indgang

Modulet til højre (økometret) viser boligens energimæssige status i forhold til reference situationen.

4.4. Krav til og udviklingsbehov for fremtidens anlæg

Fremtidens anlæg må forventes at give mulighed for endnu mere individuelle behov. Specielt da der fremover vil være betydeligt mere varierede energiforsyningsbehov i kraft af de mere varierede arbejdstider.

Herudover vil det være attraktivt, hvis energiforsyningen kunne optimeres i f. t. vejrforudsigelser (specielt for optimal udnyttelse af passiv solvarme). Dette kunne f.eks. ske via links til diverse prognoser på Internettet.

Den fleksibilitet og de tekniske muligheder der er forbundet med Internet-teknologien, sammensmeltningen af teleområder (telefon, radio, fjernsyn) og CTS-anlæg må forventes at kunne få stor betydning for optimering af fremtidens energistyringsanlæg. F.eks. kan man

forestille sig, at man er på vinterferie en kold vinter, og beslutter sig for at tage tidligere hjem, og derfor åbner sit hjemlige varme- og ventilationsstyringssystem med sin web-browser og derved sørger for, at der er varme på, når man kommer hjem - en mulighed der netop er blevet en realitet gennem "smart House" systemet.

Endelig skal de muligheder, der i dag findes, for information direkte til brugerne udbygges yderligere, f.eks. så man som bruger på baggrund af aflæsning af systemets "performance" på afstand (f.eks. hvis man er på arbejde, og vejret ændrer sig markant), kan omprogrammere sit systems opvarmningsscenarie.

4.5. Metoder til opfyldelse af krav

4.5.1. IHC-systemer

Anvendelse af IHC systemet til optimal styring af varmetekniske systemer med såvel lang som kort tidskonstant skal vurderes. F.eks. påtænkes IHC systemet at blive anvendt til styring af lagring af solvarme i bygningskonstruktionerne (hybrid solvarme). Ligeledes skal anvendelse af IHC systemet i stedet for de sædvanlige styringssystemer for solvarme undersøges.

4.5.2. Synergys® - Økogy®

For disse systemer pågår p.t. et stort arbejde med at gøre systemet billigere og mere brugervenligt for derved at opnå større udbredelse. Herudover arbejdes med indbygning af flere såvel tekniske som sociale alarmer.

I forhold til EnergiForskningsProgrammet skal det fremtidige arbejde især fokusere på et forstærket samarbejde mellem leverandører/produktudviklere og rådgivere/forskere med henblik på optimering af eksisterende systemer samt udvikling af nye systemer. Dette samarbejde vanskeliggøres i f. t. EFP-programmet desværre p.g.a. producenters ønske om "hemmeligholdelse" af udviklingsarbejdet i f. t. kravet om offentlig tilgængelighed til EFP-arbejdet.

Udviklingen af disse systemer bør ske på internationalt niveau. I den forbindelse har vi i Danmark et højt niveau og har derfor "meget at byde på". Det vil dog også være formålstjenligt for det danske udviklingsarbejde, hvis der gives mulighed for et forstærket internationalt samarbejde. Dette kunne f.eks. være EFP-støtte til deltagelse i IEA SHC Task 28 eller det forventede IEA Task "Whole Buildings", der foruden bygningsdesign skal fokusere på systemdesign og optimering af energistyring.

Herudover vil det være formålstjenligt hvis der kan opnås støtte til demonstration og evaluering af de mest interessante af de nyudviklede systemer f.eks. i to eller tre forskellige energiforsyningssystemer.

4. Varme- og ventilationsinstallationer i fremtidens lavenergiboligbyggeri

af Ove Mørck og Ole Balslev Olesen, Cenergia Energy Consultants

4.1. Indledning

Lavenergibyggeri er endnu ikke slået igennem, hverken som standard for nybyggeriet på boligområdet eller ved renovering, men udføres kun som isolerede demonstrationsprojekter med offentlig støtte. Den væsentligste årsag hertil er, at det tilbagestår at bevise overfor byggeriets parter, at opførelse af lavenergibyggeri kan gøres med en minimal/ begrænset ekstraudgift, der kan modsvares af besparelser på driftsbudgettets varmeregning. En videreudvikling/tilpasning af ydelsen af de tekniske installationer, specielt varme- og ventilationsanlæg, til behovene for lavenergibyggeri rummer en økonomisk besparelse, som netop kan bringe balance i den samlede økonomi.

Kedler, der på grund af for høje nominelle ydelser er ineffektive, store varmetab i distributionsleddet, uforholdsmæssigt store installationsomkostninger til opvarmningssystemer, ikke-optimal styring, samt vanskelig integration af solvarme med fjernvarme er nogle af de problemer, der karakteriserer tekniske installationer/opvarmningssystemer i relation til lavenergibyggeri. Resultatet er risici for ringe effektivitet og varmetab så store, at besparelsen ved de øvrige foranstaltninger i lavenergibyggeriet helt eller delvist elimineres.

Tekniske installationer udføres i dag med en stærk konservatisme. En videreudvikling og optimering af de samlede tekniske installationer i forbindelse med varme- og ventilationssystemer i lavenergibyggeri vurderes som det mest presserende indsatsområde for lavenergi-byggeri i dag.

Nye, bedre systemkoncepter for totale installations-/opvarmningssystemer vil endvidere være af stor betydning for optimalt udbytte af renoveringsprojekter i østeuropæiske lande, idet de tekniske installationer her ofte skal udskiftes i forbindelse med renoveringen. Oftest vil det i disse lande være muligt at realisere størstedelen af besparelspotentialet gennem en forholdsvis billig udskiftning af de tekniske installationer. Der er mulighed for opbygning af et betydeligt eksportområde for færdige installationsblokke, som kan anvendes i renoveringsprojekter, eksempelvis hvor et nyt komplet installationstårn placeres udvendigt på eksisterende bygninger.

4.2. Emneområder og forsknings- og udviklingstemaer

Varme og ventilationsinstallationer omfatter ikke alene installationer i den enkelte bolig, men også varmeproduktion og distribution. Følgende emneområder omfattes:

- produktion af varme i gaskedler eller små individuelle brændselsceller
- fjernvarmetilslutning
- distribution
- varmeafgivere
- ventilationsanlæg (m. varmegenvinding og varmeblæse eller behovsstyring)
- arkitektonisk og bygningsmæssig integration
- integration af solvarmesystemer

4.3. Forsknings- og udviklingstemaer

Det er vitalt at arbejde med integrerede koncepter for den installationstekniske udformning og udførelse. De enkelte koncepter sammenstykkedes af optimale løsninger på individuelle installationstekniske områder. Fokus rettes endvidere mod udvikling af praktiske løsninger med eksportpotentiale i samarbejde med fabrikanter, f.eks. udvikling af “plug-in” units med en integreret, fleksibel funktionalitet. De enkelte temaer er:

4.3.1. Rumopvarmning - varmeafgivere

Efterhånden som boligernes isoleringsstandard (øget isolering, bedre vinduer, varmegenvinding på ventilationsluft) forbedres, bliver det dimensionerende rumopvarmningsbehov så lille, at det står i skærende kontrast til investeringen i et traditionelt opvarmningssystem (>10000 kr./kW). I Tyskland er leverandører af opvarmningssystemer begyndt at frygte, at når den næste skærpelse af det tyske bygningsreglement kommer om få år, vil opvarmningssystemer ikke længere kunne sælges.

I takt med at selve bygningens energiforbrug bringes ned, bliver den relative betydning af tabene fra opvarmningssystemerne større. Manglende erkendelse af vigtigheden af at dimensionere hele opvarmningssystemet (styring, varmeafgivere, distributions- og forsyningssystem) optimalt i forhold til bygningen kan medføre øget energiforbrug til opvarmning på over 50%! Nødvendigheden af at udskifte dele af opvarmningssystemet i forbindelse med en omfattende efterisolering negligeres ofte med store unødvendige energiforbrug til følge.

Disse forhold peger entydigt i retning af anvendelse af lavtemperatur opvarmningssystemer. Lave returtemperaturer er desuden vigtige for optimal drift af fjernvarme og kraftvarmeanlæg. Der er således behov for udvikling af billige, lavtemperatur, vand- eller luftbårne opvarmningssystemer, der kan forsynes fra fjernvarme, højeffektive (kondenserende) kedler, eller kraftvarmeanlæg i kombination med aktive solvarmeanlæg.

Gulvvarme og luftvarme er “fødte” lavtemperatur opvarmningssystemer i modsætning til anvendelse af radiatorsystemer, der selv ved små dimensionerende varmetab kræver store, klodsede radiatorer. Installationsomkostningerne for gulvvarmesystemer er for øjeblikket på niveau med radiatorsystemer. Nedbringelse af disse omkostninger kan dels ske ved at reducere materialeforbruget, dvs. længde og diameter af de anvendte gulvvarmerør, og dels ved at mindske det areal, hvori det er nødvendigt at udlægge slangerne - dette er af større betydning end blot en større afstand mellem rørene.

Mindre dimensionerende varmetab i lavenergibyggeriet og de meget små temperaturdifferenser mellem velisolerede ydervægge, vinduer med lave U-værdier og lavtemperaturvarmegivere giver netop mulighed for at reducere varmeafgiverens dimensioner og øget frihed mht. til placering. Eksempelvis vil arealbehovet til gulvvarme typisk kunne svare til en tredjedel eller mindre af gulvarealet i hvert af boligens rum. Det vil sige, at i f.eks. et køkken kan en del af gulvet udføres med gulvvarme og det resterende gulv uden gulvvarme. De små arealkrav der vil være til varmegiveren i nogle værelser betyder, at det er muligt blot at benytte en mindre del af en vægflade hertil. Gulvvarmerørene indstøbes i dette tilfælde i væggen i stedet for i gulvet. Denne teknologi er allerede under udvikling i Tyskland, hvor den er meget populær i lavenergibyggeri.

Bygningsmæssig integration omfatter gennemføringer i klimaskærmen, som har betydning både for varmetabene og for klimaskærmens tæthed. Konsekvent føring af installationer inden for klimaskærmen ved udnyttelse af hulrum, nedhængte lofter, etc. er umiddelbart pladskrævende og kræver omhyggelig arkitektonisk indpasning, eller medfører synlige installationer.

For varmeanlæg drejer det sig om enten at opnå god selvregulerende effekt (f.eks. gulvvarmeanlæg der ofte er træge og har store tidskonstanter), eller hurtig respons af styringen for at undgå unødvendig cirkulation af varmemediet. Specielt for luftsystemer er uønsket naturlig cirkulation en kilde til øgede varmetab og dermed forringet systemeffektivitet.

4.3.2. Ventilation - systemer

For boliger opereres med fire forskellige systemer:

- 1) Naturlig ventilation
- 2) Naturlig (hybrid) ventilatorunderstøttet ventilation
- 3) Simple udsugningsanlæg
- 4) Mekanisk balancerede anlæg med varmegenvinding

Disse 4 systemer har alle deres fordele og ulemper:

- 1) Det billigste anlæg, men det er svært at sikre optimale komfortforhold
- 2) Giver mulighed for at automatisere luftskiftet og dermed sikre optimale komfortforhold. Er velegnet i forbindelse med udnyttelse af forvarmning af ventilationsluften i luftsolvarme anlæg.
- 3) Billigere end et anlæg med varmegenvinding både m. h. t. anlægs- og driftsomkostninger. Systemet fjerner effektivt dårlig indeluft men har en ringe energiøkonomi
- 4) Dette system er dyrt, men sikrer et godt indeklima og har oftest en rimelig god energiøkonomi. Et sådant anlæg indebærer en potentiel risiko for stigende vedligeholdelsesudgifter og faldende ydelser. Vigtigt at minimere elforbrug til ventilatorer.

Effektiviteten af de tre sidstnævnte systemer kan forbedres markant ved at udføre anlæggene med behovsstyring. I så tilfælde tyder flere analyser på, at system 3 synes at kunne være totaløkonomisk mere konkurrencedygtigt end system 4. Med behovsstyring omfattende spjæld og ventilatorer vil system 2 og 3 kunne siges at smelte sammen til et system – med varierende grad af udnyttelse af naturlig ventilation.

I appendix 1 er vist en vurdering indflydelsen på det samlede energiforbrug af system 3 og 4, samt de årlige energiudgifter. Af appendix 1 fremgår at der er gode besparelsesmuligheder ved en øget energieffektivitet og reduktion af el-forbruget ved ventilationsanlæg med varmegenvinding. Tilsvarende vil et fugtreguleret behovsstyret udsugningsanlæg blive betydeligt mere attraktivt såfremt prisen på fugtfølere kan reduceres, da disse udgør en betragtelig del af de samlede anlægsomkostninger for et behovsstyret ventilationsanlæg. Appendix 2 viser princippet bag fugtstyret ventilation. Appendix 1 og 2 er fremstillet af Olaf Jørgensen, Esbensen Rådg. Ing. AS.

4.3.3. Fjernvarmetilslutning, distribution og solvarmetilslutning

Et mål er at udvikle optimale opvarmningssystemer for samlede bebyggelser. Der kan bygges videre på allerede opnåede erfaringer med f.eks. avanceret fjernvarmedrift og anvendelse af kraftvarme. I den udstrækning der anvendes decentrale solvarmeanlæg fordelt på blokke i bebyggelsen kan lageret anvendes som buffer for pulsdraft af fjernvarmenettet, hvorved varmetabet fra nettet reduceres væsentligt. I samme forbindelse kan der arbejdes mod en videreudvikling af solvarmeanlæg tilpasset nybyggeri med blok/fjernvarmeforsyning.

Minimering af varmetab er endvidere dels et spørgsmål om effektiv isolering og placering af beholdere og distributionsledninger, inklusive alle ventiler, armaturer o.l., og dels et spørgsmål om at minimere vandindholdet i systemerne.

4.3.4. Gaskedler

Ved individuel opvarmning af lavenergihuse har de gaskedler, der i dag er på det danske marked, for store varmeydelser i forhold til behovet. Der skal derfor gennem projektet findes en gaskedelfabrikant, der er villig til at indgå i et samarbejde om en udvikling af en sådan kedel. Tidligere har en dansk fabrikant gennem et EFP-projekt udviklet en prototype til en højeffektiv gaskedel. Da man fremover kan forestille sig, at de udenlandske krav til varmeydelser vil være faldende som i Danmark, vil en sådan udvikling samtidig bringe den danske fabrikant i en ledende position med udsigt til eksportmuligheder.

4.4. Første fase af et evt. nyt forskning- og udviklingsprojekt

Et evt. EFP-projekt på dette emneområde kunne indledes med følgende aktiviteter:

- Dokumentation af gode løsninger projekteret og afprøvet i eksisterende projekter
- Identifikation af udviklingsbehov
- Afprøvning af nye, integrerede koncepter i konkrete byggesager for forskellige boligtyper (f.eks. tre typer: Enfamiliehuse, række-/kædehuse og etageboliger)
- Initiering af specifikke undersøgelser/konkrete F&U projekter i følgende EFP-programmer

Resultatet af en serie af projekter på området varme- og ventilationsinstallationer vil være nye løsninger på tekniske installationer til lavenergibyggeri, afprøvet i konkrete byggesager, og teknisk afrapporterede.

4.5. Uddrag fra Teknologikatalog 1996

Uddrag vedrørende varme og ventilation fra "Teknologikatalog – energibesparelser i boligsektoren", Energistyrelsen Februar 1996. Bilagsrapport til Regeringens energihandlingsplan, Energi 21.

Varmeanlæg (vand- og luftbåren)

Beskrivelse

Varmesystemet kan opdeles i decentrale og centrale anlæg. Om der anvendes den ene type frem for den anden afhænger af varmforsyningen i området og boligområdets karakter. Hvis der er fjernvarme i området vil en bebyggelse typisk forsynes herfra. Hvis bebyggelsen er spredt over et større område, vil det være hensigtsmæssigt at lave individuelle fjernvarmestik og i en tæt bebyggelse kan det være bedst med et fælles stik til en central varmecentral. I naturgas områder uden fjernvarme kan der anvendes individuelle gasfyr eller i tæt bebyggelse vil det ofte være en fordel at have en varmecentral med højeffektiv gaskedel. Hvilken løsning der er bedst i en konkret sag afhænger af de aktuelle forhold og skal vurderes i hvert enkelt tilfælde.

Teknologisk udvikling

Distribution i jord

Varmetab fra distributionsnettet i jord udgør i dag en betydelig del af en bebyggelses samlede varmebehov. Varmetabet fra distributionsnettet i jord internt i en bebyggelse udgør i dag

typisk 20% (i lavenergibyggeri op til 40 %) af bebyggelsens samlede varmebehov til rumopvarmning og varmt brugsvand. I takt med at varmebehovet i boliger reduceres og rørene isoleres bedre vil varmetabet i jord kunne reduceres som det fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 5.1: Varmetab ved distribution i jord

Varmetab	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
År	1995	2005	2020	1995	2005	2020
GJ/m ² /år	0.21	0.18	0.14	0.14	0.11	0.07

Det reducerede varmetab fra distributionsnettet ved en naturlig udvikling sker som følge af et generelt mindre varmetab i boligerne og en lavere frem- og returtemperatur i distributionsnettet samt en bedre isolering af rørene. Det reducerede varmetab ved størst mulig udvikling kan opnås ved yderligere at afbryde distributionsnettet i længere perioder. Solvarme og pulsdrift giver mulighed for at afbryde distributionsnettet da solvarme kan forsyne bebyggelser 100% i solrige perioder. Beparelse under størst mulig udvikling forudsætter en optimal styring og overvågning, som kan opnås ved konsekvent anvendelse af energistyringsprincipper og brug af CTS-anlæg.

Distribution i bygning

Varmetabet fra distributionsnettet i bygning i en bebyggelse udgør i dag 10 - 20% af det samlede energiforbrug til varme og varmt vand. Distributionnettet i bygninger består af distributionsrør til rumopvarmning og cirkulationsledning til varmt brugsvand. I takt med at varmebehovet i boliger reduceres og rørene isoleres mere vil der opnås en varmebesparelse:

Tabel 5.2: Varmetab ved distribution i bygning

Varmetab	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
år	1995	2005	2020	1995	2005	2020
MJ/m ² /år	108	72	54	65	54	36

Den naturlige udvikling vil medføre et reduceret varmetab som følge af lavtemperaturdrift, natsækning og kompakte centrale installationer. Størst mulig udvikling forudsætter yderligere behovstyring i form af udnyttelsen af CTS-styring eller anden styring f.eks. LK's IHC (intelligent house concept) eller SEMCOs SEMLON system. Det kan betyde, at alle rum opvarmes individuelt med hver sin tidsstyring.

Varmetab fra brugsvandscirkulation vil blive mindre som en følge af et mindre varmtvandsforbrug, så der skal transporteres en mindre mængde varmt vand til tapstedene med mulighed for et reduceret varmetab fra cirkulationsledningen, der dels kan udføres med mindre dimension og dels isoleres bedre.

Varmetabet er størst, når der er installeret separate varmforsyningsnet og varmt brugsvandsnet med circulation. Indføres lokale varmtvandsbeholdere eller gennemstrømningsvandvarmere er det kun nødvendigt med et varmforsyningsnet og iøvrigt også kun én varmemåler. Temperaturbegrænserventiler vil også give en besparelse.

Der kan opnås betragtelige besparelser på optimal styring af varmforsyningsnettet. Dvs. undlade cirkulation om sommeren. Styring af fremløbstemperaturen foregår i udstrakt grad i dag.

Behovstyring af det varme brugsvand kan indføres på cirkulationsledninger, således at der ikke cirkuleres varmt vand i visse perioder af døgnet. Ved pumpevalg skal der tages hensyn til, at der er risiko for slamdannelse, der kan vanskeliggøre genstart af pumpen.

Varmeafgivere

Bygningers effektbehov til rumopvarmning er i de senere år blevet mindre pr. boligareal. Det er sket ved en øget isolering af ydervægge, loft og gulv samt ved anvendelse af vinduer med et lavere transmissionstab. En fortsat udvikling vil give nye muligheder for anvendelse af alternative varmeafgivere, som vil have fordele sammenlignet med en traditionel radiatorløsning.

De forbedrede vinduer giver mulighed for at flytte varmeafgiverne fra under vinduet ved ydervæggen til centralt i boligen. Der kan opnås en mere kompakt installation med et mindre varmespild og et højere komfort niveau. Alternativt kan varmebladen integreres i gulvet eller i væggen i form af store varmeblader med mulighed for lavtemperaturdrift.

Et lavt effektbehov i boligen giver mulighed for at opvarme ved hjælp af friskluften. Ved effektbehov over 1 kW må der suppleres med en mindre recirkulationsmængde til kolde perioder som et egentligt luftvarmeanlæg. Fremtidens tætte boliger har behov for at blive ventileret mekanisk med udnyttelse af varmegenvinding. En luftvarmeløsning som indeholde varmeblader i ventilationskanaler og et genvindingsaggregat giver mulighed for en samlet billig varme- og ventilationsinstallation med mulighed for et højt komfortniveau.

Tabel 5.3: Reduktioner i varmetab ved selve varmeafgiverne

Varmetab	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
år	1995	2005	2020	1995	2005	2020
MJ/m ² /år	30	25	20	20	15	10

Energistyring og CTS-anlæg

Energistyring omfattende anvendelse af såvel decentrale som centrale målere, fjernaflæsning via modem eller egentlige CTS-anlæg vil blive anvendt mere og mere i boligområder fremover. Formålet er at opnå optimal drift af varmeanlæg med et højt komfortniveau med lavest mulig energiforbrug under de givne forudsætninger.

I nye opvarmningssystemer vil der blive indført tekniske installationer som kræver et vist omfang af styring som med fordel kan varetages af et CTS-anlæg. I mange tilfælde er det en forudsætning, at der installeres målere og/eller CTS-anlæg for at opnå den forventede besparelse. Varmegenvindingsanlæg, solvarmeanlæg og blandesløjfer er typiske eksempler på energibesparende foranstaltninger der kræver en præcis styring og overvågning.

CTS - anlæg giver mulighed for en løbende registrering af varmeforbruget og dermed sammenligning med budgetterede energiforbrug - energistyring. En eventuel afvigelse fra normalforbruget vil omgående blive rapporteret så fejlen kan rettes. Individuel afregning af varmeforbruget med CTS-anlæg vil øge motivationen for en øget indsats for at spare på vand og varme.

Tabel 5.4: Afledte besparelser ved CTS-anlæg

Besparelse	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
år	1995	2005	2020	1995	2005	2020
MJ/m ² /år	36	54	54	54	54	54

Forsknings- og udviklingsmæssige behov og andre tiltag

Det fremgår af ovenstående at den størst mulige teknologiske udvikling forudsætter en forsknings- og udviklingsmæssige aktiviteter samt anden indsats på en lang række områder:

- teknisk isolering
- lavtemperaturdrift
- pulsdrift
- energistyring / CTS-anlæg
- lokale varmtvandsinstallationer
- Store varmeblæser
- lavtemperatur varmeanlæg
- gulvvarme, vægvarme
- luftvarmeanlæg i kombination med varmegenvinding
- solvarme

Udvalgte områder uddybes herunder:

Igangværende arbejde og foreløbige overvejelser tyder på, at der kan være et relativt stort potentiale ved skærpelse af DS 452 om termisk isolering af tekniske installationer fra 1984. Det anbefales, at en arbejdsgruppe undersøger mulighederne nærmere.

Lavtemperaturdrift vil i forbindelse med fremtidens lavenergibyggeri være et "must". Det er nemlig tydeligt i forbindelse med en række nyere lavenergibebyggelser at diverse varmetab i forbindelse med distribution af varme og varmt vand faktisk kan blive højere end det varmebehov der skal dækkes i boligerne. Samtidigt er det vigtigt at udforme varmeafgivere og varmtvandsinstallationer, der giver de lavest mulige returtemperaturer i varmedistributionsnettet. Med optimale radiatorstørrelser og anvendelse af gennemstrømningsvandvarmere med den nyeste reguleringsteknik kan der allerede i dag opnå returtemperaturer på ned til 30°C. Hvis fremtidige fjernvarme og varmedistributionssystemer udformes med en fremløbstemperatur på 70°C og en returtemperatur på 30°C, sker der også en større afkøling end normalt. Hermed bliver netomkostningerne billigere, hvilket også forstærkes i takt med at den installerede effekt i boligerne bliver mindre. Det bør således være muligt at opnå en væsentlig prisreduktion både for fremtidens systemer i boligerne og for varmecentraler og varmedistributionsnet. Ved lavtemperaturdrift kan nettabene umiddelbart reduceres med 40% i forhold til dagens standard.

Fremtidens varmtvandsbehov er også stærkt formindsket i forhold til tidligere tiders niveau. Allerede i dag ligger et typisk varmtvandsforbrug for en bolig med 3-4 personer på 120 liter om dagen og introduceres der vandbesparelser bliver det så lavt som 70 liter om dagen. Dette svarer til et dagligt varmebehov på kun 13 MJ, hvilket betyder at ved fælles varmedistributionsanlæg bliver nettabene selv ved lavtemperaturdrift noget højere end det behov der skal dækkes i boligerne i sommerperioden. En løsning på dette kan være at anvende lokale solvarmeløsninger til varmt vand og hermed også mulighed for at stoppe varmforsyningsnettet i længere perioder om sommeren. I den forbindelse kan der introduceres pulsdrift af varmforsyningsnettet, hvor der ifølge praktiske erfaringer kan ske en

yderligere reduktion af nettabet, så det kun bliver ca. 1/3 af dagens standard, når pulsdrift kombineres med lokale solvarmeanlæg.

På grund af de relativt høje tab i varmedistributionsnettet vil varmeleverancen fra 2 timers hverdagsdrift af et lokalt kraftvarmeværk imidlertid sjældent overstige det samlede varmebehov i forbindelse med varmt brugsvand og nettab således at der udmærket kan udformes løsninger, hvor tætliggende varmekunder forsynes med kraftvarme hele sommerperioden mens mere fjerntliggende kunder udnytter lokal solvarme i kombination med lavtemperatur pulsdrift af varmforsyningen. Ved anvendelse af gulv- eller vægvarmesystemer, hvor der er indbygget en vis masse i varmesystemet, kan der måske udbygges med pulsdriftsløsninger, som også anvendes i varmesæsonen, når der kombineres med nye avancerede styringsvanlæg (IHC, CTS eller andet). Hermed opnås nogle optimeringsmuligheder i forbindelse med fremtidens integrerede ressourceplanlægning.

Anvendes der lokale varmevandsbeholdere i de enkelte boliger, kan disse dels være forberedt for kombination med solvarme (til en merpris på 500 kr.) og dels kan der ved indplacering af et elvarmeelement åbnes mulighed for at afsætte overløbs-el om vinteren.

I områder hvor der er tale om varmforsyning fra kraftvarmeanlæg kan det diskuteres om det er rigtigt at udnytte lokal solvarmeproduktion i forhold til at få afsat varme fra spidslastdrift af kraftvarmesystemet. I takt med at solcelleteknologien udvikles kan lokale solvarmeanlæg kombineres med lokale nettilsluttede solcelleanlæg. Derved vil der forekomme en ekstra elproduktion i solrige perioder, som erstatter elproduktion på kraftvarmeanlægget, hvorved der så ikke er "gratis" spildvarme til opvarmningsformål i konkurrence med solvarmen.

Energimæssige forhold

Den samlede besparelse af ovennævnte tiltag på distributionssiden giver følgende nøgletal for varmetabene ved hhv. en naturlig udvikling og størst mulig udvikling.

Tabel 5.5: Reducerede varmetab som resultat af de samlede besparelser

Varmetab	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
År	1995	2005	2020	1995	2005	2020
distr. i jord	210	180	140	140	110	70
distr. i bygn.	108	72	54	65	54	36
varmeafgiver	30	25	20	20	15	10
Total	348	277	214	225	179	116

Hertil kommer besparelsen ved CTS-anlæg (tabel 5.6). Som ved andre energibesparende foranstaltninger i byggeriet kan disse besparelser ikke umiddelbart trækkes fra, idet besparelsen bliver relativt mindre, når der er realiseret andre besparelser.

Tabel 5.6 : Afledte besparelser ved CTS-anlæg.

Besparelse	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
År	1995	2005	2020	1995	2005	2020
MJ/m ² /år	36	54	72	54	54	54

Økonomiske forhold

Tabel 5.7: Priser, vedligeholdelsesomkostninger, levetid

Element	mer-investering kr pr. bolig	levetid år	genop- retning	årlig ved- ligeh
Øget isolering af fjernvarmerør	300-700	20-40	200%	1%
Lavtemperaturdrift				
Solvarme (fællesanlæg)	8000	20-25	130%	1%
Solvarme(individuelle)	20000	20-25	130%	1%
Pulsdrift (indgår sammen med solvarme og CTS)	2000	30-50	130%	1%
Øget isolering af distributionsrør i boliger	200-500	30-50	130%	1%
Natsenkning, central opvarmning, blandearrangement	350	5-15	130%	1%
Natsenkning individuelle opvarmning, blandearrangement	4000-6000	5-15	130%	1%
Temperaturbegrænser på brugsvandscirkulation				
IHC styring, decentral opvarmning	5000 kr pr. bolig			
CTS styring, central opvarmning	3500 kr. pr. bolig			

Flere af de nævnte energibesparende foranstaltninger er ikke forbundet med ekstra investeringer. Det er i flere tilfælde et spørgsmål om at udvikle nye løsninger som integrerede opvarmningen med friskluftsanlægget og integrere varmekilderne i bygningskonstruktionen samt at udføre kompakte løsninger.

Beskæftigelse og import

Der er en betydelig indenlandsk produktion af komponenter til varme anlæg.

Særlige/supplerende bemærkninger

Optimal anvendelse af varme anlæg i boliger forudsætter et højt informationsniveau og dermed motivationsniveau af brugerne.

Ventilation

Beskrivelse

Ventilation defineres som luftfornyelse i rum med frisk udeluft med det formål at opretholde en god luftkvalitet i boligen, således at både husene og deres beboere tilgodeses. Behovet for ventilation kan fastsættes som et nødvendigt mindstemål (basisventilation) af forskellige behov: hensynet til iltniveau, nedbringelse af koncentrationerne af CO₂, tobaksrøg, emissioner, fugtighed, radon og radondøtrer til et acceptabelt niveau. For at kvantificere luftkvaliteten, således som den opleves af mennesker er der ved Lab. for Varme - og Klimateknik på Danmarks Tekniske Universitet defineret to enheder: olf og decipol.

I det danske klima medfører ventilation et øget varmebehov for boligen og påvirker således direkte energitjenesten **opvarmning**. Om sommeren benyttes ofte forceret ventilation til at nedbringe temperaturerne i boligerne. Ventilation kan foregå enten naturligt gennem klimaskærmens tilsigtede hhv. utilsigtede utætheder drevet af vindtryk og temperaturforskelle, eller mekanisk ved en ventilator. I sidste tilfælde medfører ventilationen et elektricitetsforbrug og er således en **energitjeneste**.

Der stilles normalt et krav om en ventilationsgrad (luftskifte) på $\frac{1}{2}$ gang pr. time, hvis man skal opnå en tilfredsstillende ventilation i boliger. Desuden stilles der i bygningsreglementet, BR 95, krav om mekanisk ventilation i køkken og bad på henholdsvis 20 l/sek. og 15 l/sek., altså et samlet luftskifte på 35 l/sek. Hermed vil der for boliger på mindre end 110 m² opnås en højere ventilationsgrad end $\frac{1}{2}$ gang pr. time. Tidligere var der ikke krav om at fastholde denne høje ventilationsgrad i hele døgnet, således som det nu er specificeret i BR95.

Teknologisk udvikling

Status

Der arbejdes normalt med 6 kategorier af systemer (svenske forkortelser, [1]: (s=självdrag, f=fläktstyrdd)) til boligventilation:

- S-system: Naturlig ventilation af luft uden ventilatorer.
- F-system: Udsugning af luft (normalt fra bad og køkken) med brug af ventilatorer.
- S- og F- sys: Ofte er disse systemer kombinerede, således af ventilatorer anvendes til udsugning ved spidsbelastning, f.eks. ved madlavning eller tøjtørring i bad. F-systemer udformes i forskellige variationer bl.a. med ventilatorer med variabel hastighed.
- FT-system: Fra- og tilluftssystem. Både tilførsel af udluft og udsugning foregår ved hjælp af ventilatorer.
- FTX: Som FT-system forsynet med varmeveksler.

Nyere undersøgelser har påvist at den naturlige ventilation kan svinge meget, typisk fra 0,1 til 0,5 pr. time. Med de skærpede krav til mekanisk ventilation er det i mange tilfælde nærliggende at anvende varmegenvindning på ventilationsluften, d.v.s. at man bruger afkastluften til at forvarme friskluft, der blæses ind i boligen.

- FVP-system: Afkastluften i et F-, eller FT-system afkøles med en varmepumpe til opvarmning af varmt brugsvand. Et ikke særligt anvendt system i Danmark pga. den relativt høje elpris. Vil formentlig ikke vinde indpas i Danmark pga. den førte elpris politik og den store udbredelse af naturgas og fjernvarme.
- FTV-system: Fra- og tilluftssystem med så høj temperatur på den tilførte luft, at et andet varmesystem (radiatorer, gulvvarme) derved undgås.

I den danske boligmasse er hovedparten af ventilationssystemerne enten af S- eller af F-typen. I nyere lavenergidemonstrationsbyggerier anvendes FTX-systemer.

Mulig teknologisk udvikling

Tætning

Forbedret tætning af boligen. I forbindelse med udnyttelse af varmegenvindningssystemer er det ønskeligt at gøre boligen så tæt som muligt, typisk med et krav til naturlig ventilation på max. 0,1 pr. time, eller 10 % pr. time. Specielt er der i den ældre boligmasse et stort besparelspotentiale i en forbedret tætning omkring vinduer.

Forvarmning af ventilationsluft

Friskluftindtag via glasinddækket udestue kan benyttes til forvarmning af ventilationsluft. Kan også kombineres med solvægge, luftsolfangere, etc. En sådan forvarmning er vanskeligt at opnå med et S-system, idet det kræver velkontrollerede luftindtag og dermed forbundne

tryktab. Anvendeligt i forbindelse med de øvrige systemer. Se afsnit vedrørende glasoverdækninger.

Filtrering/genbrug af luft

Ved at fjerne forureningen af luften igennem passage af et eller flere filtre er det i princippet muligt at genbruge luften (recirkulere), således at mængden af friskluft udelukkende bestemmes af iltbehovet hos beboerne. Dette vil nedsætte opvarmningsbehovet for ventilationen, men ikke elforbruget til drift af ventilatorer.

Behovsventilation

Som nævnt ovenfor foreskriver det foreliggende bygningsreglement et konstant luftskifte i boligen. Behovet er ikke konstant, lavt når der ikke nogen hjemme og højt i forbindelse med madlavning, vask og rygning.

Behovsventilationen styres ved anvendelse af CO₂- eller fugtfølere. Hovedideen er at sikre god ventilation, der hvor boligens beboere opholder sig og minimere ventilationen i boligens øvrige rum, således at når beboerne f.eks. går fra stue til soveværelse, registreres dette af styringen, og ventilationen starter op i soveværelset og efter en vis forsinkelse nedsættes den til et absolut minimum i stuen.

Udnyttelse af mulighederne for at "behovventilere" er for øjeblikket begrænset af kravene i bygningsreglementet. Forbedrede styringsmuligheder kombineret med en eftervisning af, at luftkvaliteten kan opretholdes med behovsstyret ventilation, vil være det nødvendige grundlag for at ændre bygningsreglementet. Således kan den gennemsnitlige ventilation og de dermed forbundne energiforbrug nedsættes.

Ved S- og F-systemer kan ventilationsåbninger gøres "intelligente" ved anvendelse af CO₂- eller fugtfølere, hvorved en behovsstyring af luftskiftet kan opnås også for denne type af systemer.

For FT og FTX systemer anvendes VAV (variable air flow) systemer i kontorbyggeri I stedet for CAV (constant air flow). VAV systemer kan i princippet også anvendes på boligområdet. Dette kræver udvikling af ventilatorer, der kan arbejde med de relativt små luftmængder med høje virkningsgrader. Besparelspotentialet ved anvendelse af VAV-anlæg frem for at anvende CAV-anlæg er på ca. 50 % på elforbruget.

Følgende tabel viser værdier for sparet elforbrug i % i forhold til CAV-anlæg i dag og i fremtiden for den mest effektive teknologi.

Tabel 4.8: Sparet elforbrug i VAV-anlæg i forhold til CAV-anlæg

År	1995	2005	2020
%	50	65	80

Ventilatorer

En ventilators virkningsgrad fås som et produkt af virkningsgraderne for selve ventilatorhuset, motoren, samt et eventuelt remtræk. Der arbejdes løbende med forbedrede udformninger af ventilatorer til anvendelse i ventilationsanlæg. Specielt de nye krav i bygningsreglementet (95) til maksimalt energiforbrug pr m³ luft flyttet har virket som en spore for denne udvikling. En fortsat udvikling spås kun at kunne resultere i marginale forbedringer. Følgende tabel viser værdier for virkningsgraden for den mest effektive teknologi (m.e.t.), i dag og i fremtiden:

Tabel 4.9: Virkningsgrader for ventilatorer, %

År	1995	2005	2020
Ventilator	0.85	.87	.9
Motor	0.86	.88	.9
Remtræk	0.95-1 *	.95-1	.96-1
Total	0.69-0.73	0.73-0.77	0.78-.81

* 1, hvis der benyttes direkte kobling

Den typiske virkningsgrad for en god, ny ventilator i dag er omkring 0.64. Ofte er små ventilatorer betydeligt ringere, dvs. med en virkningsgrad på 0.32.

Allerede i dag er der en tendens til at benytte direkte koblede aksialventilatorer så vidt muligt, således at virkningsgraden ikke reduceres af remtrækket.

Tryktab

Elforbruget til ventilationsanlæg går primært til at overvinde tryktabene i ventilationsanlæggene. Der arbejdes derfor med udformning af anlæg med større kanaler og bedre tilslutninger. Der er dog en ofte en nedre grænse for, hvor langt tryktabene kan bringes ned på grund af bygningsreglementets krav til differenstryk for at undgå brand- og røgspredning igennem ventilationskanalerne. En udvikling af effektive prisbillige brandspjæld vil være en forudsætning for at fjerne dette generelle krav i bygningsreglementet.

Da det i dag ikke er de lige kanaler som giver tryktabet, men faconstykkerne, arbejdes der løbende på at forbedre disse. Nye samlingsmetoder og bedre tætning af faconstykkerne vil gøre, at tryktabet vil blive mindre igennem dem. Følgende tabel viser værdierne for tryktabet i % af det samlede tryktab i et ventilationssystem i dag og i fremtiden, for den mest effektive teknologi :

Tabel 4.10: Kanaltryktabets andel af det samlede tryktab

År	1995	2005	2020
%	20	15	10

Opblandings- vs. fortrængningsventilation

Det almindeligt forekommende ventilationssystem i boliger er af opblandingstypen. Svagheden ved disse systemer er en ufuldstændig opblanding, der medfører et større behov for frisklufttilførsel end nødvendigt i en optimal systemudformning. F.eks. forekommer kortsslutning og lav ventilationseffektivitet ofte, når indblæsningstemperaturen er højere end rumtemperaturen [3]. Der er en mulighed for at forøge den gennemsnitlige ventilationseffektivitet ved at benytte fortrængningsprincippet, som allerede anvendes i kontorer, biografer, teatre m.v. Fortrængningsventilation bygger imidlertid på et princip om at tilføre forholdsvis kølig friskluft lavt i lokalet, hvorefter luften opvarmes under opstigningen, hvorefter den udsuges under loftet. Anvendt i boliger kan vil den kendte form for fortrængningsventilation give komfortproblemer i form at træk ved gulvet. I boligen er ikke det samme høje niveau af "gratisvarmeproduktion" fra elforbrugende udstyr, som i f.eks. kontorer. Det er dog et område, der bør undersøges nærmere.

Lyddæmpere

Lyddæmperens tryktab udgør ca. 7-8 % af det samlede tryktab i almindelige kontor-ventilationsanlæg. Der arbejdes løbende med at forbedre udformningen af lyddæmperene. I England har man arbejdet med dæmpning/eliminering af lyden ved anvendelse af interferensbølger.

Følgende tabel viser værdier for tryktab i % i forhold til det totale tryktab i et ventilationsanlæg i dag og i fremtiden for den mest effektive teknologi.

Tabel 4.11: Tryktab i lyddæmpere i forhold til det totale tryktab

År	1995	2005	2020
%	8	6	4

Armaturer for indblæsning og udsugning

Meget begrænsede muligheder for at reducere tryktabene i disse armaturer.

Fælles ventilationssystemer

Ved at etablere fælles ventilationssystemer for flere boliger kan der opnås bedre virkningsgrader for ventilatorer og genvindingsagregater.

Korrekt udførsel af anlæg

Det er vigtigt, at ventilationsanlæg er udført korrekt, således at der ikke forekommer lækager i systemet, samt at den tekniske isolering er i orden.

Vedligeholdelse

Tilsmudsning øger tryktabet i systemet. Anlæggene bør vedligeholdes efter en fastlagt tidsplan (også af hygiejnemæssige grunde).

Forsknings- og udviklingsmæssige behov

Som det fremgår af ovenstående er der muligheder for opnåelse af energibesparelser ved en teknologisk udvikling dels på systemsiden og dels på komponentsiden. Resultatet af en fortsat forskningsindsats vedrørende luftbevægelse i rum ses som en mulighed for at forøge ventilationseffektiviteten.

Investeringsmæssige behov

Da det drejer sig om effektivisering af kendte teknologier skønnes det at den mulige teknologiske udvikling og fremstilling kan finde sted på allerede eksisterende faciliteter

Øvrige initiativer til fremme af udviklingen

For at begrænse såvel opvarmnings- som elforbrug skal Bygningsreglementet ændres, således at det i fremtiden bliver ønskeligt, at udforme ventilationsanlæg med behovsstyring.

Energimæssige forhold

Energiforbruget til opvarmning og elforbruget til ventilation opgives som nøgletal i hhv. MJ/m² og kWh pr m² boligareal i tabellerne herunder.

Et luftskifte på 0.35 l/s m², hvilket svarer til det iflg. BR 95 foreskrevne luftskifte for en bolig på 100 m², vil medføre et energiforbrug til opvarmning på ca. 100 MJ/m² [3].

Tabel 4.12: Energiforbrug til opvarmning

Opvarmning	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
MJ/m ²	1995	2005	2020	1995	2005	2020
S-,F- og FT-system,	180	108	100	100	72	72
FTX-system	72	43	29	25	18	14

Tabel 4.13: Elforbrug til ventilatorer

Strømforbrug	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
KWh/m ²	1995	2005	2020	1995	2005	2020
F-system	4.38	4	3.8	2.63	2	1.6
FT-, FTX, system	8.76	8	7.6	4.38	4	3.2

Tabel 4.14: Spredning i varme- og elforbrug.

År	1995	2005	2020
Varme, S, F, FT, MJ/m ²	90-270	54-162	54-126
Varme, FTX, MJ/m ²	54-90	29-58	21-40
El, S, F, FT, kWh/m ² .	3-8	3-6	2.5-5
El, FTX, kWh/m ²	7-15	6-12	5-11

Miljømæssige forhold

I dag monteres kanalerne uden kit med opløsningsmiddel, dog kitter man faconstykkerne. Der er således behov for at udvikle metoder, hvor kitning af faconstykkerne undgås. Mange dele af ventilationssystemer kan i princippet genanvendes ved omsmelting.

Økonomiske forhold

Priser

Ventilationsanlæg kan udformes på mange måder. Prisen afhænger en del af, om der er tale om individuelle anlæg, eller fællesanlæg for flere boliger.

Tabel 4.15: Priser for ventilationsanlæg

Kr.	Naturlig udvikling			Størst mulig udvikling		
År	1995	2005	2020	1995	2005	2020
S, F, FT	8000-12000	8000-12000	8000-12000	11000-16000	9000-13000	8000-12000
FTX	15000-20000	15000-20000	15000-20000	18000-25000	12000-16000	10000-14000

Vedligeholdelsesomkostninger, levetid

Levetiden af ventilationsanlæg er 30-50 år, 10-25 år for ventilatorer alene. Vedligeholdelsesomkostninger sættes til 3 % af anlægsinvesteringen.

Beskæftigelse og import

Der er en betydelig indenlandsk produktion af komponenter til ventilationsanlæg

Særlige/supplerende bemærkninger

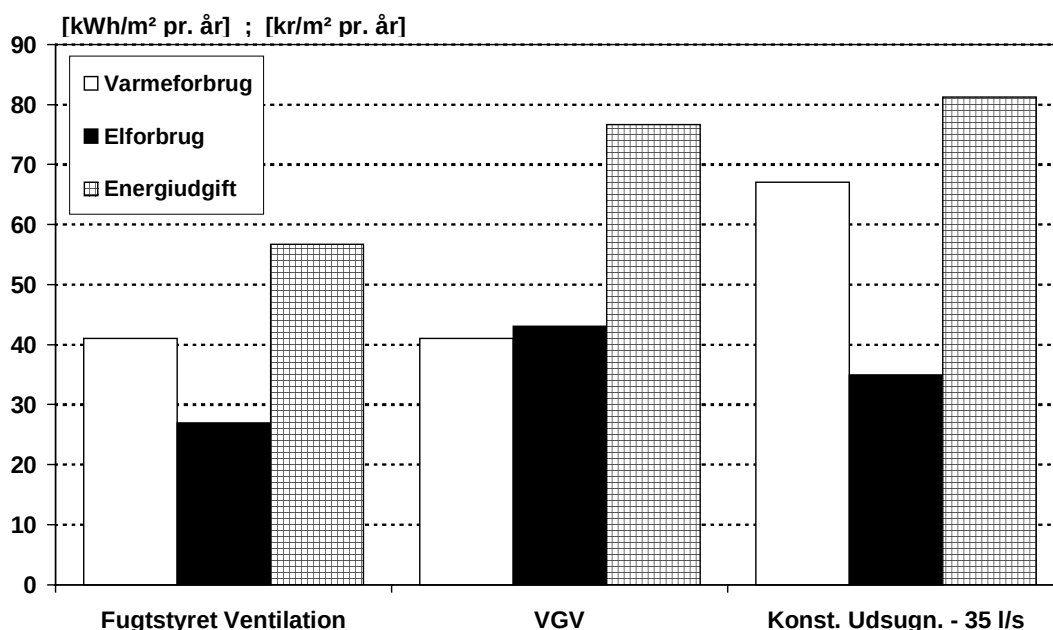
Optimal anvendelse af ventilationsanlæg i boliger forudsætter et højt informationsniveau og dermed motivationsniveau af brugerne.

5.5. Referencer

- [1] Erikson, B.E., 1993, "Ventilation av bostäder", Byggeforskningsrådet, T3. ISBN 91-540-5519-9.
- [2] Sørensen, H.H., 1990, "Ventilation ståbi", Teknisk Forlag A/S. ISBN 87-571-1107-3
- [3] Olufsen, P., 1984, "Boligventilationssystemer, Teori og erfaringer". SBI-rapport 161. ISBN 87-563-0571-0.

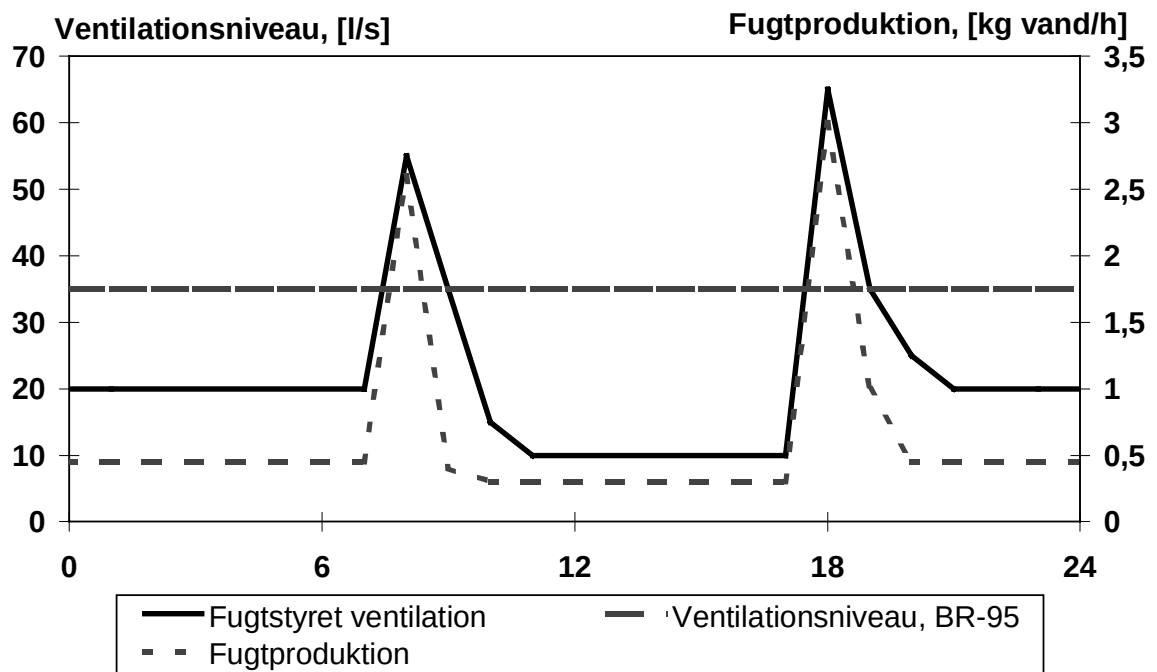
Appendix 1 - Energiforbrug og driftsudgifter for forskellige ventilationsanlæg

I nedenstående diagram er vist en vurdering af forskellige ventilationsanlægs indflydelse på det samlede energiforbrug samt de forventede årlige energiudgifter herfor (inkl. elforbrug til ventiltorer) baseret på et lavenergihus opført i overensstemmelse med det gældende bygningsreglement og med dagens middelenenergipriser. Herudover er angivet de tilsvarende værdier for et standardhus opført efter det gældende bygningsreglement.



Som det ses, er der et stort besparelspotentiale ved en øget energieffektivitet og reduktion af el-forbruget ved ventilationsanlæg med varmegenvinding. Tilsvarende vil et behovsstyret konstanttryks- og fugtreguleret udsugningsanlæg blive betydeligt mere attraktivt, såfremt prisen på fugtfølere kan reduceres, da disse udgør en betragtelig del af de samlede anlægsomkostninger for et behovsstyret ventilationsanlæg. For maksimale energibesparelser og bedst mulig luftkvalitet vil der derfor være behov for at analysere og udvikle en kombineret anvendelse af disse to typer ventilationsanlæg. Dette arbejde kan med fordel baseres på erfaringerne fra det igangværende forskningsprojekt på By & Byg vedr. Behovsstyret Boligventilation.

Appendix 2 - Princip for fugtstyret ventilation



5. Små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning af Simon Furbo, BYG-DTU, Danmarks Tekniske Universitet

5.1. Indledning

I dag har de fleste familier forholdsvis små varmtvandsforbrug, ca. 60-150 l/dag. Varmtvandsforbruget er i gennemsnit 100 l/dag, svarende til 1700 kWh/år, [1]. Sandsynligvis vil stigende vandpriser og vandbesparelser resultere i endnu mindre varmtvandsforbrug i fremtiden. Såvel varmtvandsforbrugets størrelse som tappemønsteret varierer meget fra familie til familie og for én familie vil varmtvandsforbruget ikke være det samme igennem hele livet.

Størrelsen af solvarmeanlæg bør bedst muligt tilpasses forbrugets størrelse, både for at få et højtydende anlæg og et anlæg som ikke er unødvendigt dyrt. Et passende solfangerareal er ca. 1 m² pr. 50 l varmtvandsforbrug pr. dag og varmtvandsbeholderens volumen som er forbeholdt solfangerne bør være ca. lige så stort som det daglige varmtvandsforbrug. De typiske varmtvandsforbrug på 60-150 l/dag svarer altså til veldimensionerede solvarmeanlæg med solfangerarealer på ca. 1-3 m² og varmtvandsbeholdere med volumener mellem ca. 100 l og 200 l.

5.2. Status

5.2.1. Traditionelle anlæg

Størstedelen af de små solvarmeanlæg, som er opført i Danmark inden for det sidste årti, er solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning til enfamiliehuse. Anlæggene er baseret på traditionelt udformede plane solfangere, et differenstermostat styresystem med en temperaturføler i solfangeren og en temperaturføler i bunden af varmtvandsbeholderen, en solfangerkreds baseret på velisolerede standard rør, en lille cirkulationspumpe til at pumpe solfangervæsken rundt i solfangerkredsen og en varmtvandsbeholder, hvor brugsvandet både kan opvarmes af solfangerne og – i perioder hvor solen ikke skinner tilstrækkeligt – af en supplerende energikilde. Solvarmen bruges til at opvarme brugsvandet i den nederste del af varmtvandsbeholderen og den supplerende energikilde opvarmer brugsvandet i den øverste del af beholderen.

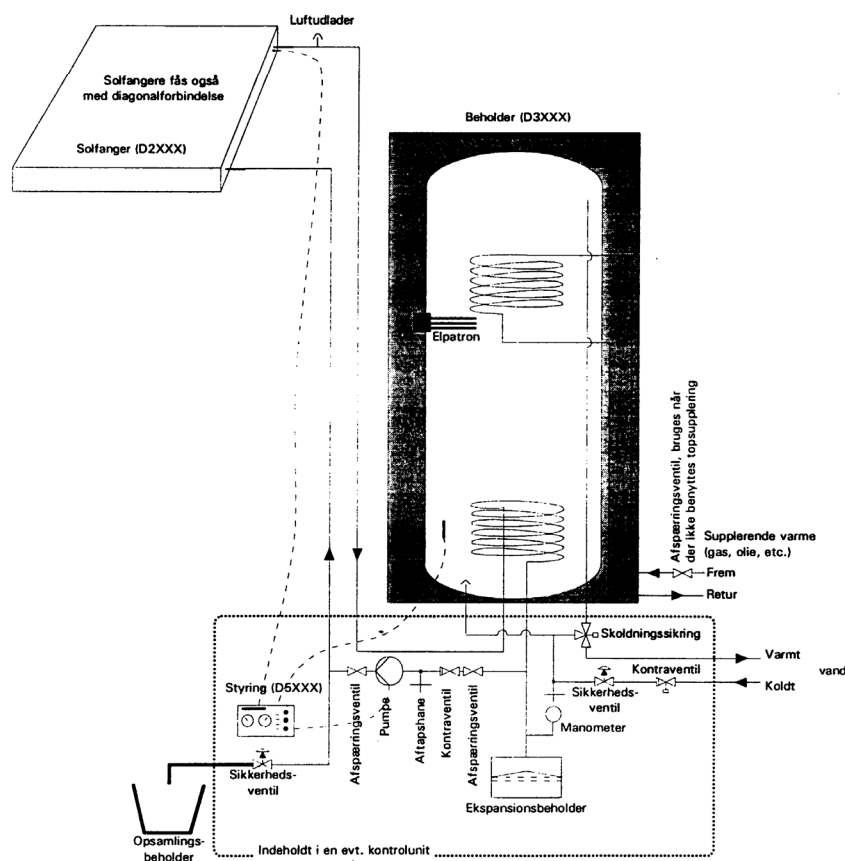
Solfangerarealet er typisk mellem 2 m² og 6 m². Varmtvandsbeholderens volumen er typisk mellem 150 l og 300 l og den supplerende energikilde opvarmer typisk de øverste 60-130 l af beholderen til den ønskede varmtvandstemperatur.

Prisen for solvarmeanlæg varierer meget fra anlæg til anlæg. Det er fx af stor betydning om hele varmtvandsbeholderens pris inkluderes i solvarmeanlæggets pris, idet varmtvandsbeholderen er den dyreste komponent for små solvarmeanlæg. Er der tale om nybyggeri eller om at den eksisterende varmtvandsbeholder alligevel skal udskiftes, skal størstedelen af varmtvandsbeholderens pris ikke medregnes i solvarmeanlæggets pris, da der også er behov for en varmtvandsbeholder i huse uden solvarmeanlæg. Derudover har specielt størrelsen og typen af solfangeren og varmtvandsbeholderen samt installationsforholdene indflydelse på anlægsprisen.

Energibesparelsen for solvarmeanlæg varierer også meget fra anlæg til anlæg. Størst betydning har backupenergikildens energiudnyttelse før og efter solvarmeanlæggets installation og selve ydelsen af solvarmeanlægget. Derudover opnås der en energibesparelse i form af sparet tomgangstab for energianlæg i sommerperioder hvor energianlægget er slukket.

Solvarmeanlæggets ydelse afhænger både af varmtvandsforbrugets størrelse og af solvarmeanlæggets udformning.

Figur 6.1 viser en principskitse af et traditionelt udformet lille solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Brugsvandet i varmtvandsbeholderen kan opvarmes både af solfangeren via den indbyggede varmevekslerspiral i bunden af varmtvandsbeholderen og af en supplerende energikilde enten i form af en elpatron øverst i beholderen eller via en topvarmevekslerspiral koblet til oliefyr/naturgaskedel. Solfangervæsken cirkuleres med et højt flow gennem solfangerkredsen, typisk 1 l/min pr. m² solfanger.



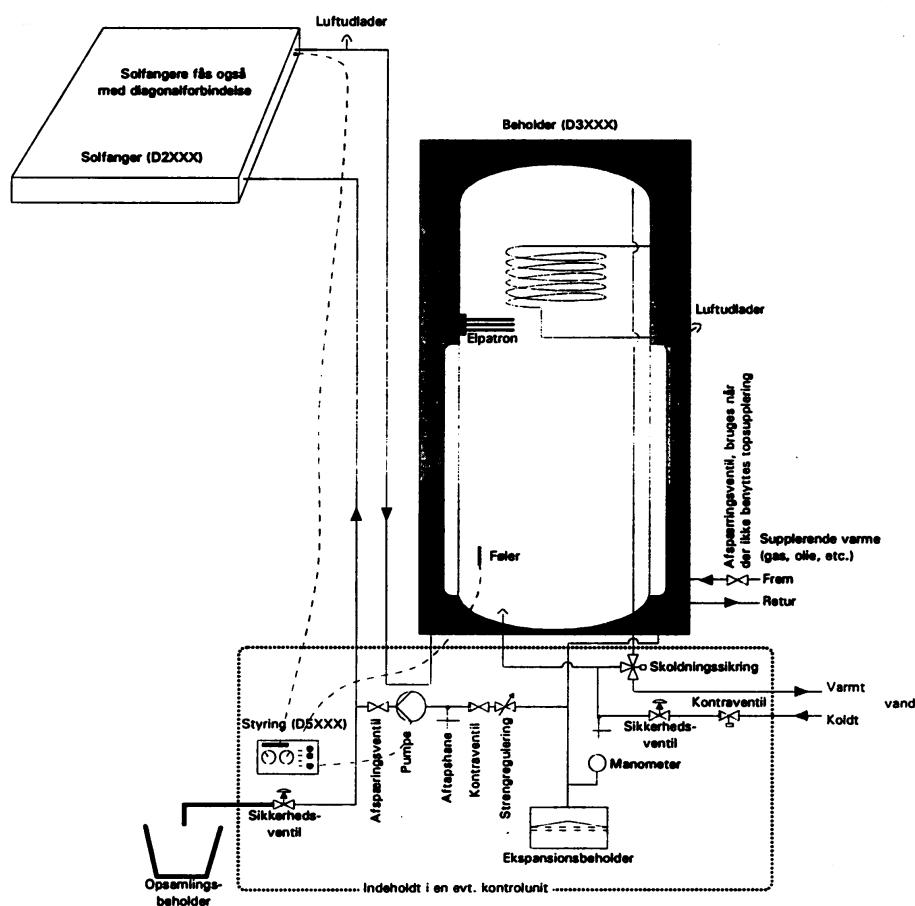
Figur 5.1: Principskitse af traditionelt solvarmeanlæg.

5.2.2. Low flow anlæg

Inden for de sidste 10 år er low flow solvarmeanlæg blevet introduceret på markedet. Disse anlæg benytter en varmtvandsbeholder med en stor temperaturlagdeling og solfangervæsken pumpes rundt i solfangerkredsen med en lille volumenstrøm, ca. 0,15-0,25 l/min pr. m² solfanger.

Varmtvandsbeholderen kan fx være en opretstående cylinderformet kappebeholder, hvor solfangervæsken langsomt pumpes igennem kappen, som omgiver den nederste del af

varmtvandsbeholderen. Herved opbygges der en stor fordelagtig temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen under solfangernes drift. Figur 6.2 viser en principskitse af et low flow anlæg baseret på en standard kappebeholder.



Figur 5.2: Principskitse af low flow anlæg.

Ydelse/pris-forholdet for solvarmeanlæg kan forbedres væsentligt ved at benytte low flow princippet. For det første er ydelsen for low flow anlæg væsentligt større end ydelsen for traditionelt udformede solvarmeanlæg.

Den ydelsesmæssige fordel ved low flow anlæg afhænger både af anlægsudformning og af solvarmeanlæggets dækningsgrad, [2], [3], [4], [5]. Jo mindre dækningsgraden er des større er den ydelsesmæssige fordel for low flow solvarmeanlæg.

Hvis den årlige dækningsgrad for et traditionelt solvarmeanlæg baseret på en spiralbeholder fx er 45%, hvilket er en typisk størrelse, vil et tilsvarende low flow solvarmeanlæg med en kappebeholder yde ca. 15-20% mere.

Det er også muligt at billiggøre solvarmeanlæg ved at benytte low flow princippet. En lille billig pumpe med et lavt effektforbrug er tilstrækkelig til at pumpe solfangervæsken rundt i solfangerkredsen med lille volumenstrøm. Diametrene for solfangerkredsens rør kan være meget små og rørisoleringstykkelsen kan også reduceres på grund af de små rør. For at få fuld fordel af de små rørdiametre har en række udenlandske firmaer udviklet færdige fleksible solfangerkredse, som indeholder et koldt og et varmt rør, rørisolering og ledning(er) mellem solfangerens temperaturføler og anlæggets styresystem. Disse fleksible solfangerkredse

reducerer prisen for rør, isolering og installation. Derudover reduceres solfangerkredsens varmetab i forhold til varmetabet fra solfangerkredsen for et traditionelt solvarmeanlæg, således at den ydelsesmæssige fordel ved low flow anlæg yderligere forøges [6], [7].

For de fleste solfangere reduceres effektiviteten kun en lille smule når volumenstrømmen reduceres fra 1,2 l/min pr. m² solfanger til 0,15 l/min pr. m² solfanger [8]. Altså er de i dag benyttede solfangere velegnede til low flow anlæg. Undersøgelser gennemført i Canada tyder på at der er mulighed for til low flow anlæg at udvikle absorbere som bruger mindre materiale end de absorbere som benyttes til traditionelle anlæg [9]. Altså er der en mulighed for at udvikle billigere solfangere, som er specielt velegnede til low flow anlæg.

Undersøgelser gennemført i 4 europæiske lande viste at ydelse/pris-forholdet for solvarmeanlæg kan forbedres med 20-39% ved at anvende low flow princippet [5]. For danske anlæg var forbedringen 39%.

I 1989 introducerede Aidt Miljø A/S som det første europæiske firma low flow anlæg på markedet. Siden er mange firmaer fulgt efter. I dag dominerer low flow anlæg således markedet i mange europæiske lande, fx Schweiz og Tyskland. I Danmark halter udviklingen bagefter. Low flow anlæg udgør en beskeden del af markedet og der markedsføres ikke i Danmark low flow anlæg som fuldt ud udnytter mulighederne for at billiggøre anlæggene.

5.2.3. Ydelser

Siden 1993 er en række små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning blevet afprøvet under laboratiemæssige forhold i DTU's prøvestand.

Afprøvningerne er vigtige i forbindelse med bestemmelse af anlægs ydelser, pålidelighed og holdbarhed.

I perioden 1993-1998 er der i DTU's prøvestand afprøvet 19 forskellige små solvarmeanlæg under realistiske betingelser. 16 af anlæggene er markedsførte anlæg: 12 fra danske fabrikanten og 4 fra fabrikanten fra Holland, Schweiz, Canada og Norge. Både traditionelt udformede anlæg og low flow anlæg er blevet afprøvet, [10], [11].

Ydelserne for de afprøvede anlæg blev bestemt ved et varmtvandsforbrug på 200 l/dag med brugsvandet opvarmet fra 10°C til 45°C svarende til et årligt energiforbrug på 2940 kWh.

Den gennemsnitlige årsnettodækningsgrad for de afprøvede anlæg var 49% og den gennemsnitlige årsnettoydelelse var 360 kWh/år pr. m² solfanger. Disse ydelser er forholdsvis små.

Afprøvningerne viste at ydelsen af alle de afprøvede anlæg kan forøges væsentligt ved at forbedre anlægsudformningen og at varmtvandsbeholderen er den komponent, som har størst betydning for anlægsydelsen.

Undersøgelser af små solvarmeanlæg i praksis [12] har desuden vist at ydelserne i praksis er væsentlig lavere end ydelserne af anlæg afprøvet under laboratiemæssige forhold. Den gennemsnitlige årsnettodækningsgrad i praksis var 45% og årsnettoydelelsen var 220 kWh/år pr. m² solfanger.

Hovedårsagerne til de små ydelser er knyttet til udformningen af varmtvandsbeholderne. For at forbedre ydelse/pris-forholdet for små solvarmeanlæg er det derfor først og fremmest nødvendigt at forbedre varmtvandsbeholdernes udformning.

5.2.4. Varmtvandsbeholdere

For små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er varmtvandsbeholderen den vigtigste komponent, både ud fra et ydelsesmæssigt og et prismæssigt synspunkt.

Jo større temperaturlagdeling der er i varmtvandsbeholderen under anlæggets drift des større bliver solvarmeanlæggets ydelse. Det er derfor vigtigt at solvarmen tilføres brugsvandet så temperaturlagdelingen bliver så stor som mulig.

Det er også vigtigt at det kolde brugsvand under varmtvandstapninger tilføres bunden af beholderen uden omrøring, således at varmtvandstapninger opbygger temperaturlagdelingen i beholderen bedst muligt. Undersøgelserne har således vist at omrøringen forårsaget af et dårligt udformet markedsført koldtandsindløb kan reducere et solvarmeanlægs årlige ydelse med op til 23%, [13]. Endelig er det vigtigt at beholderdesignet sikrer at temperaturforskelle, der er etableret i beholderen under solfangerdrift og varmtvandstapning, udjævnes så langsomt som muligt.

Undersøgelser har vist at kappebeholdertypen er den varmtvandsbeholdertype som resulterer i det bedste ydelse/pris-forhold for små solvarmeanlæg i Danmark [8]. Det er derfor vigtigt at vide hvordan kappebeholdere bedst udformes. Undersøgelser af de varmetekniske forhold for kappebeholdere har medvirket til at bestemme den bedste udformning [14].

Følgende generelle designregler bør overholdes for varmtvandsbeholdere:

- Vandvolumenet forbeholdt solfangerne skal være ca. 50 l pr. m² solfanger.
- Varmeoverføringsevnen fra solfangervæsken til brugsvandet skal være tilstrækkelig stor, ca. 50 W/K pr. m² solfanger.
- Beholder udformningen bør sikre størst mulig temperaturlagdeling i beholderen.
- Varmetabet fra varmtvandsbeholderen skal reduceres ved hjælp af et godt design og en god varmeisolering. Rørtilslutninger bør undgås i den øverste del af tanken for at reducere størrelsen af kuldebroer til et minimum [15]. Varmetabskoefficienten bør ikke være større end svarende til en perfekt isolering med ca. 3-4 cm PUR-skum.
- Topspiralens rørtilslutninger bør føres ud gennem svøbet af beholderen og rørene føres ned til gulvniveau. Rørene bør forsynes med en ventil der forhindrer selvcirkulation.
- Koldtandsindløbet bør udformes så der ikke skabes omrøring i beholderen under varmtvandstapning – selv ikke når tappeflowet er højt, ca. 20 l/min.
- Det varme vand skal tappes fra toppen af beholderen. Hvis vandet tappes via et tapperør placeret inde i beholderen må det sikres at røret når helt op til toppen af beholderen.
- Vandvolumenet som opvarmes af den supplerende energikilde bør være så lille som muligt og temperaturniveauet, som den supplerende energikilde opvarmer vandet til, bør være så lavt som muligt, naturligvis under hensyntagen til den krævende varmtvandskomfort.

5.3. Fremtidens solvarmeanlæg

Som nævnt i det foregående afsnit er der gode muligheder for at forbedre små solvarmeanlæg. Først og fremmest kan der udvikles optimalt udformede low flow solvarmeanlæg baseret på

komponenter som gør installationen af anlægget let og billig. Følgende komponenter/principper kan udvikles/forbedres yderligere:

- En optimalt udformet kappebeholder, måske med en billig trykløs tank som kappe.
- En lille (måske solcelledrevet?) billig pumpe til cirkulation af solfangervæsken.
- En fleksibel solfangerkreds med små rør.
- En solfanger med en billig absorber designet til low flow drift.
- For solvarmeanlæg med mere end et solfangerpanel kan solfangerne seriekobles sådan at lav-effektive billige solfangere installeres først i kredsen hvor driftstemperaturen er relativ lav. Høj-effektive og dyrere solfangere installeres sidst i kredsen hvor driftstemperaturen er relativ høj.
- Et styresystem som styrer pumpen således at flowet i solfangerkredsen bliver optimalt (variabelt?) igennem hele driftsperioden.

Derudover er der gode muligheder for at forbedre ydelse/pris-forholdet for små solvarmeanlæg væsentligt ved at udvikle/videreudvikle:

- antirefleksionsbehandlet glas som dæklag for solfangere
- forbedrede selektive belægninger for absorbere
- effektive oliefyr/soltank – og naturgaskedel/soltank-units [16]
- anlæg baseret på tømmesystemprincippet
- solvarmeanlæg baseret på intelligente soltanke med en fleksibel brugertilpasset styring af varmetilførslen fra den supplerende energikilde og en intelligent styring af flowet i solfangerkredsen [17]. Et solvarmeanlæg baseret på en intelligent soltank er velegnet både til små og store varmtvandsforbrug [18]. Anlægget er derfor fremtidssikret, da varmtvandsforbrugets størrelse i fremtiden jo ikke kendes.
- intelligente pumpe/styresystemer-units baseret på lydbølgemålinger.

5.4. Referencer

- [1] Ydelsesstatistik for mindre brugsvandsanlæg – erfaringer fra det femte års målinger 1996. W. Otto, J.E. Nielsen & T. Dalsgaard Jacobsen, Prøvestationen for Solenergi, 1997.
- [2] The Actual Benefits of Thermally Stratified Storage in af Small and Medium Size Solar System. C.W.J. van Koppen, J.P.X. Thomas og W.B. Velthkamp, Sun II, Proceedings ISES Biennial Meeting, Atlanta, 1979.
- [3] Små low flow solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning – status. S. Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 90-07, 1990.
- [4] Små low flow solvarmeanlægs ydelser. S. Furbo & P. Fagerlund Carlsson. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 221, 1991.
- [5] Advanced Solar Domestic Hot Water Systems. A report of the Task 14 Advanced Solar Domestic Hot Water Systems Working Group. W. Duff (Ed.), 1996.
- [6] Undersøgelse af solvarmeanlæg fra Thermo Dynamics Ltd.. S. Furbo & K. Ellehauge. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 260, 1994.
- [7] Undersøgelse af solvarmeanlægget Solkit fra Schweiz. S. Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 278, 1995.

- [8] Optimal udformning af low flow solvarmeanlæg. S. Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 238, 1992.
- [9] Optimization of the Flat Plate Absorber for Low Flow. K.G.T. Hollands, A.P. Brunger and P.G. Charalambous, University of Waterloo, 1989.
- [10] Ydelse af solvarmeanlæg under laboratoriemæssige forhold. S. Furbo. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Rapport SR-9801, 1998.
- [11] Afprøvning af solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning for Batec A/S. L. Qin & S. Furbo. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Rapport SR-9913, 1999.
- [12] Thermal Performance of Small SDHW Systems in Theory, in Laboratory and in Practice. E. Andersen, Institut for Bygninger og Energi, DTU. Proceedings fra EuroSun 98 Congress, Slovenia, 1998.
- [13] Thermal destratification in small standard solar tanks due to mixing during tapping. E. Andersen & S. Furbo. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Proceedings fra 1999 ISES Congress, Israel, 1999.
- [14] Modelling of Mantle Tanks for SDHW Systems using PIV and CFD. L.J. Shah, Institut for Bygninger og Energi, DTU & G.L. Morrison & M. Behnia, University of New South Wales, Australia. Proceedings fra EuroSun 98 Congress, Slovenia, 1998.
- [15] Test Procedures for Heat Storages for Solar Heating Systems. S. Furbo. Int. J. Solar Energy, 1983, Vol. 1.
- [16] Solvarmeanlæg med naturgaskedel/solbeholder-unit og oliefyr/solbeholder-unit. Ydelser og erfaringer fra praksis. S. Furbo & N.K. Vejen, Institut for Bygninger og Energi, DTU & K. Vinkler Frederiksen, DGC A/S, 1999.
- [17] Smart solar tanks – heat storage of the future? S. Furbo & L.J. Shah. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Proceedings fra 1997 ISES Congress, Korea, 1997.
- [18] Development of a smart solar tank. S. Furbo & E. Andersen. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Proceedings fra 1999 ISES Congress, Israel, 1999.

6. Solvægge af Ove Mørck, Cenergia Energy Consultants

Dette afsnit er et uddrag fra bogen “Bygningsintegreret solenergi – og det globale energisparekoncept, belyst ved eksempler fra Danmark og andre europæiske lande.” Peder Vejsig Pedersen, Cenergia Energy Consultants, 1999 (under udarbejdelse) bearbejdet af Ove Mørck, Cenergia Energy Consultants.

6.1. Introduktion

Solvægge kan defineres som vægge, der ud over den primære funktion som isolerende klimaskærm samtidig er designet til udnyttelse af den solenergi der rammer væggen. Solvægge opdeles normalt i ventilerede og ikke ventilerede solvægge.

I Danmark er der sket udviklingsarbejde vedrørende solvægge gennem de senere år, bl.a. i regi af “Solvægsgruppen”, som består af institutionerne DTI Byggeteknik, DTI Energiteknik og Laboratoriet for Varmeisolering ved DTU, 3 rådgivende ingeniører, Cenergia, CowiConsult og Samfundsteknik samt 2 arkitekter, Ulla Falck og Michael Madsen.

Der er på nuværende tidspunkt etableret en række prøvefelter og et mindre antal demonstrationsprojekter med solvægge i Danmark, især i boligbyggeri. Alligevel mangler der stadig meget med hensyn til at dokumentere funktionen af forskellige løsninger og gennemføre den nødvendige optimering. De fleste solvægsfelter til boligbyggeri er udført med glasdæklag og er relativt store med 5-30 m² ventileret solvæg pr. lejlighed. Ved et mindre solvægsareal vil ydelsen og rentabiliteten blive bedre.

Solvægge som ventileres med friskluft kan også udføres med et prisbilligt metaldæklag, når der er tale om store luftmængder eller der kan anvendes transparent isolering som kan øge ydelsen betydeligt ved større solvægsarealer. Men de sidstnævnte koster også væsentligt mere. Endvidere findes der inden for ventilerede solvægge en række varianter, f.eks. solvægge direkte tilsluttet et ventilationssystem, indirekte ventilerede solvægge som ventileres ved undertryk der skabes af almindelig udsugningsventilation og naturligt ventilerede solvægge.

Solvægge opbygges ofte så der sker en varmeakkumulering i den bagved liggende væg. De kan også med fordel kombineres med et stenvarmelager der kan give en 6-9 timers tidsforskydning for tilførsel af solvarme til en bygning. Solvægge kan endvidere opbygges som en kombineret solcelle/solvægsløsning der både kan producere el og varme. Den kan også kombineres med varmegenvinding på ventilationsluften og den kan udføres så man kan udnytte overskudsvarmen fra den til at bidrage til varmtvands opvarmning om sommeren.

Indvirkning på indeklima og ventilationsforhold og elforbrug til ventilatorer er også centrale emner i forbindelse med udvikling af solvægge.

6.2. Solvægskategorier

Solvægge er normalt udført med et glas-dæklag ud mod omgivelserne, men der kan også udnyttes en metalplade med små huller i som solvæg. Bygningsindpassede solcellemoduler uden på en væg kan også samtidigt udnyttes som solvæg, f.eks. til forvarmning af ventilationsluft der passerer en luftspalte bag solcellerne.

Solvægge kan opdeles i solvægge uden indbygget ekstra isolering og solvægge der samtidigt har indbygget ekstra isolering.

Solvægge kan inddeles i følgende kategorier:

1. Uventilerede solvægge i form af et lag transparent dæklag, f.eks. glas foran en massiv væg.
2. Uventilerede solvægge med transparent isolering placeret foran en massiv væg og uden ekstra isolering.
3. Ventilerede solvægge med transparent dæklag og isolering i solvæg.
 - a. Solvæg med transparent isolering
 - b. Luftsolfanger solvæg (1 lag glas, absorber, isolering)
4. Ventilerede solvægge med transparent dæklag og uden isolering
 - a. solvæg med 1 lag glas monteret på massiv væg.
 - b. Solvæg med 1 lag glas og absorberplade, der køles på bagsiden.
5. Ventilerede solvægge med ikke transparent dæklag.
 - a. Solvæg med tynd metalplade med små huller i (f.eks. ”canadisk solvæg”).
 - b. Solvæg med bygningsindpassede solceller.
6. Dobbelte facader som normalt opbygges med to transparent glaslag, hvor der kan placeres en persienne der opfanger solindstrålingen imellem, se afsnit (3.3.3.).

6.3. Anlægstyper

De nævnte ventilerede solvægge kan udformes dels til forvarmning af ventilationsluft og dels kan de bidrage til opvarmning af rumluft der cirkulerer ud i solvæggen. Endvidere kan de ventilerede solvægge udformes med forskellige former for varmelagringsfunktioner, i bagvedliggende massiv væg, i et stenvarmelager som ventilationsluften der kommer fra solvæggen føres igennem eller i en anden form for bygningsindpasset varmelager, som f.eks. et betonhuldæk.

Fordelen ved at udnytte sådanne varmelagringsfunktioner er at man hermed kan opnå en forskydning fra det tidspunkt hvor solenergitilskuddet omsættes i solvæggen og hen til et senere tidspunkt, hvor der måske er et større behov for opvarmning. Dette er især vigtigt når der samtidigt tilføres direkte solindfald fra vinduer til en given bygning. Og betydningen af at opnå en forskydning af varmetilskudet bliver samtidig større når der er tale om en velisoleret bygning.

Solvægge kan også udformes så de kan give en kølefunktion om sommeren ved at udnytte en skorstens-effekt i den solbeskinnede solvæg til at trække luft ud af den bagvedliggende bygning. Herved opnås en øget naturlig ventilation. Og ønskes det at en solvæg også skal udnyttes om sommeren til fremstilling af varmt brugsvand kan det ske ved hjælp af en luft til vand varmeveksler.

6.4. Realiserede anlæg

I det følgende afsnit er der en kort omtale af en række realiserede solvægsprojekter og der er et kort afsnit med opsummering vedrørende ydelse og økonomi samt nogle konklusioner.

6.4.1. Den canadiske solvæg

Den såkaldte Canadiske solvæg er som det fremgår udviklet i Canada, primært til brug i fabrikshaller med et meget stort luftskifte. Der anvendes her en simpel trapez metalplade-solfanger med ca. 1% meget fine huller fordelt over hele overfladen. Når store luftmængder suges ind gennem denne overflade kan der opnås en meget høj solenergieffektivitet og dermed en god økonomi, selv i Canada hvor energipriserne er meget lavere end de danske.

6.4.2. Solvægge til betonrenovering

I Solvægsgruppens regi er der med støtte fra Energistyrelsen gennemført et udviklingsarbejde vedrørende solvægge til betonrenovering. udviklingsarbejdet er gennemført i parallelle designgrupper, og arbejdet førte frem til et design af solvægge, der naturligt passer ind i et renoveringsforløb.

I rapporten fra Solvægsgruppen, "Solvægge til betonrenovering. - Måleresultater og anbefalinger" fra september 1996 dokumenteres måleresultater og økonomi for 3 opførte prøvefelter i 3 forskellige byggerier for både ventilerede og uventilerede solvægge. I tabel 1 er der en oversigt over resultaterne, og hovedkonklusionen var følgende:

- Solvægge kan udføres til priser på niveau med udvendig efterisolering
- Solvægge kan typisk dække 15% af rumvarmebehovet
- De målte årlige ydelser for de afprøvede sydvendte solvægge ligger i intervallet 70-210 kWh/m²
- De målte ydelser korrelerer med de beregnede værdier, der opnås højere ydelser ved lav dækningsgrad
- Solvægge kan udføres med et pris/ydelsesforhold på niveau eller bedre end traditionel udvendig efterisolering
- Solvægge er interessante, hvor facaderenovering og efterisolering er nødvendig, og ved nybyggeri

Tabel 6.1: Hovedresultater fra måling på udførte prøvefelter for solvægge til betonrenovering.

Solvægge/ Luftsolfangere		Lundegården			Grønneparken		Hypen- parken
		2 lag ventileret	2 lag ventileret	2 lag uven- tileret	1 lag uven- tileret	1 lag ventileret	1 lag Brystning
		Syd	Øst	Øst	Syd	Syd	Syd
Aktuel pris excl. moms	Kr./m ²	1305	1305	1210	1557	2475	5384
Målt ydelse	kWh/m ² /år	70 a)	59 a)	56 a)	55	210	139-167
Pris/ydelse	Kr./kWh/år	18,6	22,1	21,6	28,3	11,8	32-39
Transpa- rent areal	m ²	11,5	17,9	6,84	22,3	13,5	17,4
Luftflow gennem solvæg	m ³ /h pr. m ²	6	4	0	0	12	12

- a) De lave målte ydelser skyldes delvis skygge og manglende ventilation gennem solvæg om natten.
- b) Incl. solcelle paneler m.v. for drift af ventilationsanlæg.

6.4.3. Erfaringer fra øvrige udførte solvægsprojekter.

På basis af en spørgeskema-analyse udsendt til danske rådgivere der har været involveret i praktiske solvægsprojekter, er der i tabel 2 opstillet erfaringer fra forskellige typer udførte solvægsprojekter. Disse informationer udgør et supplement til de nævnte erfaringer med solvægge til betonrenovering og anvendes i det følgende afsnit til at opstille en status over besparelse og økonomi for forskellige typer solvægge.

De hidtil gennemførte solvægsprojekter i Danmark har typisk et forholdsvis stort solvægsareal pr. bolig. Ydelsen for solvæggen målt i kWh pr. m² om året er meget afhængig af ventileringsniveauet for solvægge. F.eks. den Canadiske solvæg, som er anvendt til en laboratorie-bygning, har en høj solenergiudnyttelse ved luftmængder over 100 m³ pr. time pr. m² solvæg og da boliger sjældent ventileres mere end 126 m³ pr. time bør en solvægsstørrelse for denne type begrænses til 1-2 m² pr. bolig, mens mere effektive men også dyrere solvægge med glasdæklag eller f.eks. transparent isolering ikke er så afhængige af ventilationsmængden.

Økonomien for solvægge er klart bedst når solvæggen anvendes som alternativ til en normal afdækning f.eks. med en facade isoleringsløsning, som jo normalt udføres som led i renovering af klimaskærmen for en bygning.

Her er tilbagebetalingstider mellem 1 og 12 år mulige. Tilbagebetalingstiden for de rene solvægløsninger, hvor hele investeringen er lig med en ekstra udgift, er væsentligt dårligere. F.eks. varierer ventilerede solvægge mellem 10 og 31 år. Løsningerne med nye materialer som transparent isolering og solceller har ikke nogen god økonomi på nuværende tidspunkt, men her er der et perspektiv om en væsentlig billiggørelse inden for en årrække, f.eks. for amorfe solceller, som vist i pkt. 5. Her vil den beregnede tilbagebetalingstid som i dag er på 21 år kunne reduceres til 8 år ved en 40% billiggørelse af solcellerne.

Som det ses af det foregående, så kan solvægge i princippet godt konkurrere med almindelig facadeisolering, men alligevel vælges løsningen sjældent, fordi der er så få referenceanlæg, manglende dokumentation for funktion i praksis og fordi der ikke er nogen veldefinerede leverandører/aktører på området som kan tage sig af den nødvendige markedsføring.

Skal der udvikles et egentligt marked for de bedste solvægstyper, så er det vigtigt med fortsat udvikling og demonstration på området.

Mere uddybende resultater på solvægsområdet kan iøvrigt findes i rapporten , ”2. generaitonssolvægge, Bygningsintegreret solenergi”

Erfaringer fra udførte solvægsprojekter	Solvægsbeskrivelse	Solvægsstørrelse m ² og (m ² /bolig)	Solvægspris (kr) og (kr/m ²)	Solvæg - alternativ overflade pris (kr/m ²)	Målt ydelse (m) (kWh/m ²) eller beregnet (b)	Installeret år	Bemærkninger	Ref.
1. Brystningssolvæg i Struer	Luftsolfangersolvæg til kontor	5 m ²	905 kr/m ² (merpris)		m: 215 kWh/m ² Forudsætter at al luft tilføres bygning fra solvæg. Er ikke sandsynligt, så ydelsen i praksis er lavere.	1989	Overophedningsventil ved 80°. Kan udføres billigere	Arkitekt Ulla Falck
2. Solvæg i Blågårds- gade 29 A – E, 1 lejlighed	Udført af jernfrit glas, teflon folie og sort selektiv absorber med lufttransport bagved	26 m ²	2350 kr/m ²	700 - 1500 kr/m ²	vinter: m: 75 sommer: m: 36 b: 175 (lavt flow og tab i kanal)	1994	Recirkulation af rumluft. Opvarmer veksler til brugsvand via kanal til kælder ved 35°C i solvæg og 15°C ude	Lotte Gramkow, Cowi
3. Solvæg, Vestamager	Solvæg der ventileres med rumluft bag absorberplade	5,14 m ²	10479 kr. (7500 - 8800 kr i fremtiden) (2090 kr/m ²)	1800 kr/m ²	b: 205 kWh/m ²	1996	Termostatstyret spjæld	Thomas Smith, Samfunds- teknik
4. Solvæg, stålhus Egebjerggård	Solvæg der ventileres med rumluft bag absorberplade, med ekstra stålplade	14,56 m ² 7,28 m ² /bolig	9427 kr. (6000 - 7000 kr i fremtiden) (1295 kr/m ²)	-	b: 125 - 155 (lavere i praksis)	1996		Thomas Smith, Samfunds- teknik
5. AAB afd. 23, Østerbro	Ventileret solvæg med transparent isolering for 40-60 cm. Teglmur	178 m ² (14,8 m ² /bolig)	7500 kr/m ² (mange tilpasninger) 4000 kr/m ² normalt	1800 kr/m ²	via ventilation: 105 kWh/m ² (m). varierende skyggeforhold. Desuden sparet varmetab i samme størrelse	1994	Transparent isolering koster idag 2000 kr. pr. m ² , men kan blive billigere	Peder Vejsig Pedersen, Cenergia

(fortsættes næste side)

6. Canadisk solvæg, Ispra, Norditalien	Metalplade solvæg med små huller, god til store luftmængder	550 m ²	1000 - 1500 kr/m ²	ca. samme pris	Målte ydelser mellem 250 og 500 kWh/m ² , afhængig af luftmængden, som gerne skal være nær 100 m ³ /h for hver m ²	1995	16000 m ³ laboratorie bygning, 70% målt besparelse på fjernvarme, 50% elbesparelse og 60% kølebesparelse, målt. P.g.a. lavenerginiveau kører solvæg mindre end beregnet	Peder Vejsig Pedersen, Cenergia
7. Solvæg i Eriksgade på Vesterbro	Ventileret brystningssolvæg med metalplade	11 m ²	1800 kr/m ² m.m.	Ikke vurderet	b: 180 kWh/m ² varierende skyggeforhold	1997	Afreporteres efter sommeren 1998	Max Kjellerup, Wissenberg
8. Solvægge i forbindelse med ØKOHUS 99 i Kolding	Ventileret solvæg med varmeakkumule-ring i bygningselement. Jernfrit glas og malet stålabsorber	475 m ²	Faktisk pris: 3365 kr/m ² (2900 kr/m ² i fremtiden)	Alternative facadepriser: 3150 kr./m ² (glasfacade) 2350 kr/m ² muret facade	b: 150 kWh/m ²	1998	Måleprogram er forestående	Reto Hummelshøj, Cowi

Alle priser er excl. moms.

Tabel 6.2: Erfaringer fra solvægsprojekter udført i praksis opstillet på basis af spørgeskemaundersøgelse.

7. Solcelleanlæg af Ivan Katic, SolEnergiCentret, Teknologisk Institut

7.1. Introduktion

Decentral elproduktion fra solcelleanlæg har i de senere år fået stor opmærksomhed, på trods af at solceller stadig er for dyre til at konkurrere direkte med netbunden elektricitet. En af grundene til dette er, at solcelleanlæg på forholdsvis enkel vis lader sig montere eller integrere i byggeriet, hvor det upåagtet kan producere elektricitet i 25-30 år. Ved en storstilet udnyttelse af de egnede tagflader på landets bygninger vil man kunne dække 15-20% af det nuværende elforbrug, og for den typiske enfamiliebolig vil der på årsbasis kunne opnås 100% dækning. Energimæssigt er den medgående energi til opførelse af et komplet solcelleanlæg tilbagebetalt på ca. 5 år med nutidens teknologi. Det er derfor relevant at se på mulighederne for at installere solceller i fremtidens nybyggeri.

Denne redegørelse beskriver de senere års tekniske udvikling på området, og giver et bud på ydelsen og økonomien i fremtidens solcelleanlæg.

7.2. Anlægs kategorier

Solceller i byggeriet kan tænkes udnyttes på tre principielt forskellige måder:

- Direkte drift af egnede applikationer (ventilatorer, pumper, køleanlæg) hvor der er et sammenfald mellem behovet og solintensiteten
- Opladning af akkumulatorer som herefter kan drive jævnstrømsapplikationer, eller ved hjælp af en vekselretter, 230 Vac udstyr. Batterierne kan evt. være lokaliseret i en elbil.
- Direkte indføddning af den producerede energi til elnettet med en vekselretter.

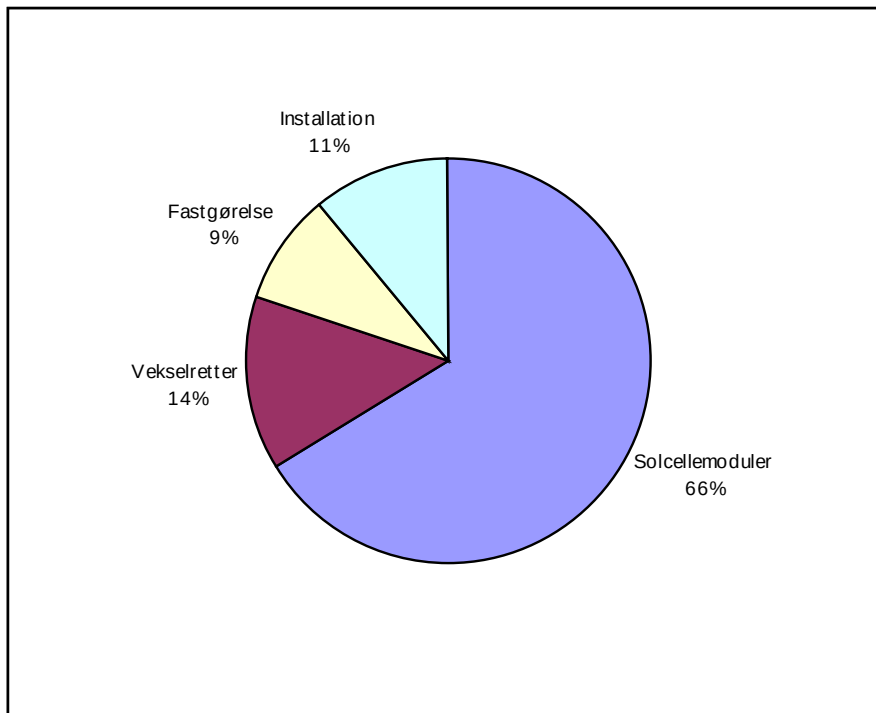
Direkte drift af DC udstyr er interessant i forbindelse med solvarme-cirkulationspumper eller ventilatorer, men der kan kun blive tale om at dække en meget beskeden del af det samlede elforbrug. Fordelen ligger mest på installationssiden, hvor man kan spare på styring og kabler. Det har også været foreslået at bruge solceller til at supplere apparater som PC'ere, fjernsyn, radio o.s.v. med jævnstrøm (som de er bygget til) og dermed spare tab i strømforsyningerne. Til gengæld skal der så sidde en central ensretter ved elnettets indgang til huset.

Anlæg med batterier som energilager er næppe af større interesse, idet batterier i dag både er for dyre og dårlige til at konkurrere med elnettet som findes næsten overalt. For afsides beliggende boliger er det dog en reel mulighed, da det er dyrt at lægge et kabel ud til en enkelt forbruger.

Tilslutning til elnettet er i dag en gennemprøvet og enkel måde at udnytte solceller på. Et typisk anlæg til et enfamiliehus er på 2-5 kW solcelleeffekt med 20-50 m² solceller og er tilkoblet elnettet med en eller flere vekselrettere. Det er nu i begrænset omfang tilladt at bruge nettet som gratis lager, idet måleren løber baglæns, hvis produktionen overstiger forbruget. Produktionen af solcellestrøm er størst i sommerhalvåret, hvor der ikke er så stort behov for varmen fra kraft/varme-anlæggene, og disse kan derfor drosles ned. Selv ved en massiv udbygning med solceller vil der derfor ikke være større problemer med regulering eller lagring. Da strømmen typisk produceres i decentrale enheder er der normalt heller ikke behov for netforstærkning.

Under danske forhold kan et nettilsluttet solcelleanlæg levere op til 0,9 kWh for hver watt installeret effekt, mens anlæg med batterilager vil yde mindre pga. større omsætningstab. De sidste årtier er prisen pr installeret watt blevet halveret for hver syvende år, men hvor længe denne reduktion kan fortsætte er svært at gætte. Større produktionsvolumen og udvikling af simple produktionsprocesser er den mest sandsynlige vej frem mod målet. En væsentlig begrænsende faktor på prisreduktionen er omkostningerne til glas, aluminium, kabler og følgeudstyr som ikke kan forventes at falde så kraftigt i pris som selve cellerne.

Omkostningsfordelingen for typiske nettilsluttede anlæg er vist i figur 8.1:



Figur 7.1: Omkostninger for et 100 kW nettilsluttet anlæg. For mindre anlæg falder modulernes andel noget.

7.3. Solcelletyper

Følgende celletyper vurderes at være relevante i forbindelse med bygningers elforsyning i år 2010:

- Krystallinsk silicium
- Amorft silicium
- CdTe
- CIS og CIGS
- Elektrokemiske solceller
- Termofotovoltaiske celler

De solceller, som findes på markedet i dag, er næsten alle baseret på silicium i mono- eller polykrystallinsk eller amorf (ikke-krystallinsk) tilstand. Siliciumsolceller har en arbejds-spænding på ca. 0,5 V og en strøm på typisk 3-4 A.

Monokrystallinske solceller er som standard sorte eller grå med ensartet overflade, og er "født" cirkulære, men ønskes en særlig tæt pakning i det færdige modul, kan de udskæres i

kvadrater. De enkelte celler er påført et metalgitter som kontaktnet på oversiden og en massiv leder på bagsiden. Monokrystallinske celler har den bedste virkningsgrad (ydelse pr. kvadratmeter), men afhængig af hvor tæt cellerne er pakket vil den effektive modulvirkningsgrad være en del lavere – se tabel 8.1.

De monokrystallinske celler fremstilles ved at trække én stor krystal i form af en cylinder op af et smeltebad med silicium. Cylinderen skæres herefter op i tynde skiver som gennemgår en lang række kemisk/fysiske processer som leder frem til den færdige celle. Denne celletype har været produceret i 30 år, og man har nu nået en grad af forfining, så prisfald fremover først og fremmest vil ske på grundlag af opskalering af produktionsapparatet.

Polykrystallinske siliciumceller findes ofte i blålige nuancer og i kvadratisk form (efter støbeformen). De enkelte krystaller tilbagekaster lyset forskelligt efter deres orientering, hvad der giver en "levende" overflade. Virkningsgraden er lidt dårligere end for monokrystaller, men pakningen i modulet er gerne tæt, hvad der delvis kompenserer for dette forhold – se tabel 8.1.

Råmaterialet til de krystallinske celler består af en støbt siliciumblok med kvadratisk tværsnit. Man undgår altså den komplicerede trække-proces og får mindre materialespild end ved de runde mono-krystaller. Denne celletype er ligeså veldokumenteret og gennemprøvet som den foregående.

Eksempler på variationer af krystallinske siliciumceller er båndformede solceller, hvor solcellen formes direkte fra smeltebadet, så man slipper for efterfølgende at skære i skiver. Der er også udviklet celler, hvor et tyndt lag mikrokrySTALLINSK silicium gror direkte ovenpå et billigt substrat. Disse og andre forbedringer er medvirkende til at mange stadig holder fast i den krystallinske siliciumteknologi, selv om nye typer, som er mere velegnede til masseproduktion, presser sig på.

Solceller baseret på *amorft silicium* er konstrueret helt anderledes end de ovennævnte typer. Her er de aktive lag dampet direkte på glasfladen, og herefter opdelt i enkelte cellestrimler mekanisk eller med laser. Der er ingen metalliske kontakter på forsiden, da lederen er en transparent oxid-film. De aktive lag er meget tynde, undertiden delvis transparente, og materialeforbruget er meget beskedent. Disse såkaldte tyndfilmsceller kan også indkapsles i plast i stedet for glas, og kan da gøres fleksible. Virkningsgraden er typisk under det halve af de krystallinske celler – se tabel 8.1. Denne type solceller bruges især meget i lommeregner, ure og andre småapparater, men efterhånden også i større moduler. Farven er typisk rødbrun til sort. Tidligere har stabiliteten været et stort problem, men der fabrikeres nu standard moduler (med såkaldte triple-junction celler) med 10 års garanti.

Tabel 7.1: Maksimal virkningsgrad i %. Status for siliciumceller og moduler

Siliciumcelle, type	Laboratoriecelle	Bedste moduler	Typiske moduler
Monokrystallinsk	23,2	14,5	12
Polykrystallinsk	17,8	12,9	10
Amorft (tyndfilm)	13,5	9,1	5

Der forgår en intens forskning med henblik på at fremstille solceller af andre bedre eller billigere materialer end silicium, herunder gallium, arsen, indium og andre eksotiske grundstoffer. De vigtigste er gennemgået i det følgende.

Solceller af *CdTe* (*Cadmium-Tellurid*) har traditionelt været brugt til lommeregnerne o.l. men kan også fabrikere i større enheder ved en relativt simpel proces. I praksis har det dog vist sig vanskeligt at opnå gode virkningsgrader ved større moduler, fordi der kræves en meget ensartet struktur som er svær at kontrollere over et større areal. Man har således opnået over 15% effektivitet på små celler, mens moduler snarere ligger på 6-8%. Cadmiumindholdet i denne celletype vækker en vis bekymring, selvom der er tale om små mængder. Særligt i tilfælde af brand vil cadmium kunne spredes i omgivelserne.

Solceller af *CIS* (Copper-Indium-diSelenide) eller *CIGS* (Copper-Indium-Gallium-diSelenide) er nok den mest produktionsmodne tyndfilm celletype efter silicium. Siemens Solar fremstiller allerede små moduler på 10-20 W, og det er sandsynligt at størrelsen vil forøges i takt med de indhøstede produktionserfaringer. Fremstillingen er relativt kompliceret, til gengæld kan man opnå gode virkningsgrader (18% for celler) og en god stabilitet.

Den elektrokemiske titan-dioxid/jod solcelle fra Schweiz er et eksempel på en fundamentalt anderledes solcelle, som viser, at der endnu er store muligheder for at videreudvikle og billiggøre solceller de næste mange år.

Der er i laboratoriet fabrikeret celler med 10-11% effektivitet, det lyder måske ikke imponerende, men der er tale om en potentielt meget billig fremstillingsproces. Der mangler dog endnu en overbevisende dokumentation af holdbarhed og skalerbarhed til større moduler. SolEnergi Center Danmark er i gang med et projekt vedrørende elektrokemiske celler.

Termofotovoltaiske celler er beslægtede med egentlige solceller men er designet til at udnytte det infrarøde lysspektrum fra f.eks. en gasflamme. De er oprindeligt udviklet som nødgeneratorer til militært brug, men finder nu også anvendelse i afsides beliggende boliger hvor man ønsker en samtidig produktion af el og varme med et enkelt og robust aggregat. Brændkammeret i en gasovn kan fores med disse celler, som herefter kan oplade et batteri eller f.eks. forsyne en cirkulationspumpe i varmeanlægget. Den elektriske effekt fra kommercielt tilgængelige enheder ligger på et par hundrede watt. I Sverige forskes der i at udnytte biobrændsel til elproduktion ud fra dette princip.

En miljøvurdering af de ovenstående solcelletyper i dag og i fremtiden er vist i tabel 8.2.

Tabel 7.2.: Miljøvurdering af solcellemoduler med fire forskellige produktionsteknologier (Kilde: Utrecht Universitet)

	Krystallinsk Si		Amorft Si		CdTe		CIS	
	Nu	Fremtid	Nu	Fremtid	Nu	Fremtid	Nu	Fremtid
Energi tilbagebetaling år	3-4	1-2	4-5	1-2	1-2	0-1	2-3	0-1
Ressourcer	+/-	+	++	++	+	+	-	-
Emissioner	+	+	++	++	-	+/-	+/-	+
Sikkerhed/sundhed	+	+	+/-	+/-	+	+	+/-	+/-
Genanvendelse	-	+/-	++	++	-	-	-	-

7.4. Billiggørelse

7.4.1. Nye processer

Indenfor de kendte solcelletyper arbejdes der med nye processer for at forbedre pris/ydelsesforholdet. Bl.a. er der på DTU udviklet en højeffektiv solcelle uden de sædvanlige forsidekontakter, som normalt skygger for en del af det aktive areal. Indenfor tyndfilm-solceller arbejdes der med at forbedre virkningsgraden ved hjælp af flerlags-konstruktioner som udnytter hver sit bølgelængde-område. Tyndfilmsolceller vil i fremtiden kunne købes i folieform, og derfor let påføres alle slags produkter som biler, el-værktøj, vinduer med solafskærmning, etc. En anden lovende udvikling består i produktionsmetoder, som kan nyttiggøre urent silicium, der kan købes meget billigere end den nuværende råvare.

Grænsen for den mulige virkningsgrad for solceller angives normalt til ca. 40%, men det kan ikke udelukkes, at opdagelse af nye mekanismer kan bryde denne foreløbige teoretiske grænse.

7.4.2. Billigere installation.

Udbygning med nettilsluttede solcelleanlæg forventes først og fremmest at kunne ske ved decentral udnyttelse af tag- og facadearealer på eksisterende bygninger samt nybyggeri, da det er oplagt at forbedre økonomien i solcelleanlæg ved at lade solcellerne erstatte andre byggematerialer. Enkelte fabrikanten i Japan og USA har allerede de første versioner af tagplader med indbyggede tyndfilmsmoduler klar til produktion. Dette er et eksempel på, hvordan installationen kan foregå billigt og rationelt - nemlig i forbindelse med nybyggeri eller tagrenovering. Solceller er allerede i dag konkurrencedygtige med visse eksklusive typer facadebeklædning. Ny kabel- og stiksystemer begynder også at komme frem, der muliggør en forenklet og sikker montage sammenlignet med traditionelle metoder. Ved montage udenpå eksisterende tagflader findes der i dag forskellige standard skinneresystemer, men det er ofte tidskrævende og vanskeligt at rette skinnerne op på en ujævn tagflade.

Der vil ved bygningsintegration kunne opstå en vis konkurrence med solvarme om udnyttelse af samme arealer, og det er derfor oplagt at søge en sammenkobling af de to teknologier. Der er gjort adskillige forsøg på at udnytte spildvarmen fra solceller i form af varm luft eller vand, men ingen overbevisende løsning er fundet. Det skyldes bl.a. den fundamentale kendsgerning, at varmeproduktion ved en nyttig temperatur til brugsvand eller rumopvarmning vil øge solcellernes temperatur, hvorved de producerer mindre el, eller i værste fald tager skade.

7.4.3. Billigere/bedre vekselrettere

Vekselrettere er nødvendige ved nettilslutning af solcelleanlæg og findes allerede i mange størrelser og versioner. Virkningsgrader over 90% er nu en realitet, og det er derfor snarere prisen end teknikken, som er et problem. Tendensen går i retning af mange decentrale enheder, hvilket åbner op for en vis masseproduktion med prisfald til følge. Den ultimative decentralisering ses i den modulintegrerede vekselretter, som er indbygget i solcellemodulets klemkasse. Her kan modulet i princippet tænkes forhandlet som ethvert andet husholdningsapparat, idet det blot skal sættes i stikkontakten for at fungere. Moderne vekselrettere er normalt udstyret med kommunikationssoftware, som er med til at diagnosticere eventuelle anlægsfejl. Spændingskvaliteten er fuldt på højde med el-selskabernes krav.

7.5. Solcelleanlægget år 2010

På baggrund af den nuværende internationale F&U indsats, kan der realistisk i år 2010 tænkes årlige ydelser for standardanlæg på 150 kWh/m² mod de nuværende 80-100 kWh/m² - alene ved gradvise forbedringer af den nuværende teknologi. Ydelsen pr. installeret effekt enhed kan næppe forøges markant, da dette typisk vil kræve dyre reflektor- og solføle-anordninger. Ydelsen kan dog på vore breddegrader med fordel øges ved aktiv køling med luft, som alligevel skal opvarmes i forbindelse med bygningsventilation. En ydelse på 900-1100 kWh el pr kW installeret effekt kan påregnes, hvortil kommer den nyttiggjorte del af varmen fra køleluften.

Prisen pr. effektenhed er naturligvis behæftet med meget stor usikkerhed, men flere steder i udlandet er der planer om at producere solcellestrøm i direkte konkurrence med traditionelle kraftværker ganske vist under gunstigere indstrålingsbetingelser. Den afgørende faktor for billiggørelse er masseproduktion, som først kan blive en realitet ved stor efterspørgsel - altså et hønen-og-ægget problem. De store forsknings- og udviklingsprogrammer i Japan, USA og Europa viser dog, at man tror på, at solceller vil kunne levere konkurrencedygtig el i fremtiden. Tabel 8.3 viser to scenarier for prisudviklingen for solceller.

Tabel 7.3: Estimeret udvikling ved naturlig og forceret udvikling. (Wp =peak- eller spidseffekt). De laveste ydelser pr. arealenhed gælder for de billigste anlæg pr. arealenhed og omvendt.

Pris og ydelse		Status 1999	2010 Naturlig	2010 Forceret
Moduler	Kr/Wp	30-50	10-25	8-15
	Kr/m ²	3000-6000	1500-4000	1200-3500
Samlet, små anlæg	Kr/Wp	60-100	25-50	15-25
	Kr/m ²	6000-10000	3000-8000	2500-5000
Samlet, store anlæg	Kr/Wp	40-60	15-25	12-20
	Kr/m ²	4000-6000	2500-5000	2000-4000
System udbytte	kWh/kWp	800	900	1000
	kWh/m ²	40-100	80-150	100-200

Prisudviklingen er stærkt afhængig af markedsprisen på silicium, herunder hvornår der opføres nye store silicium fabrikker. Gennembrud for alternative materialer (specielt tyndfilm) vil mindske denne sårbarhed overfor en enkelt råvare.

Nødvendige forudsætninger for afsætning af nettilsluttede solcelleanlæg til private:

- Anlæggene kan købes som små enheder, så man ikke skal låne for mange penge på én gang
- Der appelleres til andre forhold end økonomi, f.eks. High-Tech, grøn el, smart arkitektur, m.v.
- Elselskabet garanterer en passende afregning for den leverede strøm over 10-20 år

7.6. Hvor skal der satses?

Solcellemoduler er veludviklede med en dokumenteret holdbarhed på 20-40 år, men der mangler endnu en del udvikling af rationelle montagemetoder og af vekselrettere, som er billige, driftssikre og effektive.

Der er desuden behov for at udvikle fleksible byggelementer med indbyggede solceller, som er tilpasset dansk byggeskik og arkitektur, herunder eventuelt elementer til kombineret el- og varmeudnyttelse.

Der bør lægges vægt på arkitektonisk gode løsninger, som præsenterer state-of-the-art på området, så det store spektrum af muligheder bliver præsenteret for potentielle brugere. Særligt tagløsninger er relevante, da det er her de store ubrudte og solåbne flader findes.

7.7. Referencer

- [1] Forschungsverbund Sonnenenergie, Köln. Photovoltaik 2. Systemtechnik und Anwendungen
- [2] VDI-Gesellschaft Energietechnik. Photovoltaik
- [3] DEFU. Solceller i dansk elforsyning, 1998
- [4] Cenergia Aps. Integration af solceller i bygninger
- [5] Ken Zweibel, NREL. Progress in Photovoltaics
- [6] Bent Sørensen. Fotovoltaisk Statusnotat, 1993
- [7] Ivan Kati m.fl. Installation af Solceller, 1998
- [8] BPS centret. Solceller i tag og facade, 1999

Bilag

Bilagene findes desværre ikke elektronisk

Bilagsfortegnelse

Eksempler på lavenergihuse

1. Økohuse i Kolding
2. 2-generations lavenergihus i Hjortekær
3. Lavenergi bebyggelsen Lillevangsvej, Farumsødal Boligselskab
4. Totalenergiløsning i Agerskrænten, Egebjerggård i Ballerup
5. Havrevangen, Hillerød
6. Two Danish low-energy row houses, Vonsild, Kolding
7. Solar Sustainable Housing, Spijkenisse & Leeuwarden (NL)
8. The Passive House in Damstadt-Kranichstein. Planning, Construction, Results
9. No heating at all? -Is it possible in Swedish climate? Artikel fra Swedish Building Research 3/98

IEA Task 13

1. Solar low energy houses of task 13
2. EuroSun '96: Reaching Extremely Low Levels of Energy Consumption: Strategies Used in Task 13
3. EuroSun '96: Advanced Solar Low Energy Dwellings: The Experiences of IEA Task 13