

## Součinitel prostupu tepla. Co to je a jak se s ním pracuje

### Průměrný součinitel prostupu tepla domu

Představme si, že je studený lednový den s průměrnou denní teplotou  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ve vašem rodinném domě jste jen na vytápění v plynovém kotli ten den spotřebovali  $10\text{ m}^3$  zemního plynu. Z faktur nebo ze smlouvy s dodavatelem plynu víte, že jeho **výhřevnost** je  $9,5\text{ kWh/m}^3$ . Za celý den jste tedy spotřebovali  $95\text{ kWh}$  energie, které kotel spálil a proměnil v teplo.

Budeme předpokládat, že kotel předá teplo, dané výhřevností plynu, do topné soustavy se stoprocentní účinností. (V praxi je to u nekondenzačních kotlů méně než  $100\%$ , u kondenzačních, které zužitkují i teplo vzniklé kondenzací páry ve spalinách, i nad  $100\%$ ). Dohromady jste tedy dodali topné soustavě  $9,5\text{ kWh/m}^3 \times 10\text{ m}^3 = 95\text{ kWh}$  tepla, které bylo nutné k udržení vnitřní teploty  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Z ohřátých místností pak toto teplo unikalo zdmi, okny, dveřmi, podlahou a střechou ven, mimo dům do chladného venkovního prostředí. Kdyby zdi, střecha a okna Vašeho domu měly silnější tepelnou izolaci, protopili byste méně a naopak.

Protože má den 24 hodin, tak za jednu hodinu jste spotřebovali  $95\text{ kWh} : 24\text{ h} = 3,958\text{ kWh/h}$  energie. Je hned vidět (po vykrácení jednotky "h" v kWh/h), že tento údaj vyjadřuje přímo topný výkon  $P$  kotle a zároveň **tepelnou ztrátu**  $Z$  Vašeho domu (ve kilowattech, kW):

$$P = 3,958\text{ kW} = 3958\text{ W} = Z$$

Jestliže tepelnou ztrátu domu vydělíme rozdílem mezi vnitřní a venkovní teplotou  $\Delta = 20\text{ }^{\circ}\text{C} - (-15)\text{ }^{\circ}\text{C} = 35\text{ }^{\circ}\text{C} (= \text{K})$ , dostaneme důležitý parametr, totiž **měrnou ztrátu prostupem tepla**  $H_T$ :

#### (1) - tepelná ztráta domu

$$H_T = \frac{P}{\Delta T} = \frac{3958\text{ W}}{35\text{ K}} = 113 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Jestliže nyní vydělíme **měrnou ztrátu prostupem tepla** plochou  $A$  celé **obálky** neboli, jak se také říká, **plochou obálkových konstrukcí** domu, což je plocha zdi i s okny, střechy a podlahy sousedící se zemí, dostaneme **průměrný součinitel prostupu tepla** domu  $U_{em}$ . Je-li tato plocha, dejme tomu,  $A = 420\text{ m}^2$ , potom je:

#### (2) - měrná ztráta prostupem tepla

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{113 \frac{\text{W}}{\text{K}}}{420\text{ m}^2} = 0,269 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} = 0,269 \frac{\text{J/s}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Výklad posledního vzorce není složitý. **Průměrný součinitel prostupu tepla** domu  $U_{em}$  je množství tepla v joulech, které za jednu sekundu uniká jedním metrem čtverečným obálkové plochy domu. Index "em" je odvozen od anglických slov **envelope**, **medium** (obálka, průměr). Nezapomeňme, že  $W = \text{J/s}$  (joule za sekundu) představuje **tok energie** (množství tepla za jednotku času), který uniká ven, tedy (unikající) výkon.

## Součinitelé prostupu tepla $U$

Z denní spotřeby plynu k vytápění a z venkovní teploty můžeme v zásadě určit průměrný součinitel prostupu tepla. V praxi se aplikuje spíše opačný postup: [Ze známých vlastností materiálů \(zdivo, okna, izolace\), které tvoří obálku domu, se počítá průměrný součinitel prostupu tepla domu.](#) Z něho lze odhadnout spotřebu tepla k vytápění. Poznamenejme, že tepelné ztráty u podlahové konstrukce, která sousedí se zemí, nezávisí na rozdílu vnitřní a venkovní teploty, ale na rozdílu vnitřní teploty a teploty pod izolací. Ta se s ročním obdobím příliš nemění a odpovídá teplotě v hloubce cca 2 m pod zemí (asi 7 °C).

Tepelné ztráty se budou lišit pro různé venkovní teploty. Při -25 °C budou tepelné ztráty zdi, okny a střechou větší než při +10 °C. A podobně. **Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$**  však zůstává přibližně konstantní. Přibližně proto, že podzemní část obálky, tedy podlaha, je v zimě i v létě vystavena skoro stejným teplotám nad bodem mrazu, cca 7 °C. Tepelněizolační obálku domu lze tak vyjádřit hodnotou  $U_{em}$ , která se skládá ze čtyř různých typů konstrukcí, které lze popsat součiniteli prostupu tepla  $U$  a odpovídajícími plochami  $A$ , které v obálce domu zaujímají:

- Součinitel prostupu tepla obvodovým zdivem  $U$
- Součinitel prostupu tepla okny a dveřmi  $U_W$
- Součinitel prostupu tepla střechou  $U_R$
- Součinitel prostupu tepla podlahou  $U_S$

Tepelnou ztrátu prostupem tepla  $Z$  při venkovní teplotě  $\vartheta$  a stálé vnitřní teplotě 20 °C pak můžeme vyjádřit pomocí těchto součinitelů, jim odpovídajících ploch  $A$  a venkovní teploty  $\vartheta$ :

### (3) - tepelná ztráta pomocí součinitelů prostupu tepla

$$Z = U \cdot A_M \cdot (20 - \vartheta) + U_W \cdot A_W \cdot (20 - \vartheta) + \\ + U_R \cdot A_R \cdot (20 - \vartheta) + U_S \cdot A_S \cdot (20 - 7) = U_{em} \cdot A \cdot (20 - \vartheta)$$

Ve vzorci vystupují známé součinitelé prostupu tepla zdivem  $U$  a okny  $U_W$ , které jsou hojně zmiňovány v časopisech. Součet ploch všech čtyř konstrukčních prvků musí být samozřejmě rovný celkové ploše obálky:

$$A = A_M + A_W + A_R + A_S$$

### Malé matematické odbočení

Rovnice (3) ukazuje vztah mezi průměrným součinitelem prostupu tepla domu  $U_{em}$ , který je definován rovnicí (2), a dílčími součiniteli prostupu  $U$  všech čtyř typů konstrukcí a jejich ploch:

### (4) - průměrný součinitelem prostupu tepla z dílčích součinitelů

Uhodí do očí, že průměrný součinitel  $U_{em}$  je závislý na venkovní teplotě a při rovnosti venkovní a vnitřní návrhové teploty (20 °C) dokonce roste k nekonečnu. Je to tím, že podzemní plocha obálky je ochlazována jinak než nadzemní a pro udržení vnitřní teploty 20 °C musíme topit i tehdy, dosáhne-li venkovní teplota 20 °C. Nabízí se teplotně nezávislá a tedy fyzikálně názornější definice  $U_{em}$ :

### (5) - průměrný součinitelem prostupu tepla nezávislý na teplotách

$$U_{em} = \frac{U \cdot A_M + U_W \cdot A_W + U_R \cdot A_R + A_S}{A},$$

Rovnice (1) a (2) pak budou mít tvar:

### (6) - okamžitá ztráta prostupem tepla

$$Z = H_T \cdot (20 - \theta) = U_{em} \cdot A \cdot (20 - \theta) - U_S \cdot A_S \cdot (7 - \theta)$$

## Roční spotřeba tepla k vytápění

Odhad budoucí roční spotřeby tepla pro vytápění se nedá udělat přesně, protože nikdy nevíme, jaké bude v daný rok a na daném místě počasí. Proto se vychází z dlouhodobých statistik, jednu takovou uveřejnil [Český hydrometeorologický ústav](#) a ta uvádí průměrné měsíční teploty. Podrobnější statistiky uvádějí denní průměrné teploty v různých lokalitách ČR, ty ale nejsou vždy veřejné nebo zdarma. Některé zahraniční statistiky uvádějí i hodinové průměrné teploty.

Vezměme dlouhodobou statistiku denních průměrných teplot pro danou lokalitu a vyberme dny, kdy se bude topit (např., když je průměrná denní teplota pod 13 °C). Pak pro každý topný den  $i$  (z celkového počtu  $N$  topných dní) spočítáme spotřebu tepla  $Q_i$ :

### (7A) - dílčí člen celoroční spotřeby tepla

$$Q_i = (20 - \theta_i) \cdot (U \cdot A_M + U_W \cdot A_W + U_R \cdot A_R) \cdot \Delta t_i + (20 - 7) \cdot U_S \cdot A_S \cdot \Delta t_i$$

kde  $\Delta t$  je den vyjádřený v sekundách (86 400 s). Potom všechny kladné příspěvky  $Q_i$  sečteme a dostaneme odhad celoroční spotřeby tepla:

### (7B) - celoroční spotřeba tepla

$$Q_{rok} = \sum_{i=1}^N Q_i,$$

Výpočet nezahrnuje tepelné ztráty větráním, ani tepelné zisky. Zisky vznikají ze slunečního záření, pobytu osob a jejich aktivit, jako je třeba vaření nebo provoz různých spotřebičů (myčky, pračky, televize ap.). Nezahrnuje ani to, že hmota na teplé straně obálky, což jsou zateplené a všechny vnitřní konstrukce domu, nábytek, rostlinstvo, bazény, akvária, dokáže

dobře akumulovat teplo. Přes den, když hřeje slunce a dům je v chodu, se vnitřní hmota nabije teplem tak, že při nočním ochlazení pak netřeba topit.

Místo dělení topné sezóny na dny a sčítání přes denostupně, můžeme dělit jen na měsíce a sčítat přes měsíční průměrné teploty (pro např. pro "topné" měsíce září až květen,  $N=9$ ) nebo dokonce nemusíme topnou sezónu vůbec dělit a počítat jen jediný člen odpovídající průměrné dlouhodobé teplotě v celé topné sezóně ( $N=1$ ). Pro totožná topná období jsou pak výsledky nezávislé na dělení.

Problém výpočtů s podrobným dělením je v tom, že se dlouhodobý teplotní průměr **daného dne** může diametrálně lišit od skutečné průměrné denní teploty. Např. na den 22. února, kdy píšeme tento článek, zaznamenalo pražské [Klementinum](#) nejnižší teplotu  $-19.4\text{ °C}$  (rok 1929) a nejvyšší  $+13.5\text{ °C}$  (rok 1794), zatímco dlouhodobý průměr je  $+1,7\text{ °C}$ .

Srovnání skutečné průměrné únorové teploty s dlouhodobým únorovým průměrem je mnohem přesnější a nejpřesnější je roční srovnání

## Příklad

V následující tabulce jsou dlouhodobé průměrné měsíční teploty pro Pardubický kraj (podle ČHMÚ):

Měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Teplota	-3,1	-1,4	+2,2	+7,1	+12,2	+15,3	+16,6	+16,3	+12,7	+8,0	+2,5	-1,3

Dejme tomu, že náš dům o vnitřním objemu  $126,5\text{ m}^3$  má tyto další parametry:

- Zdi:  $U = 0,23\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $A_M = 139\text{ m}^2$
- Okna:  $U_W = 1,3\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $A_M = 20\text{ m}^2$
- Střecha:  $U_R = 0,16\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $A_R = 140,6\text{ m}^2$
- Podlaha:  $U_S = 0,23\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $A_S = 117\text{ m}^2$

Vyberme jen měsíce, kdy se topí, řekněme říjen až květen včetně. 8 průměrných měsíčních teplot ( $N = 8$ ) pak dosadíme do vzorce (7A). Za  $\Delta t$  položíme počet sekund pro daný měsíc, za říjen je to např.  $2\,678\,400\text{ s}$ . Topné měsíce pak sečteme. Výsledky jsou tyto:

- Spotřebovaná roční tepelná energie na vytápění: **10,4 MWh/rok**
- Cena energie: **12 534 Kč/rok** při ceně  $1,2\text{ Kč/kWh}$  (zemní plyn)

Dobrý výsledek nám může pokazit větrání. Počítáme-li s výměnou vzduchu  $0,5\text{ h}^{-1}$  bez rekuperace (tzn. za 2 hodiny vyměníme celý objem domu -  $126,5\text{ m}^3$ ), zvedne se cena za vytápění na **22 735 Kč**. Tomu se budeme věnovat v jiném článku.