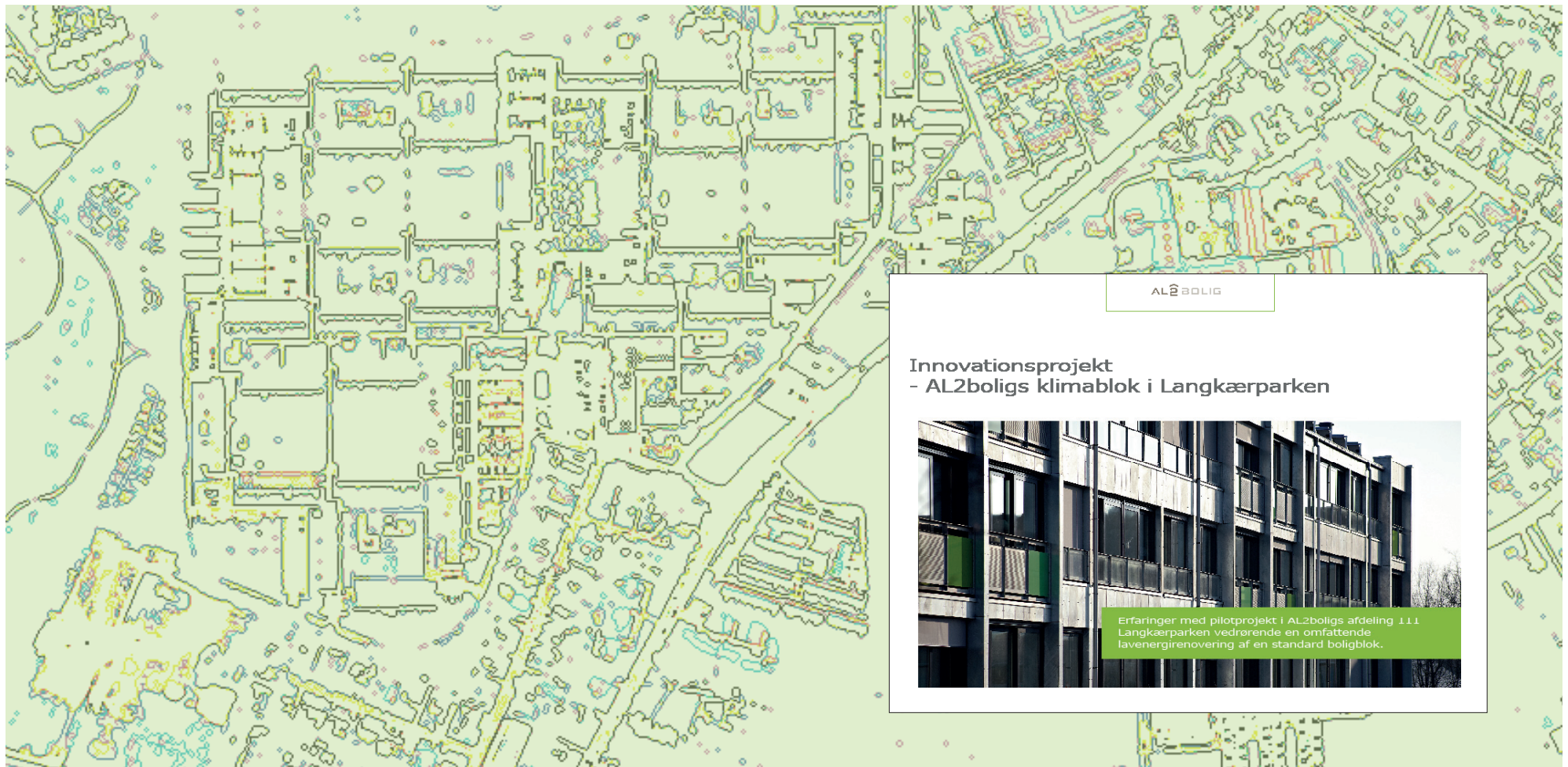


# Bilag 7: Benchmarks



AL2 BOLIG

Innovationsprojekt  
- AL2boligs klimablok i Langkærparken



Erfaringer med pilotprojekt i AL2boligs afdeling 1.1.1  
Langkærparken vedrørende en omfattende  
lavenergirenovering af en standard boligblok.



**Bilag 7 til rapporten:  
Innovationsprojekt  
- AL2boligs klimablok i Langkærparken**

Udarbejdet med støtte fra Realdania  
og Landsbyggefonden af:

Esbensen A/S rådg. ing. ved:

Amdi Schjødt Worm, ingeniør, energi,  
Esbensen A/S, ASW

Olaf Bruun Jørgensen, fagleder,  
Esbensen A/S, OBJ

Fotos: AL2bolig

DTP/Grafisk opsætning: Tania G  
Andersen kommunikationsansvarlig,  
AL2bolig

Tryk: AL2bolig

Oplag: 100

Rapporten kan downloades fra:  
[www.lbf.dk](http://www.lbf.dk)

December 2012

# Langkærparken benchmarks

<b>Resume</b> .....	<b>4</b>
<b>Indledning</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Kendte metoder til vurdering af energirenovering</b> .....	<b>8</b>
1.1 Nøgleparametre ved energirenovering .....	8
1.2 Energirenovering efter det danske bygningsreglement .....	8
1.3 Energirenovering efter det norske bygningsreglement .....	9
1.4 Energirenovering efter det svenske bygningsreglement .....	10
1.5 Energirenovering efter det tyske bygningsreglement .....	10
1.6 Reduktionsfaktor for energirenovering .....	11
<b>2. Metode for "omsætning" af målte data til repræsentative data korrigeret i f. t. et "normalår" ...</b>	<b>13</b>
2.1 Sammenligning mellem måleår .....	13
<b>3. Sammenligning af målte og beregnede energibehov</b> .....	<b>14</b>
3.1 Sammenligning af målt og beregnet energiforbrug .....	14
3.2 Forudsigelse af en bygningens energibehov med baggrund i beregninger i projekteringsfasen .....	15
3.3 Evaluering af bygningens energibehov baseret på korttids-målinger .....	15
3.3.1 Eksempel – evaluering af bygningens rumvarmebehov baseret på korttids-målinger .....	15
3.3.2 Eksempel – evaluering af solcellernes el-produktion baseret på korttids-målinger .....	20
<b>4. Vurdering af klimablokken i f. t. andre energirenoveringsprojekter</b> .....	<b>24</b>
4.1 Sammenligning med øvrige renoveringsprojekter .....	24
4.2 Sammenligning af energirenoveringer .....	24
<b>5. Attraktive renoveringsløsninger i f. t. produktions- og udførelsesmetoder</b> .....	<b>31</b>
5.1 Ofte rentable energirenoveringstiltag .....	31
5.2 Attraktive renoveringsløsninger i f. t. produktions- og udførelsesmetoder .....	31
<b>6. Forslag til økonomisk rentable benchmarks for energirenovering af etageboliger</b> .....	<b>33</b>
6.1 Forslag til metode for økonomisk rentable benchmarks .....	33
<b>7. Konklusion</b> .....	<b>36</b>
BILAG 1: Graddøgnsignaturer med graddøgnskorrigerede opvarmningsbehov .....	38



# Resume

## Kendte metoder til vurdering af energirenovering

I kapitel 1 er der opstillet en række nøgleparametre ved energirenovering samt oplistet en række forhold, som bygherre skal være opmærksom på ved energirenovering af etageboligbyggeri. Det er vigtigt i den tidlige fase, at bygherre beslutter omfang og ambitionsniveau for energirenoveringen. Til hjælp herfor er der opstillet en række tekniske måleparametre, byggetekniske måleparametre og totaløkonomiske parametre, som kan fungere som hjælpværktøjer i beslutningsprocessen. Her er det vigtigt, at der tages store hensyn til beboerne, herunder deres økonomi og ikke mindst en eventuel genhusning.

Efterfølgende er Regulatorer for energirenovering af etageboliger i de lande vi oftest sammenligner os med beskrevet. Disse indeholder mange lighedspunkter, men adskiller sig også på enkelte interessante punkter. Blandt andet har man i Danmark konkretiseret et rentabilitetskriterium for energirenovering af enkeltkomponenter, mens man i Norge kun skal energirenovere de dele af klimaskærmen, som berøres under renovering. Mere interessant er det, at Sverige har indført en regel om monitorering af bygningernes behov for leveret energi efter endt renovering, hvor kommunen har mulighed for at udstede sanktioner, hvis renoveringen ikke efterlever kravene i det svenske bygningsreglement.

Endelig er der beskrevet en metode for energirenovering udarbejdet i Det Internationale Energi Agenturs Solar Heating & Cooling program Task 37 "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation" beskrevet. Metoden inddrager alle aspekter i en energirenovering. Projektet har en

ambitiøs målsætning om en reduktion af bygningens energibehov med en faktor 4.

## Omsætning" af målte data til repræsentative data korrigeret i f. t. et "normalår"

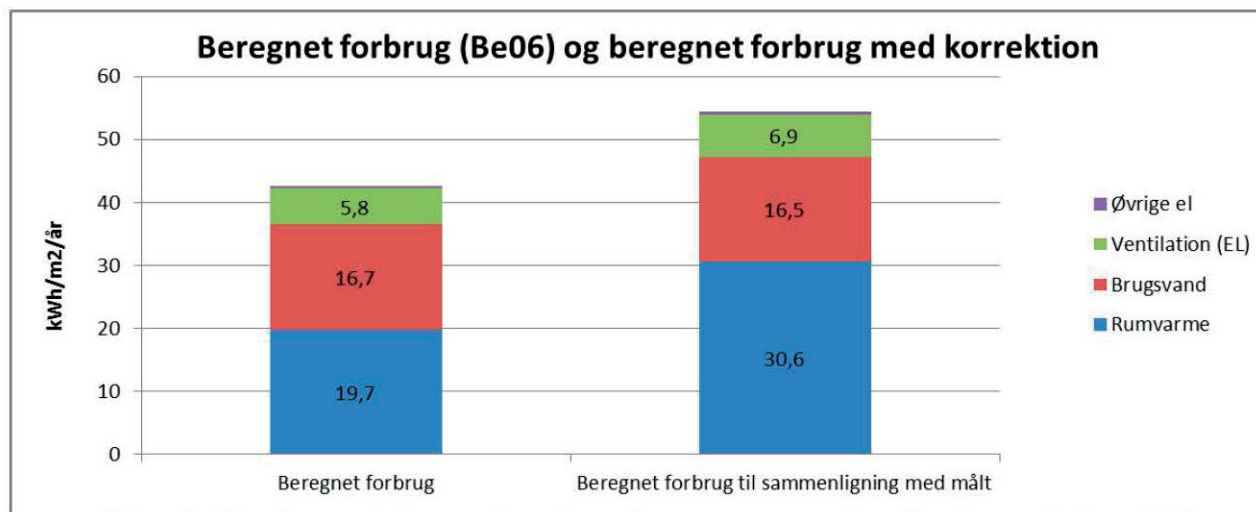
Med de korrektioner, der anvises i kapitel 2, er det muligt at foretage en omtrentlig sammenligning mellem målte energiforbrug for forskellige måleår. Med den øgede efterisolering har antallet af solskinstimer og dermed det passive solvarmetilskud imidlertid også en indflydelse. Denne indflydelse forstærkes af den øgede anvendelse af solvarme og solceller. En vurdering af bygningens samlede energi performance omfatter således i mange tilfælde både forbrug og produktion, hvilket kræver kendskab til mere end blot de aktuelle graddøgn. Kendskab til årets aktuelle

solskinstimer er betydende for en fastlæggelse af de energiproduktionsmæssige forhold og en samlet analyse af bygningens energi performance bør derfor indeholde en korrektion i forhold til produktionen såvel som forbruget.

## Sammenligning af målte og beregnede energibehov

Kapitel 3 gennemgår muligheden for at foretage korttidsvaluering af hhv. rumvarmebehov og solcelle produktion med henblik på at kunne forudsige årets samlede behov med basis i måleperioder på mindre end 1 år.

Hvad angår rumvarmebehovet viser analysen af resultaterne fra klimaprojekt Langkærparken, at en forudsigelse af rumvarmebehovet ud fra korttids-evaluering med ½ års målinger, er behæf-



Beregnet forbrug (be06) og beregnet forbrug med korrektioner for rumtemperatur og brug af emhætter uden korrektion for husholdnings-el.



tet med usikkerheder på op til ca. 30 %. Usikkerheden bliver større, hvis der evalueres over endnu kortere perioder, og særligt hvis evalueringsspejderen kun delvist strækker sig over en opvarmingsperiode.

For el-produktionen fra solceller er afvigelsen betydeligt mindre – kun ca. 7 %. Igen kræves der dog mindst en måling af el-produktionen i et halvt år med såvel lav som høj el-produktion for at kunne foretage en repræsentativ fremskrivning for hele måleperioden. At kunne udføre en fremskrivning med så lav usikkerhed som muligt, kræver desuden kendskab til solcelleanlæggets placering i forhold til skygge – enten fra andre solcellepaneler eller fra skyggende objekter i området, idet skygger og de tidspunkter over året, hvor solcellerne rammes heraf har betydning for, hvorledes korttids-målingerne skal tolkes.

Endelig viser sammenstillingen af de beregnede og målte værdier for den solcellebaserede el-produktion, at der generelt er god overensstemmelse mellem beregnede og målte værdier og en forøgelse i antallet af solskinstimer i forhold til normalåret, aftegner sig i de fleste tilfælde med en tilsvarende merproduktion til følge. Dog kan netop skygge medføre at ovenstående regel ikke er gældende.

På figuren er vist resultatet af de korrigerede beregnede energiforbrug.

#### Vurdering af klimablokken i f. t. andre energirenoveringsprojekter

I kapitel 4 er opstillet en sammenligning og vurdering af målte energibesparelser for klimablokken og målte energibesparelser i andre

energirenoveringsprojekter i Danmark og udlandet. Sammenligningen inkluderer energibehov til husholdningsudstyr. De projekter, som Klimablokken sammenlignes med, er alle projekter, som var en del af Det Internationale Energi Agenturs Solar Heating & Cooling program Task 37 "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation". De udførte energirenoveringstiltag er meget sammenlignelige i projekterne.

Sammenligningen viser, at en ambition om en reduktion af bygningens energibehov med en faktor 4 er svær at imødekomme. Den typiske reduktionsfaktor ligger på mellem 2,2 og 3. Reduktionsfaktoren for Klimablokken er 2,2 (dog 2,9 for rumvarme alene).

#### Attraktive renoveringsløsninger i f. t. produktions- og udførelsesmetoder

Kapitel 5 gennemgår de ofte rentable energire-

noveringstiltag i Bygningsreglementet BR10. Her er der for bygninger med tung bagvæg opstillet en række rentable tiltag som vedrører isolering af ydervægge, gulve og lofter/tage. Disse tiltag er som oftest ikke tilstrækkelig for at imødekomme kravene til lavenergiklasserne i bygningsreglementet.

Kapitlet gennemgår ligeledes et alternativ til traditionel renovering, nemlig en løsning baseret på præfabrikerede facadeelementer. Dette er et fleksibelt system, som på alle måder lever op til nutidens krav om isoleringsevne, kort byggetid, kvalitet og økonomi. De præfabrikerede elementer leveres og monteres på pladsen. Fordelene herved er, stor sikkerhed for tæthed og minimering af kuldebroer, byggetiden reduceres væsentligt og genhusningsperioden reduceres eller undgås helt, hvorved de økonomiske omkostninger for energirenoveringen reduceres.



### Forslag til økonomisk rentable benchmarks for energirenovering af etageboliger

Endelig er der i kapitel 6 opstillet en anvendelig metode til økonomisk rentable benchmarks for energirenovering af etageboliger. Metoden hedder "Cost of Conserved Energy" (CCE) og er en økonomisk model, som beregner kostprisen for at spare 1 kWh. Metoden indregner forrentning af lån, energipriser, levetid og energibesparelser for de aktuelle tiltag. Metoden gør det muligt at sam-

menligne energiprisen med kostprisen og synliggør dermed, hvorvidt tiltaget er rentabelt. Dette er meget anvendeligt i planlægningen af energirenovering af etageboliger, hvor alle tiltag, med en CCE der er lavere end energiprisen, anbefales implementeret. Beregningerne viser f.eks., at både investeringen i solceller og solvarme er økonomisk rentable for Klimablokken.

CCE er defineret ved:

Overordnet kan det konkluderes, at der i dag ikke findes en internationalt anerkendt metode til fastsættelse af benchmarks for energirenovering. Der findes imidlertid mange metoder, som er velegnede til optimering af energirenovering. Særligt velegnet er CCE-metoden, som muliggør sammenligninger både mellem forskellige tiltag og projekter og mellem projekter i forskellige lande.

$$CCE = \frac{\frac{n_r}{n_u} \cdot \left( \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n_r}} \right) \cdot I_{measure} + \Delta M_{year}}{p_1 \Delta E_{year} - p_2 \Delta E_{operation, year}}, \text{ hvor}$$

$n_r$	En ønsket reference periode for tiltaget tilbagebetalingstid [år]
$n_u$	Levetiden for tiltaget [år]
$d$	Renten [%]
$I_{measure}$	Investeringen [kr.]
$M_{year}$	Årlige vedligeholdelsesudgifter for tiltaget [kr.]
$p_1$	Primær energifaktor for energiforsyningstypen, f.eks. fjernvarme [-]
$p_2$	Primær energifaktor for energiforsyningstypen, f.eks. el [-]
$\Delta E_{year}$	Årlige energibesparelse [kWh]
$\Delta E_{operating, year}$	Årligt energiforbrug til elinstallationer som ventilation og pumper [kWh]





# Indledning

I AL2Boligs afdeling 111, Langkærparken i Tilst er der 2010-2011 gennemført en omfattende lav-energirenovering af én eksisterende boligblok med 22 lejligheder, "Klimablokken" til lavenergiklasse 0 iht. BR08.

Der er udarbejdet en afrapportering af de vigtigste resultater og erfaringer fra renoveringen. I nærværende rapport er opstillet benchmarks for energipreformance, og der er formuleret en enkel metode til vurdering af energirenoveringstiltag. Begge delrapporter kan med fordel bruges i den kommende renoveringsproces af de resterende bygninger i Langkærparken og i tilsvarende renoveringsopgaver.

Rapportens målgruppe er landets boligforeninger, byggeriets rådgivere, Landsbyggefonden og Realdania.

Projektet er støttet af Innovationsmidler fra Landsbyggefonden og en informations- og formidlingsbevilling fra Realdania.

Nærværende rapport er udarbejdet af Per Haugegaard, Amdi Schiødt Worm, Lasse Dam Skovhus Knudsen og Olaf Bruun Jørgensen, Esbensen A/S.





# 1. Kendte metoder til vurdering af energirenoovering

Der findes flere metoder til vurdering af energirenoovering af eksisterende bygninger. Flere af metoderne tager udgangspunkt i bygningens energibehov før renooveringen og har fokus på bygningens individuelle energiposter, herunder opvarmning, køling og el-behov samt vedvarende energi.

Nedenfor beskrives forskellige metoder til evaluering af energirenoovering. Med afsæt i bygningernes energibehov før renooveringen kan byggeriets parter således vurdere, om denne skal ske efter principperne i de beskrevne metoder:

- Det danske bygningsreglement.
- Det norske bygningsreglement.
- Det svenske bygningsreglement.
- Det tyske bygningsreglement.
- Opstille en reduktionsfaktor for bygningernes reducerede energiforbrug.

Uanset hvilken metode for vurdering af energirenoovering der tages afsæt i, skal reglerne i det danske bygningsreglement efterleves.

## 1.1 Nøgleparametre ved energirenoovering

Beslutningen om omfanget og ambitionsniveauet for en energirenoovering skal ske ud fra en vurdering af bygningens og de tekniske anlægs tilstand og økonomi (anlægs- og driftsøkonomi) samt energimålsætningen for bygningen. Til hjælp for dette kan der gennemføres en række målinger i forhold til 3 forskellige temaer: Tekniske måleparametre, byggetekniske måleparametre og totaløkonomiske parametre.

### Tekniske måleparametre

- Registrering af alle ressourceforbrug før reno-

overing herunder:

- Energiforbrug varme / målt energiforbrug.
- Energiforbrug varmt vand / målt energiforbrug.
- Energiforbrug el / målt elforbrug.
- Indeklima /målte værdier (lufttemperaturer, rel. luftfugtighed, CO<sub>2</sub>, ppm, kondensrisici, skimmelsvamp).
- Komfortmålinger, herunder trækrisici.
- Dagslysniveau i forhold til krav defineret i bygningsreglementet.
- Miljøbelastning fra drift (CO<sub>2</sub>).

Indeklimamålinger gennemføres i et antal udvalgte repræsentative lejligheder, som fastlægges af bygherre/bygherrerådgiver.

### Byggetekniske måleparametre

- Måling af U-værdier og kontrol for kuldebroer. (termografering).
- Tæthed (Blowerdoor).
- Fugtmålinger i kritiske konstruktioner.

### Totaløkonomiske måleparametre

- Økonomi, anlæg / Tilbud og endelig.
- Økonomi, vedligehold (inkl. levetider, udskiftning, f.eks. vinduer <-> vakuumsulering).
- Økonomi, drift / beregnet og faktisk driftsudgift.
- Økonomi, total / beregnet og faktisk totaløkonomi inkl. drift & vedligehold.
- Økonomi, husleje og forbrug / Huslejberegning med og uden forbrug.

Der skal anvendes totaløkonomiske vurderinger, hvor relevante parametre fastlægges i samarbejde med bygherre/bygherrerådgiver (forventede ener-

gipriser og energiprisstigningstakster, inflation, renter på finansieringslån, levetider for bygningsdele samt beregningsperiode (løbetid for lån)).

Som beskrevet under de totaløkonomiske parametre er det i denne proces vigtigt at have brugerne og deres økonomi i fokus, da energirenooveringen typisk finansieres via øgede fællesudgifter.

## 1.2 Energirenoovering efter det danske bygningsreglement

Her er det vigtigt at overveje om (energi)renoveringen kun skal ske for enkelte bygningsdele, eller om (energi)renoveringen af bygningen som helhed skal imødekomme en specifik energiklasse i bygningsreglementet.

Der er følgende energiklasser i bygningsreglement BR10:

- Standard energiklasse (energiramme:  $52,5 \frac{kWh}{m^2} \text{ pr. år} + \frac{1650 kWh}{\text{opvarmet etageareal (m}^2\text{)}} \text{ pr. år}$ )
- Lavenergiklasse 2015 (energiramme:  $30 \frac{kWh}{m^2} \text{ pr. år} + \frac{1000 kWh}{\text{opvarmet etageareal (m}^2\text{)}} \text{ pr. år}$ )
- Bygningsklasse 2020 (energiramme:  $20 \frac{kWh}{m^2} \text{ pr. år}$ )

At renovere iht. ovennævnte energiklasser medfører oftest en gennemgribende renoovering af hele boligblokken og de tilhørende systemer og kan resultere i brug af vedvarende energi for at imødekomme kravene til den pågældende energiramme.

I tilfælde af udskiftning af enkelte nedslidte bygningsdele, som for eksempel tagdækning eller facadebeklædning, skal bygningsreglementets regel om rentabilitet af isoleringstiltag for den berørte bygningsdel efterleves.

Rentable energibesparende foranstaltninger vedrørende isolering af ydervægge, gulve, lofter og vinduer mv. er defineret som:

#### Årlig energibesparelse × levetid

**Investering** >1,33, svarende til en tilbagebetalingstid på 75 % af bygningsdelens forventede levetid. Dog kan der være rentable løsninger, der ikke kan gennemføres fugtteknisk forsvarligt. Disse arbejder skal ikke gennemføres. En rentabel, men ikke fugtteknisk forsvarlig løsning kan være efterisolering i loftrum mod pudset loft, hvor der i forvejen er isoleret. Efterisolering vil her påkræve damspærre for at udgå opfugtning af isolering og spærfødder og deraf øget risiko for råd og svamp.

En anden rentabel men ikke fugtteknisk forsvarlig løsning er indvendig efterisolering af facaden, hvor etageadskillelsen er opbygget af bjælker. Dette placerer bjælkeenderne i etageadskillelsen i et koldere miljø med øget risiko for råd og svamp.

Rentabilitetskravet betyder, at den pågældende bygningsdel, som minimum, skal isoleres til det økonomiske rentable niveau. Det ligger bygherre frit for at initialisere tiltag, som energioekonomisk er bedre end, hvad der er økonomisk rentabelt.

Hvis energirenoveringen omfatter udskiftning af gulv, ydervægge, døre, vinduer eller tagkonstruktion skal enkeltkomponentforanstaltningerne overholde kravene til disses isoleringsbestemmelser i bygningsreglementets (BR10) kapitel 7 uanset rentabilitet.

Såfremt energimålsætningen for renovering omfatter hele bygningen er rentabilitetskriterierne

for bygningsdelene ligeledes gældende. Energi-målsætningen kunne indeholde et ønske om at imødekomme et af kravene til energirammerne i bygningsreglementet for bygningen. Her er det dog som oftest ikke tilstrækkeligt kun at imødekomme rentabilitetskriteriet i bygningsreglementet, idet flere af tiltagene bliver urentable, jf. nedenstående liste og tabel 1 i afsnit 5.1 ofte rentable energirenoveringstiltag. Dette kan resultere i, at tilbagebetalingen for investeringen i de enkelte bygningsdele bliver længere end bygningsdelens forudbestemte levetid.

Fokuspunkter for at imødekomme kravene til de forskellige energirammer omfatter:

- Efterisolering eller udskiftning af den eksisterende facade (250- 400 mm isolering)
- Efterisolering eller udskiftning af den eksisterende tagkonstruktion eller etageadskillelse mod loftsrum (300 – 500 mm isolering)
- Efterisolering af det eksisterende terrændæk eller etageadskillelse mod kælder (200 – 300 mm isolering)
- Efterisolering af kælderydervægge (175 – 350 mm isolering)
- Udskiftning af vinduer ( $UW = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K} - 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $LT = 75 \%$  og  $g = 50\%$ )
- Etablering af en effektiv solafskærmning mod udsatte orienteringer ( $SC = 0,6 - 0,2$ )
- Installering af et ventilationssystem med høj varmegenvindingsgrad ( $VGV = 80 \% - 90 \%$ )
- Lave behovstyret ventilation.
- Udskiftning af eksisterende veksler til en energieffektiv veksler.
- Udskifte varmtvandsbeholder til en energieffektiv varmtvandsbeholder.
- Etablere varmegenvinding på det varme brugsvand. Dette kan dog medføre ekstra

omkostninger til rengøring af varmeveksler

- Udskifte eller efterisolere rør til varmt brugsvand.
- Udetemperaturkompensering på opvarmnings-systemet.
- Installere vedvarende energi i form af solceller og/eller varmepumper med et års COP større eller lig med 3,5.

### 1.3 Energirenovering efter det norske bygningsreglement

Ved energirenovering af boligbyggeri kan man med fordel skæve til, hvordan reglerne er udformet i Norge. Dette kan give inspiration til metode og metodik, men som tidligere beskrevet skal energirenoveringen i sidste ende efterleve de danske regler.

I Norge skal renoveringer som udgangspunkt opfylde energikravene i det Norske bygningsreglement TEK10.

Som tommelfingerregel skal alle bygningsdele som berøres under renoveringen opfylde energikravene i det Norske bygningsreglement TEK10.

Dette omfatter væsentlige ændringer eller større vedligeholdelse af ydervægge og tage. Disse skal som udgangspunkt opfylde kravene i TEK10 til konstruktionens isoleringsevne. Dog skal det undersøges, om efterisolering af konstruktioner er teknisk forsvarlig. Det kan være, at løsningen ikke er økonomisk rentabel, eller at løsningen ikke kan gennemføres fugtteknisk forsvarligt.

Hvis renoveringen indebærer udskiftning af vinduer, skal kravene i TEK10 til vinduets U-værdi opfyldes. Dette gælder ikke for mindre tiltag, men som udgangspunkt skal alle nye komponenter

opfyldte kravene til energieffektivitet for nybyg i TEK10.

Kommunen kan dog tillade ændring i anvendelsen og den nødvendige genopbygning og renovering af bygninger, selv når det ikke er muligt at efterkomme kravene i TEK10 uden uforholdsmæssigt store omkostninger. Dette sker f.eks., hvis ændringen i anvendelsen eller ombygningen er forsvarlig og nødvendig for at sikre en hensigtsmæssig brug. Kommunen kan dog stille betingelse for minimumstandard for renoveringen, som igen er eller kan begrænses af Ministeriets direktiver for den pågældende bygning.

I Norge skal boligbyggeri opfylde Energiramme-kravene, som angiver en øvre ramme for bygningens beregnede nettoenergibehov. For boligbygninger er kravet 115 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. For at øge sammenligneligheden af bygninger i Norge skal en række beregningsdata sættes til faste værdier, selvom disse vil være mindre eller større i det reelle byggeri. Tilsvarende skal beregningen udføres med Oslo klimadata.

Tilsvarende det danske bygningsreglement kan energirenovering i Norge udføres iht. forskellige energiklasser. Disse omfatter energiklasserne Lavenergihus og Passivhus.

Forskellen på energirammekravet i TEK10 og kravene Lavenergihus og Passivhus er øgede krav til enkeltkomponenter:

- Ventilation
- Interne varmelaster (reduceret intern varmelast til personer og systemer, som direkte påvirker opvarmningsbehovet)
- Opvarmningsbehov

- Bygningsdele
- Kuldebroer
- Infiltrationstab
- Det samlede varmetab (transmissionstab og ventilationstab)
- CO<sub>2</sub>-udslip

Ud over energirammekravet kan bygningen energimærkes for beregnet leveret energi, hvor Energimærke A er det højst opnåelige. Energimærke A er en 50 % reduktion og Energimærke B er en 25 % reduktion af den til bygningen tilførte energi i forhold til standardkrav. Her er brugen af vedvarende energi, herunder solceller, varmepumper, solvarme og biobrændsel, afgørende for at få et godt energimærke. Et godt energimærke resulterer i et lille CO<sub>2</sub>-udslip fra bygningen i driftsfasen.

På mange måder ligner den norske og danske lovgivning for renovering af boligbyggeri hinanden meget.

#### 1.4 Energirenovering efter det svenske bygningsreglement

I Sverige skal renoveringer som udgangspunkt opfylde energikravene i det svenske bygningsreglement BBR19. Sverige er grundet sin størrelse opdelt i 3 klimazoner med forskellige krav til bygningers energibehov. Kravene til klimaskærmens og vinduernes gennemsnitlige varmetab er ens i alle 3 klimazoner.

Renovering (ombyggnad) omfatter hele bygningen eller væsentlige afgrænsede dele af den bygning, som skal renoveres. Enkeltkomponenterne, det gennemsnitlige varmetab fra klimaskærmen og vinduer samt de tekniske anlæg skal ved renove-

ring opfylde kravene i BBR19. Alle tiltag gennemføres teknisk forsvarligt, herunder skal efterisoleringsstiltage gennemføres fugtteknisk forsvarligt.

De renoverede bygninger skal opfylde kravet til bygningers specifikke energiforbrug, som angiver en øvre ramme for bygningens beregnede bruttoenergibehov (købt energi). For boligbyggeri er kravet 90 - 130 kWh/m<sup>2</sup> pr. år afhængig af klimazone. Der findes tilsvarende to lavenergiklasser, som ligger hhv. 25 % og 50 % under standardkravene.

I forbindelse med renovering bør husholdningsudstyr udskiftes til et mere energieffektivt udstyr. Dette omfatter belysning, elektriske el-radiatorer, køle / fryseskabe, vaskemaskiner og tørretumbler.

Der skal i forbindelse med renoveringen etableres mulighed for at udføre målinger af bygningens behov for leveret energi for en ønsket tidsperiode efter endt renovering. Målingen skal opdeles i tidsperioder, så de enkelte forbrug kan aflæses separat. Hvis måleresultaterne viser, at bygningen ikke opfylder de energimæssige krav i BBR19, skal kommunen beslutte, om der skal udstedes sanktioner. Her kan bygherre blive pålagt at etablere tiltag, så bygningen efterlever energimæssige krav i BBR19.

#### 1.5 Energirenovering efter det tyske bygningsreglement

I Tyskland er regeringen ansvarlig for de overordnede rammer i bygningsreglementet, mens hver delstat er ansvarlig for at detaljere Bygningsreglementet i den pågældende delstat. Bygningsreglementerne kan dermed variere fra delstat til delstat.



Typisk omfatter energirenovering hele bygningen. Enkeltkomponenter, vinduer samt de tekniske anlæg skal i renoveringen opfylde kravene i den pågældende delstats bygningsreglement. Dog skal alle tiltag gennemføres teknisk forsvarligt, hvor de løsninger med de korteste tilbagebetalingstider, som udgangspunkt skal integreres.

I Tyskland renoveres bygninger ofte til passivhus-niveau. Dette betyder:

- at bygningen skal udformes til at have et årligt beregnet varmebehov, som ikke overstiger 15 kWh/m<sup>2</sup> pr år til rumopvarmning, eller at bygningen er designet med en spidslast til rumopvarmning 10 W/m<sup>2</sup>
- at bygningen skal udformes til maksimalt at have et samlet primært beregnet energibehov (energi til opvarmning, varmt vand og elektricitet) som ikke overstiger 120 kWh/m<sup>2</sup> pr. år
- at bygningens infiltrationstab (n50) ikke overstiger 0,6 h<sup>-1</sup> ved en trykforskel på 50 Pa.

Det årlige beregnede varmebehov og primære energibehov beregnes efter passivhaus-standarden med programmet PHPP (Passivhaus Projektierungs-Paket)

### 1.6 Reduktionsfaktor for energirenovering

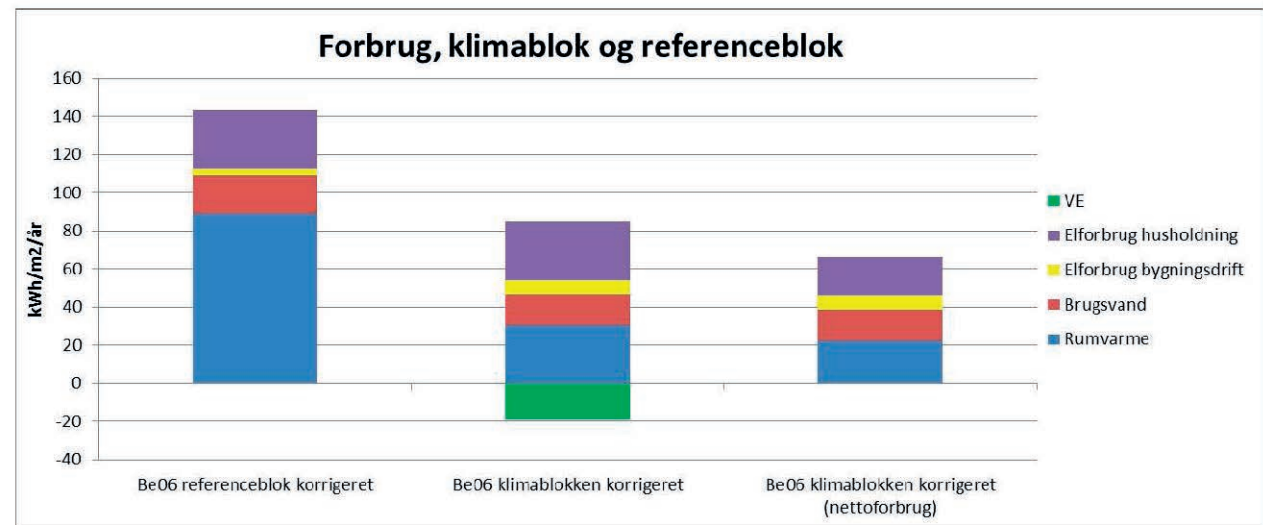
Der kan være mange årsager til at ønske at energirenovere en bygning. Dette kan f.eks. udspringe af bygningens og systemernes tilstand eller ønsket om at reducere opvarmnings-, køle- og/eller el-behovet.

I et forskningsprojekt under Det Internationale Energi Agenturs Solar Heating & Cooling program

wTask 37 "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation", (som Esbensen var den danske deltager i), er der udarbejdet et koncept for energirenovering af bygninger, som sikrer betragtelige energibesparelser på netto energibehovet.

Metoden tager udgangspunkt i de forskellige behov for energirenovering, herunder minimering af opvarmningsbehovet, kølebehovet og el-behov. Metoden tager ligeledes hensyn til behovet for eller ønsket om implementering af vedvarende energi, så som biogasanlæg, varmepumper, solvarme, solceller m.m.

Målsætningen eller ambitionen i Task 37 er en reduktion af energibehovet på en faktor 4. Den ambitiøse målsætning kræver brugen af state-of-the-art teknologier og har resulteret i en række fyrtårnsprojekter vedr. energirenovering. Ulempen ved at bruge en faktor som indikator er, at renoveringen bliver holdt op mod en reference. Det er vigtigt i denne metode, at projektgruppen er enig om referencen, så der ikke arbejdes ud ad forskellige tangenter, som kan bevirke, at projektet ikke bliver optimalt.



Reduktionsfaktoren for dette koncept varierer mellem 1 og 2,9 afhængigt af den valgte forbrugskategori.

For eksempel er reduktionsfaktoren for elforbrug til husholdning  $1 \left( \frac{30,7 \text{ kWh/m}^2}{30,7 \text{ kWh/m}^2} = 1 \right)$ , mens

reduktionsfaktoren for energibehov til rumvarme er 2,9  $\left( \frac{89 \text{ kWh/m}^2}{30,3 \text{ kWh/m}^2} = 2,9 \right)$ . Bygningens samlede

reduktionsfaktor for leveret energi er 2,2  $\left( \frac{143 \text{ kWh/m}^2}{66 \text{ kWh/m}^2} = 2,2 \right)$ .

Hvis motivationen om renovering er initieret af forsyningssikkerhed og driftsøkonomi, skal kommunikationen være fokuseret på energibehov. Hvis ønsket er initieret af miljøpåvirkning, er det mere logisk, at kommunikationen er fokuseret på CO<sub>2</sub>-udledningen. Ved inddragelse af brugerne skal kommunikationen primært være fokuseret på økonomi, som oprinder fra driftsøkonomi og energibehov. Dette kan brugerne forholde sig til, da det direkte påvirker deres dagligdag.

Der er adskillige referenceelementer, der indgår i reduktionen af energibehov og dermed også i reduktionsfaktoren. I alle tilfælde skal projektgruppen blive enig om, hvilke af nedenstående elementer der indgår i referencen, og hvorledes disse skal prioriteres:

- *Hvilke energiforbrug tages der hensyn til:*

- Kun elementer relateret til opvarmning.

- Alt bygningsrelateret energi, herunder også el-behov til mekanisk ventilation.
- Brugerrelaterede energibehov, som kan være påvirket af renoveringen (distribution af varme og vand, intelligente målere).
- Brugerrelaterede energibehov, der er uafhængige af renovering (adfærdsafhængige).
- Off-site energiproduktion

- *Sammenligningskriterierne for den renoverede bygning:*

- Gennemsnitligt energiforbrug i eksisterende renoverede bygninger i et bestemt referenceår
- Energiforbruget for bygningen, før renoveringen.
- Energiforbruget for bygningen efter renovering sammenlignet med en ikke renoveret referencbygning.

- *Netto energibehov eller leveret energibehov, herunder brugen af vedvarende energi.*

For at illustrere de mulige aspekter af ovenstående parametre og deres effekt på energirenoveringen tages der udgangspunkt i renoveringen af Klimablokken i Tilst, Danmark. Forudsætningerne for renoveringen var:

- *Reduceret energibehov til rumopvarmning (efterisolering, øget tæthed og varmegenvinding) og elektricitet (nye energieffektive hårde hvidevarer).<sup>1</sup>*

- *Brugen af vedvarende energi (solceller og solvarme).*

Bygningens energiprofil før og efter renovering er vist i figuren: Forbrug, klimablok og referenceblok.

<sup>1</sup> Da der ikke foreligger data for energibehovet til husholdningsudstyr før og efter renovering, sættes denne til 3,5 W/m<sup>2</sup> iht. Be10 for begge tilfælde.

## 2. Metode for "omsætning" af målte data til repræsentative data korrigeret i f. t. et "normalår"

### 2.1 Sammenligning mellem måleår

For at målte data fra et år skal kunne sammenlignes med andre måledata fra andre år, er det nødvendigt at udføre en så kaldt graddøgnskorrektion. Denne korrektion foretages med henblik på at udligne de forskelle, der måtte være i rumvarmebehovet grundet ændringer i udetemperaturen.

Ønskes der udelukkende en sammenligning mellem to målte datasæt repræsenteret ved to forskellige måleår, vil graddøgnskorrektionen ofte være tilstrækkelig. I dette tilfælde vil der ofte ikke være så store udsving mellem andre parametre, der kan have indflydelse på rumvarmebehovet eller andre energibehov, og særlig hvis der generelt er høj belægning på lejlighederne og / eller ikke særlig stor udskiftning af beboerne.

Modsat énfamilieboliger, hvor den enkelte families adfærd kan have stor indvirkning på bygningens samlede energibehov, vil lejlighedsbyggerier ofte have mindre udsving i energiforbrug grundet bru-

geradfærd, idet bygningens forbrug her så at sige er et gennemsnit af alle beboernes adfærd. Ændringer i energiforbrug som følge af f.eks. ændret brugsvandsbehov eller ændret indetemperatur i den enkelte lejlighed vil derfor medføre relativt små ændringer, når en hel blok ses som et samlet hele.

En anden faktor, der kan have betydning, er antallet af solskinstimer over året, samt hvornår på dagen / året solskinstimerne forekommer. Foretages der en renovering, hvor bygningen bringes til overholdelse af f.eks. lavenergi klasse 2015 eller lavenergi klasse 2020, vil bygningens opvarmningsbehov ofte være mere følsomt overfor ændring af antallet af solskinstimer, idet disse bygningstyper i år med mange solskinstimer ofte vil have en større grad af "selvforsyning" via rumvarmetilskud fra den passive solvarme.

Solskinstimernes betydning er også blevet forstærket af, at der i forbindelse med flere og flere renoveringer installeres solvarme og / eller solcel-

ler på bygningernes tage. Dermed er det ikke kun energibehovet, der påvirkes af et vekslende antal solskinstimer, men også energiproduktionen.

Nærstudier af solskinstimernes betydning for produktionen af strøm via solceller viser, at den procentuelle afvigelse i solskinstimer over året med god tilnærmelse kan genafslæses i solcelleanlæggets el-produktion. Dog viser studier, at et forøget antal solskinstimer i vinterperioden grundet den lave solindstråling ikke fuldt kan aflæses i solcellernes el-produktion. Samtidig vil eventuel sneophobning på og foran solcellerne også kunne reducere solcellernes el-produktion.

For solvarmens vedkommende er afhængigheden af solskinstimer ikke så markant. Der har mulighed for at aftage varmen større betydning. Varierende brugsvandsbehov eller opvarmningsbehov vil således påvirke solfangeres produktion mere end de typiske variationer, der ses i antallet af solskinstimer.



## 3. Sammenligning af målte og beregnede energibehov

Graddøgnskorrektionen er den mest brugte metode til at korrigerer for evt. forskelle i rumvarmebehov med baggrund i forskelligt udeklima mellem enkelte måleår. Som beskrevet er denne ofte tilstrækkelig til at beskrive forskelle mellem målinger fra år til år. Ofte kan der dog være et ønske om at kunne give kvalificerede skøn på en bygnings energibehov efter en given renovering ud fra beregninger i projekteringsfasen, og tilsvarende kan der være ønske om at sammenligne beregnede energibehov med målte energibehov, efter at renoveringen er foretaget, og den første måleperiode er afsluttet.

I det følgende beskrives mulighederne og faldgruberne, i de to ovenstående tilfælde – enten sammenligning mellem målt og beregnet forbrug eller forudsigelser af bygningers energibehov ud fra beregninger i projekteringsfasen.

### 3.1 Sammenligning af målt og beregnet energiforbrug

Ønsker man at foretage sammenligning mellem målt og beregnet energibehov, skal man være opmærksom på de forskellige forudsætninger, der knytter sig til de to situationer. Beregning af bygningers energibehov sker ofte i programmet BE10 eller Rockwool Energy Design. I disse programmer anvendes iht. DS 418 en udetemperatur på -12 °C og en indetemperatur på 20 °C. I virkeligheden vil en del vintre have en lavere udetemperatur end -12 °C, og samtidig vil indetemperaturen ofte være højere end 20 °C. Disse ændrede forudsætninger skal der korrigeres for, inden resultaterne kan sammenlignes. Den ændrede udetemperatur

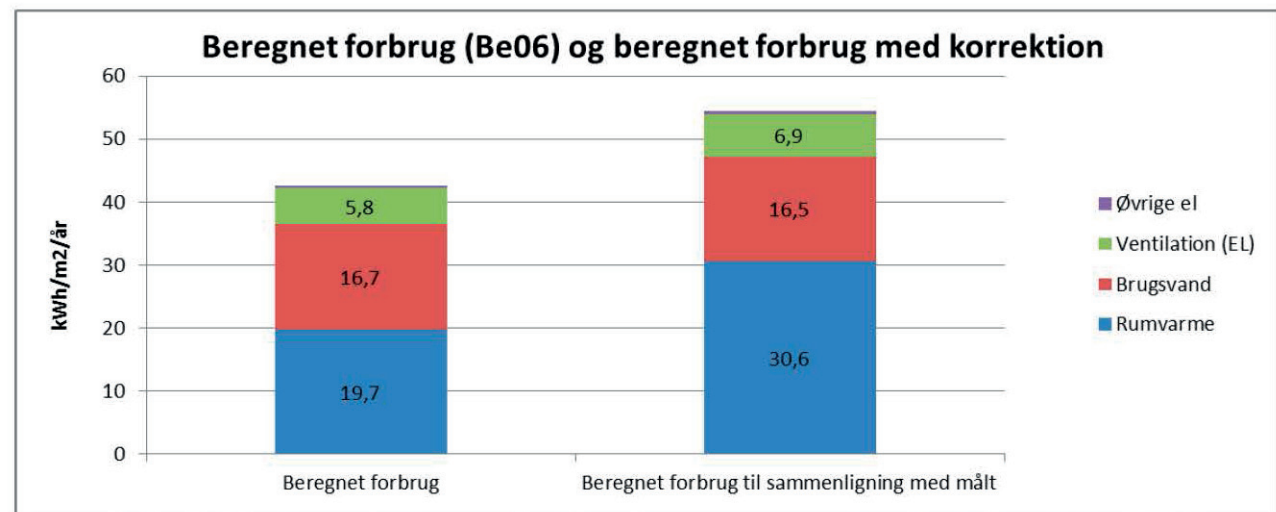
korrigeres derfor ud fra den tidligere nævnte grad-døgnskorrektion. I forhold til indetemperaturen er der behov for endnu en korrektion. Korrektionens størrelse er svær at beregne, men der kan opnås en god indikation ved at måle indetemperaturen i opvarmningssæsonen. Dennes gennemsnit kan herefter inddateres i beregningsværktøjet, og de nye resultater for bygningens energibehov kan aflæses.

Forskellen mellem resultatet ved de oprindelige standardforudsætninger og ved de ændrede forudsætninger giver således en indikation af ændringens betydning fx i relation til den ændrede indetemperatur.

På samme måde kan der være forudsætninger omkring setpunkter for ventilationsanlæg, anvendelse af emhætte, bygningstæthed etc., hvis betydning bør evalueres, hvis der ønskes en sammenligning mellem målt og beregnet forbrug.

Som eksempel på ovenstående korrektioner i forhold til ændrede forudsætninger er der herunder vist uddrag fra rapporten "Afrapportering og monitorering af klimaprojekt Langkærparken". Uddraget viser betydning af hhv. ændret indetemperatur og medregning af emhættedrift.

Nedenstående figur viser betydningen af de nævnte to parametre. For Langkærparken er den



*Beregnet forbrug (be06) og beregnet forbrug med korrektioner for rumtemperatur og brug af emhætter uden korrektion for husholdnings-el.*

gennemsnitlige temperatur i opvarmningssæsonen 22,2 °C, hvilket medfører en forøgelse i rumvarmebehovet. Samtidig medfører indregning af emhætte-drift en forøgelse af både rumvarmebehov og energiforbrug til ventilation.

### 3.2 Forudsigtelse af en bygnings energibehov med baggrund i beregninger i projekteringsfasen

At forudsige en bygnings energiforbrug på planlægningstidspunktet kræver et indgående kendskab til den fremtidige bygnings brug og herunder også brugernes adfærd i bygningen. I forudsigelsen af bygningens energibehov har man tidligere anvendt resultater fra BE10 beregning.

Det er dog vigtigt, at resultatet af en BE10 beregning ikke tolkes som bygningens reelle fremtidige energibehov, idet BE10 udelukkende er et godkendelsesværktøj til eftervisning af, om en given energiramme overholdes. Undersøgelser har vist, at sammenlignes en BE10 beregning med det målte energibehov, vil der statistisk set være et reelt mérforbrug i forhold til BE10 beregning i 70 % af tilfældene. Denne forskel kan blandt andet skyldes forskelle i forudsætninger omkring indetemperatur, udeklima, styring og regulering eller brugeradfærd. Særligt brugeradfærd har vist sig at kunne medføre variation i energiforbruget på op mod 300 %.

Man bør således være yderst forsigtig med at forudsige bygningens energibehov på basis af beregningsresultater. Ønskes der trods de beskrevne usikkerheder en indikation af bygningens energibehov, kan der på basis af parametervariationer i

BE10 beregningen laves en oversigt over betydningen af variationer af de mest betydningsfulde parametre. Ved renovering af lejlighedskomplekser er de mest betydningsfulde parametre typisk:

- Indetemperatur
- Tæthed
- (Utilsigtet) udluftning via naturlig ventilation i opvarmningsperioden
- Faktisk virkningsgrad på ventilationsanlæg i forhold til opgivet virkningsgrad i BE10
- Faktisk SEL-værdi på ventilationsanlægget (det specifikke el-forbrug til lufttransport)

På basis af variationer af disse parametre kan der opstilles et interval, hvor imellem energibehovet med en vis sandsynlighed kan forventes at ligge.

### 3.3 Evaluering af bygningens energibehov baseret på korttids-målinger

I forbindelse med evaluering af både nybyggeri og renovering er det ofte et ønske at kunne observere og evaluere på bygningens energipreformance. Disse observationer og evalueringer kan have flere formål. Formålet kan være at undersøge, hvilke energibesparelser en given renovering samlet set afstedkommer, men også at evaluere forskellige tiltags effekt på den samlede renovering. Herudover kan målingerne give et billede af, om renoveringen generelt performer ens over året, eller om u hensigtsmæssige indstillinger i bygningens styringsmæssige anlæg medfører uforholdsmæssigt store udsving i bygningens energiforbrug.

Med ovenstående in mente kan en måleperiode på et år ofte synes lang i forhold til ønsket om at kende og optimere bygningens performance i lø-

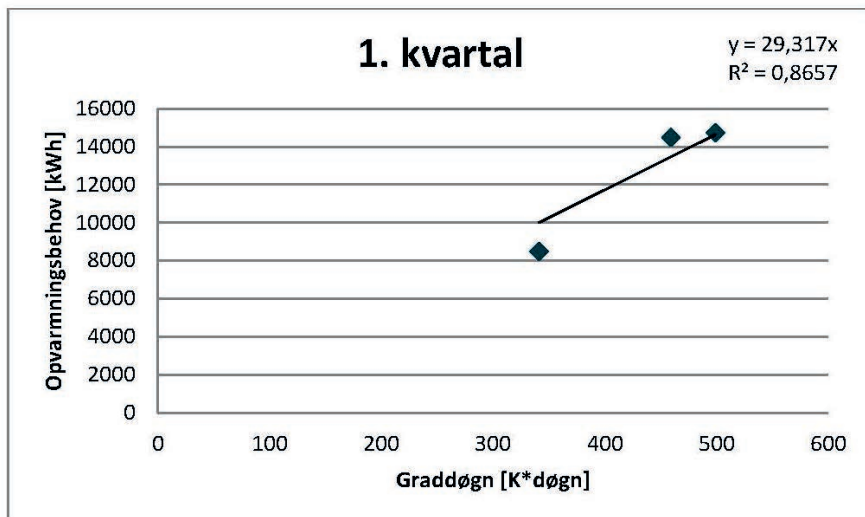
bet af en årlang måleperiode. Det kan derfor være relevant at undersøge, om man på basis af kortere måleperioder kan få relativt sikre indikationer på, hvad bygningens samlede energibehov og evt. energiproduktion bliver på årsbasis. Korttids-målinger som begreb skal således i denne kontekst forstås som måleperioder med en varighed under ét år.

I det følgende vises et eksempel på en sådan evaluering med udgangspunkt i klimarenoveringsprojektet Langkærparken. Der evalueres på to parametre: Energiforbrug til rumvarme og energiproduktion fra solceller. Disse to parametre er udvalgt, da de repræsenterer to forskellige tilgange til korttids-evaluering.

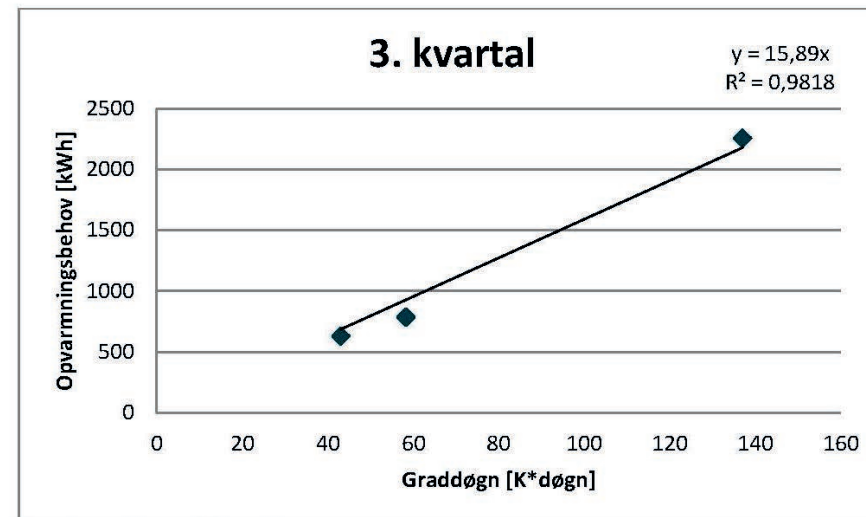
#### 3.3.1 Eksempel – evaluering af bygningens rumvarmebehov baseret på korttids-målinger

Metoden til evaluering tager udgangspunkt i en typisk graddøgnssignatur, hvor opvarmningsbehov udtrykkes som funktion af antallet af graddøgn. For definition af graddøgn henvises til "varmestå-bien".

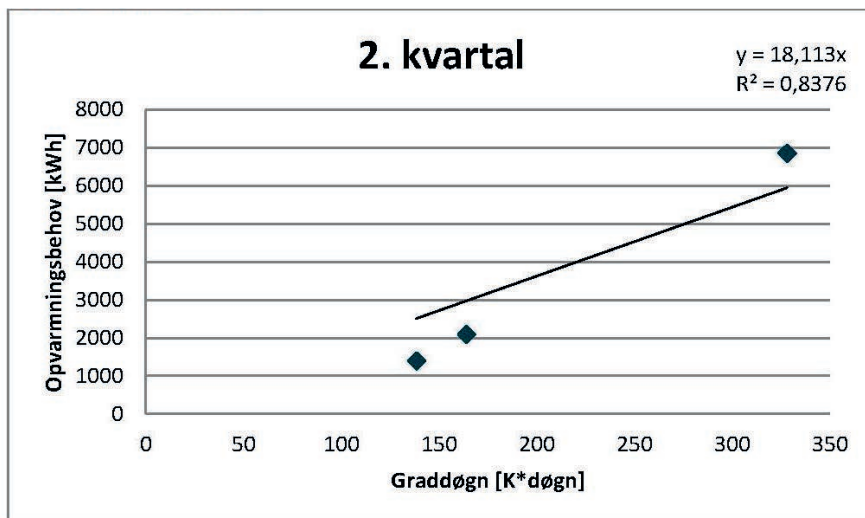
Nedenstående diagrammer viser opvarmningsbehovet i forhold til antallet af graddøgn. Der er foretaget målinger for hver måned. Der er lavet diagrammer for hvert kvartal, hvert halve år og et for hele året i måleperioden. Diagrammerne indeholder ligeledes en lineær regression med tilhørende regressionsligning. Regressionen er endvidere tvunget gennem punktet (0,0), idet der intet opvarmningsbehov vil være ved et graddøgnstal på 0. Y angiver årsvarmebehovet i kWh/år beregnet ud fra graddøgnssignaturen. R<sup>2</sup> –værdien an-



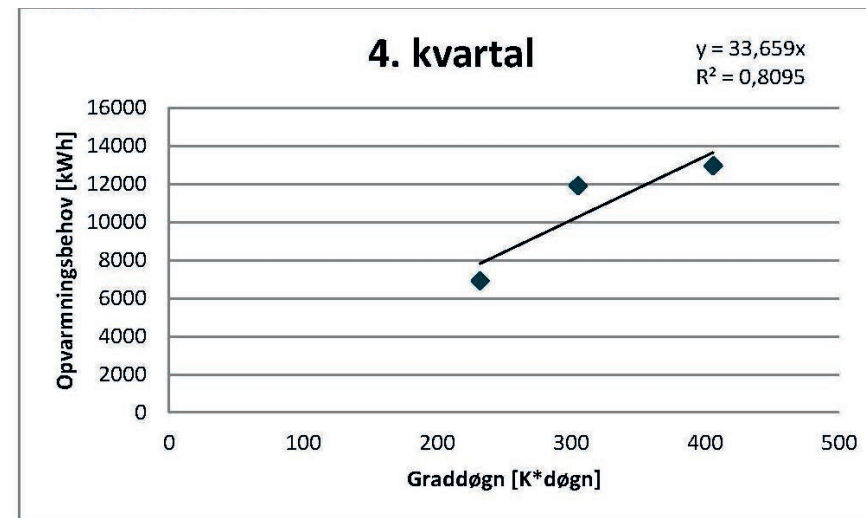
Graddøgnssignatur 1 kvartal.



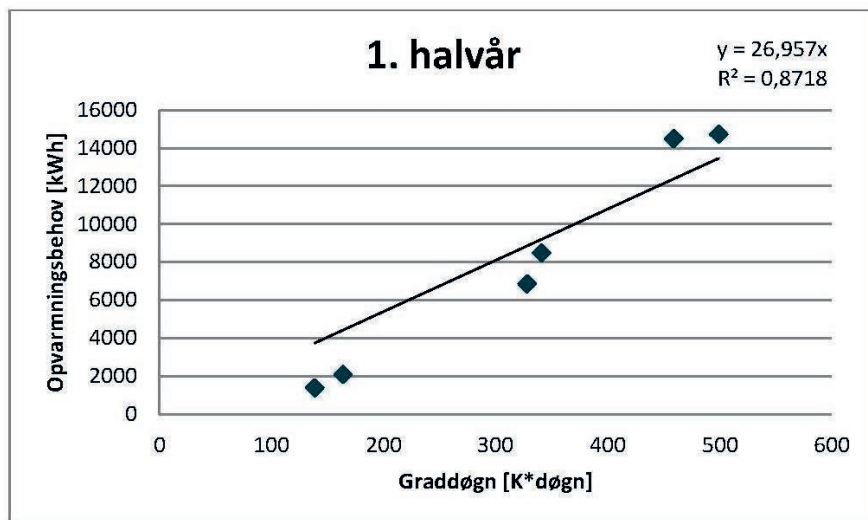
Graddøgnssignatur 3 kvartal.



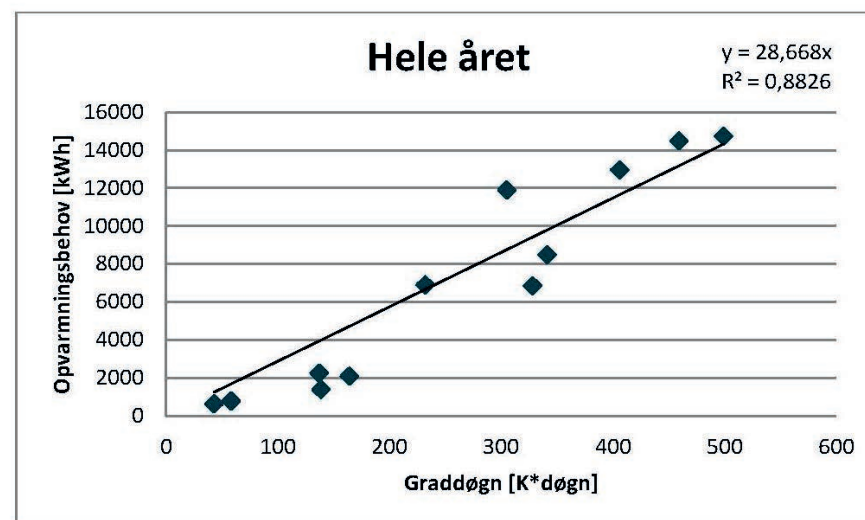
Graddøgnssignatur 2 kvartal.



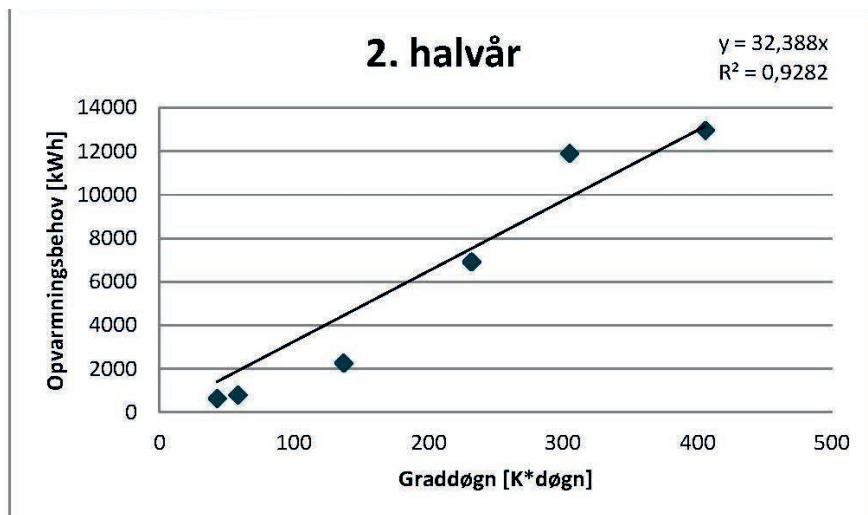
Graddøgnssignatur 4 kvartal.



Graddøgnsnatur 1 halvår.



Graddøgnsnatur hele måleåret.



Graddøgnsnatur 2 halvår.



giver hvor tæt de målte punkter ligger på den opregnede tendenslinie. En værdi for R2 på 1 svarer til, at alle punkter ligger præcist på tendenslinien. Jo længere værdien er fra 1, jo længere ligger de enkelte punkter samlet set fra tendenslinien. Det vil sige, at udtrykket for årsvarmebehovet givet ved Y er ringere repræsenteret ved tendenslinien og ligningen herfor. Det er således en fordel med en R2 værdi så tæt på 1 som muligt.

### Vurdering

I dette afsnit vurderes det, hvor mange målinger og dermed over hvor lang en periode det er nødvendigt at foretage målinger for at få et resultat, der er repræsentativt for det samlede års målinger.

Dette gøres ved at udregne årsforbruget for hver af de 7 modeller og sammenligne med det aktuelle årsforbrug for Langkærparken. Årsforbruget for rumopvarmning udregnes ved at indsætte antallet af graddøgn (på årsbasis) i regressionsligningen. Det aktuelle årlige graddøgn er 3.111 K\*døgn, og

det aktuelle årsforbrug for rumopvarmning er målt til 83.445 kWh. Graferne giver således 7 ligninger, og det aktuelle antal graddøgn er indsat i disse 7 ligninger. På basis heraf er der udregnet et forventet årsforbrug til rumopvarmning. En procentvis afvigelse i forhold til det faktisk målte behov for hver af ligningerne er ligeledes udregnet i nedenstående skema.

Fra beregningerne vurderes det, at usikkerheden ved en måleperiode på kun et kvartal er relativt stor. Dels er der store afvigelser fra det aktuelle årsforbrug til rumopvarmning, og dels er afvigelsen ikke entydig, idet det beregnede årsforbrug både er større og mindre end det aktuelle. Den gennemsnitlige usikkerhed for kvartalsmålingerne er ca. 27 %.

Det vurderes derfor, at der skal en måleperiode på mindst et halvår, som indeholder både måneder med behov for opvarmning og måneder uden behov for opvarmning, til, for at måleperioden kan siges at være repræsentativ. Den gennemsnitlige

usikkerhed for de halvårslige målinger er 10,6 % - altså betydeligt lavere end for kvartalsmålingerne. Idet disse data kun baserer sig på ét måleår, og det statistiske baggrundsmateriale derfor er relativt begrænset, kan de viste resultater primært anvendes som indikatorer for, hvilken usikkerhed der kan være på forudsigelser ud fra korttidsmålinger.

Det er også vigtigt at fremhæve, at ovenstående resultater baser sig på et kendt antal graddøgn for hele perioden (året). Normalt vil man i en situation, hvor rumvarmebehovet ønskes undersøgt, kun kende det aktuelle antal graddøgn for den givne periode, der evalueres inden for – f.eks. et halvår. Dermed kan årsbehovet kun udregnes ud fra et standardårs graddøgnsantal og afvigelsen mellem det faktiske års graddøgns antal og antal graddøgn i standardåret vil dermed også have negativ indflydelse på præcisionen af beregningen i forhold til det faktisk målte resultat.

Foretages der en graddøgnskorrektur på de målte

	Regressionshældning [kWh/(K*døgn)]	Årsforbrug [kWh]	Afvigelse [%]
1. kvartal	29,317	91.205,19	9,3
2. kvartal	18,113	56.349,54	32,5
3. kvartal	15,890	49.433,79	40,8
4. kvartal	33,659	104.713,15	25,5
1. halvår	26,957	83.863,23	0,5
2. halvår	32,388	100.759,07	20,7
Hele året	28,668	89.186,15	6,9

	Regressionshældning [kWh/(K*døgn)]	Årsforbrug [kWh]	Afvigelse [%]
1. kvartal	28,943	95.251,41	14,1
2. kvartal	19,265	63.401,12	24,0
3. kvartal	16,233	53.422,80	36,0
4. kvartal	33,863	111.443,13	33,6
1. halvår	27,457	90.360,99	8,3
2. halvår	33,492	110.222,17	32,1
Hele året	29,392	96.729,07	15,9

rumvarmebehov pr. måned, og laves der samme øvelse som ovenfor, fås følgende resultater for usikkerheden i forhold til årets samlede graddøgns-korrigerede forbrug. Se nedenstående skema.

Der er ligeledes lavet grafer for graddøgns-signaturerne til de graddøgns-korrigerede data, som bruges til beregning af den ovenstående afvigelse som et mål for usikkerheden. Disse grafer findes i bilag I. Det graddøgns-korrigerede årsforbrug afvigelsen beregnes efter er så 88.273 kWh. Det ses af skemaet, at der generelt er store usikkerheder ved en graddøgns-korrektion af dataene ved en måleperiode på et kvartal, samtidig med at det beregnede årsforbrug ligger både over og under det aktuelle graddøgns-korrigerede årsforbrug.

En måleperiode på mindst et halvt år, som har en gennemsnitlig lavere afvigelse, vil derfor stadig være nødvendig for at opnå en omend stadig usikker, men dog mere repræsentativ forudsigelse.

Af skemaet ses også generelt store afvigelser, som ikke er mindre end ved de ikke-graddøgns-korrigerede data. En graddøgns-korrektion vil derfor ikke nødvendigvis give en mere korrekt forudsigelse, men metoden kan være nødvendig, idet resultater for hele måleåret normalt ikke foreligger, når analysen udarbejdes.

Usikkerheden i resultaterne kan reduceres, hvis data-densiteten på målingen er højere. Det vil sige, hvis måleren aflæses med kortere intervaller end månedsintervaller.

#### **Afvigelser i bestemmelsen af årsvarmebehov**

De ovenfor udregnede afvigelser på op til 20 % i bestemmelsen af årsvarmebehovet ud fra en halvårlig evaluering skal sammenholdes med, at der generelt kan ske påvirkninger fra brugere el-





ler udfordringer af teknisk karakter, der vil kunne medføre betydeligt større afvigelser på det forventede årsvarmebehov end ved bestemmelsen ud fra den halvårslige evaluering.

Disse afvigelser kan forekomme som følge af f.eks. utilsigtet brug af naturlig ventilation, ukritisk åbning ud til uopvarmede altaner samt andre forhold som tæthed og interne varmelaster.

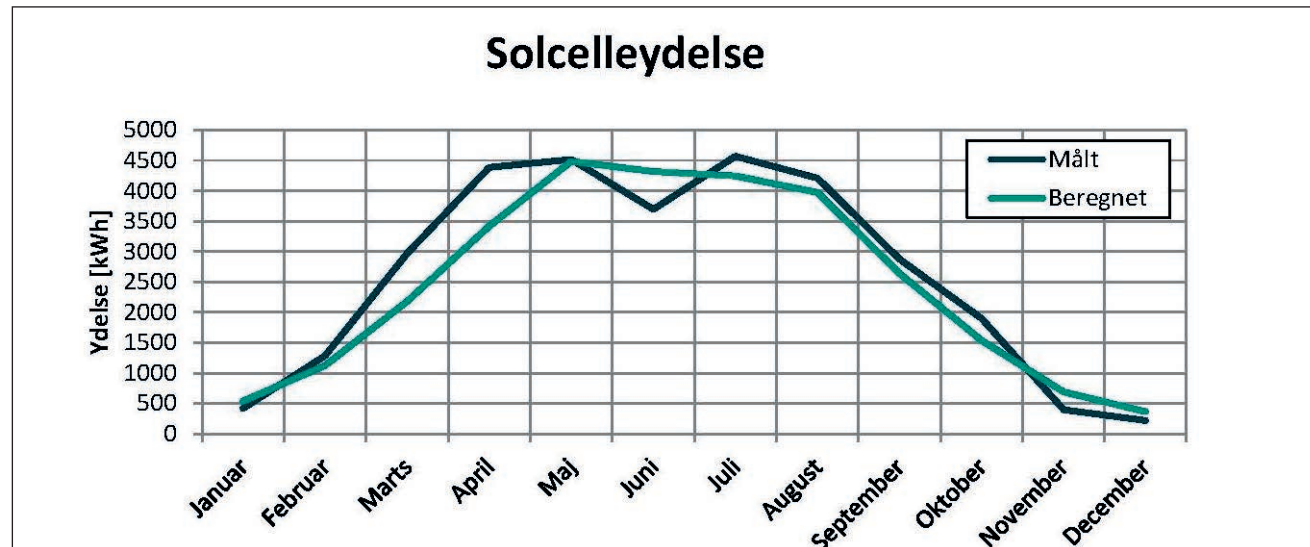
### 3.3.2 Eksempel – evaluering af solcellernes el-produktion baseret på korttids-målinger

For solcelleproduktionen udformes korttidsevalueringen på anden vis end for rumvarmebehovet. Solcellernes produktion er i høj grad afhængig af antallet af solskinstimer. Hvor man på rumvarmebehov foretager analyser og korrektioner med baggrund i graddøgn, sker de samme operationer for solceller derfor med baggrund i antallet af solskinstimer.

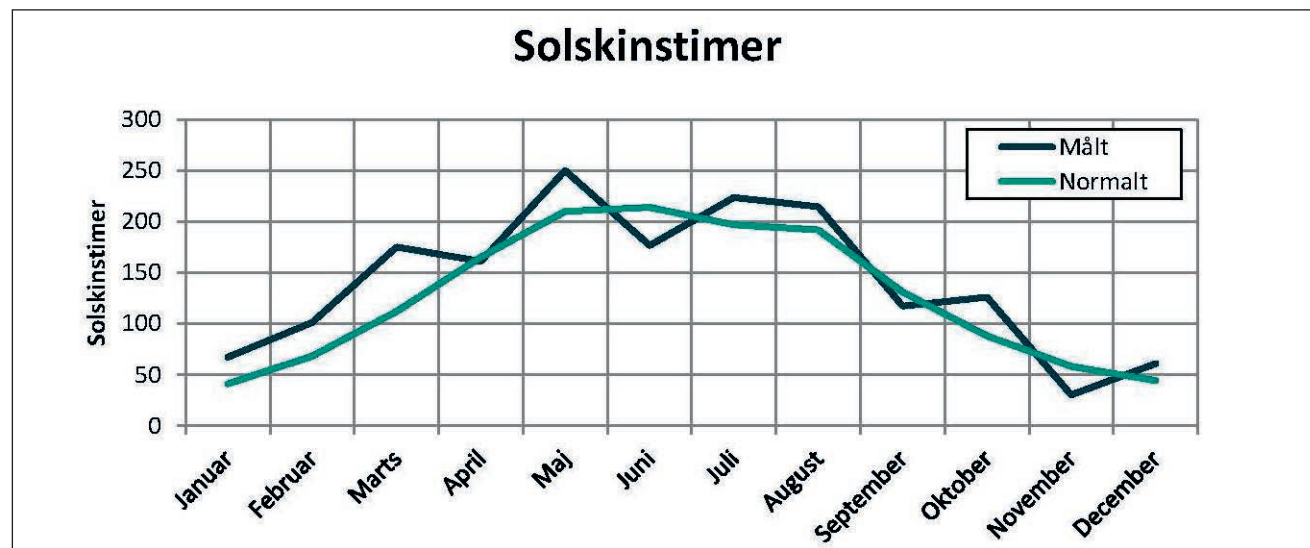
Ved en sådan korrektion skal man imidlertid være opmærksom på, at tidspunktet for afvigelser fra normalårets solskinstimer ikke er ligegyldigt i forhold til indvirkningen på produktionens størrelse. Dermed tilføjes et ekstra parameter til analysen, hvis en korttidsevaluering udføres.

Et konkret eksempel herpå vises i det efterfølgende med udgangspunkt i klimarenoveringsprojektet Langkærparken.

Solcelleanlægget på denne bygning består af 216 m<sup>2</sup> solceller med en ydelse på 32,22 kWp. Solcellerne er placeret på taget med en hældning på



Solcelle-ydelse måned for måned.



Solskinstimer måned for måned

30 ° og en orientering direkte mod syd. Eneste skygge er den foranliggende solcelle, der medfører en horisontskygge på ca. 13 °.

Figurerne på modsatte side viser sammenhængen mellem produktionen og solskinstimerne de enkelte måneder både for den aktuelle målte produktion og for produktionen beregnet efter standardåret (DRY). I beregningen er anvendt programmet PVsyst.

For de fleste måneder ses en tydelig sammenhæng mellem målt produktion / målte solskinstimer og den beregnede produktion med tilhørende

normal-solskinstimer. Særligt variationen i solskintimer fra maj til august er tydeligt tilsvarende aftegnet i produktionen. En enkelt undtagelse for dette anlæg er dog april / maj måned. Det skal også ses i lyset af, at antallet af solskinstimer på et lokalt solcelleanlæg til tider kan afvige fra antallet ved målestationen. For det konkrete projekt ligger boligblokken i Århus, og der registreres solskinstimer for måleåret som et gennemsnit for hele Østjylland.

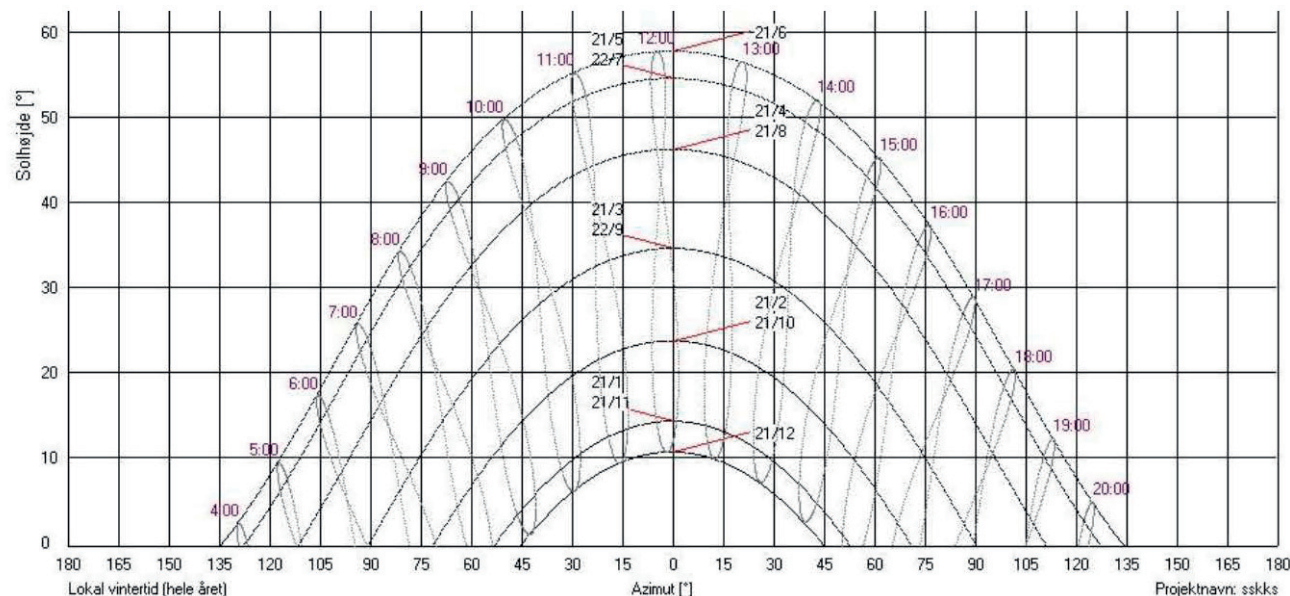
Endvidere bemærkes det, at der er en generel sammenhæng mellem retningen af afvigelsen af

solskinstimer fra normalt, og retningen af afvigelsen fra produktionen af solcellerne, således at flere solskinstimer end normalt giver en større produktion end beregnet.

Der er dog få undtagelser i april og september, hvor afvigelsen på solskinstimer er meget lille, og i januar og december, hvor den lavere produktion med stor sandsynlighed skyldes sne på solcellerne.

Endelig kan det have betydning, hvornår på dagen de ekstra solskinstimer forekommer. Morgen- og eftermiddagssol vil særligt i vintermånederne ikke medføre nævneværdig mærpåproduktion og samtidig kan skyggeforhold midt på dagen i de måneder, hvor solen står lavest på himlen, være hindret i at nå solcellerne grundet egenskygge fra de øvrige solceller på taget. Netop forholdet omkring egenskygge kan være udslagsgivende for produktionen i det viste eksempel, idet de flere solskinstimer i december, januar og til dels februar ikke medfører tilsvarende mærpåproduktion. Denne sammenhæng vil yderligere kunne ses ved at se på sammenhængen mellem solhøjde og tidspunkt på dagen / året som vist i nedenstående figur.

For det aktuelle projekt er egenskyggen regnet til midten af det skyggede solcellepanel ca. 12 °, svarende til at kun halvdelen af panelet modtager direkte sollys mellem 21. november og 21. januar.



Solhøjde diagram for Danmark.



Overordnet set består metoden i følgende

Den målte produktion for del-perioden korrigeres i forhold til antallet af målte solskinstimer kontra solskinstimer i et normalår for omtrent samme lokation:

$$\text{Målt produktion i perioden} \times \frac{\text{Antal solksinstimer for standardperioden}}{\text{Målt antal solskinstimer}} = \text{Solkorrigeret produktion}$$

Den solkorrigerede produktion sammenlignes med den beregnede produktion ud fra standardåret, og den procentuelle afvigelse udregnes:

$$\frac{\text{Solkorrigeret produktion} - \text{beregnet produktion}}{\text{beregnet produktion}} \times 100\% = \text{anlæggets afvigelse i \%}$$

### Målt solskinstime-korrigeret produktion til brug ved korttids-evaluering

Hidtil har der i denne rapport udelukkende været set på de overordnede sammenhænge mellem antal solskinstimer og den registrerede produktion. I det efterfølgende benyttes denne viden til at udarbejde en metode til overslagsmæssigt at vurdere et solcelleanlægs produktion på årsbasis med baggrund i kortere måleperioder. Som for korttidsevaluering ved rumvarme ses der på muligheden for evaluering efter kvartals- og halvårs måling.

Afvigelsen vil herefter give en indikation af, hvor godt anlægget performer, hvor der i forvejen er taget hensyn til antallet af solskinstimer. Denne afvigelse vil så kunne faktoriseres med det samlede års beregnede produktion og en forudsigtelse af det samlede års produktion vil kunne udledes.

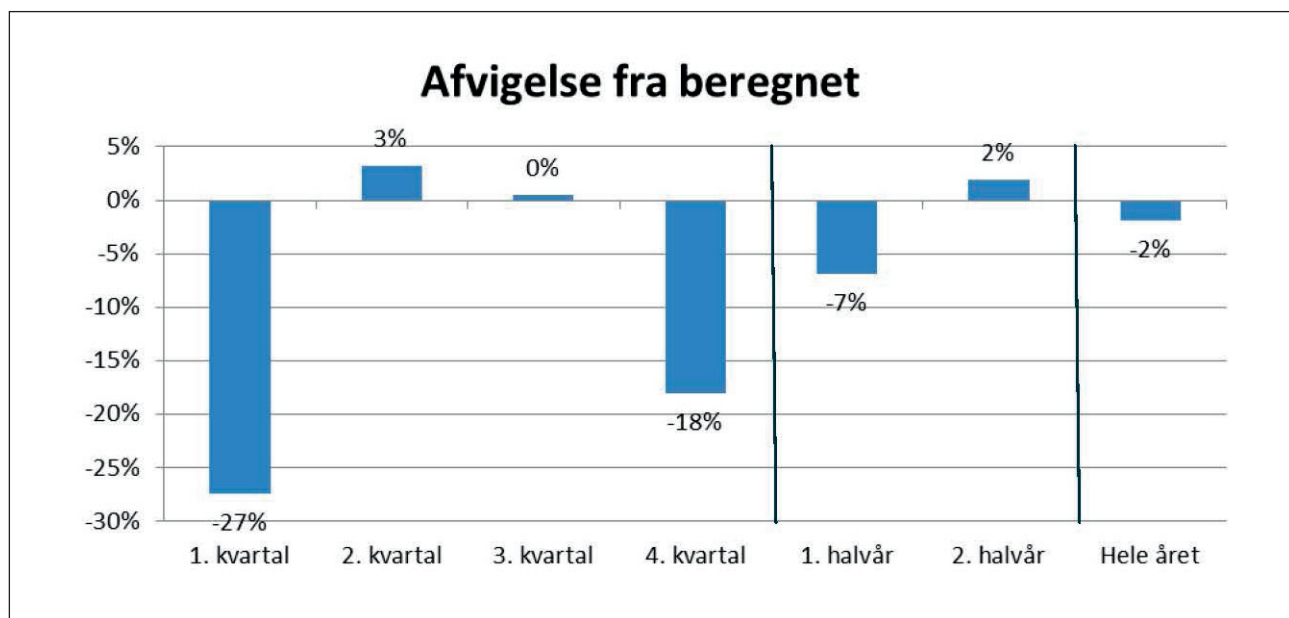
Anvendes fremgangsmåden som beskrevet ovenfor, vil man erfare, at jo længere måleperiode der

inddrages, jo mere præcis bliver forudsigtelsen af solcelleanlægges samlede produktion over året.

Det skal bemærkes, at disse forudsigtelser er overslagsmæssige, idet der ikke tages højde for, hvornår på dagen de flere / færre solskinstimer forekommer.

På figuren er vist resultaterne af ovenstående metode anvendt på det tidligere omtalte solcelleanlæg.

Resultaterne viser, at hvis anlægget kun vurderes ud fra 1. kvartal, skal den årlige forventede ydelse faktoriseres med -27 %. Alene på basis af denne periode ser anlægget altså ud til at performe dårligt. Ser man på samme måde på de øvrige



Afvigelse i solkorrigeret produktion i forhold til beregnet.

kvartaler fås for 2. og 3. kvartal en afvigelse tæt på 0 %. I disse måneder performer anlægget altså som forventet. For 4. kvartal genkendes samme situation som for 1. kvartal. Foretages samme analyse for 1. og 2. kvartal samlet fås en afvigelse på kun 7 %. 2. kvartals relativt store andel af den samlede produktion har således naturligt stor indvirkning på den samlede afvigelse, der reduceres markant fra 27 % til 7 %.

Det skal bemærkes, at resultaterne for afvigelserne nu er solskinskorrigeret, hvorfor afvigelserne ikke skyldes forskel i solskinstimer. Det er således andre parametre, der har indvirkning. For det konkrete anlæg vides det, at placeringen af panelerne som tidligere omtalt danner skygge på andre paneler. Denne skygge forekommer netop

i de berørte kvartaler. Samtidig har der særligt i 1. kvartal været registreret sne ved panelerne, hvorfor solskinstimerne ikke til fulde har kunnet udnyttes.

#### Konklusion

Ovenstående analyser viser, at ønsker man at foretage korttidsevaluering af et solcelleanlæg, er det vigtigt at kende antallet af solskinstimer for nærområdet og foretage korrektioner i forhold til disse, men det er også vigtigt at tolke resultaterne i forhold til andre parametre som f.eks. skygge, eller andre vejrpåvirkninger, og det er samtidig vigtigt at vide, i hvor høj grad der i den beregnede produktion er taget højde for skyggepåvirkninger.

Analyserne viser også, at fremskrivning af korttidsmålinger som repræsentativt for hele året kun kan ske, hvis der mindst anvendes målinger for et halvt år. Derved indeholdes perioder med risiko for de nævnte påvirkninger, og samtidig medtages perioder af året med stor produktion, hvis målte størrelse i forhold til beregningerne har forholds-mæssig stor betydning for periodernes samlede afvigelse.

I dette eksempel fås som beskrevet en afvigelse på 7 % for 1. halvår og kun 2 % for 2. halvår. Det vurderes således muligt inden for acceptable afvigelser at forudsige årets produktion ud fra halvår-lige målinger.



## 4. Vurdering af klimablokken i f. t. andre energirenoveringsprojekter

### 4.1 Sammenligning med øvrige renoveringsprojekter

I forlængelse af sammenligningen mellem målte og beregnede energibesparelser for klimablokken, udføres der i nærværende afsnit en sammenligning og vurdering af målte energibesparelser for klimablokken og målte energibesparelser i andre energirenoveringsprojekter i Danmark og udlandet. Sammenligningen inkluderer energibehov til husholdningsudstyr. Da der ikke foreligger data for energibehovet til husholdningsudstyr for klimablokken før og efter renovering sættes denne til en repræsentativ værdi på 3,5 W/m<sup>2</sup> iht. BE10 for begge tilfælde.

Sammenligningsgrundlaget omfatter 6 projekter, 1 i Danmark, 2 i Østrig, 2 i Sverige og 1 i Tyskland, som alle har gennemgået en gennemgribende renovering svarende til klimablokken. Alle disse projekter er en del af Det Internationale Energi Agenturs Solar Heating & Cooling program Task 37 "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation". På projektets hjemmeside kan findes information om flere lignende projekter (<http://members.iea-shc.org/publications/task.aspx?Task=37>).

Ud over sammenligning på målt energibehov før og efter energirenoveringen opstilles og beskrives

de elementer, som indgik i renoveringen. Dette er opstillet iht.:

- Klimaskærmen herunder lufttæthed og kuldebroer
- Vinduer
- Systemer
- Husholdningsudstyr
- Energiforsyning
- Øvrige

### 4.2 Sammenligning af energirenoveringer

Sammenlignes energirenoveringstiltagene gjort i Klimablokken i Tilst med de øvrige energirenoveringer beskrevet i de forrige skemaer, så er den samlede procentuelle besparelse for leveret energi for Klimablokken lavere end i de øvrige energirenoveringer. Dette er til trods for, at de udvalgte bygninger og de udførte energirenoveringstiltag er meget sammenlignelige.

Fælles for alle energirenoveringer er:

- Udvendig efterisolering af facaden
- Effektiv efterisolering af tagene
- Nye vinduer
- Ventilation med høj varmegenvindingsgrad, 82 % -85 %
- Brug af vedvarende energi (solfangere og solceller)

- Udskiftning til energieffektive hårde hvidevarer

Der kan være flere årsager til den procentuelt mindre reduktion af energibehovet for Klimablokken. Disse er bl.a., at husholdningsudstyr, primærenergifaktorer og el til bygningsdrift ikke indgår i de oplyste energidata for flere af de øvrige energirenoveringer beskrevet i ovenstående tabeller. Hvis husholdningsudstyr ikke tages med i energidata for Klimablokken forøges den procentuelle reduktion af energibehovet til 69 % svarende til en reduktionsfaktor på 3,2. Dette gør, at Klimablokken rykker op blandt de 3 bedste energirenoveringsprojekter i ovenstående skema. Derudover kan den mindre procentuelle reduktion i energibehovet skyldes:

- et relativt mindre energibehov før renovering i forhold til de øvrige energirenoveringer.
- at energibehovet til husholdningsapparatur til sat for højt i f. t. den reelt mulige besparelse.

Ovenstående usikkerheder i sammenligningen af energirenoveringer viser, at der er behov for udvikling af en standard-metode eller samkøring af en metode på tværs af lande for at kunne lave holdbare sammenligninger.







Klimablokken i Tilst, Danmark	APT building in Flensburg, Tyskland	Backa Röd i Göteborg, Sverige	Linz - Makartstraße, Østrig
			
Energirenovierungsprojekt i Danmark til Lavenergiklasse 0 ift. BR08	Energirenovering af etageejendom i Engelsby, DK	Energirenovierungsprojekt i Göteborg, Sverige.	Energirenovierungsprojekt i Linz, Østrig til passivhus niveau.

	Data	Kommentar	Data	Kommentar	Data	Kommentar	Data	Kommentar
<b>Bygningsdata</b>								
<b>Opførelsesår</b>	1961-1971		1963 - 1964		1971		1957 - 1958	
<b>Energirenovering</b>	2008-2011		1998		2009		2005 - 2006	
<b>Målt energibehov</b>								
<b>Før renovering</b>	143 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Inkl. hushold.-el	160 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV	178 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Inkl. hushold.-el	179 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Kun opvarmning
<b>Efter renovering</b>	66 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Inkl. hushold.-el	46 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV	60 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Inkl. hushold.-el	14,4 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	PHPP (kun opv.)
<b>Besparelse</b>	54 %		63 %		66 %		91 %	Kun opvarmning
<b>Reduktionsfaktor</b>	2,2		2,7		3		12,4	Kun opvarmning
<b>Energirenovering</b>								
<b>Klimaskærmen</b>								
<b>Tag</b>	U = 0,08 W/m <sup>2</sup> K	Nyt tag med 450 mm isolering	U = 0,21 W/m <sup>2</sup> K	Udvendig efterisoleret med 180mm isolering	U = 0,1 W/m <sup>2</sup> K	Udvendig efterisoleret med 500mm isolering	U = 0,09 W/m <sup>2</sup> K	400mm isolering mod uopvarmet loftsrum



<b>Facade</b>	U = 0,12 W/m <sup>2</sup> K	Ny præfabrikeret facade med 300 mm isolering uden på eksisterende beton sandwich elementer	U = 0,29 W/m <sup>2</sup> K	Udvendig efterisoleret med 120mm isolering og ny facade-beklædning	U = 0,12 W/m <sup>2</sup> K	Udvendig efterisoleret med 200mm isolering og ny facade-beklædning	U = 0,08 W/m <sup>2</sup> K	Ny præfabrikeret solvæg (Gap-Solar Façade) med 190mm isolering og 50mm translucent isolering.
<b>Gulv</b>	U = 0,4 W/m <sup>2</sup> K	200 mm isolering mod kælder	U = 1,6 W/m <sup>2</sup> K	Ingen energirenovering af gulvet	U = 0,1 W/m <sup>2</sup> K	Efterisoleret med 500mm lecanødder mod jord i krybekælder	U = 0,21 W/m <sup>2</sup> K	100 mm isolering mod jord
<b>Lufttæthed</b>	Øget lufttæthed				Øget lufttæthed		Øget lufttæthed	
<b>Kuldebroer</b>	Reduceret kuldebroeffekt	Udvendig efterisolering af facade	Reduceret kuldebroeffekt	Udvendig efterisolering af facaden	Reduceret kuldebroeffekt	Udvendig efterisolering af facaden	Reduceret kuldebroeffekt	Udvendig efterisolering af facade
<b>Vinduer</b>								
	U = 1,13 W/m <sup>2</sup> K	Nye vinduer og døre	U = 1,4 W/m <sup>2</sup> K	Nye vinduer  Enkelte eksisterende vinduer er ikke udskiftet (U = 2,7 W/m <sup>2</sup> K) og nogle af balkonerne har kun et enkelt lag glas (U = 5,6 W/m <sup>2</sup> K)	U = 0,9 W/m <sup>2</sup> K	Nye vinduer	U = 0,86 W/m <sup>2</sup> K	Nye passiv hus vinduer
<b>Systemer</b>								
<b>Ventilation</b>	Nyt central ventilationssystem med 82% VGV		Behovstyret ventilation	Besparelse på op til 58% i energibehov  Balkoner til forvarmning af ventilationsluften i solvægge	Nyt central ventilationssystem med 85% VGV		-	Decentralt ventilationssystem med VGV
<b>Opvarmning</b>	Fjernvarme				Nye radiatorer		-	
<b>Varmt brugsvand</b>	Solfangerer til		Solfangerer til	Solfangere dækker	Cirkulation på det		-	

	opvarmning af varmt brugsvand		opvarmning af varmt brugsvand	ca. 30% af det varme brugsvandsbehov	varme brugsvand Nye vandbesparende toiletter, vandhaner og brusehoveder			
<b>Husholdningsudstyr</b>								
	Udskiftning til nye energieffektive hårde hvidevarer		-		Udskiftning til nye energieffektive hårde hvidevarer		-	
<b>Energiforsyning</b>								
	Fjernvarme 50 m <sup>2</sup> solvarme 216 m <sup>2</sup> solceller		Fjernvarme 80 m <sup>2</sup> solfanger		Fjernevarme		-	
<b>Øvrige</b>								
			-	Uopvarmede balkoner med glas reducerer varmetabet fra bygningen.	Altaner er flyttet ud på ydersiden af klimaskærmningen.		-	Uopvarmede balkoner med glas reducerer varmetabet fra bygningen.

Klimablokken i Tilst, Danmark	Boligbyggeri, Dornbirn, Østrig	Brogården, Alingsås Sverige	Blaue Heimat, Heidelberg, Tyskland
			
Energirenovierungsprojekt i Danmark til Lavenergiklasse 0 ift. BR08	Energirenovering af 5 boligbygning med 54 boliger til passivhus niveau.	Energirenovering af en boligblok til passivhus niveau.	Energirenovering af en bevaringsværdig bygning i Tyskland.

	Data	Kommentar	Data	Kommentar	Data	Kommentar	Data	Kommentar
<b>Bygningsdata</b>								
<b>Opførelsesår</b>	1969-1971		1980		1971 – 1973		1951	
<b>Energirenovering</b>	2008-2011		2008		2008		2005	
<b>Målt energibehov</b>								
<b>Før renovering</b>	143 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Inkl. hushold.-el	146 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV	177 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV	270 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV
<b>Efter renovering</b>	66 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Inkl. hushold.-el	59,1 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV	64 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV	34 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	Rumvarme + VBV
<b>Besparelse</b>	54 %		59 %		62 %		84 %	
<b>Reduktionsfaktor</b>	2,2		2,5		2,6		7,9	
<b>Energirenovering</b>								
<b>Klimaskærmen</b>								
<b>Tag</b>	U = 0,08 W/m <sup>2</sup> K	Nyt tag med 450 mm isolering	U = 0,11 W/m <sup>2</sup> K	330mm isolering mod uopvarmet loftsrum	U = 0,10 W/m <sup>2</sup> K	Efterisoleret med 200mm isolering mod uopvarmet loftsrum	U = 0,13 W/m <sup>2</sup> K	Efterisoleret med 280mm isolering mod uopvarmet loftsrum
<b>Facade</b>	U = 0,12 W/m <sup>2</sup> K	Ny præfab. facade med 300 mm isolering uden på eksisterende beton sandwich elementer	U = 0,11 W/m <sup>2</sup> K	Udvendig efterisoleret med 250mm isolering	U = 0,11 W/m <sup>2</sup> K	Udvendig efterisoleret med 250mm isolering	U = 0,15 W/m <sup>2</sup> K	Udvendig efterisoleret med 200mm isolering



<b>Gulv</b>	U = 0,4 W/m <sup>2</sup> K	200 mm isolering mod kælder	U = 0,19 W/m <sup>2</sup> K	140mm isolering mod uopvarmet kælder	U = 0,26 W/m <sup>2</sup> K	Efterisoleret indv. med 100mm isolering mod eksisterende gulv	U = 0,17 W/m <sup>2</sup> K	Efterisoleret indvendig med 160mm isolering mod kælder
<b>Lufttæthed</b>	Øget lufttæthed		Øget lufttæthed		Øget lufttæthed		Øget lufttæthed	
<b>Kuldebroer</b>	Reduceret kuldebroeffekt	Udvendig efterisolering af facade	Reduceret kuldebroeffekt.	udv. efterisolering af facaden	Reduceret kuldebroeffekt.	udv. efterisolering af facaden	Reduceret kuldebroeffekt.	udv. efterisolering af facaden
<b>Vinduer</b>								
	U = 1,13 W/m <sup>2</sup> K	Nye vinduer og døre	U = 0,90 W/m <sup>2</sup> K	Nye Vinduer	U = 0,85 W/m <sup>2</sup> K	Nye vinduer	U = 1,2 W/m <sup>2</sup> K	Nye vinduer
<b>Systemer</b>								
<b>Ventilation</b>	Nyt central ventilationssystem med 82% VGV		VGV = 85 %	Nyt ventilationssystem	VGV = 85 %	Nyt decentralt ventilationssystem med luft til luft varmegenvinding	VGV = 85 %	Nyt ventilationssystem
<b>Opvarmning</b>	Fjernvarme		Naturgas og solfangere	Solfangere dækker 17 % af behovet	Fjernvarme og solfangere	Solfangers dækningsgrad kendes ikke	Kraftvarme med 2 kedler til spidsbelastningsperioder Efterisolering af fordelingsrørene	
<b>Varmt brugsvand</b>	Solfangere til opvarmning af varmt brugsvand		Naturgas og solfangere	Solfangere dækker 60 % af behovet	Fjernvarme og solfangere	Solfangers dækningsgrad kendes ikke	Kraftvarme	
<b>Husholdningsudstyr</b>								
	Udskiftning til nye energieffektive hårde hvidevarer				Udskiftning til nye energieffektive hårde hvidevarer			
<b>Energiforsyning</b>								
	Fjernvarme 50 m <sup>2</sup> Solvarme 216 m <sup>2</sup> solceller		Naturgas 150 m <sup>2</sup> solafangere		Fjernvarme og solfangere	Areal af solfangere kendes ikke	Kraftvarme Solceller (10 kWp)	
<b>Øvrige</b>								
				Lukkede uopvarmede balkoner med glas		Altaner er flyttet ud på ydersiden af klimaskærmingen		





## 5. Attraktive renoveringsløsninger i f. t. produktions- og udførelsesmetoder

Erfaringerne fra energirenovering og modernisering af Klimablokken er, at denne ikke har været økonomisk rentabel. Selv i et længere perspektiv med forventet øgede energipriser vil investeringen ikke være rentabel.

I nærværende afsnit gennemgås kort ofte rentable energirenoveringstiltag ud fra definitionen i bygningsreglementet samt attraktive renoveringsløsninger ift. produktions- og udførelsesmetoder. Sidstnævnte er ofte ikke en rentabel løsning, men har andre fordele, som bør indgå i overvejelserne i forbindelse med en energirenovering.

Afsnittet tager udgangspunkt i konstruktioner med tung bagvæg, som repræsenterer den øvrige del af bygningsmassen i Langkærparken.

### 5.1 Ofte rentable energirenoveringstiltag

Rentable energibesparende foranstaltninger i bygningsreglementet vedrører kun isolering af ydervægge, gulve, lofter/tage og vinduer.

Vinduesudskiftning i etageboliger i sig selv er normalt ikke en rentabel renovering, da omkostningerne hertil er uforholdsmæssigt store i f. t. den opnåede energibesparelse. Derimod giver det god mening at skifte til energiruder, hvis vinduerne er i så dårlig stand, at de skal skiftes under alle omstændigheder. I tilfælde af udskiftning af enkelte nedslidte bygningsdele, som for eksempel tagdækning eller facadebeklædning, skal bygningsreglementets regel om rentabilitet af isoleringstiltag for den berørte bygningsdel efterleves.

Hvis energirenoveringen omfatter udskiftning af gulv, ydervægge, døre, vinduer eller tagkonstruktion skal enkeltkomponentforanstaltningerne overholde kravene til disses isoleringsbestemmelser i bygningsreglementets (BR10) kapitel 7 uanset rentabilitet.

I tabellen nedenfor (se næste side) er angivet løsninger, der ofte er rentable, hvis arbejdet er led i en renovering eller udskiftning. Data til tabellen er hentet fra bilag 6 til bygningsreglementet (BR10). I fastsættelsen af investeringen ved det energibesparende arbejde indgår kun materialer og arbejds løn. Andre udgifter til for eksempel tagdækning og stillads indgår ikke i beregningen, da disse under alle omstændigheder ville være knyttet til gennemførelsen af renoveringen eller udskiftningen.

De ofte rentable energirenoveringstiltag resulterer i U-værdier som oftest ikke er tilstrækkelig for at imødekomme kravene til lavenergiklasserne i bygningsreglementet udover etablering af VE-anlæg i form af varmepumper, solceller eller solvarme, jf. liste i afsnit 1.1 Energirenovering efter det danske bygningsreglement og tabel 1.

### 5.2 Attraktive renoveringsløsninger i f. t. produktions- og udførelsesmetoder

De ofte rentable energirenoveringstiltag er tiltag, som udføres manuelt på byggepladsen, hvor arbejdet strækker sig over en længere periode og kan være til stor gene for beboerne. Dette er også

Konstruktion	Nuværende tilstand		Handling	
	U-værdi [W/m <sup>2</sup> K]	Isolering [mm]	U-værdi [W/m <sup>2</sup> K]	Isolering [mm]
Fladt tag med tagpap <sup>1</sup>	> 0,2	≤ 200	0,15	250
Ydervægge af porebeton eller letklinkerbeton <sup>2</sup>	> 0,7	≤ 50	0,2	≥ 150
Uisoleret gulv, bjælkelag over uopvarmet kælder			?	Indblæsning i bjælkelag
Uisoleret gulv, Andre dæk over uopvarmede kældre	> 0,7	≤ 50	0,4	100
Uisoleret terrændæk			0,12	250 <sup>3</sup>

Ofte rentable løsninger ifm. udskiftning af enkelte nedslidte bygningsdele

<sup>1</sup> Det kan være, at den rentable løsning, ikke kan gennemføres fugtteknisk forsvarligt og skal i så fald ikke gennemføres.

<sup>2</sup> Normalt kun rentabelt i forbindelse med en renovering af f.eks. en skadet klimaskærm.

<sup>3</sup> Hvis terrændækket hugges op for f.eks. etablering af gulvvarme.





tilfældet, hvis bygningsdelens isoleringsevne øges ud over det rentable for at imødekomme et af kravene til energirammerne i bygningsreglementet.

Som alternativ til dette kan facadeelementer præfabrikeres og monteres i en effektiv proces. Præfabrikerede elementer kan laves som facadehøje elementer og er et yderst flexibelt system, som på alle måder lever op til nutidens krav om isoleringsevne, kort byggetid, kvalitet og økonomi. De præfabrikerede elementer leveres ofte på pladsen.

Præfabrikationen er en systematiseret proces med fokus på kvalitet. Alle elementer bliver testet på fabrikken inden levering. Denne kvalitetssikring giver en garanti for elementets isoleringsevne, diffusionsmodstand og levetid.

Byggetiden reduceres væsentligt ved brug af præfabrikerede elementer. Byggeprocessen består her i, at et støvtæppe (gipsplade) monteres indvendigt på facaden i lejligheder, mens den udvendige del af facaden demonteres, renses og klargøres til det præfabrikerede facadeelement. Elementerne bliver transporteret til byggepladsen og monteres med kran på facadens betonskelet.

Brugen af præfabrikerede facadeelementer mindsker risikoen for opfugtning af materialer i byggetiden, giver stor grad af kuldebrossikring og øger facadens lufttæthed, som alt sammen resulterer i et reduceret energibehov til opvarmning.

Den reducerede byggetid mindsker generne for beboerne og kan betyde, at genhusning enten undgås eller bliver væsentligt reduceret i tid. Dette medvirker til at reducere de økonomiske omkostninger for energirenoeringen og gør denne mere attraktiv for bygherren at udføre.

## 6. Forslag til økonomisk rentable benchmarks for energirenovering af etageboliger

Det stigende pres på de fossile brændsler, de stigende energipriser og den stigende globale ansvarlighed gør bygningers energimæssige ydeevne til et vigtigt emne ved design af nye bygninger og ved renovering af eksisterende bygninger.

Den langsigtede løsning på udfordringerne er, at udskifte de fossile brændsler med en kombination af energibesparende tiltag og anvendelse af vedvarende energi. Den økonomisk optimale løsning er balance mellem omkostningerne ved energibesparelser og omkostningerne til vedvarende energi.

En traditionel metode i renoveringssager er at konvertere de forventede energibesparelser til kroner og øre og beregne tilbagebetalingstiden. Hvis denne er kortere end bygningsdelens beregnede levetid anses investeringen for at være økonomisk rentabel. Denne og Bygningsreglementets måde at anskue rentabilitet på tager ikke højde for udviklingen i energipriser samt vedligeholdelse af og usikkerheden i bygningskomponenternes og systemernes levetid.

### 6.1 Forslag til metode for økonomisk rentable benchmarks

En anvendelig transparent metode for økonomisk rentable benchmarks for energirenovering af etageboliger er "Cost of Conserved Energy"-metoden (CCE-metoden). Metoden er en økonomisk model, som beregner kostprisen for at spare 1 kWh, og inkluderer forrentning af lån, levetid og energibesparelser af tiltag. Metoden gør det muligt at sammenligne energiprisen med kostprisen og synliggør dermed, hvorvidt tiltaget er rentabelt. Definitionen af CCE er:

Et tiltag er rentabelt, såfremt kostprisen for at spare 1 kWh (CCE) er lavere end energiprisen. Tiltag omhandlende klimaskærm (efterisolering af tag og ydervægge samt kældere) og vinduer samles under ét, mens solvarme og solceller behandles som enkeltstående tiltag.

I forhold til tiltagens levetid regnes der med levetider svarende til anbefalingerne i BR2010. Metoden er anvendelig til vurdering af langt størstedelen af de tiltag, der kan forventes anvendt ved renovering af etageboliger. Et af de tiltag, der imidlertid ikke dækkes af ovenstående metode, er beregning af rentabilitet for solceller. Med de nye regler pr. december 2012 for afregning af elproduktion fra solceller, er rentabilitetsberegningen heraf blevet mere kompleks. At vurdere hvorvidt dette tiltag vil være økonomisk rentabelt, kræver kendskab til det aktuelle forbrugsmønster på timebasis, eller en kvalificeret vurdering af samme.

$$CCE = \frac{n_r \cdot \left( \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n_r}} \right) \cdot I_{measure} + \Delta M_{year}}{p_1 \Delta E_{year} - p_2 \Delta E_{operation, year}}, \text{ hvor}$$

$n_r$	En ønsket reference periode for tiltaget tilbagebetalingstid [år]
$n_u$	Levetiden for tiltaget [år]
$d$	Renten [%]
$I_{measure}$	Investeringen [kr.]
$M_{year}$	Årlige vedligeholdelsesudgifter for tiltaget [kr.]
$p_1$	Primær energifaktor for energiforsyningstypen, f.eks. fjernvarme [-]
$p_2$	Primær energifaktor for energiforsyningstypen, f.eks. el [-]
$\Delta E_{year}$	Årlige energibesparelse [kWh]
$\Delta E_{operating, year}$	Årligt energiforbrug til elinstallationer som ventilation og pumper [kWh]



## Planlægning

I planlægningen af en renovering kan enkelttiltagene rangordnes efter størrelse af deres CCE. I planlægningen af energirenovering af bl.a. etageboliger skal alle tiltag, hvor CCE'en er lavere end energiprisen, implementeres. Dog er det vigtigt at planlægge for de øvrige urentable tiltag. I tilfælde af at energiprisen stiger ud over den forventede fremskrivning, vil det i mange tilfælde reducere investeringen af disse, når de efterfølgende skal implementeres.

## Fordele ved CCE metoden

Fordelen ved CCE metoden er dens uafhængighed af energipriser. Det betyder, at CCE'en kun behøver at blive beregnet én gang for identiske

konstruktionstyper på tværs af regioner eller lande. Den skal blot sammenholdes med stedets energipris. Dette fordrer dog, at investeringen og energibesparelsen er tilnærmelsesvis uændret.

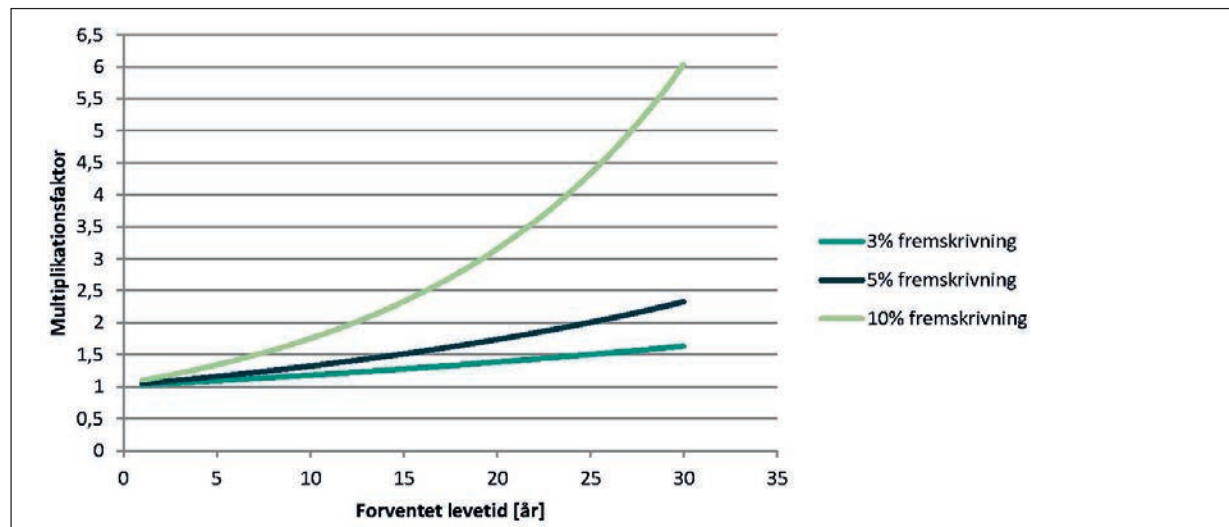
## Energipris

Ved sammenligning med energiprisen kan man vælge at sammenligne tiltagets CCE med den aktuelle energipris eller en vægtet energipris for tiltagets levetid. Ved at anvende den aktuelle energipris forudsættes det, at energiprisen er uændret over tiltagets levetid. Denne tilgang er god at bruge i den tidlige designfase, da den simplificerer analysen. Tendensen er dog, at energipriserne stiger over tid, hvilket også bekræftes af fremskrivninger fra Energistyrelsen. Energisty-

relsen<sup>2</sup> fremskriver prisen for opvarmning med 4,47 % og prisen for el med 2,23 % frem til 2020 eksklusiv inflation. Inflationen<sup>3</sup> har fra oktober 2011 til oktober 2012 for Danmark været på 2,3 %. Dette giver en samlet fremskrivning af energiprisen for varme på 6,77 % og 4,53 % for el i løbende priser. Hvis der tages udgangspunkt i fremskrivningen af energiprisen, skal den beregnede CCE for tiltaget sammenholdes med den vægtede energipris for tiltagets levetid.

I nedenstående figur er fremskrivninger af energiprisen med hhv. 3 %, 5 % og 10 % illustreret.

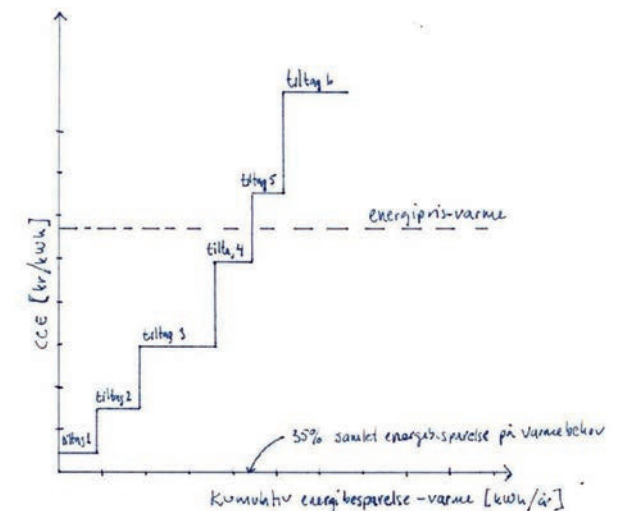
For et tiltag med en forventet levetid på 20 år og fremskrivning af energiprisen på 5 %, fås en mul-



Multiplikationsfaktor for 3 mulige fremskrivninger af energiprisen. X-aksen er tiltagenes forventede levetid og y-aksen er en multiplikationsfaktor.

<sup>2</sup> Prognose fra Energistyrelsen, April 2011.

<sup>3</sup> Danmarks Statistik: <http://www.dst.dk/pukora/epub/Nyt/2012/NR594.pdf>.



Eksempel på en kumulativ kurve for energibesparelser på varmebehovet.

tiplikationsfaktor på 1,7. Multiplikationsfaktoren skal ganges på den aktuelle energipris, hvorved den vægtede energipris for tiltagets levetid udledes. Energiprisen som sammenholdes med CCE-beregningen bliver dermed 1,7 gange større, hvilket betyder, at flere tiltag kan blive økonomiske rentable i energirenoveringen.

### Implementering af flere energirenoveringstiltag

Metoden kan udvides til at omhandle flere energirenoveringstiltag. Her opstilles enkelttiltags beregnede CCE i en kumulativ kurve med energibesparelser ud ad x-aksen og CCE op ad y-aksen, jf. figur.

Hvert tiltag repræsenterer et trin på kurven, hvor bredden af tiltaget repræsenterer energibesparelsen, mens højden repræsenterer CCE. Enkelttiltagene kan rangordnes i kurven efter størrelse af disses CCE, hvor tiltaget med den laveste CCE

indtegnes først. I kurven indtegnes ligeledes en vandret kurve med energiprisen for den tilhørende energivarmepris. Alle de tiltag, som ligger under kurven, implementeres i energirenoveringen, mens projektet planlægges og klargøres for de øvrige urentable tiltag. Dette kan f.eks. være ekstra plads til indvendig efterisolering, tomrør til f.eks. solcellekabler eller genbrug af regnvand samt f.eks. ekstra plads til ny fjernvarmeveksler. Fordelen ved denne metode er, at primæraksen viser den samlede rentable energibesparelse for samtlige rentable tiltag. Her er det vigtigt at kende bygningens beregnede energibehov før renovering.

Det er vigtigt, at grafen ikke indeholder overlappende energibesparende tiltag. Dette kunne være, hvis to forskellige fjernvarmevekslere eller varmtvandsbeholdere overvejes implementeret i projektet. Her skal tiltaget med den laveste CCE medtages i grafen.

Som hovedregel skal man altid i beregningen af energibesparelsen i denne metode antage, at tiltagene, som ligger under energiprisen, implementeres i energirenoveringen. Energirenoveringen skal som minimum føres op på et niveau, så det termiske, atmosfæriske og visuelle indeklima ikke forringes i forhold til før renoveringen, og det skal som minimum overholde de på det pågældende tidspunkt gældende bygningsreglement.

### Eksempel, beregning af CCE for energirenoveringstiltag for Langkærparken

Ud fra kendskab til lignende projekter udarbejdes der herunder en liste med mulige tiltag ud fra ovenstående metoder. Der tages udgangspunkt i klimarenoveringsprojektet Langkærparken, Aarhus, hvor der er udført en CCE-beregning for 3 af de implementerede tiltag for at se, om tiltagene har været økonomiske rentable ud fra CCE-metoden. Disse 3 tiltag er solceller, solvarme og facaderenoveringen. Data for beregningen ses af nedenstående tabel.

Produkt	Periode	Levetid	Rente	Investering*	Årlig vedligeholdelse**	Energimæssig besparelse***	Energimæssig driftsomkostning**	Primær energifaktor	Primær energifaktor	Energipris****	Cost of Conserved Energy
-	$n_r$	$n_u$	$d$	$I_{measure}$	$\Delta M_{year}$	$\Delta E_{year}$	$\Delta E_{operation, year}$	$p_1$	$p_2$	-	CCE
-	[år]	[år]	[-]	[kr.]	[kr./år]	[kWh/år]	[kWh/år]	[-]	[-]	[kr./kWh]	[kr./kWh]
Solceller	30	30	0,04	864.489	2.000	31.437	0	1,0	2,5	3,88	1,65
Solvarme	30	30	0,04	240.502	4.000	13.254	150	1,0	2,5	1,81	1,39
Facaderenovering	30	50	0,04	5.842.499	0	95.568	0	1,0	2,5	1,81	2,12

Data, CCE og den vægtede energipris for de 3 tiltag i energirenovering af Langkærparken.

\* Fra Licitationsresultatet

\*\* Vurderet af AW

\*\*\* Målte besparelse jf. monitoreringsrapport Langkærparken 2012

\*\*\*\* Gennemsnitlig energipris over perioden

<sup>4</sup> Natur-Energi A/S.

<sup>5</sup> "<http://www.elpristavlen.dk/Elpristavlen/Soegeresultat.aspx?kwh=4000&postnr=8000&netcompany=NrgiNet&customer-group=private&ratetype=FlatRate>" Den billigste elpris for Aarhus for elpristavlen.dk.

De centrale data er en levetid på imellem 30 år og 50 år, en investering imellem kr. 240.000 og kr. 6.000.000,-, en rente på investeringen på 4 % og en kapitalfremskrivning på energiprisen for varme på 6,77 % og 4,53 % for el. Energiprisen for el er kr. 1,90<sup>4</sup> og varme kr. 0,60<sup>5</sup>.

Beregningen viser, at det kun er kostprisen for at spare 1 kWh eller CCE'en for solceller og solvarme, som er lavere end energiprisen og dermed, at det er de to tiltag, som er økonomisk rentable.

## 7. Konklusion

I kapitel 1 er opstillet en række forhold, som bygherre skal være opmærksom før igangsætning af energirenovering af beboelsesbygninger. Dette omfatter bl.a. omfang og ambitionsniveau for renoveringen.

Regulativer for energirenovering af etageboliger i de nordiske lande har mange lighedspunkter, men adskiller sig også på enkelte interessante punkter. Blandt andet har man i Danmark konkretiseret et rentabilitetskriterium for energirenovering af enkeltkomponenter, mens man i Norge kun skal energirenovere de dele af klimaskærmen, som berøres under renovering. Mere interessant er det, at Sverige har indført en regel om monitorering af bygningernes behov for leveret energi efter endt renovering, hvor kommunen har mulighed for efterfølgende at kræve yderligere renoveringstiltag, hvis renoveringen ikke efterlever kravene i det svenske bygningsreglement.

I forskningsprojektet Task 37 "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation" under Det Internationale Energi Agenturs Solar Heating & Cooling program er beskrevet en renoveringsmetodik, som inddrager alle aspekter i en energirenovering. Projektet har en ambitiøs målsætning om en reduktion af bygningens energibehov med en faktor 4.

Med de korrektioner, der anvises i kapitel 2, er det muligt at foretage en omtrentlig sammenligning mellem målte energiforbrug for forskellige måleår. Med den øgede efterisolering har antallet af solskinstimer og dermed graden af passiv solvarme imidlertid også en indflydelse. Denne indflydelse forstærkes af den øgede anvendelse af solvarme og solceller. En vurdering af bygningens samlede

energipformance omfatter således i mange tilfælde både forbrug og produktion, hvilket kræver kendskab til mere end blot de aktuelle graddøgn. Kendskab til årets aktuelle solskinstimer er betydende for fastlæggelse af de energiproduktionsmæssige forhold, og en samlet analyse af bygningens energi performance bør derfor indeholde en korrektion i forhold til produktionen såvel som forbruget.

Analysen af resultaterne fra klimaprojekt Langkærparken i kapitel 3 viser, at en forudsigtelse af rumvarmebehovet ud fra korttids-evaluering med ½ års målinger er behæftet med usikkerheder på op til ca. 30 %. Usikkerheden bliver større, hvis der evalueres over endnu kortere perioder, og særligt hvis evalueringsperioden kun delvist strækker sig over en opvarmningsperiode.

For el-produktionen fra solceller er afvigelsen betydeligt mindre – kun ca. 7 %. Igen kræves der dog mindst en måling af el-produktionen i et halvt år med såvel lav som høj el-produktion for at kunne foretage en repræsentativ fremskrivning for hele måleperioden. At kunne udføre en fremskrivning med så lav usikkerhed som muligt, kræver desuden kendskab til solcelleanlæggets placering i forhold til skygge – enten fra andre solcellepaneler eller fra skyggende objekter i området, idet skygger og de tidspunkter over året, hvor solcellerne rammes heraf, har betydning for, hvorledes korttids-målingerne skal tolkes.

Endelig viser sammenstillingen af de beregnede og målte værdier for solcellebaseret el-produktion, at der generelt er god overensstemmelse mellem beregnede og målte værdier.

Som i mange andre situationer kan det konstateres, at et grundigt forarbejde med indregning af potentielle skygger og øvrige tabsgivende faktorer i solcelle-anlægget normalt vil give en god sammenhæng mellem beregnet og reel el-produktion.

I kapitel 4 er opstillet en sammenligning og vurdering af målte energibesparelser for klimablokken og målte energibesparelser i andre energirenoveringsprojekter i Danmark og udlandet. Sammenligningen inkluderer energibehov til husholdningsudstyr. De projekter, som Klimablokken sammenlignes med, er alle projekter, som var en del af Det Internationale Energi Agenturs Solar Heating & Cooling program Task 37 "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation". De udførte energirenoveringstiltag er meget sammenlignelige i projekterne, og usikkerhederne i data er opstillet.

Sammenligningen viser, at en ambition om en reduktion af bygningens energibehov med en faktor 4 er svær at imødekomme. Den typiske reduktionsfaktor ligger på mellem 2,2 og 3. Reduktionsfaktoren for Klimablokken er 2,2 (dog 2,9 for rumvarme alene).

Kapitel 5 gennemgår de ofte rentable energirenoveringstiltag i Bygningsreglementet BR10. Her er opstillet en række rentable tiltag for isolering af ydervægge, gulve og lofter/tage. Disse tiltag er som oftest ikke tilstrækkelige for at imødekomme kravene til lavenergiklasserne i bygningsreglementet.

Kapitlet gennemgår ligeledes et alternativ til traditionel renovering, nemlig en løsning baseret på præfabrikerede facadeelementer. Dette er et



fleksibelt system, som på alle måder lever op til nutidens krav om isoleringsevne, kort byggetid, kvalitet og økonomi. De præfabrikerede elementer leveres og monteres på pladsen. Fordelene herved er stor sikkerhed for tæthed og minimering af kuldebroer, byggetiden reduceres væsentligt og genhusningsperioden reduceres eller undgås helt, hvorved de økonomiske omkostninger for energirenoveringen reduceres.

I kapitel 6 er opstillet en anvendelig metode til økonomisk rentable benchmarks for energirenovering af etageboliger. Metoden hedder "Cost of Conserved Energy" (CCE), og er en økonomisk model, som beregner kostprisen for at spare 1 kWh. Metoden indregner forrentning af lån, energipriser, levetid og energibesparelser for de aktuelle tiltag. Metoden gør det muligt at sammenligne energiprisen med kostprisen og synliggør dermed, hvorvidt tiltaget er rentabelt. Dette er meget anvendeligt i planlægningen af energirenovering af etageboliger, hvor alle tiltag med en CCE, der er lavere end energiprisen, anbefales implementeret. Beregningerne viser f.eks., at både investeringen i solceller og solvarme er økonomiske rentable for Klimablokken.

Overordnet kan det konkluderes, at der i dag ikke findes en internationalt anerkendt metode til fastsættelse af benchmarks for energirenovering. Der findes imidlertid mange metoder, som er velegnede til optimering af energirenovering. Særligt velegnet er CCE-metoden, som muliggør sammenligninger både mellem forskellige tiltag og projekter og mellem projekter i forskellige lande.



# BILAG 1: GRADDØGNSIGNATURER MED GRADDØGNSKORRIGEREDE OPVARMNINGSBEHOV

