



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

REFLEXNÍ TEPELNÉ IZOLACE PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ V NÍZKOENERGETICKÝCH STAVBÁCH

REFLECTIVE INSULATIONS FOR EFFECTIVE USE IN LOW ENERGY BUILDINGS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jiří Kalánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Ostrý, Ph.D.

BRNO 2020

Klíčová slova Reflexní izolace; Vzduchová dutina; Tepelný tok sáláním;
Experimentální měření; Tepelný odpor; Měření in situ

Key words Reflective insulation; Air cavity; Experimental measurements;
Radiation heat flow; Thermal resistance; In-situ measurement

Místo uložení rukopisu disertační práce

Rukopis disertační práce je uložen v archivu pedagogicko-vědeckého oddělení Fakulty stavební VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

© Ing. Jiří Kalánek, 2020

OBSAH

A. ÚVOD.....	4
B. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	5
1. REFLEXNÍ IZOLACE	5
C. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	7
1. SPECIFIKACE CÍLŮ PRÁCE	7
2. PROSTŘEDKY PRO DOSAŽENÍ CÍLŮ	8
3. DŮVODY VOLBY CÍLŮ	8
D. MATERIÁL A METODIKA	9
1. EXPERIMENTÁLNÍ METODY	9
1.1. USTÁLENÝ TEPLTNÍ STAV, LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....	9
1.1.1. Přípravné práce před jednotlivými měřeními	10
1.2. NEUSTÁLENÝ TEPLTNÍ STAV, MĚŘENÍ IN-SITU	11
1.2.1. Prostory mateřské školy v obci Dříteč	11
E. VÝSLEDKY A DISKUZE	12
1. USTÁLENÝ TEPLTNÍ STAV, LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....	12
1.1. EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ JÁDRA REFLEXNÍ IZOLACE A PŘILEHLÝCH VZDUCHOVÝCH VRSTEV ..	13
1.2. SHRUTÍ	16
2. NEUSTÁLENÝ TEPLTNÍ STAV, MĚŘENÍ IN-SITU.....	17
2.1. EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ KONSTRUKCE STĚNY	17
2.2. TEORETICKÉ STANOVENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ KONSTRUKCE STĚNY	18
2.3. SHRUTÍ, POROVNÁNÍ EXPERIMENTÁLNĚ A TEORETICKY STANOVENÝCH HODNOT	19
F. ZÁVĚRY PRO TECHNICKOU PRAXI.....	21
G. MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU	24
H. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	25
I. PŘEDSTAVENÍ AUTORA.....	26
J. ABSTRACT.....	30

A. ÚVOD

Stavebnictví má výrazný vliv na životní prostředí. Mezi záměry trvale udržitelné výstavby patří především splnění širokého spektra environmentálních požadavků. Aby k tomu došlo, je potřeba redukovat množství emisních ekvivalentů vzniklých jak v průběhu provozu budovy, tak důsledkem výstavby a její likvidace. Právě provoz budovy je v současné době velmi sledovaným tématem. Na území evropské unie nastoluje trend snižování energetické náročnosti budov směrnice evropského parlamentu a rady, tzv. EPBD. Původní směrnice 2002/91/ES [EPBD I, 2002] byla nahrazena 2010/31/EU [EPBD II, 2010], která definovala energetické cíle do konce roku 2020. Jednalo se o snížení celkové emise skleníkových plynů o 20 procent ve srovnání s hodnotami z roku 1990, snížení spotřeby energie Unie také o 20 procent a dosažení minimálně 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie. Po přezkumu provádění Směrnice 2010/31/EU vyšla v roce 2018 v pořadí již třetí, pozměňovací směrnice o energetické náročnosti budov pod označením 2018/844/EU [EPBD III, 2018], jejímž základním cílem je zrychlit nákladově efektivní renovaci stávajících budov a podpořit používání inteligentních technologií v budovách (novostavby se statusem budovy s téměř nulovou spotřebou energie). Jsou zde stanoveny závazky Evropské Unie pro další snižování emisí skleníkových plynů (alespoň o 40 % do roku 2030 ve srovnání s rokem 1990), zvýšení podílu spotřeby energie z obnovitelných zdrojů, dosažení úspor energie v souladu s ambicemi na úrovni Unie a zvýšení energetické bezpečnosti, konkurenceschopnosti a udržitelnosti v Evropě. Dle výše uvedených právních předpisů evropské unie je sektor budov největším spotřebitelem energie na území evropské unie, kdy spotřebovává zhruba 40 % energie [EPBD II, 2010]. Tento sektor se rozrůstá, což bude mít za následek zvýšení spotřeby energie. Jednou z cest, jak snížit energetickou náročnost objektu a tím splnit neustále se zpřísnující legislativní požadavky v této oblasti, jsou dobré tepelně-izolační vlastnosti ochlazované obálky. To lze jednoduše docílit navýšením tloušťky tepelného izolantu, který omezuje přenos tepla vedením. Toto jednoduché řešení přináší sebou i možné problémy, protože některé skladby mají svá technická omezení a je problematické tepelnou izolaci v jejich souvrství více navýšit. Současný vývoj v oblasti zateplování je veden snahou o zajištění co největšího tepelného odporu u co nejmenší tloušťky konstrukce. Jedna z možností se jeví vhodné konstrukční uspořádání reflexní izolace ve spojení se vzduchovou vrstvou. Je však otázkou, zdali tepelně technické vlastnosti tohoto souvrství jsou opravdu tak účinné, jak jsou deklarovány jednotlivými výrobci.

B. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Záměrem většiny tepelných izolací je omezení přenosu tepla vedením. Při tomto způsobu omezení přenosu tepla lze vidět výrazný pokrok jak v navrhování, tak v ověřování tepelně technických vlastností těchto produktů [Yücel *et al.*, 2003].

Princip reflexní izolace je založen na odrazivosti tepelného sálání. Proto se jako vnější reflexní vrstva používá materiál s vysokou odrazivostí tepelného sálání, tj. povrch s velmi nízkou hodnotou emisivity. Reflexní izolace je definovaná jako tepelná izolace, skládající se z jednoho nebo více povrchů s nízkou emitancí, jenž ohraničuje jednu nebo více vzduchových dutin [RIMA International, 2002].

1. REFLEXNÍ IZOLACE

Reflexní izolace je definovaná jako tepelná izolace, skládající se z jednoho nebo více povrchů s nízkou emisivitou, jenž ohraničuje jednu nebo více vzduchových dutin.



Obr. 1 Schéma složení reflexní izolace [autor, dle ČSN EN 16012]

Pro zachování co možno největšího poměru sálání vůči ostatním složkám přenosu tepla (vedení a proudění) je důležité, aby materiál jádra reflexní izolace byl v největší možné míře tvořen vzduchem. Materiál tvořící jádro reflexní izolace lze zjednodušeně rozdělit na:

- pěnový polyetylén (nejčastěji výrobek typu 1);
- bublinová folie - vzduchem vyplněné plastové bubliny (především výrobek typu 2);
- pěna nebo vata (nejčastěji sendvič - výrobek typu 3).

Reflexní / nízkoemisivní povrch může být proveden především dvěma základními způsoby:

- Nízkoemisivní nátěry, nástřiky, metalizace (např. vakuované pokovování);
- Nízkoemisivní folie.

Rozlišujeme 4 základní typy reflexních izolací podle ČSN EN 16012. Níže uvedené typy výrobků je definovány výhradně pro účely výběru nejvhodnější zkušební metody pro stanovení deklarovaných tepelných vlastností.

Produkt typu 1

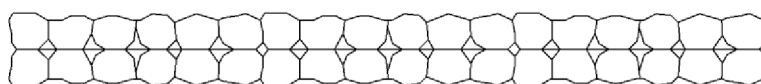
Tento typ výrobku má pravidelnou strukturu (rovnoběžné povrchy) nebo je do této geometrie stlačitelný beze změny tepelných vlastností. Zářezy povrchu by měli být menší než 2 mm. A tloušťka izolace je větší než 2 mm.



Obr. 2 Typický příklad reflexní izolace typu 1, jádro z pěnového polyetylénu [autor]

Produkt typu 2

Tento typ výrobku má pravidelnou strukturu (rovnoběžné povrchy) nebo je do této geometrie stlačitelný beze změny tepelných vlastností. Zářezy povrchu by měly být menší než 5 mm.



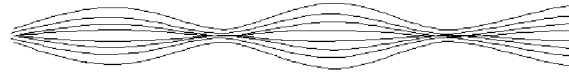
Obr. 3 Reflexní izolace typu 2 [autor dle ČSN EN 16012, 2012]



Obr. 4 Typický příklad reflexní izolace typu 1, bublinková folie [autor]

Produkt typu 3

Tento typ výrobku nemá pravidelnou strukturu (rovnoběžné povrchy) nebo je do této geometrie stlačitelný se změnou tepelných vlastností. Zářezy povrchu jsou větší než 5 mm.



Obr. 5 Reflexní izolace typu 3 [ČSN EN 16012, 2012]

Produkt typu 4

Jedná se o tenký povlak (list), který je tenčí než 2 mm. Sám o sobě nemá žádný významný tepelný odpor.

C. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

1. SPECIFIKACE CÍLŮ PRÁCE

Disertační práce má vytvořit ucelený pohled na problematiku efektivního využití reflexních izolací v konstrukcích nízkoenergetických staveb. To je jedním ze způsobů jak splnit postupně se zpřisňující požadavky na konstrukce ochlazované obálky budov.

Cíle disertační práce:

1. Stanovení tepelně izolačních vlastností vybraných reflexních izolací;
2. stanovení tepelně izolačních vlastností vzduchových dutin v kontaktu s reflexním povrchem;
3. porovnání experimentálního měření s teoreticky stanovenými hodnotami.

K úspěšnému vyřešení hlavních cílů disertační práce bylo třeba vyřešit dílčí úkoly a to:

- rešerši dostupných pramenů zabývajících se problematikou reflexních izolací a jejich aplikací ve stavebnictví;
- nalezení reálné budovy, kde bude umožněno experimentální měření konstrukcí obsahující reflexní izolaci;
- zajištění vzorků reflexních izolací pro účely laboratorního měření;
- vytvoření vhodné měřicí konstrukce sloužící pro laboratorní měření;
- provedení vlastního měření v laboratoři, sběr dat a jejich vyhodnocení;

- provedení vlastního měření v reálných podmínkách, na reálné stavbě, sběr dat a jejich vyhodnocení;
- výpočet a porovnání sloužící pro stanovení závěrů o chování reflexních izolací.

2. PROSTŘEDKY PRO DOSAŽENÍ CÍLŮ

Hlavní část disertační práce je zaměřena na stanovení izolačních vlastností reflexních izolací, a to jak při ustáleném teplotní stavu (laboratorní měření), tak při neustáleném (měření in-situ). Potřebné prostředky byly dostupné v rámci přístrojového vybavení Ústavu pozemního stavitelství Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně, případně byly pořízeny v rámci specifického výzkumu.

Laboratorní měření probíhalo v prostředí suterénní laboratoře budovy D Ústavu pozemního stavitelství, kde byl v provozu chladicí box, jenž byl vybudován za podpory Vnitřního grantu VUT FAST a sponzorů v roce 2008. Dále pak na Ústavu technologie stavebních hmot a dílců VUT FAST v Brně pomocí zkušebního zařízení chráněné teplé desky.

Stanovení tepelných vlastností konstrukcí s reflexní izolací měřením v reálných podmínkách probíhalo v prostorách mateřské školy v obci Dříteč v Pardubickém kraji.

3. DŮVODY VOLBY CÍLŮ

Současný vývoj v oblasti zateplování je veden snahou o zajištění co největšího tepelného odporu u co nejmenší tloušťky konstrukce. Jednou z možností, jak by se toho dalo docílit, je vhodné konstrukční uspořádání reflexní izolace ve spojení vzduchovou vrstvou. Tepelně technické vlastnosti reflexních izolací (včetně jejího vlivu na vzduchovou mezeru) jsou poměrně obtížně definovatelné. Navíc se při posuzování musí projektant spolehnout na údaje udávané výrobcem. Tyto informace však nejsou vždy zcela korektní, jelikož se na trhu objevují poměrně výrazné rozdíly deklarovaných hodnot mezi jednotlivými výrobci. Samotná práce se zaměřuje na stanovení tepelně izolačních vlastností jak samostatné reflexní izolace (jejího jádra), tak přilehlé vzduchové dutiny včetně následného porovnání s výpočtovým modelem.

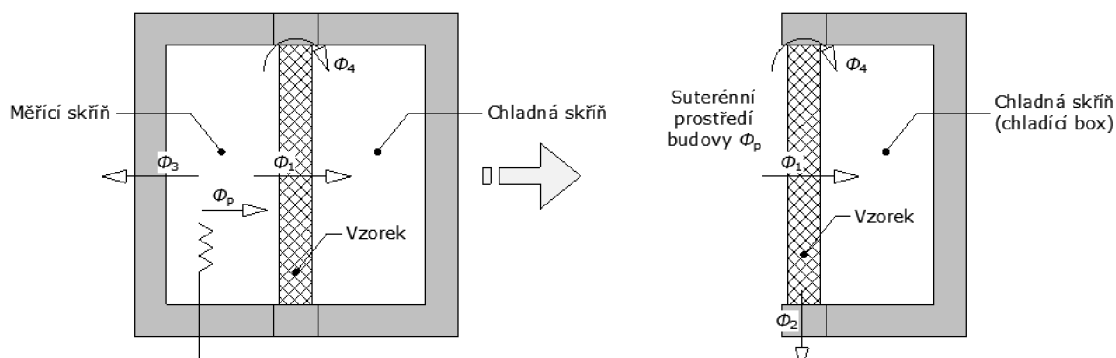
D. MATERIÁL A METODIKA

Při zpracování disertační práce bylo k řešení dané problematiky využito několik metod. V první fázi se jednalo o teoretickou přípravu, především hledání vhodných technologií řešení, kdy byl vytvořen podrobný postup provádění experimentálního měření (jak v reálných podmínkách, tak v laboratoři) včetně jejich vyhodnocení a porovnání dosažených výsledků s teoretickými výpočty. Hlavní část výzkumu byla směřována k experimentálnímu stanovení tepelných vlastností reálných konstrukcí na reálné stavbě. Požadavkem bylo, aby součástí měřené skladby byla reflexní izolace v kontaktu se vzduchovou vrstvou. Poté následovalo zajištění vzorků různých typů reflexních izolací, včetně stejného materiálové složení jako v konstrukcích reálné stavby, aby bylo možné jednotlivá vyhodnocení lépe porovnat. Pro laboratorní měření bylo nutné dle typu reflexní izolace vytvořit typický zkušební prvek.

1. EXPERIMENTÁLNÍ METODY

1.1. USTÁLENÝ TEPLOTNÍ STAV, LABORATORNÍ MĚŘENÍ

Vzhledem k faktu, že zařízení s chráněnou teplou deskou a zařízení s měřidlem tepelného toku jsou vhodné pouze pro výrobky typu 1 a 2 (výrobky, které mají pravidelnou strukturu, rovnoběžné povrchy nebo jsou do této geometrie stlačitelní beze změny tepelných vlastností), bylo pro laboratorní měření zajištěno zařízení s teplou skříní, které je vhodné na všechny typy reflexních izolací. Zkušební zařízení s kalibrovanou teplou skříní dle ČSN EN ISO 8990 (73 0557), jenž se skládá z měřicí skříně a z chladné skříně, bylo z technických důvodů nahrazeno chladicím boxem a měřicí skříně byla nahrazena laboratorním prostředím budovy, kde měření probíhalo. Výhodou těchto prostor jsou ustálené okrajové podmínky (což bylo ověřeno měřením).



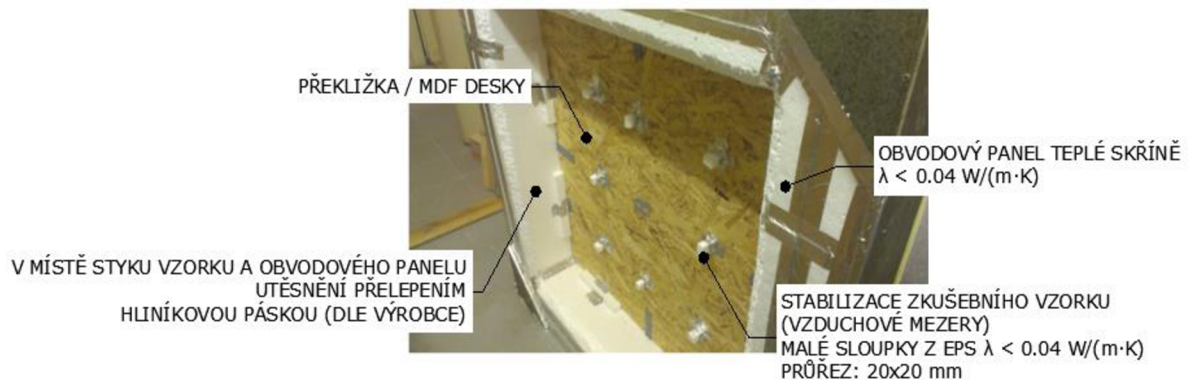
Obr. 6 Schéma nahrazení zkušebního zařízení s kalibrovanou teplou skříní [autor]

1.1.1. Přípravné práce před jednotlivými měřeními

Při stanovení tepelného odporu reflexní izolace dle ČSN EN 16012 metodou teplé skříně musel být vyhotoven typický zkušební prvek dle následujícího schématu:



Obr. 7 Ukázka z realizace typického zkušebního prvku pro měření tepelného odporu izolované vzduchové dutiny [autor]



Obr. 8 Vytvořený typický zkušební prvek použitý k měření tepelného odporu izolované vzduchové dutiny [autor]

Zkoušený prvek byl nainstalován svisle s horizontálním tepelným tokem mezi suterénním prostředím budovy a chladnou komorou zařízení. Konstrukce a její upořádání pro měření tepelného odporu výrobku včetně izolované vzduchové dutiny byla vytvořena v souladu s ČSN EN 16012 [2012].

1.2. NEUSTÁLENÝ TEPLOTNÍ STAV, MĚŘENÍ IN-SITU

1.2.1. Prostory mateřské školy v obci Dřítěč

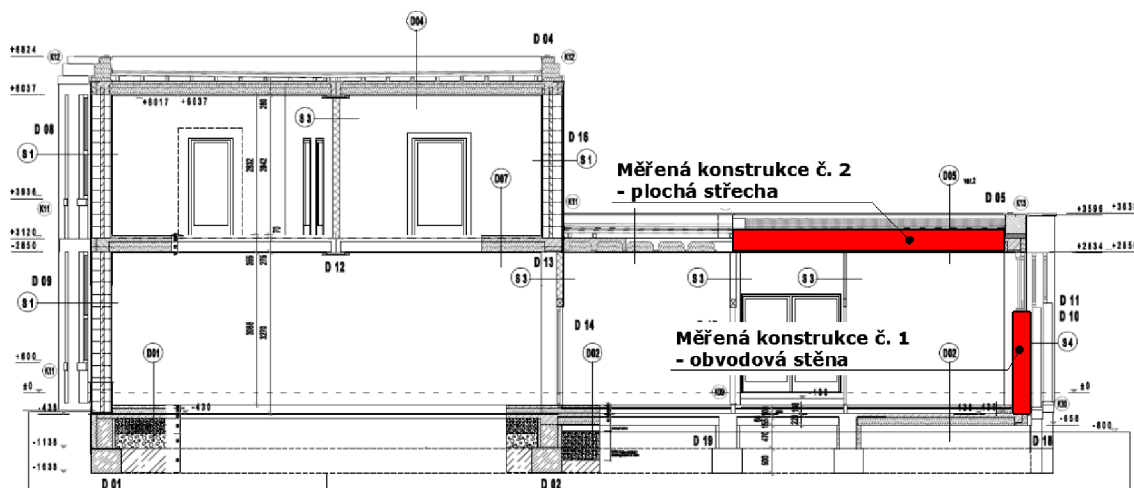
Budova mateřské školy, ve které měření probíhalo, se nachází v obci Dřítěč [N: 50.104754, E: 15.808886] asi 8 km severně od krajského města Pardubice. Dle ČSN 730540-3:2005 (Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin) spadá tato lokalita do 1. teplotní oblasti s návrhovou teplotou venkovního vzduchu v zimním období $\theta_e = -13\text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 9 Pohledy na budovu mateřské školy v obci Dřítěč [autor]

V prostorách mateřské školy, byly měřeny následující konstrukce:

- konstrukce č. 1 - obvodová stěna
- konstrukce č. 2 – plochá střecha



Obr. 10 Schématický řez mateřské školy s vyznačením měřených konstrukcí [autor, dokumentace Zlatý dům daparts s.r.o.]

E. VÝSLEDKY A DISKUZE

1. USTÁLENÝ TEPLOTNÍ STAV, LABORATORNÍ MĚŘENÍ

Typický zkušební prvek určený pro měření tepelného odporu izolované vzduchové dutiny metodou teplé skříně dle ČSN EN 16012 byl podroben několika měřeními, jejímž cílem bylo sledovat především:

- tepelné izolační vlastnosti jádra reflexní izolace;
- tepelně izolační vlastnosti přilehlé vzduchově vrstvy.

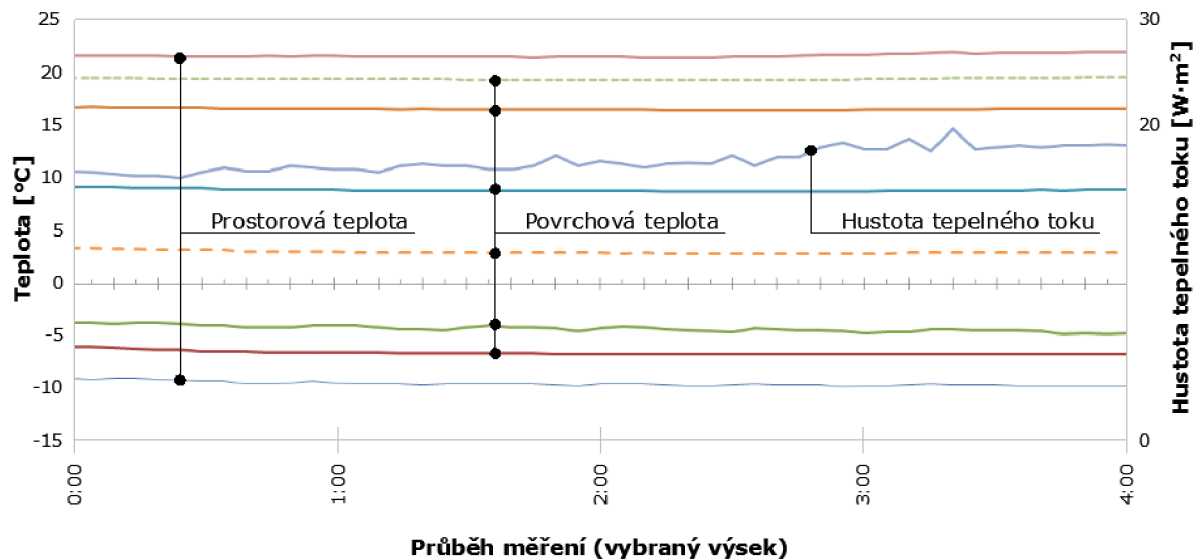
Obě měření probíhala současně na téže konstrukci. U stanovení tepelně izolačních vlastností jádra reflexních izolací byla sledována nejen jeho tloušťka ale i různé okrajové podmínky (zvolen jiný teplotní spád). Zde bude navíc sledován různý způsob vyhodnocení – metoda teplé skříně (s pomocnými výpočty) s metodou měřidla tepelného toku (bez pomocných výpočtů). U vyhodnocení tepelně izolačních vlastností přilehlé vzduchové dutiny bude provedeno i kontrolní výpočet metodiky dle ČSN EN ISO 6946, se vstupními údaji (teploty), které byly naměřeny na hodnocené konstrukci.

Výsledky laboratorního měření, které jsou prezentovány v této disertační práci, lze rozdělit do několika dílčích měření. Ve většině případů se jedná o reflexní izolaci s jádrem z extrudovaného, lehčeného PE s oboustranným reflexním povrchem (metalizovaná folie), mění se pouze jejich tloušťky - 8, 10, 12 a 30 mm. Jedná se o stejný materiál, který je obsažen v konstrukci reálné budovy, podrobené experimentálnímu měření za neustáleného teplotního stavu, IN SITU, kde byla použita reflexní izolace tloušťky 8 mm.

Dále bylo provedeno měření reflexní izolace s jádrem z LDPE bublinkové fólie s oboustranně natavenou metalickou hliníkovou folií, o celkové tloušťce výrobku 15 mm.

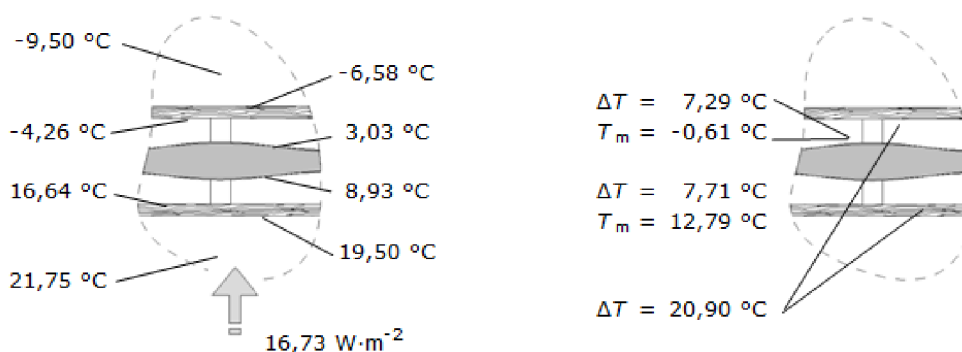
Posledním vzorkem, který byl podroben laboratornímu měření, byla tzv. sendvičová reflexní izolace složená z 10 vrstev odrazných pokovených fólií s reflexní hliníkovou vrstvou a 9 vrstev tvořených pěnovým polyetylémem a syntetickým rounem (celkem 19). Celková tloušťka výrobku 15 mm [EC THERM, 2020].

1.1. EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ JÁDRA REFLEXNÍ IZOLACE A PŘILEHLÝCH VZDUCHOVÝCH VRSTEV

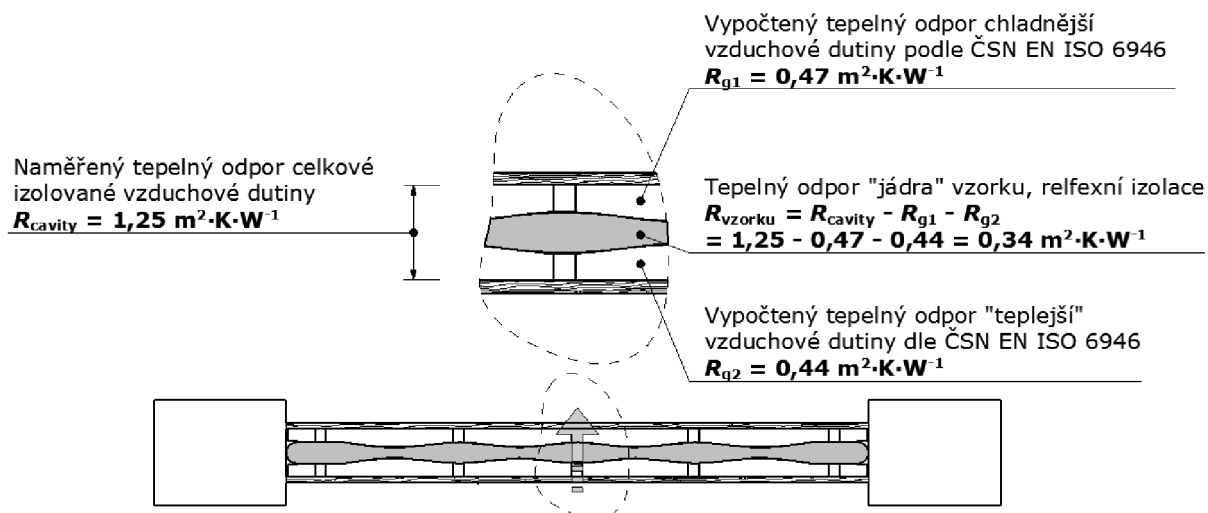


Obr. 11 Průběh vybraného laboratorního měření

Na obr. 11 je zobrazen průběh měření vzorku reflexní izolace s jádrem z lehčeného PE s oboustranným reflexním povrchem (metalizovaná folie) tl. 8 mm. Lze si všimnout, že jednotlivé povrchové teploty ani hustota tepelného toku nevykazovali monotónně vzestupnou či sestupnou tendenci. Jednotlivé povrchové teploty ve vztažných plochách zkušební vzorku se neliší o více než 0,15 K od průměrné teploty vztažné plochy, jsou tedy splněny základní podmínky ustáleného teplotního stavu. Během tohoto měření byla získány následující průměrné hodnoty:



Obr. 12 Schéma rozmístění čidel a průměrné naměřené hodnoty



Obr. 13 Vyhodnocení vybraného laboratorního měření

Tab. 1 Vyhodnocení vybraného laboratorního měření měřičem tepelného toku, bez doplňujících výpočtů tepelných odporů vzduchových dutin

Tepelný odpor celkové izolované vzduchové dutiny	1,25 m ² ·K·W ⁻¹
Tepelný odpor chladnější vzduchové dutiny	0,461 m ² ·K·W ⁻¹
Tepelný odpor teplejší vzduchové dutiny	0,436 m ² ·K·W ⁻¹
Výsledný tepelný odpor jádra výrobku	0,35 m²·K·W⁻¹
Tloušťka měřeného prvku	8 mm
Teplotní spád celkové izolované vzduchové dutiny	~ 21 K
Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti jádra výrobku	0,023 W·K⁻¹·m⁻¹

Výše jsou uvedeny dva různé způsoby vyhodnocení experimentálního měření reflexních izolací za ustáleného teplotního stavu. Rozdíl ve vyhodnocení spočívá pouze v tom, že tepelné odpory jednotlivých vzduchových vrstev jsou v jednom případě počítána dle ČSN EN ISO 6946 a ve druhém případě přímo vyhodnocena z vlastního měření (podíl rozdílů teploty povrchů a hustoty tepelného toku). U tohoto vyhodnocení laboratorního měření (vzorku tl. 8 mm, teplotní spád celkové izolované vzduchové dutiny ~ 21 K) došlo k rozdílu 2,9 % (konkrétně 0,01 m²·K·W⁻¹) u tepelného odporu jádra výrobku. V případě ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti jádra výrobku se jedná o rozdíl 4,3 % (0,024 – 0,023 = 0,001 W·K⁻¹·m⁻¹).

Extrudovaný - lehčený PE s oboustranným reflexním povrchem

Tab. 2 Naměřené a vypočtené hodnoty tepelného odporu a součinitele tepelné vodivosti jádra výrobku

Tloušťka měřeného vzorku [mm] Teplotní spád [K]	Tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] jádra výrobku		Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$] jádra výrobku		Rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami	
	„vypočtený“	„naměřený“	„vypočtený“	„naměřený“	R	λ
8 / ~ 21	0,34	0,35	0,024	0,023	0,01	0,001
8 / ~ 7	0,34	0,35	0,024	0,023	0,01	0,001
10 / ~ 21	0,35	0,36	0,029	0,028	0,01	0,001
10 / ~ 7	0,35	0,33	0,029	0,03	0,02	0,001
12 / ~ 21	0,35	0,34	0,035	0,035	0,01	0
12 / ~ 7	0,35	0,34	0,034	0,035	0,01	0,001
30 / ~ 15	0,8	0,77	0,038	0,039	0,03	0,001
30 / ~ 9	0,79	0,77	0,038	0,039	0,02	0,001

Z vyhodnocených měření je patrné, že se zvyšující tloušťkou jádra se zvyšuje i ekvivalentní součinitel prostupu tepla. Tento jev je způsobený tím, že při průchodu elektromagnetického záření prostředím je hustota zářivého toku pohlcována v absorbující vrstvě a přemění se ve vedení. Při vyšších tloušťkách izolace pak ke druhému reflexnímu povrchu menší poměr sálavé složky, proto to patrné zhoršení.

Podmínkou pro porovnání bylo stejný materiál jádra reflexní izolace, který byl ve všech případech výše uvedeného měření extrudovaný polyetylen s oboustranným reflexním povrchem (metalizovaná folie) - měnila se pouze tloušťka (8, 10, 12 a 30 mm).

LDPE bublinkové fólie s oboustranně natavenou metalickou hliníkovou folií

Tab. 3 Naměřené a vypočtené hodnoty tepelného odporu a součinitele tepelné vodivosti jádra výrobku

Tloušťka měřeného vzorku [mm] Teplotní spád [K]	Tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] jádra výrobku		Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$] jádra výrobku		Rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami	
	„vypočtený“	„naměřený“	„vypočtený“	„naměřený“	R	λ
15/~10	0,89	0,83	0,017	0,018	0,06	0,02
15/~16	0,81	0,83	0,019	0,018	0,02	0,01

Dle výše uvedené tabulky činí maximální rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami 7,2% (konkrétně $0,06 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$) u tepelného odporu a případě ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti jádra výrobku se jedná o rozdíl 5,9 % ($0,02 W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$).

Vícevrstvá reflexní izolace z vrstev pěnového polyetylénu a hliníkových folií

Tab. 4 Naměřené a vypočtené hodnoty tepelného odporu a součinitele tepelné vodivosti jádra výrobku

Tloušťka měřeného vzorku [mm] Teplotní spád [K]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] jádra výrobku		Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$] jádra výrobku		Rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami	
	„vypočtený“	„naměřený“	„vypočtený“	„naměřený“	R	λ
15/~14	0,723	0,729	0,021	0,021	0,02	0,00

Tab. 4 uvádí maximální rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami 1% (konkrétně $0,006 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) u tepelného odporu a v případě ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti jádra výrobku dokonce bylo dosaženo shodných hodnot.

1.2. SHRnutí

Laboratornímu měření byly podrobeny reflexní izolace s jádrem z extrudovaného polyetylénu s oboustranným reflexním povrchem (metalizovaná folie). Dále byla měřena LDPE bublinkové fólie s oboustranně natavenou metalickou hliníkovou folií a reflexní izolace složená z vrstev pěnového polyetylénu a hliníkových folií. Z výsledků měření za ustáleného teplotního stavu vyplynulo, že hodnoty získané experimentálně jsou velmi blízké hodnotám, které byly stanoveny teoreticky (výpočtem).

Během zajišťování vzorků pro měření od jednotlivých dodavatelů reflexních izolací, byla z jejich strany častá neochota vzorky poskytnout především z důvodu krátkého provádění jednotlivých laboratorních měření. Dle jejich tvrzení se projeví vlastnosti reflexních izolací až po několika hodinách, přestože v případě průkazní, úřední, rozhodčí zkoušky součinitele tepelné vodivosti nesmí mít měřicí interval kratší než pouhou jednu hodinu. Jelikož vybraná měření jednotlivých konstrukcí probíhala delší dobu (některá i několik dnů), bylo prokázáno, že tepelně izolační vlastnosti konstrukcí se v průběhu měření výrazně nelišily. Proto lze obavy některých dodavatelů považovat za irelevantní.

Při laboratorním měření metodou teplé skříně pro stanovení deklarovaných vlastností reflexních izolací dle ČSN EN 16012 je výsledný tepelný odpor jádra výrobku dán rozdílem měřeného tepelného odporu celé dutiny (metodou teplé skříně) a vypočtených tepelných odporů vzduchových dutin (podle ČSN EN ISO 6946). Na základě tohoto postupu, je velmi důležité, aby s hodnotou tepelného odporu jádra výrobku (popř. jejího ekvivalentního součinitele prostupu tepla) byla uváděna i hodnota emisivity povrchu zkoušeného vzorku. Jelikož v případě

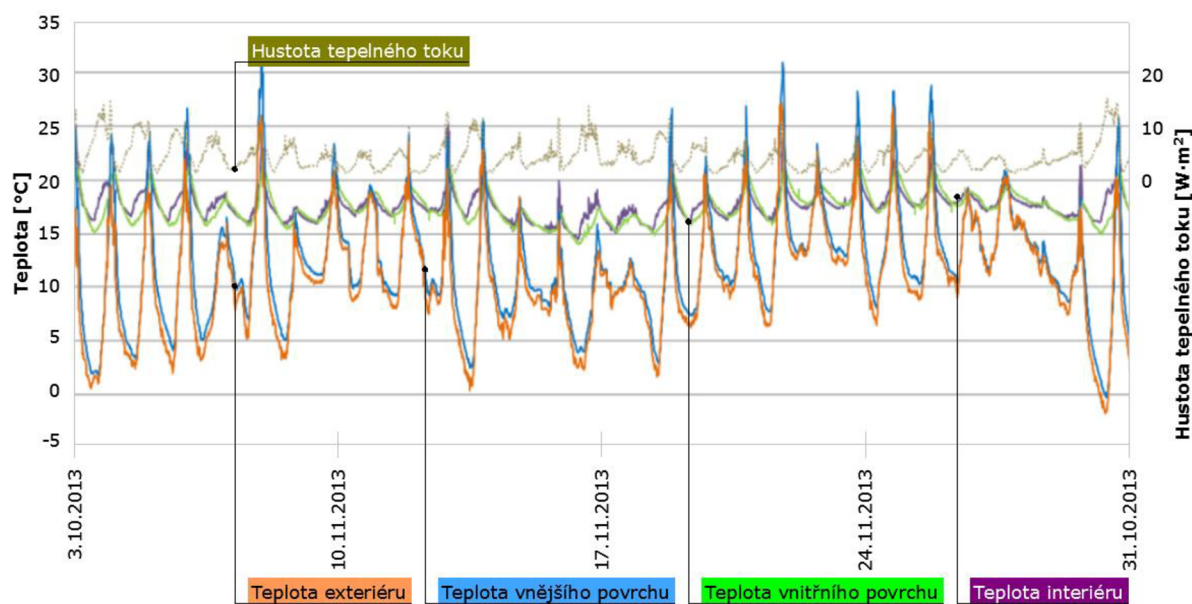
„uvažování“ nižší odrazivosti povrchu (vyšší emisivity), dochází při výpočtu jednotlivých dutin k nižším hodnotám tepelných odporů vzduchových vrstev a tím pádem k vyšším hodnotám tepelného odporu jádra výrobku.

2. NEUSTÁLENÝ TEPLOTNÍ STAV, MĚŘENÍ IN-SITU

Někteří výrobci reflexních izolací tvrdí, že tepelně izolační vlastnosti jejich výrobků lze prokázat pouze pomocí měření v reálných podmínkách, a ne v laboratoři. V některých případech hodnoty tepelných vlastností, které byly stanoveny podle neznámých metod, které nekorespondují s metodikou platných norem [NPL report, 2007]; [LABC technical guidance note, 2008]

2.1. EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ KONSTRUKCE STĚNY

Konstrukce stěny byla podrobena měření nepřetržitě v období „chladnějším“ 3. 10. 2013 – 14. 1. 2014 a v období „teplejším“ 10. 6 - 30. 9. 2014. Důvod zvoleného období byla kapacita měřicí ústředny a součinnost majitele. Během tohoto časového úseku však bylo získáno dostatečné množství relevantních dat, pro potřeby disertační práce dostačující. Záznam dat z měření probíhalo v patnáctiminutovém intervalu.



Obr. 14 Průběh měření časového úseku: říjen (3. 10. – 31. 10. 2013)

Vyhodnocení tepelného odporu a součinitele prostupu tepla ISO 9869 (1994):

- Tepelný odpor konstrukce $R = 1,73 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- Součinitel prostupu tepla $U = 0,45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

2.2. TEORETICKÉ STANOVENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ KONSTRUKCE STĚNY

Pro stanovení tepelných vlastností výpočtem využijeme metodiku ČSN EN ISO 6946. Hodnoty vstupující do výpočtu byly stanoveny především dle ČSN 730540-3:2005 (Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin). Emisivita povrchů obklopující vzduchovou vrstvu byla uvažována hodnotou $\varepsilon = 0,16$ (předpokládá se, že emisivita povrchů reflexní parozábrany a reflexního stavebního izolačního pásu bude velmi blízká této hodnotě, viz např. článek [KALÁNEK, 2013]). Součinitel tepelné vodivosti jádra reflexního stavebního izolačního pásu byl stanoven dle provedeného laboratorního měření (viz kapitola výše).

Tab. 5 Návrhové hodnoty veličin vstupující do výpočtu, konstrukční uspořádání skladby stěny

#	Název vrstvy	d [m]	λ_u [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
1	Dřevo měkké	0,0100	0,180
2	Parozábrana s reflexním povrchem	0,0002	0,390
3	Uzavřená vzduchová dutina	0,0460	0,079*
4	Reflexní izolace - lehčený PE	0,0080	0,024
5	Uzavřená vzduchová dutina	0,0800	0,135**
6	Reflexní izolace - lehčený PE	0,0080	0,035
7	Dřevo měkké	0,0100	0,180

* emisivita povrchů obklopující vzduchovou vrstvu: $\varepsilon = 0,16$, průměrná teplota ve vzduchové dutině = 13 °C, rozdíl teplot povrchů dutiny = 2°C.

** emisivita povrchů obklopující vzduchovou vrstvu: $\varepsilon = 0,16$, průměrná teplota ve vzduchové dutině = 10 °C, rozdíl teplot povrchů dutiny = 2°C.

Tab. 6 Vypočtený tepelný odpor a součinitel prostupu tepla konstrukce stěny

Tepelný odpor:	1,92 m ² · K · W ⁻¹	Součinitel prostupu tepla:	0,48 W · m ⁻² · K ⁻¹
----------------	---	----------------------------	--

2.3. SHRNUÍ, POROVNÁNÍ EXPERIMENTÁLNĚ A TEORETICKY STANOVENÝCH HODNOT

Konstrukce stěny – celá konstrukce

Tab. 7 Experimentálně a teoreticky stanovené hodnoty tepelného odporu a součinitele prostupu tepla konstrukce stěny

Termín	Tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]		Součinitel prostupu tepla U [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]		Rozdíl	
	„naměřený“	„vypočtený“	„naměřený“	„vypočtený“	R	U
Říjen	1,73	1,923	0,45	0,478	0,193	0,028
Listopad	1,61		0,51		0,313	0,032
Prosinec	1,47		0,55		0,453	0,072
Leden	1,56		0,52		0,363	0,042
Červen	1,81		0,45		0,113	0,028
Červenec	1,25		0,58		0,673	0,102
Srpen	1,56		0,45		0,363	0,028
Září	1,47		0,49		0,453	0,012

Tabulka uvádí jednotlivé naměřené a vypočtené hodnoty tepelného odporu a součinitele prostupu tepla. Rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami jsou patrné z tabulky, kdy maximální rozdíl činí $0,673 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ v případě tepelného odporu. Jedná se o měsíce červenec, u kterého došlo k maximální odchylce i při stanovení součinitele prostupu tepla o $0,102 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. V obou případech byla naměřená hodnota „horší“ než vypočtená. V průběhu celého měřeného období bylo vyhodnocení naměřených dat následující:

- Tepelný odpor konstrukce $R = 1,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- Součinitel prostupu tepla $U = 0,50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Kdy především v případě součinitele prostupu tepla (vypočtená hodnota $U = 0,478 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) je rozdíl pouhých $0,022 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Konstrukce stěny – vybraná vzduchová dutina

Tab. 8 Experimentálně a teoreticky stanovené hodnoty tepelného odporu vzduchové dutiny uvnitř konstrukce stěny

Termín měření	Tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]		Rozdíl
	„naměřený“	„naměřený“	
3. 10. – 31. 10. 2013	0,59	0,59	0
1. 11. – 30. 11. 2013	0,57		0,02
1. 12. – 31. 12. 2013	0,54		0,05
1. 1. – 14. 1. 2014	0,59		0

Tab. 8 uvádí jednotlivé naměřené a vypočtené hodnoty tepelného odporu vybrané vzduchové dutiny. Rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami jsou patrné z tabulky, kdy maximální rozdíl činí pouhých $0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ v měsíci prosinci a $0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ v měsíci listopadu. V průběhu celého měřeného období (3. 10. 2013. – 14. 1. 2014) bylo vyhodnocení naměřených dat následující:

- Tepelný odpor konstrukce $R = 0,56 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

V tomto případě rozdíl činí rozdíl $0,03 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Střecha – celá konstrukce

Tab. 9 Experimentálně a teoreticky stanovená hodnota tepelného odporu konstrukce střechy

Termín měření	Tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]		Rozdíl
	„naměřený“	„vypočtený“	
1. 11. – 30. 11. 2014	2,81	2,75	0,06
1. 12. – 31. 12. 2014	2,76		0,01
1. 1. – 14. 1. 2015	2,67		0,08

Tabulka uvádí jednotlivé naměřené a vypočtené hodnoty tepelného odporu. Jsou patrné rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami z tabulky, kdy maximální rozdíl činí „poměrně“ pouhých $0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ v měsíci lednu a $0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ v měsíci listopadu.

V průběhu celého měřeného období (1. 11. 2014 – 1. 1. 2015) bylo vyhodnocení naměřených dat následující:

- Tepelný odpor konstrukce $R = 2,76 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

V tomto případě rozdíl činí rozdíl $0,01 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Střecha – vybraná vzduchová dutina v konstrukci

Tab. 10 Experimentálně a teoreticky stanovené hodnota tepelného odporu vzduchové dutiny uvnitř konstrukce střechy

Termín měření	Tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]		Rozdíl
	„naměřený“	„vypočtený“	
1. 11. – 30. 11. 2014	0,4	0,42	0,02
1. 12. – 31. 12. 2014	0,32		0,10
1. 1. – 14. 1. 2015	0,31		0,11

Tab. 10 uvádí jednotlivé naměřené a vypočtené hodnoty tepelného odporu vybrané vzduchové dutiny. Rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami jsou patrné z tabulky, kdy maximální rozdíl činí $0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ v měsíci prosinci lednu.

V průběhu celého měřeného období (1. 11. 2014. – 14. 1. 2015) byl naměřen tepelný odpor konstrukce $R = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. V tomto případě rozdíl činí rozdíl $0,07 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Z výsledků měření za neustáleného teplotního stavu vyplynulo, že hodnoty získané experimentálně jsou velmi blízké hodnotám, které byly stanoveny teoreticky (výpočtem). Jelikož jednotlivá měření jednotlivých konstrukcí probíhala delší dobu (několik měsíců), bylo prokázáno, že tepelně izolační vlastnosti konstrukcí se v průběhu roku výrazně nelišily. Ve všech případech tepelně izolační vlastnosti reflexních izolací včetně přilehlých vzduchových vrstev korespondují s naměřenými hodnotami tepelných odporů získaných experimentálně za ustáleného teplotního stavu – v laboratorních podmínkách.

F. ZÁVĚRY PRO TECHNICKOU PRAXI

Dobré tepelně izolační vlastnosti ochlazované obálky budovy jsou jedním z předpokladů, že splníme legislativní požadavky na energetickou náročnost budov [Zákon 406/2000 Sb.], [Vyhláška č. 78/2013 Sb.]. Obvyklý způsob, jak toho docílit, je navýšení tloušťky tepelné izolace v konstrukci tak, aby byly splněny požadavky na součinitel prostupu tepla [ČSN 73 0540-2, 2011 + Z1:2012]. Tímto způsobem omezujeme přenos tepla vedením. Dále je možné využít tepelně izolačních vlastností kombinace reflexního povrchu se vzduchovou vrstvou. Pro stanovení tepelného odporu konstrukce s reflexní izolací a jí přilehlou vzduchovou vrstvou můžeme použít zjednodušený výpočtový model, experimentální měření v laboratoři nebo v reálných podmínkách.

Prvním cílem této disertační práce bylo stanovení tepelně izolačních vlastností vybraných reflexních izolací. Podrobnějšímu laboratornímu měření byly podrobeny reflexní izolace o shodném materiálu jádra výrobku při různých tloušťkách tak, aby bylo relevantnější porovnání vybraných charakteristik ovlivňujících tepelně izolační vlastnosti (tloušťka jádra výrobku a teplotní spád). Jedná se o reflexní izolaci s jádrem z extrudovaného - lehčeného PE s oboustranným reflexním povrchem (metalizovaná folie). Dále byla měřena LDPE bublinkové

fólie s oboustranně natavenou metalickou hliníkovou folií a vícevrstvá / sendvičová reflexní izolace složená z vrstev pěnového polyetylenu a hliníkových folií.

Na základě vyhodnocení naměřených hodnot za ustáleného teplotního stavu, lze konstatovat, že při menších tloušťkách je jádro reflexní izolace více ovlivněno obklopujícím reflexním povrchem, tzn., že dochází k mírnějšímu pohlcení hustoty zářivého toku v této absorbující vrstvě a tím vykazuje lepší ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti. Jev pohlcení zářivého toku v absorbující vrstvě při průchodu elektromagnetického záření prostředím je chápán jako přeměna zářivého toku na tepelný. Pro celkový tepelný odpor zde potom hraje důležitou roli i tloušťka daného výrobku, v našem případě nejširší zkoušený vzorek měl i největší naměřený tepelný odpor, přestože jeho ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti byl nejvyšší. Různý teplotní spád, kterému byly vystaveny jednotlivé zkoušené výrobky, nepoukázal na výraznější změnu jejich tepelně izolačních vlastností.

Dále byly porovnány jednotlivé druhy materiálu, z hlediska jejich tepelně izolačních vlastností. Nejlepších výsledků, nejnižšího ekvivalentního součinitele prostupu tepla, dosáhla LDPE bublinkové fólie s oboustranně natavenou metalickou hliníkovou folií. Vyšší hodnotu součinitele tepelné vodivosti měla vícevrstvá, sendvičová reflexní izolace a nejvyšší z měřených výrobků pak reflexní izolace s jádrem z extrudovaného, lehčeného PE. Tento stav se dal předpokládat, vzhledem ke skutečnosti, že bublinková folie obsahuje největší podíl průteplivého materiálu, konkrétně vzduch.

Laboratorní měření publikované v této disertační práci bylo prováděno i v délce několika dnů a jednotlivé povrchové teploty ani hustota tepelného toku nevykazovali monotónně vzestupnou či sestupnou tendenci. To znamená, že v případě průkazní zkoušky součinitele tepelné vodivosti jádra reflexní izolace nemusí být měřicí interval výrazně delší, než stanovuje norma, což vyvrátilo tvrzení několika výrobců a dodavatelů reflexních izolací.

Druhým cílem této disertační práce bylo stanovení tepelně izolačních vlastností vzduchových dutin v kontaktu s reflexním povrchem. V rámci jednotlivých experimentálních měření za ustáleného teplotního stavu, bylo mimo tepelně izolačních vlastností jádra reflexní izolace sledovány i tepelně izolační vlastnosti přilehlých vzduchových vrstev. Ve všech případech korespondovali (s minimálními odchylkami) teoreticky stanovené hodnoty s výsledky experimentálního měření. Vyhodnocení provedených měření prokázalo, že tepelné odpory vzduchových vrstev jsou v porovnání s tepelným odporem jádra výrobku reflexní

izolace nezanedbatelné. Z tohoto důvodu je pro smysluplné použití reflexní izolace nezbytné zajistit její aplikaci ve stavebních konstrukcích vždy ve spojení se vzduchovou mezerou.

Třetí cíl disertační práce spočíval v porovnání experimentálního měření s algoritmem výpočtového modelu, tj. normativního postupu.

Rozdíly mezi vypočtenými hodnotami tepelných odporů vzduchových vrstev dle ČSN EN ISO 6946 a výsledky laboratorních měření za ustáleného teplotního stavu jsou minimální.

I výsledky měření reálných konstrukcí za neustáleného teplotního stavu jsou velmi blízké hodnotám, které byly stanoveny teoreticky (výpočtem).

Přehled zjištěných závěrů z disertační práce pro technickou praxi:

- Menší tloušťka jádra reflexní izolace téhož materiálu vykazuje lepší tepelně izolační vlastnosti;
- změna teplotního spádu běžných okrajových podmínek má zanedbatelný vliv změnu tepelně izolačních vlastností reflexních izolací;
- nejnižší hodnotu ekvivalentního součinitele prostupu tepla jádra měřených výrobků (běžných výrobků – materiálů vyskytujících se na našem trhu) má LDPE bublinkové fólie s oboustranně natavenou metalickou hliníkovou folií;
- délka provedených laboratorních měření nemá vliv na přesnost výsledků tepelně izolačních vlastností reflexních izolací a přilehlých vzduchových dutin;
- deklarované tepelně izolační vlastnosti reflexních izolací musí být uváděny i s hodnotou emisivity jednotlivých povrchů;
- tepelně izolační vlastnosti reálných konstrukcí se v průběhu roku výrazně neliší;
- tepelné odpory vzduchových vrstev v kontaktu s reflexním povrchem v porovnání s tepelným odporem jádra výrobku reflexní izolace jsou významné;
- tepelně izolační vlastnosti vzduchových vrstev (v kontaktu s reflexním povrchem) měřených za neustáleného teplotního stavu (v reálných podmínkách) i za ustáleného teplotního stavu (v laboratoři) korespondují s metodikou výpočtu vzduchových vrstev dle ČSN EN ISO 6946;
- metodiku výpočtu vzduchových vrstev dle ČSN EN ISO 6946 lze doporučit pro využití v praxi.

G. MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU

Na základě výsledků disertační práce lze konstatovat, že stále je v dané oblasti řada otázek, na které by měly odpovědět další výzkumné práce. Níže uvádím témata pro další vědeckou práci.

Materiál jádra reflexní izolace

Hledání alternativních průteplivých materiálů jádra reflexních izolací. ČSN 730540-3 uvádí mezi průteplivé materiály mj. sklo nebo některé druhy plastů. Následně pak tyto materiály doplněné o reflexní povrch podrobit experimentálnímu měření.

Návrh vhodného konstrukčního uspořádání skladeb

Tato disertační práce byla zaměřena především na stanovení tepelněizolačních vlastností reflexních izolací, respektive jejich vlivu na přilehlou vzduchovou vrstvu. Abychom našli vhodné konstrukční uspořádání skladeb, je vhodné tepelně izolační vlastnosti doplnit o další poznatky jiných oborů, např. akustika, požárně bezpečnostní řešení, tepelná pohoda (letní simulace), vzduchotěsnost, ekonomika apod. S ohledem na možnost reálné aplikace na stavbě.

Řešení konstrukčních detailů

Jednotlivá laboratorní měření včetně následného hodnocení prezentované v této disertační práci byla prováděna za předpokladu jednorozměrného šíření tepla - přenos mezi velkými rovnoběžnými povrchy. V reálných budovách jsou problematická většinou místa, kde jsou tyto jednotlivé plochy spojeny, nebo v horším případě v místech systematických tepelných mostů. Měření a počítačová simulace konstrukčních detailů s aplikovanou reflexní izolací jak v laboratorních, tak reálných podmínkách, napomůže kritické detaily lépe řešit již v průběhu návrhu stavby.

Vliv stárnutí na tepelně izolační vlastnosti reflexních izolací

Vliv emisivity povrchů je pro tento typ izolace zcela zásadní. Povrchy reflexních izolací jsou provedeny z kovů, které i přes ochranu proti oxidaci mohou s postupem času způsobit nárůst emisivity povrchu izolace a tím snížit jejich tepelně izolační vlastnosti. Bylo by tedy vhodné provádět další měření, která by byla zaměřena na změnu účinnosti izolace vlivem stárnutí.

H. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

(Další uvedené v samotné práci)

- Česká republika. Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Sbírka zákonů ČR, 2013, ve znění pozdějších předpisů.
- Česká republika. ZÁKON 406/2000 Sb., o hospodaření energií v. Sbírka zákonů ČR, 2000, ve znění pozdějších předpisů.
- ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011 + Z1:2012
- ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005
- ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. Praha. Český normalizační institut, 2008
- ČSN EN ISO 8990:1998 (73 0557) *Tepelná izolace – Stanovení vlastností prostupu tepla v ustáleném stavu – Kalibrovaná a chráněná teplá skříň*. Praha: Vydavatelství Český normalizační institut. 1998
- EC-THERM, s.r.o.: firemní literatura [online]. [cit. 2020-2-18]. Dostupné z: <http://www.ec-therm.eu/>
- EPBD I - Směrnice evropského parlamentu a rady 2002/91/ES ze dne 16. prosince 2002 o energetické náročnosti budov. 2002, Úřední věstník Evropské unie L 001
- EPBD II - Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (přepřevání). 2010, Úřední věstník Evropské unie L 153/13.
- EPBD III - Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti. 2018, Úřední věstník Evropské unie L 156/75.
- KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M., Stanovení tepelného odporu reflexních izolací laboratorním měřením, příspěvek na konferenci *Sborník anotací konference Juniorstav 2013*, ISBN 978-80-214-4669-4, Brno, 2013
- LABC Technical Guidance Note: Use of multi-foil insulation products, compliance with regulation 7 and requirement L1, Duben 2008, Ref. No. 06/001 Revision c.
- NPL Report Mat 8: Evaluation of the thermal performance of insulation systems used in roof structures, Prosinec 2007.
- Reflective Insulation, Radiant Barriers And Radiation Control Coatings. In: [online]. RIMA International, 2002 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.rimainternational.org/pdf/handbook.pdf>

- YÜCEL, K a BASYIGIT, C a OZEL, C. (2003). Thermal insulation properties of expanded polystyrene as construction and insulating materials.

I. PŘEDSTAVENÍ AUTORA

Osobní informace

Jméno a příjmení:	Jiří Kalánek
Datum a místo narození:	17. 9. 1986, Svitavy
Adresa trvalého pobytu:	Opatovec 179, 568 02 Svitavy
Telefon / email:	+420 733 687 578 / Kalanek.Jiri@gmail.com
Rodinný stav:	ženatý

Vzdělání

2012 - současnost:	Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební, doktorský program – studijní obor: Pozemní stavby
2010 – 2012:	Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební, magisterský program – studijní obor: Pozemní stavby, ukončeno státní závěrečnou zkouškou
2006 – 2010:	Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební, bakalářský program – studijní obor: Pozemní stavby, ukončeno státní závěrečnou zkouškou
2002 – 2006:	Střední škola stavební Vysoké Mýto – obor pozemní stavitelství, ukončeno maturitní zkouškou

Praxe

2015 – současnost:	OSVČ - Projektová činnost ve výstavbě, provádění staveb, jejich změn a odstraňování
2012 - současnost:	vědecko-výzkumná činnost na ústavu VUT v Brně, fakulta stavební
2012 - 2019:	GAsAG s.r.o. - projektant pozemních staveb
2007 – 2011:	Projektová a inženýrská firma Ing. Arch. Josef Lopour – projektant pozemních staveb

- 2005 - 2010: ATL projekt s.r.o. – projektant pozemních staveb
2004: Stavební firma KLEPOCOL s.r.o.– stavební dělník, zedník

Jazykové znalosti

Anglický jazyk: znalost B1

Počítačové znalosti

- Microsoft Office, Adobe Photoshop, práci s pdf soubory
- ArchiCAD, – pokročilý
- AutoCAD, Draftsight, ZWCAD, DesignCAD, OtherCAD a SpiritCAD - středně pokročilý
- Sketchup – pokročilý
- software tepelné techniky (tepelná technika, stavební fyzika,...) - pokročilý

Řidičský průkaz

Skupina B

Oprávnění, autorizace

- Energetickým specialistou, MPO 1677
- Autorizovaný inženýr pro pozemní stavby: ČKAIT 1006481

Vybraná vědecko-výzkumná činnost - práce na projektech

- Ověření skutečných tepelně technických vlastností reflexních izolací (specifický výzkum, FAST-J-13-2034)

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

- KALÁNEK, J.; ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M. Compare of Experimental and Numerical Evaluation of Structure with Application of Reflective Insulation. Applied Mechanics and Materials, 2016, roč. 2016, č. 824, s. 34-42. ISSN: 1662-7482.
- KALÁNEK, J.; ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M.; Evaluation of the Thermal Resistance of Structure with Reflective Insulation: Measurement under Non-Stationary Boundary Conditions. AMR - Advanced Materials Research, 2014, roč. 1041, č. 1041, s. 150-153. ISSN: 1662- 8985.

- KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M.; ŠTEFFEK, L. Calculation and Experimental Evaluation of the Thermal Resistance of a Structure with Reflective Insulation. *Advanced Materials Research*, 2014, roč. 899, č. 2, s. 374-380. ISSN: 1022- 6680.
- ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M.; KALÁNEK, J. Simulation of Summer Thermal Stability of the Room and its comparison with the Real Measurement. *Applied Mechanics and Materials*, 2016, roč. 2016, č. 824, s. 536-543. ISSN: 1662-7482.
- ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M.; KALÁNEK, J. Analysis and Quantification of the Influence of Thermal Properties of Building Envelope on the Energy Balance. *AMR - Advanced Materials Research*, 2014, roč. 1041, č. 1041, s. 146-149. ISSN: 1662- 8985.
- ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M.; KALÁNEK, J.; JELÍNEK, P. The Impact of the Choice of Computational Methods on the Results of Simulations of Specific Heat Consumption for Heating a Family House. *Advanced Materials Research*, 2014, roč. 2014, č. 899, s. 161-165. ISSN: 1022- 6680.
- KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M.; ŠTEFFEK, L. Způsoby stanovení tepelně izolačních vlastností konstrukcí s reflexní izolací a možnosti využití výsledků ve stavební praxi. *Tepelná ochrana budov*, 2016, roč. 19, č. 4, s. 47-51. ISSN: 1213-0907.
- ŠTEFFEK, L.; KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M. Srovnání výsledků energetických simulací budovy s reálným provozem. *Tepelná ochrana budov*, 2015, roč. 18, č. 5, s. 14-17. ISSN: 1213-0907.
- KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M., Ekvivalentní součinitel prostupu tepla konstrukce s reflexní izolací, příspěvek na konferenci *Buildings and Environment 2012 Proceedings*, ISBN 978-80-214-4505-5, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2012
- KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M., Stanovení tepelného odporu reflexních izolací laboratorním měřením, příspěvek na konferenci *Sborník anotací konference Juniorstav 2013*, ISBN 978-80-214-4669-4, Brno, 2013

- KALÁNEK, J.; ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M. Emisivita a její vliv na stanovení deklarovaných tepelných vlastností reflexních izolací laboratorním měřením - metodou teplé skříně. In Sborník Juniorstav 2015. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 2015. s. - (- s.) ISBN: 978-80-214-5091- 2.
- KALÁNEK, J.; ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M., Porovnání tepelného odporu reflexní izolace s různou tloušťkou jádra při rozdílném teplotním spádu, příspěvek na konferenci Sborník anotací Juniorstav 2014, ISBN 978-80-214-4851-3, 2014
- KALÁNEK, J.; ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M., Způsoby stanovení koeficientu emisivity reflexní izolace a jeho vliv na tepelný odpor., příspěvek na konferenci Stavební fyzika v pozemním stavitelství: teorie a praxe, ISBN 978-80-214-4926-8, 2014
- ŠTEFFEK, L.; KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M. BYTOVÉ VĚTRÁNÍ A KONCENTRACE CO₂. In Sborník Juniorstav 2015. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 2015. s. - (- s.) ISBN: 978-80-214-5091- 2.
- ŠTEFFEK, L.; KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M., Porovnání tepelného odporu vzduchové vrstvy z různou tloušťkou při rozdílném teplotním spádu, příspěvek na konferenci Sborník anotací Juniorstav 2014, ISBN 978-80-214-4851-3, VUT v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2014
- ŠTEFFEK, L.; KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M., Vliv parametrů okenních výplní pro dosažení energeticky pasivního standardu domu, příspěvek na konferenci Sborník anotací Juniorstav 2014, ISBN 978-80-214-4851-3, VUT v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2014
- ŠTEFFEK, L.; KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M., Volba vhodného zasklení a sledování vlivu jeho parametrů, příspěvek na konferenci Sborník z konference - Stavební fyzika v pozemním stavitelství: Teorie a praxe, ISBN 978-80-214-4926-8, VUT v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2014
- ŠTEFFEK, L.; OSTRÝ, M.; KALÁNEK, J., EffectsofGlazing on theSpecific Heat Demandof a PassiveHouse, , OÖEnergiesparverband, Wels, Austria, 2014

- VLACH, F.; KALÁNEK, J., Vnější omítky v současné stavební praxi, článek v ERA 21, ISSN 1801-089X, ERA Média s.r.o., Praha, 2013
- JELÍNEK, P.; ŠTEFFEK, L.; KALÁNEK, J.; OSTRÝ, M.; SEDLÁK, J., Hodnocení energetické náročnosti a vnitřního mikroklimatu kruhového domu v Rapoticích, příspěvek na konferenci Sborník 36. mezinárodní vědecká konference kateder a ústavů pozemního stavitelství, ISBN 978-80-214-4536-9, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2012

J. ABSTRACT

The dissertation thesis is focused on thermal insulating properties of reflective insulation under boundary conditions typical for low-energy buildings.

In the introductory part of this thesis the attention is focused on the heat transfer process, primarily heat transfer by radiation. There is also described the reflective insulation and the methods of determination their thermal insulating performance.

The remaining part of the thesis deals with the analysis of the results obtained in experimental measurements. Measurement results are compared with the calculation model. Conclusions for technical practice including possibilities of further research are summarized in the final section.