Varmeledning

Hvis man skal regne på hvor meget energi der skal bruges til at holde en bygning opvarmet skal man se på, hvor stort varmetab der sker gennem husets vinduer, døre, vægge, lofter og gulv. Varmetabets hastighed kan beskrives som energien pr. tid, som transporteres gennem et materiale. Der er altså tale om en effekt, som kan udregnes med formlen

$$P=U·A·(T\_{inde}-T\_{ude})$$

Hvor P er effekten, U er varmetransmissionskoefficienten, A er arealet af materialet og ($T\_{inde}-T\_{ude})$ er forskellen i temperatur mellem indersiden og ydersiden af materialet.

Hvis man i stedet for effekten er ude efter hvilken energi der transporteres gennem materialet i et bestemt tidsrum $Δt$ kan dette beregnes med formlen

$$Q=U·A·\left(T\_{inde}-T\_{ude}\right)·Δt$$

Hvor Q er energien og $Δt$ er det tidsrum man ser på mens de andre beregnelser er uændrede.

|  |  |
| --- | --- |
| Konstruktion | U-værdi $\frac{W}{m^{2}·K}$ |
| 29cm mur uden hulmursisolering | 1,5 |
| 29 cm mur med hulmursisolering | 0,7 |
| Fuldmuret uden isolering. 1-sten 23cm | 2,0 |
| Uisoleret betonvæg over jord | 4 |
| Uisoleret kældervæg | 1,5 |
| Uisoleret kældergulv | 0,5 |
| Vindue med 1-lags glas | 4,7 |
| Vindue med termorude | 2,9 |
| Moderne 2-lags lavenergivindue | 1,3 |
| Moderne 3-lags lavenergivindue  | 0,78 |

# U-værdier

Varmetransmissionskoefficienten (U-værdien) er specielt interessant, fordi det er den som adskiller forskellige materialer fra hinanden. I tabellen til højre ses U-værdier for forskellige materialer. Jo mindre U-værdien er jo bedre isolerer materialerne. Det ses f.eks. at en fuldmuret 1-stens væg uden isolering har en værdi på 2,0 mens en almindelig væg med hulmursisolering har en U-værdi på 0,7. Det betyder, at der tabes næsten tre gange så meget energi gennem væggen uden hulmursisolering i forhold til væggen med.

På samme vis ses der at gennem et ældre vindue med termorude tabes næsten 4 gange så meget energi som gennem et moderne vindue med 3 lag glas.

# $λ$-værdier

I gennemgangen ovenfor tog vi ikke højde for tykkelsen af de forskellige materialer. Hvis man ser på isolering er tykkelsen af isoleringen dog helt central. For at kunne regne på forskellige tykkelser af isolering og bygningsdele, som består af flere forskellige materialer indfører vi derfor varmeledningskoefficienten, som betegnes $λ$.

Der er selvfølgelig en nøje sammenhæng mellem U og $λ$, som udtrykkes med formlen

$$U=\frac{λ}{d}$$

Hvor d er tykkelsen af materialet vi regner på.

Denne formel betyder, at vores tidligere formel for varmetabets effekt kan omskrives til

|  |  |
| --- | --- |
| Materiale | $λ$-værdi $\frac{W}{m·K}$ |
| Beton | 1,5 |
| Lecamursten | 0,7 |
| Mineraluld  | 0,030-0,045 |
| Polystyrenplastsskum plader | 0,035 |
| Træ | 0,13 |
| Letbeton | 0,17 |

$$P=\frac{λ}{d}·A·(T\_{inde}-T\_{ude})$$

På samme vis som med U-værdierne gælder det, at en lav værdi for $λ$ giver et lavt varmetab. Det ses f.eks. at den bedste mineraluld isolerer knap 6 gange bedre end letbeton. Det betyder at 10cm mineraluld kan erstatte ca. 50 cm letbeton, hvis vi udelukkende ser på varmeledningen.

# Efterisolering

Hvis vi forestiller os, at vi skal efterisolere en ydervæg har vi behov for at kunne finde den samlede U-værdi af væggen inklusiv ekstra isolering, som vi sætter på væggen. Hvis man sætter forskellige materialer sammen og skal finde den samlede U-værdi bruges formlen

$$\frac{1}{U\_{samlet}}=\frac{1}{U\_{1}}+\frac{1}{U\_{2}}$$

Hvor $U\_{1}$ er U-værdien af det ene materiale og $U\_{2}$ for det andet. Denne formel kan omskrives til

$$U\_{samlet}=\frac{U\_{1}·U\_{2}}{U\_{1}+U\_{2}}$$

Hvor man direkte kan udregne den nye samlede U-værdi.

Hvis vi ser på en almindelig murstensvæg med hulmursisolering, som efterisoleres ved at placere 20cm mineraluld udvendigt, kan vi starte med at beregne U-værdien for de 20cm mineraluld. Denne bliver

$$U\_{mineraluld, 20cm}=\frac{λ}{d}=\frac{0,030\frac{W}{m·K}}{0,20m}=0,15 \frac{W}{m^{2}·K}$$

U-værdien for murstensvæggen er ifølge tabellen længere oppe $0,7 \frac{W}{m^{2}·K}$.

Derved bliver den samlede U-værdi for muren når der efterisoleres

$$U\_{samlet}=\frac{0,15\frac{W}{m^{2}·K}·0,70\frac{W}{m^{2}·K}}{0,15 \frac{W}{m^{2}·K}+0,70 \frac{W}{m^{2}·K}}=0,12\frac{W}{m^{2}·K}$$

Vi reducerer således varmetabet gennem væggen til ca. 18% af, hvad det var før efterisoleringen.

# Graddage

Indtil videre har vi hovedsageligt set på U- og $λ$-værdierne. Disse er selvfølgelig helt centrale men i formlen for P og Q indgår også leddet $(T\_{inde}-T\_{ude})$, som er forskellen i temperatur på de to sider af f.eks. en væg. Temperaturen udenfor en bygning ændrer sig i løbet af døgnet og året. Derfor er det ofte svært at vide præcis hvilke temperaturer, vi skal indsætte i dette led. For at lette beregningerne af det årlige varmetab fra en bygning er det derfor praktisk at indføre betegnelsen graddage. En graddag er et udtryk for en forskel på $1°C$ mellem den indvendige døgnmiddeltemperatur på $17°C$ og den udvendige døgnmiddeltemperatur i et helt døgn. Døgnets graddagetal bliver derfor udregnet som forskellen mellem de $17°C$ og den udvendige døgnmiddeltemperatur. Det er selvfølgelig forskelligt fra år til år, hvor mange graddage der er på året. Man har derfor defineret et normalår som gennemsnittet af årene 1941-1980. Et sådant normalår indeholder således 2906 graddage. Disse graddage dækker over, at der i et normalår er 217 dage, hvor det er nødvendigt at opvarme en bygning.

# Samlet beregning af energitab

Vi beregnede tidligere en U-værdi på en efterisoleret mur til $0,12\frac{W}{m^{2}·K}$. For at beregne hvor meget energi der tabes gennem denne mur i løbet af et år, har vi brug for graddagene, som blev omtalt i det tidligere afsnit samt arealet af væggen. Hvis vi f.eks. går ud fra at væggen er $20m^{2}$ kan det totale energitab gennem væggen beregnes som

$$Q\_{efterisoleret}=U\_{efterisoleret}·A\_{væg}·\left(T\_{inde}-T\_{ude}\right)·Δt$$

$$=0,12\frac{W}{m^{2}·K}·10m^{2}·2906 graddøgn$$

$$=3487 W·døgn=3,487kW·24h=83,7kWh$$

Det totale energitab gennem væggen i løbet af et ”normalår” vil således være 83,7kWh.

Hvis vi skulle regne på en væg, hvor der også er vinduer og døre skulle man beregne varmetabet for hver af dele hver for sig og så ligge dem sammen for at få det samlede varmetab. Sådanne beregninger kan med fordel laves i et regneark.

# Indetemperaturens betydning

I definitionen for graddagene regnedes der ud fra en temperatur på $17°C$. Dette er en forholdsvis lav temperatur, men det dækker over en reel indetemperatur på $20°C$. De $3 °C$ i forskel skyldes at sollys bidrager med gratis opvarmning af boligen. Den nemmeste måde at indregne sollysets opvarmning af en almindelig bolig er således at bruge en temperatur på $17 °C$ i definitionen på graddagene.

Hvis vi vil se på, hvilken betydning det har at hæve temperaturen i boligen fra f.eks. $20°C$ til $22 °C$, skal man således lægge mærke til, at en sådan stigning på $2°C$ i indetemperaturen svarer til at graddagetallene for de 217 dage, det er nødvendigt med opvarmning, stiger med $2°C$. Dette betyder at der lægges $2·217 graddage=434 graddage$ til det totale antal. Dette forøges således fra 2906 til 3340 graddage. Dette er en forøgelse på 15%. Man må derfor formode, at varmeregningen stiger med ca. 15%, hvis man hæver indetemperaturen med $2°C$. Der er derfor meget energi og penge at spare ved at skrue ned for varmen i boligerne.