

STANOVENIE SÚČINITELĽA PRECHODU TEPLA ZRUBOVÝCH STIEN NA ZÁKLADE JEDNOROZMERNÉHO ŠÍRENIA TEPLA

DETERMINING THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF LOG-CABIN WALLS BASED ON ONE DIMENSIONAL THERMAL TRANSMITTANCE

Stanislav Jochim

ABSTRAKT

An accurate calculation of heat transfer coefficient (U -value) for the specific log-cabin walls (elements and layers with non-constant cross-sectional thickness) can be directly determined using the more complex method of two-dimensional heat conduction. For the specific software, the graphic geometric input of wall structure is required to process. In the programs themselves, processing of graphics input of the specific log construction is rather complicated. Therefore, other compatible graphics software CAD are used for graphic processing.

The method of calculation of thermal resistance and heat transfer coefficient for building components is given in the current standard STN EN ISO 6946. The standard does not provide any special simplified procedure of calculation of thermal resistance or U -value for the specific log-cabin building components of external walls.

The aim of the work is to determinate heat transfer coefficient for the log-cabin walls using modified method according to the STN EN ISO 6946 on one-dimensional thermal transmittance. For modification of the method for substitution of profile elements of the log walls of constant thickness, it will be necessary to determine and analyze the dimensional and areal substitution method.

The paper presents methodically reliable procedure for the exact determination of U -value for specific log-cabin walls based on one dimensional thermal transmittance in accordance with the calculation method according to the EN EN ISO 6946.

Key words: heat transfer coefficient, log-cabin walls, thermal resistance, U -value.

ÚVOD

V praxi má stúpajúci trend výstavba drevostavieb. Medzi realizované konštrukcie patria špecifické zrubové konštrukcie z rôznych profilov prvkov ako napr. prizmy, guliače, polguliače a pod., v zložení jednovrstvových alebo viacvrstvových obvodových stien.

Špecifické zrubové konštrukcie obvodových stien sa vyznačujú prvkami, stykmi a vrstvami s nekonštantnou hrúbkou prierezu. Na základe zložitejšieho geometrického tvaru prvkov, alebo priečného prierezu konštrukcie steny je stanovenie súčiniteľa prechodu tepla

zložitejšie, odborne a časovo náročnejšie v porovnaní s konštrukciou stien s prvkami a vrstvami s jednoduchým štvorcovým alebo obdĺžnikovitým tvarom a konštantnou hrúbkou materiálu.

Súčiniteľ prechodu tepla U patrí k základným požadovaným tepelnotechnickým vlastnostiam stavebných konštrukcií. Slúži na výpočet tepelných strát budovy prechodom tepla, ktoré ovplyvňujú splnenie záväzného kritéria energetickej hospodárnosti budovy. V praxi je potrebné čo najpresnejšie stanovenie súčiniteľa prechodu tepla U za použitia jednoduchých a spoľahlivých metód výpočtu, bez nutnosti použitia špecializovaných softvérov.

Pravidlá na výpočet tepelného odporu a súčiniteľa prechodu tepla stavebných konštrukcií určuje STN EN ISO 6946. Norma neuvádza osobitný zjednodušený postup výpočtu tepelného odporu R alebo U -hodnoty pre špecifické zrubové konštrukcie.

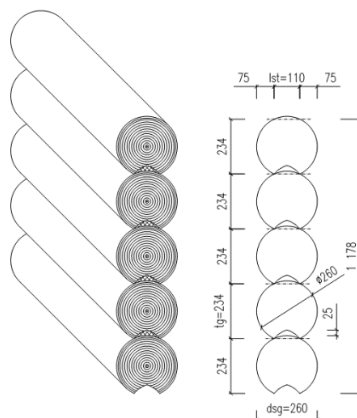
Experimentálnym a výpočtovým stanovením súčiniteľa prechodu tepla stavebných materiálov a konštrukcií podľa EN 12667 a EN 6946 sa zaoberajú autori ROZINS, IEJAVS (2014). Autori sa zameriavajú na materiál Dendrolight s aplikáciou v stenových konštrukciách. Autor GORGOLEWSKI (2007) sa zaoberá výpočtom súčiniteľa prechodu tepla U pre nehomogénne ľahké oceľové konštrukcie stavieb modifikovanou metódou na základe jedorozmerného šírenia tepla. Ďalej výpočtovým stanovením U -hodnoty drevených stien konštruovaných z malých guliačov orezaných zo 4 strán sa zaoberá autor RESCH (1999). Určením vplyvu tepelných mostov drevených rámových konštrukcií pre reálnejší výpočet tepelného odporu sa zaoberajú autori QASASS *et al.* (2014). Experimentálnym meraním U -hodnôt rôznych obvodových stien a porovnaním s výpočtovými hodnotami sa zaoberá autor SIVIOUR (1994). Problematike zameranej na stanovenie U -hodnoty zrubových stien z guliačov na základe jednorozmerného šírenia tepla sa uvedení a iní autori zatiaľ nezaoberali.

Cieľom práce je stanovenie súčiniteľa prechodu tepla zrubových stien z guliačov modifikovanou metódou podľa STN EN ISO 6946 na základe jednorozmerného šírenia tepla. Pre modifikáciu metódy k substitúcii profilu guliačov zrubovej steny na konštantnú hrúbku stanoviť a analyzovať rozmerovú a plošnú substitučnú metódu.

METODIKA

1. Vzorka pre stanovenie súčiniteľa prechodu tepla

Pre splnenie cieľa práce bola vybraná zrubová obvodová stena zo smrekových guliačov, konštrukčne uvedená na obr. 1.



Obr. 1 Zrubová obvodová stena z guliačov ZG/260.

Fig. 1 Log-cabin exterior walls ZG/260.

2. Okrajové podmienky a výpočtové hodnoty materiálov

Okrajové podmienky výpočtu sú v súlade s STN 73 05040-2:2012. K teoretickej analýze boli použité výpočtové hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti λ materiálov podľa noriem uvedených v tab. 1.

Tab. 1 Materiály a hodnoty fyzikálnych veličín materiálov navrhovaných obvodových stien.

Tab. 1 Materials and values of physical quantities of materials proposed exterior walls.

P. č.	Materiál	Objemová hmotnosť v suchom stave ρ_d [kg/m ³]	Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W/(m·K)] pre staveb. konštrukcie		Merná tepelná kapacita c [J/(kg·K)]	Faktor difúzneho odporu μ [1]
			vonkajšie	vnútorné		
Hodnoty dreva podľa STN EN ISO 10456/AC						
1.	Mäkké drevo kolmo k vláknam	500	0,13			50
Hodnoty podľa STN 73 0540-3.						
2.	Mäkké drevo kolmo k vláknam - smrek	400	0,18	0,15	2510	157
3.	Izolácia z minerálnej vlny	15	0,040	0,038	940	2,5
Hodnoty dreva podľa ČSN 73 0540-3						
4.	Smrek, jedľa - tepelný tok kolmo na vlákna, vlhkosť 15 %	450–500	0,14		2 000 až 2 400	

3. Stanovenie súčiniteľa prechodu tepla U -hodnoty pre zrubové steny z guliačov modifikovanou metodikou jednorozmerného šírenia tepla

Metóda jednorozmerného šírenia tepla - výpočet má jednoduchý postup. Dôležitá je konštantná hrúbka a výpočtový súčiniteľ tepelnej vodivosti materiálov (vrstvy) konštrukcie.

Metóda stanovenia súčiniteľa prechodu tepla U podľa STN EN ISO 6946 pre zrubové steny z guliačov nevyhovuje **priamym použitím** na základe jednorozmerného šírenia tepla. Dôvodom je, že zrubové prvky steny – guliače majú nekonštantnú hrúbku prierezu. **Potrebné je základný postup stanovenia U -hodnoty (podľa uvedenej normy) modifikovať doplnením substitučnej metodiky profilu guliačov zrubovej steny t.z. profil guliača $\phi = d_{sg} =$ nekonštantná hrúbka substituovať na $d_{sgr} =$ konštantná hrúbka (obr.1).**

Teoretické východisko určenia konštantnej hrúbky guliačov: na presnom stanovení U -hodnoty zrubovej steny z guliačov na základe metódy jednorozmerného šírenia tepla sa zúčastňuje celý tvar profilu guliačov substituovaný na konštantnú hrúbku.

Metódy substitúcie profilu guliača na konštantnú hrúbku

Zrubová obvodová stena z guliačov - všeobecné konštrukčné údaje (obr.1):

- priemer guliačov: $\phi = d_{sg} = 260$ mm,
- horizontálna šírka styku z pričného rezu: $l_{st} = 110$ mm,
- vložená tepelná izolácia v styku: $hr. = \max. 25$ mm.

Riešenie 1: rozmerová substitučná metóda – vychádza z priemeru guliačov a dĺžky styku v pričnom smere steny. Je zjednodušená a približná metóda substitúcie profilu guliačov zrubovej steny na konštantnú hrúbku. Postup pre určenie konštantnej hrúbky guliača odvodený z konštrukčného riešenia je nasledovný (obr. 1):

Substitúcia profilu guliača na konštantnú hrúbku: $d_{sgr} = (d_{sg} + l_{st})/2$ [mm]

kde: d_{sg} - je priemer guliača [mm²],

l_{st} - šírka ložnej plochy guliačov [mm].

Konštantná hrúbka profilu guliača po substitúcií: $d_{sgr} = 185$ mm

Riešenie 2: plošná substitučná metóda – vychádza z plochy profilu guliača. Je presná metóda substitúcie profilu guliačov zrubovej steny na konštantnú hrúbku. Postup odvodený z konštrukčného riešenia steny je nasledovný (obr. 1):

1. Vzťah pre výpočet plochy guliača: $A_g = (\pi \cdot d_{sg}^2) / 4 - A_{st}$ [mm²]
 2. Substitúcia profilu guliača na konštantnú hrúbku: $d_{sgr} = A_g / t_g$ [mm]
- kde: A_{st} - je plocha styku [mm²],
 t_g - vertikálny rozostup medzi stykmi guliačov [mm].

Konštatná hrúbka profilu guliača po substitúcií: $d_{sgr} = 215$ mm

Po substitúcií profilu guliačov t.z. d_{sg} = nekonštantná hrúbka v smere osi x na d_{sgr} = konštantná hrúbka, môžeme použiť na stanovenie U -hodnoty zrubovej steny z guliačov základný postup v súlade STN EN ISO 6946.

Na základe metódy ustáleného teplotného stavu a zjednodušených výpočtových vzťahov podľa uvedenej normy pracuje napr. simulačný softvér Fragment, ktorý bol ďalej použitý pre stanovenie U -hodnoty zrubovej steny z guliačov.

4. Metódy pre verifikáciu výsledku stanovenia súčiniteľa prechodu tepla

a) **Metóda dvojrozmerného teplotného poľa** – využívaná je na presné určenie U -hodnoty geometricky zložitých a nehomogénnych konštrukcií, alebo konštrukcií s tepelnými mostmi.

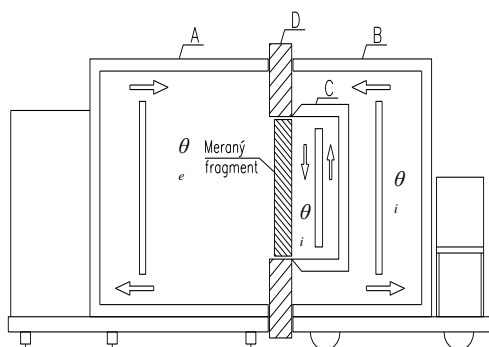
K stanoveniu U -hodnoty danou metódou bol použitý program Therm. Simulačný softvér je postavený na Furierovej parciálnej diferenciálnej rovnici vedenia tepla, využívajúci riešenie metódou konečných prvkov. Na grafické spracovanie špecifických zrubov bol použitý kompatibilný grafický softvér CAD.

b) **Experimentálne stanovenie súčiniteľa prechodu tepla** - metódou teplej komory s použitím meradla tepelného toku. Experimentálne merania boli prevedené pomocou veľkej klíma komory na STU SF Bratislava. Použitý bol fragment obvodovej zrubovej (obr. 1) s rozmerom 1180 × 1180 mm. Realizované boli 3 merania a určená priemerná hodnota.

Zariadenie a princíp merania

Meracie zariadenie v zostave pre uvedené meranie pozostáva zo štyroch základných častí a schématický je znázornený na obr. 2:

- A - pevná klimatická,
- B - mobilná klimatická komora,
- C - mobilná menšia klimatická komora tzv. „HOT - BOX“ pre presné meranie základných teplotných charakteristík obalových konštrukcií budov.
- D - maskovací panel známych teplotných vlastností, s merným otvorom 1190 × 1190 mm.



Obr. 2 Schéma laboratórneho zariadenia veľkej klíma komory.
 Fig. 2 Scheme of laboratory equipment large climate chamber.

Princíp merania

V použitej meracej zostave komora A simuluje vonkajšiu klímu s nasledovnými

parametrami: vonkajšia teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, tlakový rozdiel exteriér - interiér 0 Pa , súčiniteľ prestupu tepla $h_e = 23\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Komora B tvorí kompenzačnú komoru pre HOT - BOX a simuluje vnútornú klímu s nasledovnými parametrami: vnútorná teplota $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlhkosť 50% .

HOT - BOX slúži na meranie tepelného toku meraným prvkom za súčasného simulovania nasledovných interiérových podmienok: vnútorná teplota $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlhkosť 50% , súčiniteľ prestupu tepla $h_i = 8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Po dosiahnutí ustáleného teplotného režimu meraného prvku na základe kontrolnej techniky klíma komory sa merajú všetky uvedené fyzikálne veličiny najmenej dve hodiny. Meranie a záznam nameraných hodnôt sa opakuje v intervale dve minúty.

Tepelný odpor meraného prvku je stanovený podľa vzťahu:

$$R = A \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ae}) / Q \quad [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$$

Všetky uvedené fyzikálne veličiny sú priemerné hodnoty za posledné dve hodiny merania. Z tepelného odporu R (R -hodnota) a z normových podmienok pre R_{si} a R_{se} je stanovený súčiniteľ prechodu tepla U :

$$U = 1/R_{si} + R + R_{se} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

kde: $R_{si} = 0,125\text{ [m}^2\text{K/ W]}$, $R_{se} = 0,043\text{ [m}^2\text{K/ W]}$

VÝSLEDKY

1. Výsledky U hodnôt stanovené modifikovanou metodikou jednorozmerného šírenia tepla

Tab. 1 Jednoplášťová stena z guliačov ZG/260 – podľa konštantných hrúbok.

Tab. 1 Single-petticoat log-cabin wall ZG/260 – according to the calculation of thicknesses.

P. č.	Výpočtová hodnota smrekového dreva λ [W/(m·K)]	Výsledná U - hodnota [W/(m ² ·K)]		Poznámka
		rozmerová substitučná metóda konšt. hr. 185 mm	plošná substitučná metóda konšt. hr. 215 mm	
1	2	3	4	5
1.	0,13	0,63	0,55	STN EN ISO 10456/AC:2010
2.	0,14	0,67	0,59	ČSN 73 0540-3:2005
3.	0,18	0,83	0,73	STN 73 0540-3:2012

Poznámka: Pre stanovenie U - hodnoty bol použitý program Fragment.

2. Výsledky U - hodnôt: dvojrozmerné šírenie tepla a experimentálne stanovenie

Tab. 2 Overenie U -hodnoty zrubových stien: vzájomné porovnanie výsledkov.

Tab. 2 Verification U -values of log-cabin walls: inter-comparison results.

P.č.	Spôsob stanovenia U -hodnoty	Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ smreka [W/(m·K)]	Výsledná U -hodnota [W/(m ² ·K)]	Poznámka
1	2	3	4	5
1.	Dvojrozmerné šírenie tepla	0,13	0,52	STN EN ISO 10456/AC:2010
		0,14	0,56	ČSN 73 0540-3:2005
		0,18	0,69	STN 73 0540-3:2012
2.	Experiment – priemerná hodnota		0,60	

DISKUSIA

Ak by sme pre výpočet U -hodnoty zrubovej steny z guliačov metódou jednorozmerného šírenia tepla dosadili priamo priemer guliača 260 mm (obr.1), dostaneme $U = 0,46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, čo je veľmi nepresný výsledok, nakoľko priemer nepredstavuje konštantnú hrúbku steny. Priame použitie priemeru guliača ako konštantnej hrúbky je teda nevyhovujúce pre presné stanovenie U -hodnoty metódou podľa STN EN ISO 6946 na základe jednorozmerného šírenia tepla. Pre daný prípad je potrebná modifikácia metodiky.

Ak pre výpočet U -hodnoty zrubovej steny z guliačov použijeme konštantnú hrúbku podľa rozmerovej substitučnej metódy (185 mm), dostaneme výsledky uvedené v tab. 1 stĺpec 3, ktoré sú:

- vyššie v priemere o 20,4 % v porovnaní s výsledkami podľa metódy dvojrozmerného šírenia tepla v tab.2, riadok 1, stĺpec 4.
- vyššie o 5 až 38 % v porovnaní s experimentálnym výsledkom v tab.2, riadok 2, stĺpec 4. Výsledky sa líšia významným rozdielom.

Ak pre výpočet U -hodnoty zrubovej steny z guliačov použijeme konštantnú hrúbku podľa plošnej substitučnej metódy, (215 mm) dostaneme výsledky uvedené v tab. 1 stĺpec 4, ktoré sú:

- vyššie v priemere o 5,7 % v porovnaní s výsledkami podľa metódy dvojrozmerného šírenia tepla v tab.2, riadok 1, stĺpec 4.

V porovnaní s experimentálnym výsledkom ($U = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) v tab.2, riadok 2, stĺpec 4 sú výsledky rozdielne nasledovne:

- pri hodnote $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ je U -hodnotota $0,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nižšia o 8,3 %,
- pri hodnote $\lambda = 0,14 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ je U -hodnotota $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nižšia o 1,7 %,
- pri hodnote $\lambda = 0,18 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ je U -hodnotota ($0,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) vyššia o 21,7 %.

Presnosť stanovenia U -hodnoty zrubovej steny z guliačov je teda závislá na presnosti výpočtu konštantnej hrúbky profilu guliača uvedenými substitučnými metódami. Pri výpočte U -hodnoty pri konštantnej hrúbke steny (215 mm) z plošnej substitučnej metódy sú výsledky 3,5 násobne presnejšie vzhľadom na výsledky U -hodnot pri konštantnej hrúbke steny (185 mm) z rozmerovej substitučnej metódy.

Samozrejme, výsledok U -hodnoty konštrukcie ovplyvňuje aj výpočtová hodnota λ materiálu, avšak substitučné metodiky profilu guliača na konštantnú hrúbku neovplyvňuje, nevstupuje do vzťahov pre výpočet. Najväčšiu zhodu presnosti vykazuje stanovenie U -hodnoty zrubovej steny z guliačov vyššie použitými metódami pri výpočtovej hodnote smreka $\lambda = 0,14 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Výpočtové hodnoty λ materiálov sú však štandardne záležitosťou príslušných a platných noriem.

Zjednodušeným a spresneným stanovením U -hodnoty ľahkej ocelevej stavebnej konštrukcie na základe jednorozmerného šírenia tepla sa zaoberá GORGOLEWSKI (2007). Zjednodušený a spresnený postup odvodzuje od základnej metodiky BS EN ISO 6946 a príslušnej metodiky pre výpočet U -hodnoty nehomogénnych konštrukcií. V porovnaní s metodikou pre stanovenie U -hodnoty zrubových konštrukcií z guliačov je základ výpočtu rovnaký podľa základného vzťahu v EN ISO 6946, avšak upravené postupy metodík sú rozdielne na základe východzej materiálovo nehomogénnej ocelevej konštrukcie a zrubových konštrukcií z guliačov. Zhoda v modifikovaných metodikách je v tom, že pre oba prípady je potrebné zohľadniť plochu materiálov pre presnosť výpočtu U -hodnoty.

Autor SIVIOUR (1994) a iné práce potvrdzujú odchýlky medzi experimentálne nameranými a výpočtovými U -hodnotami. Vo všeobecnosti sú experimentálne namerané hodnoty vyššie ako výpočtové hodnoty. Môže ich zapríčiniť viac faktorov ako vyššia tepelná vodivosť materiálov, pohyb vzduchu v dutinách, tepelné mosty konštrukcie, ďalej

faktory merania ako dosiahnutie ustáleného toku tepla, ustálenosť teplotného rozdielu po dobu niekoľkých dní a iné.

Experimentálne vyššia stanovená U -hodnota ($0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) jednovrstvovej zrubovej steny z guliačov sa potvrdila aj v našom prípade, keď ju porovnáme s výsledkami v tab. 1, stĺpec 4 s U -hodnotou $0,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (pri $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) a s U -hodnotou $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (pri $\lambda = 0,14 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$). Konštantná hrúbka steny (215 mm) je z plošnej substitučnej metódy profilu guliača. V ostatných prípadoch výsledkov, keď sú vypočítané U -hodnoty steny vyššie než namerané v konfrontácii napr. s prácou SIVIORA (1994) sa dokazuje, že výsledné U -hodnoty steny sú nesprávne. Jedným dôvodom v našom prípade je nepresná rozmerová substitučná metóda (tab.1, stĺpec 3). Druhým dôvodom je pre smrek nadhodnotený súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda = 0,18 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Experimentálny výsledok tak dokazuje správnosť a presnosť plošnej substitučnej metódy profilu guliača pre modifikáciu metódy jednorozmerného šírenia tepla pre zrubové steny z guliačov.

ZÁVER

V predloženej práci je riešená problematika stanovenia súčiniteľa prechodu tepla zrubových stien z guliačov na základe jednorozmerného šírenia tepla modifikovanou metódou v podľa STN EN ISO 6946. Pre modifikáciu metódy boli navrhnuté a overené dve substitučné metódy profilu guliača na konštantnú hrúbku steny.

Rozmerová substitučná metóda profilu guliača na konštantnú hrúbku steny sa pri overovaní ukázala ako veľmi nepresná. Použitie konštantnej hrúbky zrubovej steny z guliačov z rozmerovej metódy pre stanovenie súčiniteľa prechodu tepla vykazuje vyššie hodnoty. Vhodná je len na približný výpočet tepelnotechnických vlastností konštrukcie.

Plošná substitučná metóda profilu guliača na konštantnú hrúbku steny sa pri overovaní ukázala ako spoľahlivo presná. Použitie konštantnej hrúbky zrubovej steny z guliačov z plošnej metódy pre stanovenie súčiniteľa prechodu tepla vykazuje malé a všeobecne platné odchýlky od výsledkov experimentálnych meraní a výsledkov založených na metóde dvojrozmerného šírenia tepla.

Z uvedeného vyplýva, že modifikovaná metóda v zmysle STN EN ISO 6946 na základe jednorozmerného šírenia tepla s použitím plošnej substitučnej metodiky profilu guliača je vyhovujúca pre jednoduché a prakticky presné stanovenie U -hodnoty zrubových stien z guliačov. K výpočtu netreba iné špecifické výpočtové softvéry, len sa vychádza z rozmerov konštrukcie steny a používajú známe a jednoduché výpočtové vzťahy.

Vedecké a praktické prínosy modifikovanej metódy v zmysle STN EN ISO 6946 na jednorozmerného šírenia tepla pre zrubové steny z guliačov:

1. Zohľadňuje rôznu geometriu profilu zrubového prvku pre stanovenie konštantnej hrúbky vrstvy steny, ovplyvňujúcu stanovenie U -hodnoty.
2. Využíva základné vzťahy podľa STN EN ISO 6946 pre stanovenie U -hodnoty na základe jednorozmerného šírenia tepla.
3. Konštantná hrúbka steny podľa plošnej substitučnej metódy profilu guliača je prakticky jednoducho a presná pre stanovenie U -hodnoty steny.
4. Plošná substitučná metóda profilu guliača na konštantnú hrúbku nie je závislá na výpočtovej hodnote súčiniteľa tepelnej vodivosti λ materiálu.

LITERATÚRA

- GORGOLEWSKI, M. 2007: Developing a simplified method of calculating U -values in light steel framing. *Building and Environment*, 42: 230–236, ISSN: 03601323.
- JOCHIM S. 2003. *Obvodové steny na báze dreva, úspora energie, ekológia*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene 2003. 157 s.
- RESCH, H. 1999: Massivwände aus behauenen rundholz [Solid walls from small timber]. *Holzforschung und Holzverwertung*, 51: 10, ISSN: 00183849.
- ROZINS, R., IEJAVS, J. 2014: Evaluation of thermal properties of wood based composite panel walls. *Research for Rural Development*, 2: 109–114, ISSN: 16914031.
- SIVIOUR, J.B. 1994: Experimental U -values of some house walls. *Building Services Engineering Research and Technology*, 15: 35–36, ISSN: 01436244.
- QASASS, R., GORGOLEWSKI, M., GE, H. 2014: Timber framing factors in Toronto residential house construction. *Architectural Science Review*, 57: 159–168, ISSN: 00038628.
- STN EN ISO 6946: 2008, *Stavebné konštrukcie. Tepelný odpor a súčiniteľ prechodu tepla. Výpočtová metóda*.
- STN EN ISO 10456/AC: 2010 *Stavebné materiály a výrobky. Tepelno-vlhkostné vlastnosti. Tabuľkové návrhové (výpočtové) hodnoty a postupy na stanovenie deklarovanych a návrhových hodnôt tepelnotechnických veličín*.
- STN 73 0540-1: 2002, *Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 1: Terminológia*.
- STN 73 0540-2: 2012, *Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 2: Funkčné požiadavky*.
- STN 73 0540-3: 2012, *Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 3: Vlastnosti prostredia a stavebných výrobkov*.

Adresa autora

Ing. Stanislav Jochim, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta,
T.G. Masaryka 24
960 01 Zvolen
Slovenská republika
jochim@tuzvo.sk