

Iveta SKOTNICOVÁ¹

ZMĚNY VE VÝPOČTOVÝCH METODÁCH TEPELNĚ TECHNICKÝCH NOREM

Abstract

The article describes the most important changes at calculation methods of thermal resistance and thermal transmittance. These changes are connected with amendment of standards (especially ČSN 73 0540), which are now more cohesioned with European and international standards.

ÚVOD

Rok 2005 přinesl do oblasti tepelně technických a energetických výpočtů řadu změn. Tyto změny souvisí s novelizací popř. s vydáním nových technických norem nebo jejich změn, které jsou oproti předchozímu znění více provázány se soustavou již zavedených evropských a mezinárodních norem, a které mají v návaznosti na nové předpisy zajistit základní požadavek na úsporu energie a tepelnou ochranu budov.

ZMĚNY TEPELNĚ TECHNICKÉ NORMY ČSN 730540 – TEPELNÁ OCHRANA BUDOV

Tepelně technická norma prošla od roku 1954, kdy vznikla, postupně mnoha změnami. Zatím poslední úpravy byly provedeny roce 2005. Změny se dotkly všech čtyř částí normy.

- ČSN 73 0540 – 1:2005 Tepelná ochrana budov-Část 1: Terminologie

(s účinností od června 2005)

Změny: podrobný popis všech používaných veličin, změny v označení některých veličin (např. G_k na $M_{c,d}$ atd.)

- ČSN 73 0540 – 2:2002, změna Z1/2005 Tepelná ochrana budov-Část 2: Požadavky

(s účinností od března 2005)

Změny: zpřísnění normových hodnot součinitele prostupu tepla U_N pro některé konstrukce (např. střechy, nová okna), nové požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U_N pro lehké obvodové pláště a šikmé výplně otvorů, nový požadavek na posouzení lineárního a bodového činitele prostupu tepla tepelných vazeb konstrukcí, nový stavebně energetický požadavek U_{em} .

- ČSN 73 0540 – 3:2005 Tepelná ochrana budov-Část 3: Návrhové hodnoty veličin

(s účinností od listopadu 2005)

Změny: nový způsob odvození návrhových hodnot parametrů vnitřního a vnějšího prostředí, doplnění nových tabulek (např. kritické vnitřní povrchové teploty $\theta_{si,cr}$ pro kritickou vnitřní povrchovou vlhkost $\varphi_{si,cr}$ ve výši 80% a 100%, návrhové hodnoty výplní otvorů a souvisejících veličin, atd.)

- ČSN 73 0540 – 4:2005 Tepelná ochrana budov-Část 4: Výpočtové metody

(s účinností od června 2005)

¹ Ing., Ph.D., katedra prostředí staveb a TZB, fakulta stavebí, VŠB-TU Ostrava, L.Poděště 1875, 708 00 Ostrava-Poruba

Změny: odvození vnitřní povrchové teploty θ_{si} pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} nebo poměrného teplotního rozdílu vnitřního povrchu ξ_{Rsi} , výpočtové metody součinitele prostupu tepla konstrukcí U s vlivem tepelných mostů (metody charakteristických tepelných mostů, metody charakteristického výseku, výpočet z průměrné vnitřní povrchové teploty), výpočet celkového součinitele prostupu tepla U_c , součinitele prostupu tepla konstrukce a přilehlých nevytápěných prostorů U_v , součinitele prostupu tepla konstrukce a přilehlé zeminy U_s , součinitele prostupu tepla otvorových výplní U_w , průměrného součinitele prostupu tepla místnosti U_m , průměrného součinitele prostupu tepla budovy U_{em} , výpočet lineárních a bodových činitelů prostupu tepla ψ a χ a atd.

Nejvýraznější změny se v tepelně technické normě projeví ve výpočtových metodách veličiny součinitele prostupu tepla. V tomto příspěvku bude věnována pozornost novým výpočtovým metodám pro stanovení součinitele prostupu tepla konstrukce s vlivem tepelných mostů a jejich srovnání.

Výpočtové metody součinitele prostupu tepla konstrukcí s vlivem tepelných mostů

Součinitel prostupu tepla U , ve $W/(m^2 \cdot K)$, a odpor při prostupu tepla R_T , v $m^2 \cdot K/W$, jsou veličiny, které vyjadřují postup tepla celou konstrukcí, z toho důvodu musí zahrnovat veškeré tepelné mosty a jiné případné zdroje navýšení tepelných toků v konstrukci. Vliv tepelných mostů je možné ve výpočtu zanedbat pouze tehdy, pokud jejich souhrnné působení je menší než 5% součinitele prostupu tepla konstrukce vypočteného s vlivem tepelných mostů.

Součinitel prostupu tepla konstrukce U bez vlivu tepelných mostů se pro jednorozměrné šíření tepla vypočte ze vztahu (1):

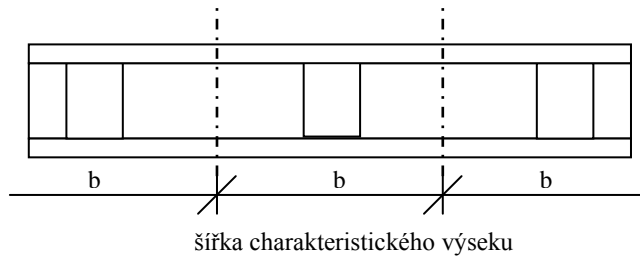
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (1)$$

kde je: $R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j}$ je tepelný odpor konstrukce, v $m^2 \cdot K/W$,

R_{si} , R_{se} jsou odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce, v $m^2 \cdot K/W$, platné pro hodnocení prostupu tepla a stanovené podle [3].

Součinitel prostupu tepla konstrukce U s vlivem tepelných mostů se dá stanovit několika způsoby:

- **Metodou charakteristického výseku** – tzn. výpočtem součinitele prostupu tepla konstrukce U , ve $W/(m^2 \cdot K)$, z celé plochy nebo z opakujícího se charakteristického výseku konstrukce – vhodné pro konstrukce se systematickými (pravidelně se opakujícími) tepelnými mosty (obr. 1),
- **Metodou charakteristických tepelných mostů** – tzn. výpočtem U_{id} , ve $W/(m^2 \cdot K)$, z ideálního výseku konstrukce pro skladbu mimo tepelný most (postupem pro jednorozměrné šíření tepla) a z celkového zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem všech tepelných mostů v konstrukci ΔU_{ibk} , ve $W/(m^2 \cdot K)$ – vhodné pro konstrukce s nesystematickými tepelnými mosty,
- **Výpočtem z průměrné vnitřní povrchové teploty θ_{sim} celé konstrukce** nebo jejího charakteristického výseku, ve $^{\circ}C$, (popřípadě vyjádřené v poměrném tvaru jako průměrný teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsim} nebo průměrný poměrný teplotního rozdílu vnitřního povrchu ξ_{Rsim}).



Obr.1 Charakteristický výsek konstrukce se systematickými tepelnými mosty

Výpočet součinitele prostupu tepla metodou charakteristického výseku

Pro výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce se systematickými tepelnými mosty lze použít dva způsoby – přibližný a přesný.

- A) **Přibližný způsob** výpočtu vychází z [7] a je možné ho použít pouze v případech, kde tepelné mosty nejsou tvořeny kovovými prvky. Nevýhoda tohoto způsobu výpočtu je dána nepřesným výsledkem, který je vždy zatížen určitou chybou. Ta může být malá, ale i značná. Rovněž na první pohled složité odvození výpočtu může někoho od této metody odradit. Tento způsob má ale i své výhody. Pro výpočet součinitele prostupu tepla U v místě charakteristického výseku konstrukce není třeba mít k dispozici výpočtové programy, výpočet je možné provést jen s kalkulačkou. Pro přibližný výpočet norma uvádí dvě metody stanovení součinitele prostupu tepla z horní a dolní meze.
- B) **Přesný způsob** výpočtu lze použít obecně pro jakoukoliv konstrukci. Výpočet vychází z řešení vícerozměrného (většinou dvourozměrného) teplotního pole v charakteristickém výseku konstrukce. Výhodou tohoto způsobu je přesnost výsledku, určitou nevýhodou je nutnost použití vhodného výpočtového programu pro řešení teplotního pole.

A) Přibližné metody výpočtu součinitele prostupu tepla stanoveného z horní a dolní meze

Metoda - výpočet součinitele prostupu tepla U z (1) a odporu při prostupu tepla R_T , v $m^2 \cdot K/W$, ze vztahu (2):

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \tag{2}$$

kde je: R_T' horní mez odporu při prostupu tepla, v $m^2 \cdot K/W$, stanovená z výseků konstrukce rovnoběžných s tepelným tokem podle vztahu (3):

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} \tag{3}$$

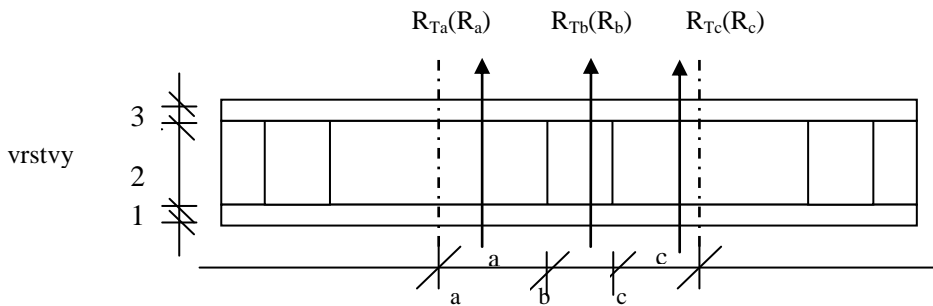
kde R_{Ta} , R_{Tb} , R_{Tc} jsou odpory při prostupu tepla, v $m^2 \cdot K/W$, vypočtené pro každou část výseku (části a, c – mimo tepelný most, část b – v místě tepelného mostu – viz obr.2) ze vztahu pro jednorozměrné šíření tepla (1).

$$f_a = \frac{A_a}{A}, f_b = \frac{A_b}{A}, f_c = \frac{A_c}{A} \quad \text{jsou poměrné plochy výseku, bezrozměrné} \tag{4}$$

R_T'' je dolní mez odporu při prostupu tepla, v $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, stanovená z vrstev kolmých na tepelný tok ze vztahu (1) pro jednorozměrné šíření tepla, kde pro každou nesterjnorodou vrstvu se tepelný odpor R_j , v $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, stanoví ze vztahu:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} \quad (5)$$

kde R_{aj} , R_{bj} , R_{cj} jsou tepelné odpory materiálů, v $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, tvořících nesterjnorodou vrstvu.



Obr.2 Rozdělení charakteristického výseku na části

Přibližný výpočet je nevhodný pro konstrukce s příliš nerovinnými a příliš nerovnoběžnými povrchy a pro konstrukce, u kterých platí $(R'/R'') > 1,25$.

Metoda - výpočet součinitele prostupu tepla U z (1) a tepelného odporu R , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, vztahem podle Fokina

$$R = \frac{R' + 2R''}{3} \quad (6)$$

kde je: R' horní mez tepelného odporu konstrukce, v $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, stanovená z výseků konstrukce rovnoběžných s tepelným tokem podle vztahu:

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} + \frac{f_c}{R_c} \quad (7)$$

Kde R_a , R_b , R_c jsou tepelné odpory konstrukce, v $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, vypočtené pro každou část výseku (části a, c – mimo tepelný most, část b – v místě tepelného mostu, viz obr.2) ze vztahu pro jednorozměrné šíření tepla (1),

f_a, f_b, f_c jsou poměrné plochy výseku, bezrozměrné dle vztahu (4)

R'' je dolní mez tepelného odporu konstrukce, v $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, stanovená z vrstev kolmých na tepelný tok ze vztahu (1) pro jednorozměrné šíření tepla, kde pro každou nesterjnorodou vrstvu se tepelný odpor stanoví ze vztahu (5)

Přibližný výpočet je nevhodný pro konstrukce s příliš nerovinnými a příliš nerovnoběžnými povrchy a pro konstrukce, u kterých platí $(R'/R'') > 1,25$.

Obě přibližné metody mají společnou dolní mez, horní meze se liší.

B) Přesné metody výpočtu součinitele prostupu tepla řešením teplotního pole

Zvolený charakteristický výsek konstrukce se zadá do vhodného výpočtového programu podle zásad pro modelování tepelných mostů dle [5]. Důležité je definování okrajových podmínek. Na straně interiéru se použije návrhová vnitřní teplota θ_i , ve °C, a na straně exteriéru se použije návrhová teplota venkovního vzduchu θ_e , ve °C. Odpory při přestupu tepla R_{si} a R_{se} , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, se zadávají dle [3] hodnotami platnými pro hodnocení prostupu tepla (např. $R_{si} = 0,13 / 0,10 / 0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$).

Pro stanovení součinitele prostupu tepla U , ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, z dvourozměrného teplotního pole se použije vztah (8):

$$U = \frac{L^{2D}}{b} \quad (8)$$

kde je: L^{2D} lineární tepelná propustnost výsekem konstrukce, ve $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, stanovená řešením teplotního pole metodou konečných prvků pomocí výpočtového programu (např. AREA 2005),

b šířka charakteristického výseku, v m.

Poznámka:

Řešením teplotního pole je možné vyhodnocovat i nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce $\theta_{si, \min}$ ve °C, např. v místě tepelného mostu. V tomto případě budou okrajové podmínky odlišné! Na straně interiéru se použije teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} , ve °C, a na straně exteriéru se použije návrhová teplota venkovního vzduchu θ_e , ve °C. Odpory při přestupu tepla se zadávají dle [3] hodnotami platnými pro hodnocení šíření vlhkosti a rizika růstu plísní. (např. $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$).

Výpočet součinitele prostupu tepla metodou charakteristických tepelných mostů

Metoda charakteristických tepelných mostů je vhodná pro výpočet součinitele prostupu tepla s nesystematickými (nepravdělně se opakujícími) tepelnými mosty. Součinitel prostupu tepla U , ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, se vypočte ze vztahu (9):

$$U = U_{id} + \Delta U_{ibk} \quad (9)$$

kde je: U_{id} součinitel prostupu tepla ideálního výseku konstrukce, ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, pro skladbu mimo tepelný most dle (1),

$\Delta U_{ibk} = \Sigma \Delta U_{ibk,j}$ zvýšení součinitele prostupu tepla, ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, vlivem každého tepelného mostu (lineárního, bodového, bodového pro mechanicky spojované vrstvy) v konstrukci.

Pro přibližné stanovení zvýšení součinitele prostupu tepla ΔU_{ibk} je možné používat hodnoty uvedené v [4].

Přesné stanovení zvýšení součinitele prostupu tepla ΔU_{ibk} je možné řešením vícerozměrného teplotního pole v místě každého charakteristického tepelného mostu. K tomu je nutné použít vhodný výpočtový program. Výpočet ΔU_{ibk} bude záviset na typu tepelného mostu v konstrukci.

Lineární tepelné mosty

Jsou tepelnými mosty se shodnými řezy v jednom směru (např. dřevěné krokve v zateplené střešní konstrukci). Zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem lineárních tepelných mostů $\Delta U_{ibk,j}$, ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, se stanoví z (10):

$$\Delta U_{ibk,j} = \psi_j \cdot \frac{l_j}{A} \quad (10)$$

kde je: l_j délka j-tého lineárního tepelného mostu v celé konstrukci, v m;
 A plocha celé konstrukce, v m²;
 ψ_j lineární činitel prostupu tepla lineárního tepelného mostu, ve W/(m·K), stanovený z j-tého výseku konstrukce (pouze s j-tým lineárním mostem) ze vztahu (11):

$$\psi_j = L_j^{2D} - U_{id} \cdot b \quad (11)$$

Kde L_j^{2D} je lineární tepelná propustnost j-tým výsekem konstrukce, ve W/(m·K), stanovená řešením teplotního pole pomocí výpočtového programu (např. AREA 2005),
 B šířka výseku s j-tým lineárním tepelným mostem, v m.

Bodové tepelné mosty

Jsou tepelnými mosty bez shodných řezů v libovolném směru. Zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem bodových tepelných mostů $\Delta U_{ibk,j}$, ve W/(m² K), se stanoví z (12):

$$\Delta U_{ibk,j} = \chi_j \cdot \frac{n_j}{A} \quad (12)$$

kde je: n_j počet j-tých bodových tepelných mostů v celé konstrukci, bezrozměrný;
 χ_j bodový činitel prostupu tepla j-tého bodového tepelného mostu, ve W/K, stanovený z j-tého výseku konstrukce s pouze j-tým bodovým tepelným mostem ze vztahu (13):

$$\chi_j = L_j^{3D} - U_{id} \cdot A_j \quad (13)$$

Kde L_j^{3D} je prostorová tepelná propustnost, ve W/K, stanovená pomocí řešení trojrozměrného teplotního pole pro j-tý výsek konstrukce s pouze j-tým bodovým tepelným mostem;
 A_j plocha j-tého výseku geometrického modelu konstrukce, v m², s pouze j-tým bodovým tepelným mostem.

Bodové tepelné mosty pro mechanicky spojované vrstvy přes tepelnou izolaci

Pro mechanicky spojované vrstvy přes tepelnou izolaci lze zvýšení součinitele prostupu tepla $\Delta U_{ibk,j}$, ve W/(m²·K), stanovit přibližně ze vztahu (14) dle [7], kde se tato hodnota označuje jako korekce součinitele prostupu tepla ΔU_f .

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \lambda_f \cdot n_f \cdot A_f \quad (14)$$

kde je: α součinitel z tabulky v [7], např. 6 m⁻¹ pro sendvičové zdívo, 5 m⁻¹ pro střechy,
 λ_f tepelná vodivost kotvy, v W/(m·K),
 n_f počet kotev na metr čtvereční,
 A_f příčná průřezová plocha jedné kotvy, v m².

Výpočet součinitele prostupu tepla z průměrné vnitřní povrchové teploty konstrukce

Tento způsob výpočtu součinitele prostupu tepla je vhodný pro konstrukce se systematickými tepelnými mosty. Průměrná vnitřní povrchová teplota θ_{sim} , ve °C, se stanoví z vnitřních povrchových teplot θ_{si} , ve °C, získaných řešením teplotního pole pro charakteristický výsek konstrukce.

Důležité je opět správné definování okrajových podmínek. Na straně interiéru se použije teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} , ve °C, a na straně exteriéru se použije návrhová teplota venkovního vzduchu θ_e , ve °C. Odporů při přestupu tepla se zadávají dle [3] hodnotami platnými pro hodnocení šíření tepla (např. $R_{si} = 0,13/0,10/0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$).

Součinitel prostupu tepla U , ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, lze vypočítat ze vztahu (15):

$$U = \frac{(\theta_{ai} - \theta_{sim})}{R_{si} \cdot (\theta_{ai} - \theta_e)} \quad (15)$$

Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla s vlivem tepelných mostů

Pro šikmou střešní konstrukci se systematickými tepelnými mosty (krokve) jsme stanovili součinitel prostupu tepla přibližnou a přesnou metodou. Konstrukce odděluje prostředí o návrhové vnitřní teplotě $\theta_i = 20 \text{ °C}$, návrhové relativní vlhkosti vnitřního vzduchu $\varphi_i = 50\%$, návrhové teplotě venkovního vzduchu $\theta_e = -15 \text{ °C}$. Šířka krokve se rovná 0,14 m. Šířka celého charakteristického výseku se rovná 0,9 m. Konstrukce má skladbu (od interiéru):

Skladba mimo tepelný most:

sádrokarton tl. 0,0125 m

parozábrana

tepelná izolace tl. 0,18 m

dřevěné bednění tl. 0,020 m

difúzní pojistná hydroizolace

odvětrávaná vzduchová mezera

střešní latění

střešní krytina

Celková plocha výseku 0,844 m²

Skladba v místě tepelného mostu:

sádrokarton tl. 0,0125 m

parozábrana

dřevěná krokev tl. 0,18 m

dřevěné bednění tl. 0,020 m

difúzní pojistná hydroizolace

odvětrávaná vzduchová mezera

střešní latění

střešní krytina

Celková plocha výseku 0,156 m²

Do výpočtu jsou zahrnuty pouze vrstvy č. 1, 3 a 4 z vnitřní strany konstrukce.

Výsledky výpočtu jsou shrnuty v tabulce 1.

Tab.1 Výsledky součinitele prostupu tepla konstrukce s vlivem tepelných mostů

Metody výpočtu	přibližná	přesná	Teplotní pole
	Metoda 1	Fokinova metoda	
R'		2,22	
R''		2,79	
R'_T	3,25		
R''_T	2,99		
R_T	3,12	2,80	
L^{2D}			0,283
Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]	0,32	0,36	0,31

Z uvedených výsledků jsou vidět rozdíly mezi vypočtenými hodnotami. Nejpřesnější výsledek odpovídá metodě řešením teplotního pole.

Dříve se výpočty konstrukcí s tepelnými mosty zjednodušovaly zahrnutím vlivu tepelného mostu ekvivalentním součinitelem tepelné vodivosti nestejnorodé vrstvy. Současně platná norma takovéto zjednodušení nepovoluje. V našem příkladu by výsledek součinitele prostupu tepla při použití této zjednodušující metody vyšel roven $U = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540 – 1:2005 Tepelná ochrana budov-Část 1: Terminologie
- [2] ČSN 73 0540 – 2:2005, změna Z1/2005 Tepelná ochrana budov-Část 2: Požadavky
- [3] ČSN 73 0540 – 3:2005 Tepelná ochrana budov-Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- [4] ČSN 73 0540 – 4:2005 Tepelná ochrana budov-Část 4: Výpočtové metody
- [5] ČSN EN ISO 10211-1 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchová teplota. Část 1: Základní výpočtové metody. Praha: ČNI 1997.
- [6] ČSN EN ISO 14683 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární činitel prostupu tepla – Zjednodušené postupy a orientační hodnoty. Praha: ČNI 2000.
- [7] ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda. Praha: ČNI 1998. Změna 1/2003.
- [8] KAŇKA, J., SVOBODA, Z.: Stavební fyzika 31. ČVUT Praha 2004.

Reviewer: Doc.Ing.arch. Josef Šamánek, CSc.