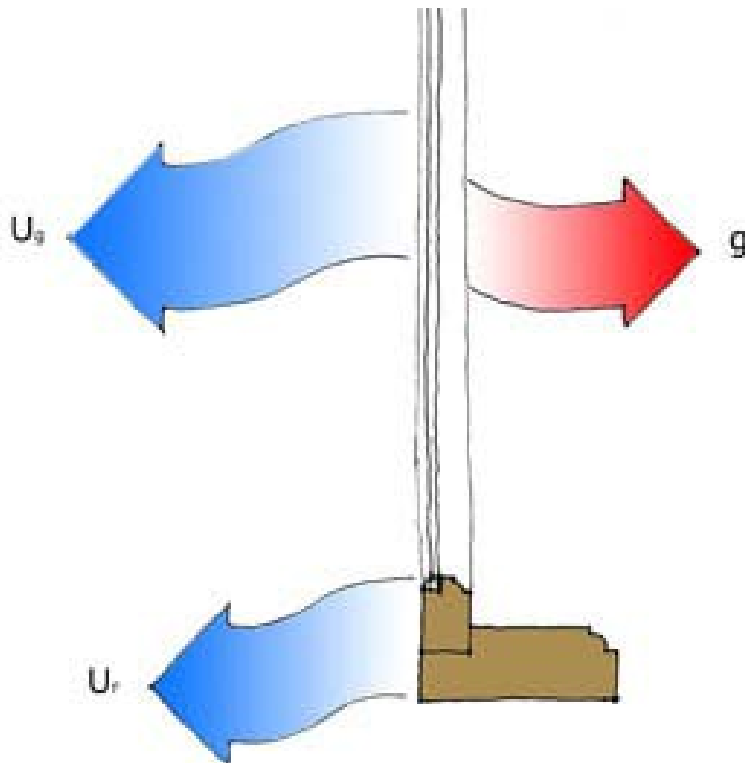


Kompendium

Beregning af bygningers varmetab (U-værdier) og energi forbrug



Historisk rids:

Isolering af dansk byggeri har gennem historien ikke været et emne, der har været fokuseret meget på. Dette skyldes primært, at adgangen til fossile brændstoffer tidligere ikke blev betragtet som et problem. Man har til alle tider brugt forskellige typer af brændsler, afhængig af hvor man boede og hvilken tidsalder. Man kan pege på træ fra skovene, tørv fra moserne, brunkul, stenkul, olie, gas og senest el produceret fra forskellige energikilder som olie, kul, atomkraft og vedvarende energiformer. Disse energikilder blev tidligere betragtet som udtømmelige, hvilket vi senere har fået op til flere "wake up calls" om at de absolut ikke er. Verdenskrigene førte til energimangel, da handelsruterne blev lukkede og energiforsyningen skulle bruges til krigsmaskinen. Dette førte til flere kolde vintre. I 1973 lukkede de arabiske lande for oliehanerne og førte Danmark og resten af Europa i en kæmpemæssig energikrise. Sidst men ikke mindst er det den globale opvarmning, som resultat af den massive udledning af drivhusgasser baseret på fossile brændstoffer, der giver massive problemer for verdenssamfundet.

Men problemer er ofte den direkte vej til udvikling. I særdeleshed energikrisen i 1973 satte gang i udviklingen inden for besparelser og omlægning af energien. Her fandt man i Danmark ud af, at der var store besparelser at hente ved at efterisolere den danske bygningsmasse. Dette førte igen til skærpede krav til det Bygningsreglement der regulerer byggeriet i Danmark. Dette kan ses af nedenstående liste over udviklingen i kravene til U-værdierne.

Historiske krav til U-værdier:

Bygningsreglement (år)	BR61/72	BR77	BR82	BR95	BR08
Ydervæg, tung	1,00	0,40	0,40	0,30	0,20
Ydervæg, let	0,60	0,30	0,30	0,20	
Terrændæk uden gulvvarme	0,45	0,30	0,30	0,20	0,15
Terrændæk med gulvvarme					0,12
Gulv over ventileret kryberum	0,60	0,60	0,30	0,20	0,15
Etageadskillelse over det fri	-	0,45	0,45	0,20	0,15
Etageadskillelse over uopvarmet rum	0,60	0,40	0,20	0,40	0,40
Loft og tagkonstruktion	0,45	0,20	0,20	0,15	0,15

Efterfølgende er BR kravene i højere grad formuleret som krav til energirammen:

BR 10: For boliger, kollegier, hoteller m.m. må bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal højst være **52,5 kWh/m² pr. år** tillagt **1650 kWh pr. år** divideret med det opvarmede etageareal.

BR 15 : **30 kWh/m² pr. år** tillagt **1000 kWh pr. år** divideret med det opvarmede etageareal.

Bygningsklasse 2020, når det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger **20 kWh / m² pr. år**.

Der er dog stadig krav om mindste varmeisolering. Dette er formuleret som krav til bygningsdelenes U - værdier: *Uddrag af*

Skema over maksimale U-værdier: BR 15. Kap 7.6 Stk. 1

Bygningsdel	U-værdi [W/m ² K]
Ydervægge og kældervægge mod jord.	0,30
Etageadskillelser og skillevægge mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er 5 °C eller mere lavere end temperaturen i det aktuelle rum.	0,40
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over det fri eller ventileret kryberum.	0,20
Etageadskillelser under gulve med gulvvarme mod rum, der er opvarmede.	0,50
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge, fladetage og skråvægge direkte mod tag.	0,20
Yderdøre uden glas.	1,40
Yderdøre med glas.	1,50
For porte og lemme mod det fri eller mod rum, der er uopvarmede samt glasvægge og vinduer mod rum opvarmet til en temperatur, der er 5 °C eller mere lavere end temperaturen i det aktuelle rum.	1,80
Ovenlyskupler.	1,40
Isolerede partier i glasydervægge og vinduer.	0,60
Etageadskillelser og vægge mod fryserum.	0,15
Etageadskillelser og vægge mod kølerum.	0,25
Bygningsdel	Linjetab [W/mK]
Fundamenter omkring rum, der opvarmes til mindst 5 °C	0,40
Fundamenter omkring gulve med gulvvarme.	0,20
Samling mellem ydervæg og vinduer eller yderdøre, porte og lemme.	0,06
Samling mellem tagkonstruktion og ovenlysvinduer eller ovenlyskupler.	0,20

Stk. 2 For vinduer og glasydervægge må energitilskuddet ikke være mindre end -17 kWh/m² pr. år. *bilag 6* se sidst i dette dokument.)*

I det følgende skal vi lære at bestemme de U-værdier, der gælder for vores byggeri. Ofte kan U-værdier findes i de bilag, der følger med et firmas produkt. Det er dog vigtigt for forståelsen, at vi kan lære at beregne disse værdier selv.

Det giver ligeledes en mulighed for at anvende naturvidenskab fra henholdsvis fysik og matematik i vores fag og dermed demonstrere evnen til at arbejde tværfagligt.

Beregning af en bygningsdels U-værdier

Bygningsdelens varmetab beregnes ud fra følgende formel:

$$\Phi = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Φ = Effekten målt i Watt

A = Arealet af bygningsdelen målt i m^2

U = Bygningsdelens U-værdi målt i $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

ΔT = Forskellen mellem ude og inde temperaturer målt i Kelvin

U-værdier

En U-værdi er et udtryk for en konstruktionsdels varmetab målt i Watt, for $1 m^2$ ved en temperaturforskel på 1^0K .

Forskellige ting har indflydelse på en konstruktionsdels U-værdier.

Forskellige materialer leder varmen forskelligt. Stål leder godt, luft leder dårligt. Det betyder at alle materialer har en varmeledningsevne $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

Nogen varme bliver reflekteret, når det rammer en væg, det er positivt i forhold til en U-værdi. Man taler om R_{si} og R_{se}

Formlen for beregning af en U-værdi:

$$\frac{1}{U} = R_{si} + R_{se} + \sum R_i$$

U = U-værdien målt i $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

R_{si} = Overgangsisolans ved den indvendige overflade målt i $\frac{m^2 \cdot K}{W}$

R_{se} = Overgangsisolans ved den udvendige overflade målt i $\frac{m^2 \cdot K}{W}$

R_i = Isolansen for forskellige materialeglag målt i $\frac{m^2 \cdot K}{W}$

Isolansen for de forskellige materialeglag:

$$R_i = \frac{d}{\lambda}$$

d = materialeglets tykkelse i meter

λ = den praktiske anvendelige varmeledningsevne for materialet i $\frac{W}{m \cdot K}$

Beregningseksempel:

Transmissionskoefficienten U for en mur bestående af 410 mm hulmur:

Herunder formur af massiv teglsten, bagmur af mangehulssten tegl med 195 mm mineraluld og 10 mm puds af kalkcementmørtel.

	d	λ	R
Overgangsisolans Udvendig – R_{se}			0,13
Formur	0,108	0,67	0,16
Isolering	0,195	0,037	5,27
Bagmur	0,108	0,48	0,23
Puds	0,01	0,75	0,01
Overgangsisolans Udvendig – R_{si}			0,04
U-værdien	$\sum R = 5,84$ $U = \frac{1}{\sum R} = 0,17$		

Transmissionskoefficienten U for en mur bestående af 410 mm hulmur:

Herunder formur af massiv teglsten **bagmur gasbeton** med 195 mm mineraluld og 10 mm puds af kalkcementmørtel. I muren vil der være et 7 mm ikke ventileret hulrum.

	d	λ	R
Overgangsisolans Udvendig – R_{se}			0,13
Formur	0,108	0,67	0,16
Isolering	0,195	0,037	5,27
7 mm ikke ventileret			0,13
Bagmur	0,10	0,26	0,38
Puds	0,01	0,75	0,01
Overgangsisolans Udvendig – R_{si}			0,04
U-værdien	$\sum R = 6,12$ $U = 0,16$		

Mini opgave sæt enheder på tabellerne .

Data blad:

Overgangsisolans [R] for forskellige bygningsdele i ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)

Overgangsisolans er modstand mod varmeovergang mellem luft og en fri overflade, fx en mur.

Tabel 6.2 – Overgangsisolans m^2K/W

	Varmestrømmens retning		
	Opad	Vandret	Nedad
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Overgangsisolans for terrændæk mod jord kan sættes til $1,5 \frac{m^2 \cdot K}{W}$

Ikke ventilerede hulrum:

Et luftlag, som ikke har et isolerende lag mellem sig og det fri, men som har små åbninger til det fri, skal betragtes som et ikke ventileret hulrum, forudsat at disse åbninger ikke er fordelt for ventilation af hulrummet og deres areal ikke overstiger:

5 cm² pr. meter vandret længde af lodrette hulrum

5 cm² pr. m² overfladeareal for vandrette hulrum

Drænåbninger lavet som åbne studsfiger anses ikke for ventilationsåbninger

Tabel 6.4.1 – Isolans af ikke-ventilerede hulrum m^2K/W

Tykkelse af hulrum mm	Varmestrømmens retning		
	Opad	Vandret	Nedad
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Note – For mellemliggende værdier anvendes lineær interpolation

Eksempler på forskellige materials varmeledningsevne λ – Kan varierer fra tabel til tabel
 – ny forskning ændre disse værdier jævnlige

Designværdier for andre byggematerialer

Tabel F.1 indeholder en række værdier. Yderligere værdier for materialer samt varmekapacitet og vand-dampdiffusionsmodstand kan findes i DS/EN 12524.

Tabel F.1 – Designværdier for andre byggematerialer

Materiale eller anvendelse	Densitet kg/m ³	Design varmeledningsevne W/mK
<i>Natursten, tagsten, glas, keramik</i>		
Granit	2500-2700	2,8
Gnejs	2400-2700	3,5
Basalt	2700-3000	3,5
Kalksten	2600	2,3
Marmor	2800	3,5
Skifer	2000-2800	2,2
Sandsten	2600	2,3
Tagsten, ler	2000	1,0
Tagsten, beton	2100	1,5
Keramiske fliser, porcelæn	2300	1,3
Bygningsglas	2600	0,8
<i>Plast og gummi</i>		
Polykarbonat	1200	0,20
PVC	1390	0,17
Polyamid (Nylon)	1150	0,25
Epoxy	1200	0,20
Syntetisk Gummi	1200	0,24
Linoleum	1200	0,2
<i>Træ og træbaserede plader</i>		
Træ	500-700	0,13 – 0,18
Krydsfiner	300-1000	0,09 – 0,24
Spånplader	300-900	0,10 – 0,18
<i>Jordarter, drænmateriale</i>		
Fugtig jord (moræne)	1900	2,3
Grove slagge i jord	800	0,4
Ler	1200-1800	1,5
Sand og grus	1700-2200	2,0
Stenlag som kapillarbrydende lag		0,7

(fortsættes)

Tabel F.1 – Designværdier for andre byggematerialer (fortsat)

Materiale eller anvendelse	Densitet kg/m ³	Design varmeledningsevne W/mK
<i>Metaller</i>		
Aluminium	2700	220
Zink	7100	110
Messing	8400	100
Rødgods, bronze	8700	65
Kobber	8900	380
Sølv	10500	420
Bly	11300	35
Blødt stål	7800	55
Rustfrit stål	7900	17
Støbejern	7200	50
<i>Vand, luft</i>		
Vand (stillestående)	1000	0,6
Is ved 0°C	900	2,2
Sne ved 0°C	300	0,23
Sne ved 0°C	100	0,05
Luft (stillestående)	1,3	0,024
<i>Andre</i>		
Gipsplade med papir	900	0,25

Materiale og anvendelse	Densitet ρ i kg/m ³	Varmeledningsevne λ i W/m°C
Mineraluld ¹		
Fundamentsbatts		0,037
Murbatts		0,037
Loftisolering		0,037
Flamingo		0,037
Kork	200	0,050
Træbeton	350	0,090
Halmplader	350	0,095
Fyr og gran	450	
Parallel med fibre		0,180
Vinkelret på fibre		0,120

¹ Alle værdier i denne tabel er vejledende, og der bør altid tjekkes op på materialedata på de valgte materialer

Fiber og spånplade Parallel med fibre Vinkelret på fibre	600	0,240 0,090
Massiv teglmur Indvendig Udvendig	1800	0,520
Mangehulssten af tegl Indvendig	1600	0,440
Kalksandsten Indvendig Udvendig	1800	1,080 1,240
Puds		0,75
Letbeton, dæk af limede plader Indvendig Udvendig	800	0,260 0,290
Murværk i blokkeletbeton Indvendig Udvendig	600	0,170 0,190
Kældervægge under terræn	600	0,270
Beton og jernbeton	2300	2,000
Cement mørtel	2000	1,100
Kalkcement mørtel	1800	0,850
Kalk mørtel	1700	0,750
Gipsplader	900	0,250
Brændt knust moler 2-10 mm	450	0,100
Stampet ler	1400	0,800
Fugtig jord	1900	2,300
Groft lerfrit grus	1700	1,200
Ral, skærver og singels (sten)	1500	0,700
Glas	2600	0,800
Pap	600	0,070
Asfaltpap	1050	0,200
Vand	1000	0,600
Is	900	2,200
Sne ved 0°C	300	0,230
Sne ved 0°C	100	0,050
Luft stillestående	1,3	0,024
Sten 32-34mm	-	0,7

Konstruktioner med inhomogene materialelag

Hvis jeg nu ønsker at finde Varmeledningsevne λ^2 for 2 materialer der er blandet gøres det på følgende måde:

Eksempel:

100 * 100 mm fyrretræ lægter pr. 600 mm
100 mm kl. 37 isolering

	Procent - tal	lamda		
Isolering 500/600=0,833=83,3%	0,833333333	0,037	0,030833	
Fyrretræ 100/600=0,167=16,7%	0,166666667	0,18	0,03	
Isolering og fyrretræ samlet lamda værdi			0,060833	lamda

Eksempel på udregning af varmetab

Kælderens varmetab

Kælder	U W/m ² K	A m ²	Δt K	Φ W
Ydervæg under terræn	0,25	38,0	32	304
Væg mod jord	0,21	19,6	10	41
Hulmur over terræn	0,27	14,8	32	128
Gulv	0,17	43,5	10	74

Når man har hvor meget Watt noget bruge kan man selv regne ud hvor mange kWh der bliver brugt og en givet tid. (det er fysik på første år)

² Lamda = λ