

Branchevejledning for energiberegninger



Forord

Denne branchevejledning er udarbejdet i InnoBYG regi, som er byggebranchens innovationsnetværk for bæredygtigt byggeri. Initiativet til branchevejledningen kommer fra byggebranchen selv. Ud over den tid og økonomi branchen har lagt i udarbejdelsen er vejledningen, som andre projekter under InnoBYG, støttet af Styrelsen for Forskning og Innovation.

Branchevejledningen for energiberegning retter sig mod renovering af bygninger, da det er initieret som et delprojekt under InnoBYG projektet 'Bæredygtig energirenovering', men den vil naturligt have stort overlap med beregning af energiforbrug ved nybyggeri. Således forventes metode og fremgangsmåde til både beregninger og vurdering af usikkerheder at være sammenfaldende.

Formålet med vejledningen er dels at få et oplæg til kommunikation mellem bygherre og rådgivere om energirenovering og at få en guide til udførelse af retvisende energiberegninger. Branchevejledningen henvender sig til bygherrer med både mindre og større bygningsporteføljer og til rådgivere, som leverer beregningsydelser i forbindelse med energirenoveringer.

Branchevejledningen skal skabe tillid til energiberegninger med øget gennemsigtighed i kommunikationen mellem bygherre og rådgiver og enighed om ensartet brug af metoder til udførelse af energiberegningerne på tværs i byggebranchen.

En projektgruppe bestående af InnoBYG-medlemmer fra byggebranchen, herunder bygherrer, rådgivere og vidensinstitutioner, har udarbejdet vejledningen. Gruppen består af:

Steffen E. Maagaard, MOE
Birgitte Friis Dela Stang, Alectia
Peter Noyé, Niras
Morten Zimmermann, EKJ
Timo Noe Darling Schröder, 3xB
Gunnar Bekker-Nielsen, DME Miljø
Kenneth Jørgensen, Jeudan ServicePartner A/S
Michael Nielsen, COWI
Nikolaj Haaning, Rambøll
Inge Ebbensgaard, FRI
Mikael Koch, Danske Ark
Thomas Rysgaard Jacobsen, Bygningsstyrelsen
Ditte C. Kruhøffer, Bygningsstyrelsen
Alaedin Seyedi, Bygningsstyrelsen
Rasmus Lund Jensen, AAU
Jørgen Rose, SBI
Søren Aggerholm, SBI
Lone Mortensen, SBI, projektleder

Branchevejledningen har desuden været i høring i en bredere kreds under InnoBYG.

Juni 2014

Indhold

Indledning	4
Metodik	5
Besigtigelse	5
Beregning	5
Beregning af den forventede energibesparelse ved renovering	6
Byggeriets typologi	6
Renoveringsomfang	6
Beregningsværktøj til beregning af energibesparelser	6
Boliger	6
Andet byggeri	7
Detaljeringsgrad (beregning snø-jagtighed)	8
Beregningsvejledning	9
Rapportering	11
Dokumentation	11
Standardforudsætninger	12
Fastlæggelse af kvalificerede inputparametre til beregning	13
Arealer (geometri)	13
Konstruktioner (ydervægge, tage, gulve, vinduer)	13
Brugstid (detaljeret)	14
Ventilation (type, luftmængder)	14
Internt varmetilskud (personer, udstyr)	14
Belysning (zoneopdelt, styring, optælling, klassificering)	15
Andet elforbrug (udendørs belysning, elevatorer, mv.)	16
Køling (mekanisk køling, COP)	16
Varmefordelingsanlæg (rørlængder, placering, isolering)	16
Pumper (typer, drift)	16
Varmt brugsvand (beholder, fordeling, pumper)	16
Varmeinstallation (type, effekt, effektivitet)	16
El- og varmeproduktion (PV, vindmøller, solvarme)	16
Bygningsdrift (styring, CTS, m.m.)	16
Følsomhedsanalyser (vejr, brugstid, usikkerheder på ovenstående) ..	17
Rapportering af usikkerhed og scenarier	18
Evaluerings (målt forbrug sammenlignet med beregnet)	20
Bilag 1: Beregningseksempel	21
Energibesparende tiltag	21
Følsomhedsanalyse	22
Bilag 2: Graddøgn for klimaskærm og ventilation	24
Usikkerheder ved energiberegning	25

Indledning

Der er stort fokus på energieffektivisering af den eksisterende bygningsmasse, hvilket giver anledning til øget efterspørgsel efter retvisende energiberegninger, som kan benyttes til estimering af energiforbrug og -besparelser forbundet med renoveringer.

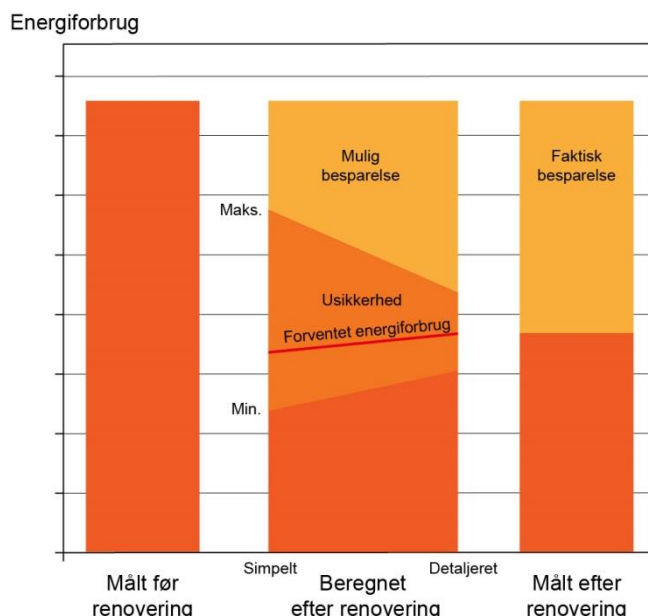
Forventninger til energibesparelser og til fremtidigt energiforbrug anvendes til fordeling af midler til investering og energibesparelser og i vurderingen af renoveringens rentabilitet.

Erfaringer har generelt vist, at estimater af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med renoveringer har været forbundet med store usikkerheder – usikkerheder af en sådan grad, at det udgør en barriere for effektiv og troværdig gennemførelse af energirenoveringer i større omfang.

Denne branchevejledning for energiberegninger og den tilhørende introduktion for bygningsejere forklarer og anviser en proces samt en metode for at opnå mere retvisende estimater af energiforbrug og -besparelser.

Branchevejledningen tager udgangspunkt i en proces, hvor bygningsejeren (bygherre) og rådgiver har mulighed for at opbygge en større fælles forståelse af behov, betydende forudsætninger og usikkerheder forbundet med energiberegninger, som ligger til grund for estimater for energiforbrug og -besparelser.

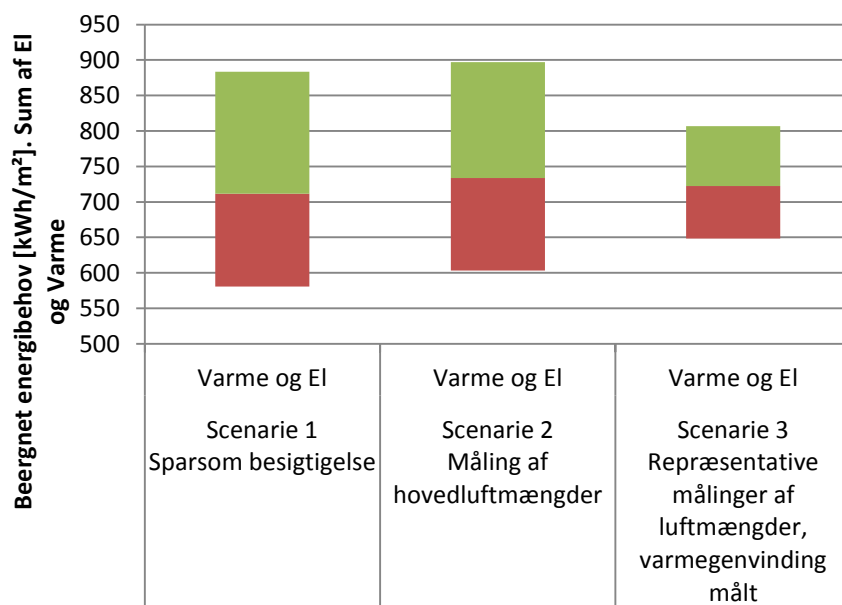
Metoden tager udgangspunkt i en kvalificering af ellers allerede kendte beregningsmetoder og værktøjer. Detaljeringsgraden justeres i forhold til det aktuelle vidensniveau, som kan øges ved eksempelvis registreringer, som også mindsker usikkerhederne, se Figur 1.



Figur 1. Beregning af et kommende energiforbrug vil være forbundet med en vis usikkerhed i forhold til et kommende energiforbrug målt efter energirenovering.

Værktøjer strækker sig fra simple korrigerede graddøgnsmødelser til Be10-beregninger, som er kvalificerede på væsentlige områder. Her tænkes der særligt på styring og regulering af tekniske installationer på basis af dynamiske analyser af indeklimate eller fra målinger.

Estimaterne angiver en middelværdi for det forventede energiforbrug eller tilsvarende energibesparelse, som altid angives med en tilhørende variation (usikkerhed). Middelværdi og variation kan ved yderligere kvalificering af væsentlige udvalgte forudsætninger justeres og reduceres, så en større sikkerhed kan opnås gennem eksempelvis mere detaljerede registreringer/målinger eller kvalificering af reelle driftsforhold. Herunder vises et eksempel på kvalificering af en beregning, hvor middelestimatet er linjen mellem den røde og den grønne kasse, se Figur 2. Den røde og grønne kasse angiver usikkerheden, som kan reduceres væsentligt. Eksemplet beskrives nærmere i afsnittet, *Rapportering af usikkerheder og scenarier*.



Figur 2. Gennem mere detaljerede registreringer/målinger eller kvalificering af reelle driftsforhold kan usikkerheden (rød og grøn kasse) justeres og reduceres, så en større sikkerhed kan opnås.

Metodik

Besigtigelse

Ved mere komplekse arbejder, hvor en højere grad af præcision er krævet i forhold til både forudsætninger og resultater, indledes arbejdet med en fysisk besigtigelse af byggeriet for at fastlægge nøgleparametre for konstruktioner, installationer og bygningens anvendelse. Besigtigelsen er ikke en enkeltstående aktivitet, men skal ses som supplement til de øvrige beregningstekniske aktiviteter.

Beregning

Beregning af den forventede energibesparelse foretages på baggrund af metoden, der er beskrevet i det følgende. Valg af beregningsmetode og nødvendig detaljeringsgrad afhænger helt af omfang og viden om den konkrete renovering.

Beregningsmetodikken giver anledning til en forventet median for energibesparelsen, hvortil der tillægges en usikkerhed. Usikkerheden på den fundne median for energibesparelsen findes efterfølgende på basis af forskellige niveauer af følsomhedsanalyser.

Beregning af den forventede energibesparelse ved renovering

Byggeriets typologi

Metoden opdeles afhængig af bygningens typologi:

1. Boliger
2. Andet, herunder kontor, skoler og institutioner.

Renoveringsomfang

Renovering af bygninger kan foretages i forskelligt omfang. Det vil sige, at der i nogle bygninger måske kun foretages energiforbedringer på en enkelt bygningsdel, mens der i andre bygninger foretages energiforbedringer på flere bygningsdele (eller installationer). Slutteligt haves også større gennemgribende renoveringer, hvor en stor del af bygningens klimaskærm og/eller tekniske installationer renoveres.

Beregningsværktøj til beregning af energibesparelser

Til beregning af den forventede energibesparelse ved et eller flere renoveringstiltag, findes en række forskellige metoder og værktøjer, fx simple beregninger i regneark eller mere detaljerede beregninger i Be10, hvor indgående parametre eventuelt kan kvalificeres med mere detaljerede simuleringprogrammer som for eksempel BSim.

Omfanget af en renovering kan opdeles i renoveringer, der omfatter isolerede enkelttiltag, og renoveringer, som omfatter kombinerede tiltag. Fordelingen heraf varierer for henholdsvis boliger og andet byggeri.

Enkelttiltag: Tiltag, som reelt udføres enkeltstående eller kombinationer af tiltag. Enkelttiltag opgøres i to kategorier:

1. Tiltag, hvor energibesparelserne kan beregnes enkeltvis og derefter eventuelt adderes, dvs. er indbyrdes uafhængige.
2. Tiltag, som påvirker hinanden i en grad, så energibesparelserne ikke uden videre kan adderes, og i dette tilfælde skal der regnes som kombinerede tiltag.

Kombinerede tiltag: Tiltag, som, når de gennemføres sammen, påvirker de opnåede energibesparelser indbyrdes. Dette kan for eksempel være udskiftning af vinduer kombineret med etablering af mekanisk ventilation.

Valget af beregningsværktøj afhænger blandt andet af, om energirenoveringen omfatter enkelttiltag eller kombinerede tiltag.

Boliger

Simple/Enkelttiltag

Tabel 1 viser en oversigt over tiltag, som umiddelbart er indbyrdes uafhængig eller af hinanden. Det vil sige, tiltag hvor effekten kan beregnes simpelt og senere hen adderes. Hvis tiltagene er afhængige af hinanden skal effekten beregnes mere detaljeret, for eksempel ved brug af Be10 eller tilsvarende beregningsprogrammer.

Tabel 1. Liste over enkelttiltag til energirenovering boliger.

Tiltag	Uafhængig
Klimaskærm	
Efterisolering af klimaskærm	X*
Efterisolering af en mindre del af ydervæggens areal	X
Udskiftning af ruder	X
Udskiftning af vinduer	X*
Efterisolering af tag	X
Installationer	
Udskiftning af pumper	X
Efterisolering af rør	X
Udskiftning eller efterisolering af VVB/veksler	X
Udskiftning af ventilationsaggregater og udsugningsventilatorer	X
Udskiftning af varmforsyning	X*
Energiproduktion	
Vandbåren solvarme	X
Solceller	X

* Disse tiltag kan ikke kombineres med andre tiltag og kan kun beregnes simpelt, hvis det er et enkeltstående tiltag. Ved kombination med andre tiltag skal det regnes som kombinerede tiltag.

I det omfang enkelttiltag eller kombinationer heraf påvirker klimaskærmens tæthed eller det termiske indeklima, skal der foretages separate detaljerede analyser (Be10 eventuelt suppleret med dynamiske analyser) heraf.

Kombinerede tiltag

Kombinationer indeholdende afhængige tiltag og/eller elementer, der ikke er nævnt i tabellen, skal regnes som kombinerede tiltag. Eksempler på sådanne kombinationer kan være:

- Udskiftning af fordelingsanlæg (radiator til gulvvarme – luftvarme til vandbåret varmesystem)
- Etablering af mekanisk ventilation
- Geometriske ændringer
- Ændring af glasarealer.

Andet byggeri

Simple/Enkelttiltag

Tabel 2 viser en oversigt over indbyrdes uafhængige tiltag for andet byggeri.

Tabel 2. Liste over enkelttiltag ved energirenovering af byggeri, herunder kontor, skoler og institutioner.

Tiltag	Uafhængig
Klimaskærm	
Efterisolering af en mindre del af ydervæggens areal	X
Efterisolering af tag	X
Installationer	
Udskiftning af pumper	X
Efterisolering af rør	X
Udskiftning af ventilationsaggregater og udsugningsventilatorer	X
Udskiftning af kedel til samme brændsel	X*
Energiproduktion	
Solvarme	X
Solceller	X

* Disse tiltag kan ikke kombineres med andre tiltag og beregnes som enkelttiltag.

I det omfang enkelttiltag eller kombinationer heraf påvirker tæthed eller indeklima skal der foretages separate detaljerede analyser heraf (Be10 evt. suppleret med dynamiske analyser).

I forbindelse med renovering og/eller udskiftning af belysningsanlæg er det muligt at regne dette som et simpelt tiltag. Ved beregning af den forventede energibesparelse vil denne dog kun omfatte elbesparelsen for belysningsanlægget. Vurderingen af den samlede energibesparelse vil derfor være upræcis, idet det forventede forøgede varmebehov ikke tages i regning.

Kombinerede tiltag.

Kombinationer af ovenstående og/eller elementer, der ikke er nævnt under enkelttiltag, skal regnes som kombinerede tiltag. Eksempler på sådanne kan være:

- Udskiftning af fordelingsanlæg (radiator til gulvvarme – luft til vand)
- Etablering af ventilation (herunder naturlig ventilation)
- Geometriske ændringer
- Udskiftning af ruder/vinduer
- Ændring af glasarealer
- Etablering af solafskærmning
- Ændring af ventilationsmængder
- Etablering af køling
- Udskiftning af belysningsanlæg
- Etablering af styring og regulering på belysningsanlægget.

Detaljeringsgrad (beregningens nøjagtighed)

Kompleksiteten af den forestående renovering har betydning for hvor detaljeret en beregning, der skal foretages. Derfor opdeles de tilgængelige beregningsværktøjer/metoder i to kategorier: 'simpel' og 'avanceret'.

Simpel

Der foretages en håndberegning af den forventede energibesparelse baseret på viden om konstruktionens/installationens energirelaterede egenskaber før og efter renovering. De klimatiske forhold for inde- og udeklimaet baseres på årsvariationer. Et eksempel på dette kunne for eksempel være grad-døgnmetoden eller vurdering af energibesparelsen ved hjælp af vinduers energibalance (E_{ref}).

Avanceret

Der foretages en detaljeret beregning af den forventede energibesparelse baseret på en detaljeret beregningsmodel af bygningens energimæssige egenskaber før og efter renovering. Heri medtages både renoverede konstruktioner/installationer og ikke-renoverede konstruktioner/installationer. Ligeledes medtages påvirkninger fra udluftning, varmeafgivelse fra personer/udstyr m.m. De klimatiske påvirkninger fra indeklima og udeklima medtages om nødvendigt på timebasis. Eksempel på et værktøj, der vil kunne benyttes til at beregne forventede energibesparelse, er Be10, hvor beregningen dog kvalificeres med forbedrede data for luftmængder baseret på indeklimasimuleringer med eksempelvis BSim.

De forskellige værktøjers anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang er vist i Tabel 3.

Tabel 3. Beregningsværktøjers anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang.

Beregningsmetode	Enkelt tiltag	Kombinerede tiltag
Simpel beregning (estimat)	Graddøgn E_{ref}	Be10
Avanceret beregning	Korrigeret graddøgn Korrigeret E_{ref} Elbesparelse	Alle tiltag Be10: Energi (udvidet) Kvalificeret med eksisterende forbrug Kvalificeret med detaljeret viden om anvendelse og belastninger Ventilation kvalificeret med supplerende analyser af luftmængder og SEL og hhv. vinter og sommer

Beregningsmetodikken opdeles for en række af analyserne i beregninger for forskellige bygningstypologier – herunder boliger, erhverv og skoler.

Beregningsvejledning

Beregningsværktøjerne inklusiv deres begrænsninger og eventuelt tilpasninger beskrives i det følgende.

Enkelt tiltag - simpel

Klimaskærm <i>Graddøgn</i>	Beregning af energibesparelse baseres på graddøgnmetode. Som gennemsnit kan benyttes 3.000 graddøgn/år – eller 72.000 gradtimer. U-værdi før/efter renovering beregnes, og derefter beregnes energibesparelsen som følger: $(U_{før} - U_{efter}) \times 90,36$ [kWh/år pr. m ²]. Metoden kan anvendes i bygninger med opvarmningsbehov i perioden medio september til medio maj og ved en rumtemperatur på 20 °C. Såfremt indetemperaturen afviger fra dette, skal antallet af graddage/gradtimer korrigeres, se Bilag 2 for uddybning.
Vinduer og ruder E_{ref}	Beregning af energibesparelse baseres på beregning af energibalancen for vinduer, dvs. E_{ref} . Følgende formler benyttes i forhold til vinduets orientering: <p style="margin-left: 40px;"> Nord: $104,5 \times g_w - 90,36 \times U_w$ [kWh/m²] Øst/vest: $232,1 \times g_w - 90,36 \times U_w$ [kWh/m²] Syd: $431,4 \times g_w - 90,36 \times U_w$ [kWh/m²] hvor g_w er vinduets g-værdi dvs. korrigeret for andel af ramme/karm U_w er vinduets U-værdi </p> <p>U-værdierne for vinduerne før/efter renovering beregnes/fastlægges, og derefter beregnes den samlede energibesparelse som forskellen på de nye og gamle vinduers samlede energibalance, dvs. som følger: $\Delta E_{ref,efter} - \Delta E_{ref,før}$</p> <p>Metoden kan anvendes i bygninger med opvarmningsbehov i perioden medio september til medio maj og ved en rumtemperatur på 20 °C.</p>

Enkelt tiltag – avanceret

Klimaskærm
Graddøgn
(udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en udvidet graddøgnsmetode. Heri er antallet af graddage (eller gradtimer) beregnet efter bygningens/rummets aktuelle indetemperatur i fyringssæsonen, eller hvis der ikke haves information, kan der anvendes værdier fra Tabel 5. Ud over dette er beregningsprincippet som for den almindelige graddøgnsmetode.

Energibesparelsen korrigeres i forhold til eventuelt virkningsgrad på opvarmningssystemet (fx kedelvirkningsgraden).

Metoden kan anvendes til årlige energiberegninger i bygninger med opvarmningsbehov.

Vinduer
 E_{ref} (udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en udvidet beregning af energibalancen for vinduer, E_{ref} . Heri er antallet af gradtimer beregnet efter bygningens/rummets aktuelle indetemperatur i fyringssæsonen. Ud over dette er beregningsprincippet som for den almindelige beregning af energibesparelse.

Energibesparelsen korrigeres i forhold til evt. virkningsgrad på opvarmningssystemet.

Metoden kan anvendes til årlige energiberegninger i bygninger med opvarmningsbehov (såfremt solindstrålingsdata kan findes for perioden).

Ventilationsanlæg

Beregning af energibesparelse baseres på registrering af specifikt elforbrug til lufttransport (SEL-værdi) og effektivitet af varmeveksler før renovering samt estimeret elforbrug og effektivitet af varmeveksler efter renovering.

Elforbrug til lufttransport baseres på kvalificeret viden om luftmængder for ventilationsanlægget samt tilhørende effektforbrug. Effektivitet af varmeveksler baseres på måling af lufttemperatur i indtag og afkast, hvoraf varmegenvindingsgraden kan udregnes.

Kombinerede tiltag – simpel

Alle tiltag
Be10

Beregning af energibesparelse baseres på en beregning foretaget i programmet Be10. I beregningsprogrammet opbygges en model af det aktuelle rum/bygningsudsnit eller bygning inklusiv beskrivende parametre for konstruktioner (U-værdi) og installationer. I øvrigt forudsættes standardforudsætninger, jf. SBI-anvisning 213 med undtagelse af parametre nævnt i Tabel 5.

Kombinerede tiltag - avanceret

Alle tiltag
Be10 (udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en beregning foretaget i programmet Be10. I beregningsprogrammet opbygges en model af det aktuelle rum/bygningsudsnit eller bygning inklusiv beskrivende parametre for kon-

struktioner (U-værdi) og installationer. Modellen suppleres med data for aktuelle forhold eller ved anvendelse af standardforudsætninger (Tabel 5).

Ventilationsmængder er kvalificeret med forbedret data for luftmængder baseret på indeklimasimuleringer med eksempelvis BSim. Interne varmelaster (personer og udstyr) kvalificeres med forbedret data i forhold til antal personer samt mængden af varmeafgivende udstyr. Specifikt kan man under de detaljerede forbrug i Be10 se betydningen af ændringen i indtastninger, således den ønskede justering kan opnås.

Der skal udføres en følsomhedsanalyse af resultaterne i forhold til kritiske inddata.

Metoden kan anvendes i alle bygninger.

Rapportering

De beregnede forventede energibesparelser inklusiv usikkerheder rapporteres, så det efterfølgende er muligt at identificere såvel registreringer, forudsætninger og beregningsmetode. Resultatet i form af energibesparelsen inklusiv usikkerheden på beregningen af denne skal også indgå i rapporteringen.

Rapporteringen skal samtidig redegøre for ændringer i:

- Funktionalitet
- Brug
- Indeklima.

Den samlede redegørelse adresserer også andre værdier opnået i forbindelse med renoveringen og beskriver således også andre elementer i renoveringen, hvad enten de påvirker energibehovet eller er andre sideeffekter, som forbedrede indeklimaforhold.

Dokumentation

I forbindelse med beregning af den forventede energibesparelse ved energirenovering udføres dokumentation, som redegør for den betragtede bygnings energitekniske aspekter før og efter renovering, forudsætninger og metode anvendt ved beregningen samt de fundne resultater.

Oversigt over hvilke oplysninger, dokumentationen skal omfatte, fremgår af Tabel 4.

Tabel 4. Oversigt over oplysninger, som skal indgå ved dokumentation af den forventede energibesparelse ved en energirenovering.

Dokumentationsforhold	Beskrivelse
Bygningsdata	Benævnelse
	Adresse
	Areal, BBR
	Areal, opvarmet kælder
	Etager over jord
Bygningstilstand før renovering	Beskrivelse af klimaskærm
	Beskrivelse af installationer
Registrering af forbrugs- og indeklimadata før renovering	Varmeforbrug, graddagekorrigeret
	El-forbrug til bygningsdrift
	El-forbrug, øvrigt
	Redegørelse for indeklimaets kvalitet
Gennemførte energitiltag	Beskrivelse af de gennemførte energitiltag
Anvendelse	Beskrivelse af bygningens anvendelse før og efter renovering
Redegørelse for anvendt beregningsmetode	Forudsætninger
	Beregninger
Energiforbrug	Beregnet energiforbrug før renovering
	Beregnet energiforbrug efter renovering,
	inkl. følsomhedsanalyse af relevante parametre

Standardforudsætninger

I Tabel 5 er opstillet standardforudsætninger for energitekniske beregninger. Det vil sige værdier, som kan anvendes, hvis der ikke eksisterer kvalificeret viden, målinger eller lignende for de pågældende parametre.

Tabel 5. Standardforudsætninger for beregning af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med energirenovering af bygninger.

	Bolig	Andet			
Brugstid:	168 timer/uge	50 timer/uge			
			W/m ²	Pers.	Udstyr
Internt varmetilskud:	1,5 W/m ² for personer og 3,5 W/m ² for apparatur	Cellekontor	6,75	5,25	
		Storrumskontor	7,2*	5,6	
		Møderum	27	3	
		Undervisning	31,5	3	
Varmt brugs- vand:	41 l/person pr. dag	Skoler, universiteter: 6 l/person pr. dag Kontorer: 8 l/person pr. dag			
Indetemperatur:	23 °C	22 °C			

* Eks. de 7,2 W/m² fremkommer som: 90 W/person × 80 % samtidighed/10 m²/person.

I det omfang brugeradfærd fordrer, at udstyr er tændt udenfor brugstiden, bør dette afspejle sig i beregningerne, så der medtages en varmelast fra udstyr uden for almindelig brugstid.

Fastlæggelse af kvalificerede inputparametre til beregning

Hvis der skal gennemføres en mere detaljeret og nøjagtig fastlæggelse af energiforbruget før/efter energirenovering – og dermed den forventede energibesparelse – skal de væsentlige inputparametre i beregningerne kvalificeres. Hvilke parametre, der er relevante at kvalificere, vil afhænge af den konkrete energirenovering, og den senere følsomhedsanalyse viser hvilke parametre, der giver størst usikkerhed på resultaterne.

I det følgende gennemgås, hvordan de enkelte inputparametre kan kvalificeres. Der er sat fokus på kontorbyggeri, fordi det oftest vil være mere vanskeligt (og dermed nødvendigt) at kvalificere input for denne type byggeri.

Arealer (geometri)

Det opvarmede etageareal bestemmes efter Bygningsreglementets regler. Allerede her kan det være en fordel at opdele arealerne i zoner, så dele af bygningen med samme brug (kontor, storrumskontor, mødelokale, gangareal m.m.) fastlægges.

Uopvarmede rum, fx kældre eller lignende, medtages i beregningen.

Arealer af bygningsdele fastlægges på baggrund af retningslinjer i DS 418 for bestemmelse af transmissionsarealer.

Konstruktioner (ydervægge, tage, gulve, vinduer)

Konstruktioners opbygning, isoleringsgrad og dermed U-værdier m.m. har væsentlig betydning for bygningens energiforbrug og dermed også for besparelsespotentialitet i forbindelse med for eksempel efterisolering. Konstruktionernes opbygning kan ikke altid fastlægges ved besigtigelse eller gennemgang af eventuelt tegningsmateriale. Dermed kan der være behov for at benytte et kvalificeret skøn baseret på erfaringer eller tidstypiske konstruktioner. I det følgende er givet et eksempel på, hvordan U-værdien kan fastlægges for en konstruktion, som ikke umiddelbart kendes. Der er anvendt data fra *Håndbog for Energikonsulenter* (www.maerkdinbygning.dk).

Træbjælkelag med gulv i loftrum; bygning – 1960

Forudsætning: Bjælkelag ikke tilgængeligt. Muligvis er der indblæst isolering under gulv.

Tabel 6. U-værdier for forskellige typiske etageadskillelser med træbjælkelag, hvor der er regnet midelværdi og spredning. Kilde: *Håndbog for Energikonsulenter* (www.maerkdinbygning.dk).

Beskrivelse	U-værdi	Note
Træ på bjælker	1,90	Brædder på bjælker uden isolering
Træ på bjælker m. (lerindskud)	1,50	Brædder på bjælker med lerindskud
Træ + tæppe på bjælker m. lerindskud	1,30	Brædder og tæppe på bjælker med lerindskud uden isolering
Træ / bjælker - 50 mm	0,60	Brædder på bjælker med 50 mm isolering
Bjælkelag uisolere	1,21	Uisolere bjælkelag med brædder og beklædt underside
Maks.	1,90	
Middel	1,30	
Min.	0,60	
Spredning	0,47	

Tabel 6 viser, at den gennemsnitlige U-værdi for konstruktionen er 1,30 W/m²K og samtidig er spredningen et udtryk for, hvor stor en usikkerhed, der er på værdien. Ved at gennemføre en beregning for hvert af de tre tilfælde

('maks.', 'middel' og 'min. '), kan man fastlægge usikkerheden på beregningen af den forventede besparelse.

Lignende kan opstilles for andre typer konstruktioner.

Brugstid (detaljeret)

Brugstiden for bygningen kendes måske allerede eller kan kortlægges på baggrund af bygningens brugsmønster inden energirenoeringen. Det er vigtigt, at der tages hensyn til både den almindelige brugstid for bygningen, men også den brugstid, der ligger ud over almindelig arbejdstid (rengøring, særlige arrangementer m.m.)

Hvis brugsmønstret ændres i forbindelse med energirenoeringen, fx i forbindelse med at bygningen overtages af en ny lejer eller skifter anvendelse, er det vigtigt at fastlægge den forventede nye brugstid i bygningen så præcist som muligt. Dette gøres formentlig bedst i samarbejde med den nye bruger.

Ventilation (type, luftmængder)

Hvis ikke der er information tilgængelig vedrørende ventilationssystemet, kan man anvende samme metode, som for konstruktioner, dvs. ved at antage typiske forhold for bygninger fra bestemte perioder. Data kan findes i *Håndbog for Energikonsulenter*. Dette er dog forbundet med væsentlige usikkerheder, og derfor bør man så vidt muligt fastlægge hvilken type system, der er tale om, for eksempel naturlig ventilation, mekanisk udsugning eller balanceret mekanisk ventilation evt. med varmegenvinding, og hvor store luftmængder, der fjernes/tilføres, samt hvor utæt bygningens klimaskærm er.

Beregning af energiforbrug og -besparelse baseres på vægtede middelværdier for varmegenvinding, luftmængder og SEL-værdier over henholdsvis opvarmingsperiode og sommerperiode. Bestemmelse af middelværdier for luftmængder og SEL-værdi kræver detaljeret viden om ventilationen ved fuld- og dellast samt detaljeret viden om regulering og styring over året. For at opnå stor sikkerhed bør luftmængder og driftsforhold belyses med spotmålinger af maksimale luftmængder og længerevarende målinger over alle repræsentative driftsforhold, da det er nødvendigt for at belyse variationen i driftsforhold. Alternativt kan driftsforholdene bestemmes ud fra dynamiske indeklimatekninger af typiske rum og orienteringer. Ved ekstrapolation af resultaterne fra disse beregninger kan der dannes et billede af hele bygningens driftsforhold, og dermed kan vægtede middelværdier for luftmængder og SEL-værdier bestemmes.

I det omfang driftstider for anlæg er længere end den for bygningens ellers forudsatte brugstid skal anvendelsesfaktoren F_0 korrigeres i forhold hertil. For eksempel $F_0 = 1,1$, hvis ventilationsanlæggene starter en time inden medarbejderne møder, og måske samtidig har et efterslæb fra de har forladt bygningen.

I forbindelse med registrering af eksisterende anlæg inkluderes en vurdering af driften af eventuel recirkulation og den reelle effektivitet af eventuel varmegenvinding.

Internt varmetilskud (personer, udstyr)

Det interne varmetilskud fra personer og udstyr har væsentlig betydning for bygningens varmebalance. I sommerperioden kan et stort internt varmetilskud medføre overtemperaturer og behov for køling, mens det om vinteren

kan medvirke til opvarmning af bygningen, og dermed en reduktion af den varmemængde, der skal leveres af varmeanlægget.

For personer kan der regnes med et internt varmetilskud på 90 W/person. I for eksempel kontorbygninger, er det nødvendigt at tage hensyn til at ikke alle personer er til stede på samme tid. Dette kan gøres ved at gange en faktor på varmetilskuddet svarende til tilstedeværelsen for hver person, se Tabel 8.

For udstyr laves en samlet opgørelse for bygningen. Heri tages der hensyn til alt elektrisk udstyr som afgiver varme til omgivelserne, dvs. computere, skærme, printere, kopimaskiner, køkkenmaskiner osv. Ligesom for personer skal der tages hensyn til den relative driftstid af udstyret i forhold til bygningens brugstid.

Tabel 7. Eksempler på typiske varmeafgivelser fra udstyr og personer.

Personer/udstyr	Elforbrug
Person	90 W
Bærbar computer:	30 W
PC-skærm:	20-40 W
Stationær computer:	80 W
Arbejdslampe:	1 W/m ²

Tabel 8. Eksempler på typiske persontætheder og samtidigheder i forskellige rumtyper.

	Persontæthed	Samtidighed
Cellekontor	12 m ² /pers.	90 %
Storrumskontor	10 m ² /pers.	80 %
Møderum	3 m ² /pers.	60 %
Undervisning	3 m ² /pers.	70 %

Belysning (zoneopdelt, styring, optælling, klassificering)

Elforbruget til almenbelysning bestemmes ud fra den installerede effekt og driftstiden under hensyn til styringen af belysningen. Ved bestemmelse af den installerede effekt indgår også elforbruget til for eksempel forkoblinger og automatik. Den faktiske driftstid for almenbelysningen antages at afhænge af dagslystilgang. Ved bestemmelse af elforbruget kan rummene opdeles i belysningszoner med forskellig dagslystilgang, fx afhængigt af arbejdspladsernes placering og belysningsanlæggets zoneopdeling. Ved installering af dagslysstyring i eksisterende ejendomme bør der foretages en analyse af, i hvilket omfang bygningens eksisterende dagslysforhold reducerer effekten af dagslysstyring.

Data for eksisterende anlæg bestemmes mest korrekt ved registrering af typer og omfang. Hvis det ikke er muligt at fastlægge belysningen i bygningen, kan der anvendes samme metode som for konstruktioner, dvs. at indtastningen baseres på data fra *Håndbog for Energikonsulenter*. Denne metode er forbundet med meget store usikkerheder.

I forbindelse med reovering af belysningsanlæg konstateres ofte, at eksisterende anlæg ikke realiserer det belysningsniveau i de enkelte rum, som lever op til normkrav. Således kan det forekomme, at energiforbruget til belysning reelt stiger i forbindelse med reovering. Det forøgede energiforbrug kan i den forbindelse henføres til forbedret komfort.

Andet elforbrug (udendørs belysning, elevatorer, mv.)

Elforbruget til for eksempel udendørs belysning, elevatorer m.m. indgår ikke i den almindelige Be10-beregning, men de enkelte forbrug bør medtages i den samlede opgørelse for bygningen. Fastlæggelse af individuelle forbrug kan typisk foretages ved besigtigelse af systemerne og vurdering af brugs-mønstre.

Der findes for eksempel en standard (DS/EN ISO 25745-1:2012), hvoraf det forventede energiforbrug til elevatorer i en bygning kan beregnes.

Køling (mekanisk køling, COP)

Hvis der er installeret mekanisk køling i bygningen, indtastes de relevante data for anlægget i beregningen. Det bør undersøges, hvorvidt anlægget fortsat yder den effektivitet, som er opgivet ved installationen.

Varmefordelingsanlæg (rørlængder, placering, isolering)

Rørlængder, placering og isoleringsgrad fastlægges ved besigtigelse. Hvis besigtigelse ikke er mulig, kan der normalt regnes med:

Vandret: 2 x bygningens omkreds pr. etage

Lodret: 4 x bygningens samlede højde

Bemærk, at der i opgørelsen kun indgår rør uden udetemperaturkompensering samt alle rør uden for den opvarmede del af bygningen.

Pumper (typer, drift)

Pumpetyper og driftsforhold angives for samtlige pumper i varmfordelingsanlægget. Der bør være opmærksomhed omkring driftstider på for eksempel backup-pumper og lignende. I øvrigt kan der findes eksempler på typiske pumper i *Håndbog for Energikonsulenter*.

Varmt brugsvand (beholder, fordeling, pumper)

Beholderstørrelse, fordeling og pumper indtastes.

Ved fastsættelse af forbrug af varmt brugsvand bør der tages hensyn til, om bygningen indeholder badefaciliteter eller industrikøkkener, og der bør være fokus på antallet af personer i bygningen fremfor størrelsen af bygningen. Hvis ikke bygningen skifter anvendelse eller ejer/lejer i forbindelse med energirenoveringen, vil forbruget af varmt brugsvand formentlig være nogenlunde konstant, og dermed vil det ikke påvirke beregningen af energibesparelsen.

Varmeinstallation (type, effekt, effektivitet)

Varmeinstallationens effektivitet er væsentlig for energiforbruget til varmt brugsvand og varme i bygningen. Hvis ikke installationen er kendt, kan den fastlægges på baggrund af samme metode som for konstruktioner, dvs. ved at tage udgangspunkt i typiske varmeinstallationer fra *Håndbog for Energikonsulenter*.

El- og varmeproduktion (PV, vindmøller, solvarme)

Eventuel el- eller varmeproduktion indtastes i beregningen. Hvis der er anlæg i drift inden energirenoveringen, bør disse om muligt efterses, så det kan fastlægges, om de yder det forventede.

Bygningsdrift (styring, CTS, m.m.)

Ved beregninger antages det generelt, at bygningen driftes optimalt. Det vil sige, at systemerne vedligeholdes og kalibreres, så de hele tiden fungerer optimalt i energiteknisk henseende. Samtidig antages det, at energiforbruget

i bygningen overvåges, så eventuelle problemer opdages og rettes hurtigt og effektivt.

Særligt driftstider for anlæg og set-punkter for opvarmning, ventilation, køling og belysning er af væsentlig betydning for energiforbruget. Det bør sikres, at der er overensstemmelse mellem de reelle driftsforhold fastsat af CTS og det, der anvendes i beregningerne.

I forbindelse med følsomhedsanalysen kan der gennemføres nogle simple overslagsberegninger, som viser, hvor meget det påvirker bygningens samlede energiforbrug, hvis bygningen ikke driftes optimalt. Desto mere/flere komplekse systemer bygningen indeholder, desto større er risikoen (og mer-energiforbruget) ved fejlagtig eller mangelfuld drift.

Følsomhedsanalyser (vejr, brugstid, usikkerheder på ovenstående)

Den indledende beregning giver en median for energibesparelsen, som opnås ved gennemførelse af den planlagte energirenovering. Afhængigt af detaljeringsgraden i beregningen vil der være en usikkerhed på resultatet, som afspejler niveauet. For at vurdere usikkerheden forbundet med resultatet skal der gennemføres en følsomhedsanalyse for udvalgte relevante og betydende inputparametre, som udmøntes i et interval for den forventede energibesparelse beliggende omkring den tidligere beregnede median. Følsomhedsanalysen afspejler, hvor stor usikkerhed, der er på resultatet. Jo mere detaljeret og kvalificeret input der er benyttet, jo større sikkerhed er der for resultatet.

Følsomhedsanalysen giver en mere præcis vurdering af usikkerheden for den pågældende energirenovering.

I Tabel 9 er vist parametre og variationer svarende til en følsomhedsanalyse, der kunne gennemføres:

Tabel 9. Parametre og variationer, som anvendes i følsomhedsanalysen for energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med energirenovering af bygninger.

Parameter	Bolig	Andet
Brugstid:	-	± 10 %
Internt varmetilskud:	± 20 % totalt (fordeles relativt)	± 20 % totalt (fordeles relativt)
Varmt brugsvand:	± 30 %	± 20 %
Indetemperatur:	± 1 °C	± 1 °C
Vejr	2008 / 2010 vejrdata*	2008 / 2010 vejrdata*

* Der gennemføres to separate Be10-beregninger, hvor standard-vejrdata udskiftes med henholdsvis data fra 2008 og 2010, som var et henholdsvis varmt og koldt år.

Energiforbruget til ventilation og usikkerheden forbundet herved kan være indbefattet med væsentlige usikkerhed. Dette skyldes i al væsentlighed usikkerhed på de ventilerede luftmængder, styring og regulering af anlæg og anlæggenes effektivitet.

Der foretages særskilt følsomhedsanalyse på ventilation med en række parametre for regulering, hvor variationen bestemmes på basis af hvor detaljeret viden, der er indsamlet om ventilation, drift og effektivitet.

Tabel 10. Parametre og variationer, som anvendes i følsomhedsanalysen for energiforbrug og energibesparelser på ventilation i forbindelse med energirenovering af bygninger.

Parameter	Parametervariation	
Middelluftmængder (Q_m , $Q_{m,s}$)	Luftmængder bestemt uden målinger	± 40 %
	Luftmængde bestemt ved anlæg (måling) – vurderet drift VAV inkl. Sempel VAV	± 25 %
	Luftmængde bestemt ved anlæg (måling) – vurderet drift CAV	± 15 %
	Luftmængder og drift ved repræsentative dynamiske analyser	± 10 %
	Luftmængder og drift ved repræsentative målinger	± 5 %
Varmegenvinding	Vurdering	± 20 %
	Måling i opvarmningssæson (udetemp. maks. 5 grader)	± 5 %
SEL-værdi	Vurderet i forhold til vurderet luftmængde	± 25 %
	Vurderet i forhold til målt luftmængde	± 15 %
	Målt værdi	± 5 %
Infiltration	Vurderet	± 30 %
	Målt med BlowerDoor-test	± 5 %

Den samlede usikkerhed på ventilation beregnes, som den største variation +/- fra referenceberegningen, der kan findes ved anvendelse af kombinationer af ovenstående usikkerheder.

Rapportering af usikkerhed og scenarier

Resultaterne af ovennævnte analyser inklusiv vurdering af usikkerhed af beregningsresultaterne dokumenteres. I det følgende vises et eksempel på et analysearbejde for en kontorbygning, hvor der er foretaget beregning af bygningens forventede energiforbrug til varme og el. Beregning af forventet energiforbrug er foretaget ved hjælp af beregningsprogrammet Be10 med beskrivende parametre for bygningen, dens konstruktioner og tekniske installationer.

Usikkerheden på beregningsresultatet kan opdeles i to overordnede bestanddele:

- Forhold, der hovedsagelig er knyttet til brugervaner (se Tabel 9).
- Forhold, der er knyttet til drift af bygningen og dens installationer (Tabel 7).

Usikkerhed for forhold, der hovedsagelig er knyttet til brugervaner, er vanskelige at fastlægge, og derfor må de blot accepteres i beregningerne. Usikkerhed for forhold, der hovedsagelig er knyttet til drift og installationer, kan minimeres ved en højere grad af inspicering og målinger af installationerne.

I det følgende opsættes tre scenarier (alle i relation til Tabel 10):

Scenarie 1

Beregning af energiforbrug er baseret på et meget sparsomt grundlag i forhold til ventilationsanlæg. Luftmængder er anslået uden målinger. Varmegenvinding er konstateret, men ikke vurderet. SEL-værdi for ventilationsanlæg er skønnet ud fra luftmængde. For den konkrete kontorbygning skønnes en middelluftmængde på 12.000 m³/time, dvs. i forhold til usikkerhed forventes middelluftmængden at være mellem 7.200 m³/time og 16.800 m³/time.

Scenarie 2

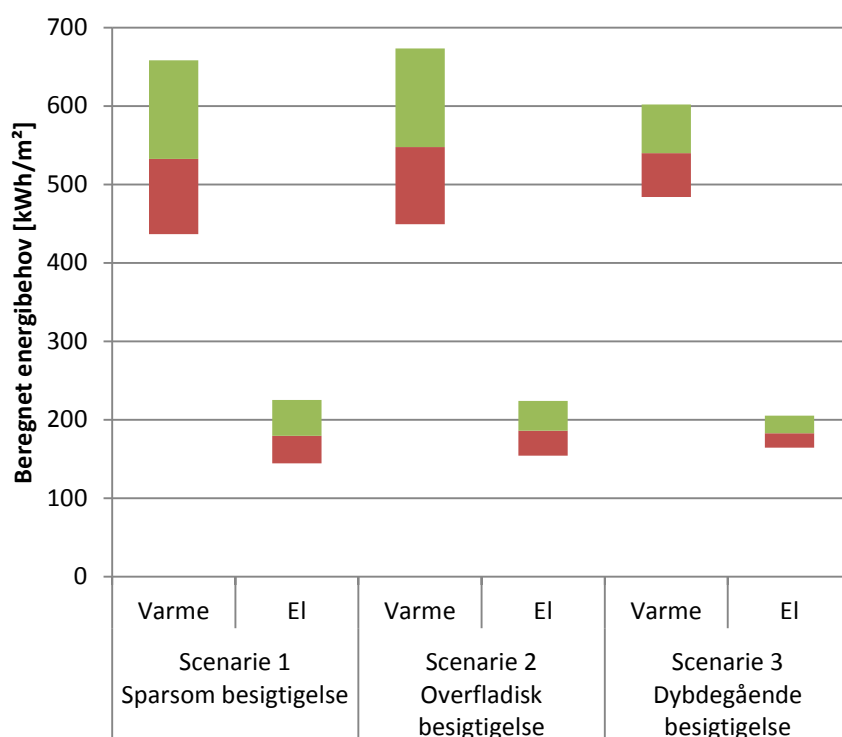
Beregning af energiforbrug er baseret på en overfladisk gennemgang af ventilationsanlæg. Luftmængder er bestemt (i hovedkanal) ved måling. Varmegenvinding er konstateret, men effektiviteten er ikke vurderet. SEL-værdi for

ventilationsanlæg er skønnet i forhold til målte luftmængder. For den konkrete kontorbygning er der målt en middelluftmængde på 15.000 m³/time, dvs. i forhold til usikkerhed forventes middelluftmængden at være mellem 11.250 m³/time og 18.750 m³/time.

Scenarie 3

Beregning af energiforbrug er baseret på dybdegående gennemgang af ventilationsanlæg. Luftmængder og drift er bestemt ved repræsentative målinger. Varmegenvindingsgrad er målt. SEL-værdi for ventilationsanlæg er målt, og bygningens infiltration er målt med en Blower-Door-test. For den konkrete bygning er der målt en samlet middelluftmængde på 13.300 m³/time. I forhold til usikkerhed forventes middelluftmængden at være mellem 12.600 m³/time og 14.000 m³/time.

Figur 3 viser det beregnede energiforbrug inklusive minimum og maksimum for usikkerhederne for de tre scenarier.



Figur 3. Beregnet energiforbrug for tre scenarier af beregninger, hvor usikkerheden indsnævres ved højere grad af inspicering og målinger i bygningen.

For hvert scenarie ses en beregnet middelværdi for det forventede energiforbrug samt vurderede usikkerheder. I alle scenarierne er der usikkerhed i forbindelse med bestemmelse af beskrivende parametre for ventilationsanlægget, hvorfor energiforbruget i de enkelte scenarier angives som et interval. Benyttes scenarie 1 kan energiforbruget til varme derfor forventes at falde i intervallet 436 MWh til 658 MWh. I scenarie 2 forventes energiforbruget til varme at falde i intervallet 449 MWh til 673 MWh. Benyttes scenarie 3 kan energiforbruget på grund af bedre bestemmelse af anlægsparemetre for ventilationsanlægget ses at falde i intervallet 483 MWh til 602 MWh.

På tilsvarende måde ses bygningens forventede elforbrug i de tre scenarier med en indsnævring af usikkerheden for resultatet ved brug af scenarie 2 og 3 fremfor scenarie 1.

Resultaterne viser, at der ved kvalificering af beskrivende parametre for installationer kan opnås en indsnævring af usikkerheden. I dette eksempel ses en reduktion i intervallet for usikkerheden, men hvor scenarie 1 har et interval på 222 MWh, så har scenarie 2 et interval på 224 MWh, hvilket er en forøgelse, som skyldes forhøjelse af middelværdien. I scenarie 3 reduceres intervallet for usikkerheden til 118 MWh, som næsten er en halvering af usikkerheden og som følge heraf opnås et mere sikkert estimat for energibehovet.

Evaluering (målt forbrug sammenlignet med beregnet)

Når energirenoveringen er gennemført, og bygningen er taget i drift, gennemføres der en evaluering, hvor bygningens faktiske energiforbrug følges over en periode til sammenligning med det beregnede forbrug. Det er vigtigt, at der først sikres en indkøring af systemerne, så de fungerer optimalt. I forhold til sammenligning af beregnet og målt forbrug skal der kompenseres for aktuelle vejrforhold og eventuelt anden faktisk brug af bygningen.

Bilag 1: Beregningseksempel

Som beregningseksempel for at bestemme forventede energibesparelser ved forskellige energirenoveringstiltag benyttes et typisk kontorhus fra starten af 1960'erne. Kontorhuset er rektangulært, har et bruttoetageareal på 3.287 m² og er i fire etager. Konstruktioner og isoleringstykkelser er forudsat som værende typiske for et byggeri, der overholder energibestemmelserne i Bygningsreglement 1961.

Hver etage indeholder et centralliggende område, der benyttes til fællesområde, trapperum og toiletter. Resten af etagearealet er udlagt til storrums-kontor.

Bygningen er mekanisk ventileret i kontorområdet. I bygningens øvrige areal er der naturlig ventilation.

I hele bygningen er der installeret et ældre belysningsystem. Belysnings-systemet er ikke udstyret med nogen form for regulering andet end manuel betjening.

Bygningen forsynes med fjernvarme.

Som udgangspunkt har bygningen et årligt varmeforbrug på 540 MWh; heraf kan ca. 36 MWh henføres til forbrug af varmt brugsvand. Bygningen har et samlet elbehov på 232 MWh – heraf kan ca. 161 MWh henføres til bygningsdrift (drift af ventilation, belysning, pumper m.m.). Resten af el-behovet skyldes forbrug i kontormaskiner m.m.

Energibesparende tiltag

For kontorhuset tænkes gennemført en række energibesparende tiltag, bl.a. tillægsisolering af ydervæg, loft samt etagedæk mod kælder, udskiftning af vinduer, opgradering af belysning og ventilation samt ændring af driftsparametre for bygningen (brugstid og temperatur).

Med baggrund i metodebeskrivelse benyttes Be10 til vurdering af potentialet for energibesparelser ved energirenovering af kontorhuset.

Som eksempel betragtes efterisolering af ydervægge. Der forudsættes som udgangspunkt en U-værdi for ydervæggen på ca. 1,1 W/m²K. Ved en udvendig efterisolering med 125 mm isolering reduceres U-værdien til 0,25 W/m²K.

Implementeres dette enkeltstående tiltag forventes en reduktion i varmebehovet på 112 MWh/år beregnet via Be10.

På tilsvarende måde kan besparelspotentialet for øvrige enkelttiltag beregnes, se Tabel 11.

Tabel 11. Beregning af besparelspotentiale for forskellige enkelttiltag ved energirenovering af kontorbygning.

Tiltag	Før renovering	Efter renovering	Besparelspotentiale [MWh/år]
Efterisolering af loft (250 mm isolering)	U-værdi: 1,3 W/m ² K	U-værdi: 0,14 W/m ² K	105
Efterisolering af kælderdek (100 mm isolering)	U-værdi: 1,0 W/m ² K	U-værdi: 0,29 W/m ² K	67
Udskiftning af vinduer	U-værdi: 2,0 W/m ² K g-værdi: 0,70	U-værdi: 0,95 W/m ² K g-værdi: 0,62	82
Udskiftning af belysningsanlæg	Effekt: 17 W/m ² Ingen regulering	Effekt: 7 W/m ² Dagslysstyring	-46 (varme) 91 (el)
Udskiftning af ventilationsanlæg	Varmegenvinding 55 % SEL-værdi: 3,5 kJ/m ³	Varmegenvinding 75 % SEL-værdi: 1,6 kJ/m ³	22 (varme) 17 (el)

Følsomhedsanalyse

Hvis der er usikkerhed om udgangspunktet for et af ovenstående tiltag, fx en eventuelt isoleringstykkelse i ydervæggene, bør der gennemføres en følsomhedsanalyse af resultaterne.

For ydervæggene kan det være uklart, om de allerede er hulmursisolerede. Hvis det ikke er muligt at afklare dette ved en besigtigelse af bygningen og/eller tegningsmaterialet, bør der foretages en beregning af forventet energibesparelse henholdsvis med og uden hulmursisolering som udgangspunkt.

Hvis ydervæggene er hulmursisolerede og den derefter efterisoleres udvendigt med 125 mm isolering forventes en reduktion i varmebehovet på 51 MWh/år. Det skal ses i forhold til reduktion i varmebehovet på 112 MWh/år, hvis den efterisolerede ydervæg ikke er hulmursisoleret.

Kombination af tiltag

Kombineres flere energibesparende tiltag beregnes den forventede energibesparelse ved hjælp af Be10, som anført i afsnittet *Beregningsvejledning*.

Vælges eksempelvis en samtidig energiteknisk opgradering af ydervæg, loft samt ventilationsanlæg beregnes den forventede energibesparelse, som vist i Tabel 12.

Tabel 12. Beregning af besparelsespotentiale ved kombination af flere forskellige enkelttiltag ved energirenovering af kontorbygning.

Tiltag	Før renovering	Efter renovering	Besparelses- potentiale [MWh/år]
Efterisolering af ydervægge (125 mm isolering)	U-værdi: 1,1 W/m ² K	U-værdi 0,25 W/m ² K	111
Efterisolering af loft (250 mm isolering)	U-værdi: 1,3 W/m ² K	U-værdi: 0,14 W/m ² K	105
Udskiftning af ventilationsanlæg	Varmegenvinding: 55 % SEL-værdi: 3,5 kJ/m ³	Varmegenvinding: 75 % SEL-værdi: 1,6 kJ/m ³	22 (varme) 17 (el)
			237 (varme)
I alt			15 (el)

Det observeres, at den forventede energibesparelse ved implementering af alle tre tiltag er (lidt) mindre end summen af de forventede energibesparelser for de tre individuelle tiltag. Det skyldes, at energibesparelserne for de enkelte tiltag påvirker hinanden, men i dette eksempel dog her kun i mindre grad.

Bilag 2: Graddøgn for klimaskærm og ventilation

Graddøgn for klimaskærm og ventilation i afhængighed af gennemsnitlig rumtemperatur i opvarmningssæsonen, internt varmetilskud og P-faktor. Normalår.

Rumtemperatur* (°C)	19			20			21			
Internt varmetilskud* (W/m ²)	3	5	10	3	5	10	3	5	10	
P-faktor(W/m ² K):	1,0	2800	2625	2025	3075	2850	2250	3325	3125	2525
	1,5	3225	3100	2775	3525	3400	3050	3825	3700	3325
	2,0	3450	3375	3125	3775	3675	3450	4100	4000	3750
	2,5	3600	3525	3350	3925	3850	3675	4250	4200	4000

* Gennemsnit for hele døgnet og ugen i opvarmningssæsonen. Forudsætningen i tabellen svarer derfor til 8-22 % glasareal med 2 lag alm. glas og nogenlunde fri horisont samt ens fordelt orientering. Kan også være andre kombinationer med samme solindfald.

Usikkerheder ved energiberegninger

Introduktion til bygningsejere om beregning af energiforbrug ved reovering

Juni 2014



Indledning

I forbindelse med energirenoveringer benyttes energiberegninger til at estimere potentialet for energibesparelser. Derfor sættes der i denne introduktion fokus på energiberegninger og usikkerheder knyttet til beregningerne.

For mange bygningsejere (bygherrer) vil investeringer til renovering være fordelt på forskellige økonomiske poster:

- Genopretning
- Fornyelser
- Energiforbedringer.

Energibesparelser kan betale for en del udgifter til renoveringer, men konkrete økonomiske forhold berøres kun ganske kort i denne introduktion.

Hvis en bygningsejer sammen med en energirådgiver bliver enige om rammer og forventninger, bliver energirenoveringen en god oplevelse. Men det kræver en god rådgiver og en bygningsejer, der sammen undersøger, planlægger og gennemfører renoveringen og også sikrer den efterfølgende drift af bygningen.

Denne introduktion er knyttet til *Branchevejledning for energiberegninger*, som er målrettet rådgivere, og er begge udarbejdet i et projekt under InnoBYG. Her har førende praktikere og forskere sammen udviklet en metode, der kan give en realistisk forventning til et kommende energiforbrug efter en renovering med den tilhørende usikkerhed.

Juni 2014

Energiberegninger

Nybyggeri

I forbindelse med byggesagsbehandling for nybyggeri gennemføres en energirammeberegning i programmet Be10. Energirammeberegningen har til formål at dokumentere, at en bygning opfylder Bygningsreglementets energibestemmelser. For at sikre, at alle bygningsejere behandles ens, benyttes standardparametre til at beregne bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand. Beregningen egner sig derfor ikke til at sige noget om det faktiske energiforbrug i bygningen.

Renovering

Hvad enten hele bygningen renoveres eller der udføres vedligeholdelse og udskiftning af store eller små bygningsdele, skal Bygningsreglementets komponentkrav følges og eftervises. Overordnet benyttes samme metode som for nybyggeri, og herudover laves der rentabilitetsberegninger.

Energimærkning

Energimærkets formål er at synliggøre og sammenligne bygningers teoretiske energiforbrug. Energimærket giver også mulige forslag til energiforbedringer baseret på standardiserede (gennemsnitlige) værdier. Energimærkningen bruger beregningskernen fra Be10 og resultatet er et tal for bygningens årlige energibehov, der benyttes til at give bygningen et energimærke på en skala fra A til G, som det kendes fra mange andre produkter.

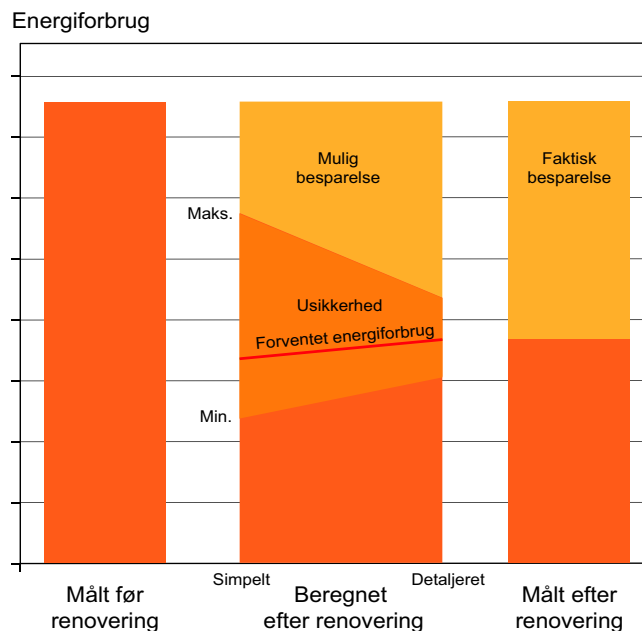
Energimærket viser bygningens energitekniske kvalitet, men ikke hvad det faktiske forbrug i bygningen er. Som med bilers benzinforsøg pr. kilometer er energiforbruget i bygninger stærkt afhængigt af brugernes adfærd og vaner.

Beregning og målt energiforbrug

For bygningsejeren er det vigtigt at forholde sig til, at uanset hvor præcist en bygnings energiforbrug kan beregnes, så er resultatet af en energiberegning ikke kun et tal, men et spænd og estimat for, hvad det kommende energiforbrug vil være. Spændet eller usikkerheden for det fremtidige energiforbrug kan gøres mindre ved at antage nogle forudsætninger og lave flere undersøgelser.

På denne måde er problemstillingen at sammenligne med et almindeligt økonomisk budget, som også bygger på nogle opstillede forudsætninger.

Usikkerheden mellem det beregnede og det fremtidige målte energiforbrug skyldes mange faktorer, som for eksempel brugeradfærd, bygningens anvendelse, bygningens struktur og varierende vejrforhold i forskellige år. Men usikkerheden i 'energibudgettet' kan nedbringes ved for eksempel flere undersøgelser og computersimuleringer. Flere undersøgelser betyder øgede økonomiske omkostninger i forbindelse med en energirenovering. En bygningsejer må derfor beslutte, hvor meget der er behov for at nedbringe usikkerheden på det fremtidige energiforbrug i forhold til omkostningerne til energirenoveringen. Dette forhold er illustreret i figur 1.



Figur 1. Beregning af et kommende energiforbrug vil være forbundet med en vis usikkerhed i forhold til et kommende energiforbrug målt efter energirenovering.

Branchevejledning kvalificerer energiberegning

Denne introduktion til bygningsejere og tilknyttede *Branchevejledning for energiberegninger* til rådgivere er udarbejdet for at kunne beregne et realistisk forventet forbrug i en bygning – ikke som et enkelt tal, men som et spænd og estimat over, hvor stort et fremtidigt energiforbrug vil kunne forventes at være.

Branchevejledningen tager udgangspunkt i beregningsprogrammet Be10, som er knyttet til Bygningsreglementet. På den måde udnyttes det arbejde, der allerede er begyndt i forbindelse med energimærkning eller byggesagsbehandling. Fremgangsmåden i metoden er, at standardværdier i beregningerne ændres til det, der er aktuelt for bygningen. For eksempel vil rumtemperaturen typisk skulle hæves fra en standardværdi på

20 °C, og typisk vil der også skulle foretages justeringer i forhold til, hvor mange timer bygningen bruges, og hvordan den bruges. Jo mere bygningen undersøges, og jo mere indsamlet viden, der er om bygningen og dens brug, jo mindre vil spændet for laveste og højeste energiforbrug kunne blive.

I de følgende afsnit gennemgås, hvad en bygningsejer kan forvente, og hvilke overvejelser, som skal gøres.

For store, komplekse byggerier som for eksempel hospitaler og lignende vil det være fornuftigt at kombinere beregninger med mere avancerede beregningsprogrammer, der også ofte inkluderer indeklimasimuleringer.

Hvorfor er der usikkerhed på beregninger?

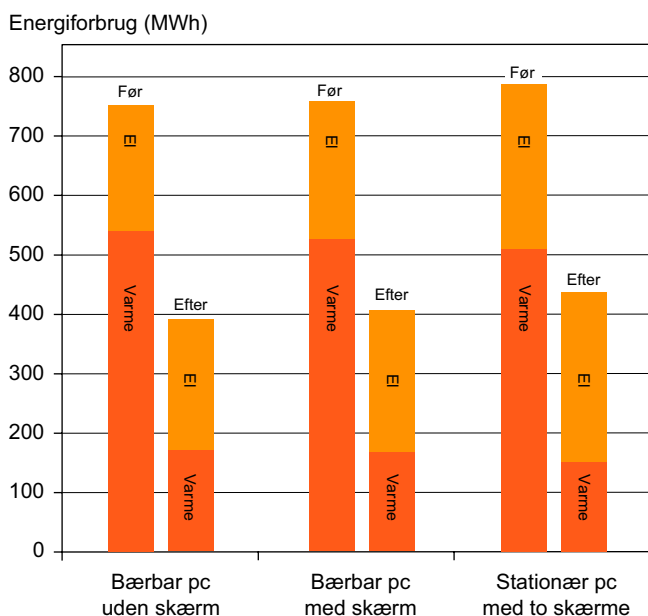
Usikkerhed på energiberegninger skyldes rigtig mange forhold. For eksempel hvis bygningen bruges på en anden måde end forventet, og brugerne skruer lidt mere op for varmen eller glemmer at lukke vinduerne. Tilsvarende kan forudsætninger om hulmursisolering være forkerte. Usikkerheder kan dog ofte reduceres ved supplerende undersøgelser.

Adfærd

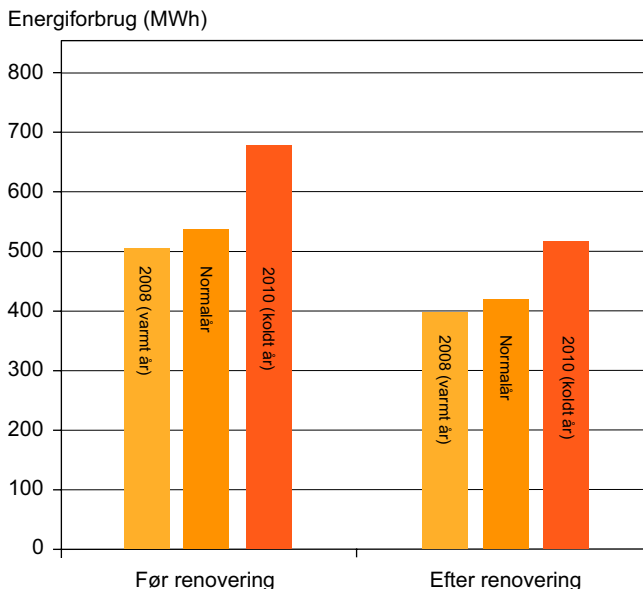
En af de største kilder til usikkerhed på energiforbruget er helt klart brugerne, deres antal og adfærd. For eksempel viser undersøgelser, at beboere, der før en renovering har haft 20 °C i stuen, efter renovering har 22 °C. Brugere af renoverede bygninger vælger at opvarme hele huset, hvor der tidligere måske har været et par kolde rum i huset. Bygninger, der renoveres fra enkeltkontorer til storrums, får også ofte flere arbejdspladser pr. kvadratmeter, hvilket giver større el- og vandforbrug. Bare det, at mange brugere i dag har to pc-skærme, gør en stor forskel, se figur 2. Usikkerhed på adfærd kan nedbringes ved for eksempel at styre de tekniske anlæg aktivt, for eksempel med bevægelsessensorer, og styring af ventilation i forskellige tidsintervaller.

Usikre forudsætninger

I forbindelse med renoveringer baseres energiberegninger på en række forudsætninger. For eksempel forudsættes ofte, at gulv og vægge er isoleret, som det har været typisk i den periode eller stil, som bygningen er opført i. Ofte vil der også være nogle for-



Figur 2. Tre beregninger af energiforbrug med forskelligt pc-udstyr.



Figur 3. Variationer i vejret år for år vil påvirke energiforbruget. Derfor kan forbruget efter en renovering i et koldt år kan være større end i et varmt år før en renovering.

udsætninger om isoleringens stand. Der vil ofte også være antagelser, om at de tekniske anlæg fungerer, som de skal, med mindre der er grund til at tro noget andet. Usikkerhederne kan forsøges reduceret ved forskellige tiltag for eksempel ved inspektion af isoleringstykkelser m.m.

Vejret

Kolde vintre giver ekstra behov for opvarmning, mens varme sommerdage kan give behov for køling. I beregninger bruges et fast vejrdataset, som er baseret på 30 års statistik. Alligevel kan der forekomme store variationer. Ved håndberegninger af energibehov til opvarmning benyttes 'graddage'. Jo flere graddage, jo koldere har året været. Som eksempel på vejrets betydning for varmebehovet ses derfor på det statistiske normalår. Normalåret regnes med 3112 graddage, mens for eksempel år 2008 havde 2608 graddage og år 2010 havde 3490 graddage. Altså to år der har været henholdsvis varmere og koldere end normalåret, se figur 3.

Forskellige tiltag kan påvirke hinanden

For renoveringer gælder også, at mange forskellige tiltag i sammenhæng gør, at de enkelte besparelser ikke blot kan lægges sammen. Et illustrativt eksempel er, at hvis al belysning udskiftes til LED-pærer, der bruger mindre el, men også afgiver mindre varme, så vil der om vinteren skulle bruges mere energi til opvarmning. Dette vil dog forventeligt kunne opvejes af et mindre energiforbrug til køling om sommeren, se figur 4.

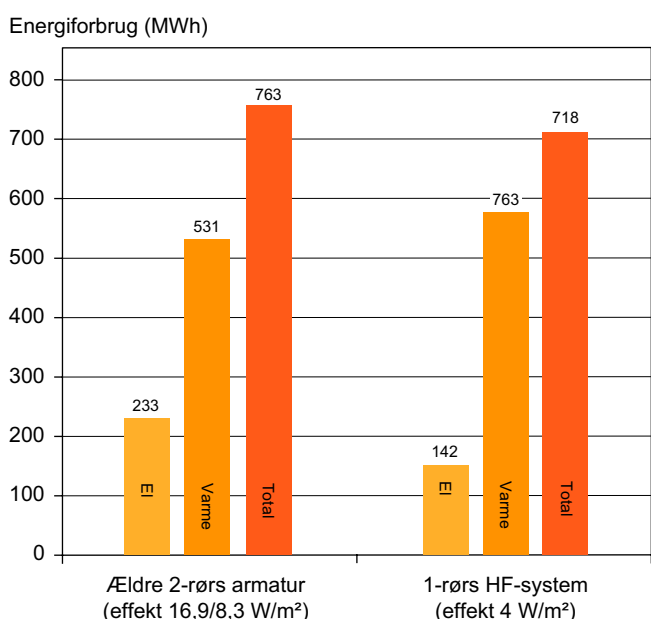
Hvor nøjagtig skal beregningen være?

Usikkerhed i beregninger kan i de fleste tilfælde nedbringes. Men det kræver, at nogle parametre kan fastlægges mere præcist, hvilket der er flere metoder til. Det anbefales sammen med bruger eller driftspersonale at fastlægge nogle forudsætninger om bygningens fremtidige brug, temperatur m.m.

Bygningens tilstand og faktiske ydeevne kan undersøges nærmere. Ved for eksempel at foretage analyse af eksisterende data fra varmerapporter, opstille supplerende måleudstyr, udføre supplerende bygningssimuleringer m.m. Niveaue af analyser afhænger dog af, hvad analysen skal bruges til:

- Overordnet overslag. For eksempel om det kan betale sig at isolere loftet? Typisk er der brug for en enkel undersøgelse, som formentlig vil kunne tage udgangspunkt i mange standardforudsætninger, men resultatet vil så også være behæftet med en betydelig usikkerhed.
- Tæt på et fremtidigt energiforbrug. For eksempel et så præcist estimat, at bygningsejer kan gå mere konsekvent til værks: undersøge de tekniske anlæg, undersøge bygningens tilstand, undersøge brugere (evt. forudsætte nyt brugsmønster), sætte målere op og eventuelt gennemføre simuleringer.

Energirenoveringer af enkelttiltag som for eksempel efterisolering af loftet behøver heller ikke være så komplekst, mens kombinationer af mange tiltag har indvirkning både på hinanden og på indeklimaet.



Figur 4. Ved udskiftning til lyskilder med lavere energiforbrug stiger behovet for energi til opvarmning, som dog er billigere. I viste eksempel er reduktion i elforbrug ca. 90 MWh og det forøgede varmebehov ca. 45 MWh. Med en elpris på 1,80 kr/kWh og varmepris på 0,60 kr/kWh giver det en besparelse på ca. 135.000 kr om året. Hvis der benyttes køling om sommeren, vil dette behov desuden reduceres og øge besparelsen.

Der er naturligvis også rigtig mange mellemformer. Analyse af kombinationer af tiltag og effekten heraf kræver specialistviden. Drøft dette med en rådgiver.

Det er op til bygningsejeren og dennes risikoprofil at bestemme hvor præcist estimaterne på et fremtidigt energiforbrug skal være. Bygningsejere, der energirenoverer og lader huslejen stige mod et forventet lavere energiforbrug, vil typisk skulle tættere på det faktiske fremtidige energiforbrug. En sådan bygningsejer vil måske være rimelig konservativ i sine overvejelser. En anden bygningsejer kan tillade sig en større frihed, hvis en bygningsrenovering alligevel er i gang.

Hvor sikkert skal det beregnede energiforbrug være?

Hvor tæt estimatet skal være på et fremtidigt målt energiforbrug og hvilke energitiltag, der bedst kan betale sig, bør således vurderes i dialog med rådgiveren. Det er urealistisk at forvente, at det beregnede energiforbrug præcist rammer det målte forbrug. Det vil dog ofte være muligt at beregne et 'worst-case' energiforbrug under forudsætning af normal brug, hvormed der kan opnås en slags 'garanti på rentabiliteten'.

På samme måde som i økonomisk budgetlægning bør et 'energibudget' kalkuleres med en risiko, som er proportional med de forundersøgelser, der er foretaget, og den viden, som allerede findes om bygningen, eller som er opnået via undersøgelserne. Denne metode vil hjælpe på forventningsafstemningen mellem dig som bygherre og den rådgiver, som laver beregningerne og estimater. Risikoprofilen i energibudgettet kan så efterfølgende overføres til det økonomiske budget for dermed at opnå en mere sikker investeringsprofil.

Energipris

Energipriserne må også tænkes ind. Ikke mindst i forhold til om energirenoveringen kan betale sig. Særligt komplekst bliver det, fordi energi også er et politisk instrument. Energipriser for samme 'mængde' er således ikke ens, afhængig af om der bruges gas, fjernvarme eller el. At 'oversætte' energiforbrug fra kWh til pris er en øvelse i sig selv. I forhold til fx fjernvarme skal opmærksomheden henledes på de faste afgifter, som betyder at sparet forbrug kan øge den gennemsnitlige kWh-pris.

Huskeliste til bygningsejeren

Overvejelser inden renovering

- Hvad er forventningerne? Overvej, hvad resultatet skal bruges til? Hvad er tidshorisonten i forhold til usikkerhed for beregninger og beslutningsgrundlag for investeringer? Energirenovering betaler sig bedst, hvis det sker samtidigt med andre renoveringer. Ved fravalg af energirenovering nu, kommer chancen måske først igen om 10-30 år.
- Overvejelser omkring bygningens drift? Erfaringer viser, at mange energibesparelser kan findes ved at optimere driften af for eksempel varmeanlæg og ventilationssystemer, udskifte vandarmaturer og uddanne driftspersonale. Disse overvejelser vil under alle omstændigheder skulle indgå i et eventuelt videre forløb.
- Er der samling på data, som skal anvendes både internt og af eventuelle rådgiver? Det kan være alt fra bygningstegninger, opgørelser over varmeforbrug, oplysninger om brugsmønstre m.m. Jo flere informationer, der findes om bygningen fra start, jo bedre bliver forudsætningerne for beregninger og estimater – og dermed beslutningsgrundlaget om at gå videre i processen.
- Vælg rådgiver efter behov. Kombinerede tiltag som fuldstændige renoveringer kræver specialister, mens udskiftning af taget er mere enkelt. Aftal med rådgiver, at resultatet evalueres et år efter afleveringen. Derved skabes der en åbenhed om, at der arbejdes med usikkerheder i beslutningsgrundlaget.

Det skal med i planlægningen:

- Overvej, om bygningen får anden brug efter renovering – måske en anden sammensætning af brugere? Dette beskrives med brugstider og belægningsgrader i bygningen, som med fordel kan fastlægges med brugerne af bygningen efter renovering.
- Tænk, også på komfort, indeklima og fleksibilitet i valget af løsning. Sørg for, at projektet lever op til Bygningsreglementets krav til energirenoveringer. For eksempel skal det sikres, at krav til energitab er opfyldt samt mulighed for yderligere reduktion af forbrug via bedre komponenter. Det vil en rådgiver typisk kunne hjælpe med.
- Se på helheden i de renoveringer, der gennemføres: på økonomien, levetiden og de enkelte tiltag og samspillet mellem dem.
- Energirenoveringer påvirker bygningens indeklima både i positiv og negativ retning. Sørg for, at bygningen har et godt indeklima i forhold til nuværende og kommende brug.

- Vælg løsninger, der er så fleksible som muligt i forhold til nuværende og fremtidigt brug, for eksempel belysning ved ændret indretning i lokaler. Vær dog opmærksom på, at det er svært at forudsige den fremtidige brug.
- Sørg for, at teknikken er optimeret i forhold til styring, samt enkel drift og vedligehold. Overvej, om eksisterende teknik i de berørte områder bør ændres. Nogle gange er det en fordel selv ved en mindre renoveringsopgave.
- Vedvarende energi-anlæg (VE) kan være attraktivt, så overvej, om det er interessant – eventuelt som supplement eller erstatning for fysiske indgreb i bygningen, som måske ikke kan realiseres eller blive rentable.
- Forventes samme brug i længere tid, bør daglig adfærd indgå i overvejelserne.
- Ved enkle renoveringer/udskiftninger kan leverandører ofte bidrage med erfaringer/muligheder.
- Der er en række muligheder for tilskud og salg af energibesparelser gennem forsyningsselekskabet. Undersøg dette inden opstart. En aftale skal være lavet, før et projekt iværksættes.

Efter renoveringen er gennemført

- Sørg løbende for, at tekniske anlæg er indstillet korrekt, specielt er det vigtigt at bruge det første års tid på løbende at justere og tilpasse anlægget til årstidernes skiften.
- Gode vaner betyder meget. Sørg for, at brugere og driftspersonale har viden til at bruge systemet effektivt.

Det samlede overblik kan være svært at få, og en rådgiver med erfaring på området vil ofte være en god investering.

Mere information

Der kan hentes inspiration omkring økonomiske overvejelser i *Beloks Totalmetodik Handbok för genomförande och kvalitetssäkring* (www.belok.se).

Procesbeskrivelse og hensigtsmæssig kommunikation mellem de involverede parter i forbindelse med energirenovering er beskrevet i *Når energirenovering skal lykkes* udgivet af Videncenter for energibesparelser i bygninger (www.byggeriogenergi.dk).

Den tilknyttede *Branchevejledning for energiberegninger* målrettet rådgivere kan hentes via www.innobyg.dk.