



Dokumentation af bygningers energiforbrug



Energi og Klima

Søren Østergaard Jensen

Titel: Dokumentation af bygningers energiforbrug

Udført af: Teknologisk Institut, Gregersensvej 2, 2630 Taastrup
Energi og Klima

Forfatter: Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut
Kontakt: Søren Østergaard Jensen, sdj@teknologisk.dk

Juni 2015
1. udgave, 1. oplag

ISBN: 978-87-93250-04-8
ISSN: 1600-3780

© Teknologisk Institut
Energi og Klima

Forside: EnergyFlexHouse, Teknologisk Institut, Taastrup
www.teknologisk.dk/projekter/energyflexhouse

Forord

Nærværende rapport afslutter sammen med (Jensen, 2013) "Guidelines on Documenting the Performance of Low Energy Buildings" Teknologisk Instituts arbejde vedr. dokumentering af bygningers energiforbrug. Arbejdet har været finansieret af Forsknings- og Innovationsstyrelsen via det Strategiske forskningscenter for energieutralt byggeri (www.zeb.aau.dk) - sagsnr. 2104-08-0018.



Summary

It is often seen that the measured energy demand of a building is very different from the energy demand calculated during the design phase of the building.

The report describes a method of determining if and if so why, a building performs differently from the calculations made during the design phase. The possible causes for the observed differences are numerous: the building is different from the original design, the use of the building is different from the assumptions made during the design phase, the climate differs from the weather conditions used in the design phase, there is not enough focus on the indoor climate during the design phase, components or energy service systems are defective in some way, components and system are wrongly installed and/or controlled.

The report briefly describes a method for adjusting the calculation model of the building used during the design phase in such a way that a fair comparison between measured and calculated performances is made possible – e.g. that a different use of the building doesn't lead to the wrong conclusion: that there are problems with the building. Based on this a more qualified evaluation of the performance of the actual building under use may be carried out.

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	6
2	Målinger	7
2.1	Indeklima	8
3	Fejlretning i beregningsprogrammet.....	10
3.1	Input-fejl	10
3.2	Ændrede konstruktioner	10
3.3	Forkert modellering af konstruktioner og systemer	10
3.4	Indeklima	10
4	Justering af beregningsprogrammet til de aktuelle forbrug og behov	12
4.1	Rumtemperatur	12
4.2	Varmt brugsvand	12
4.3	Tilstedeværelse af personer	13
4.4	Varmeafgivelse fra elektrisk udstyr	14
4.5	Luftskifte	14
4.5.1	Ventilation	14
4.5.2	Infiltration	15
4.6	Brændeovne	16
4.7	Solenergi	16
4.7.1	Solvarme	17
4.7.2	Solceller	17
4.8	Konklusion	17
5	Aktuelle vejrforhold.....	18
6	Sammenligning af målt og beregnet energiforbrug	20
6.1	God overensstemmelse	20
6.2	Dårlig overensstemmelse.....	20
7	Dataopsamling	21
7.1	CTS-anlæg.....	21
7.2	Måling i enfamiliehuse	21
7.3	Måling i boligblokke	22
8	Overblik metoden	23
9	Referencer	24
	Appendiks A: Indeklima	26

1 Introduktion

Det ses ofte, at nye bygninger har et andet og ofte højere energiforbrug end beregnet i projekteringsfasen. Desuden er indeklimaet i bygningerne ofte ikke så godt som forventet (Jensen, 2010 og Larsen, 2011a, 2011b).

At en bygning i brug har et højere energiforbrug end beregnet i projekteringsfasen, betyder ikke nødvendigvis, at bygningen er dårligere end forventet. Der findes mange grunde til, at bygninger ikke fungerer som beregnet i designfasen:

- input-fejl i det anvendte beregningsprogram, eller at beregningsprogrammet ikke kan håndtere specifikke komponenter i bygningen korrekt
- ændringer i design af bygningen og/eller konstruktioner samt installationer i løbet af konstruktionsfasen
- anden anvendelse og behov end antaget i beregningsprogrammet
- andet vejrlig end anvendt i projekteringsfasen
- for lidt fokus på indeklima både i projekterings- og konstruktionsfasen
- fejl i samt dårlig indregulering og commissioning af konstruktioner og installationer

På grund af ovenstående er det typisk ikke muligt at vurdere, om en bygningen fungerer som forventet blot ved at sammenligne det i projekteringsfasen beregnede energiforbrug med det målte årlige energiforbrug under drift. Det er nødvendigt at justere beregningsprogrammet i forhold til de aktuelle forhold, som bygningen bliver udsat for.

I det følgende bliver der kort gennemgået en metode til justering af en beregningsmodel, således at en sammenligning mellem bygningens beregnede og målte energiforbrug kan ske på et fælles grundlag og dermed give en mere kvalificeret vurdering af bygningens energimæssige funktion.

Metoden beskrives kortfattet i de følgende kapitler:

2. Målinger (herunder måling af indeklima)
3. Fejlretning af beregningsprogrammet
4. Justering af beregningsprogrammet til de aktuelle forbrug og behov
5. Aktuelle vejrforhold
6. Sammenligning
7. Fejlfinding

Metoden er vist grafisk i kapitel 8. Metoden kan både anvendes ved nybyggeri og ved større energirenoveringsarbejder.

Der tages i det følgende udgangspunkt i beregningsprogrammet Be10 (Aggerholm og Grau, 2011), da beregninger med dette program danner grundlag for dokumentation for, at bygningen overholder de energimæssige krav i det danske bygningsreglement, som pt. er BR10. Metoden kan dog anvendes i forbindelse med alle andre beregningsværktøjer til bestemmelse af bygningers energiforbrug.

2 Målinger

Det beregnede årlige energiforbrug skal principielt sammenlignes med bygningens målte årlige forbrug af olie/gas/fjernvarme/el/biomasse. For gas, fjernvarme og el sker der en årlig opgørelse, mens olieleverancer typisk ikke følger året særlig præcist. Dette er endnu vanskeligere med biomasse til f.eks. et træpillefyr, da energiindholdet i træpillerne er dårligere bestemt end for olie. Og helt galt er det med brænde til en brændeovn. For olie- og træpillefyr er det en fordel at montere en varmemåler efter fyret i stedet for at anvende mængden af olie og biomasse som mål for bygningens opvarmningsbehov.

Man skal dog være opmærksom på, om det er de samme forbrug, der sammenlignes. Er det energi leveret til bygningen eller primær-energi? Er det kun energi til bygningens drift: varme, køling, ventilation, mm., der sammenlignes, eller er der også medtaget brugernes energiforbrug til kunstlys, madlavning, underholdning, kontorudstyr, mm.? Indgår f.eks. drift af elevatorer i bygningsdriften eller i brugerens energiforbrug? Elforbrug til styring af bygningen, herunder brandspjæld, indgår ofte ikke eller kun delvist, når en bygnings energiforbrug beregnes, men det er med i elforbruget målt af bygningens afregningsmåler.

I Be10 opgøres det årlige energiforbrug som et primær-energiforbrug, hvor der er ganget primærenergifaktorer på energiforbruget leveret til bygningen. Be10 medtager desuden kun energiforbruget til bygningens drift, som for kontorbyggeri også indeholder almen belysning. Energiforbruget til f.eks. CTS-anlæg, brandspjæld, elevatorer, mm. bør også medtages i beregningerne, men det bliver sjældent gjort.

De samlede energiforbrug (el, gas og fjernvarme) til bygninger måles altid med afregningsmålere af høj kvalitet og med lille usikkerhed. Hvis der måles på delforbrug, f.eks. elforbrug til bygningens drift, skal dette også gøres med en måler af høj kvalitet med lille usikkerhed. Det er dog ikke et stort problem at finde sådanne elmålere til en rimelig pris. Ofte er den største omkostning selve installationen af målerne.

Det er således vigtigt præcist at fastlægge:

- hvilke energiforbrug, der skal sammenlignes
- hvordan energiforbrugene skal opgøres, - f.eks. energi leveret til bygningen eller primærenergi
- er det nødvendigt med måling af delforbrug, fordi det ikke er de totale energiforbrug, der ønskes sammenlignet
- hvis det er nødvendigt med måling af delforbrug: fastlæg præcist hvilke delforbrug der skal måles og med hvilken målenøjagtighed

Man skal være forsigtig med at anvende målinger fra en nyopført bygning, idet det typisk tager tid, før installationerne kører som planlagt, og der kan være et øget energiforbrug til opvarmning som følge af udtørring af fugtige konstruktioner. I EN 15603 "Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings" (EN 15603, 2008) står således: "*It is recommended that the first one or two years after the erection of the building are discarded. The energy use during the first years is often larger than during the following years for several reasons:*

- *some additional energy is used to dry the building fabric;*
- *adjustment of control system may not be perfect from the first day of use;*
- *there may be some faults that are corrected during the first year."*

Ovenstående er dog ikke tilstrækkelig for at tillade en sammenligning mellem beregnet og målt energiforbrug for en bygning. Der er desuden brug for delmålinger for at fastlægge den aktuelle brug af bygningen, da dette er vigtigt input til justering af beregningsmodellen for bygningen. Dette vil blive beskrevet nærmere i kapitel 4 "Justering af beregningsprogrammet til de aktuelle forbrug og behov" og i den efterfølgende sektion 2.1 Indeklima.

2.1 Indeklima

Formålet med bygninger er at skabe et komfortabelt klima for de personer, der anvender bygningen – samt at beskytte materielle værdier. Man kan dog ofte mistænke designere at bygninger for at tænke mere på arkitektur/signalværdi og lavt energiforbrug (eller bare overholdelse af kravene i bygningsreglementet) end på, at mennesker skal føle sig veltilpas inde i bygningerne.

I indeklima-standarden EN 15251 "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic" (EN 15251, 2007) står der f.eks.: *"An energy declaration without a declaration related to the indoor environment makes no sense. There is therefore a need for specifying criteria for the indoor environment for design, energy calculations, performance and operation of buildings."*

Men selv bygninger, hvor indeklimaet er medtænkt, kan have et dårligt indeklima, f.eks. fordi der er sket besparelser under opførelsen, brugen af bygningen er anderledes end antaget ved projekteringen af bygningen, eller fordi styringen af de tekniske installationer er mangelfuld.

En samlet vurdering af funktionen af en bygning bør derfor også indeholde måling af indeklimaet i bygningen. EN 15251 specificere hvilke parametre, der er vigtige ved bestemmelse af indeklimaet i en bygning:

- temperaturer
- træk
- luftfugtighed
- luftkvalitet
- dagslys
- akustik

For at kunne gennemføre en kvalificeret evaluering af indeklimaet i en bygning skal der derfor måles

- operativ temperaturer
- lufthastighed
- luftfugtighed
- CO₂, partikler, VOC'er, mm.
- Lux og dagslysfaktorer
- efterklangstid

En kortfattet introduktion til indeklima og indeklimamålinger kan findes i (Jensen og Wittchen, 2014), og er gengivet i appendiks A.

Ved vurderingen af om indeklimaet lever op til forventningerne, skal målte indeklimaværdier enten holdes op mod det ønskede indeklima i projekteringsgrundlaget, hvis der her er en målbar målsætning med f.eks. ønskede intervaller for temperatur, fugt, CO₂, mm. Ellers skal målingerne sammenlignes med klasse II i EN 15251 – se appendiks A.

Lux, dagslysfaktorer, partikler, VOC'er, efterklangstid, lufthastigheder, mm. måles typisk ved spotmålinger, der gennemføres én eller meget få gange. Temperaturer, fugtighed og CO₂ variere typisk meget over tid i forhold til tid på dagen, ugen og året samt antal personer i bygningen. Disse målinger udføres derfor enten kontinuerligt eller i kortere perioder (f.eks. en uge) i de tre hovedsæsoner: sommer, vinter og forår/efterår.

Måling af temperatur, fugtighed og CO₂ kan gennemføres via bygningens CTS-anlæg, hvis et sådant eksisterer (i større bygninger). Hvis der anvendes eksisterende sensorer, skal det sikres, at disse måler repræsentative værdier. I (Jensen et al, 2010) viste det

sig, at mange temperaturfølere målte forkert, - bl.a. fordi en reol var placeret foran dem, eller fordi kold luft fra kølebafler blev blæst direkte ned på følerne.

For måling i bygninger uden CTS-anlæg, eller hvor det er for dyrt at installere ekstra følere i forbindelse med CTS-anlægget, kan der i stedet anvendes små loggere, der både indeholder sensorer og en datalogger eller sensorer og mulighed for WIFI opkobling. Af den første type kan nævnes Tinytalk og HOB0, som har loggere med både temperatur-, fugt- og Lux-sensorer + en ekstra indgang, som f.eks. kan anvendes til en CO₂ sensor. Af den anden type kan nævnes IC-Meter og the Weather Station fra Netatmo (den sidste er inkl. måling af temperatur og fugtighed udendørs), som har temperatur-, fugt- og CO₂-sensorer, og som sender målte værdier via WIFI/internet til en central server, hvorfra data kan udtrækkes.

Det er vigtigt, at det anvendte måleudstyr måler korrekte værdier. Derfor bør sensorerne kalibreres både før og efter brug.

Men et er at måle indeklimaet, et andet er, hvordan personer rent faktisk synes om at opholde sig i bygningen. For at fastlægge brugernes syn på indeklimaet i en bygning, kan der anvendes spørgeskemaer – se f.eks. (Olesen et al, 2013), hvor der er eksempler på spørgeskemaer.

3 Fejlretning i beregningsprogrammet

Dette kapitel omhandler primært de to første punkter i kapitel 1: input-fejl og ændring i konstruktioner og installationer i den opførte bygning i forhold til beregningsmodellen. Følgende tager - som tidligere nævnt - udgangspunkt i beregningsprogrammet Be10, men betragtningerne kan også anvendes i forbindelse med andre beregnings-/simuleringsprogrammer.

Det første skridt i forbindelse med sammenligning mellem beregnet og målt energiforbrug er at sikre, at beregningsmodellen af bygningen stadig er en god repræsentation af den opførte bygning.

3.1 Input-fejl

Selvom Be10 er et simpelt beregningsprogram, kræver det alligevel mange input-data, hvoraf flere er indbyrdes forbundne. Der kan derfor relativt let opstå fejl ved indtastningen. Desuden kan der være input-data, som ikke er blevet opdateret i løbet af projekteringen, således at de i virkeligheden ikke repræsenterer de valgte konstruktioner og/eller systemer.

For andre mere detaljerede simuleringsprogrammer er risikoen for input-fejl typisk endnu større.

Be10 og andre programmer kan typisk ikke håndtere tidsvarierende værdier for konstruktioner og installationer. Her er det nødvendigt at anvende middelværdier. Det bør vurderes, om disse middelværdier stadig er gældende for de konstruktioner og systemer, der er i den opførte bygning – se følgende sektion.

Fejlfinding kan med fordel foretages sammen med at programmet opdateres med de faktiske konstruktioner og installationer – se følgende sektion.

3.2 Ændrede konstruktioner

Det ses ofte, at konstruktioner og installationer bliver ændret i løbet af opførelsen af bygningen f.eks. på grund af, at den specificerede komponent ikke kan leveres til tiden, er udgået, eller simpelthen fordi krav om besparelser har nødvendiggjort mindre effektive komponenter.

Beregningsprogrammet skal derfor opdateres med værdier for de konstruktioner og installationer, som rent faktisk er blevet anvendt ved opførelsen af bygningen.

3.3 Forkert modellering af konstruktioner og systemer

Be10 er et simpelt beregningsprogram, hvilket betyder, at det kan være vanskeligt at inkludere meget komplekse konstruktioner og installationer på rimelig vis. Det skal derfor undersøges, om denne type konstruktioner og installationer er tilstede i bygningen.

Én måde at medtage energibesparelsen (eller det modsatte) som følge af komplekse konstruktioner og installationer er at udelade disse i de simple beregninger, men i stedet at beregne besparelser ved hjælp af et andet mere velegnet program. I det sidste gennemføres en beregning af bygningens energiforbrug med og uden de komplekse konstruktioner/installationer. Forskellen mellem disse to beregninger fratrækkes (med fortegn) energiforbruget beregnet med det simple beregningsprogram uden de komplekse konstruktioner og installationer.

3.4 Indeklima

Ved energiberegningen i Be10 antages bygningen som værende én zone. Det kan i mange tilfælde gå godt, men i bygninger med et samtidigt opvarmnings- og kølebehov (f.eks. en kontorbygning, som en februar dag kan have overophedning i de sydvendte rum, samtidigt med at der er et opvarmningsbehov i de nordvendte rum) vil dette lede til et

for lille beregnet opvarmnings- og kølebehov. Desuden vil den beregnede rumtemperatur være en middelværdi og derved skjule f.eks. overophedning i nogle rum, mens rumtemperaturen ikke kan opretholdes i andre rum.

Det er muligt med Be10 at foretage en simpel beregning af overophedning i udvalgte rum. Men for at få en mere præcis vurdering af komfortforholdene i bygningen vil det typisk være nødvendigt at anvende mere avancerede simuleringssystemer. Hvis der er meget store udsving i rumtemperaturen mellem forskellige rum, bør det overvejes, om den simple beregning af energiforbruget skal justeres på basis af resultatet fra mere avancerede beregninger.

4 Justering af beregningsprogrammet til de aktuelle forbrug og behov

I projekteringsfasen er det nødvendigt at gøre nogle antagelser om, hvordan bygningen vil blive brugt for at kunne beregne energiforbruget for bygningen. Disse antagelser kan meget vel være ret forskellige fra de forhold, der er i den opførte bygningen. Enten fordi der er brugt standard-antagelserne i Be10 (se nedenfor), eller fordi brugen af bygningen er væsentlig anderledes end antaget i projekteringsfasen.

Det er primært indenfor følgende områder, at der gøres antagelser vedrørende den fremtidige brug af bygningen:

- rumtemperatur
- dagligt forbrug af varmt brugsvand samt koldt- og varmtvandstemperaturen
- antal brugere af bygningen, samt hvornår de er tilstede i bygningen
- gratisvarme fra elektriske apparater
- luftskiftet
- brændeovne
- solenergi

Forskelle i ovennævnte værdier mellem projekteringsfasen og den ibrugtagne bygning vil lede til forskelligt beregnet og målt energiforbrug.

For at kunne vurdere, om det er anvendelsen af "forkerte" antagelser, der er skyld i forskellen mellem beregnet og målt energiforbrug, er det nødvendigt at skaffe viden om de rigtige værdier ved brug af bygningen. Det er dog ofte ikke let at fremskaffe de nødvendige oplysninger. I det følgende beskrives det kort forslag til, hvordan de nødvendige input parametre kan fremskaffes.

Be10 kræver gennemsnitsværdier, mens mange mere avancerede simuleringer kan anvende filer med målte tidsserier. Så for Be10 skal de nødvendige parametre ikke blot måles (typisk over tid), det skal også vurderes, hvilket middelværdi der bedst repræsenterer de forhold, som input-værdien skal beskrive.

4.1 Rumtemperatur

I Be10 anvendes der kun én gennemsnitlig temperatur til at beskrive rumtemperaturerne i bygningen. I mere avancerede simuleringer er det muligt at angive daglige temperaturprofiler for både hverdage og weekender og forskelligt fra rum til rum.

Standardværdien for rumtemperaturen i Be10 er 20°C, mens det er en general antagelse, at de fleste danskere foretrækker en rumtemperatur på omkring 22°C. En stigning i rumtemperaturen forøger typisk opvarmningsbehovet med 5 %.

Rumtemperaturen kan måles som beskrevet under 2.1 Indeklima. Ved måling af rumtemperaturer er det vigtigt, at sensorerne placeres, hvor de måler en repræsentativ temperatur for det aktuelle område/rum.

4.2 Varmt brugsvand

Forbruget af varmt brugsvand har en stor indflydelse på energiforbruget i specielt boliger, og specielt i lavenergibyggeri, hvor rumopvarmningsbehovet er lavt. Desuden varierer varmtvandsforbruget meget fra person til person. Det er derfor vigtigt at opnå viden om det aktuelle varmtvandsforbrug inkl. koldt- og varmtvandstemperaturerne.

I Be10 er standardværdien for boliger 250 l/m²/år varmt brugsvand opvarmet fra 10 til 50°C.

Det mest sikre er at måle varmtvandsforbruget ved hjælp af en varmemåler. Disse har en beregningsenhed, så det udover volumenstrøm samt koldt- og varmtvandstemperatur

er muligt at udtrække forskellige beregnede værdier som f.eks. tappet energi. Varmemålere er dog dyre i indkøb og installation, og de kræver ofte en datalogger til at overføre de målte værdier. Nogle varmemålere har dog en hukommelse, så det med jævne mellemrum er muligt at trække de målte værdier ud ved at koble en pc til måleren.

En anden mulighed er at anvende en simpel vandmåler på tilgangen til det varme brugsvandssystem. I forbindelse med Be10 kan det her være tilstrækkeligt med årlige aflæsninger, da Be10, som nævnt ovenfor, anvender en årlig middelværdi. Anvendelse af en vandmåler giver dog typisk ikke den rigtige værdi, da der også indgår en temperaturdifference i energiforbruget. Derfor bør temperaturen i toppen af brugsvandstanken og i tilgangen til brugsvandstanken også måles. I anlæg med konstant brugsvandstemperatur vil en enkelt spotmåling af temperaturen i toppen af beholderen typisk være tilstrækkelig, mens koldt vandstemperaturen ændre sig over året, - og også gennem tapningen, hvis f.eks. det kolde brugsvand løber gennem en opvarmet kælder, før det når brugsvandstanken. Temperaturen i toppen af brugsvandstanken kan dog variere meget, hvis denne opvarmes af et solvarmeanlæg. Da temperaturdifference over brugsvandstanken typisk er stor >30 K, kan de to temperaturer måles med temperaturfølere, som ikke nødvendigvis er kalibreret sammen. Ved en anden ΔT end standardværdien i Be10 ($50 - 10 = 40$ K) skal volumenstrømmen af varmt brugsvand til Be10 justeres, så der opnås samme energimængde som ved den målte ΔT .

En mere usikker metode er at analysere opvarmningsbehovet om sommeren (uden for sommerferien), hvor der ikke er rumopvarmningsbehov. Det målte opvarmningsbehov vil da være opvarmningsbehovet til det varme brugsvand inkl. tab fra brugsvandsbeholderen og rørstrækninger. Så for at bestemme den tappede mængde varmt brugsvand skal der ud over, som ovenfor (måling af ΔT), også gøres nogle antagelser om varmetabet fra beholder og rør. Metoden er derfor ret usikker, da det desuden antages, at brugsmønstret om sommeren er repræsentativt for det gennemsnitlige årlige brugsmønster.

4.3 Tilstedeværelse af personer

Varmeafgivelsen fra en person afhænger af aktivitetsniveauet, men typisk regner man med i størrelsesordenen 100 W pr. person. I bygninger med opvarmningsbehov udgør tilstedeværelsen af personer gratisvarme, som reducerer opvarmningsbehovet, mens personer i en bygning med kølebehov øger dette kølebehov.

I projekteringsfasen er der en forventning om, hvordan bygningen vil blive brugt. På baggrund af dette kan der udvælges et passende profil for tilstedeværelse af personer. I Be10 opereres der med følgende standardværdier:

Boliger: 1.5 W/m² eller omkring én person pr. 67 m² hele døgnet
Andre bygninger: 4 W/m² eller omkring én person pr. 25 m² - 45 timer om ugen

Hvor meget tilstedeværelsen af personer influerer på en bygnings energiforbrug afhænger af antallet af personer samt mængden af anden tilskudsvarme fra elektrisk udstyr – se næste afsnit.

Tilstedeværelse af personer influerer også bygningens energiforbrug på anden vis. Åbning af vinduer og døre kan have en signifikant indflydelse på både opvarmnings- og kølebehov.

Tilstedeværelse af personer i en bygning er vanskelig at registrere. Bevægelses- og CO₂ sensorer kan anvendes til at registrere, om der er personer tilstede, men ikke nødvendigvis hvor mange. I kontorbyggeri kan logning på adgangskontrollen give et godt billede af antallet af personer i bygningen, men ikke hvor de præcist befinder sig.

Spørgeskemaer til brugerne af bygningen kan også anvendes til (mindre præcist) at fastlægge benyttelsesgraden af en bygning.

4.4 Varmeafgivelse fra elektrisk udstyr

Varmeafgivelsen fra elektrisk udstyr (komfurer, køleskabe, fryser, opvaskemaskiner, vaskemaskiner, kaffemaskiner, TV og andet underholdningsudstyr, PC'er, strømforsyninger, kopimaskiner, belysning, mm.) er som varmeafgivelsen fra personer vanskelig at forudsige. Derfor anvendes der ofte i projekteringsfasen standardværdier eller -profiler. I Be10 anvendes følgende standardværdier:

Boliger: 3.5 W/m² hele døgnet

Andre bygninger: 6 W/m² 45 timer om ugen – ingen standardværdi for resten af ugen

Effektiviteten af elektriske apparater bliver stadig bedre – bl.a. på grund af Ecodesign-arbejdet i EU, men samtidigt stiger vort forbrug af disse apparater, så det samlede energiforbrug er ikke faldet. Specielt i kontorbyggeri betyder elektriske apparater, at der ofte kun er et lille opvarmningsbehov, men til gengæld et stort kølebehov – også om vinteren.

Den bedste måde at bestemme varmeafgivelsen fra elektriske apparater er ved at sætte elmålere på de grupper i eltavlen, der forsyner apparaterne. Enfasede elmålere med lille måleunøjagtighed er relativt billige, den største udgift er til elektrikeren, der skal montere den. I kontorbyggeri er der ofte mange elmålere, der måler på forskellige elforbrug. Det gør det ofte muligt at separere elforbruget i el til bygningsdrift og til elektriske apparater. I kontorbygninger med flere lejere er der typisk en eller flere elmålere pr. lejer for at kunne fordele elforbruget mellem lejerne. I dette tilfælde er det ofte lettere at separere det samlede elforbrug.

I en familiebolig uden elvarme eller varmepumpe udgør elforbruget til apparater hovedparten af elforbruget. Elforbruget til bygningens drift kan her relativt let estimeres evt. ved hjælp af spotmålinger på f.eks. ventilationsanlæg og cirkulationspumper. Elforbruget til bygningens drift kan derefter fratrækkes den årlige elregning.

Den langsommelige måde at bestemme elforbruget til apparater er: en efter en at tilslutte et apparat og se på hovedmålere (hvis denne har display), hvor meget effektforbruget stiger. Herefter skal brugstiden for hvert apparat vurderes. Dette giver tilsammen en ide om det samlede elforbrug til apparater.

4.5 Luftskifte

Det danske bygningsreglement BR10 angiver kravene til det nødvendige luftskifte via ventilation samt den tilladte infiltration i bygninger.

4.5.1 Ventilation

Standardværdien for ventilation af boliger er 0,3 l/m² i BR10, mens det nødvendige ventilationsbehov i andre bygninger afhænger af anvendelsen af bygningen og antallet af personer i bygningen.

Luftskiftet i bygningen som følge af ventilation kan være anderledes end tiltænkt i projekteringsfasen, - f.eks. fordi brugen af bygningen er anderledes end antaget i projekteringsfasen, eller ventilationsanlægget er dimensioneret, installeret og/eller styret forkert. I begge tilfælde er det vigtigt at få fastlagt de aktuelle volumenstrømme, så dette kan anvendes som input-data i beregningsprogrammet, for at kunne vurdere, hvilken indflydelse det ændrede luftskifte har på bygningens energiforbrug og indeklima.

I bygninger med mekanisk ventilation og konstant volumenstrøm i ventilationsanlægget kan volumenstrømmene fastlægges ved én spotmåling af volumenstrømmene i ventilationskanalerne. I bygninger med varierende volumenstrøm skal der foretages flere målinger. I anlæg med flere trin skal volumenstrømmene måles ved hvert trin, og det skal samtidigt fastlægges, hvor lang tid ventilationsanlægget dagligt kører på hvert trin. På baggrund af dette kan der dannes middelvolumenstrømme (volumenstrømmen af afkast-

luft er typisk lidt større end volumenstrømmen af friskluft for at undgå, at fugtig luft bliver presset ind i konstruktionerne). Det sidste kan være vanskeligt i f.eks. skoler, hvor lokalerne også jævnligt bliver brugt om aftenen. I anlæg med trinløs variabel volumenstrøm vil det normalt være nødvendigt at måle volumenstrømmene kontinuerligt over en længere periode - > uge. Dette kan i nogle tilfælde gøres via bygningens CTS-anlæg, hvis dette inkluderer lufthastigheds-sensorer. Disse sensorer bør i givet fald kalibreres.

I forbindelse med fastsættelsen af en middelværdi for volumenstrømmene, skal der samtidigt fastlægges et middel elforbrug til ventilatorerne.

Det gennemsnitlige luftskifte kan i bygninger med naturlig ventilation fastlægges ved hjælp af sporgas. Dette er dog vanskeligt i store bygninger. I små bygninger f.eks. boliger kan passiv sporgas anvendes (Bergsøe, 1992).

I bygninger der anvender hybrid ventilation – en kombination mellem naturlig og mekanisk ventilation – er det vanskeligt præcist at fastlægge et middelluftskifte samt fordelingen mellem naturlig og mekanisk ventilation. Her er der brug for eksperthjælp.

4.5.2 Infiltration

I naturligt samt afkast ventilerede bygninger er ventilationen og infiltrationen kombineret, da luften til bygningen tilføres via spjæld samt utætheder i klimaskærmen. I Be10 angives ventilationen i naturligt ventilerede bygninger som en forøgelse af infiltration, mens der i bygninger med afkastventilation kun angives volumenstrømmen ved ventilation og ingen infiltration.

I bygninger med mekanisk ballanceret ventilation udgør infiltrationen et ekstra luftskifte i bygningen, hvor der ikke kan ske varmegenvinding.

I BR10 er den maksimale infiltration fastlagt til 0,13 l/m²s. I boliger med et luftskifte ved mekanisk balanceret ventilation på 0,3 l/m²s (se forrige sektion) udgør infiltrationen altså en forøgelse på 43 %. I BR10 er det desuden fastlagt, at varmegenvindingen i balancerede ventilationsanlæg skal være 80 % i enfamiliehuse og 70 % i andre bygninger. Da der ikke er varmegenvinding på infiltrationen, vil varmetabet via infiltration være mere end dobbelt så stort som fra det mekaniske ventilationssystem, hvis dette har en volumenstrøm på 0,3 l/m² og en effektivitet for varmegenvindingen på 80 %.

Det er derfor meget vigtigt at fastlægge infiltrationen præcist, da dette har en stor indflydelse på bygningens energiforbrug.

Størrelsen af infiltrationen varierer over tid, da denne er afhængig af trykforholdene i og omkring bygningen. Specielt er den meget afhængig af de øjeblikkelige vindforhold, hvilket betyder, at beliggenheden af bygningen også har betydning - er den meget eller lidt eksponeret for vinden. Infiltrationen fastlægges traditionelt ved at sætte bygningen under tryk (både over- og undertryk) ved 50 Pa. I mindre bygninger bliver dette gjort ved hjælp af en "blower door test" (EN 13829, 2001), mens det i større bygninger er nødvendigt at anvende bygningens eget ventilationsanlæg til at tryksætte bygningen. Fastlæggelse af infiltrationen kræver en ekspert.

Infiltration sker også ved åbning af vinduer og døre. Afhængig af brugsmønsteret i bygningen kan dette have en stor indflydelse på bygningens målte energiforbrug. I større bygninger med aircondition er det ofte ikke muligt at åbne vinduerne, eller vinduerne er forbundet med CTS-anlægget, så opvarmning, køling og ventilation i et rum stopper, når et vindue åbnes. I disse to tilfælde har åbning af vinduer lille eller ingen betydning. I boliger kan åbning af vinduer have stor betydning for energiforbruget, hvis f.eks. vinduer i soveværelser ofte eller altid bliver holdt på klem. I disse situationer kan man enten sætte kontakter på vinduer og døre for at kunne måle brugsmønsteret eller mindre præcist interviewe beboerne om deres brugsmønster. Under alle omstændigheder vil indflydelsen af åbning af vinduer og døre på energiforbruget være meget usikker.

4.6 Brændeovne

Brændeovne udgør et stort problem ved fastlæggelsen af en bygnings reelle opvarmningsbehov. Dog begrænser problemet sig primært til enfamiliehuse. Problemerne består i:

- a) hvad er energiindholdet i det brænde, der bliver anvendt i bygningen
 - b) hvor stor en del af a) bliver rent faktisk nyttiggjort
- a) Det er ofte muligt at finde ud af, hvor mange m³ f.eks. brænde der ca. bliver anvendt om året, men det er vanskeligt at bryde dette ned til mindre intervaller og slet ikke til m³/dag.

For at kunne bestemme energiindholdet i brændet, er det nødvendigt at kende brændværdien af brændet. Et groft estimat kan laves, hvis typen af brændet og vandindholdet er kendt. Men problemerne stopper ikke her. For at kunne vurdere, hvor meget varme brændeovnen afgiver, er det nødvendigt at kende ovnens effektivitet. I Danmark testes brændeovne, men i sidste ende afhænger den aktuelle effektivitet af, hvordan der bliver fyret i ovnen. Derfor kan varmetilførslen fra ovnen til bygningen ikke bestemmes særligt præcist.

En brændeovn bør helst have sit eget friskluftindtag for ikke at forstyrre ventilationen i bygningen. Hvis dette ikke er tilfældet, vil brændeovnen øge infiltrationen i bygningen for at tilvejebringe tilstrækkelig med ilt til forbrændingen. Hvis luftskiftet ikke øges tilstrækkeligt, vil det lede til dårlig forbrænding (lavere effektivitet af brændeovnen) samt risiko for tilbageslag i ovnen med deraf røg og forurening i bygningen. Den øgede infiltration er meget svær at fastlægge, med mindre der anvendes sporgas (her dog ikke CO₂). Desuden kan der være træk gennem skorstenen, når brændeovnen ikke anvendes, hvis denne ikke er helt tæt.

- b) Selvom det måske lykkes at beregne varmeafgivelsen fra brændeovnen korrekt, er det typisk ikke denne varmeproduktion, der skal lægges til de andre målte varme-strømme i bygningen for at give det totale opvarmningsbehov. Når der fyres i en brændeovn, kommer rumtemperaturen typisk op over 22°C. Det betyder, at en del af den afgivne varme ikke direkte er med til at dække opvarmningsbehovet, - det kan desuden lede til et forøget varmetab, fordi vinduer åbnes for at holde temperaturen nede. Men en del af denne merproduktion af varme vil opvarme konstruktioner og møbler i rummet. En del af denne varme vil blive vundet tilbage, når brændeovnen bliver kold, og rumtemperaturen falder til det normale niveau.

Som det ses af ovenstående, udgør brændeovne et stort problem, når man vil sammenligne beregnet og målt energiforbrug for en bygning. Indtil videre findes der ikke en god metode til at bestemme, hvor meget af opvarmningsbehovet en brændeovn dækker og langt mindre, hvor meget dette er omsat til en nyttig energitilførsel til bygningen, som kan sammenlignes med andre energikilder. I sidste ende må det bygge på skøn, erfaring og tro, som alle leder til ikke særligt præcise værdier.

En ting, som trods alt er let at måle, er, hvornår der fyres i brændeovnen. Det kan gøres ved at placere en temperatursensor – der kan tåle høje temperature – på overfladen af oven. Men ikke på en masseovn, der tager langt tid om at blive varm og kold igen. I dette tilfælde vil temperatursensoren dog give en ide om, over hvor lang en periode, ovnen afgiver varme.

4.7 Solenergi

Anvendelse af solenergi – solvarme og solceller - på en bygning reducerer mængden af købt energi. Men da solenergi producerer varme og solceller el, skal de behandles forskelligt, når målt og beregnet energiforbrug for en bygning sammenlignes.

4.7.1 Solvarme

Solvarme kan principielt betragtes som en energibesparende foranstaltning. Solvarmeanlægget reducerer behovet for købt energi til opvarmningsformål – typisk til brugsvandsopvarmning.

For at kunne sammenligne målt og beregnet samlet energiforbrug for bygningen er der brug for målinger af solindfald og udelufttemperatur som input til bygningsmodellen – se kapitel 5. Men ellers kan solvarmeanlæg i denne situation betragtes som en hver anden teknisk installation i bygningen.

4.7.2 Solceller

I forbindelse med solceller er der også brug for måling af solindfald som input til bygningsmodellen. Der er desuden brug for måling af elproduktionen fra solcellerne til sammenligning med beregnet produktion, så elforbrug i bygningen og elproduktionen kan separeres, hvis der er behov for dette.

I princippet kan sammenligningen af målt og beregnet energiforbrug for bygningen og målt og beregnet elproduktion fra solcelleanlægget foregå adskilt. Dog skal det vurderes, om solcelleanlæggets inverter afgiver et varmebidrag, der reducerer/forøger bygningens varme-/kølebehov. Hvis det er tilfældet, skal dette varmebidrag beregnes. Det udgør typisk en fast procentdel af solcelleanlæggets produktion og varierer derfor afhængigt af solindfaldet på solcellerne – høj om sommeren og lille om vinteren. Det kan derfor være vanskeligt at finde en middelværdi, som kan tillægges varmeafgivelsen fra andet elektrisk udstyr – se sektion 4.4.

4.8 Konklusion

Den endelige brug af bygningen er typisk ikke præcist kendt i projekteringsfasen. Derfor vil det målte energiforbrug typisk være ret forskelligt fra energiforbruget beregnet i projekteringsfasen, - specielt hvis der anvendes standardværdierne fra Be10. Den aktuelle brug har meget stor indflydelse på en bygningens energiforbrug. I (Andersen, 2012) er der målt, at én familie havde et dobbelt stort energiforbrug som naboen, der boede i en ellers identisk lejlighed.

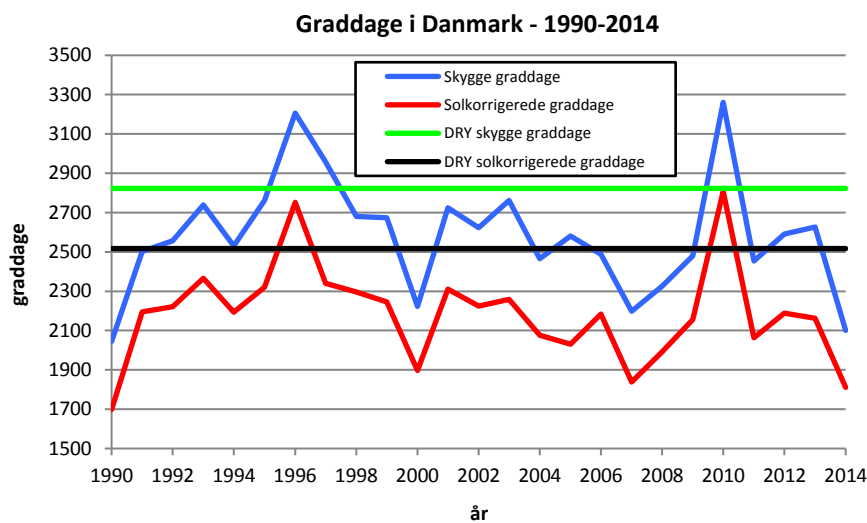
Anvendelse af standardværdier i beregningerne giver et andet energiforbrug end for bygningen i brug. Det er derfor nødvendigt at afstemme de anvendte "standard" værdier med virkeligheden, som bygningen udsættes for i brug. For det er forkert at sige, at en bygning fungerer dårligt, hvis et højere energiforbrug end forventet skyldes en ændring i de betingelser, som bygningen bliver udsat for.

Det kan dog være svært at fastlægge de nødvendige input-data, som er behandlet i de foregående sektioner. Derfor kan det være en fordel først at gennemføre et parameterstudie med modellen fra projekteringsfasen (dog korrigeret i henhold til kapitel 3) for at bestemme hvilke input-data, der har størst indflydelse på energiforbruget, og som derfor skal fastlægges præcist, mens andre input-data måske har mindre indflydelse, og derfor ikke nødvendigvis skal fastlægges lige så præcist.

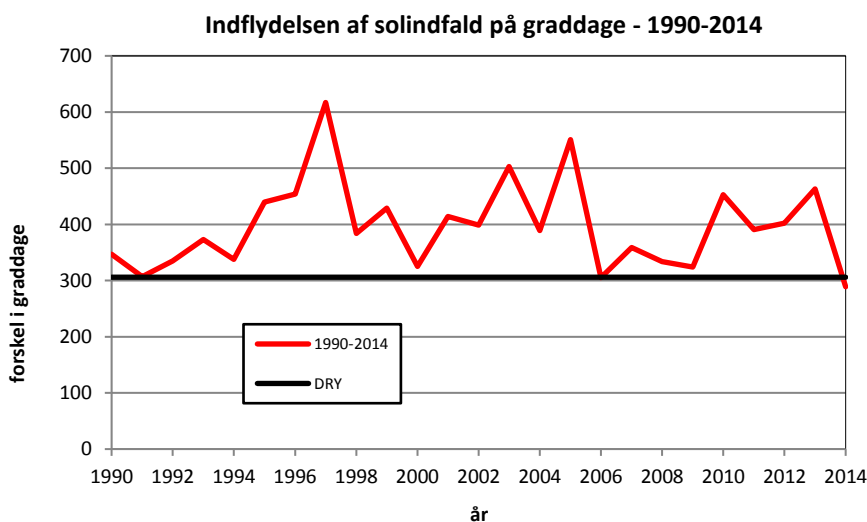
5 Aktuelle vejrforhold

I projekteringsfasen anvendes typisk standard vejrdato for området, hvor bygningen skal bygges. Det danske design reference år DRY (Jensen and Lund, 1995) er f.eks. inkluderet i Be10.

Vejret, når bygningen er i brug, vil variere fra år til år. Derfor vil vejret de år, der sammenlignes med beregningerne, sandsynligvis være væsensforskellig fra vejret anvendt i beregningerne i projekteringsfasen. DRY er desuden designet ud fra 15 års vejrmålinger (1975-1989). Det er efterhånden et anerkendt faktum, at vejret har ændret sig meget de senere årtier, hvilket figur 5.1 viser. Figur 5.1 viser graddage (med og uden sol) for perioden 1990-2014 sammenlignet med graddagene beregnet for DRY. Det ses, at klimaet i Danmark er blevet varmere lige bortset fra 1996, 1997 og 2010. Solindfaldets indflydelse på graddagene (den absolutte forskel mellem den blå og den røde kurve – se figur 5.2) er fluktuerende, men bortset fra 1991, 2006 og 2014 større end i DRY.



Figur 5.1: Udviklingen i skygge- og solkorrigerede graddage for Danmark i perioden 1990-2014 sammenlignet med graddage beregnet på baggrund af det danske DRY.



Figur 5.2: Indflydelsen af solindfaldet på graddagene - forskellen mellem den blå og røde kurve/ den grønne og den sorte kurve i figur 5.1.

Højere udelufttemperatur og mere solindfald leder til et lavere opvarmningsbehov, men vil samtidigt øge kølebehovet. En forøgelse af ΔT mellem ude og inde med en grad for-

øger opvarmningsbehovet med omkring 5 %, er det vigtigt, at det er det samme vejrlig som under målingerne, der anvendes i den beregningsmodel, som det målte energiforbrug sammenlignes med.

I mange beregnings- og simuleringsprogrammer er det muligt at erstatte standard vejrfilerne med filer dannet på baggrund af målinger. Det er derfor ønskeligt, at der samtidigt med målingerne i bygningen måles de relevante klimaværdier, som beregningsprogrammet anvender. Vejrdataene skal måles med en god nøjagtighed og midles/summeres med de rigtige tidsskridt. For Be10 kan Statens Byggeforskningsinstitut for et mindre gebyr overføre målte vejrdata til en fil, som Be10 kan læse og bruge i beregningerne.

Alternativt til egne vejrmålinger kan vejrdata købes hos f.eks. DMI, eller ejeren af en nærliggende vejrstationerne under Borgervejr¹ - der måler de nødvendige værdier - kan kontaktes for erhvervelse af de nødvendige vejrdata.

¹ www.dmi.dk/vejr/maalinger/borgervejr/

6 Sammenligning af målt og beregnet energiforbrug

Efter at modellen af bygningen er blevet afstemt med de virkelige forhold vedr. input-data, behov og brugsmønstre samt klima er det muligt at foretage en mere korrekt sammenligning mellem beregnet og målt energiforbrug for bygningen. Men som nævnt i kapitel 2, bør man ikke anvende første års målinger til denne sammenligning, da der typisk vil være nogle indkøringsproblemer det første år, der ofte øger energiforbruget.

Selvom modellen af bygningen er blevet afstemt med de virkelige forhold, må det forventes, at der ikke er fuldstændig overensstemmelse mellem beregnet og målt energi forbrug. Det skyldes, at selv om modellen af bygningen er nok så detaljeret, vil den altid være en ret grov tilnærmelse til den rigtige bygning og brugen af denne. Desuden antages det ofte i beregningsprogrammer, at styringen af installationerne er ideel, hvilket typisk ikke er tilfældet i virkeligheden. En forskel mellem målt og beregnet energiforbrug på under $\pm 10\%$ vil typisk være en acceptabel overensstemmelse.

6.1 God overensstemmelse

God overensstemmelse kan skyldes fejl i input til modellen eller i målingerne. Derfor bør punkterne i kapitel 2-5 samt målingerne gennemgås kritisk en ekstra gang.

Herefter skal de gennemførte ændringer i input til modellen vurderes. Hvis det f.eks. har været nødvendigt at ændre værdier for komponenter og installationer, fordi dårligere komponenter og installationer har været anvendt i opførelsesfasen end specificeret i projekteringsfasen, bør der gennemføres parametervariationer for at vurdere, hvor meget de dårligere komponenter og installationer har øget energiforbruget. Et energiforbrug som ofte betyder, at bygningen ikke lever op til forventningerne i projekteringsfasen. Det samme skal gøres, hvis infiltrationen i bygningen er højere end projekteret. Et dårligere indeklima end forventet skal også rapporteres som et punkt, hvor bygningen ikke lever op til forventningerne.

Modsat bør et højere energiforbrug, som skyldes forkerte input-data og forkert modellering af komponenter og installationer i projekteringsfasen ikke miskreditere den færdige bygningen, men rapporteres som en designfejl. Et højere energiforbrug på grund af højere rumtemperatur, højere forbrug af varmt vand, færre personer og mindre udstyr i bygningen, et højere luftskifte for at opfylde kravene til brugen af bygningen samt andet vejrlig end antaget under projekteringen bør heller ikke belaste bygningen, men rapporteres som en afvigelse i forhold til de oprindelige antagelser.

Der bør gennemføres parametervariationer med bygningsmodellen for de mest betydende parameter for at undersøge, om mulige ændringer af disse kan lede til en reduktion i bygningens energiforbrug.

Ovenstående dokumenteres på en måde, som kan forstås af målgruppen.

6.2 Dårlig overensstemmelse

Dårlig overensstemmelse kan skyldes fejl i input til modellen eller i målingerne. Derfor bør punkterne i kapitel 3-5 samt målingerne gennemgås kritisk en ekstra gang. Hvis dette ikke fører til en bedre overensstemmelse, er der behov for fejlfinding internt i bygningen.

Fejlfinding i en bygningen kan tage meget lang tid, og der er ofte behov for ekspertbistand for diverse subsystemer. I (Jensen, 2013) gennemgås kortfattet forslag til gennemgang af diverse konstruktioner og installationer.

Et oplagt sted at starte en fejlfinding er ved at gennemføre parametervariationer med modellen af bygningen for at fastlægge, hvilke komponenter og installationer som har den største indflydelse på energiforbruget i bygningen, og derefter først undersøge disse.

7 Dataopsamling

Måling i bygninger kan være dyr at gennemføre, hvis der ikke allerede er anvendelige målere og sensorer, hvor måledata let kan trækkes ud. Gode målinger kræver præcise målere/sensorer, et system til opsamling af måledata og mulighed for at få de målte data overført. Hvis årlige/månedlige energiforbrug er ønsket, kan manuel aflæsning være en udmærket løsning.

Hvis input-værdierne i kapitel 4 er konstante, kan disse fastlægges ved én spotmåling, mens tidsvarierende værdier kræver flere spotmålinger eller kontinuerlige målinger over en kortere periode en/flere gange om året.

Målingerne skal under alle omstændigheder tilpasses det beregningsprogram, de skal sammenlignes med/bruges til som input. For detaljerede simuleringsprogrammer er tidskridt for målingerne på en time eller mindre ofte ønskeligt. I det sidste tilfælde kræves ofte kontinuerlige målinger over hele året. Her giver det mening at anvende automatiserede logningssystemer, der overføre data direkte til en server.

I det følgende gives et par eksempler på målesystemer, som dog ikke er udtømmende for datalogningssystemer, men som forhåbentlig kan tjene som inspirationskilde.

7.1 CTS-anlæg

Større/store bygninger har typisk et CTS-anlæg, som typisk har mange målepunkter og styresignaler. Flere af disse kan være interessante for et måleprojekt til sammenligning af målt og beregnet energiforbrug. Dog skal man være opmærksom på, at CTS-anlægget er en integreret del af den bygning, man vil undersøge, - og derved måske også en del af forklaringen på et for højt energiforbrug. Det skal derfor grundigt undersøges, om de målepunkter, der ønskes logget, virkelig repræsenterer de værdier, man er interesseret i, og om målingerne er tilstrækkeligt præcise.

Man skal desuden være opmærksom på, at et CTS-anlægs opgave er at styre bygningen. Det gemmer derfor typisk ikke de målte værdier og styresignaler. Logning og dataoverførsel skal derfor ofte programmeres ind i CTS-anlægget. Desuden skal omkostningen til ekstra målere og sensorer medregnes, da CTS-anlægget ofte ikke inkluderer alle de ønskede målepunkter. Specielt skal måling af vejrlig overvejes. Antal målepunkter afhænger af størrelse, design og brug af bygningen.

7.2 Måling i enfamiliehuse

I enfamiliehuse uden fjernvarme vil det være en fordel at montere en varmemåler, der måler varmeproduktionen fra varmepumpe/gasfyr/oliefyr/træpillefyr. Specielt for olie- og træpillefyr, da olie- og træpille leverancerne ikke følger kalenderåret præcist. Men også for de to andre opvarmningsformer, fordi sammenligningen da ikke er afhængig af, at den rigtige (varierende) effektivitet for varmekilden er anvendt i beregningerne. Ofte kan en varmemåler - kablet eller trådløst - også opsamle måledata fra en vand- og elmåler.

Et målesystem til et enfamiliehus kunne f.eks. bestykes på følgende måde:

- 1 varmemåler til måling af varme fra varmekilden (fjernvarme, varmepumpe, gas-, olie- eller træpillefyr)
- 1 vandmåler på det varme brugsvand sammen med
- 2 temperaturfølere på henholdsvis det varme og det kolde brugsvand
- 1 elmåler til måling af bygnings-el (minus el til evt. varmepumpe)
- 1 elmåler til måling af husholdnings-el
- 1 elmåler til måling af en evt. varmepumpes elforbrug
- 1 elmåler kalibreret i forhold til volumenstrømmen i ventilationsanlægget, hvis dette er behovsstyret - ellers er én spotmåling af volumenstrømmene i ventilationsanlægget ofte tilstrækkelig
- 1 elmåler til måling af elproduktionen fra et evt. solcelleanlæg

- 1 blower door test til fastlæggelse af infiltrationen
 - 1 vejrstation, hvis specielt udelufttemperatur og solindfald ønskes målt på stedet, - ellers se kapitel 5
- et antal indeklimasensorer der placeres, så der kan opnås et repræsentativt indtryk af indeklimaet i huset, - specielt rumtemperaturen
- evt. et antal kontakter på vinduer og døre til detektering af, hvornår disse er åbne

Dataopsamlingen kan f.eks. foretages billigt (i indkøb) med en Raspberry PI med de nødvendige I/O moduler til dels at tilkoble målere og sensorer og dels til at overføre data via internettet. Anvendelse af Raspberry PI kræver dog en del programmeringsarbejde.

Detektering af tilstedeværelse af personer er problematisk. PIR-sensorer kan anvendes til detektering af tilstedeværelse, men ikke hvor mange der er tilstede. En anden mulighed er, at alle har en app kørende på deres smart phone (forudsat at alle har en smart phone), der detekterer, hvor de er. Dette kan regelmæssigt overføres til en server, hvor det kan bestemmes, hvornår personerne var i huset. Logning af personers færden kan dog være problematisk, da det går ud over privatlivets fred.

7.3 Måling i boligblokke

I boligblokke skal der typisk måles i to forskellige områder: i lejlighederne og i teknikrummet.

I lejligheder: Her skal der som i enfamiliehuse måles husholdnings-el, indeklima, tilstedeværelse og evt. åbning af vinduer. Hvis der er decentral balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding i hver lejlighed, skal der også måles på dette som i enfamiliehuse. Hver lejlighed bør principielt blower door testes.

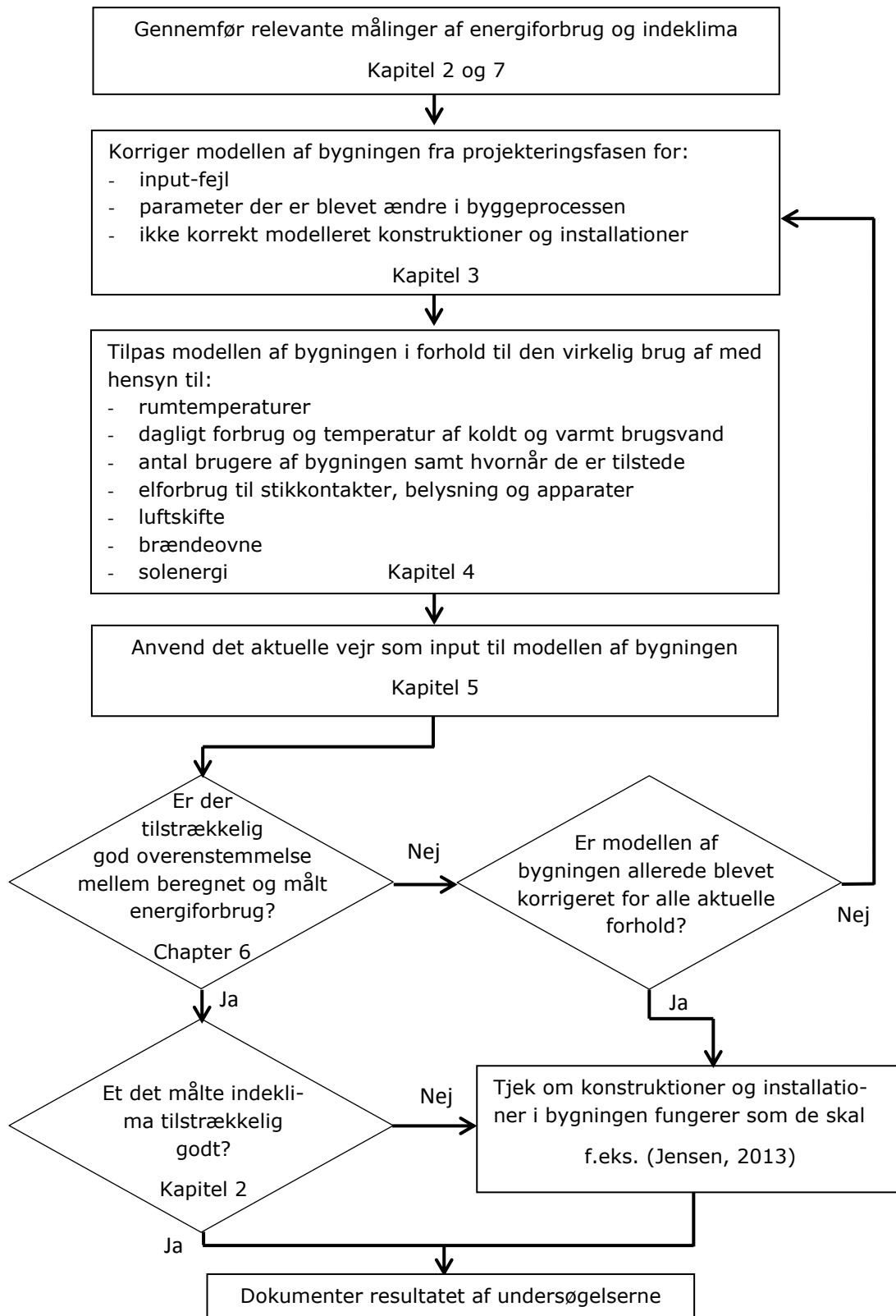
I teknikrum: her skal der principielt måles de samme ting som i enfamiliehuse (bortset fra ovenstående målinger i lejlighederne):

- 1 varmemåler til måling af varme fra varmekilden (fjernvarme, varmepumpe, gas-, olie- eller træpillefyr
- 1 vandmåler på det varme brugsvand sammen med
- 2 temperaturfølere på henholdsvis det varme og det kolde brugsvand
- 1 elmåler til måling af bygnings-el (minus el til evt. varmepumpe)
- 1 elmåler til måling af en evt. varmepumpes elforbrug
- 1 elmåler kalibreret i forhold til volumenstrømmen eller 2 "flowmålere" på centralt ventilationsanlæg, hvis dette er behovsstyret - ellers er én spotmåling af volumenstrømmene i ventilationsanlægget ofte tilstrækkelig
- 1 elmåler til måling af elproduktionen fra et evt. solcelleanlæg
- 1 vejrstation, hvis specielt udelufttemperatur og solindfald ønskes målt på stedet, - ellers se kapitel 5

Opsamlingen af ovenstående kan f.eks. klares med en Raspberry PI eller med en Danfoss ECL 310. Den sidste kræver ikke programmeringsarbejde.

8 Overblik metoden

Metoden til dokumentation af en bygnings energiforbrug og indeklime er vist i nedenstående rutediagram.



9 Referencer

- Aggerholm, S. og Grau, K., 2014. Bygningers energibehov - Beregningsvejledning. SBI-anvisning 213, 3. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. ISBN 978-87-563-1642-2.
http://anvisninger.dk/anvisninger/pages/213-bygningers-energiebehov-3_1.aspx/?Search=
- Andersen, 2012. The influence of occupants' behaviour on energy consumption investigated in 290 identical dwellings and in 35 apartments.
http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:113412/datastreams/file_9903893/content
- Bergsøe, N.C., 1992. Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser - Beskrivelse og analyse af PFT-metoden. Statens Byggeforskningsinstitut. ISBN 87-563-0822-1.
www.sbi.dk/indeklima/ventilation/ventilationsundersogelser-med-sporgas/passiv-sporgasmetode-til-ventilationsundersogelser
- EN 13829, 2001. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method.
<http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000019983036>
- EN 15251, 2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
<http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000030133865>
- EN 15603, 2008. Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings.
<http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000030166449>
- Jensen, J. and Lund, H., 1995. Design Reference Year, DRY – et nyt dansk referenceår. The Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark.
<https://encrypted.google.com/search?{google:acceptedSuggestion}oq=Design+Reference+Year%2C+DRY+%E2%80%93+et+nyt+dansk+reference%2C+A5r&sourceid=chrome&ie=UTF-8&q=%2C+DRY+%E2%80%93+et+nyt+dansk+reference%2C+A5r>
- Jensen, S.Ø. et al, 2010. Characterization and optimized control by means of multiparameter controllers. Danish Technological Institute, Dan-Ejendomme, Technological University of Denmark and BusinessMinds. ISBN 87-7756-772-2.
www.buildvision.dk/pdf/characterization_and_optimized_control_by_means_of_multiparameter_controllers.pdf
- Jensen, S.Ø., 2013. Guidelines on documenting the performance of build low energy buildings. Danish Technological Institute. ISBN 978-87-93250-00-0.
På www.teknologisk.dk/strategisk-forskningscenter-for-energie neutralt-byggeri/dokumentation-af-bygningers-energieforbrug/38997,2
- Jensen, S.Ø. og Wittchen, K.B. (eds), 2014. Energie neutralt byggeri – Tekniske løsninger. Strategisk Forskningscenter for Energie neutralt Byggeri. Statens Byggeforsknings Institut, Aalborg Universitet. ISBN 978-87-563-1615-6. www.zeb.aau.dk
- Larsen, T.S., 2011a. Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergiebyggeri – med henblik for forbedringer i fremtidens lavenergiebyggeri. Aalborg Universitet. DCE kontrakt rapport nr. 100.

http://vbn.aau.dk/files/45541977/Vurdering_af_indeklimaet_i_hidtidigt_lavenergib_yggeri.pdf

Larsen, T.S., 2011b. Overheating and insufficient heating problems in low energy houses up to now call for improvements in future. REHVA Journal may 2011.

http://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/03-2011/Overheating_and_insufficient_heating_problems_in_low_energy_houses_up_to_now_call_for_improvements_in_future.pdf

Olesen, B. et al, 2013. Definition of the Indoor Environmental Quality. Strategic Centre for Energy Neutral Buildings. www.zeb.aau.dk

Appendiks A

Indeklima

Fra (Jensen og Wittchen, 2014)

En af de vigtigste grunde til energianvendelse i bygninger er behovet for et bestemt indeklima. I Bygningsreglement 2010 står der, at "bygninger skal opføres, så der under den tilsigtede brug af bygningerne i de rum, hvor personer opholder sig i længere tid, kan opretholdes et sundheds og sikkerhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima".

Det virker dog ofte, som om ovenstående prioritering til en vis grad bliver glemt i bestræbelserne på at opnå en specifik energiramme for den aktuelle bygning. Termisk komfort opnås fx ikke nødvendigvis ved, at en Bet10 (Aggerholm og Grau, 2011) beregning ikke giver en straf for "overtemperatur i rum". Desuden er indeklima andet og mere end det termiske indeklima. Det er derfor vigtigt at have forståelse for hvilke forhold der har betydning for et godt indeklima ved design af en bygning. De vigtigste forhold behandles kort i det følgende.

KRITERIER FOR ET GODT INDEKLIMA

Indeklimaet består af forskellige forhold, der påvirker menneskekroppen:

- Termisk indeklima.
- Luftkvalitet.
- Støj og akustik.
- Visuelt indeklima, lysforhold og udsigt.

Kriterierne for et godt indeklima fremgår af flere internationale standarder og Bygningsreglement 2010, især for Bygningsklasse 2020. De standarder, der normalt refereres til, er EN 15251, EN ISO 7730 og CR 1752. Kriterierne i disse standarder gælder for alle typer af byggerier, hvor opvarmning, køling og ventilations anvendes til at sikre sundheds- og komfortmæssigt tilfredsstillende forhold.

For at øge overskueligheden over de forskellige parametre, der anvendes til beskrivelse af indeklima, har forskningscentret samlet de mest brugte kriterier i én publikation (Olesen et al,

2013). I det følgende vil dele heraf blive gengivet.

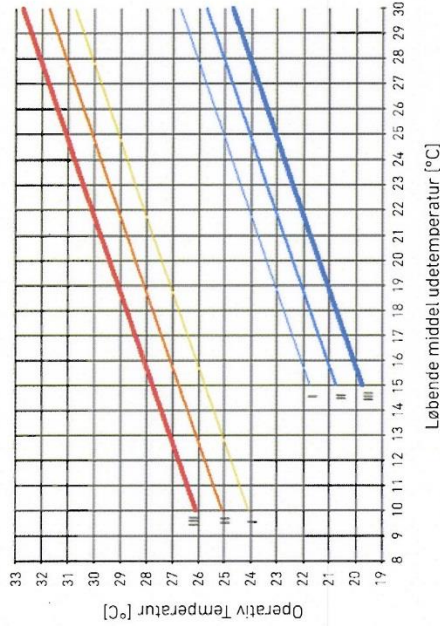
TERMISK INDEKLIMA

Kriterierne for termisk komfort afhænger for en stor del af det menneskelige aktivitets- og påklædningsniveau. Tabel 2 viser fire komfortklasser ved et forholdsvis stillesiddende aktivitetsniveau (1,2 met) og to påklædningsniveauer: 1,0 clo om vinteren og 0,5 clo om sommeren. Tabel 2 viser temperaturintervallerne for mekanisk ventilerede bygninger. Klasse II anbefales normalt ved design og dimensionering.

Klasse	Intervaller for den operative temperatur, °C	
	Vinter 1,0 clo/1,2 met	Sommer 0,5 clo/1,2 met
I	21,0-23,0	23,5-25,5
II	20,0-24,0	23,0-26,0
III	19,0-25,0	22,0-27,0
IV	<19,0, >25,0	<22,0, >27,0

Tabel 2. Eksempler på kriterier for den operative temperatur for stillesiddende aktivitet i mekanisk ventilerede bygninger eller bygninger med aircondition – EN 15251.

Sammenhængende værdier for PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) og PMV (Predicted Mean Vote) – indikatorer på kvaliteten af det termiske indeklima – findes i (Olesen et al, 2013). I naturligt ventilerede bygninger uden mekanisk køling har brugere af bygningen ofte en anden forventning til rumtemperaturen om sommeren end angivet i tabel 2. Her giver EN15251 en sammenhæng mellem de fire temperaturklasser og ude-temperaturen, se figur 7.



Figur 7. Designværdier for den operative temperatur i bygninger uden mekanisk køling vist som funktion af den eksponentielt vægtede løbende middelværdi af udetemperaturen (for-klaret i (Olesen et al, 2013)) – EN 15251.

Andre kriterier, som anvendes til at bestemme termisk komfort, er overfladetemperaturer, strålingsasymmetri og luftfugtighed. Manuel regulering af indeklimaet, fx vinduer der kan åbnes, spiller dog også en vigtig rolle for opfattelsen af indeklimaet. Relaterede værdier for PPD og PMV er tilgængelige i (Olesen et al, 2013).

LUFTKVALITET

Luften i en bygning forurenes af menneskelig aktivitet og de materialer, som er i bygningen. Kilderne til forurening er bioeffluenter fra mennesker, fugt, partikler, fibre, VOC osv. Afhængig af bygningens brug er en vis gennemstrømning af luft udefra derfor nødvendig for at opretholde en god luftkvalitet. Da mængde af forureningskilderne er svære at måle, anvendes CO₂ og fugt ofte som indikatorer for den forurening, der genereres af mennesker – og til at opstille kriterier for luftens kvalitet. For CO₂ opstiller EN 15251 klasserne i tabel 3. CO₂ niveauet bør dog være lavere i forurenede lokaler og højere i mindre forurenede

lokaler. Rygeforbød i de fleste kontorbygninger har kraftigt nedbragt forureningen og derved det nødvendige luftskifte.

Klasse	CO ₂ over udeluften ppm
I	0-350
II	350-500
III	500-800
IV	>800

Tabel 3. Eksempler på anbefalede CO₂-koncentrationer over koncentrationer i udeluften på ca. 400 ppm – EN 15251

STØJ OG AKUSTIK

Klimaskærmen skal i størst muligt omfang forhindre støj udefra. Energineutralt byggeri med tykke mure, trelags vinduer og uden ventilationsåbninger direkte til omgivelserne har typisk en effektiv støjbarriere mod udefrakommende støj. Men når støj udefra reduceres, vil intern støj fra fx ventilationsanlæg blive tydeligere og mere generende. Det gælder også for den støj, som kommer fra andre rum gennem interne vægge eller gennem ventilationsanlægget. Denne støj bør reduceres. EN 15251 anbefaler, at lydniveauet højst bør være 32 dBA i opholdsrum og 26 dBA i soveværelser. Værdierne for andre typer rum fremgår af (Olesen et al., 2013). Samtidig bør efterklangstiden højst være 0,5 sekund.

VISUEL KOMFORT

Visuel komfort består af flere forskellige elementer: belysningsstyrke, luminans, kontraster, blænding, farver osv., men også af udsigten fra lokalet og indkik udefra.

Bejder, Knudstrup, Jensen og Katic (2014) beskæftiger sig specielt med principperne for dagslys. Da dagslys er meget vigtigt for brugernes velbefindende og helbred, er der også anbefalede værdier for dagslysmængden (tabel 4) og for antal timer med direkte dagslys. Men da direkte sollys kan være meget generende specielt i kontorbygninger, findes der også klasser vedrørende muligheden for beskyttelse mod direkte sollys.

DOKUMENTATION AF INDEKLIMA

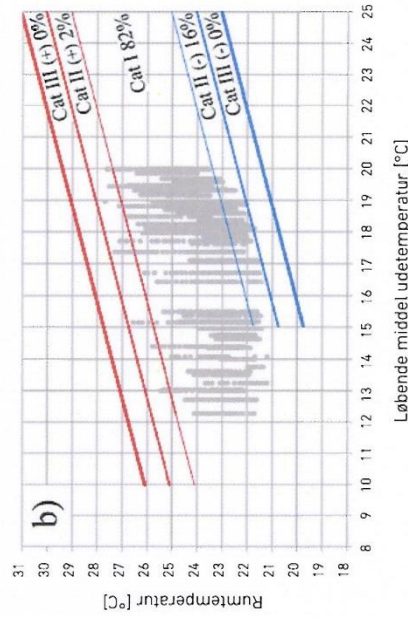
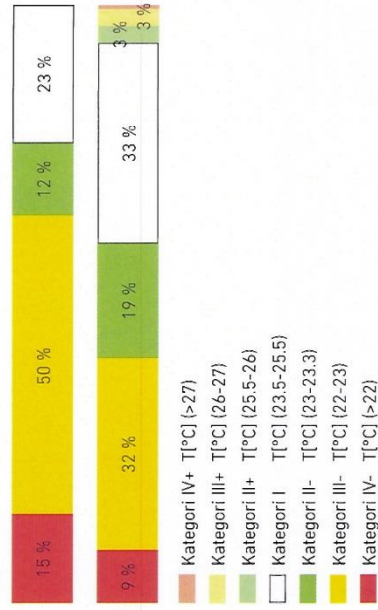
I designfasen vil det oftest være nødvendigt at opstille en dynamisk simuleringsmodel for kritiske lokaler: lokaler med risiko for overophedning, kolde rum, lokaler med specielle ventilationsbehov, lokaler med ringe eller høj grad af dagslys osv. Be10 er normalt ikke et hensigtsmæssigt værktøj til disse undersøgelser. Olesen et al (2013) beskriver kort spot- og langtidsmålinger i opførte bygninger med henblik på dokumentation af det faktiske indeklima. Kravene i EN ISO 7726 til instrumentering og målepositioner bør følges. Olesen et al (2013) giver endvidere eksempler på spørgeskemaer: et spørgeskema med mere generelle spørgsmål vedr. indeklimaet og et spørgeskema, der giver et øjebliksbillede af indeklimaet. Desuden er spørgeskemaet anvendt i forbindelse med Komforthusene også vist.

Klasse	Gennemsnitlig dagslysfaktor
I	>5
II	3-5
III	2-3
IV	<2

Tabel 4. Gennemsnitlig dagslysfaktor i et lokale (Olesen et al., 2013).

PRÆSENTATION AF DET MÅLTE INDEKLIMA

Olesen et al (2013) giver flere eksempler på, hvordan resultaterne fra måling af indeklima kan præsenteres. Figur 8 viser to muligheder for visning af temperaturfordelingen over en periode i et kontormiljø.



Figur 8. To eksempler på præsentation af målte rumtemperaturer (Olesen et al., 2013).