

VLIV LOKÁLNÍCH TEPELNÝCH MOSTŮ NA TEPELNÉ CHOVÁNÍ LEHKÝCH OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ

THE EFFECT OF LOCAL THERMAL BRIDGES ON THERMAL PERFORMANCE OF CURTAIN WALLING

2016

Ing. Roman Jiráček, Ph.D.^[1], *soudní znalec se specializací na otvorové výplně a tepelnou techniku pro lehké obvodové pláště, energetický specialista jmenovaný MPO*

Ing. Petr Jaroš, Ph.D.^[2], *soudní znalec se specializací na obalové konstrukce, střešní konstrukce a podlahy, energetický specialista jmenovaný MPO, autorizovaný inženýr*

DECOEN znalecký ústav s.r.o., DECOEN v.o.s., www.decoen.cz

U-value calculation of curtain walling is one from more difficult calculation in the civil engineering. In according to trend of increasing glassing surface of building envelope, the curtain walling has big influence on thermal behavior of buildings. This is why it is necessary to calculate the thermal insulation properties with special attention. This article focuses on influence of different local thermal bridges on curtain walling U-value.

Key word:

U-value, thermal bridge, heat flow, curtain walling, foundation of filling element, three-dimensional thermal calculations

Klíčová slova:

Součinitel prostupu tepla, tepelný most, tepelný tok, lehké obvodové pláště, nosiče výplňových prvků, třírozměrné tepelné výpočty

1. Úvod

Výpočty součinitelů prostupu tepla U_{cw} lehkých obvodových pláštů patří mezi složitější tepelné technické výpočty konstrukcí ve stavebnictví. Vzhledem k trendu stále se zvětšujících prosklených ploch na obálce budovy mají lehké obvodové pláště výrazný vliv na tepelné chování budov a v neposlední řadě také na splňování požadavků na energetickou náročnost budov zaváděných předpisem č.406/2000 Sb. *Zákonem o hospodaření s energií* a jeho prováděcí vyhláškou č. 78/2013 Sb. *o energetické náročnosti budov*. Toto jsou důvody, proč je nutné výpočtům jejich tepelně-izolačních vlastností věnovat zvýšenou pozornost.

Předkládaný článek se věnuje míře vlivu různých druhů lokálních systematicky se opakujících bodových tepelných mostů na výslednou hodnotu součinitele prostupu tepla U_{cw} lehkého obvodového pláště.

2. Legislativa

K problematice stanovení součinitele prostupu tepla lehkých obvodových pláštů a jeho porovnávání s požadavky se dotýkají především ČSN EN ISO 12631 *Tepelné chování lehkých obvodových pláštů – Výpočet součinitele prostupu tepla* z roku 2013 a ČSN 73 0540 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky* z roku 2011. Přičemž první jmenovaná popisuje stanovení U_{cw} pomocí výpočtu a druhá stanovuje požadavek na součinitel prostupu tepla U_{cw} resp. způsob jeho výpočtu. Požadavek na LOP není jasně stanovená konstantní hodnota, jako

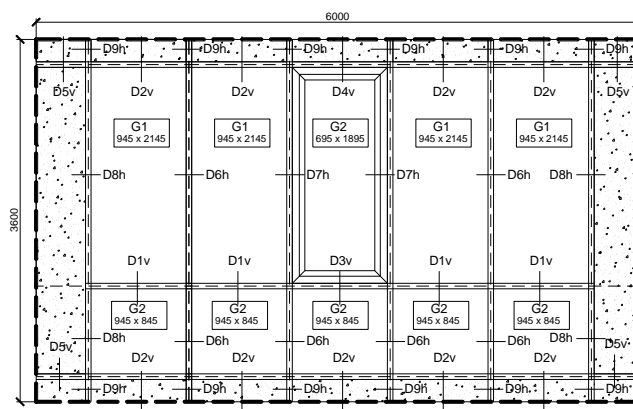
je tomu např. u výplní otvorů. Konečná hodnota požadavku, ať už se jedná o hodnotu požadovanou, doporučenou nebo doporučenou pro pasivní domy, závisí na poměru průsvitných a neprůsvitných částí.

Opomíjeným, avšak neméně důležitým zavázaným legislativním požadavkem v současné době kontrolovaným Státní energetickou inspekcí České Republiky, je požadavek vycházející z předpisu č.406/2000 Sb. *Zákon o hospodaření s energií* a jeho prováděcí vyhlášky č. 78/2013 Sb. *o energetické náročnosti budov*. Jedná se o tzv. splňování požadavků na energetickou náročnost budov na nákladově optimální úrovni pro výstavbu nové budovy nebo při její větší změně a v současné době začínajícího požadavku na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie pro výstavbu určitých typů nových budov. Konkrétně největší problémy vznikají při splňování požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy, které LOP díky své zpravidla velké ploše značnou mírou ovlivňují. Pro splnění požadavku na energetickou náročnost budov na nákladově optimální úrovni pro nové budovy je nutné dosáhnout 0,8 násobku referenční hodnoty a u budov s téměř nulovou spotřebou energie dokonce 0,7 násobku. Dle ČSN 730540-2 je samozřejmě nutné U_{cw} LOP navrhovat maximálně na hodnotu požadovanou, zpravidla však pro splnění výše popsanych požadavků je nutné konstrukce navrhovat na hodnotu daleko nižší. V praxi však často, díky financím, bývá problém splnit i hodnotu požadovanou.

3. Vliv bodových tepelných mostů

3.1 Konstrukce LOP

Pro stanovení míry vlivu systematicky se opakujících bodových tepelných mostů na tepelné chování lehkého obvodového pláště byla zvolena konstrukce lehkého obvodového pláště, ze které dle pravidel ČSN EN ISO 12631 byl stanoven charakteristický element (výsek), jehož výsledná hodnota součinitele prostupu tepla U_{cw} reprezentuje hodnotu celého LOP. Element je zobrazen na obrázku č. 1.

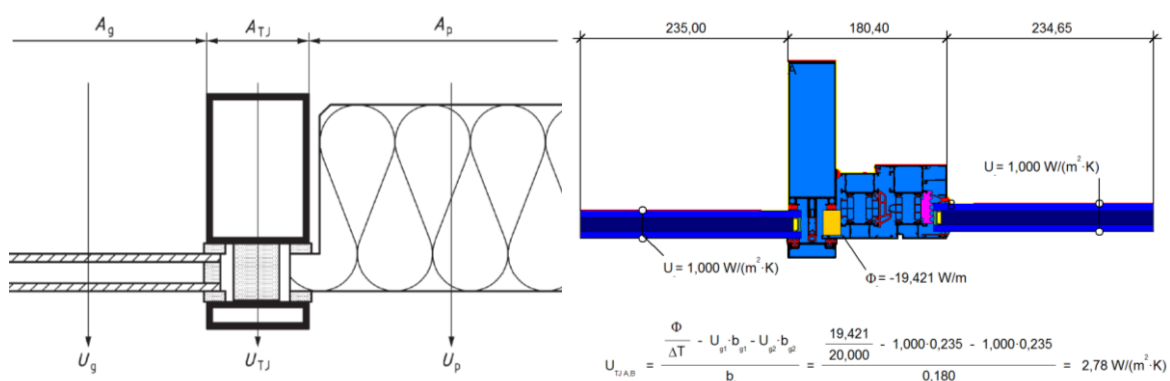


Obrázek 1 posuzovaný charakteristický výsek LOP.

Konstrukce lehkého obvodového pláště se skládá z hliníkového systému rastrové fasády, ze zasklívacích jednotek o součiniteli prostupu tepla $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (izolační dvojsklo) s distančním rámečkem Swisspacer ULTIMATE a z neprůsvitných panelů z minerální izolace a XPS o celkovém součiniteli prostupu tepla $U_p = 0,184 \text{ W/m}^2\text{K}$.

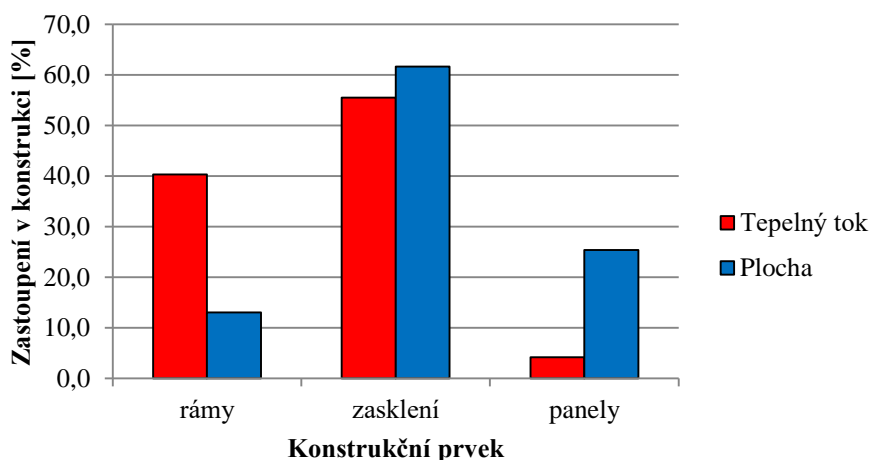
3.2 Výpočet U_{cw}

Výpočet součinitele prostupu tepla U_{cw} charakteristického elementu byl proveden dle ČSN EN ISO 12631 *Tepelné chování lehkých obvodových plášťů – Výpočet součinitele prostupu tepla*, kdy hustota tepelného toku Φ [W/m] mimo výplňové prvky byla stanovena pro jednotlivé detaily dle obrázku č. 1 pomocí plošně závislého součinitele vazby U_{TJ} charakterizujícího tepelný tok skrz sloupek resp. příčník včetně vlivu působení zasklívací spáry. Výpočet byl proveden bez jakýchkoli systematicky se opakujících bodových tepelných mostů ve dvourozměrném teplotním poli v programu Flixo využívající metodu konečných prvků. Příklad výpočtu pro detail D3v spolu s normový obecným příkladem je zobrazen na následujícím obrázku č. 2.



Obrázek 2 příklad výpočtu U_{TJ} dle ČSN EN ISO 12631 vč. výpočtu v programu flixo (detail D3v).

Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla charakteristického elementu lehkého obvodového pláště bez vlivu systematicky se opakujících tepelných mostů je $U_{cw} = 1,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. Procentuální zastoupení míry tepelného toku skrz jednotlivé části elementu zobrazuje následující graf č. 1.



Graf 1 zastoupení tepelného toku a plochy pro jednotlivé prvky konstrukce.

3.2 Systematicky se opakující tepelné mosty v konstrukcích LOP

Lehké obvodové pláště v zásadě vždy obsahují konstrukční prvky, které tvoří tzv. systematicky se opakující tepelné mosty. Jedná se o prvky, o kterých přesně víme jejich polohu, jejich počet i jejich geometrii i materiálové složení a především jsou nedílnou součástí konstrukce. Tyto prvky mají určitý vliv i na celkový součinitel prostupu tepla U_{cw} , který je dán jejich počtem a mírou přídavného tepelného toku, který tvoří. V případě bodových tepelných mostů se však jedná o tzv. trojrozměrné vedení tepla, jehož výpočet, oproti používanému dvojrozměrnému vedení tepla, je značně složitější.

Např. o šroubech se *ČSN EN ISO 12631 Tepelné chování lehkých obvodových plášťů – Výpočet součinitele prostupu tepla* z roku 2013 vyjadřuje, že jejich tepelné efekty nelze zanedbat a udává i metodiku, jak šrouby do výpočtu U_{cw} zahrnout pomocí výpočtu ve dvourozměrném teplotním poli. Šrouby však nejsou jedinými bodovými tepelnými mosty, které se v konstrukci LOP vyskytují. Dále nelze opomenout především nosiče výplňových prvků přenášejících váhu např. zasklívacích jednotek do paždíku případně do sloupku tak, aby váha nezatěžovala přerušování tepelného mostu daného profilového systému. V neposlední řadě je nutné také zmínit hliníkové U-profilové sloužící pro uchycení zasklívacích jednotek v případě tzv. strukturálního zasklení. O těchto tepelných mostech se však *ČSN EN ISO 12631* nezmiňuje. Stavební praxe je proto velmi často ignoruje a ani v odborném tisku se o nich stále nediskutuje, mimo článku diplomanta fakulty stavební v M. Matouše uveřejněném v roce 2013. Budeme se jimi zabírat v následující analýze.

Následující text bude věnován výpočtu bodových činitelů prostupu tepla vybraných typů systematicky se opakujících tepelných mostů a jejich vlivu na U_{cw} příkladného výše popsaného elementu LOP.

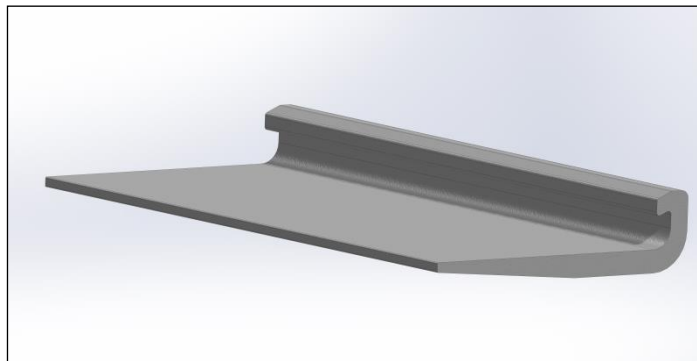
3.2.1 Typy systematicky se opakujících konstrukčních prvků

Pro výpočty byly zvoleny následující konstrukční prvky:

- šrouby pro zasklívací lišty,
- šrouby pro ukotvení výplňových prvků (panelů),
- nosiče výplňových prvků.

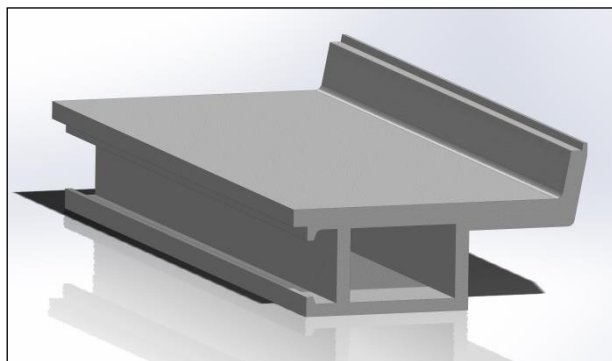
V případě nosičů výplňových prvků jsou v závislosti na váze prvku (zasklívací jednotky) používány tři typy nosičů:

- a) jednoduchý standardní nosič skel (typ A), který nepřerušuje tzv. přerušování tepelného mostu ve středu profilu a je ho možné použít v závislosti na druhu systému do cca 185 Kg váhy zasklívací jednotky. Viz obrázek č. 3.



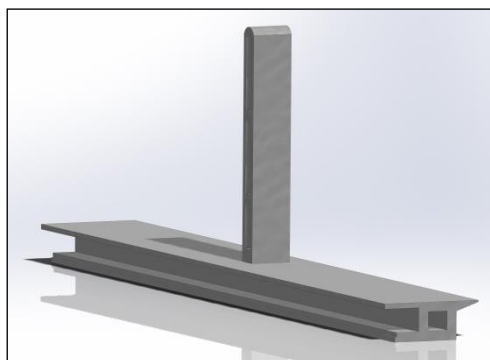
Obrázek 3 jednoduchý nosič skel (typ A).

- b) únosnější nosič (typ B), který přerušuje přerušení tepelného mostu a uchycuje se pomocí vrtů do profilu paždíků a je ho možné použít, opět v závislosti na druhu systému, do cca 445 kg. Viz obrázek č. 4.



Obrázek 4 únosnější nosič (typ B).

- c) nosič ve tvaru T (typ C), který se přichycuje šrouby jak do paždíky, tak do sloupku, a slouží k přenášení váhy velkorozměrných zasklení s velkou hmotností. Viz obrázek č. 5.



Obrázek 5 nosič ve tvaru T (typ C).

Typy nosičů byly zvoleny jako příkladné pro účely článku. Každý profilový systém má své vlastní typy těchto konstrukčních prvků a proto lze předpokládat i odlišené vlivy na tepelné chování lehkých obvodových plášťů.

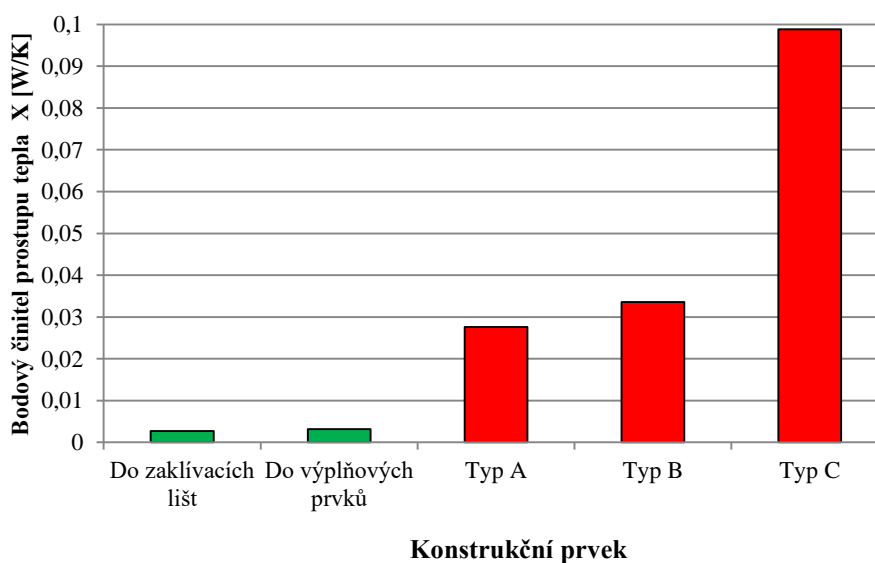
3.2.1 Výpočet bodových činitelů prostupu tepla.

Výpočty tepelných toků všech zvolených konstrukčních prvků byly provedeny v třírozměrném vedení tepla pomocí programu SolidWorks. Prvky byly osazeny do profilového systému použitým ve zvoleném charakteristickém elementu lehkého obvodového pláště. Výpočtový model byl namodelován a vypočten jak pro detail se zvoleným konstrukčním prvkem, tak bez něj. Rozdíl tepelných toků vztažený na rozdíl teplot 1 K je pak zmíněným bodovým činitelem prostupu tepla X [W/K]. Výsledné hodnoty zobrazuje následující tabulka č. 1.

Bodový činitel prostupu tepla X [W/K]				
Šrouby		Nosiče výplňových prvků		
Do zaklívacích lišt	Do výplňových prvků	Typ A	Typ B	Typ C
0,00275	0,00315	0,0276	0,0336	0,0988

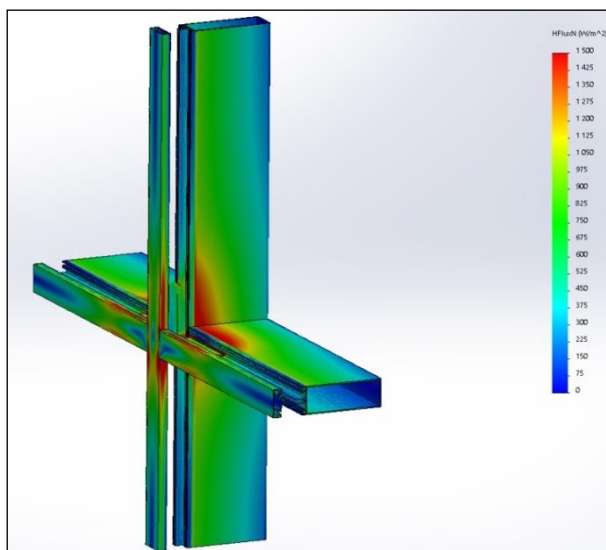
Tabulka 1 výsledné hodnoty bodových činitelů prostupu tepla.

Pro větší přehlednost a vzájemné porovnání hodnot byly výsledky uvedené v předcházející tabulce zaneseny do následujícího sloupcového grafu č. 2.

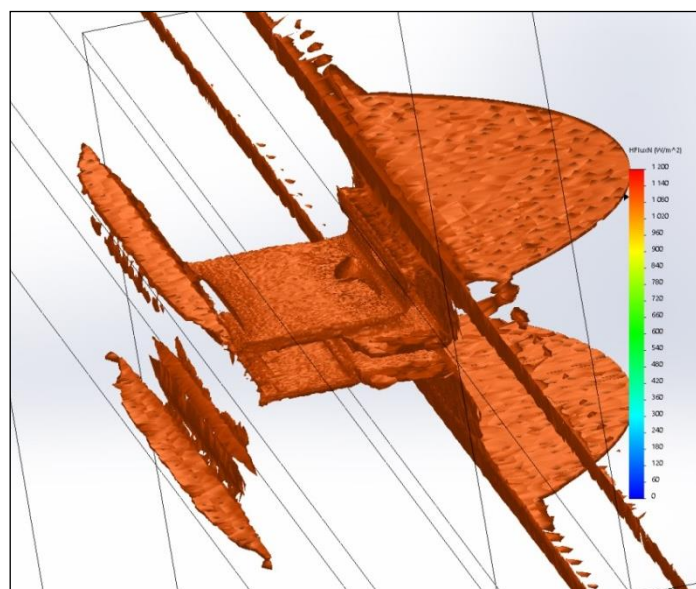


Graf 2 srovnání bodových činitelů prostupu tepla.

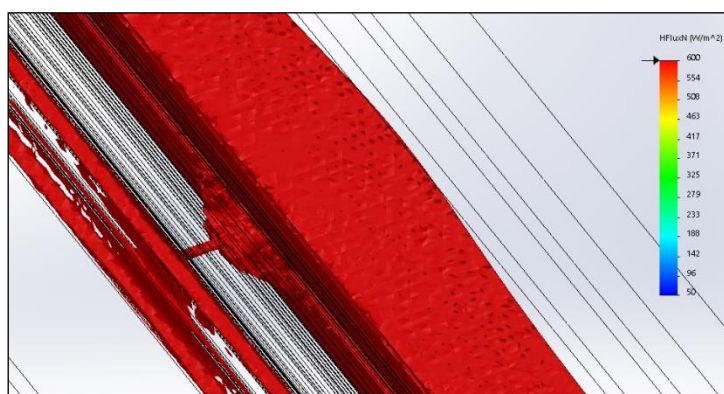
Na následujících obrázcích jsou zobrazeny názorné grafické výstupy výpočtu jednotlivých řešených konstrukčních prvků ve trojrozměrném teplotním poli. Grafické výstupy zobrazují hustoty tepelných toků. Pro grafický výstup nosiče typu C byly skryty, pro větší přehlednost, zasklívací jednotky. Grafický výstup šroubu a podložky typu B je zúžen na rozsah toků, viz stupnice.



Obrázek 6 hustota tepelných toků detailu s nosičem typu C.



Obrázek 7 hustota tepelných toků detailu s podložkou typu B.



Obrázek 8 hustota tepelných toků detailu se zasklívacím šroubem.

3.3 Vliv tepelných mostů na U_{cw}

Aby bylo možné porovnat působení systematicky se opakujícími tepelnými mosty na tepelné chování lehkých obvodových plášťů (U_{cw}), konkrétně na předem zvolený charakteristický výsek, je nutné jejich tepelné toky, dle počtu jejich výskytu, zahrnout do celkového tepelného toku elementu LOP. Vyjádření bude samozřejmě provedeno pomocí součinitele prostupu tepla U_{cw} .

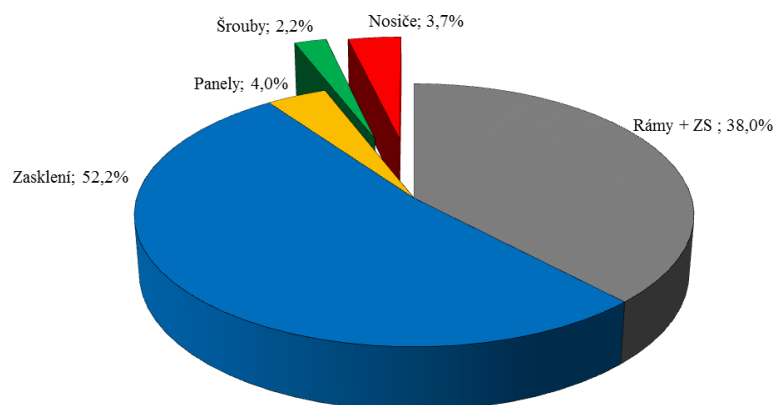
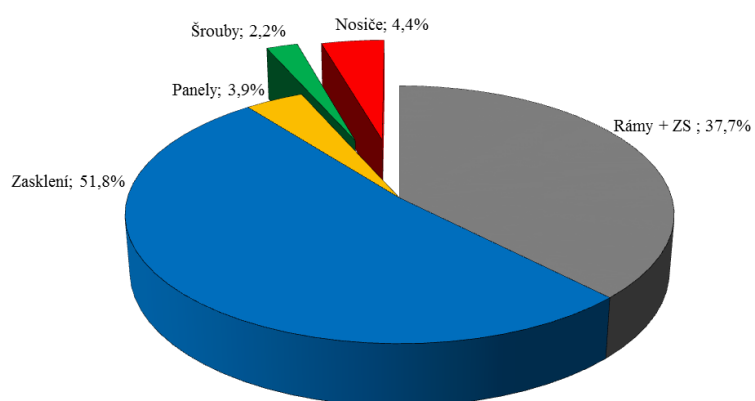
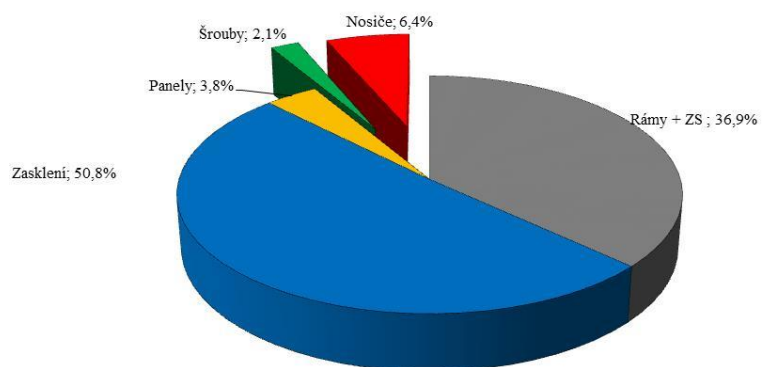
Jak šrouby do zasklívacích lišt, tak i šrouby do výplňových prvků se v konstrukci zvoleného elementu vyskytují v osové vzdálenosti po 300 mm, nosiče skel, případně panelů, jsou vždy dva na jeden prvek výplně. V následujícím srovnání bude proměnnou pouze typ nosiče. Shrnuté výsledky celkového součinitele prostupu tepla U_{cw} zobrazuje následující tabulka. Pro informaci je nutné doplnit, že dle ČSN 730540 – 2 je pro zvolený element LOP požadovaná hodnota $U_{cw,N,20} = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, doporučená hodnota $U_{cw,rec,20} = 0,92 \text{ W/m}^2\text{K}$, doporučená hodnota pro pasivní domy $U_{cw,pas,20} = 0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Celkový součinitel prostupu tepla U_{cw} [$\text{W/m}^2\text{K}$]				
Bez vlivu	Pouze se šrouby	Šrouby + nosiče		
		Typ A	Typ B	Typ C
1,11	1,14	1,18	1,19	1,21

Tabulka 2 výsledky s vlivy různých typů bodových tepelných mostů.

Je nutné však upozornit, že výsledky slouží pouze pro vzájemné rámcové srovnání vlivu jednotlivých konstrukčních prvků, tak aby bylo možné si o jejich působení udělat globální představu. Například použití nosiče typu C by ve zvoleném elementu bylo bezpředmětné, protože hmotností výplňových prvků samozřejmě nepřesahují hodnotu, pro kterou by takovýto nosič musel být použit. V případě použitých výplňových prvků s velikou hmotností by rastr konstrukce LOP byl řidší a bylo by zde použito menší množství nosičů a jejich vliv by byl samozřejmě mírnější.

Na následujících koláčových grafech je zobrazen hlavní výsledek, konkrétně procentuální zastoupení vlivu jednotlivých konstrukčních prvků na celkový součinitel prostupu tepla charakteristického elementu LOP v případě různých typů nosičů.

**Nosič typu A****Graf 3 vliv působení konstrukčních prvků na U_{cw} - nosič typu A.****Nosič typu B****Graf 4 vliv působení konstrukčních prvků na U_{cw} - nosič typu B.****Nosič typu C****Graf 5 vliv působení konstrukčních prvků na U_{cw} - nosič typu C.**

Z výsledků je patrný nezanedbatelný vliv systematicky se opakujících tepelných mostů na celkový součinitel prostupu tepla lehkých obvodových plášťů. Souhrnné působení všech řešených konstrukčních prvků (šroubů a nosičů) vždy překročilo hranici 5%. Je nutné si také všimnout, že už v prvním případě (nosič typu A) je vliv nosičů výrazně vyšší než souhrnný vliv šroubů, o kterých ČSN EN ISO 12631 hovoří jako o prvcích, které nelze zanedbat. Lze tedy jednoznačně tvrdit, že nosiče, jako nedílná součást konstrukce LOP, mají nezanedbatelný vliv na tepelné chování těchto konstrukcí. Zajímavá je také skutečnost, že vliv samotných nosičů v případě zvoleného elementu se buď výrazně blíží vlivu panelů, nebo je dokonce převyšuje.

4. Závěr

V předloženém článku byl pomocí numerických analýz ve dvourozměrných a trojrozměrných tepelných polích analyzován vliv systematicky se opakujících bodových mostů, které tvoří prvky, jež jsou nedílnou součástí konstrukce lehkých obvodových plášťů. Z dosažených výsledků je jednoznačně patrný jejich nezanedbatelný vliv na celkovou hodnotu součinitele prostupu tepla U_{cw} a tedy i vliv na splňování požadavků vycházejících z ČSN 730540 – 2 nebo z předpisu č. 406/2000 *Zákona o hospodaření s energií* a to obzvláště se začínající platností požadavku na výstavbu budov s téměř nulovou spotřebou energie.

Byl také potvrzen výrazně vyšší vliv nosičů výplňových prvků než vliv samotných šroubů. Vzhledem k těmto závěrům je nutné konstatovat, že tyto druhy systematicky se opakujících tepelných mostů, o kterých známe potřebné informace, nelze při výpočtech U_{cw} zanedbat a také s nimi při navrhování lehkých obvodových plášťů musí být dopředu počítáno. Je však důležité upozornit, že se jedná pouze o příkladné srovnání, a je tedy nutné konkrétní vliv a hodnoty pro danou konstrukci LOP vždy pečlivě samostatně posoudit, protože výsledné hodnoty budou záviset na řešené konstrukci LOP.

Shrnutí závěrů:

- *Vliv lehkých obvodových plášťů na průměrný součinitel prostupu tepla je zásadní, zvláště v případě posuzování budov s téměř nulovou spotřebou energií. Je tedy vhodné lehké obvodové pláště navrhovat na nižší hodnoty je požadovaná hodnota dle ČSN 730540 -2.*
- *Vzhledem k postupnému vývoji technicky a konstrukčních systémů a snižování požadavků na TOB začíná být nutné využívat třírozměrných tepelných výpočtů.*
- *Vliv systematicky se opakujících tepelných mostů na U_{cw} je zásadní a proto se musí do výpočtů zahrnovat a to včetně nosičů výplňových prvků, které mají dokonce vyšší vliv než je tomu u šroubů, o kterých se ČSN EN ISO 12631 vyjadřuje, že je nelze zanedbat.*

[1] Ing. Roman Jiráček, Ph.D. (*1982)

je soudním znalcem v oboru stavebnictví se specializací na otvorové výplně a tepelnou techniku lehkých obvodových plášťů. Je energetickým specialistou MPO. Absolvoval doktorské studium na ČVUT Fakultě stavební v Praze. Dva roky pracoval jako tepelný technik ve společnosti Skanska v závodě lehkých obvodových plášťů. Poté strávil čtvrt roku na pracovní stáži v IFT Rosenheim v Německu, kde se soustředil na simulaci tel.: +420 72463899 email: info@decoen.cz

transportu tepla skrz LOP a otvorové výplně. V současné době spoluřídí společnost DECOEN v.o.s. a DECOEN znalecký ústav s.r.o. zaměřující se na tepelnou techniku, na snižování energetické náročnosti budov a projekční činnost.

kontakt: +420 724 638 998, roman.jirak@decoen.cz

[2] Ing. Petr Jaroš, Ph.D. (*1982)

je energetickým specialistou, autorizovaným inženýrem v oboru pozemní stavby a soudním znalcem v oboru stavebnictví se specializací na obalové konstrukce, střešní konstrukce a podlahy. Absolvoval doktorské studium na ČVUT Fakultě stavební v Praze. V současné době spoluřídí společnost DECOEN v.o.s. a DECOEN znalecký ústav s.r.o. zaměřující se na tepelnou techniku, na snižování energetické náročnosti budov a projekční činnost.

kontakt: petr.jaros@decoen.cz

- [1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie, ÚNMZ 2005
- [2] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, ÚNMZ 2011
- [3] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin, ÚNMZ 2005
- [4] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody, ÚNMZ 2005
- [5] ČSN EN ISO 12631 Tepelné chování lehkých obvodových plášťů – Výpočet součinitele prostupu tepla, 2013
- [6] ČSN EN ISO 10077 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1 Všeobecně, 2007
- [7] ČSN EN ISO 10077 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 2 Výpočtová metoda pro rámy, 2012
- [8] MILAN MATOUŠ, Bodový činitel prostupu tepla v lehkých obvodových pláštích. *Tepelná ochrana budov* 1/2013.