



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Udvikling af metode til korttidsmåling af bygningers energiforbrug

Mortensen, Lone Hedegaard; Aggerholm, Søren

Publication date:
2014

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Mortensen, L. H., & Aggerholm, S. (2014). *Udvikling af metode til korttidsmåling af bygningers energiforbrug*. SBI forlag. SBI Bind 2014:03

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

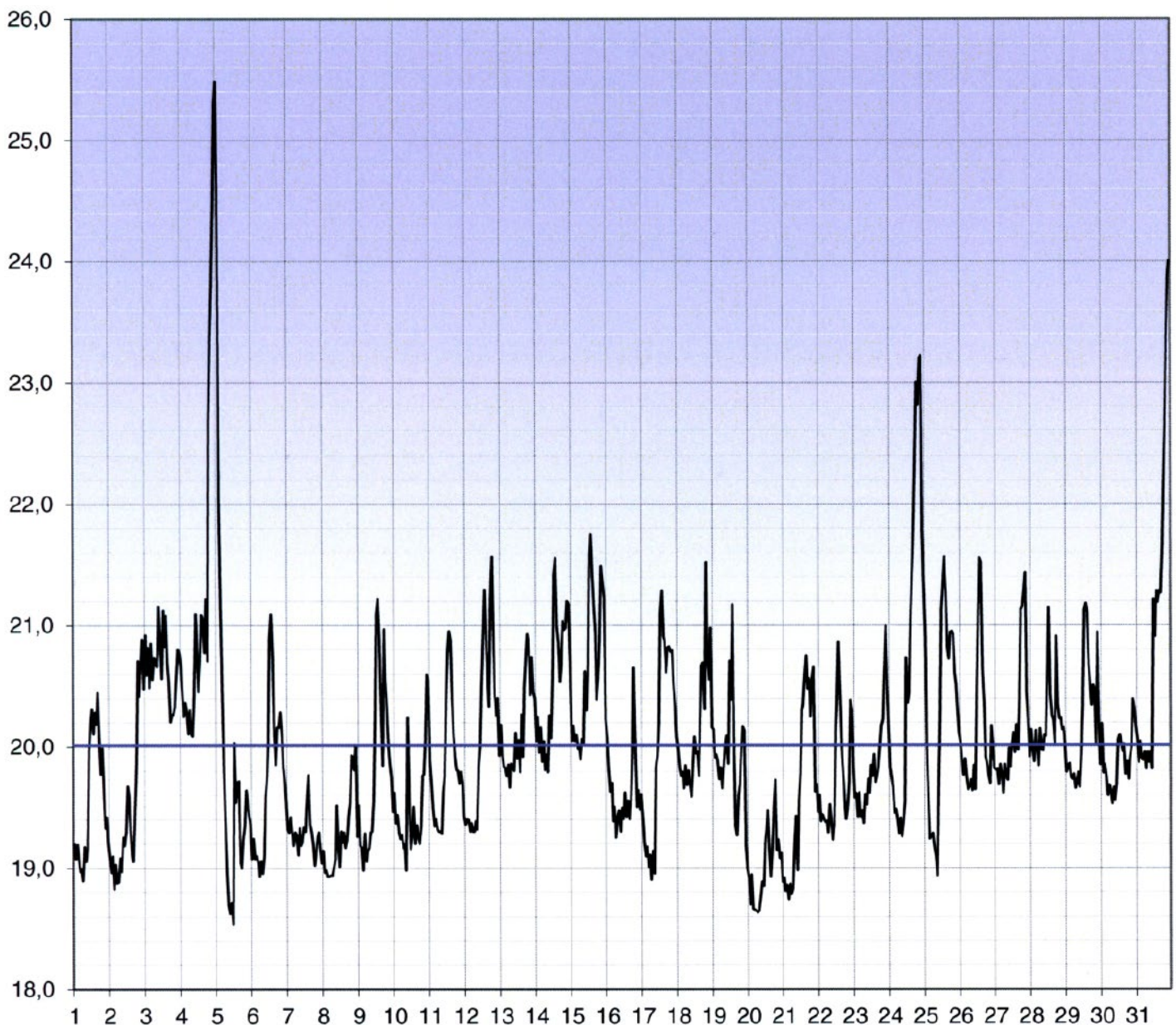
If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

UDVIKLING AF METODE TIL KORTTIDSMÅLING AF BYGNINGERS ENERGIFORBRUG

SBI 2014:03



Udvikling af metode til korttidsmåling af bygningers energiforbrug

Lone H. Mortensen
Søren Aggerholm

Titel	Udvikling af metode til korttidsmåling af bygningers energiforbrug
Serietitel	SBi 2014:03
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2014
Forfattere	Lone H. Mortensen, Søren Aggerholm
Sprog	Dansk
Sidetæl	19
Litteratur-henvisninger	Side 19
Emneord	Energiforbrug, korttidsmålinger, forbrugervaner, byggeri, energimærke, bygningsreglement
ISBN	978-87-92739-65-0
Omslag	Grafen viser en måneds temperaturmålinger i en stue
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, DK-2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne rapport er omfattet af ophavsretsloven.

Forord

Denne rapport er udarbejdet for Energistyrelsen, som en del af 'Initiativ 6: Synliggørelse af energiforbruget i bygninger' i regeringens strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger.

Måling af bygningernes energiforbrug pr. år anvendes ofte som grundlag til at vurdere, om bygningerne lever op til byggebestemmelser eller bygherre-ønsker, hvis der har været tale om byggeri bedre end efter byggebestemmelserne. Ved måling over lang tid kan det være vanskeligt at udskille forhold, som skyldes forbrugervaner fra grove fejl.

Ved korttidsmåling er det imidlertid muligt at registrere forbrugervaner, således målingerne i højere grad bliver en konstatering af, om bygningen lever op til myndigheds- eller bygherrekrav, idet målinger afspejler bygningens ydeevne.

Rapporten består af en indledende analyse, som følges op af en parameteranalyse og en følsomhedsanalyse. Herefter testes metoden, og der afsluttes med en opsummering af, hvad metoden kan bruges til og under hvilke forudsætninger.

Projektet er udført af seniorforsker Lone H. Mortensen fra SBI

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og miljø
Januar 2014

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indhold

Forord	3
Indledning	5
Formål, baggrund og afgrænsning	5
Metode udvikling.....	6
Generering af model	7
Brug af metoden	8
Test på måledata fra renovering.....	8
Betydning af antagelser om temperaturer	10
Betydning af periodelængde af måledata	11
Størrelse af fejl der kan vises	13
Betydning af fejl	13
Hvordan findes fejlen?	16
Visuel undersøgelse	16
Virkningsgrad af varmegenvinder	16
Varmetabsmåling	16
Termografering	16
Elforbrug til varmepumpe.....	16
Tæthed.....	17
Ventilation	17
Opsamling.....	18
Referencer	19

Indledning

Formål, baggrund og afgrænsning

Formålet med denne rapport er at beskrive en metode til sammenligning af nyopførte bygningers forventede energiforbrug med korttidsmålinger. En bygnings forventede energibehov bestemmes med programmet Be10 (Aggerholm og Grau, 2011). I programmet opbygges en Be10-model for en given bygning, som på baggrund af standardforudsætninger beregner energibehovet og kan sammenligne dette med kravene i Bygningsreglementet 2010 (BR10). Den nye metode baseres på en Be10-model for bygningen, men den kan justeres med aktuelle vejrdata, indetemperaturer og interne laster, som elforbrug, så resultaterne kan sammenlignes direkte med resultaterne af en korttidsmåling.

Der er behov for at udvikle en metode, der kan hjælpe med at eftervise, om et nyopført byggeri lever op til den forventede energimærkning.

Måling af bygningernes energiforbrug pr. år anvendes ofte som grundlag for vurderingen. Ved måling over lang tid kan det være vanskeligt at udskille forhold, som skyldes forbrugervaner fra grove fejl. Ved korttidsmåling er det imidlertid muligt at registrere forbrugervaner, således at målingerne i højere grad bliver en konstatering af, om bygningen lever op til myndigheds- eller bygherrekrav, idet målinger afspejler bygningens ydeevne.

I øjeblikket har bygherren ikke nogen mulighed for at teste, om et nyopført byggeri lever op til det lovede energiforbrug. Det må bero på skøn baseret på tilsyn og kvalitetssikring. Det betyder reelt, at eksempelvis private, som ønsker at opføre en ny bolig er dårligt stillet mht. at sikre, at de har fået det bestilte produkt, da der er omkostninger forbundet med at have tilsynsførende rådgivere til at udføre kontrol undervejs i byggeprocessen.

Selv for professionelle bygherrer kan det være meget svært at bevise, at en bygning ikke overholder specifikke energikrav. Mangel på overholdelse vil ofte kunne forklares med anderledes brug end forudsat. Brugeradfærd kan føre til store afvigelser af energiforbruget, f.eks. gælder det, at for hver grad indetemperaturen afviger fra standardantagelsen om 20 °C, så stiger/falder energiforbruget med 6-8 % (Rose, 2013). Derfor er der et stort behov for en form for eftervisning, der kan benyttes til afklaring af bygningens reelle ydeevne.

Der vil ikke blive set på betydningen af, at et nyopført byggeri må forventes at have højere energiforbrug pga. ekstra udtørring af byggefugt det første år.

Metode udvikling

For at udvikle metoden til korttidsmåling af energiforbrug for en nyopført bygning antages nogle forudsætninger i form af en Be10-model og måling af parametrene; varmemeforbrug, elforbrug og indetemperatur, samt evt. udetemperatur. Et alternativ til måling af udetemperaturen er at bruge ugedata fra nærmeste DMI station eller i nærmeste store by. Det forudsættes, at korttidsmålingerne udføres i opvarmningssæsonen, og helst i en kold del af denne.

Energiforbruget i bygninger kan udtrykkes som et varmetab hvorfra tilskud fra solen og interne laster fratrækkes. Det er udtrykt med følgende ligning:

$$(1) \quad Q_{forventet} = k_1 \cdot (T_i - T_u) - k_2 \cdot s - P_{int}, \text{ hvor}$$

Q	er varmebehovet
k_1	er en konstant udtrykt ved $\Sigma A \cdot U + \Sigma l \cdot \Psi + \rho \cdot c \cdot q(1 - \eta)$
k_2	er en konstant udtrykt ved $k \cdot A_w$
T_i	er indetemperaturen
T_u	er udetemperaturen
s	er antal solskinstimer/energertilskud fra solen
P_{int}	er den interne last fra elforbrug og personer
A	er overfladearealer mod det fri
U	er u-værdi af konstruktioner mod det fri
l	er længden af samlinger
Ψ	er linjetabet fra samlingerne
ρ	er massefylden
c	er varmfylden
q	er volumenstrømmen
η	er virkningsgraden på varmegenvindingen
k	er en konstant
A_w	er vinduesarealet

Der kan laves en model til bestemmelse af det forventede varmebehov på baggrund af ligningen, som en funktion af udetemperatur, solskinstimer, og måledata. Udgangspunktet for modellen består af data fra Be10-modellen og DRY-data for opvarmningssæsonen. Reelt benyttes månedsmiddelværdier for udetemperatur og antallet af solskinstimer. Bemærk, at dette ikke tager højde for intensiteten af solstrålingen, og om den er direkte eller diffus, hvilket måske kan påvirke resultatet. Modellen er uafhængig af korttidsmålingens periode/længde. Det betyder, at den i princippet kan benyttes på såvel ugebasis, som for daglige måleresultater.

Korttidsmålingsperioden forventes at være 5-10 uger, medmindre der kan udvikles en systematik, der kan benytte kortere tidsperioder, eksempelvis døgnværdier. Dette undersøges nærmere i et senere afsnit, da det vil kunne mindske måleperiodens længde. Måledata fra korttidsmålingen bruges til at sammenligne måledata med det teoretiske varmebehov.

Generering af model

Modellen til bestemmelse af det forventede varmebehov for en bygning opbygges i et regneark.

For månederne med opvarmning dvs. oktober-april bruges DRYs månedsmiddelværdier for udetemperaturen (T_u) og antallet af solskinstimer (s). I perioden oktober-april bruges data fra Be10-modellen. Det drejer sig specifikt om det samlede varmebehov (Q), indetemperatur (T_i) på 20 °C og det samlede eksterne elforsyningsbehov (P_{int}). Herudover benyttes det opvarmede etageareal til at finde opvarmningsbehovet, som funktion af udetemperaturen pr. kvadratmeter, så behovet i forskellige bygninger lettere kan sammenlignes.

På baggrund af forbruget i månederne oktober til april opstilles en model, som beskriver energibehovet ud fra ligning 1, hvor k_1 og k_2 er ubestemte. Konstanterne fastsættes ved en iterativ proces (i praksis ved brug af udvidelsen problemløser), hvor forskellen i det modelberegnete energibehov og Be10 energibehovet minimeres. Det betyder, at summen af udtrykket $(Q - Q_{\text{model}})^2$ for de seks måneder i opvarmningssæsonen skal være så lille som muligt.

Når konstanterne k_1 og k_2 er bestemt kan modellen for bygningen bruges til at forudsige energibehovet med ændrede parametre som f.eks. indetemperatur og elforbrug svarende til de aktuelle forhold i huset.

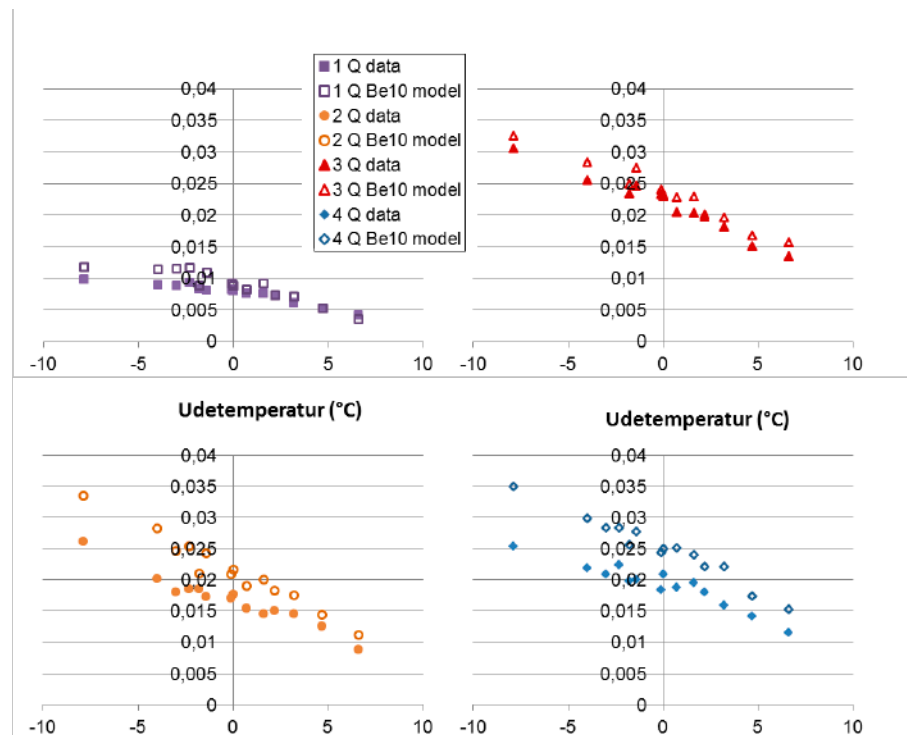
Brug af metoden

I dette afsnit undersøges modellen til verificering af korttidsmåledata. Der opbygges modeller baseret på forskellige Be10-modeller for bygninger så resultaterne kan sammenlignes med datasæt fra målinger i de faktiske bygninger.

Test på måledata fra renovering

Indledningsvis er metoden testet på fire sæt måledata fra et projekt om renovering af parcelhuse. De fire boliger er renoveret i forskellig grad, og derfor er det forventede energiforbrug efter renovering forskelligt i de fire huse. Målingerne er foretaget i fyringssæsonen fra nov. til februar.

Måleresultaterne er summeret på ugebasis således, at hvert punkt i figuren repræsenterer gennemsnittet for en uge. Resultatet for boligerne ses herunder i figur 1. Figur 1 viser også resultater baseret på bygningernes Be10 model, der er benyttet til generering af en model på form som ligning 1, som herefter på baggrund af de reelle forbrugsdata giver et forventet varmebehov (Q Be10 model). Konstanterne i modellen til kan ses i tabel 1.



Figur 1. Sammenligning af energibehov fra reelle måledata (udfyldt) og modelbaseret energibehov (streg). Resultaterne er summeret på ugebasis for 4 renoverede boliger.

Af figuren ses det, at modellerne har samme tendens som målingerne. For det case med lavest energibehov (øverst til venstre) er der bedst overensstemmelse med modellen. I de andre eksempler overvurderer modellen opvarmningsbehøvet, og det er mest udtalt når udetemperaturen er under 0° C.

Tabel 1. Konstanterne, k_1 og k_2 for de fire renoverede boliger i figur 1 og figur 2 i ligning 1.

Nr.	Konstanter i fig. 1		Konstanter i fig. 2 (tilpasset infiltration)	
	k_1/m^2	k_2/m^2	k_1/m^2	k_2/m^2
1	6,78E-04	9,50E-04	6,78E-04	9,50E-04
2	1,40E-03	1,35E-03	1,19E-03	1,36E-03
3	1,33E-03	1,03E-03	1,18E-03	1,04E-03
4	1,44E-03	8,04E-04	1,42E-03	8,08E-04

Det er en gennemgående tendens, at modellen overvurderer opvarmningsbehovet. På trods af dette virker modellen lovende, men den skal måske justeres med specifikke data.

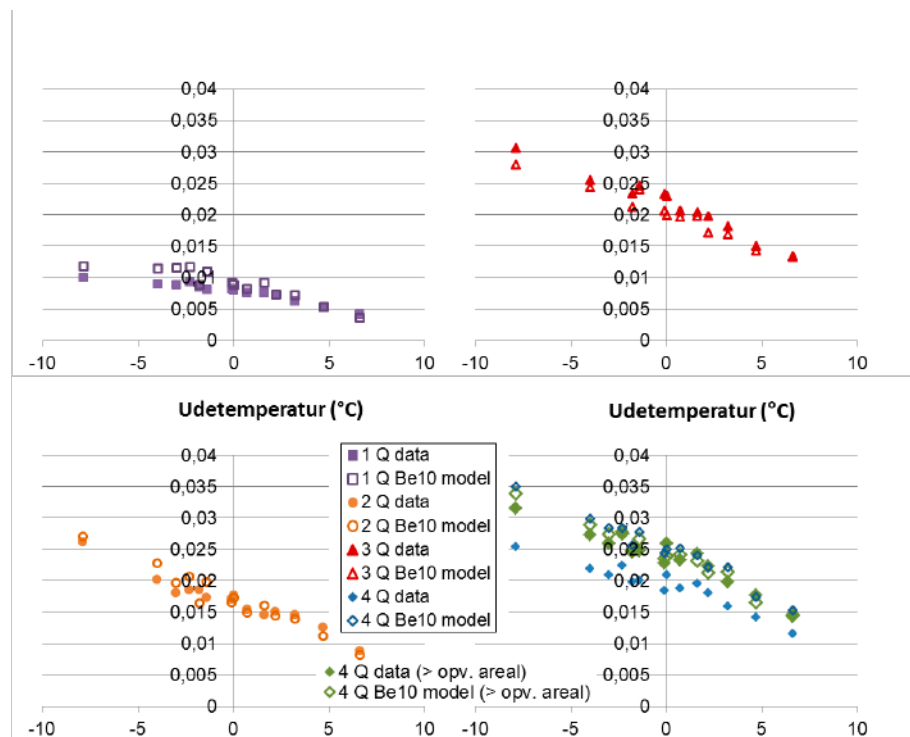
De parametre, som ikke umiddelbart er tilpasset målesituationen, er personbelastningen og forbruget af varmt brugsvand. Generelt er der en smule højere personbelastning end standard forudsætningen i Be10, hvilket giver større gratisvarme. Mht. forbruget af varmt brugsvand trækker dette dog i den anden retning, da forbruget generelt er mindre end de antagede 250 l/m²/år, hvilket trækker i retning af større varmebehov. Der er mekanisk ventilation i den ene bolig (øverst til venstre i figur 1), hvor varmebehovet baseret på Be10-modellen stemmer fint overens med det faktisk målte, mens de øvrige har naturlig ventilation. Overvurdering af varmebehovet kan derfor skyldes, at infiltrationen eller ventilationen er overvurderet.

For alle de undersøgte fire datasæt blev der fundet en tendens til at modellen overvurderer opvarmningsbehovet. Resultatet er overraskende, idet man typisk ser, at det beregnede behov er undervurderet, og dermed at forbruget er større end forventet. Hvis modellen havde undervurderet varmebehovet ville dette lettere kunne tilskrives forholdene ved en renovering, hvor de urørte dele af konstruktionerne stadig ville kunne indeholde fejl, som fører til forøget energibehov.

Betydningen af infiltrationen kan vurderes ved tilpasning af denne. Der er faktisk foretaget tæthedsprøvning i boligerne i figur 1, så derfor er Be10 modellen forsøgt tilpasset med den faktiske infiltration. Resultatet ses i figur 2. Bemærk, at der også kan være usikkerhed om fastsættelse af den faktiske ventilation i boligen, men denne er ikke målt boligerne.

Resultatet viser, at det giver bedre resultater for 2 ud af 3 af boligerne med naturlig ventilation. For den bolig som ikke forbedres væsentligt, skyldes det, at den faktiske infiltration er meget tæt på den antagede.

Det viser, at det i ældre bygninger kan være nødvendigt med en tæthedsprøvning for at sikre, at der ikke kommer for højt varmebehov pga. fejlagtige antagelser om infiltrationen, som kan variere utroligt meget. For metoden er dette blot en sidebemærkning, da den kun skal bruges til nye bygninger, hvor der er større lovkrav til tætheden.



Figur 2. Sammenligning af energibehov med tilpasset infiltration fra reelle måledata (udfyldt) og modelbaseret energibehov (streg). Resultaterne er summeret på ugebasis for 4 renoverede boliger. Infiltrationen er målt med blower door test.

Tabel 2. Afvigelsen mellem det modelberegnete energibehov baseret på Be10 modellen og målt data.

	Bolig 1	Bolig 2	Bolig 3	Bolig 4	Bolig 4 > areal
Afvigelse	2-35 %	3-15 %	2-13 %	18-37 %	1-8 %
Middel-afvigelse	16 %	8 %	7 %	29 %	5 %

I boligen, hvor der ikke sker ændring ved tilpasning af infiltrationen, er der mulighed for at opdele bygningen med forskellige temperatur zoner. Da brugerne holder en lavere temperatur i en del af boligen, er det forsøgt at modsvare dette med en antagelse om et mindre opvarmet areal, denne korrektionen ses i nederste højre hjørne af figur 2 (med grøn farve). Med korrektionen, som mindsker det opvarmede areal med knap 20 %, bliver der meget god overensstemmelse mellem måledata og Be10 modellen.

Betydning af antagelser om temperaturer

Ved beregning af det forventede energiforbrug vha. modellen i ligning 1 er der af praktiske årsager benyttet et ugebaseret datasæt fra DMI, som frit kan hentes på deres hjemmeside. Yderligere er temperaturen i stuen benyttet som indetemperatur i beregningerne.

Betydningen af om udetemperaturen er målt på en lokal målestation eller stammer fra data, der er frit tilgængelig fra en målestation i området er undersøgt. I det undersøgte tilfælde er der mindre end 5 % afvigelse på temperaturen. Det svarer til en maksimal afvigelse på 0,7 °C. Derfor antages det at være uden betydning, om udetemperaturen er målt meget tæt på det undersøgte hus, eller om der er benyttet frit tilgængeligt data fra DMIs hjemmeside på ugebasis.

Det er også undersøgt, hvor stor indflydelse det har på resultatet om indetemperaturen i stuen er brugt, eller om der er fundet en arealvægtet gennemsnits-temperatur fra boligerne. For alle fire boliger er det fundet, at brug af stuetem-

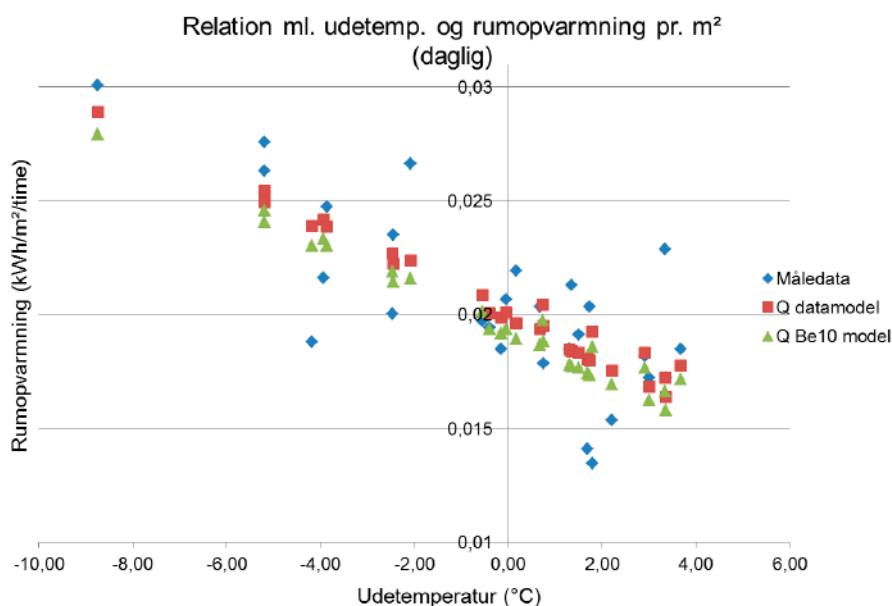
peraturen maksimalt giver en afvigelse på 5,5 % svarende til 1,1 °C af en temperatur på minimum 20 °C og oftest er afvigelsen kun 2-3 %.

Det antages derfor, at det er rimeligt at der kun måles temperatur i boliger-nes stuer, og at udetemperaturdata fra nærmeste DMI-målestation benyttes. Begge forudsætninger mindsker mængden af udstyr til korttidsmåling af en boligs temperaturforhold.

Betydning af periodelængde af måledata

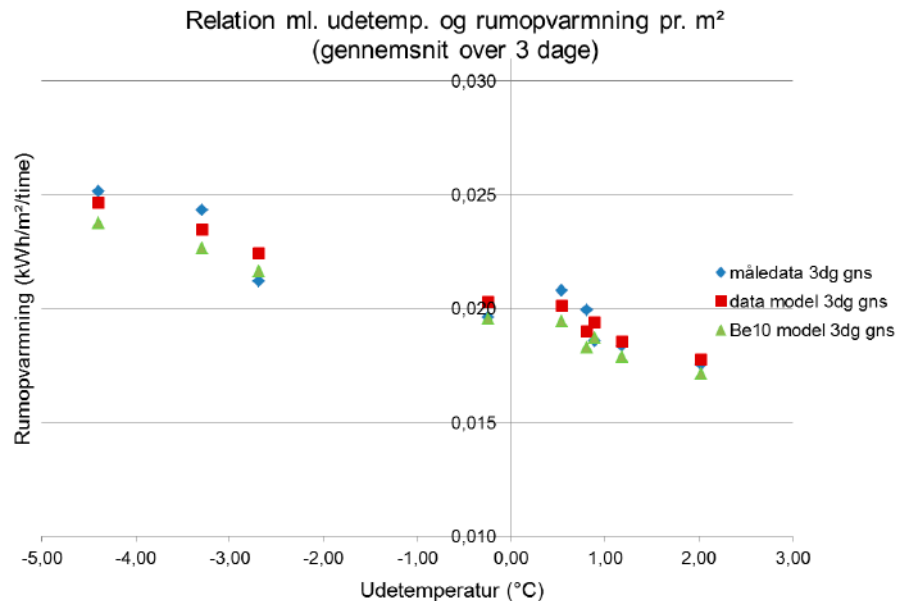
Metoden er også testet på et andet sæt data for korttidsmåling fra en nyop-ført bolig. Måleperioden er fra 29 dage med start 12. december. Det antages derfor, at data svarer til hvad der kan forventes af data fra en korttidsmåling. Data omfatter udetemperatur, solindfald, indetemperatur og energiforbrug til opvarmning. Elforbruget er desværre ikke målt men estimeret til 200 W døg-net rundt til lys og udstyr. Boligen har ikke været beboet i måleperioden.

På baggrund af en Be10-model for huset er der lavet to beregningsvarianter. Begge varianter har nedsat forbrug af varmt brugsvand (50 l/m² pr. år) da boligen ikke er beboet, som bruges til fastsættelse af Be10 rumopvarm-ningsbehovet. I modellerne til forudsigtelse af energibehovet er der to varian-ter, den første benytter det eksterne forbrug af el fra Be10-modellen og den anden model er genereret ud fra det estimerede elforbrug på 200 W.



Figur 3. Energiforbrug for en bolig pr. kvadratmeter areal. Afvigelsen mellem det modelberegnete energibehov (grøn trekant) baseret på Be10 modellen og målt data varierer fra ± 0-38 % og en middelfvigelse på 11 %. Fra målt data er der genereret en datamodel (rød firkant) på samme måde som generering af Be10 modellen. Forskellen mellem Be10 modellen og datamodellen er konstant 3,5 %.

Resultatet ses i figur 3, som viser, at der er en del udsving i måledata for lignende temperaturer. Reelt svarer afvigelserne til en gennemsnitlige variationer på 10 %, men der er variationer på op til 40 %. Målingerne repræsenterer daglige målinger. Resultaterne i den indledende undersøgelse var baseret på ugegennemsnit. Til sammenligning kan der ses på figur 4, som er baseret på samme data som figur 3, men hvor data i er baseret på gennemsnitsværdier for 3 dages perioder.



Figur 4. Energibehov for en bolig pr. kvadratmeter areal, som figur 3, men baseret på datagennemsnit for 3-dages perioder. Afvigelsen mellem det modelberegnete energibehov (grøn trekant) baseret på Be10 modellen og målt data varierer fra $\pm 0,7-8,2$ % og en middelfvigelse på 3,9 %. Fra målt data er der genereret en datamodel (rød firkant) på samme måde som generering af Be10 modellen. Forskellen mellem Be10 modellen og datamodellen er konstant 3,5 %.

Af figur 4 ses det, at der er god overensstemmelse mellem det forventede energibehov og det faktiske forbrug. Det kan bemærkes, at det forventede energibehov baseret på Be10 modellen i de fleste tilfælde er lavere end det faktisk målte. Det kan skyldes, at Be10 modellen forudsætter en ideal situation, mens der reelt kan være små fejl ved opførelsen som ofte vil give en lille forøgelse af energiforbruget. Hvis det forventede energibehov generelt er større end det forventede kan det være nødvendigt at kvalitetssikre Be10 modellen for at sikre at der ikke er fejl i den genererede Be10 model til beregning af det forventede energibehov.

Måleperioden for figurerne 3 og 4 er 29 dage. Resultaterne er meget afhængige af, om det er gennemsnit pr. døgn (figur 3), eller om der er summeret resultater for 3 dage (figur 4). I figur 3 varierer forskellen mellem det forventede og det faktisk målte energibehov med $\pm 0-38$ % og en middelfvigelse på 11 %. Tilsvarende for figur 4 er afvigelserne reduceret til $\pm 0,7-8,2$ % og en middelfvigelse på 3,9 %. Den lille afvigelse viser, at bygningen faktisk lever op til det forventede energibehov. Omvendt ser det ud til at den termiske bygningsmasse kan skabe en forsinkelse af energibehovet i forbindelse med gulvvarme i kombination med tunge konstruktioner. Det betyder, at det er nødvendigt at bruge datagennemsnit for perioder på f.eks. 3 dage eller en uge. Dermed bliver det nødvendigt at foretage målinger af mindst en måneds varighed for at opnå et tilstrækkeligt antal datapunkter.

Få dages måleperiode er dermed ikke realistisk, bl.a. fordi der ikke er tilstrækkelig variation i udetemperaturen. Herudover kan den termiske bygningsmasse eller ekstra stort solindfald i det rum hvor indetemperaturen måles forsinke energibehovet så eksempelvis timebaseret måledata ikke nødvendigvis svarer til modelbaserede forventninger.

Størrelse af fejl der kan vises

Betydning af fejl

Denne delanalyse er udført på en Be10-model for nybyggeri. Formålet er at undersøge, hvilken betydning forskellige slags fejl kan have på energiforbruget, for derved at konstatere om korttidsmåling kan benyttes til at konstatere fejl. Det kan bruges til at vurdere, hvilke fejl man vil kunne opdage ved en korttidsmåling af energiforbruget.

Det er valgt at undersøge fem mulige, men ekstreme fejl.

1. Manglende isolering af terrændæk
2. Dårligere vinduer (U-vindue = 2 x forventet U-værdi)
3. Uden isolering i ydervæg, 0 mm kontra 250 mm
4. Kun halv mængde isolering i ydervæg, 125 mm kontra 250 mm
5. Begrænset isolering på loft 200 mm kontra 400 mm

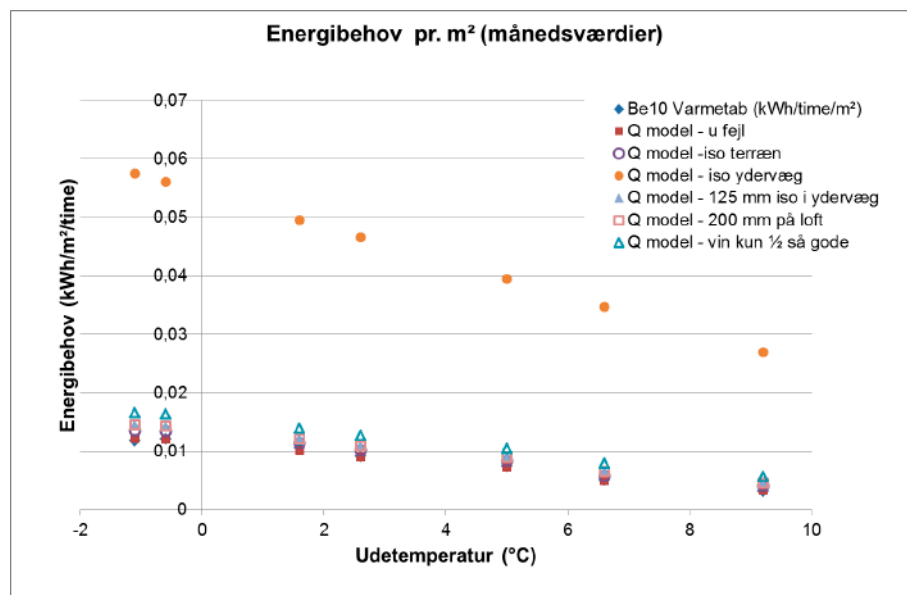
Varianterne 1, 2, 3 og 4 er visuelt meget svært kontrollerbare når huset er færdig opført. Ved analysen regnes der først på en reference model, hvor der ikke er nogen fejl. Herefter sammenlignes resultaterne med resultater for modelvarianter med ovennævnte fem fejl.

Modelvarianterne er beskrevet i tabel 2.

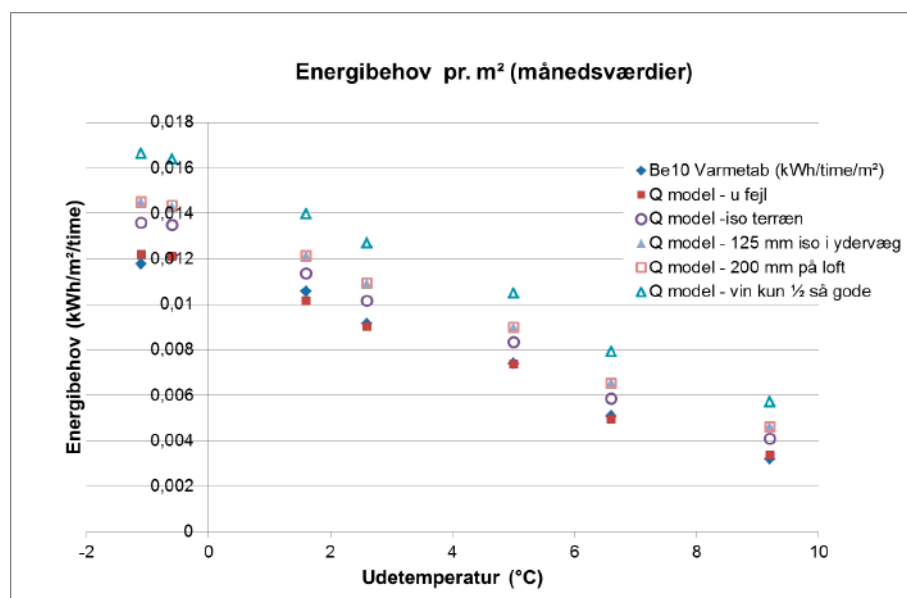
Tabel 3. Ændringer i input data for konstruktioner i forbindelse med fejl i bygningskonstruktionerne.

Ændring af input data til Be10 model	U-værdi for bygningsdele	
	Terrændæk m. gulvvarme	U-værdi (W/m ² ·K)
Oprindelig	200 mm polystyren	0,097
Fejl1	0 mm polystyren	0,209
	Ydervægs isolering	U-værdi (W/m ² ·K)
Oprindelig	365 mm mineraluld	0,13
Fejl 2	125 mm mineraluld	0,26
Fejl 3	0 mm mineraluld	2,73
	Loftisolering	U-værdi (W/m ² ·K)
Oprindelig	520 mm	0,84
Fejl 4	200 mm	0,194
	Vinduer	Middel U-værdi (W/m ² ·K)
Oprindelig	U-værdi	1,09
Fejl 5	U-værdi x 2	2,17

Resultatet ses af figurerne 5 og 6.



Figur 5. Betydning af ekstreme fejl for energibehovet pr. kvadratmeter boligareal, som funktion af udetemperatur. Bemærk, at for fejl i konstruktionen af ydervæggen helt uden isolering giver højest energiforbrug, se også figur 6 for flere detaljer om de øvrige fejl.



Figur 6. Energibehovet pr. kvadratmeter bebygget grundareal, som funktion af udetemperatur. Figuren viser et mere detaljeret billede af figur 5 men uden den ekstreme fejl, at der ingen isolering er i ydervæggen.

Af figurerne 5 og 6 fremgår det, at afvigelsen mellem Be10 energibehovet for konstruktioner uden fejl og modelresultaterne med fejl bliver større ved lavere temperaturer. Det viser, at det er nemmest at opdage afvigelser i kolde perioder. Det bekræfter, at målingerne bør foretages i den kolde del af opvarmningssæsonen.

I praksis vil det være svært at få måleresultater der er bedre end en afvigelse på $\pm 10\%$. Det skyldes bl.a. usikkerheder fra målingerne og småafvigelser fra f.eks. faktisk udetemperatur og afvigelser mellem faktisk indetemperatur i stuen kontra et vægtet temperaturgennemsnit for hele huset. Til sammenligning vises i tabel 4 afvigelserne mellem modelberegnete energibehov uden fejl og med fejl.

Tabel 4. Afvigelsen mellem det modelberegnete energibehov uden konstruktionsfejl og varianter med ekstreme konstruktionsfejl for figurerne 5 og 6.

	Terrændæk m. gulvvarme	Ydervægs isolering (125 mm)	Ydervægs isolering (0 mm)	Lofts-isolering	Vinduer
Afviselser	11-21 %	18-35 %	362-696 %	18-31 %	35-69 %

Af tabel 4 fremgår det afvigelserne mellem modellen uden fejl og modellerne med ekstreme fejl varierer meget. For tilfældet med manglende polystyren i terrændækket er afvigelsen 11-21 % og derfor kan det være svært at påvise ved metoden til kortidsmåling selvom det er en grov fejl, som det er vanskeligt at kontrollere efter opførelse. Afvigelserne på de øvrige fejl er så store at de burde kunne opdages ved metoden. Betydningen af de ekstreme fejl for energibehovet på årsbasis er angivet i tabel 5.

Tabel 5. Energiforbrug for den oprindelige bygningsmodel og for modellen med konstruktionsfejl. Tabellen viser også hvor stor afvigelse der kan forventes for de enkelte konstruktionsfejl i forhold til hvis bygningen ikke har fejl.

Energiforbrug Be10		kWh/m ² pr. år	Ændring
<i>Terrændæk m. gulvvarme</i>			
Oprindelig	200 mm polystyren	48,6	
Fejl1	0 mm polystyren	54,5	12,1 %
<i>Ydervægs isolering</i>			
Oprindelig	365 mm mineraluld	48,6	
Fejl 2	125 mm mineraluld	58,3	20,0 %
Fejl 3	0 mm mineraluld	255,8	426,3 %
<i>Loftsisolering</i>			
Oprindelig	520 mm	48,6	
Fejl 4	200 mm	58,7	20,8 %
<i>Vinduer</i>			
Oprindelig	U-værdi	48,6	
Fejl 5	U-værdi x 2	68,2	40,3 %

Fra tabellen fremgår det at manglende isolering af terrændækket fører til en forøgelse af energiforbruget på 12 % på årsbasis, hvilket ikke kan forventes meget bedre pga. af usikkerhed fra måling mv. Her må det dog bemærkes, at der regnet med 300 mm letklinker mod jord, hvilket isolerer terrændækket. Derfor er konstruktionen ikke uisolert som f.eks. varianten uden isolering i ydervæggen (fejl 3).

For fejl 3 som er uden isolering i ydervæggen ses det, at der er en enorm afvigelse på cirka 360 – 700 % fra tabel 4 og en forventet afvigelse på årsbasis på 426 % fra tabel 5. Ændringen af afvigelsen er markant med blot 125 mm isolering i ydervæggen, hvor den årlige afvigelse i det forventede energiforbrug reduceres til 20 %. Det viser, at effekten af den sidste isolering er mindre end den første.

De undersøgte fejl er ekstreme, og derfor vil mere realistiske fejl være kuldebroer, sprækker mellem isoleringen, sammensunken isolering mv. Det vil betyde at fejlene bliver mindre end dem der er fundet i tabel 4 og 5 og figur 5 og 6.

Hvordan findes fejlen?

Selve metoden kan kun bruges til at undersøge om der er afvigelser i energiforbruget i forhold til det teoretisk forventede. Når der med metoden er konstateret en afvigelse i faktisk energibehov i forhold til det forventede kan supplerende undersøgelser være en metode til at komme videre i forhold egentlig bestemmelse af hvor fejlen findes.

I det følgende beskrives kort en række metoder der kan afklare forskellige fejl.

Visuel undersøgelse

Det kan nogle steder være muligt at lave en visuel besigtigelse af f.eks. tykkelsen af isoleringen på loftet. Herudover kan man foretage en punktundersøgelse ved at lave en lille åbning i konstruktionen og herefter måle isoleringstykkelsen.

Virkningsgrad af varmegenvinder

En varmegenvinders virkningsgrad kan bestemmes ud fra fire temperaturmålinger. Der skal måles temperatur af udeluften (friskluft), indblæsnings-temperatur, temperatur af udsugningsluften og temperatur af afkastluften.

Varmetabsmåling

Varmetabsmålinger kan udføres med en såkaldt U-værdi måler. Med måleren kan der sættes tal på den varme der tabes fra en bygning de specifikke steder det ønskes. Dermed kan det kontrolleres om eventuelle nye energiruder rent faktisk er energiruder. Det kan også let undersøges om en ydervæg er isoleret eller ej, eller om isoleringen er faldet sammen.

Termografering

Ved termografering benyttes et apparat der kan minde om et lille kamera der dog i stedet viser den infrarøde stråling fra de overflader søgeren peger på. Resultatet er "billeder" af den infrarøde stråling, hvilket kan omsættes til overfladetemperaturer. Dermed kan termograferingen benyttes til at undersøge mangelfuld isolering i vægge, lofter og mure, kuldebroer og utætte vinduer/døre mv.

Elforbrug til varmepumpe

Det har vist sig at den hurtigste og sikreste metode til at vurdere om varmepumpen fungerer korrekt er ved at foretage en separat måling af elforbruget til varmepumpen. I praksis vil separat måling af energiforbruget for varmepumpen sikre, at fejl på drift af varmepumpen meget let kan opspores.

Tæthed

En bygnings tæthed kan måles med en Blower Door test, der er en trykprøvning af bygningen ved +/- 50 Pa, som svarer til de påvirkninger, der er på en bygning i stormvejr i Danmark. Tætheden er afgørende for infiltrationen og dermed energibehovet i nye bygninger.

Ventilation

Ventilation i en bygning er et udtryk for hvor ofte luften udskiftes. Den faktiske ventilation kan måles med en brug af en sporgasmetode, f.eks. PFT. En stor fordel ved sporgasmetoder er, at de tillader målinger, mens bygningen er i normal daglig brug. Princippet bag metoden er at en sporgas udsendes diffusivt og med konstant rate fra en kilde. Herefter vil koncentrationen af sporgassen i rummet afhænge af kildestyrken og luftudskiftningen i rummet, og med måling kan den faktiske ventilation bestemmes. Ventilationen er vigtig da den har stor betydning for bygningens energiforbrug.

Opsamling

Metoden kan benyttes til at vurdere, om bygningen lever op til det forventede energibehov ved en given brug, dog med forudsætning om at der kan være ca. 10 % afvigelse pga. målefejl og fejllantagelser.

Det er en forudsætning, at der foreligger en Be10-model for bygningen. Med udgangspunkt i Be10-modellen og DRY-data kan der genereres en model ved brug af formel 1, der kan tilpasses de faktiske forhold. Resultaterne af det forventede energibehov baseret på modellen kan sammenlignes direkte med målt data.

Desuden er det nødvendigt at foretage korttidsmåling i en periode på mindst 5 – 10 uger for at sikre tilstrækkeligt mange datapunkter. Korttidsmålingerne skal udføres i den kolde del af fyringssæsonen, og det er en fordel med variation i udendørstemperaturen på ugebasis. Der skal måles indetemperatur i stuen, elforbrug og varmekonsum og desuden benyttes vejrdata fra området. Hvis der kun måles i 5 uger kan det være nødvendigt at supplere med helt lokal måling af udetemperatur og solindfald for at få bedst mulig data som input til metoden.

Metoden er testet på fem datasæt, og resultaterne viser, at bygningerne lever op til det forventede energibehov.

Metoden er bedst eget til at finde store afvigelser i energibehovet. Ved konkret mistanke om bestemte fejl kan der med fordel benyttes en metode til undersøgelse, der er særligt eget til det specifikke formål, som f.eks. u-værdi-måling af ruden, hvis der er mistanke om, at der er brugt en anden energiklasse end forudsat.

Hvis modellen til bestemmelse af energibehovet baseret på den udviklede metode generelt undervurder energibehovet med mere end 10 %, bør der foretages supplerende undersøgelser for at vurdere, om der kan findes egentlige fejl i de enkelte bygningsdele, som f.eks. sammensunken isolering, mangelfuld isolering i vægge, lofter og mure, kuldebroer og utætte vinduer og døre.

Referencer

Aggerholm, S. & Grau, K. (2011). *Bygningers energibehov* (2. udgave), SBI-anvisning 213. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Erhvervs- og Byggestyrelsen (2010). *Bygningsreglement 2010* (24.08.2011)

Rose, J. (2013). *Model for adfærdens effekt for energiforbruget. Netværk for energirenovering*. SBI 2013:04. København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København.

I rapporten beskrives en metode, der kan bruges til at eftervise, om et nyopført byggeri lever op til den forventede energimærkning. Metoden går ud på at sammenligne nyopførte bygningers forventede energiforbrug, ud fra en Be10-model, med korttidsmålinger. Korttidsmålinger har den fordel, at det er muligt at registrere forbrugervaner, så målingerne i højere grad viser, om bygningen lever op til myndigheds- eller bygherrekrav, idet målinger afspejler bygningens ydeevne.

Rapporten består af en indledende analyse, som følges op af en parameteranalyse og en følsomhedsanalyse. Herefter testes metoden, og der afsluttes med en opsummering af, hvad metoden kan bruges til og under hvilke forudsætninger. Rapporten er udarbejdet for Energistyrelsen, som en del af regeringens strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger.

1. udgave 2014

ISBN 978-87-92739-65-0