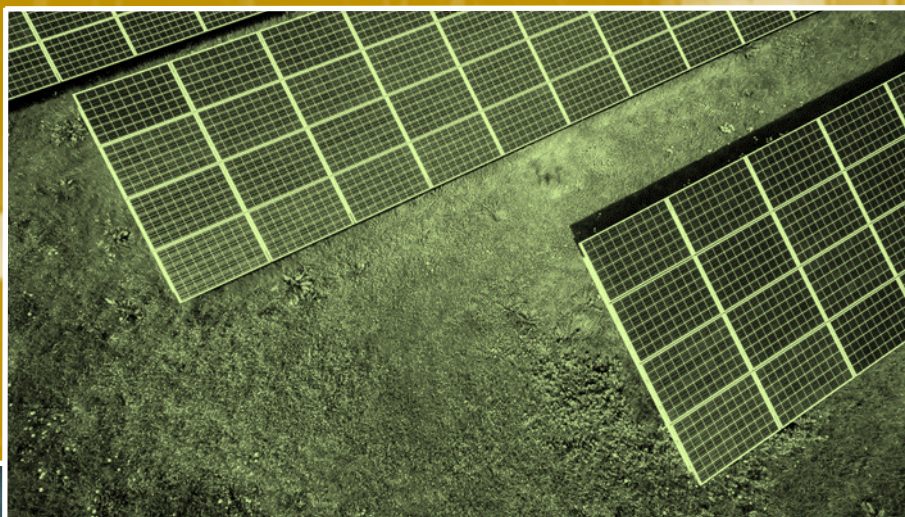


Branchevejledning for energiberegninger

Version 2.0



| | |
|--------------|---|
| Titel | Branchevejledning for energiberegninger |
| Undertitel | |
| Serietitel | |
| Udgave | 2. udgave |
| Udgivelsesår | 2018 |
| Forfattere | Lone Mortensen, Kai Kanafani, Jørgen Rose, Kim Hjorth Richter, Peter Noyé, Steffen E. Maagaard, Rasmus Lund Jensen |
| Redaktion | |
| Sprog | Dansk |
| Fotos | InnoBYG |
| Omslag | InnoBYG |
| Tryk | InnoBYG |
| Udgiver | InnoBYG v/Teknologisk Institut Gregersensvej 4, indgang 4 2630 Taastrup innobyg@teknologisk.dk www.innobyg.dk |

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

Forord, version 2.0

Denne version 2.0 af Branchevejledning for energiberegninger er en udbygning af version 1.0 fra juni 2014.

Formålet med Branchevejledning for energiberegninger er dels at få et oplæg til kommunikation mellem bygherre og rådgivere om energirenovering og dels 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.

Den første udgave var udarbejdet af en bred skare af InnoBYG-medlemmer fra byggebranchen, herunder bygherrer, rådgivere, organisationer og vidensinstitutioner: MOE, NIRAS, EKJ, 3xB, DME miljø, Jeudan ServicePartner, COWI, Rambøll, FRI, DANSKE ARK, Bygningsstyrelsen og SBI.

Formålet med at revidere branchevejledningen har været at forbedre metodebeskrivelserne til beregning af energibesparelser, samt afsnittene om usikkerheder og følsomhedsanalyser. Den nye udgave af branchevejledningen er desuden udvidet med cases for forskellige bygningstyper, som eksempler på hvordan vejledningen kan bruges i praksis. Der er desuden tilføjet flere bilag med udbygning af andre emner.

Ligesom den tidligere udgave af Branchevejledning for energiberegninger, er denne udgave udarbejdet i InnoBYG regi. InnoBYG er byggebranchens innovationsnetværk for bæredygtigt byggeri, støttet af Uddannelses- og forskningsministeriet. Publikationen er desuden støttet af Grundejernes investeringsfond, GI.

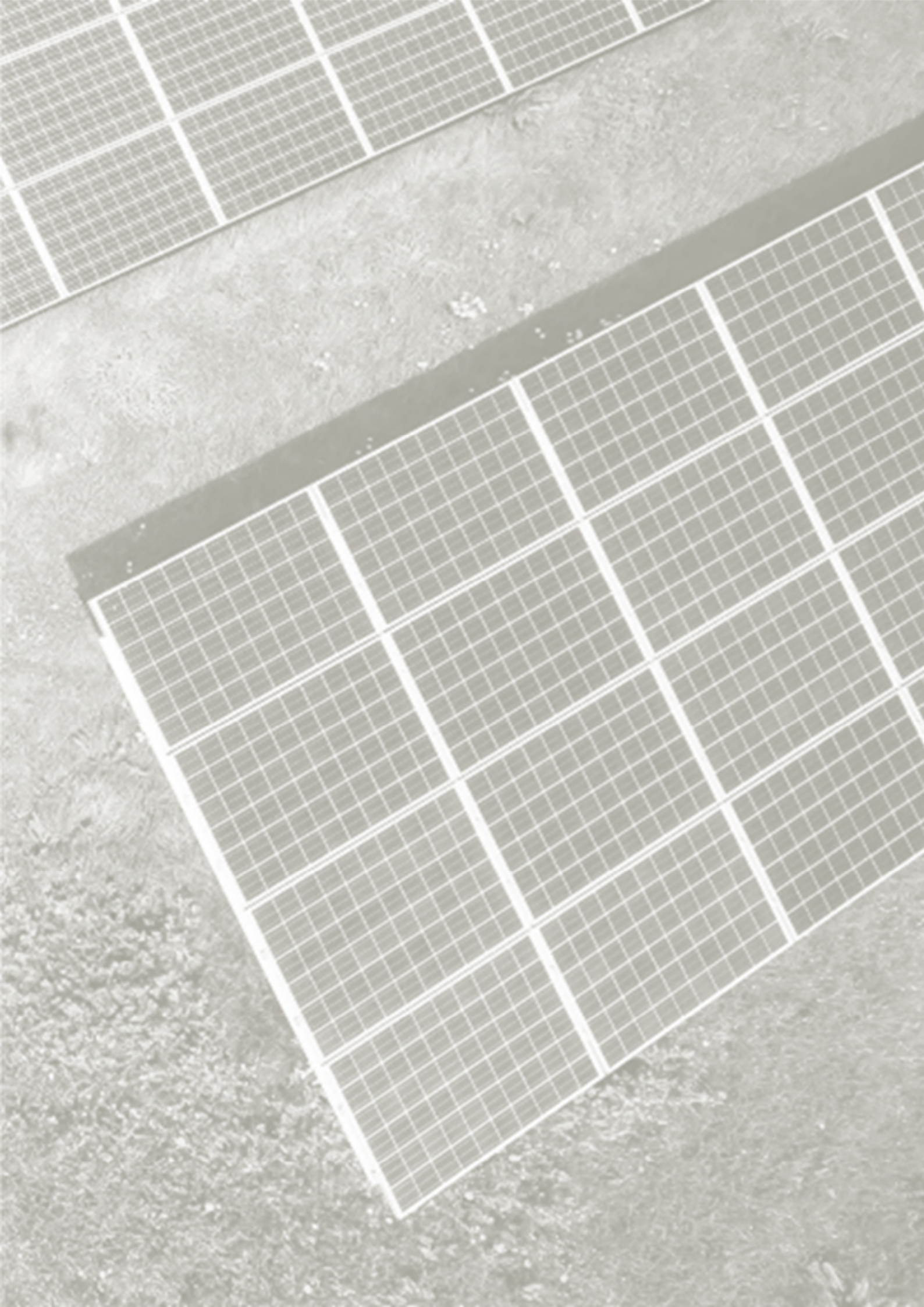
Revisionen af branchevejledningen er foretaget af InnoBYG partnerne, Statens Byggeforskningsinstitut ved Aalborg Universitet (Lone Hedegaard Mortensen, Kai Kanafani og Jørgen Rose) og Teknologisk Institut (Kim Hjorth Richter) samt NIRAS (Peter Noyé), MOE (Steffen E. Maagaard) og Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg (Rasmus Lund Jensen).

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

August, 2018



Udgivelsen er medfinansieret af Uddannelses- og Forskningsministeriet



Indhold

| | |
|------------------------------------|-----------|
| INDLEDNING | 7 |
| LÆSEVEJLEDNING | 9 |
| VALG AF BEREGNINGSMETODE | 11 |
| BEREGNINGSGRUNDLAG | 11 |
| SIMPEL BEREGNING | 12 |
| AVANCERET BEREGNING | 12 |
| ENKELTTILTAG | 12 |
| <i>Boliger</i> | 12 |
| <i>Andet byggeri</i> | 13 |
| KOMBINEREDE TILTAG | 14 |
| <i>Bolig</i> | 14 |
| <i>Andet byggeri</i> | 14 |
| METODEBESKRIVELSER | 15 |
| ENKELTTILTAG | 15 |
| <i>Simpel beregning</i> | 15 |
| <i>Avanceret beregning</i> | 16 |
| KOMBINEREDE TILTAG | 17 |
| <i>Simpel beregning</i> | 17 |
| <i>Avanceret beregning</i> | 17 |
| FASTLÆGGELSE AF BASELINE | 17 |
| STANDARDFORUDSÆTNINGER | 18 |
| PARAMETRE OG USIKKERHEDER | 19 |
| <i>Usikkerheder</i> | 19 |
| <i>Parametre</i> | 20 |
| <i>Arealer</i> | 21 |
| <i>Konstruktioner</i> | 21 |
| <i>Brugstid</i> | 22 |
| <i>Ventilation</i> | 22 |
| <i>Internt varmetilskud</i> | 23 |
| <i>Belysning</i> | 24 |
| <i>Andet elforbrug</i> | 24 |
| <i>Køling</i> | 24 |
| <i>Varmefordelingsanlæg</i> | 25 |
| <i>Pumper</i> | 25 |
| <i>Varmt brugsvand</i> | 25 |
| <i>Varmeinstallation</i> | 26 |
| <i>El- og varmeproduktion</i> | 27 |
| <i>Bygningsdrift</i> | 27 |
| FØLSOMHEDSANALYSER | 29 |
| BETYDNING AF PARAMETRE | 29 |
| FREMGANGSMÅDE | 29 |
| RESULTAT AF FØLSOMHEDSANALYSER | 32 |
| RAPPORTERING | 33 |
| DOKUMENTATION | 33 |
| OPFØLGNING OG FUNKTIONSAFPRØVNING | 34 |
| EVALUERING | 34 |
| LITTERATURHENVISNINGER | 35 |
| BILAG 1: BEREGNINGSEKSEMPEL | 37 |

| | |
|--|-----------|
| BILAG 2: KALIBRERING AF BEREGNINGSMODEL UD FRA MÅLTE DATA | 39 |
| BILAG 3: PREBOUND- OG REBOUND-EFFEKTER | 41 |
| BILAG 4: HÅNDTERING AF EL-PRODUCERENDE ANLÆG SOM FX SOLCELLER | 43 |
| BILAG 5: GRADDAGE FOR KLIMASKÆRM OG VENTILATION | 45 |
| GRADDAGE TIL BRUG FOR GRADDØGNSKORREKTION | 45 |
| BILAG 6. ENERGISIGNATUR | 47 |
| BILAG 7. EKSEMPLER PÅ CASES | 49 |
| CASE 1, ETAGEEJENDOM MED FØR- OG EFTER-MÅLINGER | 49 |
| CASE 2, ETAGEEJENDOM MED FØR-MÅLINGER | 49 |
| CASE 3, SKOLE MED FØR OG EFTER-MÅLINGER | 49 |
| CASE 4, KONTORBYGNING MED FØR- OG EFTER-MÅLINGER | 49 |
| USIKKERHEDER VED ENERGIBEREGNINGER | |

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 i energibesparelsetiltag og i vurderingen af renoveringers rentabilitet.

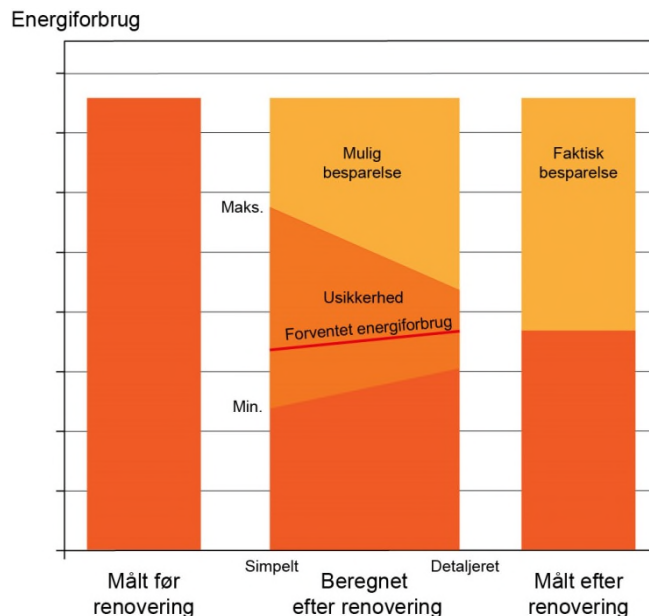
Erfaringer har generelt vist, at estimater af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med renoveringer har været forbundet med store usikkerheder – usikkerheder i en sådan grad, at det udgør en barriere for effektiv og troværdig gennemførelse af energirenoveringer i større omfang.

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.

Det er i denne forbindelse vigtigt at bemærke, at branchevejledningen ikke anviser en metode til energirammeberegninger i programmet Be18. Her henvises i stedet til SBI-anvisning 213. Be18 beregningen, som foretages i forbindelse med myndighedsgodkendelsen, har alene til formål, at eftervise overholdelse af bygningsreglementets energibestemmelser, og beregningen afspejler altså ikke nødvendigvis bygningens forventede energiforbrug.

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.

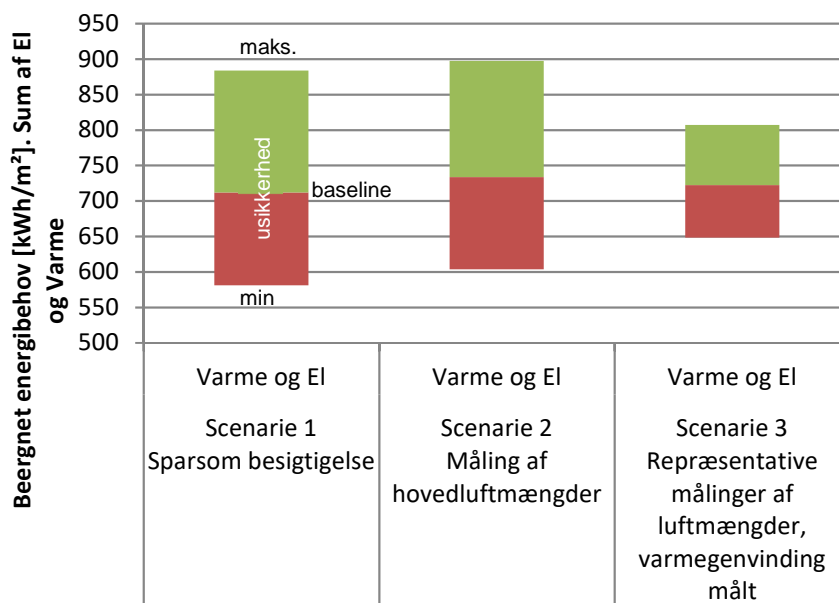
Metoden tager udgangspunkt i en kvalificering af allerede kendte beregningsmetoder og værktøjer. Detaljeringsgraden justeres i forhold til det aktuelle vidensniveau, som kan øges ved eksempelvis registreringer, som også mindsker usikkerhederne, se Figur 1.



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

Værktøjer til energiberegninger strækker sig fra simple korrigerede graddagemodeller til Be18-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.

Resultatet af energiberegningen angiver en middelværdi for det forventede energiforbrug eller tilsvarende energibesparelse, som altid angives med en tilhørende usikkerhed i form af et spænd for den forventede variation af resultatet. Middelværdien kan justeres og variationen reduceres ved yderligere kvalificering af væsentlige udvalgte forudsætninger. En mindre usikkerhed kan altså opnås gennem eksempelvis mere detaljerede registreringer/målinger eller fastlæggelse af reelle driftsforhold. Herunder vises et eksempel på kvalificering af en beregning, hvor baseline 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 afsnit *Usikkerheder*.



Figur 2. Gennem mere detaljerede registreringer/målinger eller kvalificering af reelle driftsforhold kan det forventede spænd for usikkerheden (rød og grøn kasse) justeres og reduceres.

Denne branchevejledning fokuserer på retvisende energiberegninger, men da store dele af bygningers energiforbrug benyttes til at etablere et optimalt indeklima, bør energiforbruget og indeklimaet betragtes samlet. Bygherrers krav til indeklimaets kvalitet vil ofte afspejles i størrelsen af anlæg og hertil hørende energiforbrug til klimatisering. Derfor henvises der samtidig til:

- *Branchevejledning for indeklimateberegninger* (Vorre et al. 2017), som ligeledes er udarbejdet i InnoBYG-regi

For gennemførelse af større energirenoeringsprojekter findes der en SBI-anvisning, som vejleder de involverede parter i, hvordan et energirenoeringsprojekt gennemføres i alle projekts faser:

- SBI-anvisning 269 – *Energirenoering af større bygninger – metode og proces* (Mortensen et al. 2017)

Der er forskelle i tilgangen til en energiberegning for en bygning og indeklimateberegninger for den samme bygning. Ved energiberegninger vil man normalt foretage en beregning for hele bygningen, mens der ved indeklimateberegninger typisk ses på dimensionerede forhold for belastninger i forskellige rumtyper. Helt konkret betyder det også, at der er forskel på anbefalingerne til, hvilke belastninger der benyttes som standardforudsætninger. Argumentet for dette er, at ved indeklimateberegninger bør belastninger i rummet overvurderes, og omvendt ved energiberegninger bør belastningerne undervurderes for at få resultater som er på den "sikre side". I praksis betyder det, at for indeklimateberegning sikres det at bygningen kan holde til den givne belastning, og ved energiberegning sikres det, at energibesparelsen ikke overvurderes.

Læsevejledning

Branchevejledningen er opbygget med en kort indledning om behovet for retvisende energiberegninger, som følges af valg af beregningsmetode til et konkret projekt og beskrivelse af forskellige beregningsmetoder. Desuden beskrives parametre og usikkerheder i forbindelse med energiberegninger og der vises metoder til at gennemføre følsomhedsanalyser for de beregnede resultater.

Branchevejledningen sigter mod, at anviser metoder til energiberegning afhængigt af renoveringsomfang og behov for nøjagtighed af beregningen.

Afslutningsvis beskrives hvad der skal indeholdes i rapportering af energiberegninger, og hvordan der følges op og foretages evaluering af en gennemført energirenoering.

Bagerst i vejledningen findes en beskrivelse af usikkerheder i forbindelse med energiberegninger, der er tænkt som et udgangspunkt for kommunikationen med bygherrer.

Desuden indeholder Branchevejledningen for energiberegninger 7 bilag med uddybning af emner og hjælp til beregninger, samt eksempelcases for etageejendomme, en skole og en kontorbygning.

Branchevejledningen er frit tilgængelig via InnoBYGs hjemmeside og findes desuden på www.sbi.dk/bve.



Valg af beregningsmetode

Der findes flere forskellige metoder til beregning af energibesparelser. Hvilken metode der bør benyttes i et konkret projekt, afhænger af både bygningstype, omfang af renoveringen og den grundlæggende viden om bygningen. Det er op til bygherren og dennes risikoprofil at beslutte, hvor nøjagtig bestemmelsen af en forventet energibesparelse skal være og hvor stor en usikkerhed der accepteres på resultatet, da der er sammenhæng mellem investering og nøjagtighed af energiberegningerne.

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 Be18, hvor de parametre, der indgår, eventuelt kan kvalificeres med mere detaljerede simuleringprogrammer, som for eksempel BSim.

Kompleksiteten af en forestående renovering har betydning for, hvor detaljeret en beregning der skal foretages. Derfor opdeles metoden i simpel og avanceret beregning.

Herudover opdeles omfanget af renoveringer i enkelttiltag der er uafhængige af hinanden og kombinerede tiltag. Fordelingen heraf varierer for henholdsvis boliger og andet byggeri.

De forskellige værktøjers anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang er vist i Tabel 1. Der gives en kort introduktion til simple og avancerede beregninger samt enkelttiltag og kombinerede tiltag her, som uddybes i afsnittet *Metodebeskrivelser*.

Tabel 1. Beregningsmetoders og -værktøjers anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang.

| | Enkelt tiltag | Kombinerede tiltag |
|----------------------------|--|---|
| Simpel beregning (estimat) | Graddage E_w | Be18 |
| Avanceret beregning | Korrigeret graddage Korrigeret E_w El-besparelse | Alle tiltag Be18: 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 |

Beregningsgrundlag

Grundlaget for energiberegninger er typisk en kombination af vidensindsamling og besigtigelse.

Vidensindsamling skal sikre inddragelse af eksisterende data om bygningen, herunder tegningsmateriale, forbrugsdata, energimærkning, tilstandsrapporter og materiale fra tidligere renoveringer.

Besigtigelse er som oftest også nødvendigt, og særligt ved mere komplekse arbejder, hvor en højere grad af præcision er krævet i forhold til både forudsætninger og resultater. Besigtigelsen foretages 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.

Simpel beregning

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 er graddagemetoden eller vurdering af energibesparelsen ved hjælp af vinduers energibalace (E_w).

Avanceret beregning

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 ventilation, varmeafgivelse fra personer/udstyr m.m. De klimatiske påvirkninger fra indeklima og udeklima medtages om nødvendigt på timebasis. Be18 er et eksempel på et værktøj, der vil kunne benyttes til at beregne den forventede energibesparelse, hvor beregningen kan kvalificeres med forbedrede data for eksempelvis luftmængder baseret på indeklimasimuleringer med et dynamisk simuleringprogram som fx BSim.

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

Enkeltiltag

Enkeltiltag defineres her som tiltag, der er indbyrdes uafhængige og hvor energibesparelserne kan beregnes enkeltvis og adderes.

Hvis enkeltiltagene ikke er indbyrdes uafhængige, skal der tages højde for dette i beregningerne, og dermed benyttes metoder for kombinerede tiltag.

Boliger

Tablet 2 viser en oversigt over tiltag, som umiddelbart er indbyrdes uafhængige af hinanden. Det vil sige, tiltag hvor effekten kan beregnes simpelt og senere hen adderes.

Tabel 2. Liste over enkelttiltag ved energireovering af 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 | |
| Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og evt. rumvarme | X |
| Solcelleanlæg til e,-produktion | 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 heraf (Be18 eventuelt suppleret med dynamiske analyser).

Andet byggeri

Tabel 3 viser en oversigt over indbyrdes uafhængige tiltag for andet byggeri. Årsagen til at der er forskel på hvilke tiltag der kan regnes som uafhængige enkelttiltag for hhv. boliger og andet byggeri er bl.a., at man i andet byggeri medtager elforbruget til belysning. Her vil fx udskiftning af vinduer påvirke belysningen i bygningen.

Tabel 3. Liste over enkelttiltag ved energireovering 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* |
| Belysningsanlæg | se nedenfor |
| Energiproduktion | |
| Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og evt. rumvarme | X |
| Solcelleanlæg til el-produktion | 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 (Be18 evt. suppleret med dynamiske analyser).

I forbindelse med reovering 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 el-besparelsen for belysningsanlægget. Vurderingen af den samlede energibesparelse vil derfor være upræcis, idet det forventede forøgede varmebehov ikke tages i regning.

Kombinerede tiltag

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

Kombinerede tiltag påvirker hinanden i en grad, så energibesparelserne ikke uden videre kan adderes.

Bolig

Kombinationer indeholdende afhængige tiltag og/eller elementer, der ikke er nævnt i Tabel 2, 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

Kombinationer af afhængige tiltag og/eller elementer, der ikke er nævnt under enkelttiltag i Tabel 3, skal regnes som kombinerede tiltag. Eksempler på sådanne kan være:

- Udskiftning af fordelingsanlæg (radiator til gulvvarme)
- Etablering af ventilation (herunder naturlig ventilation)
- Geometriske ændringer (fx tilbygninger eller ombygning)
- 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.

Metodebeskrivelser

I dette afsnit beskrives de fire metoder til energiberegninger fra Tabel 1 (gengivet herunder), og der gives en kort introduktion til beregningsværktøjer, inklusiv deres begrænsninger og eventuelt tilpasninger.

Gengivelse af Tabel 1. Beregningsmetoders og -værktøjers anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang.

| | Enkelt tiltag | Kombinerede tiltag |
|----------------------------|--|---|
| Simpel beregning (estimat) | Graddage E_{ref} | Be18 |
| Avanceret beregning | Korrigeret graddage Korrigeret E_{ref} El-besparelse | Alle tiltag Be18: 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 |

Enkeltiltag

Simpel beregning

Klimaskærm
Graddage

Beregning af energibesparelse baseres på graddøgnmetode. Som gennemsnit kan benyttes 3.765 graddage/år – eller 90.360 gradtimer.

U-værdi før/efter renovering beregnes, og derefter beregnes energibesparelsen:

$$(U_{før} - U_{efter}) \times 90,36 \text{ [kWh/år pr. m}^2\text{]}.$$

Metoden kan anvendes i bygninger med opvarmingsbehov 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 5 for uddybning.

Vinduer og ruder
 E_w

Beregning af energibesparelse baseres på beregning af energibalancen for vinduer E_w . Følgende formler benyttes i forhold til vinduets orientering:

$$\text{Nord: } E_w = 104,5 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Øst/vest: } E_w = 232,1 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Syd: } E_w = 431,4 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Ovenlys: } E_w = 345,0 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

hvor

g_w er vinduets g-værdi dvs. korrigeret for andel af ramme/karm og U_w er vinduets U-værdi

U-værdierne for vinduerne før/efter renovering beregnes/fastlægges, og derefter beregnes den samlede energibesparelse som forskellen på de nye og gamle vinduers samlede energibalancer: $\Delta E_{w, \text{efter}} - \Delta E_{w, \text{før}}$. Metoden kan anvendes i bygninger med opvarmingsbehov i perioden medio september til medio maj og ved en rumtemperatur på 20 °C.

Avanceret beregning

Klimaskærm
Graddage
(udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en udvidet graddøgnsmetode. Heri er antallet af graddage eller gradtimer beregnet efter bygningens eller rummets aktuelle indetemperatur i fyringssæsonen, se Bilag 5 vedr. graddøgnsmetode.

Hvis der ikke haves information om indetemperaturen, kan der anvendes værdier fra Tabel 4. Ud over dette er beregningsprincippet som for den almindelige graddagemetode.

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

Metoden kan anvendes til årlige energiberegninger i bygninger med opvarmingsbehov.

Vinduer
 E_w (udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en udvidet beregning af energibalancen for vinduer, E_w , se evt. metodebeskrivelse i afsnit *Simpel beregning*. 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 opvarmingsbehov (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 beregning

Alle tiltag

Be18

Beregning af energibesparelse baseres på en beregning foretaget i programmet Be18. I beregningsprogrammet opbygges en model af det aktuelle rum/bygningsudsnit eller bygning inklusiv beskrivende parametre for konstruktioner (U-værdier) og installationer. I øvrigt forudsættes standardforudsætninger, jf. SBI-anvisning 213 – *Bygningers energibehov* (Aggerholm og Grau, 2014) med undtagelse af parametre nævnt i Tabel 4.

Avanceret beregning

Alle tiltag

Be18 (udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en beregning foretaget i programmet Be18. I beregningsprogrammet opbygges en model af det aktuelle rum/bygningsudsnit eller bygning inklusiv beskrivende parametre for konstruktioner (U-værdi) og installationer. Modellen suppleres med data for aktuelle forhold eller ved anvendelse af standardforudsætninger (Tabel 4), se evt. også næste afsnit *Fastlæggelse af baseline*.

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 Be18 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 bygningstyper.

Fastlæggelse af baseline

Be18 modellen for et renoveringsprojekt kan med fordel kalibreres med det aktuelle forbrug, så der opnås et mere retvisende energiforbrug før renovering. Når der arbejdes videre med den tilpassede model, kan den benyttes som udgangspunkt til beregning af den forventede energibesparelse efter renoveringen.

Baseline defineres i nærværende sammenhæng som energibesparelsen, dvs. forskellen i energiforbruget fra før- til efter-situationen.

Det første skridt ift. at fastlægge baseline, er at opbygge en model af bygningen før renoveringen. Modellen opbygges med udgangspunkt i viden om den konkrete bygning, og i udgangspunktet sættes indetemperatur og interne varmelaster til standardværdierne for den pågældende type byggeri jf. SBI-Anvisning 213, dvs. indetemperatur på 20 °C samt internt varmetilskud på hhv. 5 W/m² for boliger og 10 W/m² for andre bygninger. De øvrige dele af input til modellen kan fastsættes på baggrund af de respektive afsnit i nærværende branchevejledning.

Hvis elforbruget i bygningen er kendt (fx målt over en årrække), justeres modellen således at der bliver overensstemmelse mellem det målte og beregnede elforbrug, dvs.:

- Tilpas værdien: *Internt varmetilskud* → *App. (W/m²)*
- Indtil: *Nøgletal* → *Totalt elforbrug* matcher det målte forbrug.

Det interne varmetilskud fra personer *Internt varmetilskud* → *Personer (W/m²)* kan bestemmes, hvis man har informationer om antallet af personer og samtidigheden ift. tilstedeværelse (se evt. eksempel i Bilag 2).

Sidste skridt i kalibreringen af modellen er, at få modellens varmeforbrug til at matche det målte varmeforbrug. I den forbindelse kan man justere forbruget af varmt brugsvand, hvis forbruget er kendt. Hvis ikke forbruget af varmt brugsvand er kendt anvendes standardværdier (dvs. 250 l/m² for boliger og 100 l/m² for andet).

I Be18-modellen justeres indetemperaturen:

- Tilpas værdien: *Rediger* → *Temperaturer...* → *Opvarm.*
- Indtil varmeforbruget: *Nøgletal* → *Bidrag til energibehovet* → *Varme* matcher det målte varmeforbrug for bygningen.

Hermed opnås en kalibreret model af bygningen før energirenoeringen, hvor både elforbruget og varmeforbruget matcher de tilsvarende målte forbrug. Ud fra denne model udarbejdes der nu en ny model, der afspejler den planlagte energirenoering således at den forventede energibesparelse kan fastlægges. Den energibesparelse som hermed er beregnet, svarer til energirenoeringens *baseline*. Et eksempel på anvendelse af metoden findes i Bilag 2.

Standardforudsætninger

I Tabel 4 er opstillet standardforudsætninger for beregning af det reelle energiforbrug. Det vil sige værdier, som kan anvendes, hvis der ikke eksisterer kvalificeret viden, målinger eller lignende for de pågældende parametre.

Tabel 4. Standardforudsætninger for beregning af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med energirenoering af bygninger.

| | Bolig | Andet | | |
|-----------------------|---|---|--------------|---------------|
| Brugstid: | 168 timer/uge | 50 timer/uge | | |
| | | <u>W/m²</u> | <u>Pers.</u> | <u>Udstyr</u> |
| 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 brugsvand: | 41 l/person pr. dag | Skoler, universiteter: 6 l/person pr. dag Kontorer: 8 l/person pr. dag | | |
| Indetemperatur: | 20 °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 uden for brugstiden, bør dette afspejle sig i beregningerne, så der medtages en varmelast fra udstyr uden for almindelig brugstid.

Parametre og usikkerheder

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. En følsomhedsanalyse viser, hvilke parametre, der har størst indflydelse på resultaterne, se afsnit *Følsomhedsanalyse*.

Usikkerheder

Der skal tilknyttes usikkerheder til alle de parametre, der indgår i energiberegningerne. Usikkerheden udtrykker, hvor veldefineret parameteren er bestemt. Formålet med at vurdere usikkerheden på parametrene er, dels at få et spænd for usikkerheden for energiberegningen, og dels at vurdere effekten af at kvalificere udvalgte parametre yderligere.

Nogle usikkerheder kan reduceres ved en mere tilbunds gående undersøgelse af de eksisterende forhold. Det gælder hovedsagelig for drift og installationer, hvor usikkerheden kan minimeres ved en højere grad af inspicering samt målinger af installationerne og deres performance.

I forbindelse med en renovering skal resultaterne af energiberegninger dokumenteres sammen med usikkerheden.

Betydningen af usikkerheden illustreres med et eksempel. I en kontorbygning er der foretaget en beregning af bygningens forventede energiforbrug til varme og el med beregningsprogrammet Be18. Der betragtes 3 scenarier med forskellig usikkerhed på ventilationen med udgangspunkt i Tabel 6.

For hvert scenarie er beregnet baseline. Figur 3 viser det forventede energiforbrug samt usikkerheder for hvert af de 3 scenarier. Resultaterne for energiforbruget til varme ses under hvert scenarie.

Scenarie 1, usikkerhed på $\pm 40\%$ for vurderet luftmængde,

Her antages, at beregning af energiforbruget er baseret på et meget sparsomt grundlag for ventilationsanlægget. Luftmængderne er anslået uden målinger. Ved besigtigelsen er det konstateret, at der er varmegenvinding, men effektiviteten er 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. Denne usikkerhed på ventilationen fører til et spænd for varmeforbruget på 436 kWh/m² til 658 kWh/m².

Scenarie 2, usikkerhed på $\pm 25\%$ for målt luftmængde og vurderet drift

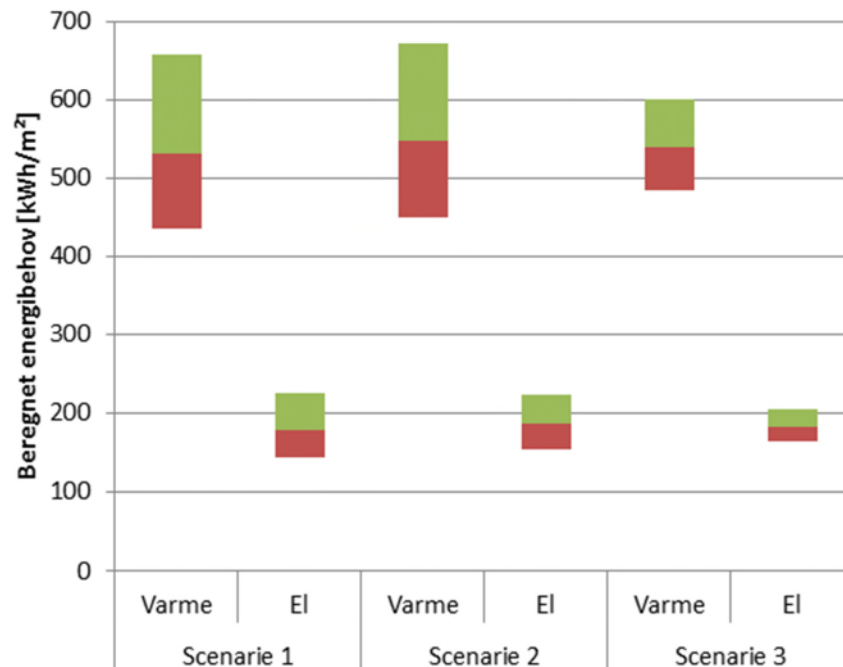
I dette tilfælde er beregningen af energiforbruget baseret på en overfladisk gennemgang af ventilationsanlægget. Luftmængden er målt i hovedkanalen. Ved besigtigelsen er det konstateret, at der er varmegenvinding, men effektiviteten er ikke vurderet. SEL-værdien for ventilationsanlæg er skønnet i forhold 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.

Denne usikkerhed på ventilationen fører til et spænd for varmeforbruget på 449 kWh/m² til 673 kWh/m².

Scenarie 3, usikkerhed på ± 5 % for målt luftmængde og verificeret driftstid

Her baseres beregning af energiforbruget på en dybtgående gennemgang af ventilationsanlægget. Luftmængderne og driftstiderne er bestemt ved repræsentative målinger. Varmegenvindingsgrad er målt. SEL-værdi for ventilationsanlæg er målt, og bygningens tæthed, og dermed infiltrationen 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 den reelle middelluftmængde at være mellem 12.600 m³/time og 14.000 m³/time. Denne usikkerhed på ventilationen fører til et spænd for varmeforbruget på 483 kWh/m² til 602 kWh/m².

Figur 3 viser det beregnede energiforbrug inklusive minimum og maksimum for usikkerhederne for de tre scenarier. På tilsvarende måde vises bygningens forventede elforbrug i de tre scenarier. Det giver en indsnævring af usikkerheden for resultatet ved brug af scenarie 2 og 3 frem for scenarie 1.



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

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. Hvor scenarie 1 har et interval på 222 kWh/m² og så har scenarie 2 et interval på 224 kWh/m², hvilket er en forøgelse, som skyldes forhøjelse af middelværdien. I scenarie 3 reduceres intervallet for usikkerheden til 118 kWh/m², som næsten er en halvering af usikkerheden og som følge heraf opnås et mere sikkert estimat for det samlede energibehov.

Parametre

I det følgende gennemgås de enkelte inputparametre, og hvordan de kan kvalificeres. Der er sat fokus på kontorbyggeri, fordi det oftest vil være mere vanskeligt at kvalificere parametre og usikkerheden for denne type byggeri. Usikkerheder beskrives først overordnet, mens der under nogle af parametrene ligeledes angives specifikke forslag til vurdering af usikkerheder.

Arealer

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, gang-areal 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.

I forbindelse med mange energirenoveringer vil man øge det opvarmede etageareal for bygningen, enten indirekte som forøgelse af bruttoarealet ved udvendig isolering, eller direkte, ved at tidligere uopvarmede arealer (altaner, loftsrum mv.) inddrages i det opvarmede etageareal.

I den forbindelse skal man være opmærksom på, at man i beregningen af "efter"-situationen ikke får øget varmeafgivelsen fra personer og udstyr samt forbruget af varmt brugsvand, medmindre der er tale om en forøgelse af fx antal personer. Hvis det opvarmede etageareal fx øges med 10 % bør man tilsvarende reducere værdierne for de interne varmetilskud og det varme brugsvand, således at forholdene totalt set er ens i beregningerne før og efter energirenoveringen.

Konstruktioner

Konstruktioners opbygning, isoleringsgrad og dermed U-værdier m.m. har væsentlig betydning for bygningens energiforbrug og dermed også for besparelspotentialet 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*.

Eksempel: Træbjælkelag med gulv i loftrum; bygning – 1960

Det forudsættes, at bjælkelaget ikke er tilgængeligt og at der muligvis er indblæst isolering under gulv.

Tabel 5 viser, at den gennemsnitlige U-værdi for konstruktionen er 0,82 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.

Tabel 5. U-værdier for forskellige typiske etageadskillelser med træbjælkelag, hvor der er regnet middelværdi og spredning. Kilde: *Håndbog for Energikonsulenter*.

| Beskrivelse | U-værdi |
|--|---------|
| Spær eller bjælkelag, uisoleret | 1,47 |
| Spær eller bjælkelag, indskudsbrædder og lerindskud | 0,93 |
| Spær eller bjælkelag, indskudsbrædder, lerindskud og loftbrædder | 0,78 |
| Spær eller bjælkelag, 25 mm isolering | 0,82 |
| Spær eller bjælkelag, 50 mm isolering | 0,57 |
| Maks. | 1,47 |
| Median | 0,82 |
| Min. | 0,57 |
| Spredning | 0,34 |

Lignende metode kan anvendes for andre typer konstruktioner. Det bemærkes i øvrigt, at man i forbindelse med efterisolering af eksisterende konstruktioner, kan påvirke omfanget og tilstedeværelsen af kuldebroer i bygningen. Dette skal der naturligvis tages højde for i vurderingerne.

Brugstid

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. Det anbefales, at inddrage den nye bruger i fastlæggelsen af brugstiden.

Ventilation

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 opvarmningsperiode 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.

Tabel 6. Parametre og variationer til vurdering af usikkerhed for ventilation i forbindelse med energireno-
vering 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 % |

I det omfang driftstider for anlæg er længere end den for bygningen 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

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.

Der angives lavere anbefalinger til varmeafgivelse i denne branchevejledning end i Branchevejledningen for indeklimaberegninger. Det skyldes, at Branchevejledningen for indeklimaberegninger fokuserer på dimensionerende forhold, altså hvor stor en varmebelastning bygningen skal dimensioneres til. Omvendt gælder det for Branchevejledningen for energiberegninger, at energiberegningerne ofte bruges til at bestemme en forventet energibesparelse, hvor et højt varmetilskud vil reducere opvarmningsbehovet. Rationalet er derfor, at dimensionering af indeklima bør baseres på overvurdering af det interne varmetilskud, mens det for energiberegninger bør undervurderes, for at sikre at resultaterne bliver på den sikre side.

For personer kan der regnes med et internt varmetilskud på 90 W/person. I fx 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 | Samtidigthed |
|----------------|--------------------------|--------------|
| 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

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 installation 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 dog forbundet med meget store usikkerheder.

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

Andet elforbrug

Elforbruget til for eksempel udendørs belysning, elevatorer m.m. indgår ikke direkte i den almindelige Be18-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 brugsmønstre.

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

Køling

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 installeringen som kvalificering af data.

Varmefordelingsanlæg

Rørlængder, placering og isoleringsgrad fastlægges ved besigtigelse. Hvis besigtigelse ikke er mulig, kan rørlængder normalt bestemmes med hjælp af formlerne angivet i Tabel 9 og Tabel 10.

Tabel 9. Varmefordelingsrør i enfamiliehuse – ført utilgængeligt, *Håndbog for energikonsulenter*.

| | |
|--|---|
| Rør ført i terrændækket under isoleringslaget: | |
| 1-streng | 2 x Bygningslængde + 2 x Bygningsbredde |
| 2-streng | 4 x Bygningslængde + 2 x Bygningsbredde |
| Rør ført i krybekælder/loft: | |
| 1-streng | 2 x Bygningslængde + 2 x Bygningsbredde |
| 2-streng | 2 x Bygningslængde + 4 x Bygningsbredde |
| Rør ført i fordelingsgrav (rørgrav): | |
| 2 x Længde af rørgrav | |
| Rør i skunkrum: | |
| 2 x Længde af skunkrum | |

Tabel 10. Varmefordelingsrør i etageejendomme – ført utilgængeligt, *Håndbog for energikonsulenter*.

| | |
|--|---|
| Rør ført i terrændækket under isoleringslaget: | |
| 1-streng | 2 x Bygningslængde + 2 x Bygningsbredde |
| 2-streng | 4 x Bygningslængde + 2 x Bygningsbredde |
| Rør ført i krybekælder/loft: | |
| 1-streng | 2 x Bygningslængde + 2 x Bygningsbredde |
| 2-streng | 2 x Bygningslængde + 4 x Bygningsbredde |
| Rør ført i uopvarmet kælder (2-streng): | |
| 2 x Bygningslængde + Bygningsbredde x Antal stigstregesæt (frem + retur) | |
| Rør ført i fordelingsgrav (rørgrav): | |
| 2 x Længde af rørgrav | |
| Rør i skunkrum: | |
| 2 x Længde af skunkrum | |

Bemærk at bygningslængde og bygningsbredde regnes ved udvendige mål, og at der i opgørelsen kun indgår rør uden udetemperatur-kompensering samt rør uden for den opvarmede del af bygningen.

Varmetabskoefficienter for varmerør kan fastlægges ud fra tabeller i *Håndbog for Energiforsyning*.

Pumper

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 Energiforsyning*.

Varmt brugsvand

Beholderstørrelse, fordeling og pumper indtastes. Varmetab fra varmtvandsbeholdere kan bestemmes af Tabel 11 og Tabel 12.

Tabel 11. Tab fra små varmtvandsbeholdere i W/K ekskl. tilslutninger, *Håndbog for energikonsulenter*.

| VVB, liter | Ingen | Isolering | | | |
|------------|-------|-----------|-------|-------|--------|
| | | 30 mm | 50 mm | 75 mm | 100 mm |
| 50 | 6,1 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| 100 | 9,7 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,2 |
| 110 Metro | - | - | 1,14 | - | - |
| 150 | 14,8 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,5 |
| 200 | 20,0 | 2,6 | 2,3 | 1,9 | 1,7 |
| 250 Sol | - | - | - | 1,65 | - |
| 300 Sol | - | - | - | 2,9 | - |

Tabel 12. Tab fra store varmtvandsbeholdere i W/K ekskl. tilslutninger, *Håndbog for energikonsulenter*.

| VVB, liter | Ingen | Isolering | | | |
|------------|-------|-----------|-------|-------|--------|
| | | 30 mm | 50 mm | 75 mm | 100 mm |
| 300 | 20,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,2 |
| 500 | 27,4 | 4,7 | 4,0 | 3,3 | 2,9 |
| 750 | 35,3 | 6,0 | 5,1 | 4,1 | 3,7 |
| 1.000 | 42,1 | 7,1 | 6,1 | 4,9 | 4,3 |
| 1.500 | 54,3 | 9,0 | 7,7 | 6,2 | 5,4 |
| 2.000 | 65,6 | 10,8 | 9,2 | 7,3 | 6,4 |
| 2.500 | 73,1 | 12,0 | 10,2 | 8,1 | 7,1 |
| 3.000 | 82,6 | 13,5 | 11,5 | 9,1 | 7,9 |
| 5.000 | 112,6 | 17,5 | 14,7 | 11,4 | 9,7 |
| 10.000 | 181,8 | 28,7 | 24,2 | 18,9 | 16,2 |

Varmetab fra varmtvandsrør kan bestemmes ud fra tabellerne i *Håndbog for Energi-konsulenter*.

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 frem for 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.

I Tabel 13 er der angivet typisk varmtvandsforbrug for forskellige bygningstyper. Disse tal kan anvendes, hvis varmtvandsforbruget for bygningen ikke er kendt.

Tabel 13. Varmtvandsforbrug i l/m² pr. år.

| Bygningstype | Forbrug |
|-------------------------------------|-----------|
| Kontorer, administration og erhverv | 30 ± 10 |
| Skoler | 50 ± 25 |
| Enfamiliehuse og rækkehuse | 250 ± 50 |
| Etageejendom | 250 ± 150 |

Varmeinstallation

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 Energi-konsulenter*.

El- og varmeproduktion

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

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

Betydning af parametre

Når baseline er fastlagt, anbefales det at kvalificere resultatet yderligere ved hjælp af en følsomhedsanalyse for udvalgte inputparametre.

Formålet er at udvælge de parametre, der har størst indflydelse på resultatet af energiberegningen, og ved at variere disse parametre fastlægges resultatets følsomhed over for evt. forskelle mellem antagede og faktiske forhold. Dermed kan energiforbrug eller –besparelse angives som et forventet spænd for den samlede energiberegning frem for en enkelt værdi, og hermed illustreres beregningens følsomhed.

Fremgangsmåde

Resultatet af baseline beregningen kan benyttes som udgangspunkt for følsomhedsanalysen. For at finde ud af, hvor robust resultatet er ift. en given parameter, fastsættes to ekstra inputværdier for parameteren, der henholdsvis antager en højere og en lavere værdi. Jo mere resultatet afviger fra baseline, jo mere følsomt er resultatet ift. den pågældende parameter.

Følsomhedsanalysen bør udføres for alle de parametre, som kan have væsentlig indflydelse på den forventede energibesparelse. I de fleste tilfælde vil det dreje sig om følgende parametre:

- Ventilation og lufttæthed
- Udetemperaturen
- Indetemperaturen
- Brugstid
- Internt varmetilskud
- Varmt brugsvand
- Konstruktioner
- Belysning

I Tabel 14 gives forslag til variationer af betydende parametre til brug for følsomhedsanalysen. Variationer for ventilation behandles særskilt, da den afhænger af usikkerheden på bestemmelsen af parameteren. Såfremt der for et konkret byggeri haves viden om de mulige variationer af de forskellige parametre, kan disse naturligvis anvendes i stedet.

Tabel 14. 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 vejrdato* | 2008 / 2010 vejrdato* |
| | 2608 / 3490 graddage | 2608 / 3490 graddage |

* Der gennemføres to separate Be18-beregninger, hvor standard-vejrdato udskiftes med henholdsvis data fra 2008 og 2010, som var et henholdsvis varmt og koldt år. For simple beregninger kan de anførte graddage benyttes.

Generelt må der accepteres en vis usikkerhed hovedsagelig for de forhold, der er knyttet til brugervaner. Det skyldes, at de er vanskelige at fastlægge, og derfor må de blot accepteres i beregningerne, men netop derfor er det vigtigt at undersøge følsomheden i forhold til disse parametre.

Ventilation

Ventilationsmængder og –anlægsydelse har væsentlig betydning for energiforbruget i bygningen, og er ofte forbundet med relativt store usikkerheder. Derfor kan det være en stor fordel, hvis man i forbindelse med en renovering kortlægger ventilationen for bygningen inden renoveringen, og sørger for at eventuelle nye anlæg bliver indreguleret og testet grundigt efter renoveringen, så de kører optimalt og efter hensigten.

Der foretages en følsomhedsanalyse for ventilationen med parametre og variationer som anført i Tabel 6. Desto mere detaljeret viden, der haves om de faktiske forhold, desto mindre variation vil være nødvendig.

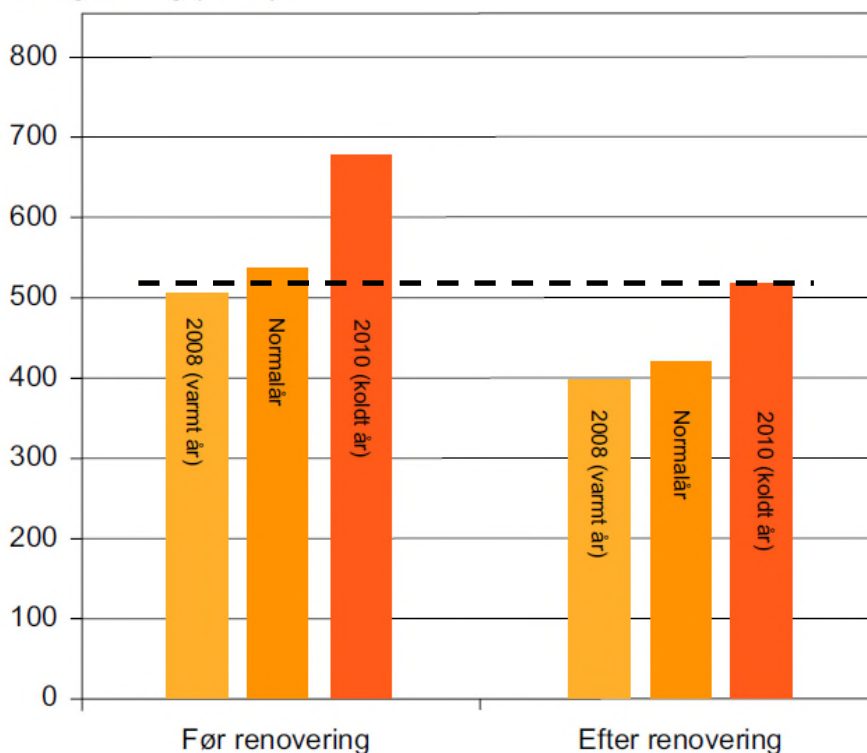
Der gennemføres to beregninger; én svarende til worst case, hvor energibesparelsen er lavere end baseline og én svarende til best case, hvor energibesparelsen er højere end baseline. Worst case vil fx svare til, at middelluftmængder er højere, varmegenvinding lavere, SEL-værdi højere og infiltration højere end for baseline, og omvendt for best case.

Udetemperatur

Udetemperaturen har stor betydning for varmeforbruget i bygningen, og den varierer en del fra år til år. Der foretages derfor beregninger med hhv. vejrdata fra 2008, som var et varmt år og vejrdata fra 2010, som var et koldt år. Beregningerne foretages ved at graddøgnskorrigere resultaterne som er opnået med de normale DRY-vejrdata, og det kan hermed fx også gøres for resultater som er fastlagt på baggrund af Be18. Beregningerne kan anvendes til at illustrere, hvor følsom energibesparelsen er over for udeklimaets variation, og dermed hvor meget energibesparelsen vil kunne svinge fra år til år.

Det er vigtigt at formidle udetemperaturens betydning for energibesparelsen til bygherre og brugere/beboere, da man vil kunne opleve, at en forventet besparelse helt udebliver i et koldt år. Figur 4 viser et eksempel, der illustrerer dette. Hvis beslutningen om energirenoveringen er truffet i 2008 og renoveringen udføres i 2009, så kan det målte forbrug i 2010 have samme størrelsesorden, som det målte energiforbrug før renoveringen. Dette skyldes udelukkende variationen i udetemperaturen.

Energiforbrug (MWh)



Figur 4. Eksempel. Beslutning om energirenovering træffes i 2008, renovering udføres i 2009 og da man måler energiforbruget efter renoveringen i 2010, er forbruget det samme som blev målt i 2008. Den reelle gennemsnitlige besparelse kan fastlægges ud fra værdierne for normalåret.

Indetemperatur

Indetemperaturen har stor betydning for varmekonsumet i bygningen, og desto højere indetemperaturen er desto større energibesparelse opnås der ved en energirenovering. Hvis indetemperaturen ændres i forbindelse med renoveringen, enten fordi den hæves efter renoveringen, eller hvis den gennemsnitligt er lavere end forventet før renoveringen, kan det reducere energibesparelsen væsentligt (se evt. bilag 3 om prebound- og rebound-effekter).

Hvis der ikke findes registreringer af indetemperaturen før renoveringen kan denne vurderes ved at kalibrere før-modellen (se evt. bilag 2 om kalibrering af beregningsmodel). Det vil oftest kunne vurderes, om det er sandsynligt, at indetemperaturen stiger i forbindelse med en renovering, specielt hvis man har kendskab til temperaturen inden renoveringen.

Internt varmetilskud

Det interne varmetilskud fra personer og udstyr har væsentlig betydning for energiforbruget i bygningen. Dog påvirkes energibesparelsen kun, hvis tilskuddet ændres i forbindelse med en energirenovering. Dette kan eksempelvis være tilfældet, hvis der skiftes brugere/anvendelse, eller hvis der fx installeres ny belysning eller andet elforbrugende udstyr i forbindelse med renoveringen.

Varmt brugsvand

Varmt brugsvand har ligesom det interne varmetilskud betydning for energiforbruget i bygninger, men påvirker normalt ikke en forventet energibesparelse i særlig høj grad, hvis ikke forbruget ændres i forbindelse med renoveringen. Her kan det selvfølgelig have en betydning, hvis installationer udskiftes eller efterisoleres.

Konstruktioner

Når der skal vurderes usikkerhed for konstruktioner kan man ikke blot variere U-værdierne med eksempelvis $\pm 10\%$. Det skyldes primært at U-værdier ikke er lineært afhængige af isoleringstykkelsen da de reduceres mest med den første isolering, mens effekten aftager med isoleringstykkelsen. Derfor er det nødvendigt med mere kendskab til opbygningen af konstruktionen for at vurdere følsomheden af denne. Der kan hentes hjælp i *Håndbog for energikonsulenter* til vurdering af mulige U-værdier for konstruktioner. I Bilag 1 gives et eksempel på, hvordan følsomheden for konstruktioner kan vurderes.

Resultat af følsomhedsanalyser

Resultatet af følsomhedsanalysen kan præsenteres på forskellige måder, og resultaterne kan også efterbehandles for at give bygherre et mere overskueligt billede af følsomheden af den beregnede energibesparelse.

Den samlede vægtning af parametrene usikkerheder kan tilpasses til, hvad man vil bruge beregningerne til. Herunder er givet 3 forskellige forslag til hvordan resultatet af følsomhedsanalyserne fx kan præsenteres.

1. Simple tilgang

Energibesparelse udtrykkes som resultatet af baseline med tilhørende spænd fra følsomhedsanalysen.

2. Pragmatisk tilgang

Her benyttes den simple tilgang i en udvidet udgave, hvor man ved at frasortere de parametre, som har mindst betydning for resultatet, opnår en mere overskuelig præsentation af resultatet.

3. Probabilistisk tilgang

Her tildeles de forskellige udfald af følsomhedsanalysen sandsynligheder, og dermed kan man fastlægge den forventede besparelse med en større præcision og med et mindre spænd.

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, som redegør for ændringer i funktionalitet, brug og 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 fx 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.

Dokumentationen skal omfatte de oplysninger, der fremgår af Tabel 15.

Tabel 15. 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, graddøgnskorrigeret |
| | 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 |
| | Resultater |
| Følsomhedsanalyse | Forudsætninger |
| | Resultater |
| Energiforbrug | Beregnet energiforbrug før renovering |
| | Beregnet energiforbrug efter renovering, |
| | inkl. følsomhedsanalyse af relevante parametre |

Opfølgning og funktionsafprøvning

For at realisere de beregnende energibesparelser er det vigtigt, at der først sikres en indkøring af systemerne, så de fungerer optimalt inden det vurderes om de forventede energibesparelser kan opnås. Der kan foretages performancetest af de installerede komponenter for at sikre, at de fungerer som planlagt. Performancetesten er en funktionstest, som afprøver funktionaliteten og effektiviteten af installationerne uden påvirkning fra brug af bygningen og personbelastning. Den tester således, om anlæggene performer, som de skal uafhængigt af brugen under de forudsætninger, der er aftalt. Se eksempelvis udgivelsen *Performance tests før AB-aflevering og Bygningsstyrelsens paradigmer for performancetest* (Bygningsstyrelsen 2014, 2017).

En performancetest skal foretages inden den renoverede bygning er afleveret og bør være en integreret del af energirenoveringsprojektet og dermed være indeholdt i udbudsmaterialet. Dette beskrives nærmere i SBI-anvisning 269 – *Energirenovering af større bygninger, metode og proces*.

En forudsætning for at leve op til de forventede energibesparelser er, at nye eller energirenoverede installationer og bygningen som helhed styres og reguleres som forudsat. Derfor er det afgørende, at driftspersonale (og brugere) får videregivet alle relevante oplysninger om energirenoveringsprojektet og at driftspersonalet undervises i at betjene installationerne. I den efterfølgende drift kan en energisignatur for bygningen hjælpe driften til hurtigt at opdage afvigelser fra normalen. Se bilag 6 for mere information om energisignatur.

Evaluering

Den sidste fase efter gennemførelse af en energirenovering er at følge op på de opnåede energibesparelser. Denne del fravælges ofte, men det kan være en god ide at gennemføre en opfølgning for bygherren, som dermed kan få klarlagt om den forventede energibesparelse opnås. Hvis den ikke opnås kan det efterfølgende analyseres, hvorfor energibesparelsen ikke opnås.

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. Periodens længde vil afhænge af renoveringens omfang, kompleksiteten af bygningens systemer mv., men bør fortsættes indtil bygningens drift, og dermed energiforbrug, matcher de beregnede data.

I forhold til sammenligning af beregnet og målt forbrug skal der kompenseres for aktuelle vejrforhold og eventuelt anden faktisk brug af bygningen, hvis der eksempelvis er flere brugere end før renoveringen eller helt andre brugere.

Litteraturhenvisninger

Anvisning om Bygningsreglement 2015, SBI-anvisning 258. Hansen, Ernst Jan de Place m.fl. 1. ed. København: SBI forlag, 2016. 438 p.

Bygningers energibehov. SBI-anvisning 213, 3. udgave. Aggerholm, Søren; Sørensen, Karl Grau. København: SBI forlag, 2014. 124 p.

Bygningsreglement 2015, BR15, Bekendtgørelse nr. 1028 af 30/06/2016. Bekendtgørelse af offentliggørelse af bygningsreglement 2015. København: Trafik og Byggestyrelsen.

Branchevejledning for indeklimaberegninger. Vorre, Mette Havgaard; Wagner, Mads Hulmose; Maagaard, Steffen Enersen; Noyé, Peter; Lyng, Nadja Lyng; Mortensen, Lone, InnoBYG. København: SBI forlag, 2017. 52 p.

Dansk standard, DS/EN ISO 25745-1:2012 Energieffektivitet for elevatorer, rulletrapper og rullefortov - Del 1: Energimåling og verifikation. Charlottenlund: Dansk Standard, 2012. 32 p.

Energirenovering af større bygninger: metode og proces. SBI-anvisning 269. Mortensen, Lone Hedegaard; Birck Laustsen, Jacob; Vorre, Mette Havgaard; Maagaard, Steffen Enersen; Kamper, Simon; Noyé, Peter. København: SBI Forlag, 2017. 95 p.

Håndbog for energikonsulenter (HB2016), Bekendtgørelse nr. 1759 af 15/12/2015. Tilgængelig på www.retsinformation.dk

Performancetests før AB-aflevering. København: Bygningsstyrelsen, 2014.

Bygningsstyrelsens paradigmer for performancetest. 2017. Tilgængelig på www.bygst.dk/viden-om/performancetest



Bilag 1: Beregningseksempel

Som beregningseksempel for at bestemme forventede energibesparelser ved forskellige energirenoveringstiltag benyttes en etagebolig fra bebyggelsen Gadehavegård (se evt. case-beskrivelsen i Bilag 7, dvs. case 1). Bygningen er rektangulær, har et bruttoetageareal på 4.218 m². Bygningen er i fire etager med fuld kælder på 1243 m². Konstruktioner og isoleringstykkelejer kan ses i case-beskrivelsen i Bilag 7.

Der er naturlig ventilation i hele huset i form af oplukkelige vinduer, fast indstillede aftræksventiler i bad og emhætte.

Bygningen forsynes med fjernvarme.

Bygningen har et målt årligt varmeforbrug på 460 MWh; heraf kan ca. 139 MWh henføres til forbrug af varmt brugsvand. Bygningen har et samlet el-behov på 115 MWh – heraf kan ca. 17 MWh henføres til bygningsdrift (drift af ventilation, pumper m.m.). Resten af el-behovet skyldes privatforbrug i lejlighederne.

Energibesparende tiltag

For etageboligen tænkes gennemført en række energibesparende tiltag, bl.a. tillægsisolering af ydervæg og loft, udskiftning af vinduer, opgradering af ventilation samt isolering af rør til distribution af varmt vand.

Med baggrund i metodebeskrivelse benyttes Be18 til vurdering af potentialet for energibesparelser ved energirenovering af etageboligen.

Som eksempel betragtes efterisolering af ydervægge. De eksisterende ydervægge vurderes at have en U-værdi på ca. 0,38 W/m²K ved balkoner og 0,57 W/m²K i øvrigt. Ved en udvendig efterisolering med 200 mm isolering reduceres U-værdien til hhv. 0,13 W/m²K og 0,14 W/m²K.

Implementeres dette enkeltstående tiltag forventes en reduktion i varmebehovet på 88,5 MWh/år beregnet med Be18.

På tilsvarende måde kan besparelspotentialet for øvrige enkelttiltag beregnes, se Tabel 1.1.

Følsomhedsanalyse

For ydervæggene er det uklart hvilken type isoleringsmateriale der oprindeligt er anvendt og hvilken stand isoleringen er i.

I udgangspunktet er det antaget, at isoleringen i ydervæggen har en varmeledningsevne på 0,039 W/mK, og når ydervæggen så efterisoleres med 200 mm isolering, opnås en reduktion i varmebehovet på 17,8 kWh/m²/år (se evt. Tabel 1.1). Hvis den faktiske varmeledningsevne af isoleringsmaterialet i den eksisterende ydervæg er 0,041 W/mK, og den efterisoleres udvendigt med 200 mm isolering forventes i stedet en reduktion i varmebehovet på 15,3 kWh/m²/år.

Kombination af tiltag

Kombineres flere energibesparende tiltag beregnes den forventede energibesparelse ved hjælp af Be18, som anført i afsnit *Beregningsvejledning*.

Vælges eksempelvis en samtidig energiteknisk opgradering af ydervæg, loft samt ventilationsanlæg beregnes den forventede energibesparelse, som vist i Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Beregning af besparelspotentiale ved kombination af flere forskellige enkelttiltag ved energirenovering af etagebolig.

| Tiltag | Før renovering | Efter renovering | Besparelspotentiale [kWh/m ² /år] |
|--|---|--|--|
| Efterisolering af fladt tag (250 mm isolering) | U-værdi: 0,18 W/m ² K | U-værdi: 0,11 W/m ² K | 1,6 |
| Efterisolering af ydervæg ved balkon (200 mm isolering) | U-værdi: 0,38 W/m ² K | U-værdi: 0,13 W/m ² K | |
| Efterisolering af ydervæg i øvrigt (200 mm isolering) | U-værdi: 0,57 W/m ² K | U-værdi: 0,14 W/m ² K | 17,8 |
| Udskiftning af vinduer | U-værdi: 2,93 W/m ² K g-værdi: 0,76 | U-værdi: 0,92 W/m ² K g-værdi: 0,50 | 17,5 |
| Installation af mekanisk ventilation med varmegenvinding | Mekanisk udsugning/ Naturlig ventilation | Varmegenvinding 80 % SEL-værdi: 1,0 kJ/m ³ | 13,6 (varme) 1,0 (el) |
| Isolering af rør i varmtvandssystem | Varmtvandsrør uden isolering | Varmtvandsrør med 60 mm isolering | 10,1 |
| I alt | | | 57,9 (varme) 0,7 (el) |

Det observeres, at den forventede energibesparelse ved implementering af alle fem tiltag er noget mindre end summen af de forventede energibesparelser for de fem individuelle tiltag. Det skyldes, at energibesparelserne for de enkelte tiltag påvirker hinanden, og i dette eksempel betyder det relativt meget.

Bilag 2: Kalibrering af beregningsmodel ud fra målte data

Be18 modellen for et renoveringsprojekt kan med fordel kalibreres med det aktuelle forbrug, så der opnås et mere retvisende energiforbrug før renovering. Når der arbejdes videre med den tilpassede model, kan den benyttes som udgangspunkt for forventet energibesparelse efter renoveringen.

Baseline defineres i nærværende sammenhæng som energibesparelsen, dvs. forskellen i energiforbruget fra før- til efter-situationen.

Det første skridt ift. at fastlægge baseline, er at opbygge en model af bygningen før renoveringen. Modellen opbygges med udgangspunkt i viden om den konkrete bygning, og i udgangspunktet sættes indetemperatur og interne varmelaster til standardværdierne for den pågældende type byggeri jf SBI-Anvisning 213, dvs. indetemperatur på 20 °C samt internt varmetilskud på hhv. 5 W/m² for boliger og 10 W/m² for andre bygninger. De øvrige dele af input til modellen kan fastsættes på baggrund af de respektive afsnit i nærværende branchevejledning.

Hvis elforbruget i bygningen er kendt (fx målt over en årrække), justeres modellen således at der bliver overensstemmelse mellem det målte og beregnede elforbrug, dvs.:

- Tilpas værdien: *Internt varmetilskud* → *App. (W/m²)*
- Indtil: *Nøgletal* → *Totalt elforbrug* matcher det målte forbrug.

Det interne varmetilskud fra personer *Internt varmetilskud* → *Personer (W/m²)* kan bestemmes, hvis man har informationer om antallet af personer og samtidigheden ift. tilstedeværelse (se evt. eksempel på følgende side).

Eksempel: Stengårdsskolen (se evt. bilag 7)

Stengårdsskolen har 350 elever og 35 medarbejdere. Det antages, at der er en samtidighed på 70 % (dvs. at der i hele bygningens brugstid er ca. 270 personer til stede) og at varmeafgivelsen fra personer i gennemsnit svarer til "stillesiddende", dvs. en varmeafgivelse på 80 W. Hermed bestemmes det interne varmetilskud fra personer som:

$$385 \text{ personer} \times 70 \% \text{ samtidighed} \times 80 \text{ W} / 8837 \text{ m}^2 = 2,4 \text{ W/m}^2$$

Det interne varmetilskud er i dette tilfælde noget lavere end standardværdien på 4,0 W/m², og det har en væsentlig betydning for bygningens energiforbrug.

*I tilfældet med Stengårdsskolen haves en måling af det totale elforbrug, som kan omregnes til et omtrentligt internt varmetilskud. Skolen bruger ca. 269.000 kWh om året, hvilket svarer til 3,5 W/m². Hele elforbruget vil dog næppe komme bygningen til gode som internt varmetilskud (fx udebelysning, forbrug i kældre- eller fyrrum mv.), og derfor bør det overvejes at justere værdien lidt nedad. Havde forbruget ikke været kendt, kunne man som alternativ have fastlagt et rimeligt bud på værdien ved at regne forholds-mæssigt ud fra det interne varmetilskud fra personer: $6,0 \text{ W/m}^2 * 2,4 \text{ W/m}^2 / 4,0 \text{ W/m}^2 = 3,6 \text{ W/m}^2$.*

Sidste skridt i kalibreringen af modellen er, at få modellens varmeforbrug til at matche det målte varmeforbrug. I den forbindelse kan man justere forbruget af varmt brugsvand, hvis forbruget er kendt. Hvis ikke forbruget af varmt brugsvand er kendt anvendes standardværdier (dvs. 250 l/m² for boliger og 100 l/m² for andet).

I Be18-modellen justeres indetemperaturen:

- Tilpas værdien: *Rediger* → *Temperaturer...* → *Opvarm.*
- Indtil varmeforbruget: *Nøgletal* → *Bidrag til energibehovet* → *Varme* matcher det målte varmeforbrug for bygningen.

Hermed opnås en kalibreret model af bygningen før energireoveringen, hvor både elforbruget og varmeforbruget matcher de tilsvarende målte forbrug. Ud fra denne model udarbejdes der nu en ny model, der afspejler den planlagte energireovering således at den forventede energibesparelse kan fastlægges. Den energibesparelse som hermed er beregnet, svarer til energireoveringens *baseline*.

Bilag 3: Prebound- og rebound-effekter

En af de mulige årsager til, at forventede energibesparelser ikke altid indfries i forbindelse med omfattende energirenoveringsprojekter, er de såkaldte prebound- og rebound-effekter. Begge effekter trækker energibesparelsen i den forkerte retning, og i situationer hvor begge effekter optræder, kan det medføre at forventede energibesparelser udebliver.

Prebound betyder, at brugerne af den pågældende bygning, inden renoveringen gennemføres, bruger mindre energi end forventet. For at spare på energien holder brugerne fx en gennemsnitligt lavere indetemperatur end de 20 °C, der normalt regnes med (enten generelt eller fx ved ikke at opvarme alle rum i bygningen). Hvis man i dette tilfælde har beregnet den forventede energibesparelse med en indetemperatur på 20 °C vil man overvurdere energibesparelsen.

Rebound betyder, at brugerne af den pågældende bygning, efter renoveringen gennemføres, bruger mere energi end forventet. Efter renoveringen vil udgifterne til opvarmning af bygningen være væsentligt reduceret, og dermed er brugerne måske ikke så opmærksomme på at spare som før og øger i stedet komforten ved fx at hæve indetemperaturen. Hvis man i dette tilfælde har beregnet den forventede energibesparelse med en forventet indetemperatur på 20 °C vil man overvurdere energibesparelsen. Rebound effekten kan også hænge sammen med adfærd omkring udluftning, fx hvis beboerne efter energirenovering lugter ud med åbne vinduer, og der i beregningerne er forudsat at det kun sker gennem mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Eksempel: Gadehavegård (se evt. bilag X)

For Gadehavegård er der lavet en følsomhedsanalyse af indetemperaturens betydning for den forventede energibesparelse. Analysen viser at den totale energibesparelse varierer mellem 275,9 – 306,5 MWh hvis indetemperaturen varierer fra 21 – 23 °C. Heri er der dog ikke medtaget betydningen af eventuelle pre- og rebound-effekter, idet analysen antager at temperaturen er den samme før/efter renoveringen.

Hvis man fx laver en analyse af den forventede energibesparelse, hvor indetemperaturen er 19 °C inden renoveringen og 21 °C efter renoveringen, bliver energibesparelsen 219,4 MWh. Hvis man antager at indetemperaturen er 20 °C før og 22 °C efter bliver energibesparelsen 235,7 MWh. Heraf er det tydeligt, at prebound- og rebound-effekterne kan have en ret væsentlig betydning for de opnåede energibesparelser.



Bilag 4: Håndtering af el-producerende anlæg som fx solceller

Solceller eller andre el-producerende anlæg kan medvirke til at reducere det samlede primær-energiforbrug for en bygning. Fastlæggelsen af den mængde el som produceres af anlægget kan foretages vha. Be18.

Solcelleydelsen aflæses i Resultat-rapporten *Solceller og vindmøller -> Solcelleydelse*. Dette svarer dog til den totale el-produktion fra solcellerne, og derfor er det nødvendigt at fastlægge hvor meget af den producerede el der kan anvendes direkte i bygningen og hvor meget af den producerede el der må sælges til nettet. Dette kan gøres ved at benytte metoderne beskrevet i *Håndbog for Energikonsulenter*, afsnit 9.19 *Solcelleanlæg*, og gengives i kort form i det følgende.

Den samlede solcelleydelse aflæses, og derudover aflæses bygningens samlede el-behov *Solceller og vindmøller -> Bygningens samlede el-behov* eller el-behovet til bygningsdrift *Solceller og vindmøller -> Elbehov til bygningsdrift*. Hvilken af de to der skal benyttes i fastlæggelsen af den samlede solcelleydelse, afhænger af bygningstypen. Den direkte årlige udnyttelse af solcellestrømmen fastlægges ved at tage forholdet mellem den producerede solcelle-el og elforbruget i bygningen, og aflæse udnyttelsesprocenten i Tabel 4.1.

Bemærk at man i etageboliger kun kan dække elforbruget til bygningsdrift via solcelleproduktionen. Det private elforbrug til husholdning i lejlighederne, kan altså ikke medregnes. Derfor skal Tabel 4.1 anvendes for etageboliger, hvor andelen udregnes på baggrund af elforbruget til bygningsdrift.

Tabel 4.1 Den direkte årlige udnyttelse af solcellestrøm. Kilde: *Håndbog for Energikonsulenter*.

| Elforbrug, som dækkes af solceller | Boliger | | Erhvervsbygning i brug hverdage kl. 8-17. | | Erhvervsbygning i brug alle dage kl. 8-17. | |
|------------------------------------|----------------|----------------|---|----------------|--|----------------|
| | u. el-op-varm. | m. el-op-varm. | u. el-op-varm. | m. el-op-varm. | u. el-op-varm. | m. el-op-varm. |
| 0,1 | 0,69 | 0,50 | 0,65 | 0,50 | 0,93 | 0,50 |
| 0,2 | 0,67 | 0,44 | 0,65 | 0,44 | 0,93 | 0,44 |
| 0,3 | 0,60 | 0,40 | 0,65 | 0,40 | 0,86 | 0,40 |
| 0,4 | 0,53 | 0,36 | 0,65 | 0,36 | 0,80 | 0,36 |
| 0,5 | 0,47 | 0,33 | 0,65 | 0,33 | 0,74 | 0,33 |
| 0,6 | 0,42 | 0,30 | 0,64 | 0,30 | 0,68 | 0,30 |
| 0,7 | 0,38 | 0,28 | 0,62 | 0,28 | 0,62 | 0,28 |
| 0,8 | 0,35 | 0,25 | 0,59 | 0,25 | 0,58 | 0,25 |
| 0,9 | 0,32 | 0,24 | 0,57 | 0,24 | 0,53 | 0,24 |
| 1,0 | 0,30 | 0,22 | 0,54 | 0,22 | 0,50 | 0,22 |
| 1,1 | 0,28 | 0,21 | 0,51 | 0,21 | 0,47 | 0,21 |
| 1,2 | 0,26 | 0,20 | 0,49 | 0,20 | 0,43 | 0,20 |
| 1,5 | 0,22 | 0,17 | 0,42 | 0,17 | 0,37 | 0,17 |
| 2,0 | 0,18 | 0,13 | 0,35 | 0,13 | 0,29 | 0,13 |
| 3,0 | 0,13 | 0,10 | | | 0,21 | 0,10 |
| 4,0 | 0,10 | 0,08 | | | 0,16 | 0,08 |
| 5,0 | 0,08 | 0,06 | | | 0,13 | 0,06 |

Eksempel: Gadehavegård (se evt. bilag 7)

I Gadehavegård er der opsat 203 m² solceller med en peak power på 0,155 kW/m² og en systemvirkningsgrad på 87,6 %. Solcellerne er sydvendte med en hældning på 25 °.

Solcelleanlæggets årlige el-produktion kan aflæses i Be18 til 32.866 kWh og bygningens totale elforbrug til bygningsdrift aflæses til 13.425 kWh. Dermed er bygningens andel af samlet solcellestrøm:

$$32.866 \text{ kWh} / 13.425 \text{ kWh} = 2,45$$

Fra Tabel 4.1 kan nu fastlægges at ca. 16 % af den producerede el kan anvendes direkte i bygningen, dvs. ca. 5.259 kWh. Det skal bemærkes, at anlægget monteret på bygningen er tiltænkt at betjene en række andre bygninger i samme bebyggelse, og dermed forventes det at størstedelen af den solcelle-producerede el kan anvendes til dækning af bygningsdrift for bebyggelsen som helhed.

Bilag 5: Graddage for klimaskærm og ventilation

Tabellen herunder angiver graddage for klimaskærm og ventilation i afhængighed af den gennemsnitlige rumtemperatur i opvarmningssæsonen, det interne varmetilskud og P-faktoren og er gældende for normalåret. P-faktoren udtrykker i denne sammenhæng varmetabet gennem klimaskærmen i W pr. m² boligareal pr. grad temperaturforskelle mellem inde- og udetemperaturen.

Graddage 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.

Hvis det interne varmetilskud eller det totale varmetab gennem klimaskærmen er ukendt, eller hvis der er tale om relativt simple beregninger, kan følgende simple tilgang anvendes. Tabellen herunder angiver antallet af gradtimer som kan benyttes i forbindelse med fastlæggelse af energibesparelser for klimaskærmen.

Gradtimer beregnet på basis af varierende rumtemperatur.

| Rumtemperatur (°C) | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|-----------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Antal gradtimer (kKh) | 74 | 79 | 85 | 90 | 96 | 101 | 107 |

Graddage til brug for graddøgnskorrektion

Tabellen herunder angiver antallet af graddage for 2008, DRY-referenceåret og 2010. TI graddage (fra Teknologisk Institut) er beregnet på basis af en rumtemperatur på 17 °C og følger Teknologisk Instituts definition på graddage, dvs. at når der i foråret har været 3 sammenhængende dage, hvor middeltemperaturen har været over 10 °C, ophører graddagetællingen. Dette medfører at kolde dage, der kan forekomme fx i slutningen af maj måned, ikke tælles med. EMO graddage (fra Energimærkningsordningen) tælles hele året og dermed er der flere graddage i dette system, selvom det baseres på de samme målinger.

Graddage for 2008, DRY-referenceåret og 2010. Graddage er beregnet på basis af en rumtemperatur på 17 °C.

| År | 2008 | DRY | 2010 |
|--------------------------|------|------|------|
| Antal graddagen (Gd), TI | 2326 | 2906 | 3221 |
| Antal graddage (Gd), EMO | 2608 | 3112 | 3490 |

I forbindelse med graddøgnskorrektion af varmeforbrug, anbefales det at benytte EMO graddage, da man herved tager højde for hele årets varmeforbrug. Betydningen er dog ret beskeden.

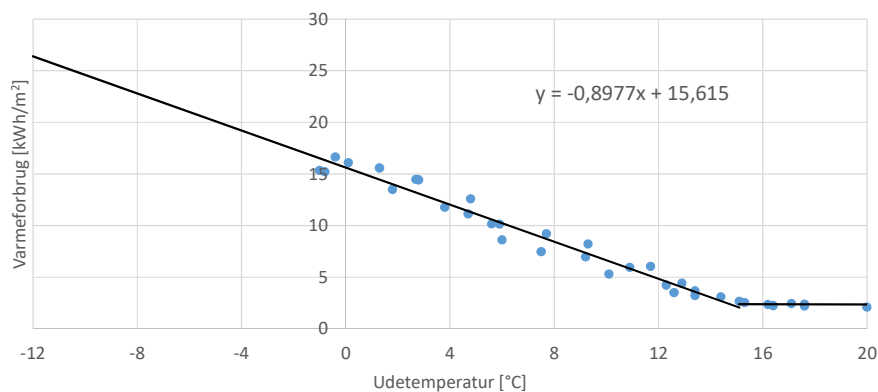
Bilag 6. Energisignatur

Energisignatur er et udtryk for bygningens varmeforbrug afhængigt af udetemperaturen. Varmeforbruget inkluderer varmeforbrug til opvarmning og varmt brugsvand inklusiv cirkulationstab.

For at energisignaturen skal give mening og være praktisk anvendelig, vil det derfor som udgangspunkt kræve, at der foretages enten døgnaflysninger eller månedsaflysninger af såvel forbrug som udetemperatur primært ved automatisk registrering. Ved månedsaflysninger kan værdier fra DMI gratis benyttes.

Energisignaturen benyttes ofte i forbindelse med energistyring, og kan fungere som et værktøj for driftspersonalet til at vise afvigelser i energiforbruget i en bygning i forhold til det forventede forbrug.

Energisignaturen er en grafisk afbildning i et koordinatsystem, hvor de forskellige punkter repræsenterer varmeforbrug for de enkelte døgn eller måneder. På x-aksen ses døgnets middel udetemperatur og på y-aksen ses varmeforbruget. Der kan heraf ud fra de forskellige punkter normalt optegnes to rette linjer ved lineær regression. I grafen er udetemperaturen (x-aksen) månedsmiddeltemperaturer, og hvert punkt svarer altså til aflæsning af én måneds forbrug.



Figur 5. Energisignatur for ældre etageejendom i København.

Ved afbildning af energisignatur, repræsenterer den skrå linje varmeforbruget i opvarmningssæsonen afhængigt af udetemperaturen, mens den vandrette linje repræsenterer basisforbruget uafhængigt af temperaturen. I basisforbruget indgår varmeforbrug til opvarmning af varmt brugsvand og varmetab fra kedelanlæg og varmtvandsanlæg. Basisforbruget vil typisk udelukkende bestå af opvarmning til varmt brugsvand, men der ses også eksempler på bygninger, hvor en del af basisforbruget også går til utilsigtet opvarmning gennem radiatorer eller lignende varmekilder. Det kan anbefales at få monteret en bimåler på det varme brugsvand.

Varmeforbruget i opvarmningssæsonen afhænger af flere faktorer såsom bygningens isoleringsniveau, tæthed og ventilation. Herudover har brugervaner samt udnyttelse af interne varmetilskud og solindstråling også en stor betydning.

Ved at sammenligne den reelle energisignatur med den beregnede energisignatur er det muligt at lave en vurdering af de forskellige forbrug, og se om der er afvigelser. Det giver den driftsansvarlige et groft overblik over anomaliteter i varmeforbrug, så fejl hurtigere og måske lettere kan opdages, hvis de kan relateres til nylige ændringer af relevante anlæg el. lign., som kan have ændret forbruget.

Hvis der er forskel på den faktiske og den estimerede energisignatur, må det yderligere undersøges, om forudsætningerne for beregningerne er i overensstemmelse med de forhold der rent faktisk er for bygningen og dens varmeanlæg og øvrige installationer. Forudsætningerne kan bl.a. kontrolleres ved at udføre registrering af drift eller undersøgelse af effektiviteten af forskellige anlæg, som kan være skyld i forskellen.

Afvigelser mellem faktisk og beregnet forbrug kan bl.a. skyldes forskelle i rumtemperatur som følge af dynamiske belastninger og brug i forhold til antal mennesker, brugstid, lys og elbelastninger. Afvigelser kan ligeledes skyldes fejl og uhensigtsmæssige indstillinger af varme- og ventilationsanlæg.

Bilag 7. Eksempler på cases

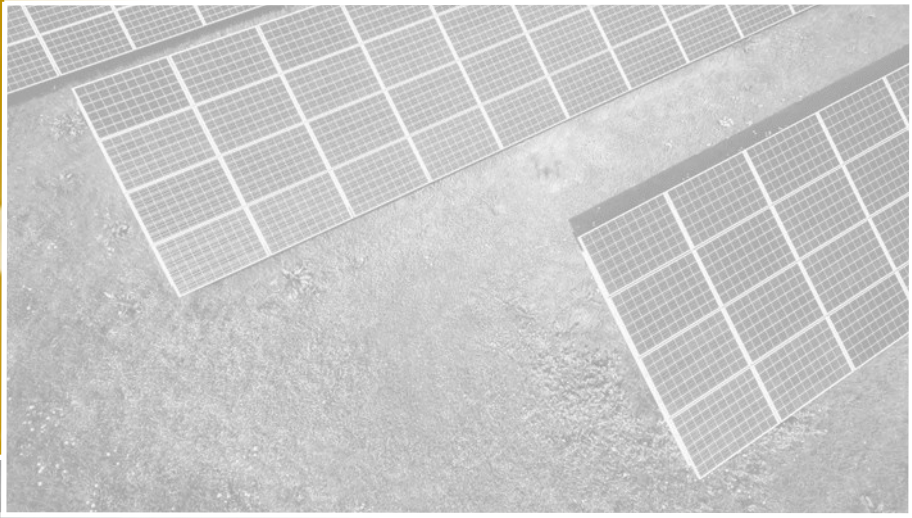
Case 1, etageejendom med før- og efter-målinger

Case 2, etageejendom med før-målinger

Case 3, skole med før og efter-målinger

Case 4, kontorbygning med før- og efter-målinger





OM UDGIVELSEN

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.

Erfaringer har generelt vist, at estimater af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med renoveringer har været forbundet med store usikkerheder – usikkerheder i 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.

