

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI RÁMU OKENNÍ VÝPLNĚ A PŘIPOJOVACÍ SPÁRY

THERMAL PROPERTIES OF THE WINDOW FRAME AND CONNECTION JOINTS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
SHORT VERSION OF DISSERTATION

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. LUKÁŠ HEJNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. MILOŠ KALOUSEK, PH.D.

BRNO 2014

Klíčová slova

Ekvivalentní tepelná vodivost; lineární činitel prostupu tepla; povrchová teplota; připojovací spára; součinitel prostupu tepla; tepelný odpor; tepelný tok; teplotní faktor vnitřního povrchu; teplý distanční rámeček.

Key words

Equivalent thermal conductivity; Linear thermal transmittance; Surface temperature; connecting point; The heat transfer coefficient; thermal resistance; Heat flow rate; Temperature factor at the internal surface Warm Edge.

Rukopis disertační práce je uložen na Ústavu pozemního stavitelství, Fakultě stavební, VUT v Brně.

© Ing. Lukáš Hejný, 2014

OBSAH

1. ÚVOD	5
2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY A ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VELIČINY	6
2.1. Dosavadní způsob řešení osazení okenních výplní	6
2.1.1. Pokyny pro navrhování dle ČSN 73 0540-2.....	6
2.1.2. Osazení okenních výplní na jednovrstvé zdivo.....	6
2.1.3. Osazení okenních výplní na zateplené zdivo	6
2.1.4. Osazení okenních výplní v nízkoenergetických domech.....	7
2.1.5. Osazení okenních výplní na líc zdiva s přetažením tepelnou izolací	7
2.1.6. Další možnosti osazení okenních výplní.....	7
2.2. Fyzikální veličiny týkající se řešeného tématu.....	7
2.2.1. Součinitel prostupu tepla okenní výplně	7
2.2.2. Lineární a bodový činitel prostupu tepla	8
2.2.3. Povrchová teplota a teplotní faktor.....	8
3. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	9
4. MODEL Y TEPLOTNÍCH POLÍ	9
4.1. vylepšení tepelně technických vlastností rámu a křídla okna	9
4.2. Vhodný způsob osazení okenních výplní	11
5. OVĚŘENÍ VYPOČÍTANÝCH HODNOT	17
5.1. Měření termovizní kamerou	17
5.2. Laboratorní měření	19
5.2.1. Metoda teplé skříně	19
5.2.2. Popis měřicího boxu.....	20
5.2.3. Osazení rámu a křídla okna do měřicího boxu	20
5.2.4. Výsledky z měření a výpočet vstupních údajů pro simulace	22
5.2.5. Porovnání naměřených hodnot s vypočítanými hodnotami	23
6. VÝSLEDKY A ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE	25
6.1. Vylepšení tepelně technických vlastností rámu a křídla okna.....	25
6.2. Vhodný způsob osazení okenních výplní	25
6.2.1. Osazení okenní výplně v obvodové stěně	25
6.2.2. Vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry	25
6.3. Závěr.....	26
7. DOPORUČENÍ PRO TECHNICKOU PRAXI	26
8. MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU	27
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	28
10. CURRICULUM VITAE	29
11. ABSTRACT.....	31

1. ÚVOD

Výplně otvorů patří k technicky náročným konstrukcím objektů. Jsou součástí obalové konstrukce budovy a náleží mezi nejexponovanější stavební prvky. Z energetického hlediska jsou řazeny mezi nejslabší části obvodových plášťů budov. Jejich správný návrh patří k určujícím předpokladům tepelně technické kvality budovy. Jsou na ně kladeny vysoké požadavky a očekávány funkce, které jsou často protichůdné.

Tepelně technickou kvalitu obalových konstrukcí budov ve velké míře ovlivňují lineární a bodové tepelné mosty. Tyto tepelné mosty vznikají při napojování konstrukcí, prostupy obalovými konstrukcemi aj. Eliminace těchto tepelných mostů je možná pouze za předpokladu správného vyřešení a optimalizace problematických detailů a jejich správné provedení. Bezchybný návrh a jednoduchost řešení jsou kritéria, kterým je nutno věnovat pozornost. Především u pasivních a nízkoenergetických budov platí heslo „detail dělá stavbu“. Problematických detailů, zapříčiňujících vznik tepelných mostů a následné poruchy, v obalových konstrukcích budov je velmi mnoho.

Část práce je věnovaná řešení styků okenních výplní se stavební konstrukcí, které patří k nejproblematictějšími místům obvodové konstrukce. Tento stavební detail musí kromě splnění tepelně technických požadavků, přenést bezpečně různá zatížení z okenní výplně do obvodové stěny, eliminovat objemové změny těchto konstrukcí, vyrovnat výrobní tolerance hrubé stavby a zabezpečit fyzikální celistvost obvodové stěny.

Slabým místem okenní výplně, z hlediska tepelně technických vlastností, je i rám okna. Rámy dosahují mnohem nižších součinitelů prostupu tepla než zasklení. Tento rozdíl součinitelů prostupu tepla je nejvíce patrný u oken osazovaných do nízkoenergetických objektů. Komory v rámech oken jsou sice vyplňovány izolačními materiály, ale jejich součinitel prostupu tepla, i přes jejich zateplení, výrazně zhoršuje celkový součinitel prostupu tepla okenní výplně. Proto je část práce zaměřena na vylepšení tepelně technických vlastností rámu oken.

2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY A ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VELIČINY

2.1. DOSAVADNÍ ZPŮSOB ŘEŠENÍ OSAZENÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ

Způsob, jakým je okno osazeno (upevněno) přes obvodový rám k ostění, má vliv na správnou funkci, manipulaci, tepelnou i zvukovou izolaci a zajišťuje i jeho bezpečnost osazení. Způsob osazení okenních výplní záleží především na druhu samotné konstrukce, na skladbě použitých materiálů, druhu ostění a v neposlední řadě také na velikosti okna. Na způsob osazení okna je kladeno mnoho požadavků, např. umožnění dilatace (ve směru výšky i šířky), zamezení zatékání srážkové vody do vnitřní části konstrukce, zamezení infiltrace po obvodu rámu, univerzálnost, dostatečná životnost použitého systému apod. [8]

2.1.1. Pokyny pro navrhování dle ČSN 73 0540-2

K rozhodujícím prvkům tepelně technické kvality budovy patří koncepčně správné řešení oken, dveří a prosklených ploch a jejich tepelní vazby na obvodové konstrukce. Okenní výplně by se měly osazovat do obvodových stěn v rovině navazující na tepelně izolační vrstvu. Je vhodné částečné překrytí okenního rámu tepelně izolační vrstvou. Osazovací spára mezi ostěním otvoru a rámem okna musí být účinně a trvale tepelně izolována a těsněna. Zvláště pečlivě je třeba řešit detail překrytí osazovací spáry protidešťovou zábranou na vnější straně (vodonepropustnou, paropropustnou) a parozábrany při vnitřní straně. Tepelný tok, který vzniká v přípojovací spáře mezi okenní výplní a obvodovou konstrukcí, je vyjádřen lineárním činitelem přípojovací spáry. [2]

2.1.2. Osazení okenních výplní na jednovrstvé zdivo

Osazení okenních výplní na jednovrstvé zdivo je jedním z nejčastějších způsobů používaných v minulosti, ale je aplikován i v dnešní době. Okno je osazeno přibližně ve dvou třetinách šířky obvodové konstrukce. U tohoto způsobu osazení vzniká zvýšený tepelný tok, a tím zvýšení lineárního činitele přípojovací spáry, který má vliv také na celkový součinitel prostupu tepla okenní výplně.

2.1.3. Osazení okenních výplní na zateplené zdivo

Okno je osazeno stejně jako v předchozím případě, ale s tím rozdílem, že je provedena tepelná izolace ostění a nadpraží v tl. 30 mm až 40 mm k rámu okna. Tato varianta je v dnešní době nejčastější u zateplených budov. U tohoto způsobu přiteplení rámu dochází již ke snížení tepelných ztrát přípojovací spárou.

2.1.4. Osazení okenních výplní v nízkoenergetických domech

U těchto objektů je kladen velký důraz na eliminaci tepelných mostů a tím dosažení co nejmenší tepelné ztráty objektů. Okenní výplně se u těchto staveb nejčastěji osazují před líc obvodové konstrukce. Předsazení okna je pomocí kotevních prvků. Umístění okenní výplně je do tepelné izolace. Dále je možné provedení přetažení tepelné izolace 30 mm až 40 mm přes rám. V těchto případech dochází ke značnému snížení lineárního činitele připojovací spáry.

2.1.5. Osazení okenních výplní na líc zdiva s přetažením tepelnou izolací

Tento způsob spočívá v osazení okenní výplně na líc zdiva, kdy je tepelná izolace přetažena přes rám 30 mm až 40 mm. Osazení okna na líc zdiva, s přetažením tepelnou izolací přes rám, není příliš aplikováno. Lineární činitel připojovací spáry tohoto způsobu osazení je podrobně řešen v dalších částech práce.

2.1.6. Další možnosti osazení okenních výplní

Další z možností osazení okenních výplní je jeho zabudování do rámu z recyklovaného plastu, který je předem vložen do stavebního otvoru pro okno či dveře.

V dnešní době se používají různé zdící materiály, které mají v místě osazení okna zabudované tepelně izolační materiály, pro snížení tepelného mostu a lineárního činitele připojovací spáry.

Způsoby a poloha osazení oken v dřevostavbách jsou stejné jako u všech předchozích variant. Rozdíl je jen v kotvení a nosné konstrukci pro okenní výplně.

2.2. FYZIKÁLNÍ VELIČINY TÝKAJÍCÍ SE ŘEŠENÉHO TÉMATU

V následující části jsou popsány nejdůležitější veličiny týkající se tepelně technických vlastností okenní výplně. Nejdůležitější hodnotou z hlediska porovnání tepelně technických vlastností okna je součinitel prostupu tepla okenní výplně. Neméně důležitými veličinami jsou lineární a bodový činitel prostupu tepla, povrchové teploty a teplotní faktor.

2.2.1. Součinitel prostupu tepla okenní výplně

Součinitel prostupu tepla okenní výplně je jednou z nejdůležitějších charakteristik. Konstrukce oken musí splňovat podmínku $U \leq U_N$, kde U je součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] a U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]. Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ jsou uvedeny v tabulce 3 ČSN 73 0540-2.

V normách jsou uvedeny vztahy pro výpočty součinitelů prostupu tepla pro jednoduchá okna, dvojitá okna, okna s jednoduchým zasklením, okna s vícenásobným zasklením, okna s uzavřenými okenicemi a pro různé typy dveří. Dále jsou uvedeny vztahy týkající se pouze jednoduchého okna s vícenásobným zasklením a s plastovými rámy.

2.2.2. Lineární a bodový činitel prostupu tepla

Lineární činitel prostupu tepla Ψ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je veličina, která charakterizuje tepelně technické vlastnosti dvourozměrných tepelných mostů a vazeb (pro trojrozměrné tepelné mosty se používá bodový činitel prostupu tepla χ [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$]). Vyjadřuje množství tepla [W], které prochází při jednotkovém teplotním rozdílu jednotkovou délkou tepelného mostu.

Lineární i bodový činitel prostupu tepla Ψ_k [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a χ_j [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$] tepelných vazeb mezi konstrukcemi musí u budov s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{im} = 20$ °C splňovat podmínku $\Psi_k \leq \Psi_{k,N}$ a $\chi_j \leq \chi_{j,N}$.

2.2.3. Povrchová teplota a teplotní faktor

Prostřednictvím povrchové teploty se stanovuje, zda stavební konstrukce v navrženém provedení (složení) vyhoví požadavku, aby na jejím povrchu nemohlo dojít ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a posléze k případným dalším negativním jevům (např. hniloba, plíseň aj.). Aby bylo možno toto posoudit, provádí se výpočet či měření povrchové teploty v interiéru. [10]

Stanovením teploty na povrchu konstrukce θ_{si} a odpovídajícího teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} je možné ověřit a posoudit v ustáleném teplotním stavu riziko růstu plísní, popř. problémy s povrchovou kondenzací. Tyto parametry se posuzují především v kritických detailech stavebních konstrukcí, kterými jsou například tepelné mosty v konstrukcích a tepelné vazby mezi konstrukcemi.

U styků stavebních konstrukcí s okenní výplní se splnění požadavků podle ČSN 73 0540-2 ověřuje na řezu lineární tepelnou vazbou např. rámem se zasklením v místě ostění, včetně všech zabudovaných konstrukcí. Nebere se zřetel na venkovní a vnitřní žaluzie apod.

V těchto místech se vždy posuzují nejnižší zjištěné vnitřní povrchové hodnoty $\theta_{si,min}$ a jí odpovídající nejnižší zjištěné teplotní faktory povrchu $f_{Rsi,min}$.

Pro konstrukce, ve kterých můžeme uvažovat jednorozměrné šíření tepla (1D), je možné stanovit povrchové teploty dle jednoduchých vztahů např. v ČSN 73 0540-4. U složitějších částí konstrukcí, kde nelze uvažovat jednorozměrné šíření tepla, se vnitřní povrchové teploty stanoví řešením plošného teplotního pole (2D) pro neměnný charakteristický řez lineárním tepelným mostem nebo lineární vazbou. Nejsložitější případy, kdy nelze uvažovat jednorozměrné ani

dvojměrné šíření tepla se provede výpočet pomocí detailu (3D) trojměrného šíření tepla.

Povrchovou teplotu lze také vyjádřit tzv. teplotním faktorem vnitřního povrchu, což je poměrné vyjádření povrchové teploty v závislosti na teplotě interiéru a exteriéru. Vypočtená teplota či teplotní faktor se následně porovnává s kritickou teplotou či kritickým teplotním faktorem, pro něž platí, že při dosažení právě této hodnoty je konstrukce ohrožena zmíněnou kondenzací vzdušné vlhkosti. Kritický teplotní faktor se počítá z rovnice s přirozeně logaritmickou závislostí vztahu na návrhové a kritické vnitřní vlhkosti bezprostředně u vnitřního povrchu konstrukce.

Vnitřní povrchová teplota se ověřuje dvouměrným výpočtovým modelem za ustáleného teplotního stavu na řezu lineární tepelnou vazbou v kritických detailech (tj. řez připojovací spárou, zasklívací spárou apod.). [10]

3. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

- Vylepšení tepelně technických vlastností rámu okenních výplní snížením součinitele prostupu tepla.
- Nalezení optimálního řešení osazení okenních výplní nejen u staveb s nízkou energetickou náročností.

4. MODELÝ TEPLONÍCH POLÍ

K dosažení výše stanovených cílů je potřeba provést simulace teplotních polí modelů okenní výplně. V této kapitole jsou uvedeny možnosti pro vylepšení tepelně technických vlastností rámu okenních výplní a osazení v obvodové stěně.

4.1. VYLEPŠENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ RÁMU A KŘÍDLA OKNA

Možnost, jak dosáhnout lepších hodnot součinitele prostupu tepla rámu je vložení vakuové izolace do rámu okna místo stávajících materiálů umístěných v dutinách rámu. Vložením vakuové izolace do rámu oken dojde ke snížení součinitele prostupu tepla rámu U_f a následně snížení součinitele prostupu tepla celého okna U_w .

Stávající rámy okenních výplní určených především pro nízkoenergetické a pasivní domy mají dutiny vyplněné tepelnou izolací (EPS, PU) s hodnotami $\lambda = 0,03 - 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a dosahují hodnot součinitele prostupu tepla nejlépe $U_f = 0,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Nahrazením těchto materiálů vakuovou izolací, která má hodnotu $\lambda = 0,005 - 0,008 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, dojde ke snížení součinitele prostupu tepla.

Výpočty byly provedeny pro okno TOPLINE PLUS, jedná se o okenní výplně určené především pro pasivní a nízkoenergetické domy. Tato okenní výplně má v

rámu vloženu tepelnou izolací z tuhého PU. Součinitel prostupu tepla rámu okna VEKA TOPLINE PLUS je $U_f = 0,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Tato hodnota byla převzata z technického listu výrobku. Výpočet byl proveden s vložení vakuové izolace do komor tohoto okna.

Výpočet se provádí podle ČSN EN ISO 10077-2 příloha C, která určuje postup při stanovení součinitele prostupu tepla profilu rámu. Výpočet pomocí dvojrozměrného teplotního pole se provádí podle postupu stanoveného v této normě, tak aby vytvořený výpočtový model odpovídal co nejvíce skutečnému provedení při měření rámu ve zkušebně a bylo možné porovnání vypočítaného součinitele prostupu tepla rámu s deklarovanou (naměřenou) hodnotou.

Vypočítaný součinitel prostupu tepla rámu pro okno s tepelnou izolací z polyuretanu je $U_f = 0,683 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Naměřená hodnota ve zkušebně (deklarovaná hodnota výrobcem pro tento typ okna) je $U_f = 0,70 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Hodnota součinitelů prostupu tepla (vypočítaná a naměřená ve zkušebně) je srovnatelná. Je tedy možné provést výpočet s nahrazením tepelné izolace z polyuretanu vakuovou izolací. Rozdíl mezi těmito hodnotami je zřejmě způsobený ideálním vyplněním komor tepelnou izolací v počítačovém modelu. Celý počítačový model pro výpočet součinitele prostupu tepla rámu okna s vakuovou izolací zůstane beze změn, dojde jen ke změně tepelné vodivosti izolace v komorách rámu a křídla.

Vypočítaný součinitel prostupu tepla rámu pro okno s tepelnou izolací z vakuové izolace je $U_f = 0,408 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Tab. 1 Porovnání součinitele prostupu tepla rámu

Varianty	Součinitel prostupu tepla rámu U_f [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$]
Rám s tepelnou izolací z tuhého PU	0,68
Rám s tepelnou izolací z VI	0,41
Naměřená, deklarovaná hodnota výrobcem	0,70

Užitný vzor

V roce 2009 byl podán užitný vzor na výše uvedený způsob využití vakuové izolace, pro zateplení komor rámu a křídel. Užitný vzor byl přijat ÚŘADEM PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ a zapsán pod „Značkou zápisu PUV 2009-21591“. Původci užitného vzoru jsou Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D. a Ing. Lukáš Hejný.

4.2. VHODNÝ ZPŮSOB OSAZENÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ

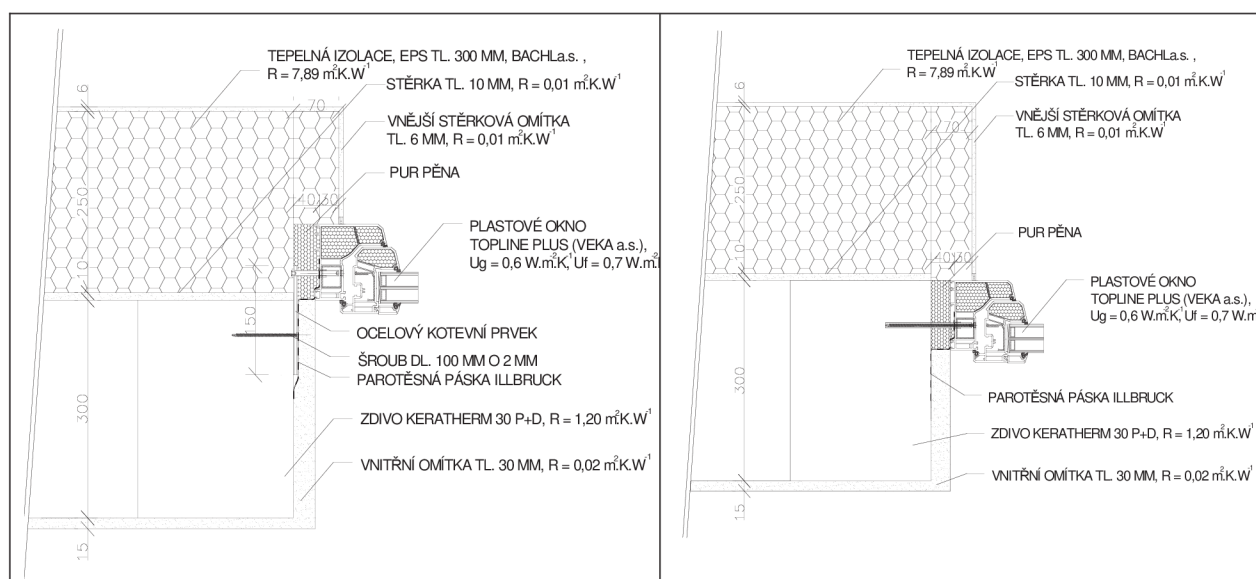
Především problémy s dosavadními způsoby osazování okenních výplní u nízkoenergetických a pasivních domů vedly ke snaze o nalezení optimálního řešení. Problémy spojené s dosavadním způsobem jsou podrobně popsány v disertační práci.

Je proveden návrh osazení okenní výplně na vnější líc zdiva s přetažením tepelné izolace přes rám. Dále je vypočítán lineární činitel připojovací spáry, součinitel prostupu tepla okna se započítáním lineárního činitele prostupu tepla, náklady na ukotvení a náklady na pokrytí tepelných ztrát okenní výplně. Tato varianta je porovnána s variantou osazení okna do tepelné izolace.

Porovnání je provedeno pro plastové okno TOPLINE PLUS od firmy VEKA a.s. První varianta (Obr. 1): okno uloženo v tepelné izolaci, která přesahuje přes rám 30 mm, ukotvení pomocí ocelových kotev do zdiva v ostění, do železobetonového věnce v nadpraží a položené na dřevěném hranolku 86/120 mm u parapetu.

Druhá varianta (Obr. 2): okno uloženo na zdivu se zateplením rámu, tepelná izolace vytažena přes rám 30 mm u ostění a nadpraží a kotveno šrouby.

V obou variantách jsou použity stejné vlastnosti materiálů a stejné okrajové podmínky.



Obr. 1 Osazení okna v tepelné izolaci – ostění

Obr. 2 Osazení okna na zdivu - ostění

Posuzované detaily byly modelovány v programu ANSYS 11.0, ANSYS Workbench a výpočet proveden metodou MKP. Návrhové hodnoty materiálů a výpočty lineárního činitele prostupu tepla a dalších fyzikálních veličin byly stanoveny dle ČSN 73 0540-2,3,4, ČSN EN ISO 10077-1,2, ČSN EN ISO 14683, ČSN EN ISO 10211 a ČSN EN 12831. Hodnoty měrných tepelných toků z programu ANSYS Workbench byly využity k výpočtu tepelné propustnosti a

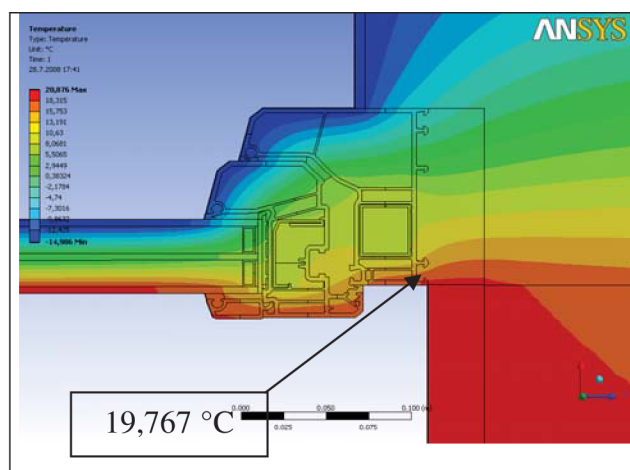
lineárního činitele prostupu tepla a součinitel prostupu tepla celé konstrukce. Ze získaných dat byla vypočítána tepelná ztráta prostupem jedním oknem a stanovena celková cena potřebná na pokrytí nákladů na vytápění. Tato cena byla porovnána s cenami na ukotvení jednotlivých variant osazení okenních výplní.

V následující tabulce jsou uvedeny vypočítané hodnoty lineárního činitele prostupu tepla posuzovaných detailů. S označením „a“ jsou hodnoty pro detaily mimo kotvy a s označením „b“ jsou v místě kotvy. Dále jsou uvedeny hodnoty θ_{sim} - průměrná vnitřní teplota a Ψ_f - lineární činitel prostupu tepla připojovací spáry.

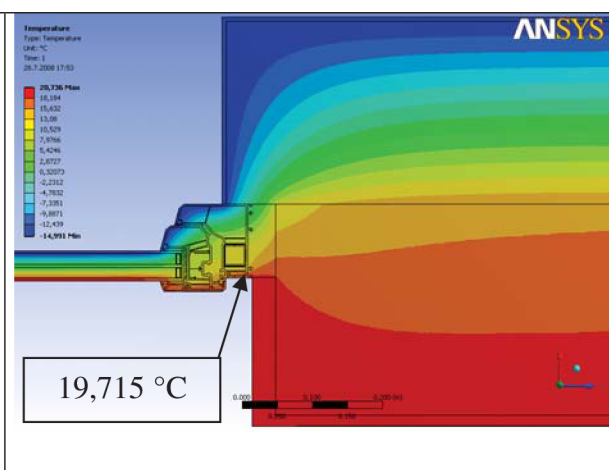
Tab. 2 Lineární činitel prostupu tepla posuzovaných detailů

Ozn. detailu	Popis	θ_{sim} (°C)	Ψ_f (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Ozn. detailu	Popis	θ_{sim} (°C)	Ψ_f (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
Uložení okenní výplně na tepelné izolaci T1 - T3							
T1-a	Parapet	19,509	0,033	T1-b	Parapet	19,461	0,051
T2-a	Ostění	19,767	-0,017	T2-b	Ostění	19,731	-0,005
T3-a	Nadpraží	19,799	-0,028	T3-b	Nadpraží	19,796	-0,027
Uložení okenní výplně na zdivu S1 - S3							
S1-a	Parapet	19,407	0,070	S1-b	Parapet	19,433	0,061
S2-a	Ostění	19,715	0,000	S2-b	Ostění	19,706	0,003
S3-a	Nadpraží	19,699	0,005	S3-b	Nadpraží	19,691	0,008

Na obrázku 3 a 4 je znázorněno teplotní pole detailu části okna uloženého v tepelné izolaci a na zdivu, v místě ostění.



Obr. 3 Osazení okna v tepelné izolaci – ostění, mimo kotvy (T2-a)



Obr. 4 Osazení okna na zdivu – ostění, mimo kotvy (S2-a)

Z hodnot získaných ze simulací byl proveden výpočet součinitele prostupu tepla okna pro jednotlivé varianty. Teprve na základě této hodnoty součinitele prostupu tepla, která je nejdůležitější srovnávací hodnotou pro tepelně technické vlastnosti okenních výplní, lze provést závěry vlivu uložení okna v jednotlivých variantách.

Celková hodnota součinitele prostupu tepla okna U_w se započítanými hodnotami Ψ_f (výpočet dle ČSN EN ISO 10077-1,2): okno uložené v tepelné izolaci $U_w = 0,6901 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, okno uložené na zdivu $U_w = 0,7481 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Hodnota součinitele prostupu tepla okna U_w bez započítaných hodnot Ψ_f je pro okna uložené v tepelné izolaci a na zdivu $U_w = 0,6979 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Součinitel prostupu tepla okna U_w bez započítaných hodnot Ψ_f je o 1,12% větší než U_w okna uloženého v tepelné izolaci. Hodnota U_w okna uloženého na zdivu je o 7,75% větší než U_w okna uloženého v tepelné izolaci.

 Tab. 3 Porovnání celkového součinitele prostupu tepla okna U_w

Varianta	$U_w (\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1})$
Okno uložené v tepelné izolaci se započítanými hodnotami Ψ_f	0,690
Okno uložené na zdivu se započítanými hodnotami Ψ_f	0,748
Okno uložené na zdivu i v tepelné izolaci bez započítaných hodnot Ψ_f	0,698

Na základě provedených výpočtů dvojrozměrného teplotního pole vyplynulo, že při dostatečném zateplení obvodové konstrukce a přetažení tepelné izolace min. 30 mm přes rám jsou hodnoty lineárního činitele prostupu tepla v obou variantách srovnatelné. Celkové hodnoty U_w jsou při osazení okna v tepelné izolaci o něco příznivější, ale nesmíme opomenout vyšší náklady a náročnější provedení při tomto uložení. Ekonomické posouzení je provedeno v následujícím odstavci.

Dále je provedeno srovnání tepelných ztrát prostupem a potřeby tepla na jejich pokrytí jedním oknem. Porovnání bylo provedeno pro okno uložené v tepelné izolaci a pro okno uložené na zdivu, s přetažením rámu tepelnou izolací.

Tab. 4 Hodnoty součinitelů prostupu tepla, tepelných ztrát prostupem a roční potřeba energie pro krytí tepelných ztrát prostupem

Veličina	Okno osazené v tepelné izolaci	Okno uložené na zdivu
$U_w (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$	0,690	0,748
$E_{vp} (\text{kWh/a})$	128	138
$\Phi_p (\text{kW})$	0,050	0,054

Přepočet potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát při přestupu tepla jednou okenní výplní je proveden pro ceny při vytápění objektu zemním plynem a elektrinou. Ceny byly stanoveny pro průměrnou domácnost s ročním odběrem zemního plynu v pásmu do 30 MWh/rok. Pro domácnost s ročním odběrem elektrické energie byla cena stanovena pro jednotarifovou sazbu (pro malou spotřebu). Ceny jsou stanoveny dle aktuálního ceníku pro rok 2014 dvou

významných dodavatelů energií, společností RWE (zemní plyn) a E.ON (elektrická energie).

Ceny kotevních prvků jsou převzaty z ceníku firmy SFS intec s.r.o. Veškeré výpočty, jak tepelné ztráty, tak počty a typy kotev apod. byly provedeny pro okno o rozměrech 1500/1500 mm.

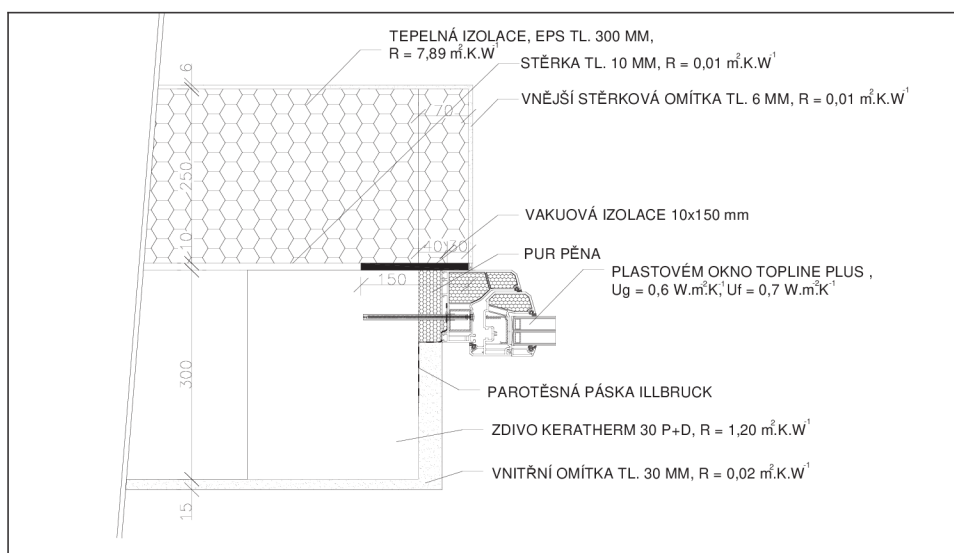
Tab. 5 Náklady na pokrytí tepelných ztrát

Popis	Zemní plyn	Elektřina	Náklady na ukotvení okna
Okno v tepelné izolaci	178,33 Kč	625,13 Kč	1.433,13 Kč
Okno na zdivu	192,26 Kč	667,64 Kč	80,04 Kč
Rozdíl	13,93 Kč	42,51 Kč	1.353,09 Kč

Náklady na pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla jedním oknem za rok při osazení na zdivu jsou **a)** při vytápění objektu zemním plynem o 13,93 Kč větší než při uložení na tepelné izolaci, **b)** při vytápění objektu elektřinou o 42,51 Kč větší než při uložení na tepelné izolaci. Náklady na ukotvení jednoho okna na tepelné izolaci jsou o 1.353,09 Kč větší než při uložení okna na zdivu.

Vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry vakuovou izolací

Dodatečné zateplení připojovací spáry okenní výplně vakuovou izolací slouží k vylepšení tepelně technických vlastností. Okno je osazeno na líc obvodové konstrukce a tepelná izolace je přetažena min. 30 mm přes rám. Do dutiny, která vzniká při kontaktním zateplování, tedy mezi obvodovou konstrukcí a tepelnou izolací, je umístěna vakuová izolace. Tato izolace je osazena v místě přesahu rámu mezi okenní výplní a tepelnou izolací (tj. 30 mm) a dále mezi obvodovou stěnou a tepelnou izolací (120 mm). Rozměry vakuové izolace jsou: výška 150 mm, tloušťka 10 mm, délka min. 70 mm. Při dodatečném zateplení deskami s vakuovou izolací dojde ke zlepšení tepelně technických vlastností okenních výplní, což má za následek zvýšení povrchové teploty na vnitřní straně konstrukce, snížení lineárního činitele prostupu tepla a zvýšení součinitele prostupu tepla rámu.



Obr. 5 Osazení okna na zdivu s vloženou vakuovou izolací

Okno s tepelnou izolací, určené pro nízkoenergetické a pasivní domy

Porovnání bylo provedeno pro tři varianty osazení okenní výplně v obvodové konstrukci. V těchto třech variantách byla porovnána okna určená především pro nízkoenergetické a pasivní domy.

V první variantě bylo zvoleno tradiční osazení okenní výplně u pasivních a nízkoenergetických domů a to před líc obvodové konstrukce na tepelnou izolaci.

Ve druhé variantě bylo okno uloženo na hranu vnějšího líce obvodové konstrukce a rám okna byl zateplen přetažením tepelné izolace 30 mm přes rám.

Ve třetí variantě bylo okno osazeno stejně jako ve druhé variantě, ale rám okna byl následně přiteplen vakuovou izolací.

Ve všech variantách byly zvoleny stejné vlastnosti materiálů, typy oken a okrajové podmínky. Porovnání výsledků je možné provést v tabulce 6.

Tab. 6 Porovnání lineárního činitele a součinitele prostupu tepla a teploty v připojovací spáře jednotlivých variant

Popis osazení	Ψ_f ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	U_w ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)	θ_{sim} ($^{\circ}\text{C}$)
Uložení v tepelné izolaci	-0,017	0,652	19,767
Uložení na zdivu	0,000	0,698	19,715
Uložení na zdivu s vakuovou izolací	-0,018	0,647	19,769

Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla okna U_w osazeného v tepelné izolaci před lícem zdiva je $U_w = 0,652 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací, ale bez vložení vakuové izolace je $U_w = 0,698 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a hodnota U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací a s vloženou vakuovou izolací je $U_w = 0,647 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Hodnoty součinitele prostupu

tepla U_w u okna osazeného ve variantě číslo tři jsou srovnatelné s hodnotami okna uloženého v tepelné izolaci (varianta 1) a výrazně lepší než ve variantě 2.

Dále je provedeno cenové porovnání osazení oken v jednotlivých variantách. Výsledné ceny jsou uvedeny v tabulce. Uvedené ceny jsou pouze za materiál, bez ceny montážních prací. Cena vakuové izolace je stanovena firmou TACHTECH s.r.o.

Tab. 7 Porovnání nákladů pro jednotlivé varianty

Varianta osazení oken	Náklady na pořízení kotevních prvků
Okno v tepelné izolaci	1.433,13 Kč
Okno na zdivu bez vakuové izolace	80,04 Kč
Okno na zdivu s vloženou vakuovou izolací	1.094,50 Kč

Okno bez tepelné izolace, určené pro běžné objekty

Dále je proveden výpočet součinitele prostupu tepla celého okna U_w a porovnání pro běžný typ okna s rozměry 1500 x 1500 mm a vlastnostmi $U_g = 1,2 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, $U_f = 1,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, $\Psi_g = 0,03 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Jedná se o osazení okenní výplně na cihlové zdivo se zateplením EPS tl. 140 mm. V první variantě bylo počítáno s nulovou hodnotou lineárního činitele prostupu tepla (bez vlivu přetažené tepelné izolace či vakuové izolace), ve druhé variantě byl zohledněn lineární činitel připojovací spáry okna s přetaženou tepelnou izolací 30 mm přes rám okna a ve třetí variantě je okno přitepleno dodatečnou vakuovou izolací. Okno bylo zvoleno EuroFutur Classic od firmy Kömmerling.

Při výpočtu byly voleny různé délky vakuové izolace (varianty byly provedeny pro délky po 10 mm). Nejekonomičtější varianta byla pro délku vakuové izolace 70 mm od hrany zdiva. Délka izolace nad tuto délku již neměla výraznější vliv na tepelně technické vlastnosti připojovací spáry a nebylo by tedy efektivní její umístění.

Tab. 8 Porovnání lineárního činitele a součinitele prostupu tepla jednotlivých variant

Popis osazení	$\Psi_f (\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1})$	$U_w (\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1})$
Bez započítání Ψ_f	0,000	1,361
Uložení na zdivu bez vakuové izolace	-0,077	1,155
Uložení na zdivu s vakuovou izolací	-0,089	1,123

Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla běžného okna U_w bez započítaného lineárního činitele připojovací spáry, $U_w = 1,361 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací, ale bez vložení vakuové izolace $U_w = 1,155$

$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ a hodnota U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací a s vloženou vakuovou izolací $U_w = 1,123 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

Na základě provedených výpočtů dvojrozměrného teplotního pole vyplynulo, že při zateplení obvodové konstrukce a přetažení tepelné izolace min. 30 mm přes rám a umístěním vakuové izolace dojde k výraznému vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry. Z výsledků výpočtů vyplývá, že při dodatečném zateplení vakuovou izolací dojde ke snížení lineárního činitele připojovací spáry a součinitele prostupu tepla okenní výplně. Kombinace přetažení tepelné izolace přes rám a dodatečné přiteplení okenní výplně je vhodná především u nízkoenergetických a pasivních domů, kde se již nemusí osazovat okna před zdivo do tepelné izolace.

Užitný vzor

V roce 2009 byl podán užitný vzor na výše uvedený způsob využití vakuové izolace, na zaizolování připojovací spáry vakuovou izolací. Užitný vzor byl přijat ÚŘADEM PRŮMYSLVÉHO VLASTNICTVÍ a zapsán pod „Značkou zápisu PUV 2009-21593“. Původci užitného vzoru jsou Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D. a Ing. Lukáš Hejný.

5. OVĚŘENÍ VYPOČÍTANÝCH HODNOT

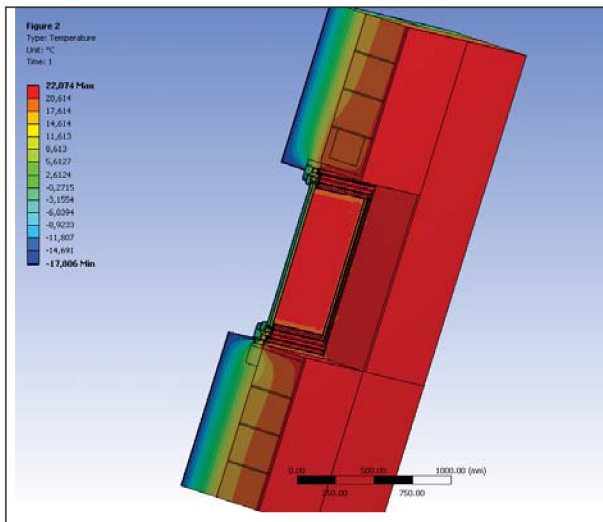
V této kapitole jsou popsány postupy a uvedeny výsledky z měření, jak na stavbách, tak na modelu vytvořeném v laboratoři. Tyto naměřené hodnoty byly porovnány s vypočítanými hodnotami.

5.1. MĚŘENÍ TERMORIZNÍ KAMEROU

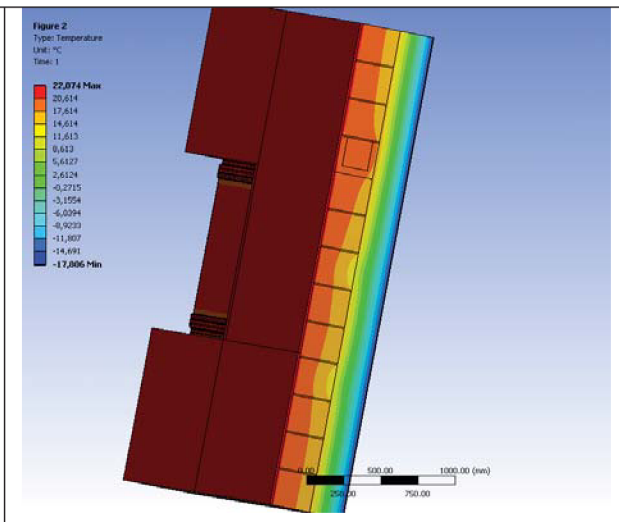
V této kapitole je provedeno porovnání povrchových teplot z termovizních snímků s výpočtovým modelem z programu ANSYS. Porovnání se týkalo povrchových teplot okenní výplně osazené v tepelné izolaci.

Při měření termovizní kamerou byla teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai} = 13$ °C a teplota vnějšího vzduchu $\theta_{ae} = -2,5$ °C. Tyto okrajové podmínky byly použity na model okna uvedeného na Obr. 6 a 7. Cílem bylo dosažení co nejrealističtějších podmínek modelu, které byly při pořizování termovizních snímků. Jedná se o trojrozměrné teplotní pole s namodelovanými kotvícími prvky. Dále bylo uvažováno s hodnotami tepelného odporu při přestupu tepla $R_{si} = 0,13 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$. Hodnoty tepelných odporů byly stanoveny dle normových hodnot s přihlédnutím k aktuálním povětrnostním podmínkám při pořizování termovizních snímků v interiéru a exteriéru. Nebylo provedeno měření ke stanovení jejich skutečných hodnot. Z tohoto důvodu jsou výsledky této kapitoly pouze orientační a nelze je považovat za zcela průkazné.

Na následujících obrázcích je uveden model a znázorněno teplotní pole okna osazeného v obvodové stěně. Svislá řezová rovina byla vedena v polovině okna. Z obrázku je patrné, do jaké vzdálenosti od okna jsou izotermy ve stěně ovlivněny právě osazením okenní výplně.

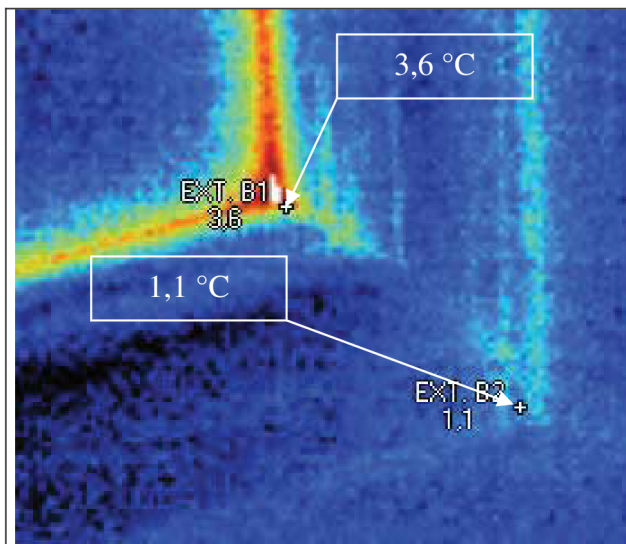


Obr. 6 Trojrozměrný model osazení okna v tepelné izolaci

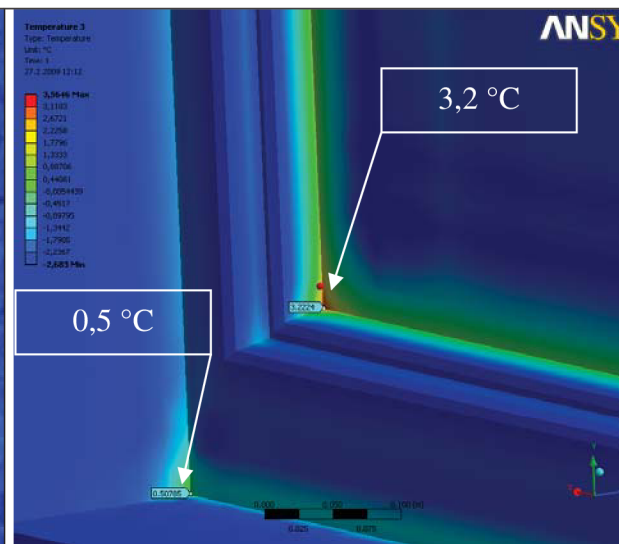


Obr. 7 Trojrozměrný model osazení okna v tepelné izolaci

Na následujících obrázcích je porovnání termovizních snímků s modelem a porovnání jednotlivých povrchových teplot v exteriéru. Naměřená teplota v rohu okna u zasklení byla 3,6 °C, v rohu u připojovací spáry 1,1 °C. Teploty z provedené simulace byly u zasklení 3,2 °C a u připojovací spáry 0,5 °C.

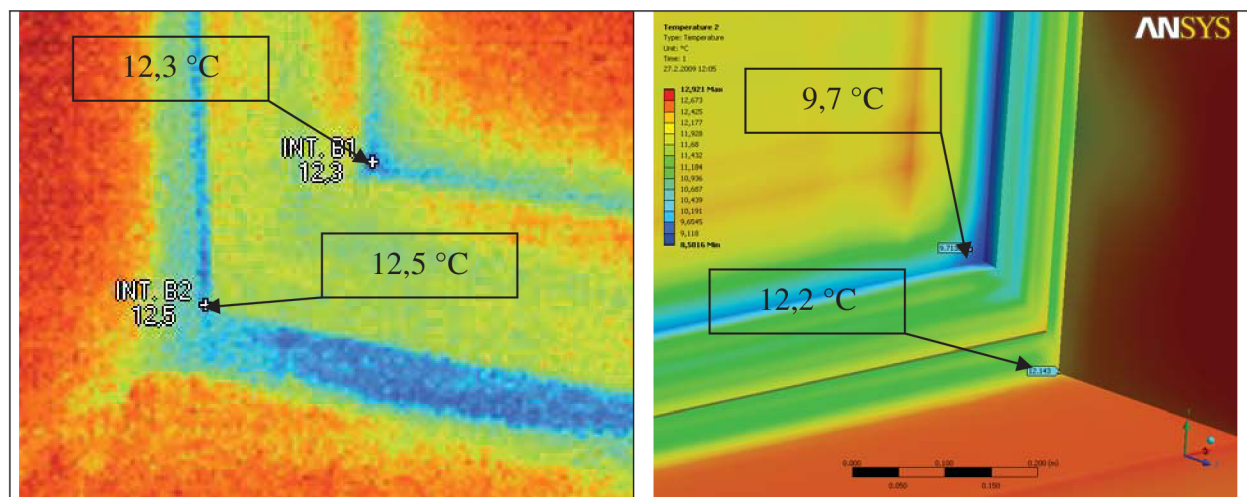


Obr. 8 Termovizní snímek - exteriér



Obr. 9 Výstup z výpočtů - exteriér

Na následujících obrázcích je porovnání termovizních snímků s modelem a porovnání jednotlivých povrchových teplot v interiéru. Naměřená teplota v rohu okna u zasklení byla 12,3 °C, v rohu u připojovací spáry 12,5 °C. Teploty z provedené simulace byly u zasklení 9,7 °C a u připojovací spáry 12,2 °C.



Obr. 10 Termovizní snímek - interiér Obr. 11 Výstup z výpočtů - interiér

Rozmezí povrchových teplot bylo v průměru kolem $0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, jen v jednom bodě byla hodnota kolem $2,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tyto rozdíly jsou způsobeny nepřesností přístroje, možnou chybou výpočtu v místě elementu a především uvažovanými okrajovými hodnotami tepelného odporu při přestupu tepla, které se liší od reálných hodnot. Jelikož nebyly stanoveny hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla v reálném čase měření termovizní kamerou, ale byly do výpočtu vloženy normové hodnoty, musíme vzít výsledky z porovnání pouze jako orientační. I přes tyto okolnosti jsou získané hodnoty srovnatelné.

5.2. LABORATORNÍ MĚŘENÍ

V této části je provedeno porovnání tepelných toků a hodnot získaných z modelu z programu ANSYS s naměřenými hodnotami v laboratoři na vytvořeném modelu v měřicím boxu. Dále byl proveden popis metody teplé skříně. V této kapitole je také popis měřicího boxu, který byl využitý pro měření hodnot rámu okna.

5.2.1. Metoda teplé skříně

Stanovení tepelně technických vlastností konstrukcí (prostupy tepla konstrukcí a především prostup tepla rámu a křídla) je možné provádět přímo měřením, při normalizovaných podmínkách, metodou kalibrované nebo chráněné skříně podle ČSN ISO 8990 a EN ISO 12567-1. Pro měření prostupu tepla rámu se postupuje podle ČSN EN 12412-2 a ČSN ISO 8990 a EN ISO 12567-1. Metoda teplé skříně může být použita jak pro celé rámy, tak pro části rámu. V našem případě byla zvolena druhá možnost a to část rámu s křídlem okenní výplně.

Tento způsob měření prostupu tepla je vhodný především u rámu a křídla okna, kde výsledný prostup tepla je souhrnem kombinace vedení tepla, sálání a proudění. Metoda teplé skříně spočívá ve stanovení celkového množství tepla,

kteřé projde z jedné strany vzorku na druhou stranu pro daný rozdíl tepla, nezávisle na jednotlivých způsobech šíření tepla. Výsledné hodnoty prostupu tepla jsou však většinou závislé přímo na zvoleném vzorku, okrajových podmínkách, směru toku tepla, teplotách, rychlosti proudění vzduchu, relativní vlhkosti apod.

5.2.2. Popis měřicího boxu

Měření bylo prováděno na měřicím boxu, kde bylo možné simulovat teplotu na vnější straně konstrukce. Vnitřní strana konstrukce byla umístěna v prostředí laboratoře, kde teplota vnitřní strany byla simulována skutečnou teplotou v laboratoři. Byla snaha o co největší přiblížení teplot v boxu a laboratoři, které by odpovídaly co nejvíce normovým návrhovým teplotám.

Měřicí box v laboratoři má vnější rozměry 2000 mm x 2000 mm x 2500 mm. Jeho nosnou kostru tvoří hranoly o rozměrech 40/60/2000 mm, které jsou navzájem pospojovány vruty a ocelovými hřeby. Plášť tohoto boxu je tvořen OSB deskami a tepelnou izolací z desek EPS na bázi grafitu.



Obr. 12 Izolace měřicího boxu s výparníkem

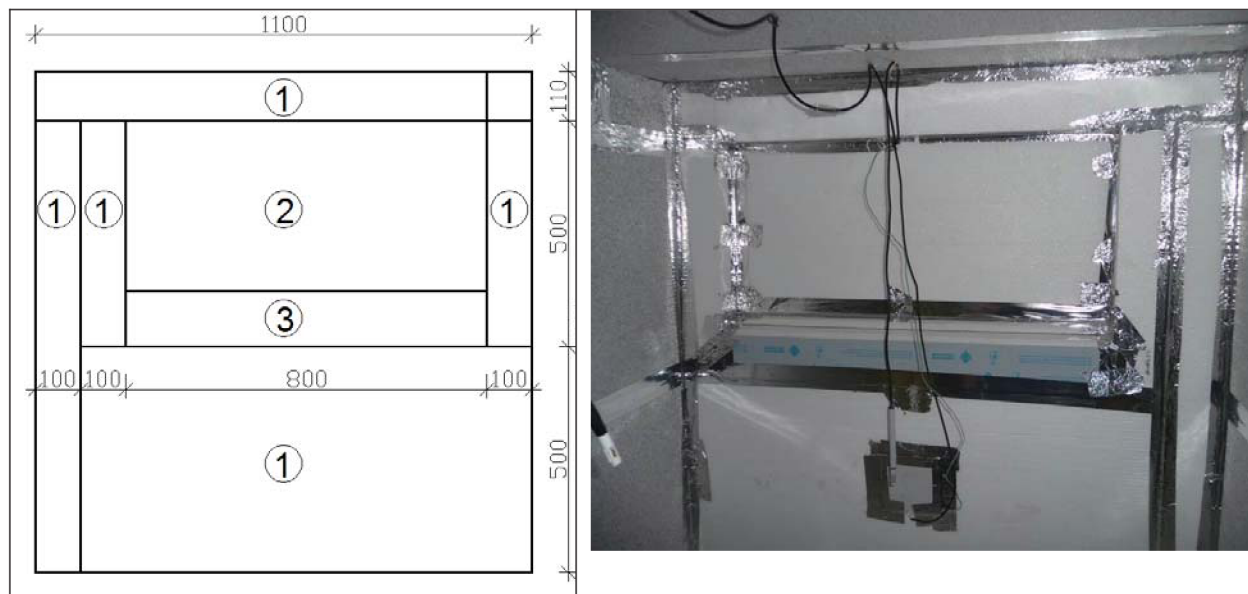
Obr. 13 Rám měřicího boxu s izolací

Prostor uvnitř měřicího boxu byl chlazen agregátem umístěným na horní straně boxu. Tento agregát byl opatřen dvěma teplotními čidly, měřící teplotu uvnitř boxu, které automaticky spíná při zvýšení teploty chlazení. Druhé čidlo bylo umístěno ve výparníku, které řídí odtávání zmrzlého kondenzátu. Ovládací panel celého zařízení byl umístěn na konstrukci měřicího boxu.

5.2.3. Osazení rámu a křídla okna do měřicího boxu

Po opatření části rámu a křídla okna v délce 800 mm a zajištění tepelně izolačních materiálů, EPS, těsnících pásek, PUR pěny apod., byla sestavena

konstrukce, která byla následně vložena do měřicího boxu. Schéma provedené konstrukce je na obr. 14.

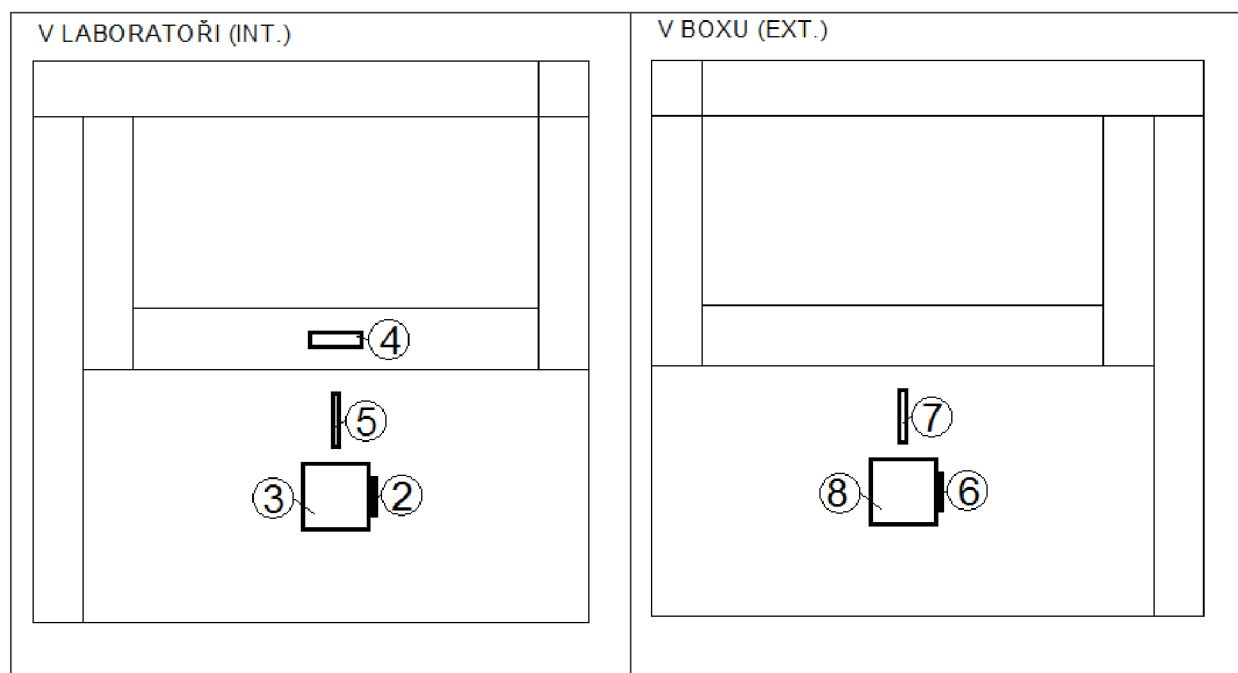


Obr. 14 Schéma uložení rámu do měřicího boxu. 1 – EPS tl. 100 mm, 2 – EPS tl. 40 mm, 3 – rám a křídlo okna

Obr.15 Rozmístění čidel v boxu

Zasklení bylo nahrazeno polystyrenovou deskou tl. 40 mm. Rám byl následně osazen mezi polystyrenové desky, které se usadily již do měřicího boxu. Lepení bylo provedeno PUR pěnou. Na závěr bylo provedeno utěsnění spojů parotěsnou hliníkovou páskou.

Po zabudování modelu do měřicího boxu bylo provedeno rozmístění měřících teplotních čidel a jejich napojení na měřicí ústřednu. Byla snaha o rozmístění čidel dle ČSN EN 12412-2. Rozmístění čidel však bylo limitované počtem dostupných čidel, ale je dostačující pro získání potřebných hodnot k další práci. Celkem bylo osazeno a rozmístěno 9 čidel, která jsou dále označena čísly 0 až 8. Čidla rozmístěna v laboratoři a v boxu byla rozmístěna vždy na protějších stranách konstrukce.



Obr. 16 Znázornění rozmístění čidel

Na obrázku 16 je znázorněno rozmístění čidel pro měření hodnoty: 2 – povrchová teplota na EPS v laboratoři, 3 – hustota tepelného toku na EPS v laboratoři, 4 – hustota tepelného toku na rámu okna v laboratoři, 5 – teplota před oknem a EPS v laboratoři, 6 – povrchová teplota na EPS v boxu, 7 – teplota před oknem a EPS v boxu, 8 – hustota tepelného toku na EPS v boxu.

5.2.4. Výsledky z měření a výpočet vstupních údajů pro simulace

Měřené veličiny byly zaznamenávány každých 15 minut. První měření probíhalo 3 dny, během kterých bylo naměřeno 295 hodnot.

Po prostudování získaných hodnot prvního měření bylo zjištěno, že největším problémem jsou odpory na přestupu tepla ovlivněné laminárním prouděním vzduchu po konstrukcích. I když se v našem případě jedná o výrazně „plochou“ svislou konstrukcí (rám okna se svislou tepelnou izolací), kde nedochází k výrazným změnám laminárního proudění po povrchu, je toto proudění vzduchu na povrchu měřené konstrukce a měřícího boxu největším problémem. Toto proudění výrazně ovlivňuje stanovení odporů na přestupu tepla konstrukcí, což vede k ovlivnění dalších počítaných a měřených veličin. Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že největší výkyvy proudění vzduchu byly uvnitř boxu. Tyto výkyvy byly způsobeny ventilátorem umístěným ve výparníku. Z tohoto důvodu byla uvnitř boxu, před měřenou konstrukcí, vložena igelitová plachta, která zabránila přímému ofukování měřené konstrukce ventilátorem výparníku. Zamezením proudění vzduchu od ventilátoru na měřenou konstrukce došlo k výraznému potlačení výkyvů v měřených veličinách.

Po umístění plachty bylo zahájeno druhé měření hodnot, které probíhalo 12 dní a bylo naměřeno 1032 hodnot pro každou sledovanou veličinu.

Následující tabulka uvádí statisticky zpracované výsledky z naměřených hodnot.

Tab. 9 Výsledné hodnoty z naměřených dat

Označení	Popis	Jednotka	Naměřená hodnota
0	Vnitřní teplota v laboratoři (stálé čidlo)	°C	19,476
1	Teplota v boxu (stálé čidlo u kompresoru)	°C	-15,213
2	Povrchová teplota na EPS v laboratoři	°C	15,769
3	Hustota tepelného toku na EPS v laboratoři	W.m ⁻²	-11,960
4	Hustota tepelného toku na rámu v laboratoři	W.m ⁻²	-14,954
5	Teplota před modelem v laboratoři	°C	18,761
6	Povrchová teplota na EPS v boxu	°C	-10,234
7	Teplota před modelem v boxu	°C	-12,948
8	Hustota tepelného toku na EPS v boxu	W.m ⁻²	11,032

Z hodnot uvedených v tabulce 10 jsou vypočítány odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně, které jsou dále použity v počítačových aplikacích. V následující tabulce jsou uvedené hodnoty odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně dle výše uvedených způsobů výpočtu.

Tab. 10 Odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jednotlivých variant

Veličina	Výpočet pomocí tepelných toků	Výpočet pomocí podobnosti trojúhelníků
R_{si}	0,250 m ² .K.W ⁻¹	0,273 m ² .K.W ⁻¹
R_{se}	0,246 m ² .K.W ⁻¹	0,248 m ² .K.W ⁻¹

5.2.5. Porovnání naměřených hodnot s vypočítanými hodnotami

Hodnoty odporů při přestupu tepla uvedené v předcházející kapitole jsou použity ve vytvořeném modelu v programu ANSYS. Z výpočtového programu jsou stanoveny hodnoty ve stejných místech jako v reálném modelu v laboratoři.

V následující tabulce jsou uvedeny vypočítané a naměřené hodnoty. Výpočet byl proveden pro dvě varianty odporů při přestupu tepla.

Tab. 11 Porovnání výsledků

Označení	Popis	Naměřená hodnota	Vypočítané hodnoty 1*)	Vypočítané hodnoty 2*)
0	Vnitřní teplota v laboratoři (stálé čidlo) (°C)	19,476	-	-
1	Teplota v boxu (stálé čidlo u kompresoru) (°C)	-15,213	-	-
2	Povrchová teplota na EPS v laboratoři (°C)	15,769	16,004	15,770
3	Hustota tepelného toku na EPS v laboratoři (W.m ⁻²)	-11,960	-11,015	-10,915
4	Hustota tepelného toku na rámu v laboratoři (W.m ⁻²)	-14,954	-15,551	-15,402
5	Teplota před modelem v laboratoři (°C)	18,761	-	-
6	Povrchová teplota na EPS v boxu (°C)	-10,234	-10,236	-10,233
7	Teplota před modelem v boxu (°C)	-12,948	-	-
8	Hustota tepelného toku na EPS v boxu (W.m ⁻²)	11,032	11,027	10,927

1*) Vypočítané hodnoty pomocí hustoty tepelného toku 2*) Vypočítané hodnoty pomocí podobnosti trojúhelníků

V tabulce 11 je možné provést srovnání naměřených a vypočítaných hodnot ze simulačního programu. Největší rozdíl je u hodnoty hustoty tepelného toku na rámu okna. Tento rozdíl je pravděpodobněji způsoben vypočítanými hodnotami ekvivalentní tepelné vodivosti vzduchových dutin, které byly zadány do simulačních výpočtů. Hodnoty povrchových teplot ze simulace jsou porovnatelné s naměřenými hodnotami.

Z naměřených hodnot a vypočítaných výsledků jsou patrné jisté odchylky, které lze přičíst více faktorům. Největší podíl na rozdílných výsledcích je způsoben nezajištěním konstantních podmínek v boxu a laboratoři, kalibrací měřících přístrojů, zaokrouhlováním výsledků, vypočítanými hodnotami ekvivalentní tepelné vodivosti vzduchu v rámu a křídle okna apod.

I když byla snaha pro měření dle metodiky uvedené v ČSN EN 12412-2 a navazujících norem, bylo potřeba provést určitá odchylná řešení. Např. počet měřících čidel apod. Pro přesnější a průkaznější výsledky by bylo vhodné rozmístění více měřících čidel, která by vyloučila případné odchylky. Dále by bylo

vhodné provádět měření nejen na výřezu okenní výplně (i když nám norma dovoluje tuto možnost), ale na celém okně s více čidly.

6. VÝSLEDKY A ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE

6.1. VYLEPŠENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ RÁMU A KŘÍDLA OKNA

Zkoumáním a provedením výpočtů a počítačových simulací bylo prokázáno, že nahrazením doposud běžných tepelných izolací v dutinách rámu a křídel oken vakuovou izolací, dojde k výraznému zlepšení hodnot součinitele prostupu tepla rámu okna. Tepelné izolace používané v dutinách rámu dosahují hodnot tepelné vodivosti $\lambda = 0,03 - 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a dosahují hodnot součinitele prostupu tepla okolo $U_f = 0,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Nahrazením těchto materiálů vakuovou izolací, která má hodnotu $\lambda = 0,005 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, dojde ke snížení součinitele prostupu tepla $U_f = 0,4 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Snížením hodnoty U_f dojde k výraznému snížení součinitele prostupu tepla celého okna U_w .

V roce 2009 byl podán užitný vzor na výše uvedený způsob využití vakuové izolace, pro zateplení komor rámu a křídel. Původci užitého vzoru jsou Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D. a Ing. Lukáš Hejný.

6.2. VHODNÝ ZPŮSOB OSAZENÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ

6.2.1. Osazení okenní výplně v obvodové stěně

Simulace teplotních polí byly provedeny pro dva způsoby osazení okenní výplně. Jedním ze způsobů bylo osazení okna na zdivo s přetažením rámu tepelnou izolací. Druhým způsobem bylo osazení okna před líc zdiva, do tepelné izolace. Na základě provedených výpočtů dvojrozměrného teplotního pole vyplynulo, že při dostatečném zateplení obvodové konstrukce a přetažení tepelné izolace min. 30 mm přes rám jsou hodnoty lineárního činitele prostupu tepla v obou variantách srovnatelné. Celkové hodnoty U_w jsou při osazení okna v tepelné izolaci o něco příznivější, ale nesmíme opomenout vyšší náklady a náročnější provedení při tomto uložení.

Je tedy možné konstatovat, že uložení okna na líc zdiva je z ekonomického hlediska a z prosté doby návratnosti investic výhodnější než upřednostňované osazení okna u pasivních domů do tepelné izolace.

6.2.2. Vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry

Vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry okenní výplně bylo dosaženo dodatečným zateplením připojovací spáry vakuovou izolací. Okno je osazeno na líc obvodové konstrukce a tepelná izolace je přetažena min. 30 mm

přes rám. Do dutiny, která vzniká při kontaktním zateplování, tedy mezi obvodovou konstrukcí a tepelnou izolací je umístěna vakuová izolace. Při dodatečném zateplení okenní výplně deskami s vakuovou izolací dojde ke zlepšení tepelně technických vlastností, což má za následek zvýšení povrchové teploty na vnitřní straně konstrukce, snížení lineárního činitele prostupu tepla a snížení součinitele prostupu tepla rámu.

Při osazení běžných oken, s vyšším součinitelem prostupu tepla rámu okna a při jejich zateplení vloženou vakuovou izolací a s přetažením tepelné izolace min. 30 mm přes rám, dosáhneme výrazného snížení hodnoty součinitele prostupu tepla.

V roce 2009 byl podán užžitný vzor na výše uvedený způsob využití vakuové izolace, na zaizolování připojovací spáry vakuovou izolací. Původci užžitného vzoru jsou Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D. a Ing. Lukáš Hejný.

6.3. ZÁVĚR

Jedním ze stanovených cílů disertační práce bylo vylepšení tepelně technických vlastností rámu okenních výplní snížením součinitele prostupu tepla rámu. Vložením vakuové izolace do dutin rámu okna bylo dosaženo snížení součinitele prostupu tepla rámu okenní výplně.

Druhým cílem bylo nalezení optimálního řešení osazení okenních výplní nejen u staveb s nízkou energetickou náročností. Byl nalezen optimální způsob osazení okenních výplní z hlediska tepelně technického, ekonomického i technologického. Jedná se o způsob osazení okna na líc zdiva s přetažením tepelné izolace přes rám okna. Je vhodné provést vložení vakuové izolace do dutiny mezi zateplovací systém a zdivo a tím vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry a následně celkového součinitele prostupu tepla.

Při zhodnocení výsledků a závěrů z provedených simulací a výpočtů, lze konstatovat, že cíle disertační práce byly naplněny, a to v celém rozsahu, tak jak byly definovány.

7. DOPORUČENÍ PRO TECHNICKOU PRAXI

V této části jsou stručně uvedeny doporučení vyplývající z výsledků disertační práce.

1) Změnou tepelných izolací v dutinách rámu a křídel okenních výplní je možné dosáhnout nižších hodnot součinitele prostupu tepla rámu okna.

2) Osazení okenních výplní (především u pasivních a nízkoenergetických domů) na líc zdiva, s přetažením tepelnou izolací přes rám a vložení vakuové izolace zajišťuje:

- méně technických problémů při osazování okenních výplní oproti osazení před líc zdiva,

- méně technických problémů při osazování těsnících pásek oproti osazení před líc zdiva,
- nižší náklady kotvení oproti osazení před líc zdiva,
- dokonalejší zateplení připojovací spáry,
- snížení celkového součinitele prostupu tepla okenní výplně a tím snížení nákladů na pokrytí tepelných ztrát.

8. MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU

V disertační práci jsem se zaměřil pouze na řešení dílčí části problematiky týkající se okenních výplní. Během práce bylo zajímavé sledovat vývoj problematiky týkající se výplní otvorů. Jednalo se především o zlepšení tepelně technických vlastností oken, v návaznosti na čím dál přísnější normové požadavky. Dále byla velmi zajímavá diskuze kolem způsobů osazování oken apod. Při práci na disertační práci jsem se také setkal s řadou dalších, neméně zajímavých a podstatných problémů a detailů, týkajících se výplní otvorů.

Jedním ze zajímavých témat je řešení ukotvení venkovního parapetu k rámu okna. Na řadě staveb jsem se setkal s problémovými detaily. Dalším zajímavým tématem je osazení rámu dveří, napojení rámu ke konstrukci. V oblasti výplní otvorů je řada problémů, které je možné vyřešit nebo alespoň optimalizovat stávající způsoby řešení. Konstrukce výplní otvorů se stále vyvíjejí a je tedy nemalý prostor pro další práci v této oblasti.

Část této práce se zabývá uplatněním vakuové izolace v okenních výplních. Další práce proto může být věnována aplikaci této izolace do dutiny dveřního křídla.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BARTÁK, K. *Okna - opravy, výměny, výběr*. Praha: Grada, 2003. 102 s. ISBN 80-247-0454-4
- [2] ČSN 73 0540-2:2011+Z1 *Tepelná ochrana budov - část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s.
- [3] ČSN 73 0540-3:2005 *Tepelná ochrana budov - část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 96 s.
- [4] ČSN EN ISO 10077 - 1: 2007 *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Všeobecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. 44 s.
- [5] ČSN EN ISO 12567-1:2011 (73 0579) *Tepelné chování oken a dveří - Stanovení součinitel prostupu tepla metodou teplé skříně - Část 1: Celková konstrukce oken a dveří*. Praha: Český normalizační institut. 2011. 42 s.
- [6] HALAHYJA, M. a kolektiv. *Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie*. Bratislava: ALFA, 1985. 748 s.
- [7] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fyzika - část 2, Mechanika - Termodynamika*. Brno: VUTIUM a PROMETHEUS Praha, 2006. 576 s. ISBN 80-214-1868-0
- [8] KOČÍ, I. *Okna*. Praha: Grada, 2000. 82 s. ISBN 80-247-9023-8
- [9] KOHOUTOVÁ, H.; MOLL, I. *Úvod do pravděpodobnosti a matematické statistiky*. Brno: CERM, 2001. 192 s. ISBN 80-214-1811-7
- [10] PETR TYL, Z.; ŠUBRT, R. *Moderní okna*. Praha: Grada, 2012. 135 s. ISBN 978-80-247-4286-1
- [11] ŘEHÁNEK, J. *Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti uzavřených vzduchových vrstev ve stavebních konstrukcích*. Praha: Výzkumný ústav pozemních staveb, vedoucí pracoviště vědeckotechnického rozvoje s meziodvětvovou působností, 1984. 60 s.
- [12] ŠIMONÍK, J. *Fyzika - termika*. 3. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977. 82 s.

Pozn.: další zdroje jsou uvedeny v disertační práci.

10. CURRICULUM VITAE

Osobní údaje

Jméno a příjmení	Lukáš Hejný
Adresa	Potoky 3888, Zlín 760 01, Česká republika
Mobilní telefon	+420 777 808 612
E-mail	hejny.l@fce.vutbr.cz, hejnyl@seznam.cz
Státní příslušnost	Česká republika
Datum narození	13. 5. 1983
Pohlaví	muž
Stav	ženatý

Vzdělání

2007 – dosud	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Doktorský studijní program. Obor: Pozemní stavby.
2002 – 2007	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Studijní program: Stavební inženýrství. Studijní obor: Pozemní stavby. Dosažená kvalifikace: Inženýr (Ing.).
1993 – 2002	Gymnázium Zlín - Lesní čtvrť.

Autorizace a osvědčení

2010 – Autorizace z oboru Pozemní stavby, č. autorizace 1005399

2010 – Autorizace z oboru Požární bezpečnost staveb, č. autorizace 1005399

2011 – Osvědčení MPO vypracovávat průkazy energetické náročnosti budovy, č. oprávnění 0923

Pracovní zkušenosti

2006 – dosud OSVČ. Projektant v oboru pozemních staveb a požární bezpečnost staveb, odborné posudky – tepelná technika.

Schopnosti, znalosti a dovednosti

Jazykové znalosti: německý jazyk – pokročilá
anglický jazyk – základní

Počítačové znalosti a dovednosti:

Microsoft Windows, Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint). CAD programy: AutoCAD, Photoshop, Rhinoceros 3D. Soubor programů Stavební fyzika (Svoboda). ANSYS.

Řidičský průkaz: skupiny B

Užitné vzory

- [1] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L.; Vysoké učení technické v Brně: Rám okna nebo dveří. 20114, užitný vzor. Praha (2009).
- [2] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L.; Vysoké učení technické v Brně: Tepelná izolace osazení oken nebo dveřních rámců. 20095, užitný vzor. Praha (2009).

Vědecko-výzkumná činnost - realizované projekty

- [1] Vnitřní grant FAST na rok 2009 (Ústav PST) s názvem: „Měření tepelného toku okenních profilů a pomocná měření povrchové teploty při stanovení vzduchotěsnosti“, Řešitel: Ing. Lukáš Hejný, spoluřešitel: Ing. Barbora Koláčková a Ing. Jiří David. Grant byl přidělen
- [2] Vnitřní grant FAST na rok 2009 (Ústav PST) s názvem: "Měření průvzdušnosti obvodových plášťů", Řešitel: Ing. Barbora Koláčková, spoluřešitel: Ing. Lukáš Hejný. Grant byl přidělen

Publikace autora - vybrané

- [1] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L. Lineární činitel prostupu tepla přípojovací spáry okenních výplní. *Pasivní domy 2008*, Brno: Centrum pasivního domu, 2008. s. 373-374. ISBN: 978-80-254-2848-1.
- [2] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L. Vhodný způsob osazení okenních výplní. *Budovy a prostredie 2008 - trvalo udržateľná výstavba*, Bratislava: STU Bratislava, 2008. s. 121-124, (4 s.). ISBN 978-80-227-2981-9
- [3] HEJNÝ, L.; REMEŠ, M. Vybrané technické vlastnosti oken, analýza způsobu osazení. *Realizace staveb 3/2009*, Praha: Jaga Media, s.r.o., 2009. s. 14 -17, (4 s.). ISSN 1802-0631
- [4] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L. Vylepšení tepelně technických vlastností přípojovací spáry výplní otvorů, *Budovy a prostredie*. Bratislava: STU Bratislava, 2009, (4 s. 121-124). ISBN 978-80-227-3180-5
- [5] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L. Vhodný způsob osazení okenních výplní, XII *Mezinárodní vědecká konference u příležitosti 110. výročí založení FAST VUT v Brně a XIV. výročí založení Stavebních veletrhů Brno, Sekce 2 Pozemní stavby a architektura*, (4 s. 37-40). ISBN 978-80-7204-629-4
- [6] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Plochy ve stavebnictví : 1. díl - podlahové plochy. *Střechy, fasády, izolace*, 2011, roč. 18, č. 3, s. 12-13. ISSN: 1212- 0111
- [7] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Tepelnětechnické hodnocení spádových vrstev z tepelné izolace v plochých střeších. *Tepelná ochrana budov*, 2012, roč. 15, č. 1, s. 6-10. ISSN: 1213- 0907

Pozn.: celý přehled publikací je uveden v disertační práci.

11. ABSTRACT

This thesis deals with the solution problem of fitting a window in the wall, especially for passive houses. It provides options to optimize the window connection joints, improve the thermal transmittance of the window frame, thereby reducing the total heat loss through the window.

In the first part of the thesis is a research literature on the windows and heat technical and physical mechanisms. Are described equations and physical processes taking place in the windows and related building structures. This section describes the basic points in history, technical description of windows, etc. and present ways of assembly Installation the window and the influence of the thermal properties of the heat loss.

The next part deals with the description of the work and the results obtained in the course of doctoral study. Describes the main objectives of the dissertation thesis, calculations and simulations of temperature fields and the results of the calculated values. Furthermore are described and analyzed measurement data and compared with the calculated values.

At the end dissertation thesis are given opportunities to improve the current solution regarding the heat transfer coefficient of the frame, the optimal way of installation fillers windows in the perimeter wall and improve the thermal properties of the connecting joint.