

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝSLEDNOU HODNOTU SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA OTVOROVÝCH VÝPLNÍ

Ing. Petr Školník, CSI a.s., Praha

1. Úvod

Součinitel prostupu tepla otvorové výplně U_w může být stanoven kromě měření také výpočtem, jehož výsledek bývá, oproti měření v laboratoři, zpravidla na straně bezpečnosti. Zatímco při samotném měření je nepřesnost způsobena zejména druhem po-

užitých měřidel (přesnost měřidel), přesnost výpočtu závisí jak na přesnosti výpočetních programů (validace dle norem), tak na přesnosti stanovení hodnot do programu zadávaných.

V příspěvku jsou vyčísleny odchylky výsledků výpočtu pro různé velikosti oken

se zasklením izolačním dvojsklem nebo trojsklem.

Cílem výpočtu je určit, do jaké míry se hodnota odchylek vstupních parametrů promítne do výsledných hodnot součinitele prostupu tepla U_w při zohlednění různých konstrukčních variant prvků okna a rozměrů okna.

2. Způsob výpočtu součinitele prostupu tepla U_w

Pro výpočet součinitele prostupu tepla otvorové výplně U_w platí vztah dle ČSN EN ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{U_g * A_g + U_f * A_f + \psi * l}{A_w} \quad (1)$$

U_g	součinitel prostupu tepla zasklení [W/(m²K)]
U_f	součinitel prostupu tepla rámem [W/(m²K)]
ψ	lineární činitel prostupu tepla [W/(mK)]
$A_{g/f/w}$	plocha zasklení / rámu / celková [m²]
l_g	délka zasklívací spáry [m]

2.1. Součinitel prostupu tepla rámem U_f

Pro výpočet součinitele prostupu tepla rámem U_f platí vztah dle ČSN EN ISO 10077-2:

$$U_f = \frac{L_{Uf}^{2D} - U_p * b_p}{b_f} \quad (2)$$

kde je:	
L_{Uf}	tepelná propustnost [W/(mK)]
U_p	součinitel prostupu tepla izolačního panelu [W/(m²K)]
b_p	šířka izolačního panelu [m]
b_f	šířka rámu [m]

Tepelná propustnost L_{Uf} se stanovuje výpočtem dvourozměrného teplotního pole pomocí specializovaných programů, které jsou validovány dle výše zmíněné normy. Tato norma zároveň připouští odchylku výsledků výpočtu ±3%.

2.2. Lineární činitel prostupu tepla ψ

Pro výpočet součinitele prostupu tepla rámem ψ platí vztah dle ČSN EN ISO 10077-2:

$$\psi = L_{\psi}^{2D} - U_p * b_p - U_f * b_f \quad (3)$$

kde je:	
L_{ψ}	tepelná propustnost [W/(mK)]
U_f	součinitel prostupu tepla rámem [W/(m²K)]

Tepelná propustnost L_{ψ} se stanovuje stejným způsobem jako v bodě 2.1 a stejně tak i přípustná odchylka výsledku je ±3%.

2.3. Součinitele prostupu tepla zasklení U_g

2.3.1. Výpočetní postup

Pro výpočet součinitele prostupu tepla zasklení U_g platí norma ČSN EN 673. Tato norma pro zjednodušení a sjednocení předepisuje okrajové podmínky a některé výpočtové hodnoty jako konstanty. Takovou veličinou jsou součinitelé přestupu tepla h , které jsou ve skutečnosti závislé na několika faktorech. Hodnoty h lze přesněji stanovit dílčím výpočtem. Pokud

rovnici pro výpočet U_g upravíme tak, že místo předepsaných konstantních hodnot, u kterých je to možné, dosadíme tyto dílčí výpočty [1], získáme rozsáhlou rovnici s veličinami charakterizujícími podmínky konkrétního zasklení. Jednotlivé vstupní veličiny výpočtu jsou zatíženy určitou nepřesností. Veličiny měřené, jako je vnější a vnitřní teplota, emisivita povrchu skla nebo rychlost větru, mohou mít odchylky způsobené přesností použitých měřících přístrojů,

které uvádí výrobce těchto zařízení. Hodnoty jako je tloušťka skla, šířka meziskelního prostoru nebo výška skla mohou mít odchylky způsobené výrobními nepřesnostmi, které uvádí výrobce, a které jsou v souladu s příslušnými normami.

Výpočet součinitele prostupu tepla zasklení U_g závisí na mnoha faktorech, které ovlivňují šíření tepla konstrukcí. Co se týká izolačních skel, dochází u nich k šíření tepla všemi třemi způsoby:

- vedením (charakterizováno součinitelem tepelné vodivosti resp. tepelným odporem skla a dutiny mezi skly)
- prouděním (volným na vnitřní a nuceným na vnější straně skla)
- sáláním (mezi povrchy skla).

Základní vzorec pro výpočet součinitele prostupu tepla zasklení je pro dvojsklo (analogicky pak i pro trojsklo):

$$U_g = \frac{1}{R_{si} + R_{g1} + R_m + R_{g2} + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_{g1}}{\lambda_g} + \frac{1}{h_s} + \frac{d_{g2}}{\lambda_g} + \frac{1}{h_e}} \quad (4)$$

kde je:	
R_{si}, R_{se}	odpor při přestupu tepla [W/(m²K)]
R_{g1}, R_{g2}	tepelný odpor tabule skla [(m²K)/W]
R_m	tepelný odpor mezery mezi skly [(m²K)/W]
d_{g1}, d_{g2}	tloušťka skla [m]
λ_g	tepelná vodivost skla [W/(mK)]
h_i, h_e	součinitel přestupu tepla [W/(mK)]
h_s	tepelná propustnost mezery [W/(m²K)]

Dosažením rovnic pro výpočet jednotlivých veličin dle [1] do vztahu 4 dostaneme výslednou rovnici pro výpočet U_g :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{[K_1 * (t_1 - t_2)^{1/3}] + (C_{vs} * \xi * \varphi)} + \frac{d_{g1}}{\lambda_g} + \frac{1}{h_g + h_r} + \frac{d_{g2}}{\lambda_g} + \frac{1}{(K_2 * \frac{v^{0,8}}{h^{0,2}}) + (C_{vs} * \xi * \varphi)}} \quad (5)$$

kde je:

- K_1 – činitel korekce stanovený dle určující teploty [1],[2]
- θ_1, θ_2 – teplota vzduchu a povrchu konstrukce [°C]
- K_2 – činitel korekce stanovený dle určující teploty [1],[2]
- v – rychlost proudění [m/s]
- h – délka obtékané plochy [m]
- φ – poměr osálení (uvažovaná hodnota 1)
- ξ – teplotní činitel
- C_{vs} – součinitel vzájemného osálení mezi plochami závislý na součiniteli sálení černého tělesa a na emisivitě povrchu skla
- h_r – součinitel přestupu tepla při sálení ($\alpha_s = C_{vs} * \xi * \varphi$) [W/(m²K)]
- h_g – tepelná propustnost charakterizující šíření tepla vedením a prouděním
- $h_g = \frac{\varepsilon_k * \lambda}{d_{vv}}$; [W/(m²K)] [1],[2]
- ε_k – činitel konvekce dle [2], λ – tepelná vodivost plynu
- d_m – tloušťka mezery mezi skly

2.3.2. Vstupní hodnoty pro výpočet U_g a jejich nepřesnosti

Pro výpočet bylo zvoleno zasklení:

– dvojsklo se složením: vnější nepokovené

sklo 4 mm – 16 mm Argon 90 % – 4 mm
vnitřní pokovené sklo

– trojsklo se složením: vnější pokovené sklo

4 mm – 16 mm Argon 90 % – 4 mm – 16 mm

Argon 90 % – 4 mm vnitřní pokovené sklo

Prvotní výpočet byl proveden s hodnotami viz tabulka 1 bez započtení nepřesností.

Tabulka 1 – Vstupní hodnoty (příklad pro dvojsklo)

- teplota interiéru	θ_{ai} [°C]	20
- teplota exteriéru	θ_e [°C]	-15
- emisivita vnitřního prostředí	ε [-]	0,9
- emisivita vnějšího prostředí	ε [-]	0,9
- emisivita nepokoveného skla	ε [-]	0,84
- emisivita pokoveného skla	ε [-]	0,037
- tloušťka skla	d_g [m]	0,004
- tloušťka mezery	d_m [m]	0,016
- rychlost proudění větru	v [m/s]	4
- výška skla	h [m]	1,4

Protože jsou veličiny, které charakterizují výměnu tepla závislé na teplotě, stanoví se součinitel prostupu tepla postupně aproximací v několika krocích.

V dalších výpočtech byly vstupní hodnoty postupně dosazovány se započtením jejich nepřesností (viz tabulka 2). Nejprve byly dosazeny hodnoty s nepřesností jednotlivě pro každou veličinu a na závěr je pak počítáno s kombinací veličin (včetně nepřesností), se kterými byla odchylka výsledku největší.

Tabulka 2 – Odchytky měřených hodnot

vlastnost	veličina	tolerance	zdroj
teplota vnitřního vzduchu	θ_{ai} [°C]	±0,25	[8]
teplota vnějšího vzduchu	θ_e [°C]	±0,25	[8]
emisivita skla	ε [-]	±0,02	[9]
tloušťka skla	d_g [m]	±0,0002	[5]
tloušťka mezery mezi skly	d_m [m]	±0,001	[5]
rychlost proudění vzduchu	v [m/s]	±0,2	[7]

2.3.3. Výsledky výpočtu U_g

V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty U_g stanovené s vlivem započtení nepřesnosti jedné veličiny

(řádek 1 - 20). V řádku 21 - 24 jsou výsledky (maximální a minimální hodnoty) po zahrnutí tolerancí více veličin dohromady. Výsledné

hodnoty jsou porovnány s prvním základním výpočtem (řádek č.1) a změny výsledných hodnot jsou vyjádřeny v procentech.

Tabulka 3 – Výpočet a porovnání výsledných hodnot

řádek č.	θ_e	ϵ_4	dg_2	ϵ_3	dm	ϵ_2	dg_1	ϵ_1	θ_{ai}	v	h	U_g	rozdíl	
	[°C]	[-]	[m]	[-]	[m]	[-]	[m]	[-]	[°C]	[m/s]	[m]	[W/(m ² K)]		%
základní hodnota	-15	0,84	0,004	0,84	0,016	0,04	0,004	0,84	20	4	1	1,1	0	100
1	-0,3											1,11	0,002	0,181
2									0,25			1,11	0,003	0,272
3	0,25											1,1	-0,001	-0,091
4									-0,3			1,1	-0,002	-0,181
5	-0,3								0,25			1,1	-0,004	-0,363
6	0,25								-0,3			1,11	0,004	0,363
7	-0,3								-0,3			1,1	0,000	0,000
8	0,25								0,25			1,1	0,001	0,091
9			-2E-04				-2E-04					1,1	0,001	0,091
10			0,0002				0,0002					1,1	0,000	0,000
11					-0							1,1	-0,002	-0,181
12					0,001							1,11	0,005	0,453
13		-0		-0				-0				1,1	-0,002	-0,181
14		0,02		0,02				0,02				1,11	0,003	0,272
15						-0,02						1,05	-0,055	-4,986
16						0,02						1,16	0,054	4,896
17		-0		-0		-0,02		-0				1,05	-0,057	-5,168
18		0,02		0,02		0,02		0,02				1,16	0,057	5,168
19										-0,2		1,1	-0,002	-0,181
20										0,2		1,11	0,003	0,272
21	-0,3				-0	0,02			-0,3			1,15	0,051	4,624
22	0,25				0,001	-0,02			0,25			1,05	-0,050	-4,533
23	-0,3	0,02		0,02	-0	0,02		0,02	-0,3			1,16	0,054	4,896
24	0,25	-0		-0	0,001	-0,02		-0	0,25			1,05	-0,052	-4,714

Pro zadané vstupní hodnoty byly vypočteny součinitele přestupu tepla $h_i = h_{ik} + h_{is} = 7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a $h_e = h_{ek} + h_{es} = 21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, které jsou při porovnání s normovými hodnotami ($h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) nižší, proto základní hodnota (bez nepřesností) U_g vychází menší než při dosazení normových součinitelů přestupu tepla. V tabulce 4 jsou shrnuty výsledky výpočtu a pro porovnání jsou uvedeny hodnoty stanovené při dosazení normových hodnot h_i , h_e a hodnota deklarované výrobcem.

 Tabulka 4 – Výpočet U_g se zahrnutím nepřesnosti

sklo	Základní hodnota (bez nepřesnosti)	Rozptyl hodnot se započtením nepřesnosti 1 veličiny	Rozptyl hodnot se započtením nepřesností více veličin	Hodnota s normovými $h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	hodnota deklarovaná výrobcem
$U_{g,dvojskla}$	1,103	1,046 – 1,157	1,051 – 1,157	1,126	1,1
$U_{g,trojskla}$	0,625	0,589 – 0,66	0,585 – 0,664	0,635	0,6

Při uvažování nepřesnosti dosazovaných veličin se rozptyl hodnot U_g pohybuje po zaokrouhlení v rozmezí 1,1 – 1,2 W/(m²K) pro dvojsklo a 0,59 – 0,66 W/(m²K) pro trojsklo.

3. Vyhodnocení vlivu nepřesnosti vstupních hodnot na výsledné U_w

Vliv nepřesností vstupních hodnot na výslednou hodnotu součinitele prostupu

tepla oknem U_w bylo provedeno v závislosti na velikosti otvorové výplně. Velikosti otvorů byly zvoleny dle výrokové normy ČSN EN 14351-1+A1 viz tabulka 5. V tabulce 6 jsou shrnuty

hodnoty použité pro finální hodnocení U_w oken. Tabulka 7 a 8 uvádí výsledky výpočtů U_w pro okna s dvojsklem a trojsklem.

Tabulka 5 – Velikosti hodnocených oken

Okno	šířka [m]	šířka [m]	plocha [m ²]
1	1,23	1,48	1,82
2	1,54	1,48	2,28
3	0,92	1,11	1,02
4	1,48	2,18	3,23
5	1,85	2,73	5,04
6	1,48	1,64	2,42

Tabulka 6 – Varianty vstupních hodnot

Typ rámu	rám			zasklení			distanční rámeček		
	U_f deklar	U_f s nepřesností		U_g deklar	U_g s nepřesností		ψ deklar	ψ s nepřesností	
		-3%	+3%		-	+		-3%	+3%
rám pro okno s dvojskl.	1,2	1,164	1,236	1,1	1,051	1,157	0,04	0,039	0,041
rám pro okno s trojskl.	0,9	0,873	0,927	0,6	0,585	0,664	0,03	0,029	0,031

 Tabulka 7 – Vyhodnocení U_w oken s dvojsklem

Okno	U_w z deklar. hodnot	U_w s vlivem nepřesností	
		-	+
1	1,2	1,1	1,2
2	1,2	1,1	1,2
3	1,2	1,2	1,3
4	1,2	1,1	1,2
5	1,2	1,1	1,2
6	1,2	1,1	1,2

 Tabulka 8 – Vyhodnocení U_w oken s trojsklem

Okno	U_w z deklar. hodnot	U_w s vlivem nepřesností	
		-	+
1	0,73	0,71	0,79
2	0,72	0,70	0,78
3	0,77	0,75	0,82
4	0,71	0,69	0,76
5	0,69	0,67	0,74
6	0,72	0,70	0,77

4. Závěr

Výsledná odchylka vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla oknem U_w dosahuje až $\pm 0,1$ W/(m²K) resp. pro okno s dvojsklem a až $\pm 0,05$ W/(m²K) pro okno s trojsklem.

Okno s dvojsklem s deklarovanou hodnotou $U_w = 1,2$ W/(m²K) dosahuje po započtení případných odchylek (měření, výpočtových programů) hodnot U_w v rozmezí (1,1 až 1,3) W/(m²K). Okno s trojsklem s deklarovanou hodnotou $U_w = 0,73$ W/(m²K) dosahuje po započtení případných odchylek (měření, výpočtových programů) a se zohledněním konkrétní velikosti okna hodnot U_w v rozmezí (0,69 až 0,82) W/(m²K).

Použitá literatura:

- [1] Řehánek, J. – *Tepelná akumulace budov.* ČKAIT, Praha, 2002
- [2] Řehánek, J., Janouš, A., Kučera, P., Šafránek, J. – *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov.* Grada, 2002
- [3] Novák, M. – *Teorie tolerancí soustav.* Academia, Praha, 1987
- [4] ČSN EN 673 + A1 *Sklo ve stavebnictví – Stanovení součinitele prostupu tepla (hodnota U) – Výpočtová metoda*
- [5] *Příručka pro tolerance se směrnici k posouzení vizuální kvality skla pro stavebnictví;* Saint-Gobain Glass

[6] *International glazing database 18.2 – program Window 6.3*

[7] *Technický list Viasala WMT700 WINDCAP ultrazvukový anemometr*

[8] *Technický list Viasala veriteq temperature data recorder s1000/1400 měřič teploty*

[9] *ČSN EN 12898 Sklo ve stavebnictví – Stanovení emisivity*

[10] *ČSN EN 14351-1+A1*

[11] *ČSN EN ISO 10077-1*

[12] *ČSN EN ISO 10077-2*

VÝZVA K PŘIHLÁŠENÍ FIREMNÍCH PREZENTACÍ A ÚČASTNÍKŮ NECHCEME, NEBO NEUMÍME SPRÁVNĚ MONTOVAT OKNA ?



www.stavokonzult.cz



konference

OTVOROVÉ VÝPLNĚ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Dne 13–14. 10. 2015 se v Hradci Králové bude konat již 10. ročník