

Ydeevne af eksisterende bygningsdele

Notat om målemetoder



16 februar 2017



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Titel

Ydeevne af eksisterende bygningsdele

Notat om målemetoder

Forfattere

Henrik Poulin

Konsulent

Teknologisk institut

Dato

16. februar 2017

Indholdsfortegnelse

Notat om målemetoder.....	4
1.0 Målemetoder til bestemmelse af U-værdi (isoleringsevne).....	4
1.1 Lyd-metoden.....	5
1.2 QUB (Quick U-value of Buildings)	6
1.3 ISO 9869 (Average method)	7
1.4 ISO 9869 inkl. indlejret varme (Storage effects).....	7
1.5 Anderlind	8
1.6 ARX.....	8
1.7 GREY.....	9
1.8 Termografi	9
1.9 EPM (Excitation Pulse Method)	11
1.10 MLE (Maximum Likelihood Estimation)	12
2.0 Målemetoder til bestemmelse af LT (lystransmittans)	13
2.1 Lyssensor	13
2.2 Window Energy Profiler.....	14
3.0 Målemetoder til bestemmelse af g-værdi (solenergitransmittans).....	15
3.1 Temperaturføler og solsensor	15
3.2 Window Energy Profiler.....	16
4.0 Sammenfatning	16
5.0 Litteraturliste	17

Notat om målemetoder

Dette notat er udarbejdet i forbindelse med projektet ”Ydeevne af eksisterende bygningsdele”, som er finansieret af InnoBYG og Grundejernes Investeringsfond. Formålet med projektet er, at udvikle og teste en ny metode (QuickUvalue), som kan være med til at bestemme ydeevnen af eksisterende ydervægge og vinduer.

Notatet er udarbejdet som en del af en indledende analyse af eksisterende målemetoder til bestemmelse af konstruktioners ydeevne, herunder U-værdi for ydervægge og U-, g- og LT-værdier for vinduer. Formålet med analysen er, at få et samlet overblik over de eksisterende målemetoder, herunder fordele, ulemper, tidsforbrug m.m. Dernæst skal der udføres en nærmere undersøgelse af de mest lovende metoder (bl.a. gennem laboratorietests) for at finde frem til om der er fremgangsmåder eller beregningsmetodikker som kan anvendes eller videreudvikles i projektet. Denne del udføres senere i projektforsløbet og fremgår således ikke af dette notat.

Notatet indeholder en kort beskrivelse af hver metode baseret på resultater og udsagn fra den anvendte litteratur. De anvendte kilder, som der henvises til under metodebeskrivelserne, fremgår af afsnit 5.0 *Litteraturliste*. Metoderne fremgår ikke i prioriteret rækkefølge og er ikke testet eller valideret af Teknologisk Institut.

1.0 Målemetoder til bestemmelse af U-værdi (isoleringsevne)

Nedenfor fremgår forskellige målemetoder til at bestemme en eksisterende konstruktions U-værdi eller R-værdi.

U-værdien (isoleringsevnen) beskriver hvor meget varme der kan strømme gennem et m² materiale pr. grad temperaturdifferens mellem ude og inde. Enheden er W/m²K. R-værdien er det reciprokke af U-værdien, altså m²K/W.

I de kommende underafsnit præsenteres følgende målemetoder:

1. Lyd-metoden
2. QUB
3. ISO 9869
4. ISO 9869 inkl. indlejret varme
5. Anderlind
6. ARX
7. GREY
8. Termografi
9. EPM
10. MLE

1.1 Lyd-metoden

Kilde: /8/

Beskrivelse: Tager udgangspunkt i sammenhængen mellem varme- og lydstrømninger og bestemmer et materiales U-værdi baseret på målt lydintensitetstab gennem materialet. Metoden er valideret på en lang række forskellige materialer med tykkelser fra 1-512 mm inden for frekvensbåndet 100-3150 Hz.

Resultat: U-værdi

Fordele: Hurtig og uafhængig af årstid, personbelastning og indlejret varme i konstruktionen.

Ulemper: Er ikke testet på sammensatte konstruktioner.

Præcision: Sammenlignet med beregnede værdier er metoden meget nøjagtig ved anvendelse af materialer med lav densitet. Metoden viser sig dog mindre nøjagtig ift. tykke materialer med høj densitet.

Tid: Ca. 1 min pr. test

Udstyr: Mikrofon, højttaler, isoleringskasse (ude og inde), analyseprogram, ledninger m.m.

Testskiva (mm)	Li-MODELL (W/m ² K)	U-MODELL (W/ m ² K)	DENSITET (kg/m ³)
Isover, 50	0.5444	0.5444	57,9
Isover, 50	0.5609	0.5609	65,2
Simulerad, 100	0.2861	0.2854	57,9
Simulerad, 100	0.2952	0.2945	65,2
Simulerad, 200	0.1469	0.1463	57,9
Simulerad, 200	0.1517	0.151	65,2

Tabel 1. Resultater, hvor Lyd-metoden (Li) er sammenlignet med beregnede U-værdier

1.2 QUB (Quick U-value of Buildings)

Kilder: /2/ /3/ /4/ /5/ /6/ /10/

Beskrivelse: Er udviklet af Saint Gobain til at bestemme U-værdien for enkelte konstruktionsdele. Metoden er dynamisk og udføres over 2 perioder; en periode med varme og en periode med afkøling.

Resultat: U-værdien i W/m^2K for udvalgte konstruktionsdele

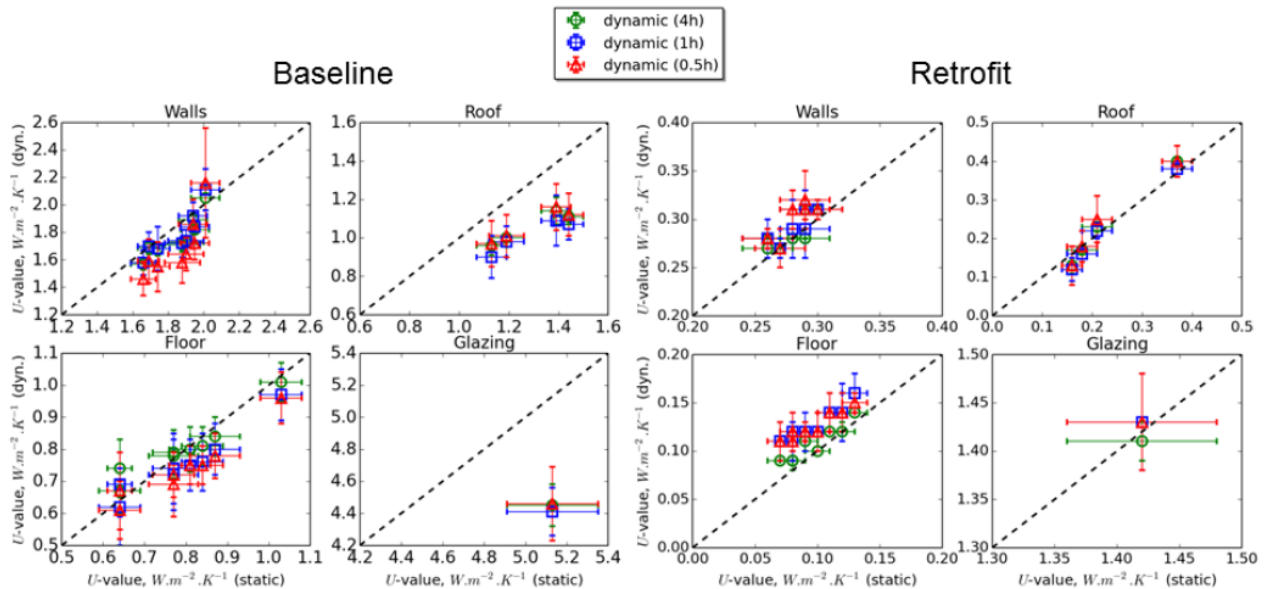
Fordele: Hurtigere end de statiske metoder.

Ulemper: Skal anvendes uden for brugstiden og må ikke anvendes i forbindelse med mekanisk ventilation.

Præcision: Se figur 1

Tid: 0,5 - 4 timer

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.



Figur 1. Resultater for forskellige konstruktionsdele fundet vha. QUB og sammenlignet med statiske målinger

1.3 ISO 9869 (Average method)

Kilde: /13/

Beskrivelse: Udføres efter ISO 9869 og er en af de mest anvendte, statiske metoder til at bestemme R-værdien for en konstruktionsdel. Metoden tager udgangspunkt i målte varmestrømninger gennem konstruktionen samt den målte temperaturdifferens mellem inde og ude under stationære forhold (konstant indvendig temperatur).

Resultat: R-værdien i $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Fordele: Anerkendt og anvendt metode

Ulemper: Sæsonafhængig og tager ikke højde for dynamiske temperaturudsving og konstruktionens indlejrede varme. Metoden skal desuden anvendes uden for brugstiden og må ikke anvendes i forbindelse med mekanisk ventilation.

Præcision: Se figur 2

Tid: Afhængig af præcision (op til 30 dage)

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.

1.4 ISO 9869 inkl. indlejret varme (Storage effects)

Kilde: /13/

Beskrivelse: Udvidelse af metoden beskrevet i afsnit 1.3. I denne metode inkluderes den indlejrede varme i konstruktionen i beregningen.

Resultat: R-værdien i $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Fordele: Medregner varme i konstruktionen

Ulemper: Sæsonafhængig og tager ikke højde for dynamiske temperaturudsving. Metoden skal desuden anvendes uden for brugstiden og må ikke anvendes i forbindelse med mekanisk ventilation.

Præcision: Se figur 2

Tid: Afhængig af præcision (op til 30 dage)

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.

1.5 Anderlind

Kilde: /13/

Beskrivelse: Udvidelse af metoden beskrevet i afsnit 1.3. I denne metode inkluderes de dynamiske temperaturudsving i beregningen ved at medregne historiske værdier.

Resultat: R-værdien i $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Fordele: Medregner dynamiske temperaturudsving

Ulemper: Sæsonafhængig metode som skal anvendes uden for brugstiden og uden mekanisk ventilation.

Præcision: Se figur 2

Tid: Afhængig af præcision (op til 30 dage)

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.

1.6 ARX

Kilde: /13/

Beskrivelse: Udvidelse af metoden beskrevet i afsnit 1.3. I denne metode inkluderes de dynamiske temperaturudsving i beregningen ved at medregne historiske værdier.

Resultat: R-værdien i $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Fordele: Medregner dynamiske temperaturudsving. Mindre sæsonafhængig end eksempelvis metoderne beskrevet i afsnit 1.3 og 1.4

Ulemper: Skal anvendes uden for brugstiden og uden mekanisk ventilation.

Præcision: Se figur 2

Tid: Afhængig af præcision (op til 30 dage)

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.

1.7 GREY

Kilde: /13/

Beskrivelse: Udvidelse af metoden beskrevet i afsnit 1.3. I denne metode inkluderes de dynamiske temperaturudsving i beregningen ved at medregne historiske værdier.

Resultat: R-værdien i m^2K/W

Fordele: Medregner dynamiske temperaturudsving. Mindre sæsonafhængig end eksempelvis metoderne beskrevet i afsnit 1.3 og 1.4

Ulemper: Skal anvendes uden for brugstiden og uden mekanisk ventilation.

Præcision: Se figur 2

Tid: Afhængig af præcision (op til 30 dage)

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.

1.8 Termografi

Kilde: /12/

Beskrivelse: Anvendes til at bestemme U-værdien ud fra den indvendige overfladetemperatur målt med termograferingskamera.

Resultat: U-værdi i W/m^2K

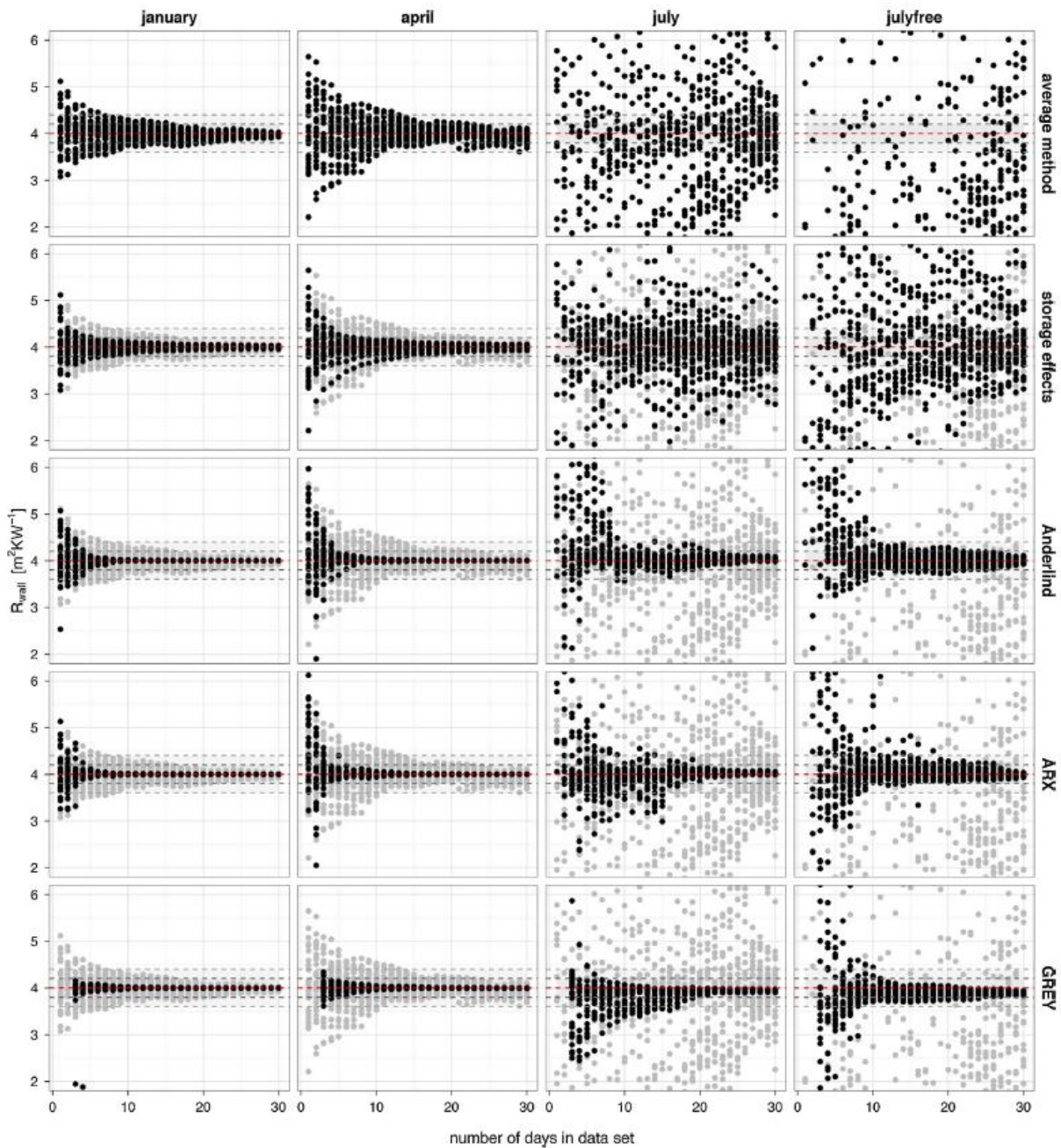
Fordele: God til at danne et hurtigt overblik over konstruktionens isoleringsevne

Ulemper: Sæsonafhængig - kræver stor temperaturdifferens samt ingen sol- og vindpåvirkning. Metoden medregner ikke den indlejrede varme i konstruktionen og bør derfor kun anvendes på lette konstruktioner. Metoden bør ikke anvendes til vinduer, idet usikkerheden på resultatet er meget stor. Metoden er statisk og medregner ikke de dynamiske udsving.

Præcision: Afhængig af tid og antallet af målinger

Tid: ca. 0,5 time og opefter

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), termograferingskamera



Figur 2. R-værdier for målemetoderne beskrevet i afsnit 1.3 – 1.7

1.9 EPM (Excitation Pulse Method)

Kilde: /11/

Beskrivelse: Anvendes til at bestemme R-værdien for enkelte konstruktionsdele. Metoden er dynamisk og udføres over 2 perioder; en periode med varme og en periode med afkøling (se figur 3)

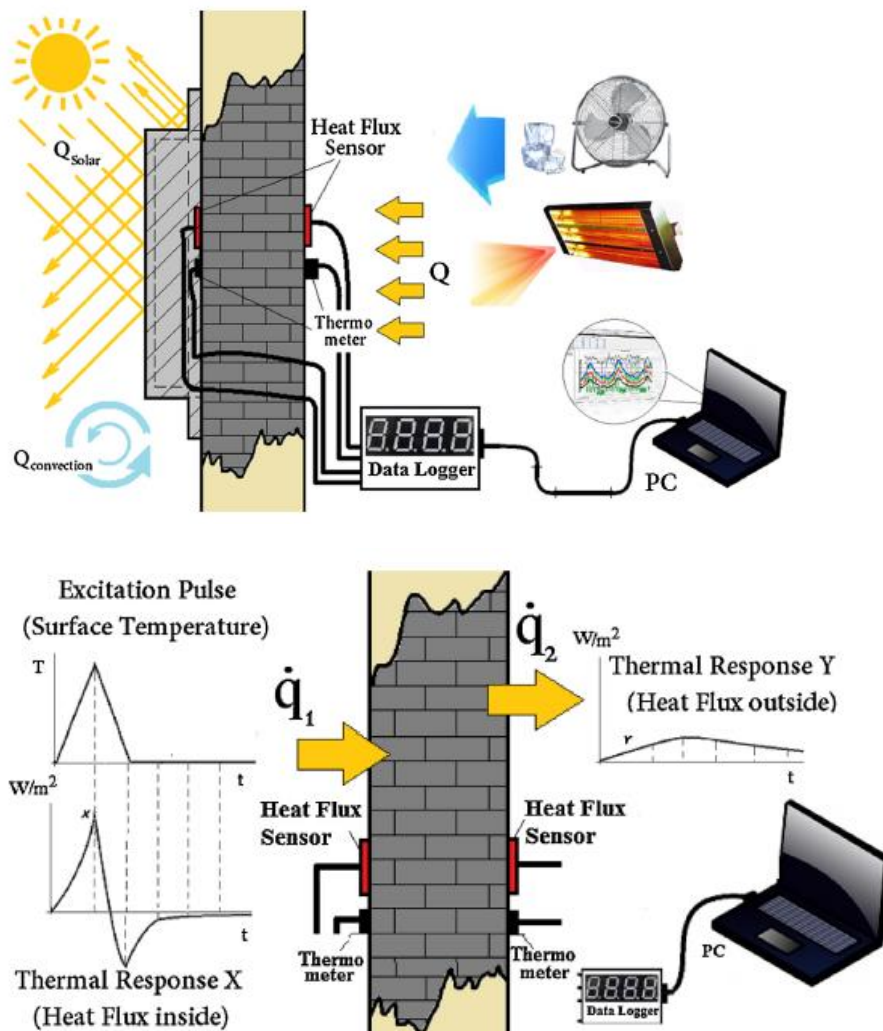
Resultat: R-værdien i $\text{m}^2\text{K/W}$

Fordele: Hurtigere og mindre sæsonafhængig end de statiske metoder.

Ulemper: Metoden skal anvendes uden for brugstiden og må ikke anvendes i forbindelse med mekanisk ventilation.

Tid: Ca. 2 timer

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, mekanisk køling, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.



Figur 3. EPM metoden

1.10 MLE (Maximum Likelihood Estimation)

Kilde: /7/

Beskrivelse: Metoden anvendes til at bestemme R-værdien for konstruktionsdelen ved at opretholde en konstant indvendig temperatur. Metoden tager desuden højde for de dynamiske temperaturudsving.

Resultat: R-værdien i $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

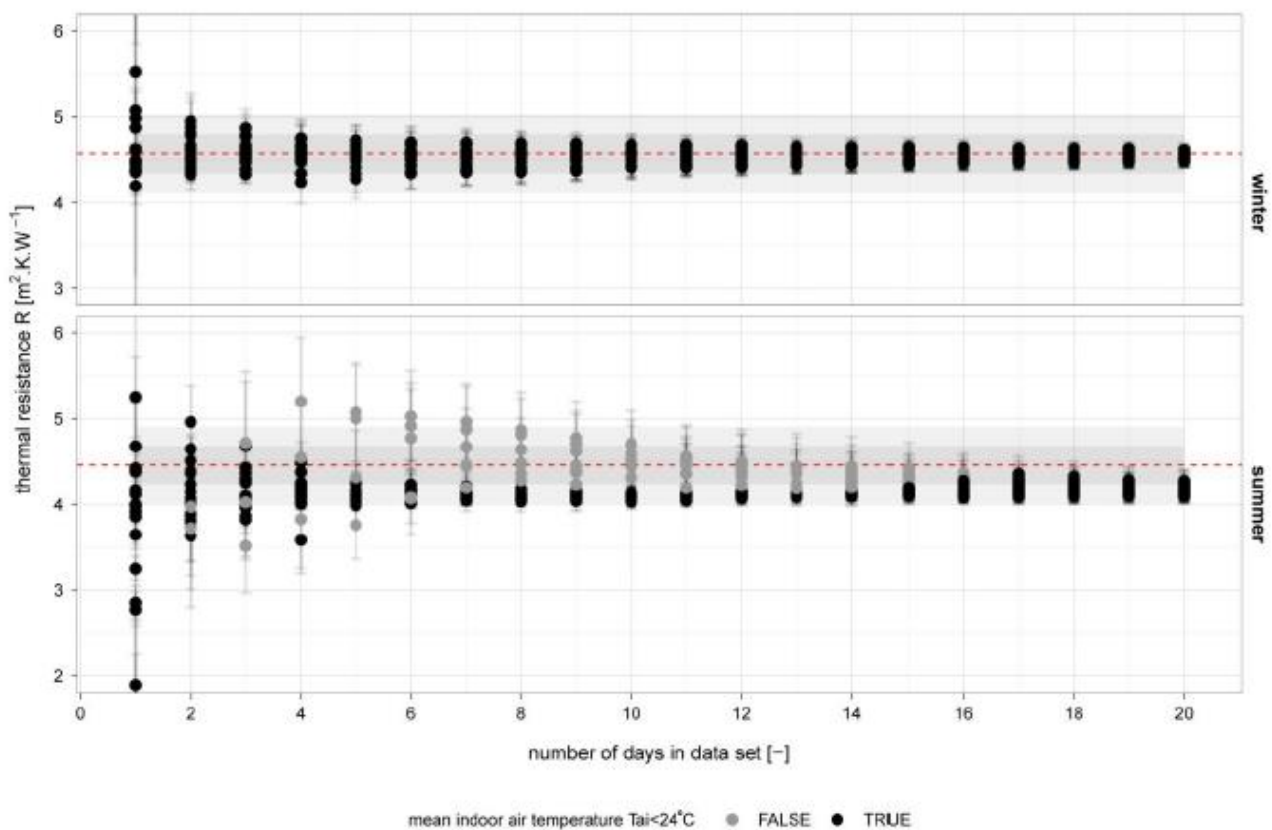
Fordele: Mindre sæsonafhængig end andre statistiske metoder (se figur 4)

Ulemper: Skal anvendes uden for brugstiden og må ikke anvendes i forbindelse med mekanisk ventilation.

Præcision: Se figur 4

Tid: Afhængig af præcision (op til 20 dage)

Udstyr: Temperaturfølere (inde og ude), varmekilde, varmestrømsmålere (inde og ude), m.m.



Figur 4. Resultater for MLE-metoden

2.0 Målemetoder til bestemmelse af LT (lystransmittans)

Nedenfor fremgår forskellige målemetoder til at bestemme en rudes LT-værdi (lystransmittans).

LT-værdien beskriver hvor meget dagslys (synligt lys) der kan passere vinkelret gennem en rude (se figur 6) og angives enten i procent eller uden enhed, hvor:

- 0%: Ingen dagslys passerer gennem ruden
- 100%: Al dagslys passerer gennem ruden

I de kommende underafsnit præsenteres følgende målemetoder:

1. Lyssensor
2. Window Energy Profiler

2.1 Lyssensor

Kilde: /15/

Beskrivelse: Ved at anvende en lyssensor (luxmeter) kan lysstyrken/lysintensiteten måles på hver side af ruden. Lystransmittansen bestemmes efterfølgende som:

$$LT = \frac{Lux_{indvendig\ overflade}}{Lux_{udvendig\ overflade}}$$

Resultat: LT-værdi

Fordele: Metoden er hurtig og kan anvendes på alle ruder.

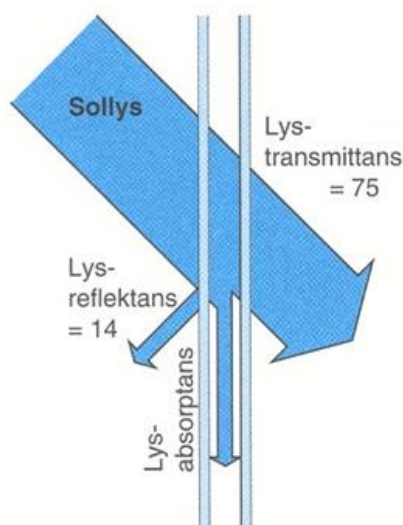
Ulemper: Metoden kan medføre varierende resultater (opmærksom på eksempelvis refleksioner, skyggeforskel og direkte sollys) og skal helst udføres under konstante lysforhold (fx i diffust dagslys eller under lampe) med en sensor på hver side af ruden.

Tid: 5 min

Udstyr: Lyssensor(er)



Figur 5. Lyssensor. Billede er fra www.conrad.com



Figur 6. Illustration af sollysstrømme

2.2 Window Energy Profiler

Beskrivelse: Ved at anvende Window Energy Profiler (se figur 7) kan LT-værdien hurtigt aflæses på displayet. Apparatet er formet som et stort "U", hvor ruden placeres mellem siderne.

Resultat: LT-værdi

Fordele: Metoden er hurtig

Ulemper: Metoden kan ikke anvendes på faste vinduer, som ikke kan åbnes.

Tid: 5 min

Udstyr: Window Energy Profiler



Figur 7. Window Energy Profiler

3.0 Målemetoder til bestemmelse af g-værdi (solenergitransmittans)

Nedenfor fremgår forskellige målemetoder til at bestemme en rudes g-værdi (solenergitransmittans).

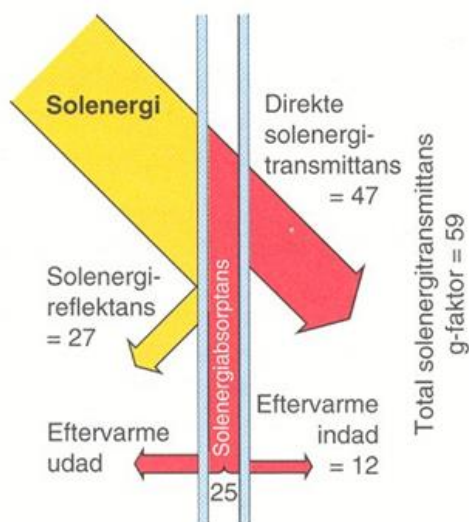
G-værdien beskriver hvor meget solenergi der kan passere vinkelret gennem en rude og angives enten i procent eller uden enhed, hvor:

- 0%: Ingen solenergi passerer gennem ruden
- 100%: Al solenergi passerer gennem ruden

G-værdien består af 2 dele; et bidrag fra den direkte solenergi transmitteret gennem ruden og et sekundært bidrag fra den absorberede solenergi i ruden (se figur 8).

I de kommende underafsnit præsenteres følgende målemetoder:

1. Temperaturføler og solsensor
2. Window Energy Profiler



Figur 8. Illustration af solenergi-strømme

3.1 Temperaturføler og solsensor

Beskrivelse: Ved at anvende temperaturfølere og solsensorer kan g-værdien beregnes. Solsensorerne giver input til det direkte bidrag fra den transmitterede solenergi, mens temperaturfølerne giver input til det sekundære bidrag fra den absorberede solenergi.

Resultat: g-værdi

Fordele: Metoden er hurtig og kan anvendes på alle ruder.

Ulemper: Metoden kan medføre varierende resultater (opmærksom på eksempelvis refleksioner og skyggeforhold) og skal helst udføres under konstante lysforhold med en sensor og føler på hver side af ruden.

Tid: 5 min

Udstyr: Temperaturføler(e) og solsensor(er)

3.2 Window Energy Profiler

Beskrivelse: Ved at anvende Window Energy Profiler (se figur 7) kan g-værdien hurtigt aflæses på displayet. Apparatet er formet som et stort "U", hvor ruden placeres mellem siderne.

Resultat: g-værdi

Fordele: Metoden er hurtig

Ulemper: Metoden kan ikke anvendes på faste vinduer, som ikke kan åbnes.

Tid: 5 min

Udstyr: Window Energy Profiler

4.0 Sammenfatning

U-værdien for en konstruktionsdel kan bestemmes ud fra følgende målemetoder:

- **Måling af varmestrømninger:**
 - Statisk: Måling under konstant rumtemperatur
 - Statisk+: Statisk måling korrigeret for indlejret temperatur
 - Statisk++: Statisk måling korrigeret for dynamiske temperaturudsving
 - Dynamisk: Måling under varierende/dynamiske rumtemperaturer (varme + afkøling)
- **Måling af overfladetemperaturer:**
 - Termografi: Statisk måling af overfladetemperatur
- **Måling af lyd**
 - Li: Måling af lydintensitet ved forskellige frekvenser

LT- og g-værdien for ruder kan enten bestemmes vha. apparatet Window Energy Profiler eller via mere tilgængelige metoder, hvor der anvendes lyssensorer, solsensorer og temperaturfølere.

Af nedenstående tabel fremgår en samlet oversigt over de forskellige metoder.

Metode	Resultat	Målingstype	Sæsonafhængig	Mindste tidsforbrug
Lyd-metoden	U	Li	Nej	1 min
QUB	U	Dynamisk	I mindre grad	30 min
ISO 9869	R	Statisk	I høj grad	1 dag
Storage	R	Statisk+	I høj grad	1 dag
Anderlind	R	Statisk++	Middel	1 dag
ARX	R	Statisk++	Middel	1 dag
GREY	R	Statisk++	I mindre grad	3 dage
Termografi	U	Statisk	I høj grad	30 min
EPM	R	Dynamisk	I mindre grad	2 timer
MLE	R	Statisk++	I mindre grad	1 dag
Lyssensor	LT	Lysintensitet	Nej	5 min
Temperaturføler og solsensor	g	Solenergi	Nej	5 min
Window Energy Profiler	LT og g	LT og g	Nej	5 min

Tabel 2. Oversigt over metoder

5.0 Litteraturliste

1. P. J. Taylor, J. R. Maddux, P. N. Uppal; *Measurement of Thermal Conductivity Using Steady-State Isothermal Conditions and Validation by Comparison with Thermoelectric Device Performance*; 2012
2. E. Mangematin, G. Pandraud, D. Roux; *Quick measurements of energy efficiency of buildings*; 2012
3. G. Pandraud, E. Mangematin, D. Roux, E. Quentin; *QUB: a New Rapid Building Energy Diagnosis Method*; 2013
4. G. Pandraud, R. Fitton; *QUB: Validation of a Rapid Energy Diagnosis Method for Buildings*; 2013
5. G. Pandraud, D. Gossard, F. Alzetto; *Experimental optimization of the QUB method*; 2014
6. B. Rémi, A. Florent, B. Adrien, B. Pierre, T. Simon; *Short methodologies for in-situ assessment of the intrinsic thermal performance of the building envelope*; 2014
7. A. Deconinck, S. Roels; *A maximum likelihood estimation of the thermal resistance of a cavity wall from on-site measurements*; 2015
8. M. Brycki; *Akustisk mätning av U-värde*; 2015
9. G. Ficcoa, F. Iannetta, E. Ianniello, F. R. Alfano, M. Dell'Isola; *U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings*; 2015
10. J. Meulemans, F. Alzetto, D. Farmer, C. Gorse; *QUB/E - A novel transient experimental method for in situ measurements of the thermal performance of building fabrics*; 2016
11. Arash Rasooli, Laure Itard, Carlos Infante Ferreira; *A response factor-based method for the rapid in-situ determination of wall's thermal resistance in existing buildings*; 2016
12. K. Maroy, K. Carbonez, M. Steeman, N. V. D. Bossche; *Assessing the thermal performance of insulating glass units with infrared thermography Potential and limitations*; 2016
13. A. Deconinck, S. Roels; *Comparison of characterisation methods determining the thermal resistance of building components from onsite measurements*; 2016
14. V. Goria, V. Marincioni, P. Biddulph, C. A. Elwell; *Inferring the thermal resistance and effective thermal mass distribution of a wall from in situ measurements to characterise heat transfer at both the interior and exterior surfaces*; 2016
15. Dansk Standard; *Bestemmelser for Dansk Indeklimacertificering*; 2012