



Varmeisolering

Følgende er et forsøg på at samle nogle begreber omkring isolering. Materialet er baseret på forskellige – ældre – materialer, og er ikke nødvendigvis korrekt. Derfor vil jeg med glæde modtage korrektioner og forslag til forbedringer

Fx opereres der med U-værdi, og K-værdi, som i det store hele er materialeværdier for forskellige isoleringsmaterialer. Dette bør nok senere tydeliggøres hvad der er gængs i dag !!

/ Valle

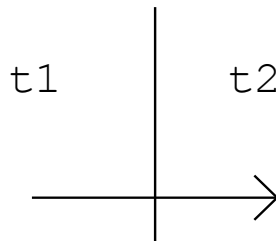
Version 16/8-05

Selv et nok så godt isoleret hus kan ikke selv holde varmen.

Selv en nok så godt isoleret tekande bliver kold med tiden.

Isolering, hvorfor egentlig isolering. Varme er energi, og energi koster penge !!

Isolering bruges for at spare energi. Ved at isolere et hus, eller en kasse, nedsættes den mængde varme, der forsvinder ud til omgivelserne.



Hvis temperaturen t_1 er større end t_2 , sker der altid en varmetransport. Dette vil altid ske ved en temperaturforskel. Δt , delta t.

Tilføres en mængde energi til et system, indstiller der sig en ligevægt, hvor temperaturen er så høj, at tilført energi er lig med energitransporten væk fra systemet.

Forskellige typer isolering isolerer forskelligt. Værdier kan findes i tabeller.

Varme kan opfattes som varmespænding, eller varmetryk. Ligesom i elektronikken, hvor en spænding (et elektronertryk) kan presse ladninger (strøm) gennem nogle modstande.

For varmebetragtninger må gælde, at trykket er lig temperaturforskellen over fx en plade eller en væg. Den mængde varme, der så løber gennem (varmestrøm) kan så opfattes som Ohms lov,



VARMEISOLERING

$$U = I \cdot R \text{ eller omskrevet: } I = \frac{U}{R} \left[\text{Strømmen [A]} = \frac{\text{Spænding [Volt]}}{\text{Modstand [\Omega]}} \right]$$

Spændingen er lig tryk, og strømmen er lig flowet. (elektronflowet). Dvs. at jo større trykket er, jo større bliver flowet.

I varmesammenhæng bliver det til

$$\text{Varmestrømmen } \Phi = \frac{\Delta \text{temperatur}}{\text{Varmemodstand}} \quad \Phi \text{ kaldes fi.}$$

Jo større temperaturforskelle, Δt , delta t, jo større varmetab.

Og jo større modstand mod varmemestrømmen, dvs. jo bedre isolering, jo mindre varmeflow, varmemestrøm = varmetab fx ud gennem en væg.

Spørgsmål:

Overvej og tegn en graf for temperaturen i en fyldt varm tekande. Hvad sker, hvis det er en større tekande. Og hvis der sættes en hætte på tekanden ?

Tegn graf for temperaturen i frossen kød, der ligger på et køkkenbord. Og hvis det ligger på en marmorplade. Og endelig i køleskabet.

Da varme er energi, og varme-flowet måles i energi pr sek, = Joule / sek , = Watt, må enheden for Φ varme være [Watt]

Omskrives ligningen ovenfor findes:

$$R_{\text{varme}} = \frac{\Delta T}{\Phi_{\text{varme}}}$$

Derfor må enheden for varmemodstand være $R_{\text{varme}} = \frac{\Delta T [\text{Kelvin}]}{\Phi_{\text{varme}} [\text{W}]} =$. Der er her ikke taget højde for arealet !! Se senere.

Giver det nu mening ??

Jo større temperaturforskelle, der skal til for at presse en Watt gennem en flade, jo større må modstanden være.



VARMEISOLERING

Termisk modstand er et mål for evnen for en given tykkelse af et materiale til at forhindre passagen af varme.

$$\text{Tilsvarende Ohms Lov: } I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U[\text{Volt}]}{I[\text{Strøm i Ampere}]}$$

Jo større elektrontryk, Spænding, Volt, der skal til for at drive en strøm gennem en modstand, jo større må modstanden være.

Tykkere isolering:

Varmemodstanden må blive større ved et tykkere lag isolering, eller ved flere lag isolering. Fx ved to stenmure, og én lag isolering.

Men også vægarealet spiller ind. Jo større areal, fladen har, jo større varmetab.

Hvis varmemodstanden defineres for 1 kvadratmeter, bliver formlen

$$\text{Varmestrømmen } \Phi = \frac{\Delta\text{temperatur} \cdot \text{Areal i m}^2}{\text{Varmemodstand pr m}^2} \left[\frac{\text{K} \cdot \text{m}^2}{\left(\frac{\text{K} \cdot \text{m}^2}{\text{W}} \right)} \right] = [\text{W}]$$

Logisk set må det være således, at jo tykkere lag isolering, jo mindre varmetab, eller jo større varmemodstand. Men også jo større areal, jo større varmetab. Og ikke alle materialer isolerer lige godt! Forskellige materialer har forskellige varmeisoleringssevner.

Derfor må et materiales varmemodstand kunne udtrykkes ved en materialekonstant og en tykkelse.

Materialekonstanten kaldes λ (Lambda), $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$ og er en værdi, der siger noget om den mængde energi pr sekund, den mængde varme i Watt, der vil passere igennem 1 meter tyk lag af materialet pr kvadratmeter materiale, hvis temperaturforskellen er 1 grad. Watt er jo energi pr sekund !

Varmemodstanden kan herefter endelig beregnes som:

$$R_{\text{varme}} = \frac{l}{\lambda(\text{Lambda})} \left[\frac{\text{m}}{\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right] = \left[\frac{\text{K} \cdot \text{m}^2}{\text{W}} \right] \quad (\text{tykkelse} / \text{Lambda-værdi})$$

Samlet haves nu varmetabet gennem en flade : Husk ohms lov: $I = \frac{U}{R}$



VARMEISOLERING

$$\Phi = \frac{\lambda}{l} \cdot A \cdot \Delta T \left[W = \frac{\left[\frac{W}{m \cdot K} \right] \cdot [m^2] \cdot [K]}{[m]} \right] = \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot m^2 \cdot K \right] = [Watt]$$

Eller

$$\Phi = \frac{A \cdot \Delta T}{\sum R_{varme}} [Watt]$$

Ikke alle materialer isolerer jo lige godt ! Værdier for forskellige materialer kan findes i tabeller !

Lambda, λ er den praktisk anvendelige varmeledningsevne for et materiale i $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

Flere lag isolering.

Som i en serieforbindelse i strømmens verden må flere lag isolering kunne forøge den samlede varmemodstand.

Det kendes jo også fra serieforbindelser af modstande!!

Dette kan fx bruges ved beregning af værdier for en flade, der består af flere lag. Fx en ydervæg med 2 lag sten med mineraluld imellem. Se fx eksempel sidst i kompendiet, hvor der er lavet beregninger på en teltvæg. !

Den samlede varmemodstand må være: $\sum R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Varmemodstanden for et materiale er $R_{varme} = \frac{l}{\lambda}$ l er tykkelsen i meter, lambda er materialekonstanten.

For flere lag må gælde, at $\sum R_{varme} = \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}$

Den samlede varmestrøm gennem en flade findes herefter som: $\Phi = \frac{A \cdot \Delta T}{\sum R_{varme}} [Watt]$

Og en samlet Lambda-værdi findes af: $\lambda_{samlet} = \frac{l_{Total}}{\sum R_{varme}}$



VARMEISOLERING

Tablet for materialekonstanter for isoleringsevne:

Materiale	λ
Rockwool	0,039
Flamingo	0,035
Sandsten	Ca. 1,7
Tegl	0,6
Tegl med huller	0,48
Tegl, isolerende	0,15
Beton	0,8
Spånplade	0,1
Marmor	2,8
Fliser	1,0
Kork	0,08
Gipsplader	0,15
Glas	0,8
Termorude	?
Luft, stillestående	0,024
Kobber	380
Aluminium	210
Stål	46
Træ, balsa	0,05
Træ, Bøg, Eg	0,16
Fyr, gran	0,14
Teak, Mahogni	0,20
Træfiberplader, hårde	0,07- 0,12
Papir, Bølgepap	0,07

Værdier kan fx findes på nettet ved at søge på ” Thermal conductivity ”

Måling på isoleringsevne i rugekasse.

Stikord.: Kasse opvarmes. Kendt effekttilførsel. Der indstiller sig en ligevægt ved en indvendig temperatur, der er et antal grader højere end omgivelsestemperaturen.

Tilført energi pr sek. er lig med energiflow ud gennem kassens overflade-areal.

Middel-Overfladearealet måles.

Opgivne værdier må være pr m² af et materiale, (operationel størrelse)

Kassen består af to eller flere lag. Dvs. flere lambda-værdier.

Beregn:

Mål og beregn pærens eksakte tilførte effekt.

Lav graf for opvarmningen af kassen.

Beregn en samlet lambda-værdien for kassen.



VARMEISOLERING

Beregn, hvor stor procentdel af tiden varmelegemet skal være tændt, hvis der ”kun” skal være 37 grader i kassen?

Hvis temperaturen ønskes lig 37 grader inde i kassen ved en ambient temperatur på minus 10 grader, hvor stor effekt skal varmelegemet så mindst have. ?



U-værdi

U-værdier bruges, hvor der arbejdes med hele bygningskonstruktioner !! Fx en væg !!!

Tit opgives for bygningsdele, fx en væg, eller et vinduesparti, en samlet U-værdi. U-værdien kaldes også for materialets transmissionskoefficient, eller varmeledningsevne, og må være noget i retningen af ::

$$U = \frac{1}{\Sigma \text{ Varmemodstanden}} \text{ .(én / R}_{\text{varme}} \text{)}$$

Her er der altså tale om en form for evne til at lede varme ! Varmeledningsevne.

Hvad er U-værdi?

Isoleringsevnen i en konstruktion - f.eks. ydervæg - angives i en U-værdi, også kaldet transmissionskoefficient.

U-værdien angiver, hvor stor en varmemængde målt i Wh der i løbet af en time passerer gennem 1 m² af konstruktionen, når temperaturforskellen mellem den indvendige og den udvendige side er 1°C-.

Det vil sige, jo mindre U-værdien er, desto bedre isolerer konstruktionen.

Se fx <http://www.rockwool.dk/sw28909.asp>

En konstruktions transmissionskoefficient (U-værdi) udtrykker den energimængde, der pr. sekund strømmer gennem 1 m² af bygningsdelen pr. grad temperaturforskel. U-værdien angives i W/m². Dvs. at jo mindre U-værdi, jo bedre isolerer konstruktionen.

I bygningsregelementet stilles der krav til den maksimale varmeledningsevne, en væg må have. Dvs. pr m² vægflade. Det er derfor op til en bygningskonstruktør at konstruere en væg, der overholder loven.

Værdier for lambda er, som beskrevet før, opgivet i $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$, altså Watt, pr grad temperaturforskel, hvis tykkelsen er 1 meter. Værdierne må gælde for 1 kvadratmeter !! af materialet.

Idet U-værdier er ledeevne, altså 1/modstand, må U-værdien findes som

$$U = \frac{\lambda(\text{Lambda})}{l} \text{ . } \lambda \text{ er materialekonstanten afhængig af typen af isoleringsmateriale i } \frac{W}{m \cdot K} \text{ ,}$$

og l i meter

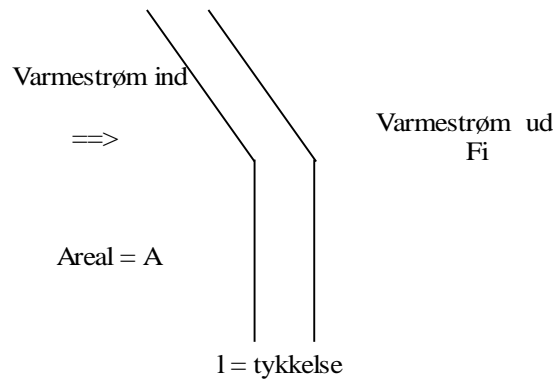
Altså haves: $U = \text{transmissionskoefficienten i } \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

Her betragtes et areal, fx en væg:



VARMEISOLERING

Arealet er A, Temperaturforskellen er ΔT Varmestrømmen kaldes Φ .



Der findes følgende: $\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T \left[W = \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot m^2 \cdot K \right]$

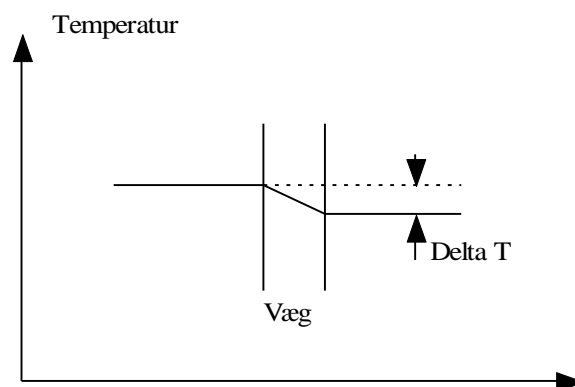
Eller

Altså findes: $\Phi = \frac{\lambda}{l} \cdot A \cdot \Delta T \left[W = \frac{m \cdot K}{m} \cdot m^2 \cdot K \right] = \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot m^2 \cdot K \right]$

Sammenlignes med Ohms lov, $U = I \cdot R$ der omformes til $I = \frac{U}{R} \Leftrightarrow I = U \cdot \frac{1}{R}$ ses, at strømmen er lig varme”spændingen” gange ledeevnen.

Φ = Varmestrømmen, U = varmeledningsevnen pr m^2 , A = Arealet af muren, og ΔT er varmespændingen, ”varme-trykket”.

På en temperaturgraf ser det således ud gennem væggen ! Temperaturen falder fra inde til ude.



Består en væg af flere lag, må det samlede temperatur-fald gennem væggen kunne findes som $\Sigma \Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \dots$



VARMEISOLERING

Ligeledes må varmeledningsevnerne kunne adderes. Det sker som flg:

$$\frac{1}{\Sigma U} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3} + \dots \text{for flere lag i samme væg. Eller: } \Sigma U = \frac{1}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \dots + \frac{1}{U_n}}$$

Men det må jo også være således, at jo tykkere lag isolering, jo mindre transmissionskoeffetient, = jo mindre varmegennemstrømning.

I det følgende er opgivet nogle krav fra en gammel bygningsregelement.

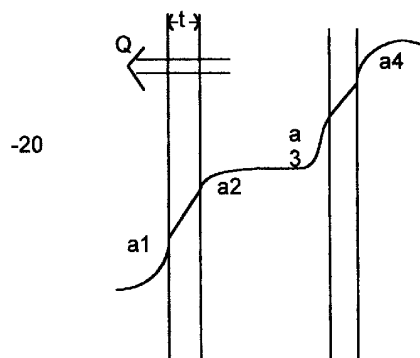
Bygningsregelementets krav BR-95 til U-værdier for bygningsdele omkring rum opvarmet til:

Bygningsdel	Mindst 18 Grader C	Mindst 5 grader C
Ydervægge med vægt under 100 kg/m ²	0,20	0,30
Ydervægge med vægt over 100 kg/m ² og kældervægge mod jord	0,30	0,40
Skillevægge mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 grader lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,40	0,60
Etageadskillelse mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 grader lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,30	0,40
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over ventileret kryberum eller fri luft	0,20	0,30
Loft og tagkonstruktion, herunder skunkvægge	0,15	0,25
Flade tagge og skråvægge direkte mod tag	0,20	0,25
Vinduer og yderdøre, herunder ovenlys, glasvægge, porte og lemme mod det fri eller mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 grader lavere end temperaturen i det aktuelle rum	1,80	2,90

Eksempel: Temperaturen i et telt !



VARMEISOLERING



Figuren viser en temperaturgraf ved varmetransporten inde fra teltet fra højre og ud, mod venstre, gennem 2 lag teltdug.

Udetemperaturen er -20 grader.

Det ses på grafen, at temperaturen tæt ved stoffet er lavere end inde i selve teltet. Begrebet kan kaldes overgangsisolans, eller overgangsvarmemodstand, R_i og R_u for henholdsvis indre og udvendige overflader.

Samlet findes:

R_i er overgangsisolansen, overgangsvarmemodstanden, ved indvendige overflade, $= 0,13$

R_u er overgangsisolans, overgangsvarmemodstanden ved udvendige overflade, $= 0,04$

R_d er isolans, varmemodstand for materialelag

R_s er isolans, varmemodstand for evt. særlige lag i konstruktionen

R_l er isolans, varmemodstand for luftlag

Alle isolanser i $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

$$\Sigma R = R_i + R_u + \sum R_d + \sum R_s + \sum R_l$$

Varmemodstandene beregnes:

$$\text{Oversegl: } \alpha_1 + 1/\lambda + \alpha_2 = 0,04 + (0,001m/0,25W/m^*K) + 0,13 = \text{fx } 0,174$$

$$\text{Indertelt: } \alpha_3 + 1/\lambda + \alpha_4 = 0,13 + (0,001m/0,25W/m^*K) + 0,13 = \text{fx } 0,264$$

λ er stoffets varmeledningskoeffitient. l er stoffets tykkelse i meter.

Luftlaget mellem teltdugene medregnes ikke her.

$$\text{Bund } \alpha_1 + t/\lambda + \alpha_2 = 0,13 + (0,02m/0,09W/m^*K) + 0,13 = \text{fx } 0,48$$

Oversegl, indersegl (og luftlaget) regnes sammen, da temperaturfaldet fra inde til ude fordeles over de to lag. De er i serie !



VARMEISOLERING

$$R_{\text{samlet vægge}} = (0,174 + 0,264) = 0,438$$

$$R_{\text{bund}} = 0,48.$$

Nu er bunden og siderne jo ikke i serie. De er parallelle. Noget energi forsvinder ud gennem væggene, noget gennem bunden. Og arealerne er forskellige:

Væggene har et areal på 7 m^2 , og bundarealet = $4,6 \text{ m}^2$.

Varmetransporten ud af teltet findes som:

$$Q = U_{\text{værdi}} * \text{Areal} * (t_2 - t_1), \text{ eller } Q = \text{Areal} \cdot \frac{(t_2 - t_1)}{R_{\text{varme}}}$$

Arealet er i m^2 , temperaturen t i Kelvin.

Er der 3 personer, er der ved ligevægt en varmetransport ud på $Q = 3 * 120 \text{ W}$, idet en person gennemsnitligt producerer 120 Watt.

Der fås følgende ligning, idet temperaturerne er i Kelvin:

$$360[\text{W}] = \frac{7[\text{m}^2] \cdot (t_2 - 253)}{0,438} + \frac{4,6[\text{m}^2] \cdot (t_2 - 253)}{0,48}$$

t_2 udregnes til $267 \text{ K} = -5,4$ grader C inde i teltet.

Ønskes temperaturen indenfor = +5 grader bliver der behov for ekstra varmeapparat:

$$Q = \frac{7 \cdot (278 - 253)}{0,438} + \frac{4,6 \cdot (278 - 253)}{0,48} = 637[\text{W}]$$

Der må tilføres $637 - 360 = 277$ Watt fra et varmeapparat !!



Graddage:

Beregn varme og brændselsbehovet for et hus, isoleret efter bygningsreglementets krav, og med et varmetab på $\Phi = 12 \text{ kW}$.

Huset opvarmes med olie med brændværdi på 40 MJ/kg som er lig $40 \times 0,278 = 11 \text{ kWh / kg}$

Med Σ graddage = 2731 fås varmebehovet

$$Q = \frac{24 \cdot \Phi}{t_i - t_u} \cdot \sum \text{graddage} = \frac{24 \cdot 12}{20 - (-12)} \cdot 2731 = 24.600 \text{ kWh}$$

Der regnes med en indvendig temp på 20 grader og en udvendig på -12 !!

Regnes med en nyttevirkning $\eta = 0,6$ findes behovet for brændsel til:

$$\frac{Q}{\text{energi pr kg} \cdot \eta} = \frac{24.600}{11 \cdot 0,6} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWh/kg}} \right] = 3725 \text{ kg olie. Som fylder } 3725 / 950 = 4 \text{ m}^3 = 4000 \text{ liter.}$$

Kilde: Bog om fysik og bygningsfysik. ????

Graddage er summen af differencen mellem den indvendige temperatur og den udvendige døgntemperatur. Den indvendige er sat til 17 grader, idet daglige, kortvarige varmetilskud kan dække temperaturdifferencen op til 20 grader C.

Varmetilskud:

Til opvarmning af et hus tjener både opvarmningssystemet, men også personer, der opholder sig i et rum, og varmen fra pærer, elektriske apparater mm. For glødepærer findes en nytteværdi på få %. Dvs. at kun ganske få % af den tilførte effekt eller energi bliver til lys. Resten til varme, som jo tjener til at opvarme et lokale. Denne virkning er dog kun interessant om vinteren !!



VARMEISOLERING

Her en oversigt over gennemsnitlige varmetilskud til opvarmning:

Personvarme: 120 W

Solindfald 350 – 580 W/m² vinduesareal.

Elektriske apparater:

	Effekt W gennemsnit	Brugtid, daglig timer	Brugtid, ugentlig timer	Brugtid, månedlig Timer	Elforbrug kWh Månedlig
Brødrister	850	10 min		5	4,3
Dybfryser 250 l	250	12		360	90
emhætte	125	3		90	11,3
håndmixer	150	5 min		2,5	
hårtørrer	400		1	4	1,6
kaffemaskine	800	30 min		15	12
elkeddel	850	10 min		5	4,3
Komfur, kogepl	1600	1		30	48
ovn	1750		2	8	14
Køleskab 150 l	150	9		270	40,5
lampe	60	5		150	9
opvaskemaskine	1850	1		30	55,5
radio	40	3		90	3,6
strygejern	1000		3	12	12
støvsuger	250 ???		2	8	2
TV	150	3		90	13,5
tørretumbler	3000		4	16	48
vaskemaskine	3500		6	24	84

Yderligere materiale findes på:

http://www.nakskov-gym.dk/fysik/la/termodynamik_webmappe/termo_2.htm

Glas: <http://www.pilkington.com/resources/dk6880.pdf>