

Ing. Roman VAVŘIČKA, Ph.D.
Ing. Michaela ČÁCHOVÁ
ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav techniky prostředí

Tepelné ztráty domu – Metody výpočtu

House Heat Losses – Calculation Methods

Recenzent
Dr. Ing. Petr Fischer

Článek si klade za cíl analyzovat metody výpočtu tepelných ztrát podle staré a nové normy a porovnat vypočtené hodnoty u rodinného domu ve třech variantách stavebního provedení. První varianta řeší podsklepený dvoupatrový cihlový dům, druhá varianta uvažuje rozměrově shodný cihlový dům, ale nepodsklepený. Třetí alternativa řeší opět rozměrově shodný dům bez podsklepení, ale konstruovaný jako dřevostavba.

Klíčová slova: vytápění, tepelné ztráty, součinitel prostupu tepla, přenos tepla zeminou

Authors are aiming at the analysis of the heat loss calculation methods according to both the new and old standard and compare calculated values with respect to a family house in three variants of the construction implementation, in their article. The solution of the first variant is a two storey brick house with a cellar; second variant solves the identical brick house excluding the cellar and the third variant solves the house dimensionally identical as the previous two, excluding the cellar, but designed as the wooden house.

Key words: heating, heat losses, overall heat transfer coefficient, soil heat transfer

ÚVOD

Výpočet tepelných ztrát představuje základ návrhu otopné soustavy domu. V současnosti je v platnosti převzatá evropská norma ČSN EN 12831 - Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu [4]. V souladu s požadavky normy ČSN EN 12 831 je článek zaměřen na způsoby výpočtů jednotlivých součinitelů tepelných ztrát s odkazy na normy týkající se jak průsvitných, tak i neprůsvitných stavebních konstrukcí. Dosažené výsledky jsou porovnány se starší českou normou ČSN 06 0210 (zrušena k 1. 9. 2008), která je v projekční praxi stále velmi hojně využívána.

Řešený rodinný dům

Jedná se o rodinný dům 5+1 o užitné ploše 244,7 m² (varianta A s podsklepením) a 163,3 m² (varianta B a C bez podsklepení). Celková dispozice domu je znázorněna na obr. 1. Varianta A je navržena jako stavba z cihlových bloků bez tepelné izolace. Varianta B uvažuje stejnou skladbu zdiva domu jako varianta A, ale dům je nepodsklepený. Poslední varianta C představuje nepodsklepený dům koncipovaný jako dřevostavba. Skladba svislých konstrukcí byla volena tak, aby součinitele prostupu tepla ve všech třech variantách byly shodné a zároveň, aby byly splněny doporučené hodnoty podle normy ČSN 73 0540-2. Skladba vodorovných konstrukcí je pro všechny varianty domu stejná.

Stanovení součinitelů prostupu tepla

a) konstrukce přilehlé ke vzduchu

První srovnání nabízí zvolený postup výpočtu součinitele prostupu tepla, resp. tepelných odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně stavební konstrukce. Podle starší normy ČSN 06 0210 se pro výpočet součinitele prostupu tepla svislé konstrukce uvažuje se součinitelem přestupu tepla $\alpha_i = 8$ [W/m²·K], resp. $\alpha_e = 23$ [W/m²·K]. Oproti tomu norma ČSN EN 12831 odkazuje na normu ČSN EN ISO 6946, ve které lze najít hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla na svislé konstrukci $R_{si} = 0,13$ [m²·K/W] směrem nahoru (odpovídá $\alpha_i = 7,7$ [W/m²·K]) a $R_{se} = 0,04$ [W/m²·K] (odpovídá $\alpha_e = 25$ [W/m²·K], pro rychlost větru od 4 do 5 m/s). Jak ukazuje tab. 1, rozdíly ve vypočtených hodnotách součinitelů prostupu tepla podle výše uvedených metod, jsou u konstrukcí přilehlých k venkovnímu prostředí zanedbatelné. Na základě porovnání podle tab. 1, lze tedy konstatovat, že výsledky výpočtu součinitele prostupu tepla pro různé normy se téměř shodují. Výraznější rozdíl je pouze u vodorovných konstrukcí (stropy) přilehlých k vnitřnímu prostředí. Na

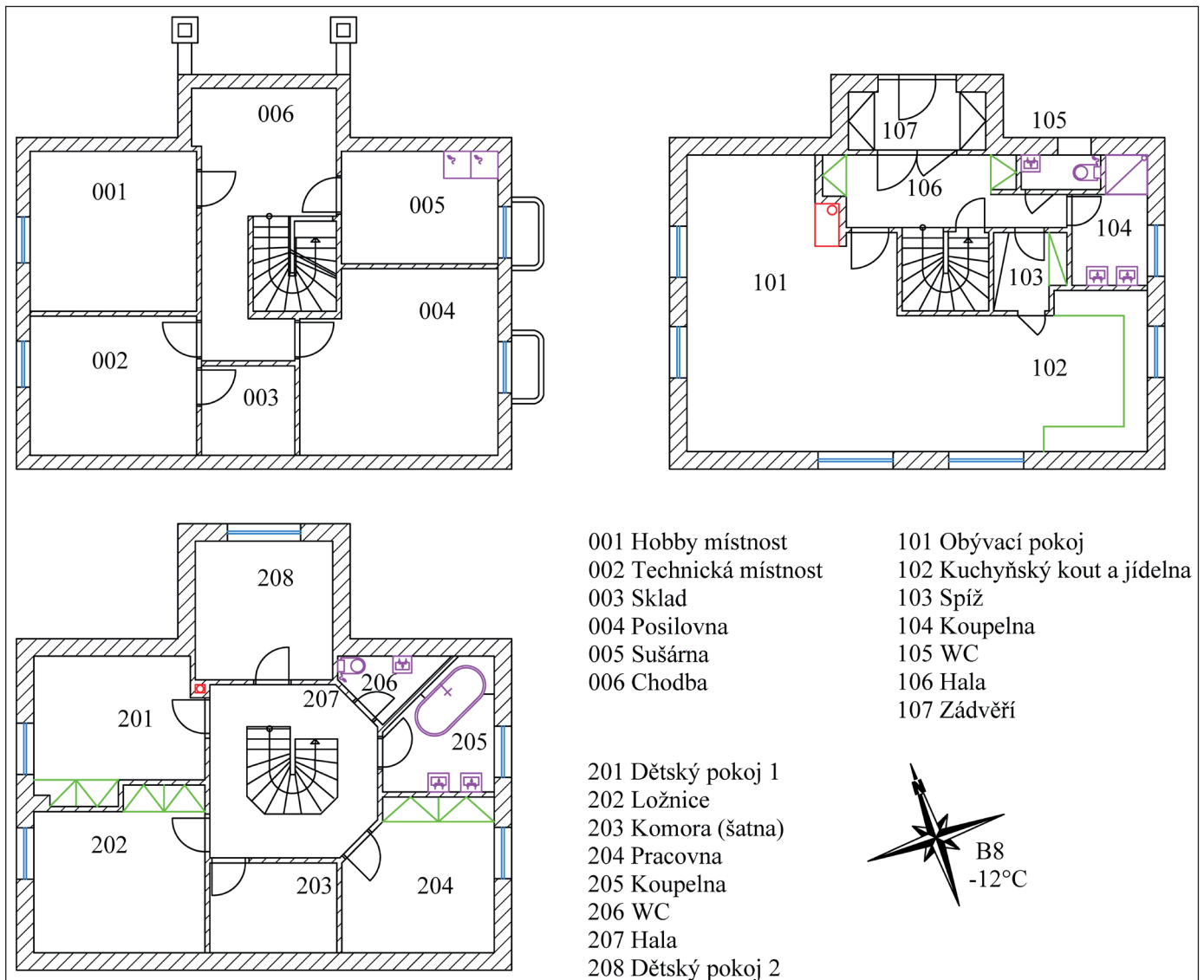
druhou stranu se tyto konstrukce sdílení tepla většinou neúčastní nebo mají na celkové tepelné ztrátě objektu malý podíl. Důvodem je, že teploty vzduchu na jedné i druhé straně takové konstrukce jsou většinou stejné nebo maximálně do rozdílu 15 K (např. místnosti sousedící s nevytápěnou místností apod.).

Tab. 1 Vypočtené hodnoty součinitelů prostupu tepla vybraných konstrukcí přilehlých ke vzduchu

Stavební konstrukce	Součinitel prostupu tepla		Rozdíl
	U [W/m ² ·K]	U [W/m ² ·K]	[%]
	(ČSN 06 0210)	(ČSN EN ISO 6946)	(vztaženo k ČSN 06 0210)
Obvodová zeď (Porotherm 44 EKO+)	0,214	0,215	0,50
Šikmá střecha se sklonem do 60° ($\alpha_i = 8$ [W/m ² ·K], $R_{si}^1 = 0,11$ [m ² ·K/W])	0,141	0,142	0,70
Strop mezi patry	1,467	1,425	-2,86
Vnitřní příčka (Porotherm 17,5)	1,532	1,528	-0,30
Střecha - šikmá	0,238	0,239	0,42

b) konstrukce přilehlé k zemině

U konstrukcí přilehlých k zemině jsou přístupy jednotlivých norem výrazně odlišné. Základní problém tvoří stanovení součinitele prostupu tepla. Podle staré normy ČSN 06 0210 do výpočtu součinitele prostupu tepla vstupuje tepelný odpor přilehlé zeminy, který je závislý na typu zeminy a výšce hladiny spodní vody ($R_2 = 1,11$ m²·K/W - sypká zemina, písek; $R_2 = 0,42$ m²·K/W - kompaktní skála; $R_2 = 0$ m²·K/W - pro zeminu pod hladinou spodní vody). Oproti tomu norma ČSN EN 12831 připouští dva rozdílné přístupy. První podrobný způsob výpočtu odkazuje na další normu ČSN EN ISO 13370 a druhý zjednodušený je uvedený přímo dále v textu normy ČSN EN 12831. Zjednodušený postup je založen na stanovení tzv. ekvivalentního součinitele prostupu tepla. Ten je závislý na typologii podlahy (podlaha na zemině, podlaha v suterénu, stěna suterénu), ale také na hodnotě součinitele prostupu tepla



Obr. 1 Dispozice řešeného domu pro variantu A (varianta B a C - bez suterénu)

stanoveného pro podlahu tak, jako kdyby materiál podlahy sdílel teplo s vnějším prostředím (tj. součinitel přestupu tepla, resp. tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně se dosazují stejně jako u konstrukcí přilehlých ke vzduchu). Tabulky, které jsou dále v normě uvedeny jsou vztaženy k jediné hodnotě tepelné vodivosti zeminy a sice $\lambda_z = 2,0 \text{ W/m}^2\text{-K}$ (to odpovídá pískovému a šterkovým hmotám). Podrobný postup podle ČSN EN ISO 13370 rozlišuje shodně typologii podlahy (podlahy na zemině, v suterénu a stěna suterénu), nicméně výpočet závisí na tzv. ekvivalentní tloušťce. Ekvivalentní tloušťka (buď stěny nebo podlahy) je vlastně tloušťka zeminy s tepelnou vodivostí odpovídající skutečnosti, tj. o totožném tepelném odporu, jaký má uvažovaná konstrukce. Důležité je, že se vypočítá vždy z tepelných odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně stejných jako u konstrukcí přilehlých ke vzduchu a tepelných odporů podlahy. Ovšem podstatným rozdílem je, že se do tepelného odporu podlahy dosazují pouze tepelné odpory tepelně izolačních celoplošných vrstev, včetně nášlapné vrstvy.

Rozdíly ve vypočteném součiniteli prostupu tepla podle jednotlivých metod jsou patrné z tab. 2. Pro podlahu na zemině (tj. u nepodsklepeného domu) je rozdíl mezi výpočtem podle normy ČSN 06 0210 a ČSN EN ISO 13370 cca 13 %. Podobné rozdíly můžeme vidět i pro ostatní případy. Na druhou stranu je ale nutné si uvědomit, jakým způsobem (tzn. metodou) je takto stanovený součinitel prostupu tepla dále započítáván do výpočtu tepelné ztráty konstrukce přilehlé k zemině.

Tab. 2 Vypočtené hodnoty součinitelů prostupu tepla podlahy a suterénních stěn

Stavební konstrukce	Součinitel prostupu tepla		
	$U \text{ [W/m}^2\text{-K]}$	$U_{\text{equiv,br}} \text{ [W/m}^2\text{-K]}$	$U \text{ [W/m}^2\text{-K]}$
	ČSN 06 0210	ČSN EN 12831 zjednodušená metoda	ČSN EN ISO 13370 podrobná metoda
Podlahy na zemině - nepodsklepený dům	0,274	0,250	0,240
Podlahy v suterénu - podsklepený dům	0,172	0,140	0,201
Stěna suterénu - podsklepený dům	0,175	0,145	0,153

Stanovení tepelné ztráty

a) konstrukce přilehlé ke vzduchu

Výpočet tepelné ztráty konstrukcí přilehlých ke vzduchu je v každé metodice normy shodný. Základ tvoří součinitel prostupu tepla, plocha konstrukce a rozdíl výpočtových teplot vzduchu. Avšak norma ČSN EN 12831 dále do výpočtů zahrnuje vliv lineárních tepelných mostů. Problém je, že stejně jako v předchozích výpočtech součinitele pro-

stupu tepla, norma nabízí projektantovi víc přístupů. První způsob, tzv. zjednodušený, zavádí korigovaný součinitel prostupu tepla. Ten závisí na korekčním činiteli, který je tabelárně stanoven pro různé konstrukce v příloze normy ČSN EN 12831. Další způsob stanovení lineárních tepelných mostů nabízí norma ČSN EN ISO 14683. Ta obsahuje celou řadu příkladů lineárních tepelných mostů různých provedení stavebních konstrukcí. Nicméně v samotné normě je uvedeno, že tyto tabelární hodnoty byly vybrány k získání orientační hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla a mohou tak mírně nadhodnocovat skutečný vliv tepelných mostů. Chyba, kterou projektant může takto udělat, dosahuje až ± 20 % [6]. V případě podrobného výpočtu vlivu tepelných mostů lze využít normu ČSN EN ISO 10211. Bohužel, ale použití této normy pro projekční praxi je v podstatě nemožné. Norma ukazuje na řešení 2D a 3D tepelných mostů s odkazy na simulační metody výpočtu a projektantovi nezbyvá nic jiného než se pak spoléhat na různý výpočetní software, u kterého velmi často ani neví jakým způsobem a pro jaké podmínky lze výsledky verifikovat.

b) konstrukce přilehlé k zemině

U konstrukcí přilehlých k zemině je situace ohledně metod také rozličná. Podle normy ČSN 06 0210 byl vypočtený součinitel prostupu tepla násoben plochou podlahy a rozdílem vnitřní výpočtové teploty a teploty přilehlé zeminy. U nepodsklepených budov se uvažovala teplota zeminy pod podlahou +5 °C. U stěn přilehlých k zemině se dále zohlednila hloubka stěny pod povrchem a umístění budovy s ohledem na vnější výpočtovou teplotu. Norma ČSN 12831 oproti tomu zavádí tzv. charakteristický parametr B' , který zohledňuje plochu a obvod uvažované podlahové konstrukce. Dále do výpočtu vstupují teplotní redukční součinitel f_{g2} (zahrnuje vztah mezi průměrnou roční venkovní teplotou a výpočtovou teplotou) a součinitel f_{g1} . Součinitel f_{g1} zohledňuje vliv ročních změn venkovní teploty. Problémem ale je, že se tento součinitel zahrnuje do všech výpočtů jedinou hodnotou 1,45 a to nezávisle na umístění domu s ohledem např. na lokalitu v ČR, nadmořskou výšku atd. V textu normy je totiž uvedeno, že tento součinitel se stanovuje na základě národní přílohy nebo podle tabelární hodnoty v příloze normy. Ačkoli norma ČSN EN 12831 platí již od roku 2004, dodnes není tato národní příloha stanovena. Poslední možností jak stanovit tepelnou ztrátu přilehlou zeminou je použít již výše zmíněnou normu ČSN EN ISO 13370. Ta nabízí možnost jednak podrobného výpočtu součinitele prostupu tepla a také metodu stanovení tepelných mostů i s ohledem na okrajové tepelné izolace. Dílčí výsledky výpočtů pro jednotlivé varianty provedení posuzovaného domu ukazuje tab. 3.

Tab. 3 Tepelné ztráty přilehlou zeminou (tj. podlaha a obvodové stěny přilehlé k zemině)

Metodika Varianta A (se sklepem)		Q_z [W]		Rozdíl (vztaženo k ČSN 06 0210) [%]	
		$t_z=3\text{ °C}$	$t_z=5\text{ °C}$	$t_z=3\text{ °C}$	$t_z=5\text{ °C}$
ČSN 06 0210		518	432	+20	0
ČSN EN ISO 12831	tepelné mosty zjednodušeně	614		+18	+42
	s tepelnými mosty (jiná EN)	953		+84	+120
Metodika Varianta B a C (bez sklepa)		Q_z [W]		Rozdíl (vztaženo k ČSN 06 0210) [%]	
		$t_z=3\text{ °C}$	$t_z=5\text{ °C}$	$t_z=3\text{ °C}$	$t_z=5\text{ °C}$
ČSN 06 0210		347	303	+15	0
ČSN EN ISO 12831	tepelné mosty zjednodušeně	515		+48	+70
	s tepelnými mosty (jiná EN)	619 (569*)		+78 (+64*)	+105 (+88*)

***Poznámka:** Platí pro dřevostavbu (varianta C), norma ČSN EN ISO 13370 zohledňuje vliv okrajové izolace podlahové konstrukce s napojením obvodové tepelné izolace montované složené stěny snížením hodnoty lineárního tepelného mostu.

Jak ukazuje tab. 3 jsou hodnoty tepelné ztráty přilehlou zeminou podle starší ČSN 06 0210 vždy výrazně nižší než podle novějších norem. Je nutné si ale uvědomit, že výsledky v tab. 3 byly přizpůsobeny metodice výpočtu podle ČSN EN 12831, tzn. do výsledku podle ČSN 06 0210 v celkové tepelné ztrátě prostupem vstoupí ještě jednotlivé přírázky. Zajímavostí je, že teplota přilehlé zeminy podle ČSN 06 0210 byla stanovena pro starší typy konstrukcí podlah, tj. s výrazně nižším podílem tepelné izolace. Pokud bychom uvažovali moderní skladbu podlahy v souladu s ČSN 73 0540 - 2 (2011) je zřejmé, že teplota zeminy pod podlahou bude díky výrazně vyššímu tepelnému odporu podlahy nižší. Příklad změny velikosti tepelné ztráty přilehlou zeminou (tab. 3) je uveden pro případ, kdy by uvažovaná teplota zeminy pod podlahou byla +3 °C.

Vyhodnocení

Tab. 4 ukazuje porovnání výsledků celkových tepelných ztrát prostupem pro jednotlivé varianty domu. Tepelná ztráta větráním není do tab. 4 zahrnuta, neboť je v každé variantě pro jednotlivé metodiky stejná. Pokud budeme uvažovat podsklepený dům z cihlového zdva bez tepelné izolace je vidět, že výsledky podle normy ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831 (zjednodušená a podrobná metoda tepelných mostů) jsou v podstatě totožné.

Tab. 4 Celkové tepelné ztráty prostupem posuzovaného domu podle jednotlivých metodik

Metodika Varianta A (cihla, se sklepem)		Celková tepelná ztráta prostupem	
		[W]	[%]
ČSN 06 0210		4110	102
ČSN EN ISO 12 831	bez tepelných mostů	3060	76
	tepelné mosty zjednodušeně	4040	100
	s tepelnými mosty (podle EN)	3990	99
Metodika Varianta B (cihla, bez sklepa)		Celková tepelná ztráta prostupem	
		[W]	[%]
ČSN 06 0210		3310	84
ČSN EN ISO 12 831	bez tepelných mostů	2610	66
	tepelné mosty zjednodušeně	3960	100
	s tepelnými mosty (podle EN)	3650	92
Metodika Varianta C (dřevostavba, bez sklepa)		Celková tepelná ztráta prostupem	
		[W]	[%]
ČSN 06 0210		3310	108
ČSN EN ISO 12 831	bez tepelných mostů	2610	85
	tepelné mosty zjednodušeně	3080	100
	s tepelnými mosty (podle EN)	3480	113

Naopak u stejné varianty cihlového domu bez tepelné izolace, ale nepodsklepeného, jsou rozdíly ve výsledcích již markantnější. Jak ukazuje tab. 3, je rozdíl mezi tepelnou ztrátou přilehlou zeminou u takového domu již 70 % a více. Na druhou stranu u podrobného výpočtu zahrnující

vliv tepelných mostů je celkový výsledek výpočtu bližší starší české normě ČSN 06 0210. To je dáno tím, že korigovaný součinitel prostupu tepla uvedený v normě ČSN EN 12831 pro zjednodušený výpočet tepelných mostů, je stanoven jako maximální. To vede k vyššímu podílu tepelných mostů než ve skutečnosti. Dalším problémem je součinitel f_{gt} přímo ve výpočtu tepelné ztráty přilehlou zeminou. Tento součinitel se zahrnuje do všech výpočtů jedinou hodnotou 1,45, díky čemuž v podstatě vůbec nezohledňuje další možné okrajové podmínky výpočtu.

Opačný problém je vidět u montované stavby z vícevrstevných konstrukcí (varianta C - dřevostavba). Zde je problematika tepelných mostů velmi důležitá, neboť jednotlivé konstrukce jsou spojovány různými technologiemi. Jak je vidět zjednodušená metoda stanovení tepelných mostů je u takových staveb opět nevhodná a výsledné hodnoty tak mohou být podceněny. Zajímavostí je opět dobrá shoda mezi ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831 s podrobným stanovením tepelných mostů (ČSN EN ISO 13370 a 10211). Jako zcela nevhodné se ukazuje stanovit tepelnou ztrátu prostupem tepla podle nové normy ČSN EN 12831 a nezahrnout žádný vliv tepelných mostů. Tato metodika výpočtu ve všech posuzovaných případech dosahovala výrazně nižších hodnot tepelných ztrát, kdy rozdíl byl až - 35 %.

ZÁVĚR

Otázkou pro projektanta tedy zůstává jakým způsobem stanovit tepelné ztráty. Jak bylo ukázáno možností resp. metodik je několik. S ohledem na platné normy se ukazuje, že zjednodušený pohled na vliv tepelných mostů není zcela v pořádku. Jako nejzávažnější problém se ukazuje způsob výpočtu tepelných ztrát přilehlou zeminou, kde rozptyl vypočítaných hodnot je řádově v desítkách procent. U podsklepeného domu z cihel bez tepelné izolace se sice celkové výsledky téměř shodují, ale to je způsobeno tím, že tepelné mosty zjednodušenou metodou jsou v normě ČSN EN 12831 stanoveny právě pro tento případ konstrukcí

(tj. jako maximální). Výsledky dále potvrdili, že u vícevrstevných moderních konstrukcí je vliv tepelných mostů zásadní.

Zajímavé je, že při porovnání výsledků podle starší (již zrušené) normy ČSN 06 0210 je ve všech případech poměrně dobrá shoda s metodou zahrnující podrobný způsob výpočtu vlivu tepelných mostů. Na druhou stranu je podrobná metoda stanovení tepelných mostů a tepelných ztrát domu časově výrazně náročnější a složitější než ČSN 06 0210.

Kontakt na autora: Roman.Vavricka@fs.cvut.cz, michaelacachova@seznam.cz

Použité zdroje:

- [1] Čáchová, M. Analýza metod výpočtu tepelných ztrát. Praha 2012. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 90 s. [Diplomová práce 4-TŽP-2012].
- [2] Bašta, J., Vavříčka, R. Otopné plochy – cvičení. Vydavatelství ČVUT. 2005. 109 s. ISBN 80-01-03344-9.
- [3] Brož, K. Vytápění. Vydavatelství ČVUT, 2002. 205 s. ISBN 80-01-02536-5.
- [4] ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu, ČNI 2004.
- [5] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění, ČNI 1994 (zrušena k 1. 9. 2008).
- [6] Svoboda, Z. Hodnocení lineárního činitele prostupu tepla, [citace 2012-01-07]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=216>.
- [7] Panovec, V., Šála, J. Problémy při stanovení prostupu tepla zeminou, [citace 2011-10-24]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/stavebni-tepelna-technika/7964-problemy-pri-stanoveni-prostupu-tepla-zeminou>.
- [8] ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. ČNI 2008.
- [9] ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody. ČNI 2009.
- [10] ČSN EN ISO 14683 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - lineární činitel prostupu tepla - Zjednodušené metody a orientační hodnoty. ČNI 2009.
- [11] ČSN EN ISO 10211 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty. ČNI 2009. ■

Média, lyžování a ekologie bez rozporu

Pro mistrovství světa 2012 ve sjezdovém lyžování v rakouském Schladmingu bylo připraveno nové komfortně vybavené médiacentrum o ploše 8464 m², které vyhovuje všem ekologickým kritériím a je CO₂-neutrální. Zásahu na tom má automatika budov řídicí větrání, vytápění a chlazení. Ventilátory větracího zařízení s ovládním otáček mají 6 frekvenčních měničů od firmy Danfoss a pracují podle potřeby a s vysokou energetickou účinností.

U mediálního centra byla realizována energetická koncepce založená na fotovoltaickém zdroji proudu a užití říční vody z blízké řeky Enns pro chlazení, na dálkovém vytápění z biozdroje tepla a užití „šedé“ vody pro splachování toalet. V klimatizaci místností bylo využito stávajícího potrubního systému čerpajícího říční vodu k umělému zasněžování.

Pramen: CCI 02/2013

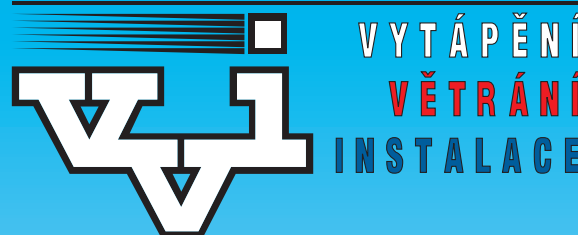
(AB)

Cíle nového evropského opatření pro fluorovaná chladiva

Nové evropské opatření k užívání syntetických fluorovaných chladiv, jako např. R134a, R407C a R410A s vyšším potenciálem skleníkového efektu GWP (Global Warming Potential), má minimalizovat účinek jejich užívání. Podle návrhu opatření se předpokládá snížení prodeje dotčených chladiv v roce 2030 na jednu pětinu (21 %) proti stavu z referenčních let 2008 až 2011 s následujícími hodnotami: 2015 až 100 %, 2016-2017 až 93 %, 2018-2020 až 63 %, 2021-2023 až 46 %, 2024-2026 až 31 %, 2027-2029 až 24 %, 2030 až 21 %.

Pramen: CCI 02/2013

(AB)



Webová prezentace časopisu VVI na stránkách www.stpcr.cz/vvi

- historie a současnost časopisu
- informace pro autory
- informace pro recenzenty
- soutěž o cenu prof. Pulkrábka
- obsahy všech čísel od r. 1958
- vyhledávací databáze
- plné verze vybraných článků
- dostupnost starších čísel