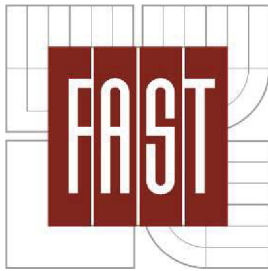


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF BUILDING STRUCTURES

TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI RÁMU OKENNÍ VÝPLNĚ A PŘIPOJOVACÍ SPÁRY

THERMAL PROPERTIES OF THE WINDOW FRAME AND CONNECTION JOINTS

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. LUKÁŠ HEJNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. MILOŠ KALOUSEK, Ph.D.

BRNO 2014

Bibliografická citace

Ing. Lukáš Hejný. *Tepelně technické vlastnosti rámu okenní výplně a připojovací spáry*. Brno, 2014. 135 s., 12 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.

Abstrakt

Tato disertační práce se zabývá řešením problému s osazením výplně okenní výplně v obvodové stěně, především u pasivních a nízkoenergetických domů. Přináší možnosti, jak optimalizovat přípojovací spáru okna, vylepšit součinitel prostupu tepla rámu okna a tím snížit celkové tepelné ztráty přes okenní výplň.

V první části disertační práce je provedena rešerše literatury zabývající se problematikou výplní otvorů (především oken) a tepelně technickými a fyzikálními jevy a vlastnostmi. Jsou zde popsány rovnice a fyzikální děje probíhající v okenních výplních a navazujících stavebních konstrukcích. V této části je uvedena v základních bodech historie, technický popis oken apod., dále pak současné způsoby osazování okenních výplní a vliv tepelně technických vlastností na tepelné ztráty.

Další část práce se zabývá popisem postupu práce a výsledkům získaných v průběhu doktorského studia. Jsou zde popsány hlavní cíle disertační práce, výpočty a simulace teplotních polí a výsledky z vypočítaných hodnot. Dále jsou popsána a vyhodnocena data z měření a porovnána s vypočítanými hodnotami.

V závěru disertační práce jsou uvedeny možnosti pro vylepšení současného řešení týkající se součinitele prostupu tepla rámu, optimálního způsobu osazení okenních výplní v obvodové stěně a vylepšení tepelně technických vlastností přípojovací spáry.

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.

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.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma “Tepelně technické vlastnosti rámu okenní výplně a přípojovací spáry“ zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Brně, dne 20. 8. 2014

.....

Ing. Lukáš Hejný

Poděkování

Rád bych poděkoval své rodině a kolegům za podporu, rady a pomoc během mého studia doktorského programu a při práci na této disertační práci. Jejich pomoc byla nezbytná pro dokončení této práce. Zvláště bych chtěl poděkovat mému vedoucímu disertační práce Ing. Doc. Miloši Kalouskovi, Ph.D., za vedení během uplynulých let, za věcné a cenné rady a pomoc při řešení problematiky disertační práce.

Dále bych chtěl poděkovat vedení Ústavu pozemního stavitelství, které mi umožnilo provádět měření v prostorách a na přístrojích ústavu. Za podpory ústavu byl zakoupen prostřednictvím Vnitřního grantového systému FAST VUT v roce 2009 snímač diferenciálního tlaku, který byl nezbytný pro měření na rámu okna.

Poděkování patří také panu Davidu Bendovi z firmy Gromathic s.r.o. a firmě OKNO spol. s r.o. za materiálové zabezpečení, bez kterého by byla měření obtížně proveditelná.

V Brně, dne 20. 8. 2014

.....

Ing. Lukáš Hejný

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY	12
1.1 POPIS OKENNÍCH VÝPLNÍ A JEJICH ČÁSTÍ	12
1.1.1 Okenní rám	14
1.1.2 Okenní křídla.....	14
1.1.3 Těsnění	14
1.1.4 Zasklení	15
1.1.5 Distanční rámečky.....	16
1.1.6 Kování	17
1.1.7 Funkční spára	18
1.2 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ	19
1.2.1 Rozdělení okenních výplní dle materiálů křidel a rámu	19
1.2.2 Rozdělení okenních výplní dle způsobu zasklení	22
1.2.3 Rozdělení okenních výplní dle technologie zasklívání.....	22
1.2.4 Rozdělení okenních výplní dle způsobů kotvení	23
1.3 PŘIPOJOVACÍ SPÁRA	23
1.3.1 Vnitřní uzávěr.....	24
1.3.2 Tepelněizolační výplň	24
1.3.3 Venkovní uzávěr	24
1.4 FYZIKÁLNÍ VELIČINY TÝKAJÍCÍ SE OKENNÍCH VÝPLNÍ	25
1.4.1 Teplo	25
1.4.2 Teplota.....	25
1.4.3 Přenos tepla	26
1.4.4 Tepelné mosty	29
1.4.5 Součinitel tepelné vodivosti	31
1.4.6 Ekvivalentní tepelná vodivost a tepelný odpor vzduchové dutiny.....	32
1.4.7 Návrhové hodnoty parametrů venkovního a vnitřního prostředí	37
1.4.8 Návrhové hodnoty odporu při přestupu tepla.....	39
1.4.9 Teploty na povrchu konstrukce.....	40
1.4.10 Teplotní faktor.....	41
1.4.11 Solární faktor.....	43
1.4.12 Součinitel prostupu tepla okenní výplně	43
1.4.13 Lineární a bodový činitel prostupu tepla.....	45
1.5 MĚŘENÍ, MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE, ZPRACOVÁNÍ DAT A SIMULAČNÍ METODY	47
1.5.1 Měření	47
1.5.2 Měření teplot	47
1.5.3 Měření tepelných toků.....	48
1.5.4 Chyby měření	48
1.5.5 Zpracování dat.....	49
1.6 SIMULACE TEPELNÝCH VÝPOČTŮ	50
1.6.1 Jednosměrné vedení tepla	50
1.6.2 2D vedení tepla	50
1.6.3 3D vedení tepla	50
1.6.4 Metoda konečných prvků	51

1.7	DOSAVADNÍ ZPŮSOB ŘEŠENÍ OSAZENÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ	51
1.7.1	Pokyny pro navrhování dle ČSN 73 0540-2	52
1.7.2	Osazení okenních výplní na jednovrstvé zdivo.....	52
1.7.3	Osazení okenních výplní na zateplené zdivo	52
1.7.4	Osazení okenních výplní v nízkoenergetických domech	52
1.7.5	Osazení okenních výplní na líc zdiva s přetažením tepelnou izolací.....	53
1.7.6	Další možnosti osazení okenních výplní.....	53
1.8	VLIV OKENNÍCH VÝPLNÍ NA TEPELNÉ ZTRÁTY	53
1.8.1	Vstupní údaje	54
1.8.2	Popis výpočtu	56
1.8.3	Vyhodnocení	56
2	CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	58
2.1	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	58
2.2	DŮVODY K URČENÍ CÍLŮ	58
2.3	PROSTŘEDKY K DOSAŽENÍ VYTYČENÝCH CÍLŮ	59
3	MODELY TEPLOTNÍCH POLÍ.....	60
3.1	VYLEPŠENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ RÁMU A KŘÍDLA OKNA.....	60
3.1.1	Důvody k nalezení řešení	60
3.1.2	Technický popis a předpoklad výsledků	60
3.1.3	Vakuová izolace	61
3.1.4	Vstupní hodnoty a popis výpočtu.....	63
3.1.5	Výpočtové modely a výsledné součinitele prostupu tepla rámu	65
3.1.6	Shrnutí a praktický popis	67
3.1.7	Užitný vzor	68
3.2	VHODNÝ ZPŮSOB OSAZENÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ	68
3.2.1	Zdůvodnění nalezení řešení.....	68
3.2.2	Technický popis a předpoklad výsledků	73
3.2.3	Popis zvolených variant a vstupní údaje	73
3.2.4	Popis výpočtu	77
3.2.5	Výpočtové modely a výsledky z výpočtů	78
3.2.6	Shrnutí výsledků.....	93
3.2.7	Užitný vzor.....	93
4	OVĚŘENÍ VYPOČÍTANÝCH HODNOT	94
4.1	MĚŘENÍ TERMOVIZNÍ KAMEROU	94
4.1.1	Popis porovnávaných detailů	94
4.1.2	Posouzení výsledků	96
4.2	LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....	96
4.2.1	Cíl kapitoly	96
4.2.2	Metoda teplé skříně	97
4.2.3	Popis měřicího boxu.....	98
4.2.4	Osazení rámu a křídla okna do měřicího boxu.....	100
4.2.5	Výsledky z měření a výpočet vstupních údajů pro simulace	102
4.2.6	Porovnání naměřených hodnot s vypočítanými hodnotami	107
4.2.7	Shrnutí výsledků měření a simulací	108
5	VÝSLEDKY A ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE	110

5.1	VYLEPŠENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ RÁMU A KŘÍDLA OKNA.....	110
5.2	VHODNÝ ZPŮSOB OSAZENÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ	110
5.2.1	Osazení okenní výplně v obvodové stěně	110
5.2.2	Vylepšení tepelně technických vlastností přípojovací spáry	112
5.2.3	Shrnutí výsledků.....	113
5.3	ZÁVĚR.....	114
6	DOPORUČENÍ PRO TECHNICKOU PRAXI.....	115
7	MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU	116
	LITERATURA.....	117
	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	122
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	125
	SEZNAM OBRÁZKŮ	126
	SEZNAM TABULEK.....	128
	SEZNAM GRAFŮ	129
	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	130
	SEZNAM PŘÍLOH.....	135

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 především řešení styků okenních výplní se stavební konstrukcí, které patří k nejproblematičtějším 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.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

Tato kapitola se zabývá současným stavem problematiky a rešerší odborné literatury, vztahující se k danému tématu.

1.1 Popis okenních výplní a jejich částí

Od okenních výplní jsou očekávány následující funkce:

- zajištění denního osvětlení,
- zajištění větrání místností,
- vizuální kontakt s vnějším prostředím,
- komunikace mezi vnitřními prostory.

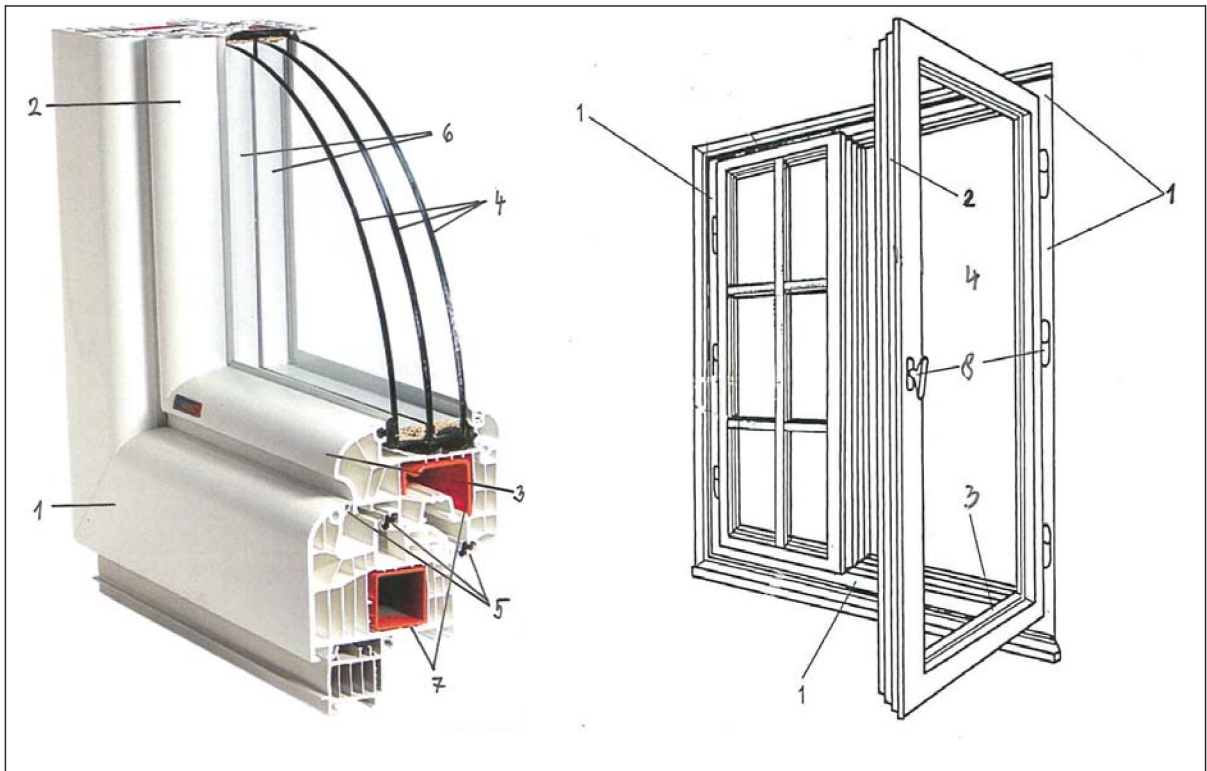
Okenní výplně mají nezastupitelné místo ve stavebním objektu, neboť zajišťují nebo ovlivňují svými vlastnostmi a provedením jeho provoz.

Okna by měla splňovat několik parametrů jako celku:

- odolnost proti zatížení větrem,
- vodotěsnost,
- akustické vlastnosti,
- tepelně-technické vlastnosti,
- radiační (sálavé) vlastnosti,
- průvzdušnost, aj.

Okenní výplně musejí plnit souhrn požadovaných vlastností. Do nich patří především stavebně-fyzikální vlastnosti, statická únosnost aj. Zajištění tuhosti a pevnosti rámu pomocí kvalitního vyztužení, správného svařování spojů rámu či křídel, případně použitím speciálně navržených a vyrobených profilů. [16]

Okenní výplň se skládá z následujících základních částí:



Obr. 1 Popis hlavních částí okna

- (1) Okenní rám
- (2) Okenní křídlo
- (3) Okapnice – tvoří překrytí vodorovné styčné spáry na vnější straně u spodního vlysu mezi křídlem a rámem, přesahuje přes vnější líc oken a jejím účelem je zamezit zatékání dešťové vody do vnitřního prostoru.
- (4) Okenní skla
- (5) Těsnění
- (6) Distanční rámečky
- (7) Výztuhy
- (8) Kování [16]

1.1.1 Okenní rám

Okenní rám tvoří pevnou obvodovou konstrukci pro dosedání, zavěšení, otevírání a uzavírání pohyblivých částí (okenních křídel). Rám je základní konstrukční částí okna. Skládá se z profilových obvodových vlysů, případně doplněných středovými vlysy (sloupky, poutce).

1.1.2 Okenní křídla

Okenní křídla jsou pohyblivé části okna tvořící nosnou rámovou konstrukci pro osazení skleněné výplně, mohou být dělená v ploše příčlemi. [13]

1.1.3 Těsnění

Těsnění u okenních výplní má za účel omezit pronikání vzduchu i hluku funkční spárou. Dnes se používá těsnění z různých materiálů a různých tvarů. Umísťuje se dle počtu těsnících úrovní i tvaru profilů do různých míst okenního rámu či křídla. Těsnění musí mít tvar vyhovující vnitřní profilaci rámu a venkovní profilaci křídla a musí být dostatečně plastické, tvárné.

Rozdělení dle počtu stupňů těsnění:

- Rámové jednostupňové – těsnící profil je osazen v drážce okenního rámu, dešťová i větrová zábrana jsou sloučeny do jednoho celku. Tento druh těsnění není spolehlivý, pokud není křídlo optimálně seřízeno, jde o řešení zastaralé.
- Rámové dvoustupňové - dešťová a větrová zábrana jsou odděleny. Z pohledu funkčnosti velmi kvalitní řešení.
- Dorazové jednostupňové – těsnící profil osazen v drážce okenního křídla, dešťová i větrová zábrana jsou sloučeny. Z hlediska funkčnosti zastaralé řešení.
- Dorazové dvoustupňové – dešťová zábrana je vytvořena profilací rámu, dešťová i větrová zábrana jsou odděleny. Z pohledu funkčnosti vyhovující řešení.

Rozdělení podle počtu a druhu těsnících profilů - jednoduché rámové, vícenásobné rámové, jednoduché dorazové, vícenásobné dorazové, kombinované.

Rozdělení podle použitého materiálu:

- Těsnění z materiálu APTK (aethylen-propylen-terpolymer-kaučuk) – známé pod mezinárodní zkratkou EPDM. Vyznačuje se odolností proti stárnutí, vysokou elasticitou, odolností proti UV záření a proti povětrnostním vlivům. U okenních výplní se typicky používá na těsnění dorazového typu a zasklívacích profilů. Není svařitelné, proto se v rozích lepí, nebo nastřihuje a zahýbá. Těsnící profily jsou často vyrobeny s jednou či dvěma komůrkami, které při dolehnutí na protější plochu dobře utěsní i místa kolem lokálních nerovností.
- Těsnění z materiálu TPE (termoplastický elastomer) – vlastnosti jsou obdobné jako u APTK, avšak není zde tak vysoká elasticita. Je ovšem dobře svařitelný. Používá se nejčastěji na středová rámová těsnění, která se v rozích svařují před vložením do rámu okenní výplně.

Rozdělení podle upevnění k podkladu – osazení do speciální drážky rámu nebo křídla, nalepené na plochu.

Těsnění podstatně ovlivňuje stavebně-fyzikální vlastnosti okenní výplně. Aby byly splněny všechny deklarované hodnoty, je nezbytné, aby těsnění splnilo svou funkci bez přerušování po celém obvodu pohyblivých částí okna. Při nevhodně zvoleném těsnícím profilu se může stát, že těsnění se požadovaným způsobem nedeformuje při uzavření křídla, funkční spára je špatně utěsněna, což může být příčinou nežádoucích následků. [16]

1.1.4 Zasklení

Do okenních křídel se vsazuje tzv. výplň. Obvykle se jedná o výplň skleněnou, z tabulového skla, popřípadě z výrobku z tabulových skel.

Typy skleněných výplní:

- Jednoduché zasklení – dnes se používají pouze v interiérech. Dříve se používalo ploché sklo o tloušťce 3 mm, dnes je obvyklejší tloušťka 4 mm.
- Izolační dvojskla – jde v podstatě o dvě plochá skla slepená k sobě. Distanční rámeček mezi nimi určuje jejich vzdálenost a vymezuje mezi nimi dutinu, která se obvykle pro zlepšení vlastností plní plynem (vzduch – nejhorší vlastnosti, s lepšími tepelněizolačními vlastnostmi – argon, krypton, xenon aj).

- Izolační trojskla – princip je stejný jako u dvojskel, pouze jsou k sobě pomocí distančních rámečků slepena tři skla.
- Izolační skla s použitím pokovených fólií Heat Mirror – tato speciální fólie je teplem smrštitelná ve dvou navzájem kolmých směrech, čehož se využívá při výrobě. Po jejím upnutí mezi distanční rámečky se celé sklo zahřeje, čímž dojde k napnutí fólie tak, že není mezi skly patrná. Na základě typu pokovení má toto zasklení různé vlastnosti, např. fólie nepropustné pro UV záření, málo propustné pro světlo, málo propustné pro tepelné záření směrem dovnitř apod. Může se jednat i o sklo s více vnitřními fóliemi, čímž se některé vlastnosti zlepšují.
- Jiné, většinou speciálně navržené. V poslední době se vyvíjejí vakuová skla, kdy jsou dvě skla k sobě slepena ve vzdálenosti několik desetin milimetru a jsou v pravidelných intervalech (100 mm) mezi sebou rozepřena. Mezi skly je vytvořeno vysoké vakuum a okraj je následně zataven, případně se tato skla kombinují s dalšími skly. Začínají se objevovat i izolační čtyřskla.

Technické vlastnosti zasklení jsou důležitým parametrem. Přitom je možné zasklení kvantifikovat z různých pohledů, respektive kvantifikovat jeho různé vlastnosti:

- Součinitel prostupu tepla U_g – charakterizuje tepelněizolační vlastnosti,
- Solární faktor g – udává, kolik tepelného záření projde procentuálně zasklením z exteriéru do interiéru,
- Světelná propustnost L_t – udává, kolik procent světelného záření projde sklem z exteriéru do interiéru,
- Odrazivost světelného záření L_r – udává, kolik procent světelného záření přicházejícího z exteriéru je při dopadu na plochu zasklení odraženo zpět. [16]

1.1.5 Distanční rámečky

Distanční rámeček je profil, který udržuje stejnou vzdálenost mezi jednotlivými tabulemi u izolačních skel. Vyrábí se z různých materiálů.

U běžných oken jsou i nyní nejčastěji používané **distanční rámečky z hliníku či ušlechtilé oceli** (především z nerezů). Používání těchto distančních rámečků není z hlediska lineárního činitele příliš vhodné řešení. V okrajové zóně izolačního dvojskla vzniká tepelný most, který se projevuje kondenzací vnitřní vlhkosti na povrchu skla v okolí zasklívací

lišty převážně v zimních měsících. Tyto rámečky již nesplňují požadavky příslušných norem. Další skupinou jsou **plasto-kovové rámečky**. Jedná se o distanční profily pro výrobu izolačních skel, které zajišťují již kvalitněji řešený přechod - teplou hranu izolačního skla. Profily jsou tvořeny kombinací plastu a kovu. Základním materiálem je plast - polypropylen, který je potažen velmi tenkým pláštěm z ušlechtilé nerezové oceli (0,1 mm). Kombinace těchto materiálů přináší již vyhovující tepelně technické vlastnosti kladené na tento detail.

Další skupinou jsou **celoplastové distanční rámečky, tzv. teplé** (Swisspacer, Superspacer neboli Warm Edge). Jsou vyrobeny ze speciální hmoty obohacené o skleněná vlákna. Jedná se o tenkou fólii z ušlechtilé oceli nebo hliníku, která pokrývá tělo rámečku a zajišťuje utěsnění proti vlhkosti, zabraňuje úniku plynu a vytváří optimální podmínky pro přilnavost těsnících tmelů. Tento rámeček se oproti předchozímu typu distančního rámečku nedá ohýbat a pro spojení v rozích se používá technologie lepení nebo svařování. Teplé distanční rámečky zajistí významné snížení lineárního činitele a tím i součinitele prostupu tepla oknem U_w . [50] Plastové distanční rámečky prožívají postupný vývoj, kdy se ztenčuje použitá kovová fólie, mění se také její tvar, a zlepšují se tím parametry.

1.1.6 Kování

Moderní obvodová kování jsou konstruována tak, že při zavření okna dochází k přitažení křídla do rámu na více místech po části obvodu křídla, případně i po celém jeho obvodu.

Podle funkce, kterou plní, se kování dělí na:

- Funkční nebo konstrukční (zprostředkovává vlastní interakci křídla a rámu),
- Vrchní (kliky, madla, táhla apod.).

Obvodové kování v různých modifikacích provedení umožňuje různé druhy pohybu křídla okenní výplně a jejich kombinace. Rozdělení kování podle druhu pohybu křídla:

- Otevíravé, sklopné a jejich kombinace otevíravě sklopné,
- Posuvně sklopné,
- Posuvně skládací,
- Posuvné se zdvihem,
- Kyvné (křídlo se otáčí kolem horizontální osy),

- Otočné (křídlo se otáčí kolem vertikální osy),
- Výsuvné vzhůru,
- Výklopné.

Kování musí splňovat všechny požadované funkční vlastnosti, mechanické vlastnosti, odolnost proti korozi aj. [13]

1.1.7 Funkční spára

Funkční spára je prostor mezi křídlem a rámem okenní výplně, v němž dochází ke spolupůsobení křídla a rámu. Protože křídlo je zpravidla pohyblivé, dochází při každém otevření okna k přerušení těsnící funkce, kterou je po zavření křídla nutné obnovit. Konstrukční řešení, uspořádání a provedení funkční spáry proto podstatnou měrou určuje a ovlivňuje vlastnosti celého výrobku.

Hlavními požadavky, které musí funkční spára okenní výplně zajistit z pohledu stavební fyziky, je:

- Průvzdušnost,
- Tepelněizolační schopnost,
- Vodotěsnost,
- Zvukověizolační schopnost.

Správně provedená funkční spára má dvě oblasti, které se každá jiným způsobem podílejí na její bezchybné funkci. Jsou to **dešťová zábrana** a **zábrana větrová**. Dešťová zábrana je umístěna na exteriérové straně okenní výplně, větrová se nachází v prostoru mezi dešťovou zábranou a interiérovou stranou okna.

Funkční spára může mít v závislosti na konstrukci a profilaci rámu a křídla:

- Jednostupňové těsnění,
- Dvoustupňové těsnění.

U **jednostupňového těsnění** je dešťová a větrová zábrana tvořeny jediným těsnícím plastickým profilem. Velmi často se používá dorazové těsnění na venkovní a vnitřní naléhávce křídla. Tento způsob utěsnění je problematický, protože je zde výrazně ztěženo splnění podmínky vyrovnávání tlaku vzduchu v exteriéru a v interiéru v dekompresní dutině, navíc

těsnící profil na venkovním dorazu v praxi nikdy netěsní dokonale a vodu ve větší či menší míře propouští do funkční spáry.

U **těsnění dvoustupňového** je dešťová zábrana funkčně oddělena od zábrany větrové. Odolnost proti zatékání zajišťuje dostatečně kapacitní dekompresní dutina s vhodně provedenou profilací rámu a křídla. Rámové nebo křídelní těsnění za dešťovou zábranou směrem do interiéru plní funkci zábrany větrové. Větrová zábrana je vždy umístěna za dešťovou zábranou.

Profilace funkční spáry je navržena tak, aby umožnila upevnění všech částí kování na příslušná místa. Převážná část kování s většinou pohyblivých částí se upevňuje do speciální drážky vyfrézované po obvodu křídla, část včetně křídelních závěsů se upevňuje na vnitřní profil rámu. Funkční spára musí být navržena tak, aby se zabránilo průniku srážkové vody až ke kování. Kování nesmí být vystaveno ani vlhkosti vzniklé kondenzací vodní páry. [16]

1.2 Základní dělení okenních výplní

V minulosti osazované okenní konstrukce už z hlediska tepelně izolačních vlastností a úspory energie nevyhovují současným požadavkům. S poškozenými okny lze navíc v místnostech jen těžko dosáhnout příjemné atmosféry.

1.2.1 Rozdělení okenních výplní dle materiálů křídel a rámu

Pro výrobu oken se používá řada materiálů. V dnešní době jsou nejrozšířenější výrobky plastové, dále se používá dřevo, hliník a v omezeném množství ocel. Plastová a dřevěná okna se vyrábějí též v kombinaci s hliníkovým opláštěním.

Dřevěné okenní výplně patří k tradičnímu materiálu již po mnoho staletí, dřevo bylo nejdostupnějším přírodním materiálem. K výrobě dřevěných oken se používají jednak domácí dřeviny (smrk, borovice, dub), jednak dřeviny exotické (meranti, mahagon, teak a oregonská borovice). Čím je dřevo měkčí, tím je náchylnější ke změnám tvaru vlivem vlhkosti. Dub patří mezi tvarově nejstálejší dřeviny. Základním předpokladem kvality dřevní hmoty na výrobu oken je vlhkost, která nesmí překročit 12%. Dřevěné okenní profily se dnes vyrábějí z jednoho masivního kusu dřeva jen výjimečně. Na jejich výrobu se používají vícevrstvé lepené profily, které zaručují tvarovou stálost profilů tím, že vyrovnávají na-

pětí v jednotlivých prvcích okenních konstrukcí. Dřevo je nejvhodnějším materiálem pro výrobu atypických oken (např. obloukových nebo šikmých).

Stejně jako dřevo, patří mezi tradiční a podstatné materiály **kov**. Kovová okna jsou v současnosti reprezentována především okny ze slitin hliníku a uplatňují se na náročných objektech občanského charakteru. Kovová okna mají vysoký součinitel tepelné vodivosti, což způsobuje problémy při plnění tepelně-technických požadavků kladených na okna. Kovové okenní profily představují výrazné tepelné mosty. S pomocí moderních výrobních technologií už výrobci kovových oken umějí tepelné mosty přerušit vložením vysoce účinného izolantu do jejich ráků. Vlysy oken s přerušeným tepelným mostem sestávají ze dvou profilů, které spojuje izolant s nízkou tepelnou vodivostí. Může to být například polyamid vyztužený skelným vláknem, tvrzený polyuretan apod. Tyto materiály mají tepelně izolační funkci a zároveň musejí zabezpečovat statickou únosnost rámového profilu jako celku. Ocelové profily, popřípadě profily ze slitin hliníku se nejčastěji vyskytují u objektů, kde je kladen požadavek na zatížení a statickou bezpečnost. [15]

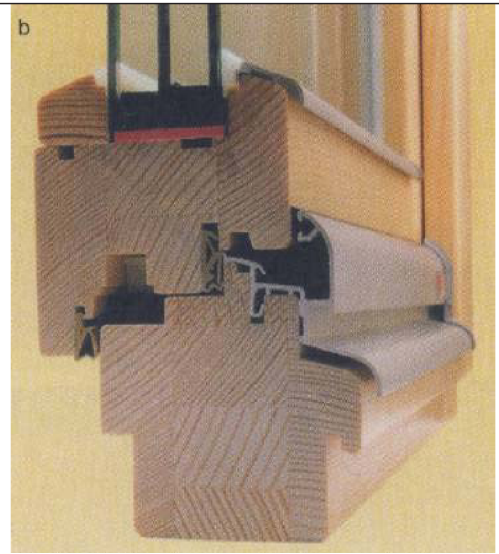
Relativně nedávno umožnily nové technologie vyrábět **okenní rámy z plastů**. Plasty vyrobené staršími technologiemi při teplotě nižší než -10 °C křehly a ztrácely svou elasticitu. Počáteční malá statická tuhost plastů se v okenních systémech kompenzovala vkládáním kovových profilů do polotuhých komor. V počátcích byly plastové rámy vyráběny z měkčeného PVC, který byl nahrazen extrudovanými profily PVC. Výztuž v plastovém okně má za úkol přenášet mechanické namáhání okna přes kotvení okna do stavby. V průběhu několika let však výrobci přepracovali jak technologie výroby plastů, tak i geometrii profilů. Čím důmyslnější profil, tím jistější tvarová stabilita. Plastová okna jsou rozměrově přesná, odolávají povětrnostním vlivům a nekrotí se. Rozhodující pro kvalitu a funkčnost oken je konstrukce profilů. [26]

Kombinací těchto tří materiálů (dřevo-plast, dřevo-kov, kov-plast) vznikly **rámy kombinované**.

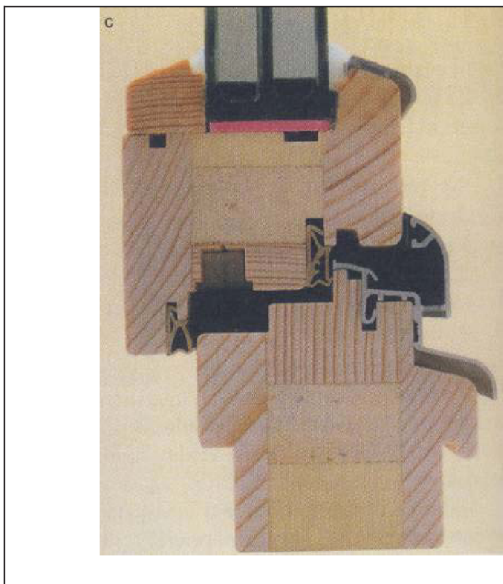
V dnešní době se vyskytují okenní výplně s různým konstrukčním řešením ráků. Plastové rámy s ocelovými výztuhami a pěti až osmi vzduchovými komorami. Do komor plastových ráků (především pro objekty s nízkou energetickou náročností) se vkládá tepelně izolační vrstva. Dřevěné rámy se provádí také v kombinacích s tepelně izolační vrstvou z korku nebo polyuretanu. Tato izolační vrstva je vložena do vyfrézovaných dutin. Dřevěné i plastové rámy se vyrábí také v kombinaci s eloxovaným hliníkem na vnější straně. [50]



Obr. 2 Trojsklo, rám dřevo-polyuretan-hliník



Obr. 3 Trojsklo, celodřevěný rám



Obr. 4 Trojsklo, dřevo s tepelnou izolací (purenit, tvrdá polyuretanová pěna)



Obr. 5 Trojsklo, plast s tepelnou izolací (tvrdá polyuretanová pěna)

Samostatnou kapitolou okenních výplní jsou okna bez rámu, tvořené pouze skleněnou výplní. Jejich použití je časté například v prosklených fasádách a u některých architektonicky náročných staveb. Hodnotí se však podle kritérií platných pro obvodový plášť budovy, proto se jimi tato práce dále nezabývá. [16]

1.2.2 Rozdělení okenních výplní dle způsobu zasklení

Okna můžeme rozdělit dle způsobu zasklení do tří nejčastějších skupin.

Jednoduchá okna

Jednoduchá okna jsou nejstarším a nejjednodušším typem okenní konstrukce. *Okno s jednoduchým zasklením* je tvořeno jednou skleněnou tabulí, která může být ze skla plochého (Float), skla plochého taženého, skla litého nebo skla bezpečnostního – tvrzeného či vrstveného. Tento druh oken nezabezpečuje dostatečně izolaci vnitřního prostoru.

Dalším vývojovým typem jsou *jednoduchá okna dvojité zasklená*. Na profilu křídla je polodrážka frézovaná z obou stran a je tak dosaženo dvojitého zasklení. Mezi skly je vzduchová mezera, čímž se docílí zlepšení izolačních vlastností.

Zdvojená okna

Zdvojená okna, zasklená jednoduchou tabulí nebo vně izolačním dvojsklem a uvnitř jednoduchou tabulí. Tyto okna mají dvě křídla, sešroubovaná k sobě, otvírání je pak stejné jako u jednoduchého okna. Jedno křídlo, zpravidla vnitřní, plní nosnou funkci.

Dvojitá okna

Dvojitá okna mají stejné typy zasklení jako zdvojená okna. Dvojitá okna mají však dvě nezávislá křídla (vnější a vnitřní). Pohyb každého křídla je nezávislé na druhém. Vnější a vnitřní křídla jsou samostatně otvíravá a samostatně uzavíratelná. [13]

1.2.3 Rozdělení okenních výplní dle technologie zasklívání

Tradiční technologie zasklívání

Nejrozšířenější způsob osazení výplně do zasklívací spáry je její vymezení vůči křídlu pomocí zasklívací lišty. Určitou nevýhodou tohoto systému je poměrně malá hloubka uložení výplně v zasklívací spáře u běžných okenních profilů, čímž je umožněn poměrně snadný výskyt tepelného mostu v oblasti zasklívací lišty, kde je umístěn i meziskelní distanční rámeček. Nežádoucí lineární tepelný most vzniká i při použití tzv. teplých rámečků, i když není tento vliv tak negativní, jak při použití např. hliníkových rámečků.

Technologie vlepování skel

Principem je vytvoření jediného celku z křídelního rámu a jeho skleněné výplně. Toho se dosáhne tím, že izolační sklo se vlepí po celém obvodu zasklívací spáry. Tím dochází ke

statickému spolupůsobení obou částí. Celek má některé nepopiratelné výhody, jimiž jsou větší hloubka uložení zasklení se snížením hodnoty lineárního tepelného mostu v oblasti zasklívací lišty, lepší interakce křídelního rámu a jeho výplně, a tím větší tuhost křídla a možnost omezit používání výztuh u plastových oken. [16]

1.2.4 Rozdělení okenních výplní dle způsobů kotvení

Nejstarším způsobem je pevné kotvení. K přichycení okenního rámu se používal *lavičnik*, který se narazil podle svislých vlysů. K rámu se upevnil přes otvor v ploché hlavě vrutem. Spojovací prostředky byly následně zakryty krycími lištami. Tento způsob je použitelný v případě malých ploch, protože neumožňuje dilataci.

Dalším způsobem je upevnění okna pomocí páskových kotev. Ke zkompletovanému oknu jsou před vlastním osazením upevněny z vnější strany kotvy z ocelového plechu. Po nasazení a vyrovnaní je okno přes přesah kotev upevněno spojovacím prostředkem do ostění. Tento způsob kotvení umožňuje dilataci.

Dnes je jedním z nejčastějších způsobů osazení okna pomocí kluzných trnů. Tento způsob umožňuje rovněž dilataci okenní konstrukce. Ve svislých vlysech rámu jsou předvrtané otvory příslušného průměru a přes ně se po zabudování okna z vnitřní strany narazí ocelové hřeby bez hlavy. Dalším možností je použití osazovacího rámu tvaru „L“. [13]

1.3 Připojovací spára

Pod pojmem připojovací spára se rozumí celý prostor, který se nachází mezi rámem okenní výplně a ostěním stavebního otvoru, tedy stavebně-konstrukční částí budovy. Kvalita připojovací spáry je zásadně ovlivněna způsobem a provedením montáže. O tom, jak kvalitně bude okenní výplň funkční a bude spolupůsobit s celým stavebním dílem, z podstatné části rozhoduje právě provedení připojovací spáry. Provádění montáže bez funkčních pásek v současnosti již není v souladu s platnou legislativou.

Každá připojovací spára se člení na tři základní zóny:

- vnitřní uzávěr,
- tepelněizolační výplň,
- vnější uzávěr.

Technicky nejsprávnějším řešením je použití tzv. funkčních pásek jakožto vnitřního a vnějšího uzávěru a tepelněizolační výplně, která vyplní prostor mezi funkčními páskami. [16]

1.3.1 Vnitřní uzávěr

Jeho hlavní funkcí je zabránit průniku vzdušné vlhkosti z místnosti do funkční spáry. Dlouhodobé působení vlhkosti na tepelněizolační výplň připojovací spáry totiž působí destruktivně na tento materiál, zapříčiňuje postupnou degradaci až k částečné či úplné ztrátě funkčnosti tepelného izolantu, a tím vzniku podstatného tepelného mostu s projevy plísně v interiéru pod parapetem či jinde. Podstatou řešení je vždy důsledné utěsnění spojů a použití pásky, která bude mít vysoký faktor difuzního odporu (bude parotěsná).

1.3.2 Tepelněizolační výplň

Tepelněizolační výplň má funkci tepelné izolace mezi rámem a stavební konstrukcí. Tepelný izolant musí vyplnit spáru v celé její šířce i hloubce. Nesmí vzniknout žádné kaveriny, není však ani správné, když při použití PUR pěny po její expanzi dojde k vytečení z připojovací spáry a přebytky se musejí odstranit.

Jako tepelné izolace se nejčastěji používají PUR pěny různé kvality, rozpínavosti, výsledné hustoty a tepelné vodivosti, nebo tzv. komprimační (kompresní) pásky, které bývají součástí uceleného systému. Je potřeba používat kvalitní materiály, jejichž stupeň expanze není příliš velký, protože u vysokoexpanzních materiálů po vytvrnutí vznikají velké póry a vlastnosti tepelné izolace jsou tím výrazně zhoršeny.

1.3.3 Venkovní uzávěr

Venkovní uzávěr připojovací spáry plní tyto hlavní funkce:

- vodotěsnost – zabraňuje pronikání srážkové vody z venkovního prostředí do spáry;
- paropropustnost – umožňuje difuzi vodní páry z prostoru připojovací spáry do exteriéru;
- ochrana tepelněizolační výplně spáry proti dalším negativním vlivům, jako je působení ultrafialové složky slunečního záření, ochrana proti mechanickému poškození a podobně.

Vodotěsnou funkci venkovního uzávěru musejí plnit nutně nejen tzv. funkční pásy, ale i všechna ostatní opatření (oplechování, různé výplňové těsnící materiály, tmely aj.). Platí zásada, že všechny detaily fasády musejí být vodotěsné.

V současné době se používají nejčastěji různé druhy tzv. venkovních pásek, které při vysoké odolnosti proti průniku tlakové vody mají poměrně malý difuzní odpor, jsou paropropustné. Dále se používají kompresní pásy, které plní obdobnou funkci. U nich je však nutné dodržovat důsledně maximální přípustnou šířku, kterou mají utěsnit. Při větší dekompresi, než je uvedena v technickém listu výrobku, svou těsnící schopnost ztrácejí. [16]

1.4 Fyzikální veličiny týkající se okenních výplní

Důležitými vlastnostmi okenních výplní jsou vlastnosti tepelně technické, akustické, bezpečnostní, splňující požadavky požární bezpečnosti aj. Z hlediska energeticky úsporného přístupu k okenním výplním jsou pro tuto práci nejdůležitější tepelně technické vlastnosti, které jsou popsány v následující části. Dále jsou zde uvedeny základní fyzikální veličiny, které jsou důležité pro práci.

1.4.1 Teplo

Teplo se dá definovat jako změna části mechanické energie na jinou formu energie. Teplo je tedy změna mechanické energie, která nemá povahu ani práce, ani chemické práce. Jedná se především o energii, kterou systém přijme nebo odevzdá při styku s jiným systémem jiné teploty. V tomto případě se jedná o tepelnou výměnu. Přírůstek kinetické energie neuspořádaného pohybu molekul charakterizujeme veličinou zvanou „teplo“. [19]

1.4.2 Teplota

Teplota je charakteristika tepelného stavu hmoty. Teplota je ústředním pojmem termiky a klíčovou veličinou pro popis tepelných jevů. Teplota je základní fyzikální veličinou soustavy SI s jednotkou kelvin (K) a vedlejší jednotkou stupeň Celsia (°C). Teplota je veličina, která objektivně vyjadřuje stupeň zahřátí. Zahřívání těles je ovšem pouze subjektivní pojem do té míry, dokud nemáme k dispozici vhodné zařízení, kterým by bylo možné stanovit „míru“ tohoto zahřátí. [19]

1.4.3 Přenos tepla

Teplo se může šířit v jakémkoliv prostředí pouze tehdy, pokud jsou na různých místech tohoto prostředí rozdílné teploty, přičemž z míst s vyšší teplotou přechází teplo do míst s nižší teplotou, a tak dochází k vyrovnávání teplot určitého prostředí.

Tepelné ztráty nebo zisky v budovách jsou způsobeny přenosem tepla, který může mít tři základní podoby:

- Vedení (kondukce)
- Proudění (konvekce)
- Sálání (záření, radiace)

Přenos tepla vedením

U okenních výplní se tento jev projevuje především u dutiny mezi skly, které jsou plněny plyny (argon, krypton, xenon, suchý vzduch) s nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti. Tento přenos tepla je dále podstatný u dutin rámu oken, které jsou vyplněné tepelnou izolací.

Vedení tepla je přenosem energie z jedné části látky na druhou část téže látky nebo z jedné části látky na druhou, která je s ní v kontaktu, aniž by došlo ke znatelnému přemístění částic (atomů, molekul nebo iontů), které tvoří látku. Charakter tepelného pohybu částic látky záleží na skupenství této látky. Vedením se teplo šíří zejména v tuhých látkách, kdežto v kapalinách a plynech jen za určitých podmínek. Vedení tepla je v podstatě postupné odevzdávání kinetické energie molekulám tělesa při jejich dotyku. [8]

Částice pevných látek konají oscilaci kolem svých rovnovážných poloh a vyvolávají oscilace rovněž u svých sousedů. Díky tomuto kolektivnímu oscilačnímu pohybu může být uskutečněn přenos energie zvaný vedení tepla. Přirozený tok tepla je vždy nasměrován z míst s vyšší teplotou k místům s nižší teplotou, protože „horké“ částice konají intensivnější oscilace ve srovnání s chladnějšími, a tudíž předávají přebytek své kinetické energie pomalejším částicím, které jsou chladnější. V procesu vyrovnávání teplot různě zahřátých částí tělesa vzniká tok tepla v důsledku tepelné vodivosti.

Částice kapalin rovněž konají oscilaci kolem svých rovnovážných poloh, ale po jistém počtu oscilací změny své polohy na nové, aby provedly další skupinu oscilací. Následkem takového semichaotického kolektivního pohybu jsou schopny přenášet svou kinetickou energii od jedné ke druhé a tímto způsobem realizovat vedení tepla. Částice plynu jsou

prakticky svobodné a nezávislé na sobě a jejich jediná interakce je prováděna vzájemnými srážkami, kterými se uskutečňuje přenos kinetické energie, tj. vedení tepla. [7]

Teorie tepelné vodivosti ve všeobecnosti uvažuje změny teploty v rozdílných částech tělesa v závislosti na čase. Těleso se uvažuje jako homogenní izotropní prostředí. Šíření tepla vedením je popsáno dvěma Fourierovými zákony.

První Fourierův zákon udává vztah mezi hustotou tepelného toku a teplotním gradientem, přičemž platí přímá úměra, tj. hustota tepelného toku je tím větší, čím je větší teplotní gradient. Teplotní gradient je vektor vzhledem k izotermické ploše a je mírou změny teploty v daném místě. Hodnotou úměrnosti je v tomto případě součinitel tepelné vodivosti. [7]

$$q = \lambda \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} \quad (1)$$

kde q je hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
 $(\theta_2 - \theta_1)/d$ teplotní gradient (teplotní spád) [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$];
 λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Druhý Fourierův zákon udává vztah mezi časovou změnou teploty a místní změnou teploty, úměrnost mezi nimi zajišťuje součinitel teplotní vodivosti. Tento zákon má tvar parciální diferenciální rovnice druhého řádu, např. v pravouhlých souřadnicích x, y, z :

$$\frac{\delta\theta}{\delta\tau} = a \cdot \left(\frac{\delta^2\theta}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\theta}{\delta y^2} + \frac{\delta^2\theta}{\delta z^2} \right) \quad (2)$$

kde τ je čas [s];
 a $\lambda \cdot c^{-1} \cdot \rho^{-1}$ – tepelná difuzivita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$];
 c měrné tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
 ρ objemová (měrná) hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];
 θ teplota [$^{\circ}\text{C}$]. [19]

Přenos tepla prouděním

U okenních výplní se jedná především o předání tepla vzduchu v interiéru na vnitřní sklo okna, plyn mezi skly se ohřívá a přenáší teplo na další sklo nebo prostřednictvím vzduchových dutin v rámech oken.

Proudění tepla neboli konvekce je přenosem energie ve fluidních látkách (kapalinách nebo plynech) uskutečňovaným míšením jedné části fluida s jinou částí odlišné teploty. Přenášení tepla v pohybujícím se prostředí je složitější než v nepohyblivém prostředí. Pohyb fluida může být způsoben rozdílem hustot jakožto následek rozdílných teplot, což je případ přírodní (volné) konvekce, nebo pohybem vyvolaným mechanickými prostředky, jako je tomu u nucené konvekce. Ve všeobecném případě může vzniknout vynucené proudění současně s prouděním přirozeným. Při velkých rychlostech je vliv přirozeného proudění zanedbatelný. [7]

Výměna tepla prouděním mezi povrchem tělesa a kapalným nebo plynným prostředím se nazývá přestupem tepla. Existují dva druhy proudění – laminární a turbulentní. Laminární proudění je charakteristické rovnoběžným pohybem vzduchu se směrem proudu. Turbulentní proudění je charakteristické neuspořádaným, chaotickým pohybem částic vzduchu.

Pokud proudí vzduch okolo povrchu tuhého tělesa (např. povrchu konstrukce), vytváří se tzv. oblast vnějšího proudění a oblast, ve které se v důsledku viskozity vzduchu mění rychlost proudu od nulové hodnoty na povrchu tělesa prakticky až k rychlosti vnějšího proudu. Tato oblast se nazývá mezní vrstvou – vzduch se v ní může pohybovat laminárně i turbulentně. V laminární vrstvě se šíří teplo vedením, v turbulentní vrstvě je odpor proti přestupu tepla zanedbatelný. [8]

Přenos tepla zářením (sáláním)

Třetí způsob přenosu tepla mezi předmětem a jeho okolím je přenos tepla zářením, nebo též sáláním, prostřednictvím elektromagnetických vln. V takovém případě mluvíme o tepelném záření, aby se odlišilo od elektromagnetických signálů nebo od radioaktivního záření. Pro přenos tepla zářením není potřeba žádné hmotné prostředí. [9]

Všechna hmota spojitě vyzařuje elektromagnetické záření, pokud není její teplota rovna absolutní nule. Čím vyšší je teplota, tím větší je množství vyzářené energie. Zářívá energie, pokud je elektromagnetické povahy, nevyžaduje pro svůj přenos žádné médium a bude procházet i vakuem. Tento typ přenosu nejčastěji nastává mezi pevnými povrchy. [7]

Ideální těleso, které má při dané teplotě maximální sálavou schopnost se nazývá absolutně (dokonale) černým tělesem. Sálavá energie všech skutečných těles představuje jen určitou část energie sálání absolutně černého tělesa při stejné teplotě. Ve skutečnosti se absolutně černá tělesa nevyskytují.

Energie sálavá (vyzařovaná) tělesem může být částečně pohlcovaná okolním prostředím, může dopadat na jiné tělesa a rozptylovat se v okolním prostoru. Pohlcovací schopnost různých těles není stejná. Intenzita výměny tepla sáláním je u různých těles rozdílná a závisí na jejich teplotě, schopnosti sálát, pohlcovat a odrážet teplo, na jejich tvaru, rozměru a vzájemné uložení. [8]

V technické praxi se obvykle řeší úlohy spojené s úhrnnou tepelnou energií, která se vymění mezi povrchy dvou sálajících těles, takže se vystačí se zákonem Stefan- Boltzmannovým. Podle tohoto zákona je hustota sálavého toku absolutně černého tělesa rovna [18]:

$$q_{\varepsilon} = c_{\varepsilon} \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (3)$$

kde q_{ε} je hustota sálavého toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
 c_{ε} součinitel sálání dokonale černého tělesa [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$];
 T přibližně $273 + t$ absolutní teplota [K];
 t obyčejná teplota [$^{\circ}\text{C}$].

Většinu technickým materiálů však lze zahrnout mezi šedá tělesa, jejichž součinitel sálání je dán vztahem:

$$c_{\varepsilon} = \varepsilon_s \cdot c_{\varepsilon} \quad (4)$$

kde c_{ε} je součinitel sálání šedého tělesa [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$];
 ε_s pohltivost sálání [-].

Přenos tepla sáláním je u zasklení skoro stejně významný jako u konvekce. Celkové množství přeneseného tepla závisí na počtu vrstev zasklení a na emisivitě povrchu.

1.4.4 Tepelné mosty

Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k větším tepelným tokům než v bezprostředním okolí tohoto místa. Jde tedy o místa, kudy uniká na jednotku plochy mnohem více

tepelné energie než okolní konstrukcí při stejné ploše. Tepelné mosty mohou být systémové, nahodilé a nebo se může jednat o tepelné vazby.

Systémové tepelné mosty jsou ty, které se neustále pravidelně opakují a jejichž vliv musí být při výpočtech vždy zahrnut již do součinitele prostupu tepla konstrukcí. Jde například o krokve nebo o maltové lože u zděných staveb.

Nahodilé tepelné mosty jsou takové, které se v konstrukci pravidelně neopakují. Ty je nutné do výpočtu zahrnout buď zvýšením součinitele prostupu tepla (dříve se zvyšoval součinitel prostupu tepla o 10 %, nyní je vhodnější volit přírážku $DU = 0,1$ až $0,25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) a nebo je nutné jej do výpočtu zahrnout přesně spočítáním lineárního součinitele prostupu tepla y a jeho vynásobením příslušnou délkou tepelného mostu. Mimo lineárních tepelných mostů mohou být ještě tepelné mosty bodové. Ty se pak započítávají připočítáním bodového součinitele prostupu tepla c vynásobeného počtem prvků v konstrukci.

Mezi nahodilé tepelné mosty je možné počítat různé ztužující věnce a jiné nosné konstrukce, různé niky pro měření plynu či elektřiny, niky pro suchovody i hydranty, průchody konstrukcemi, kdy jimi prochází tepelně vodivý materiál, jako nosné ocelové tyčové prvky, trubky, průchodky, kotvy atd.

Tepelnými vazbami jsou myšleny styky dvou různých konstrukcí. Nejde tedy o klasický tepelný most, kdy je tepelná izolace zeslabena či přerušena jinou konstrukcí, ale kde dochází ke zvýšenému tepelnému toku díky styku dvou a více různých konstrukcí, jako je například napojení stropní konstrukce na obvodovou stěnu, napojení stěny na okno, napojení stěny na základy apod.

Tepelné mosty je pochopitelně možné rozdělit podle mnoha hledisek na různé skupiny, například na tepelné mosty:

- stavební (napojení dvou konstrukcí, např. základ a stěna, stěna a okno či dveře, vstup potrubí);
- geometrické (geometrické změny konstrukce, např. roh stěn, uskočení);
- systematické (v konstrukci se opakují místa s horšími tepelně izolačními vlastnostmi, např. spony, krokve mezi izolací ve střeše, maltové lože mezi cihlami);
- konvektivní (kde může docházet k přenosu energie přes tepelnou izolaci prouděním, např. v netěsných střešních konstrukcích). [21]

1.4.5 Součinitel tepelné vodivosti

Tepelná vodivost dané látky je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti. Součinitel tepelné vodivosti bývá často chybně označován přímo jako tepelná vodivost. Součinitel tepelné vodivosti je základní veličinou pro definování tepelně technických parametrů materiálů. Pomocí součinitele tepelné vodivosti můžeme určovat kvalitu jednotlivých materiálů z tepelně technického hlediska. Pomocí tepelné vodivosti můžeme stanovit další porovnávací veličiny, jako jsou např. tepelný tok, součinitel prostupu tepla, tepelný odpor konstrukce apod.

Tepelná vodivost je vlastnost závislá na složení materiálu a nikoliv na jeho geometrické konfiguraci. Součinitele tepelné vodivosti λ je materiálovou konstantou a může být pokládáno za teplo prošlé materiálem za jednotku času, jednotku plochu a při jednotkovém teplotním gradientu. [7]

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\theta} \quad (5)$$

kde q je faktor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým isotropním materiálem [W/m^2];

$grad\theta$ gradient teploty [K/m].

Látky je možné dělit na dobré a špatné vodiče tepla, podle hodnoty součinitele teplotní vodivosti λ . Kovy a tuha jsou dobrými vodiči, zatímco ostatní pevné látky jsou spíše špatnými vodiči. Ze všech látek mají nejmenší hodnotu součinitele tepelné vodivosti plyny. Toho se využívá především u okenních výplní – vyplnění dutiny mezi zasklením vzácnými plyny (argon aj.). Dobrými tepelnými izolátory jsou látky, které obsahují drobné, nejlépe uzavřené dutiny vyplněné vzduchem, např. skelná či minerální vlna, pěnový beton, cihly apod. Vodivost takových látek však závisí na vlhkosti. Se zvyšujícím se obsahem vlhkosti tepelná vodivost stoupá a izolační vlastnosti se zhoršují. Vodivost látek také závisí do jisté míry na teplotě. Ve většině praktických problémů, pokud nejsou teplotní a vlhkostní difference příliš velké lze použít střední hodnoty součinitele teplotní vodivosti nebo standardní hodnoty, které se vztahují k jistým smluveným podmínkám. Nejlepším tepelným izolantem je vakuum, ve kterém se však uplatňuje jiný typ tepelného transportu, totiž tepelné záření. Určitého stupně vakua se používá jako tepelného izolátoru uvnitř dutiny mezi skly oken, u dvojskel, trojskel a v dnešní době již i u čtyřskel. [7]

Určujícími vlastnostmi součinitele tepelné vodivosti je vlhkost, objemová hmotnost odpovídající míře stlačení/zatížení, střední teplota, stáří u materiálů/výrobků měnící jejich vlastnosti po dobu předpokládaného užití, tloušťka výrobku, u kterých dochází k intenzivnímu přenosu tepla sáláním nebo prouděním.

Podle České technické normy ČSN 73 0540-3 je doporučeno stanovovat návrhovou hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ_u stavebních materiálů pro vnitřní i vnější stavební konstrukce, které jsou ve styku s vnitřním prostředím s částečným tlakem vodní páry $p_{vl} \leq 1491$ Pa, bez ohledu na způsoby jejich zabudování do stavebních konstrukcí a její druh, se může stanovit buď přímo pro stavební materiály ze sloupce 8 tabulky A.1 uvádějící přímo návrhovou hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ_u stanovenou pro normovou hmotností vlhkost u_n a podmínky definované po vnější konstrukce, ve kterých dochází ke kondenzaci vodní páry nebo pro stavební materiály nášlapných vrstev z tabulky A.2.

Pokud jsou stavební materiály pro vnitřní i vnější stavební konstrukce ve styku s vnitřním prostředím s částečným tlakem vodní páry $p_{vl} > 1491$ Pa stanoví se součinitel tepelné vodivosti λ_u dle následujícího vztahu [30]:

$$\lambda_u = \lambda_k \cdot [1 + z_1 \cdot Z_u \cdot (z_2 + z_3)] \quad (6)$$

$$\lambda_u = \lambda_k \cdot [1 + z_1 \cdot Z_u \cdot z_{23}] \quad (7)$$

kde	λ_u	je	návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
	λ_k		charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
	Z_u		vlhkostní součinitel materiálu [-];
	z_1		součinitel vnitřního prostředí pro vnitřní konstrukce, kde dochází ke kondenzaci vodní páry [-];
	z_2		součinitel materiálu [-];
	z_3		součinitel způsobu zabudování materiálu do stavební konstrukce [-];
	z_{23}		sdrúžený součinitel podmínek působení [-].

1.4.6 Ekvivalentní tepelná vodivost a tepelný odpor vzduchové dutiny

Zjištění správné hodnoty ekvivalentní tepelné vodivosti a tepelných odporů vzduchových dutin v rámech okenních výplně a mezi skly, je důležitým předpokladem pro další práci ve výpočtových modelech.

Dutiny v zasklení

Podle ČSN 73 054-3 se návrhové hodnoty tepelného odporu nevětraných vrstev dvojitého zasklení plněných vzduchem R_g [m².K/W], stanoví podle přílohy C v ČSN EN ISO 10077-1:2001. Návrhové hodnoty tepelné propustnosti meziskelní uzavřené dutiny izolačního dvojitého i vícenásobného zasklení plněné plynem h_g se stanoví výpočtem podle ČSN EN 673+A1 [30]:

$$h_g = Nu \cdot \frac{\lambda_k}{s_k} \quad (8)$$

kde h_g je tepelná propustnost plynu [W.m⁻².K⁻¹];
 λ_k součinitel tepelné vodivosti k-tého plynu [W.m⁻¹.K⁻¹];
 s_k šířka k-tého meziprostoru [m];
 Nu Nusseltovo číslo [-].

$$Nu = A(Gr.Pr)^n \quad (9)$$

kde A je konstanta [-];
 Gr Grashofovo číslo [-];
 Pr Prandtlovo číslo [-];
 n exponent [-].

$$Gr = \frac{9,81s^3 \Delta T \cdot \rho^2}{T_m \mu^2} \quad (10)$$

$$Pr = \frac{\mu c}{\lambda} \quad (11)$$

kde ΔT je teplotní rozdíl mezi povrchy skla ohraničujícími plynový meziprostor [K];
 ρ hustota [kg.m⁻³];
 μ dynamická viskozita [kg.m⁻².s⁻¹];

c měrná tepelná kapacita [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$];

T_m střední teplota [K].

Pro svislé zasklení jsou hodnoty $A = 0,035$, $n = 0,38$. [35]

Pro hodnotu přestupu tepla k-tým meziprostorem h_s je nutné k hodnotě h_g připočítat hodnotu tepelného prostupu způsobeného sáláním h_r .

$$h_{s,k} = h_{r,k} + h_{gk} \quad (12)$$

$$h_r = 4\sigma \left(\frac{1}{\varepsilon_{1,k}} + \frac{1}{\varepsilon_{2,k}} - 1 \right)^{-1} T_{m,k}^3 \quad (13)$$

kde σ je Stefan-Boltzmannova konstanta [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$];

$T_{m,k}$ střední absolutní teplota plynového meziprostoru [K];

$\varepsilon_{1,k}$ a $\varepsilon_{2,k}$ dynamická viskozita [-];

T_m opravené emisivity povrchů ohraničujících uzavřený prostor mezi tabulemi při teplotě $T_{m,k}$ [K].

Celková plošná tepelná propustnost každého plynového meziprostoru zasklení h_t je definována vztahem:

$$\frac{1}{h_t} = \sum_1^n \frac{1}{h_s} + \sum_1^M d_j r_j \quad (14)$$

kde d_j je tloušťka každé vrstvy materiálu [m];

r_j měrný tepelný odpor každého materiálu [m.K.W^{-1}];

M počet vrstev materiálu [-].

Neodvětrané obdélníkové vzduchové dutiny v rámech

Ekvivalentní tepelná vodivost / tepelný odpor neodvětrané vzduchové dutiny v rámech oken, popř. mírně odvětrané dutiny nebo drážky, popř. dostatečně odvětrané dutiny nebo drážky o velkém průřezu, se stanoví výpočtem podle ČSN EN ISO 10077-2. Podle ČSN EN ISO 10077-2 jsou vzduchové dutiny neodvětrané, pokud jsou úplně uzavřeny nebo spojeny buď s exteriérem, nebo s interiérem šterbinou o šířce nepřesahující 2 mm. Jinak se dutina řeší jako odvětraná. Ekvivalentní tepelná vodivost λ_{eq} dutiny je dána vztahem:

$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s} \quad (15)$$

kde d je rozměr dutiny ve směru tepelného toku [m];

R_s tepelný odpor dutin [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$].

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (16)$$

kde h_a je součinitel přestupu tepla prouděním [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$];

h_r součinitel přestupu tepla sáláním [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

Součinitel přestupu tepla prouděním se vypočítá z následujícího vztahu:

v případě $b < 5 \text{ mm}$ (b je rozměr kolmý na tepelný tok)

$$h_a = \frac{C_1}{d} \quad (17)$$

kde $C_1 = 0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

d rozměr dutiny ve směru tepelného toku [m];

jinak

$$h_a = \max \left\{ \frac{C_1}{d}; C_2 \Delta T^{1/3} \right\} \quad (18)$$

kde $C_1 = 0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

$C_2 = 0,73 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4/3}$;

ΔT maximální povrchový teplotní rozdíl v dutině [K].

Není-li přístupná jiná informace, použije se $\Delta T = 10 \text{ K}$, pro které:

$$h_a = \max \left\{ \frac{C_1}{d}; C_3 \right\} \quad (19)$$

kde $C_1 = 0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

$C_3 = 1,57 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Součinitel přestupu tepla sáláním se vypočítá z následujícího vztahu:

$$h_r = 4\sigma T_m^3 EF \quad (20)$$

kde

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \quad \text{Stefan-Boltzmannova konstanta [W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}\text{];}$$

$$E = \left[\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right]^{-1} \quad \text{součinitel vzájemného sálání [-];}$$

$$F = \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 + (d/b)^2} - d/b \right] \quad \text{tvarový činitel pro pravoúhlý profil [-];}$$

$$\varepsilon_1 \text{ a } \varepsilon_2 \quad \text{emisivity povrchů [-].}$$

Pokud není jiná informace k dispozici, použije se $T_m = 283 \text{ K}$, pro kterou platí:

$$h_r = c_4 \left[1 + \sqrt{1 + (d/b)^2} - d/b \right] \quad (21)$$

$$\text{kde } C_4 = 0,025 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Neodvětrané vzduchové dutiny v rámech, jiné než obdélníkové

Vzduchové dutiny s jiným tvarem než obdélníkovým (například tvaru L, T apod.), jsou nahrazeny obdélníkovými dutinami se stejnou plochou ($A = A'$) a poměrem ($d/b = d'/b'$). Dále platí vztahy z předchozí části „Neodvětrané obdélníkové vzduchové dutiny v rámech“.

$$b = \sqrt{A' \frac{b'}{d'}} \quad (22)$$

$$d = \sqrt{A' \frac{d'}{b'}} \quad (23)$$

Odvětrané vzduchové dutiny a srážky

Drážky o malých průřezích na vnějších nebo vnitřních površích profilů a dutiny spojené s vnějším nebo vnitřním vzduchem šterbinou větší než 2 mm a nepřesahující 10 mm se uvažují jako mírně odvětrané vzduchové dutiny. Ekvivalentní tepelná vodivost je dvojnásobek neodvětrané vzduchové dutiny stejné velikosti podle části „Neodvětrané obdélníkové vzduchové dutiny“ a „Neodvětrané vzduchové dutiny v rámech, jiné než obdélníkové“.

Dostatečně odvětrané dutiny a drážky o velkém průřezu

V případech, kdy šířka b dutiny či drážky spojená s okolím, přesahuje 10 mm, se předpokládá, že celý povrch je vystaven okolí. Proto se odpor při přestupu tepla R_{si} nebo R_{se} použije při rozvinutém povrchu konstrukce.

V případě větší dutiny spojené s jedinou štěrbinou a rozvinutého povrchu přesahujícího šířku šterbiny o 10 mm se použije odpor při přestupu tepla se sníženým sáláním, uvedený v příloze B ČSN EN ISO 10077-2.

1.4.7 Návrhové hodnoty parametrů venkovního a vnitřního prostředí

Návrhové parametry venkovního prostředí jsou národními údaji parametrů vnitřního prostředí prostorů pozemních staveb pro ověření splnění základních požadavků, jako jsou hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí a především základních požadavků na úsporu energie a tepla podle ČSN 73 0540 a souvisejících norem. [30] Návrhových hodnot týkajících se tepelně technických výpočtů je celá řada. V této kapitole budou uvedeny pouze návrhové hodnoty uplatňované v disertační práci.

Návrhové hodnoty venkovního vzduchu v zimním období

Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období θ_e ve $^{\circ}\text{C}$, se stanoví v závislosti na teplotní oblasti a nadmořské výšce místa budovy ze vztahu [30]:

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta \theta_e \quad (24)$$

kde $\theta_{e,100}$ je základní návrhová teplota venkovního vzduchu v příslušné teplotní oblasti zeměpisně vymezené v příloze H.1 ČSN 73 0540-3, určená pro nadmořskou výšku 100 m n.m. [$^{\circ}\text{C}$];

$\Delta \theta_e$ výškový teplotní gradient [K] pro danou teplotní oblast podle tabulky 1 v ČSN 73 0504-3, který se pro místo budovy s nadmořskou výškou h určí ze vztahu:

$$\Delta \theta_e = \Delta \theta_{e,0} \cdot \frac{\Delta h}{100} \quad (25)$$

kde $\Delta \theta_{e,0}$ je základní teplotní gradient pro danou teplotní oblast podle tabulky 1 v ČSN 73 0504-3;

$\Delta h = h - 100$ rozdíl nadmořské výšky místa budovy h , v m n.m., a základní nadmořské výšky 100 m n.m.

Návrhová teplota venkovního vzduchu se zaokrouhlí na celé °C směrem k nižší (chladnější hodnotě.)

Návrhová vnitřní teplota v zimním období

Návrhová vnitřní teplota vnitřního prostoru pozemních staveb s požadovaným stavem vnitřního prostředí v zimním období θ_i ve °C, se stanoví podle jejich druhu ze sloupce 2 přílohy I.1 ČSN 73 0504-3 (jestliže technický předpis, provozní a technologické podmínky, požadavky investora či projektanta nestanoví jinak) a stanoví se podle vztahu [30]:

$$\theta_i = \theta_v \approx \theta_i \quad (26)$$

kde θ_v je výsledná teplota – podrobněji v čl. 4.6.5 ČSN 73 0540-1 [°C];

θ_i operativní teplota – podrobněji v čl. 4.6.7 ČSN 73 0540-1 [°C].

Návrhová vnitřní teplota se používá pro výpočty požadovaných/doporučených hodnot součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-2, tepelných ztát v obvyklých případech a z nich odvozených veličin, pro výpočty spotřeby a potřeby energie na vytápění budov apod., nejsou-li stanoveny jinak v technických normách nebo technických předpisech.

Návrhová teplota vnitřního vzduchu v zimním období

Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai,u}$, [°C], v zimním období se stanoví s přesností pro potřeby technické praxe a s ohledem na zajištění přijatelné tepelné pohody vnitřního prostředí s požadovaným stavem, ze vztahu [30]:

$$\theta_{ai,u} = \theta_i + 0,15 \cdot U_m \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (27)$$

kde θ_i je návrhová vnitřní teplota [°C];

θ_e návrhová teplota venkovního vzduchu [°C];

U_m průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcí vymežující daný vnitřní prostor [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

Návrhovou teplotu $\theta_{ai,u}$, [°C], prostorů pozemních staveb s výrazným rozdílem mezi průměrnou teplotou okolních ploch a teplotou vnitřního vzduchu, lze orientačně stanovit ze vztahu:

$$\theta_{ai,u} = \theta_i + \Delta\theta_{ai} \quad (28)$$

kde $\Delta\theta_{ai}$ je přírážka na vyrovnání rozdílu mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch, stanoví se orientačně z přílohy 1.2 ČSN 73 0504-3;

θ_e návrhová teplota venkovního vzduchu [°C];

U_m průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcí vymežující daný vnitřní prostor [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$].

1.4.8 Návrhové hodnoty odporu při přestupu tepla

Jedná se o tepelné odpory bránící výměně tepla mezi prostředími oddělenými od sebe stavební konstrukcí s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami. Hodnoty odporu při přestupu tepla dělíme na odpory na vnější straně konstrukce v zimním období R_{se} [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$], v letním období R_{se}^* [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$], a na vnitřní straně konstrukce bez povrchové kondenzace v zimním a letním období R_{si} [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]. [30]

Odpory při přestupu tepla na vnější a vnitřní straně závisí na přenosu tepla prouděním a zářením (sáláním) do vnějšího a vnitřního prostředí. Konvekční podíl může být snížen na okrajích nebo ve styku dvou povrchů, pokud vnější povrch není vystaven normálním povětrnostním podmínkám. [37]

Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce, tedy tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní straně konstrukce, je definován vztahem (ČSN 73 0504-3):

$$R_{si} = \frac{1}{h_i} \quad (29)$$

kde h_i je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$].

Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce je možné vypočítat ze vztahu:

$$h_{si} = \frac{q}{\theta_{ai} - \theta_{si}} \quad (30)$$

kde q je hustota tepelného toku [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
 θ_{ai} teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$];
 θ_{si} vnitřní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}\text{C}$].

Obdobně lze vypočítat také odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce, tedy tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnější straně konstrukce, a je definován vztahem:

$$R_{se} = \frac{1}{h_e} \quad (31)$$

kde h_e je součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$].

Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce je možné vypočítat ze vztahu:

$$h_{se} = \frac{q}{\theta_{se} - \theta_{ae}} \quad (32)$$

kde q je hustota tepelného toku [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
 θ_{ae} teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$];
 θ_{se} venkovní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}\text{C}$].

1.4.9 Teploty na povrchu konstrukce

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. [16]

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 dvojrozměrné šíření tepla se provede výpočet pomocí detailu (3D) trojrozměrného šíření tepla.

1.4.10 Teplotní faktor

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 dvourozměrným výpočtovým modelem za ustáleného teplotního stavu na řezu lineární tepelnou vazbou v kritických detailech (tj. řez přípojovací spárou, zasklívací spárou apod.). [16]

Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} je bezrozměrná veličina a je definován jako poměr rozdílu mezi vnitřní povrchovou teplotou a teplotou venkovního vzduchu a rozdílem mezi teplotou vnitřního vzduchu a teplotou venkovního vzduchu. Udává vliv konstrukce a přestupů tepla v daném místě vnitřního povrchu na vnitřní povrchovou teplotu nezávisle na teplotách přilehlých prostředí. Je dán vtahem:

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_{ai} - \theta_e)} \quad (33)$$

kde $\theta_{si,min}$ je vnitřní povrchová teplota [°C];
 θ_e teplota venkovního vzduchu [°C];
 θ_{ai} návrhová teplota vnitřního vzduchu [°C].

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$, je bezrozměrný, při kterém by vnitřní vzduch s návrhovou relativní vlhkostí φ_i dosáhl u vnitřního povrchu kritické vnitřní povrchové vlhkosti $\varphi_{si,cr}$, se stanoví ze vztahu [29]:

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_e} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269 / \ln(\varphi_{i,r} / \varphi_{si,cr})} \quad (34)$$

kde θ_{ai} je návrhová teplota vnitřního vzduchu [°C];
 θ_e návrhová teplota na vnější straně hodnocené konstrukce. [°C];
 $\varphi_{i,r}$ relativní vlhkost vnitřního vzduchu [%];
 $\varphi_{si,cr}$ je kritická vnitřní povrchová vlhkost [%].

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu okenní výplně $f_{Rsi,cr}$ se stanoví pro nejnižší vnitřní povrchovou teplotu stanovenou výpočtem nebo měřením ze vztahu:

$$f_{Rsi,cr} = \frac{(\theta_{si,min} - \theta_e)}{(\theta_{ai} - \theta_e)} \quad (35)$$

kde $\theta_{si,min}$ je nejnižší vnitřní povrchová teplota okenní výplně [°C];
 θ_e teplota venkovního vzduchu [°C];
 θ_{ai} návrhová teplota vnitřního vzduchu [°C].

Výpočtem se stanoví nejnižší vnitřní povrchová teplota okenní výplně podle ČSN EN ISO 10077-1 s využitím principů podle ČSN EN ISO 10211 pro okrajové referenční podmínky podle ČSN EN ISO 13788.

Konstrukce a styky konstrukcí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60\%$ musí v zimním období za normových podmínek vykazovat v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního prostředí f_{Rsi} byl větší nebo roven požadované hodnotě nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,N}$ který je roven kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$. Hodnoty kritických teplotních faktorů a jim odpovídající teploty vnitřního povrchu pro návrhovou rela-

tivní vlhkost vnitřního prostředí vzduchu $\varphi_i = 50\%$ jsou uvedeny v tabulce 1 a v tabulce 2 v ČSN 73 0540-2.

1.4.11 Solární faktor

Solárním faktorem (nebo také g-hodnotou či radiační vlastností) se rozumí schopnost výrobku propouštět sluneční záření do místnosti. Hodnotí se pomocí celkového činitele prostupu sluneční energie g . U okenních výplní se solární faktor vztahuje ke skleněné výplni. Solární faktor g udává kolik procent dopadajícího slunečního záření ve formě tepla projde do interiéru a to tak, že čím více je zasklení nakloněno, tím nižší by mělo být g . Běžné hodnoty solárního faktoru g u běžně používaných dvojskel a trojskel:

- Izolační dvojsklo s 1 selektivní vrstvou – celkový činitel prostupu sluneční energie g cca 0,67;
- Izolační trojsklo s 2 selektivními vrstvami – celkový činitel prostupu sluneční energie g cca 0,50. [16]

1.4.12 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.

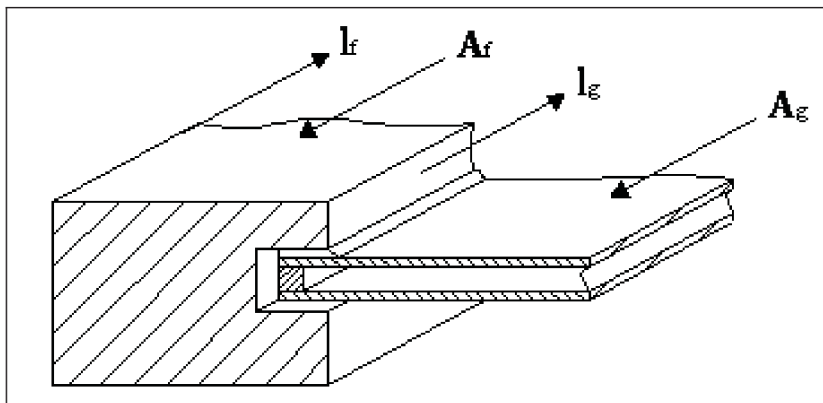
V normách jsou uvedeny vztahy pro výpočty součinitelů prostupu tepla pro jednoduchá okna, dvojitá okna, okna s jednoduchým zasklením, okna s vícenásobným zasklením, okna s uzavřenými okenicemi a pro různé typy dveří. Dále jsou uvedeny vztahy týkající se pouze jednoduchého okna s vícenásobným zasklením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

Součinitel prostupu tepla jednoduchého okna

Součinitel prostupu tepla jednoduchého okna s lineárním činitelem připojovací spáry se vypočítá dle vztahu (36), výpočet je proveden dle ČSN EN ISO 10077-1,2:

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g + \sum l_f \Psi_f}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (36)$$

kde U_w	je	součinitel prostupu tepla okna [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$];
A_g		plocha zasklení [m^2];
U_g		součinitel prostupu tepla zasklení [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$];
A_f		plocha rámu [m^2];
U_f		součinitel prostupu tepla rámu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$];
l_g		celkový viditelný obvod zasklení [m];
Ψ_g		lineární činitel prostupu tepla způsobený kombinovanými tepelnými vlivy zasklení, distančního rámečku a rámu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$];
l_f		celková délka stavebního otvoru [m];
Ψ_f		lineární činitel prostupu tepla způsobený umístěním výplně v konstrukci ve [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$].



Obr. 6 Znázornění obvodu, zasklené plochy a plochy rámu

Součinitel prostupu tepla rámu okenní výplně

Součinitel prostupu tepla rámu $U_{f,u}$, pro plastové rámy dvou a tříkomorové vyztužené kovovými výtuhami typu C, kde stojina profilu je kolmá na směr tepelného toku, se stanoví podle tabulky D.5 v ČSN 73 0540-3 nebo podle přílohy D.1 v ČSN EN ISO 10077-1. Přesněji a pro podrobný výpočet tepelných ztrát a potřeby energie určité budovy se návrhové hodnoty součinitele prostupu tepla příslušných rámu stanoví výpočtem podle ČSN EN ISO 10077-2 nebo zkouškou podle ČSN EN 12412 -2.

Metody pro stanovení hodnot součinitele prostupu tepla rámu jsou numerickými výpočtovými metodami (např. metody konečných prvků, konečných rozdílů, mezních prvků) podle

ISO 10077-2 a přímé měření pro stanovení těchto hodnot se provádí pomocí metod teplé skříně podle EN 12412-2.

Součinitel prostupu tepla zasklení

Návrhové hodnoty součinitele prostupu tepla zasklení $U_{g,u}$ ve středové části lze stanovit v případě, že nejsou dostupné návrhové hodnoty pro daný druh zasklení podle tabulky D.6 v ČSN 73 0540-3 nebo podle přílohy C.2 v ČSN EN ISO 10077-1. Návrhová hodnota součinitele prostupu tepla zasklení, ve středové části se dají stanovit přesněji výpočtem podle ČSN 673+A1, nebo zkouškou podle ČSN EN 674 nebo ČSN EN 675. Výpočet se provádí pro normalizované podmínky podle kapitoly 10 ČSN 673+A1.

Výpočet součinitele prostupu tepla vícenásobného zasklení je možné vypočítat podle vztahu uvedeného v ČSN EN ISO 10077-1:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{s,j} + R_{si}} \quad (37)$$

- kde R_{se} je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$];
 λ_j tepelná vodivost skla nebo j-té vrstvy materiálu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
 d_j tloušťka skla nebo j-té vrstvy materiálu [m];
 R_{si} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$];
 R_s tepelný odpor vzduchové vrstvy [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$].

Tepelný odpor vzduchové vrstvy je možné stanovit z přílohy C v ČSN EN ISO 10077-1 nebo podle vztahů v kapitole 1.4.6.

1.4.13 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 tepelné 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.

Požadavky na lineární činitel prostupu tepla uvádí ČSN 730540-2 v čl. 5.4.1. Pro každou tepelnou vazbu mezi konstrukcemi musí být splněna podmínka:

$$\Psi \leq \Psi_N \quad (38)$$

kde Ψ je lineární činitel prostupu tepla tepelné vazby mezi konstrukcemi [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$];

Ψ_N požadovaná hodnota lineárního činitele prostupu tepla [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$];

$$\chi \leq \chi_N \quad (39)$$

kde χ je bodový činitel prostupu tepla tepelné vazby mezi konstrukcemi [W.K^{-1}];

χ_N požadovaná hodnota bodového činitele prostupu tepla [W.K^{-1}].

Požadované a doporučené hodnoty lineárních a bodových činitelů prostupu tepla tepelných vazeb mezi konstrukcemi uvádí tabulka 6 v ČSN 73 0540-2. V tabulce jsou uvedeny hodnoty jak požadované (s indexem N) a doporučené (s indexem rec), tak hodnoty pro doporučené pro pasivní budovy (s indexem pas). Hodnoty jsou rozděleny pro konkrétní typy vazby mezi konstrukcemi.

Orientační (tabulkové) hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla uvádí pro vybrané detaily ČSN EN ISO 14683. Jejich použití je omezené pravidly uvedenými v citované normě a je pochopitelně vždy zatíženo chybou (až $\pm 20\%$).

Lineární činitel prostupu tepla lze vypočítat a získat tak jeho přesnější hodnotu. Pro detaily, na které působí pouze dvě okrajové teploty, se lineární činitel prostupu tepla určí ze vztahu:

$$\Psi = L - \sum U_j \cdot l_j \quad (40)$$

kde Ψ je lineární činitel prostupu tepla tepelné vazby mezi konstrukcemi [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$];

L vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$];

U_j součinitel prostupu tepla j-té dílčí plošné konstrukce [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$];

l_j délka j-té konstrukce [m].

Tepelná propustnost L je vždy výsledkem výpočtu dvourozměrného (trojrozměrného) teplotního pole, např. programem Area, Ansys, ... České normy doporučují používat vnější rozměry, které jsou pro stanovení tepelných bilancí nejpříznivější.

Při použití vnějších rozměrů se lineární činitel označuje Ψ_e , při použití vnitřních rozměrů Ψ_i .

Hodnota lineárního činitele prostupu tepla může vycházet kladná i záporná. Kladná hodnota znamená, že přes hodnocený tepelný most dochází k přídatné tepelné ztrátě. Záporná hodnota obvykle znamená, že vliv hodnoceného tepelného mostu na tepelnou ztrátu místnosti prostupem je již ve skutečnosti obsažen v tepelné ztrátě přes plošné konstrukce.

Působí-li na hodnocený detail více než dvě teploty, je nutné stanovit více lineárních činitelů prostupu tepla. Podrobný postup výpočtu pro tento méně častý případ uvádí ČSN EN ISO 10211. [53]

1.5 Měření, měřicí přístroje, zpracování dat a simulační metody

V následujících odstavcích jsou uvedeny principy stanovení jednotlivých veličin použitých v disertační práci. Dále jsou popsány způsoby zpracování naměřených hodnoty a rozdělení chyb.

1.5.1 Měření

Měření je soubor činností spojených s určením hodnoty dané veličiny. Pořízení této číselné hodnoty se provádí pomocí měřicího přístroje, jehož konstrukce je založena na zvoleném principu měření. Princip měření je souhrn jevů, na kterých je měření založeno. Z principu měření je odvozena metoda měření. Konkrétní realizaci dané metody měření popisuje postup měření. Měřicí zařízení představují všechna měřidla, etalony, referenční materiály, příslušenství a instrukce, které jsou nutné pro realizaci. [6]

1.5.2 Měření teplot

Během práce byla použita čidla pro měření teploty vzduchu a povrchové teploty vzorků. Teplota vnitřního vzduchu se měří pomocí teploměru s opatřením proti vlivu sálání okolních ploch. Snímač teploty je součástí teploměrového zařízení, které obsahuje teplotní čidlo. Teplotní čidlo je základní funkční částí teploměru nebo snímače teploty. [27]

Jako termoelektrické články (termočlánky) se označují zdroje stejnosměrného napětí, v nichž se přeměňuje tepelná energie na elektrickou energii. Termoelektrické jevy jsou dány většinou vlastnostmi rozhraní dvou pevných látek. Termoelektrické články jsou založeny na Seebeckově jevu.

Senzory pro dotykové měření teploty můžeme rozdělit do několika skupin. První skupinou jsou senzory elektrické (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové), dilatační (kapalinové, plynové, parní a bimetalové) a speciální (akustické, šumové, magnetické apod.) Senzory pro bezdotykové měření teploty se dělí na tepelné nebo kvantové. [19]

1.5.3 Měření tepelných toků

Během práce byly měřeny tepelné toky pomocí snímačů tepelného toku. Byly použity dva druhy snímačů. Jedním byly tuhé, plastové pro měření na rovných větších plochách. Druhým typem byly flexibilní, silikonové snímače, pro měření na menší ploše rámu okna. Pomocí tepelných toků byly především stanoveny hodnoty odporů na přestupu tepla na ochlazované a teplé straně konstrukce. Hodnoty z měření sloužily také pro porovnání s počítačovým modelem.

1.5.4 Chyby měření

Přesností daného výsledku měření dané veličiny rozumíme odchylku naměřené hodnoty od pravé hodnoty této veličiny. Tuto odchylku nazýváme chybou měření neboli nejistotou měření. Tato nejistota měření se skládá z relativních chyb senzorů a absolutních a relativních chyb měření. [6]

Nejistota měření zahrnuje v sobě obecně mnoho složek. Některé z těchto složek mohou být vyhodnoceny ze statistického rozložení výsledků série měření a mohou být charakterizovány výběrovou směrodatnou odchylkou. [34]

Chyby měření můžeme rozdělit do tří základních skupin:

Hrubé chyby

Jsou to chyby, které jsou nápadné a tudíž rozpoznatelné. Naměřené hodnoty, zatížené hrubými chybami, se z výsledků měření musí vyloučit. Zjistíme-li, že se při měření vyskytují hrubé chyby, v měření nepokračujeme do té doby, dokud se příčiny hrubých chyb neodstraní. Výskyt hrubých chyb je velmi často doprovázen dalšími viditelnými projevy, jako jsou: viditelné poškození měřidla nebo extrémní změna jeho příkonu, projevující se např. jeho nadměrným zahříváním, nezpůsobilost, nervozita, stres, únava či jiná indispozice operátora provádějícího měření, extrémně nevhodné povětrnostní, prostorové, technické

či jiné podmínky. Zásahy, které by měly vést k odstranění hrubých chyb, musí být zásadní – výměna měřidla, operátora, změna místa a času měření apod.

Systematické chyby

Při opakovaných měřeních, prováděných za stejných podmínek, ovlivňují systematické chyby výsledek měření stejným způsobem a jejich hodnota se může měnit v závislosti na změně podmínek měření. Proto se systematické chyby nezjistí pouhým opakováním téhož měření. K jejich zjištění a vysvětlení je zapotřebí změnit metodu a princip měření. U systematických chyb známe jejich příčinu a lze je tedy z výsledků měření vyloučit patřičnou korekcí. Je-li Δ_m hodnota systematické chyby a χ_m naměřená hodnota dané veličiny, provede se její korekce na danou systematickou chybu vztahem $\chi = \chi_m - \Delta_m$. Zásadní vlastností systematických chyb je znalost příčin jejich vzniku. Jejich odhalení však nebývá snadné.

Náhodné chyby

Jsou chyby, jejichž příčiny neumíme odhalit ani vysvětlit a tedy korigovat. Náhodné chyby mají neznámou příčinu – jsou tedy nepředvídatelné. Náhodnou chybu neumíme odstranit, ale můžeme ji odhadnout pomocí statistického zpracování výsledků měření a jejich sledování v čase. Statistické zpracování výsledků měření předpokládá, že existuje soubor naměřených dat, získaných opakovaným měřením. Podaří-li se odhalit některou z příčin výskytu náhodných chyb, provedeme patřičné korekce a snížíme tak velikost náhodné chyby. Takováto chyba přechází do skupiny chyb systematických. [6]

1.5.5 Zpracování dat

Statistické zpracování výsledků se provádí na souboru naměřených hodnot, které nejsou zatíženy hrubými chybami a kde je provedena korekce systematických chyb. U tohoto upraveného souboru naměřených výsledků se stanoví střední hodnota ze vztahu [5,13]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (41)$$

kde \bar{X} je aritmetický průměr měřené veličiny [-];

X_i měřená veličina [-];

n počet měření [-].

Dále je nutné stanovit výběrovou směrodatnou odchylku výběrového aritmetického průměru dle vztahu:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (42)$$

Výběrový rozptyl je potom druhá mocnina směrodatné odchylky:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (43)$$

1.6 Simulace tepelných výpočtů

V této kapitole je uveden popis počítačových aplikací, které se zabývají tepelně technickými výpočty a matematické modely používané těmito programy.

1.6.1 Jednosměrné vedení tepla

Výpočty šíření tepla v konstrukci jedním směrem, lze provést např. v programu TEPLA. Jedná se o základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska prostupu tepla a vodní páry.

1.6.2 2D vedení tepla

Výpočty dvourozměrného teplotního pole lze provádět v počítačové aplikaci AREA. V řadě detailů, uvedených v disertační práci, bylo možné provést výpočet v dvourozměrném teplotním poli pomocí tohoto programu. Nevýhodou tohoto programu je složitost, vytvoření přesného modelu rámu a křídla okna. Z tohoto důvodu byly provedeny výpočty v programu ANSYS. Výhoda programu AREA spočívá především v rychlosti výpočtu.

1.6.3 3D vedení tepla

Pro výpočty 3D vedení tepla je nejvhodnější použít program ANSYS. Program pracuje s třemi rozměry a je možná simulace dějů v čase. Veškeré výpočty teplotních polí uvedených v této práci byly provedeny v programu ANSYS, v pracovním prostředí Workbench. Výpočty pro disertační práci byly provedeny ve dvou verzích programu. Prvním byla vývojová řada ANSYS Workbench 11.0 a následně ANSYS Workbench 13.0. Největší výhodou tohoto programu je možnost importu modelů z jiných programů a tím je zaručena následná práce s přesným modelem. Pracovní prostředí programu ANSYS Workbench je uživatelsky přehlednější a lépe ovladatelnější než v samotném programu ANSYS. Nesporně

nou výhodou tohoto prostředí je také následná práce s vypočítanými daty a teplotními poli vypočítaných detailů. Veškeré detaily (modely) byly vytvořeny v programu Rhinoceros 4.0, kde vytvoření modelu je časově výrazně výhodnější než přímo v programu ANSYS. Navíc program Rhinoceros je kompatibilní s programem AutoCAD. Tímto spojením bylo možné vytvořit přesné detaily okenních výplní.

Z výše uvedených důvodů byl program ANSYS využitý i pro simulaci 2D teplotních polí. U těchto simulací nebylo provedeno žádné zjednodušení modelu rámu a křídla okna. Naopak ve výpočtu celé konstrukce okna zabudované ve stěně, kde model byl značně velký, bylo nutné provést drobná zjednodušení detailu rámu a křídla okna. Bez provedení zjednodušení nebylo možné provést výpočty z důvodu kapacity PC.

1.6.4 Metoda konečných prvků

Metoda konečných prvků je obecná numerická metoda, která může být využita k řešení celé řady úloh. Kromě problémů s vedením tepla se běžně využívá pro modelování proudění tekutin, pro úlohy vedení tepla, k analýze elektromagnetických polí, mechaniky, statiky a podobně. Atraktivita metody vyplývá z její poměrně velké univerzálnosti a schopnosti popsat i značně komplikované a rozsáhlé problémy. Metoda je také velmi snadno algoritmovatelná. K určitým nevýhodám patří poměrně velká výpočetní náročnost – metodu nelze prakticky použít bez výpočetní techniky, a to ani pro úlohy, které by byly jinou metodou řešitelné ručním výpočtem.

Metoda konečných prvků umožňuje vypočítat přibližné numerické řešení úlohy s okrajovými podmínkami. Oblast řešení (řešený model) se rozdělí na prvky s uzly. V každém uzlu dochází k aproximaci zvolené funkce. Výsledky z MKP závisí především na způsobu dělení oblast. Čím hustší rozdělení, větší počet uzlů, tím přesnější výpočet. [4]

1.7 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 upevnění (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. [13]

1.7.1 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 připojovací spáře mezi okenní výplní a obvodovou konstrukcí, je vyjádřen lineárním činitele připojovací spáry.

1.7.2 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 připojovací spáry, který má vliv také na celkový součinitel prostupu tepla okenní výplně.

1.7.3 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 připojovací spárou.

1.7.4 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.

1.7.5 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.

1.7.6 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.

1.8 Vliv okenních výplní na tepelné ztráty

Největší podíl tepelných ztrát objektu připadá právě na okenní výplně, které převyšují v řadě případů tepelné ztráty ostatními stavebními konstrukcemi. V dnešní době je snaha o eliminaci těchto ztrát. Tepelné ztráty okenními výplněmi jsou ovlivněny jejich tepelně technickými vlastnostmi (součinitel prostupu tepla rámu a zasklení, lineární činitel prostupu tepla způsobený kombinovanými tepelnými vlivy zasklení, distančního rámečku a rámu, propustnost zasklení pro sluneční záření, součinitel spárové průvzdušnosti), napojením na neprůsvitné stavební konstrukce obvodového pláště (lineární činitel připojovací spáry), rozmístěním, velikostí a orientací ke světovým stranám (tepelné zisky dopadajícího slunečního záření, poměr plochy zasklení a rámu).

Úniky tepla okenními výplněmi jsou způsobeny v zásadě stejnými mechanismy jako u obvodové stěny (konvekce, radiace, kondukce a navíc i infiltrace).

V této kapitole je provedeno porovnání tepelných ztrát objektu a nákladů na vytápění v závislosti na změně součinitele prostupu tepla okenních výplní. Cílem je poukázat na vliv tepelně technických vlastností okenních výplní a podíl celkových tepelných ztrát těmito konstrukcemi.

Výpočty byly provedeny pro typy oken s **a)** tradiční konstrukcí rámu s $U_f = 1,30 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ - vyztužení rámu tvoří ocelové výztuhy, **b)** novodobou konstrukcí rámu s $U_f = 0,80 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ - vyztužení rámu tvoří plastové kompozity a pro různé hodnoty součinitele prostupu tepla zasklení U_g [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$]. Tyto typy okenních výplní jsou osazeny v bytě panelového domu a v nízkoenergetickém rodinném domě.

1.8.1 Vstupní údaje

Veškeré tepelně technické vlastnosti okenních výplní byly v obou variantách vždy stejné.

a) tradiční konstrukce rámu okna s $U_f = 1,30 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

b) novodobá konstrukce rámu okna s $U_f = 0,80 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

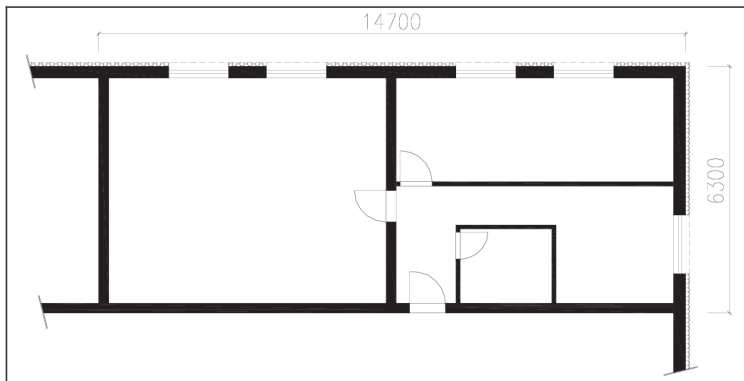
Součinitele prostupu tepla zasklení byl zvolen pro jednotlivé varianty $U_g = 1,1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, $U_g = 0,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a $U_g = 0,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Lineární činitele byly také ve všech variantách stejné.

Popis bytu

Modelovaný byt o ploše 92 m^2 se nachází ve druhém nadzemním podlaží panelového domu. Byt má dvě ochlazované stěny. Okolní místnosti mají stejnou návrhovou teplotu θ_i [$^{\circ}\text{C}$].

Další charakteristiky bytu:

- je osazeno 5 oken,
- návrhová vnitřní teplota $\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$,
- objekt se nachází v Brně,
- větrání přirozeně - okny,
- obvodová konstrukce tvořena ŽB panelem a zateplením tl. 100 mm,
- součinitel prostupu tepla stěny $U = 0,30 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.



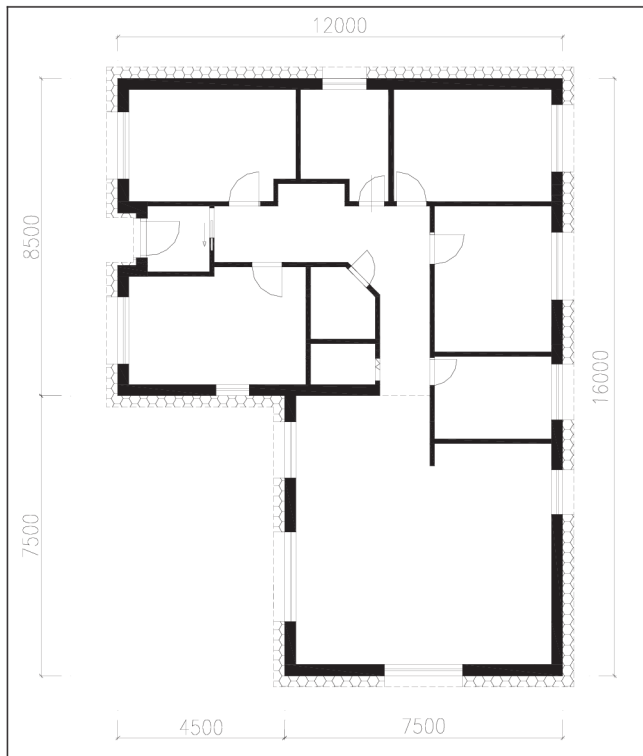
Obr. 7 Schéma bytu v panelovém domě

Popis nízkoenergetického domu

Jedná se o jednopodlažní rodinný dům, dosahující svými parametry standardu nízkoenergetického až pasivního domu.

Další charakteristiky bytu:

- obvodová konstrukce z keramických bloků tl. 300 mm a tepelné izolace EPS tl. 300 mm,
- součinitel prostupu tepla stěny $U = 0,108 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$,
- dřevěná stropní konstrukce zateplena PUR deskami tl. 300 mm,
- součinitel prostupu tepla stropu $U = 0,076 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$,
- podlahová konstrukce zateplena podlahovým EPS tl. 150 mm,
- součinitel prostupu tepla podlahy $U = 0,230 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$,
- návrhová vnitřní teplota $\theta_i = 20^\circ\text{C}$,
- plocha objektu je 130 m^2 ,
- objekt se nachází v Brně,
- větrání nucené s rekuperací - účinnost 90 %,
- průvzdušnost n50 při tlakovém rozdílu 50 Pa - $n50 = 0,4 \text{ h}^{-1}$.



Obr. 8 Schéma nízkoenergetického domu

1.8.2 Popis výpočtu

Hodnoty součinitele prostupu tepla okna U_w [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], byly vypočítány dle ČSN EN ISO 10077-1.

Hodnoty a okrajové podmínky z kapitoly 1.8.1 byly zadány do programu ZTRÁTY. Získaná data byla převedena na cenu potřebnou k pokrytí nákladů na vytápění.

1.8.3 Vyhodnocení

Při porovnání výsledků pro novodobé a tradiční hodnoty součinitele prostupu tepla rámu U_f [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], s různými typy zasklení a distančními rámečky, můžeme konstatovat následující:

- Úspora potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem okenních výplní, při osazení oken v bytě panelového domu s hodnotami $U_g = 0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, ale rozdílnými hodnotami U_f **a)** $U_f = 1,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, **b)** $U_f = 0,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, činí 33,2 %. Úspora celkové potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát bytu v panelovém domě je 5,9 %.
- Úspora potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem okenních výplní, při osazení oken v nízkoenergetickém domě s hodnotami $U_g = 0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, ale roz-

dílnými hodnotami U_f **a)** $U_f = 1,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, **b)** $U_f = 0,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, činí 22,0 %.
Úspora celkové potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát bytu v nízkoenergetickém domě je 4,6 %.

Vyhodnocení je provedeno pouze pro zvolené varianty. Z tabulek v příloze PI: VLIV OKENNÍCH VÝPLNÍ NA TEPLENÉ ZTRÁTY je možné provést srovnání tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění všech posuzovaných typů oken, které jsou uvedeny také v této příloze. Dále jsou zde uvedeny rozměry jednotlivých oken a porovnání nákladů u vybraných variant.

2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

V této kapitole jsou určeny cíle disertační práce, stručně popsány důvody k určení těchto cílů a prostředky k jejich splnění.

2.1 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.**

2.2 Důvody k určení cílů

Jak vyplývá ze stále zpřísnujících se požadavků tepelně technických norem a zřejmého směru uvedeného např. ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a zákoně č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů apod., je vyvíjen tlak na snižování tepelných ztrát objektů.

Okenní výplně patří k technicky náročným konstrukcím budovy. Jejich správný návrh patří k určujícím předpokladům tepelně technické kvality budovy. Tepelně technickou kvalitu výplňových konstrukcí ovlivňuje mnoho faktorů. Jedním z nejdůležitějších je i řešení jejich styků se stavební konstrukcí, dále pak vlastnosti rámu, zasklení, distančního rámečku ad.

Nejslabším místem oken, z hlediska tepelně technických vlastností, je jejich rám. Komory rámu oken osazovaných do staveb s nízkou energetickou náročností jsou vyplňovány tepelně izolačními materiály, pro dosažení nižšího součinitele prostupu tepla rámu. I přes vyplnění komor tepelně izolačním materiálem z EPS nebo PUR, nedosahují rámy dostatečně nízkého součinitele prostupu tepla a tím výrazně zvyšují celkovou hodnotu součinitele prostupu tepla celého okna. Součinitel prostupu tepla rámu je mnohdy dvakrát větší než součinitel prostupu tepla zasklení. Tato situace nastává převážně u oken osazovaných do objektů s nízkou energetickou náročností. Z výše uvedených důvodů byl stanoven první cíl této práce: „**Vylepšení tepelně technických vlastností rámu okenních výplní snížením součinitele prostupu tepla**“.

Mezi nejproblematictější místa konstrukce obvodového pláště budov z hlediska tepelných mostů patří konstrukce detailu ve styku obvodové stěny a rámu okenní výplně. Pro stavby

s nízkou energetickou náročností je samozřejmostí osazení rámu do roviny izolace, tak aby izotermy ze stěnové konstrukce plynule přecházely do okenní výplně a nevznikaly zde geometrické tepelné mosty. Toto osazení do tepelné izolace sebou nese řadu nevýhod. Jednou z hlavních nevýhod je vyšší pořizovací cena, která se odvíjí od použitých kotevních prvků. Dále je to pracnost provádění, při provádění osazování oken do tepelné izolace bývá často problém s upevňováním kotevních prvků do obvodových stěn, kdy dochází k vytrhávání kotvicích prvků ze zdiva (v oblasti parapetu). Tento problém způsobuje vznik technických poruch například nedokonalá neprůvzdušnost obálky apod. Okenní výplně jsou napojeny na obvodové konstrukce pomocí lepicích pásek. Při osazování oken do tepelné izolace je zapotřebí větší šířka těsnící pásky než při osazení na zdivo. Při nedokonalém ukotvení okna a jeho následném posunu vzniká problém s odlepením a vznikem netěsnosti těchto pásek. Tyto nevýhody při osazování okenních výplní před líc zdiva mě vedly ke stanovení druhého cíle této práce: „**Nalezení optimálního řešení osazení okenních výplní nejen u staveb s nízkou energetickou náročností**“ a tím předejít výše uvedeným problémům.

2.3 Prostředky k dosažení vytyčených cílů

Základ práce a největší podíl na dosažení cílů disertační práce jsou simulace a výpočty teplotních polí v počítačových programech. Pro práci byl zvolen program ANSYS Workbench. Podrobnější informace o programu ANSYS a důvodech zvolení tohoto programu jsou uvedeny v kapitole 1.6.3.

Nedílnými prostředky pro dosažení cílů byl měřicí box a přístroje na Ústavu pozemního stavitelství v Brně. Jedná se především o měřicí ústřednu ALMEMO, snímače tepelného toku – pevné plastové a ohebné, silikonové, termovizní kameru, teplotní čidla, teploměry apod.

Rámy okenních výplní a stavební materiál, potřebný pro měření v laboratoři bylo poskytnuto výrobcí oken a stavebními firmami.

3 MODELY TEPLOTNÍCH POLÍ

V této kapitole je proveden návrh, popis a výpočet možností vylepšení tepelně technických vlastností rámu okenních výplní a osazení v obvodové stěně.

3.1 Vylepšení tepelně technických vlastností rámu a křídla okna

Cílem této kapitoly je vylepšení tepelně technických vlastností rámu a křídla oken. Je řešen nový způsob zateplení rámu a křídla okenní výplně pomocí vakuové izolace, která je vložena do komor v rámu a křídla okna.

3.1.1 Důvody k nalezení řešení

Hlavním důvodem nalezení řešení, které by vedlo ke snížení součinitele prostupu tepla rámu okenních výplní, je nedostatečně nízký součinitel prostupu tepla rámu, kterého je v dnešní době možno dosáhnout. Součinitele prostupu tepla rámu dosahují v dnešní době součinitele prostupu tepla $U_f = 0,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Tato hodnota je oproti součiniteli prostupu tepla zasklení někdy i dvojnásobná. Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, rámy oken značně ovlivňují celkový součinitel prostupu tepla celé okenní výplně. U staveb s nízkou energetickou náročností tvoří okenní výplně největší podíl tepelných ztrát objektu a proto je nutné se vylepšením tepelně technických vlastností zabývat.

3.1.2 Technický popis a předpoklad výsledků

Možnost, jak dosáhnout lepších hodnot součinitele prostupu tepla rámu je vložení vakuové izolace do rámu okna místo stávajících materiálů umístěných v dutinách rámu. Vložení 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.

3.1.3 Vakuová izolace

Vakuovanými izolačními materiály se dosahuje 8x až 10x vyšších tepelně izolačních účinků než s běžně používanými izolacemi, například z minerální vlny nebo polystyrénu. Takto účinné izolace se nedají v dosavadním stavu techniky dosáhnout s žádnými jinými izolačními materiály.

V současné době se na trhu nacházejí vakuované izolace, které lze rozdělit do dvou skupin:

- VIP – vakuované izolační panely,
- VIS – vakuované izolační sendviče.

Rozdíl mezi oběma skupinami je dán ochranným obalem, který chrání vakuované izolační jádro.

Fyzikální princip zvýšení tepelně izolačních vlastností vakuovací technikou je dlouho známý. Příkladem zatím běžného použití jsou termosky, které svou formou umožnily snadné přenášení vnějšího atmosférického tlaku na vakuovanou konstrukci zdvojeného válcového skleněného obalu. Vakuováním plošných prvků způsobuje atmosférický tlak ve výši 1 baru plošný tlak na konstrukci zatížení ve výši 10 tun na m². Pro takový účel bylo třeba vyvinout dostatečně pevné izolační jádro, které by spolehlivě převzalo vysoké tlakové zatížení bez objemových změn a nanotechnologií vytvořenou mikroporézní strukturu jádra, které by umožnilo optimální podmínky pro stabilní stav jádrového materiálu po vakuování.

Jako izolační jádra jsou vhodné různé druhy materiálů, např. lisované anorganické prášky na bázi silikátů. Méně užívané lisované skleněné rohože nebo organické pěny (na bázi polystyrénu nebo polyuretanu) s otevřenou strukturou pórů se obalují převážně materiálem z nerezavějící oceli.

Pěnové izolace s otevřenou strukturou pórů mají větší průměr a větší podíl pórů v objemu materiálu než mikroporézní silikátová jádra. Velikost mikroporézních silikátových jader se pohybuje mezi 20 až 100 μm a jádra jsou proto podstatně citlivější na vzrůst vnitřního tlaku v panelech. Proto je nutné, aby ochranný obal jádra byl dlouhodobě spolehlivě plynotěsný nebo byl proveden z nerezavějící oceli s obdobnými vlastnostmi i v oblasti hran a styčných spár.

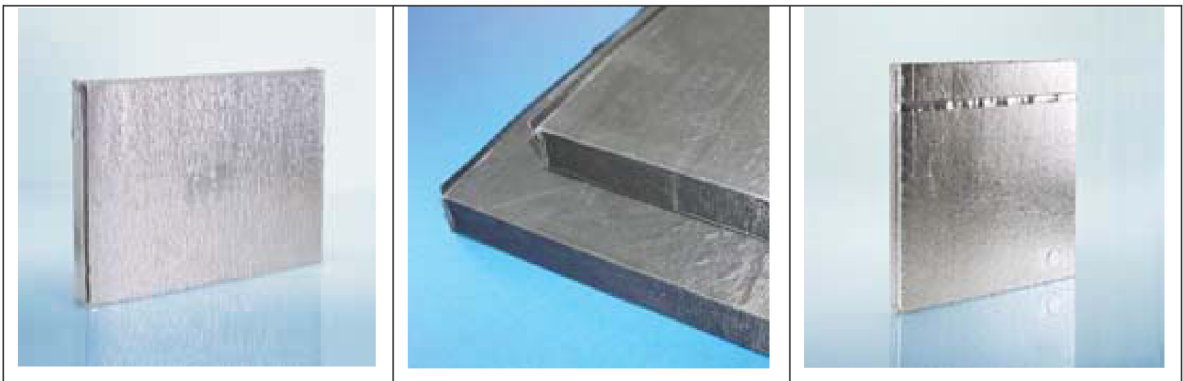
Ve stavebnictví je zatím používáno převážně izolační jádro z pyrogenního silikátového prášku (písek v nejjemnější formě). Póry jádrového materiálu jsou tak malé (< než 0,5

μm), že v pórech uzavřený vzduch se jen stěží může pohybovat a tím může transportovat jen minimální množství tepla. Poklesem vnitřního tlaku vakuováním se snižuje počet molekul vzduchu v materiálu. Nanoporézní práškové jádro je relativně stabilní vůči stoupání vnitřního tlaku, takže až při zvýšeném tlaku na 100 barů se teprve zdvojnásobí vodivost tepla.

Chemické složení práškového jádra:

- kysličník křemičitý SiO_2 cca 80 %,
- karbid křemíku SiC cca 15 %,
- jiné látky cca 5 %.

Materiál je slisován do tvaru desky a obalen převážně vícevrstevnými foliemi z umělých hmot potaženými velice tenkým kovovým filmem nejčastěji z hliníku. Tloušťka vrstvy hliníku se pohybuje mezi 50 nm (u metalizované folie) a 10 μm u kovové folie. Přednostně se proti prostupu plynů ochranou vrstvou používá hliník pro jeho snadnou dostupnost a přijatelnou cenu. Nevýhodou hliníku je jeho vysoká tepelná vodivost ($204 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), která podle tloušťky na hranách může vést ke značnému omezení izolačních účinků VIP.



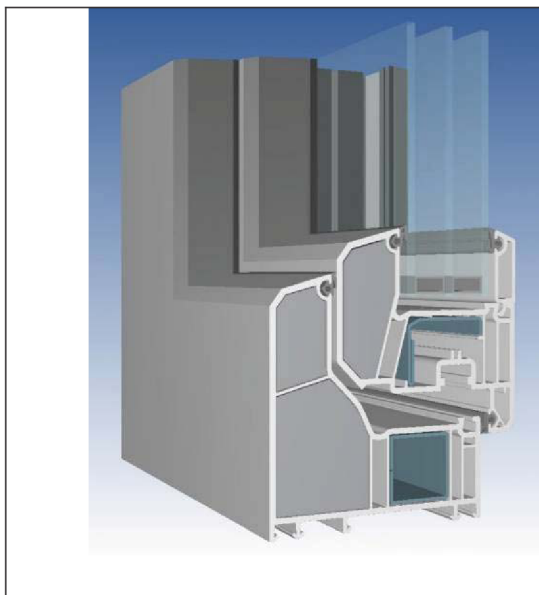
Obr. 9 Desky vakuové izolace

Pro dlouhou funkční životnost je rozhodující i prostředí, ve kterém jsou VIP zabudovány. Jádrový materiál z lisované kyseliny křemičité je vhodný pro vysoké teploty okolí až do $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Omezení v použití za zvýšených teplot je dáno vakuovacím obalem z kombinovaných folií. Podle druhu obalových materiálů udávají výrobci maximální teplotu při trvalém nasazení mezi 80 až $88 \text{ }^\circ\text{C}$, krátkodobé zvýšení teploty na $120 \text{ }^\circ\text{C}$ probíhá bez ztráty funkčních vlastností. Vhodnými obalovými zábranami, např. foliemi nebo plechy z nere-zavějící oceli, jsou možné teploty až $950 \text{ }^\circ\text{C}$. [59]

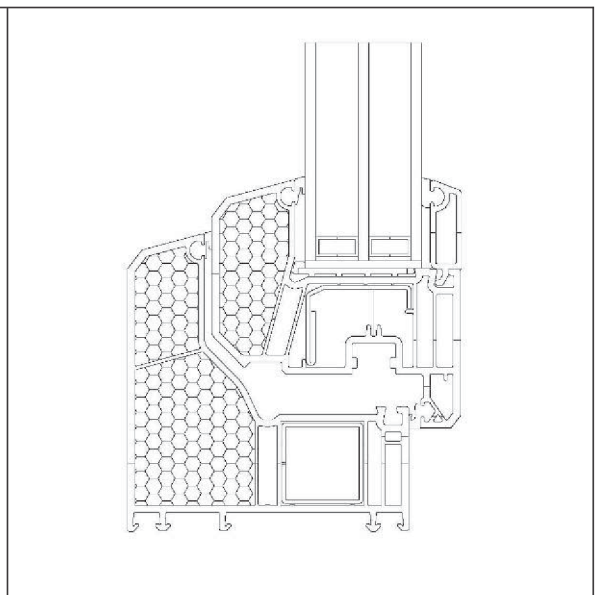
3.1.4 Vstupní hodnoty a popis výpočtu

Výpočty byly provedeny pro okno TOPLINE PLUS, jedná se o okenní výplň určené především pro pasivní a nízkoenergetické domy. Tato okenní výplň má v rámu vloženu tepelnou izolaci 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. Profil rámu a křídla okna je zobrazen na obrázku 10 a 11. Výpočet byl proveden s vložením vakuové izolace do komor tohoto okna.

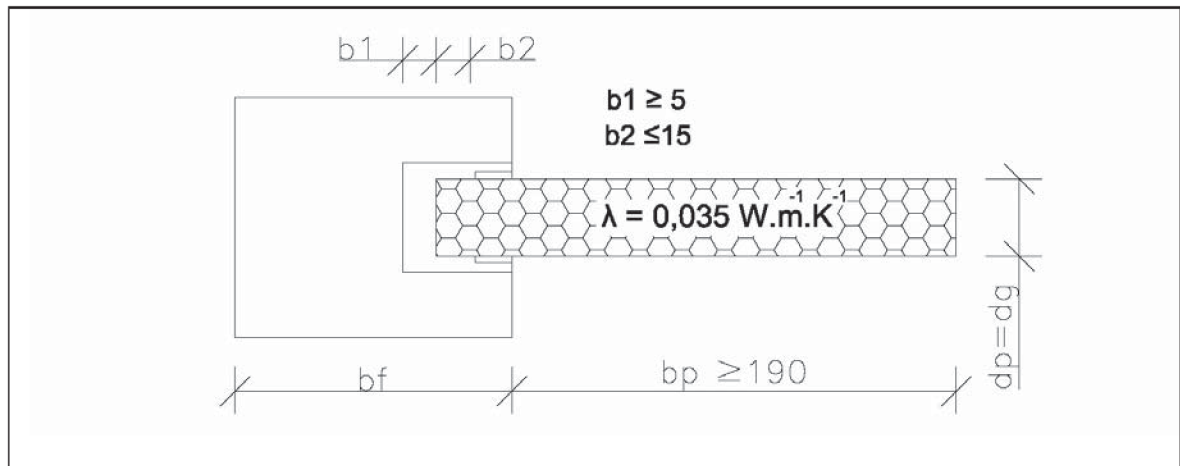
Výpočet se provádí podle ČSN EN ISO 10077-2 příloha C, která určuje postup při stanovení součinitele prostupu tepla profilu rámu. Výpočet pomocí dvojrozměrného teplotního pole se provádí podle postupu stanoveného v této normě, tak aby vytvořený výpočtový model odpovídal co nejvíce skutečnému provedení při měření rámu ve zkušebně a bylo možné porovnání vypočítaného součinitele prostupu tepla rámu s deklarovanou (naměřenou) hodnotou součinitele prostupu tepla rámu U_f . Ve výpočtovém modelu je zasklení nebo neprůsvitná výplň nahrazena izolační deskou o tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, vloženou do rámu s vůlí b_1 ne méně než 5 mm, a s hloubkou uložení b_2 nepřesahující 15 mm. Viditelná délka desky je nejméně 190 mm a tloušťka desky d musí být stejná jako tloušťka zasklení neprůsvitné výplně (Obr. 12). Protěžší konec desky se považuje jako adiabatický okraj. Model rámu musí obsahovat všechny materiály, které byly použity při výrobě okna, kromě zasklení nebo neprůsvitné výplně, které byly nahrazeny izolační deskou.



Obr. 10 3D model okna TOPLINE PLUS



Obr. 11 Schéma řezu okna TOPLINE PLUS



Obr. 12 Řez profilu s osazenou izolační deskou (rozměry v milimetrech)

Hodnota součinitele prostupu tepla rámu, U_f je definována vztahem:

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f} \quad (44)$$

- kde U_f je součinitel prostupu tepla profilu rámu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$];
 L_f^{2D} tepelná propustnost řezu na obr. 12 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
 U_p součinitel prostupu tepla středové plochy desky [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$];
 b_f návrhová šířka profilu rámu [m];
 b_p viditelná šířka desky [m].

Dvojměrná tepelná propustnost L_f^{2D} schématického řezu znázorněného na obrázku 12, která se skládá z rámu a izolační desky, se stanoví výpočtem, z celkového tepelného toku vztaženého na délku řezu (úseku) děleného rozdílem teplot obou přiléhajících prostředí, dle vztahu [38]:

$$L_f^{2D} = \frac{\Phi_{ie}}{\theta_i - \theta_e} \quad (45)$$

- kde Φ_{ie} je měrný tepelný tok z prostředí i do prostředí e na délku řezu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$];
 θ_i, θ_e teplota prostředí i, resp. E [$^{\circ}\text{C}$].

Tepelný tok je definován jako teplo přenesené látkou za jednotku času.

$$\Phi_{ie} = \frac{dQ}{dt} \quad (46)$$

kde dQ je teplo, které projde zvolenou plochou za čas dt .

Při výpočtech se uvažuje odpor při přestupu tepla v interiéru $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a odpor při přestupu tepla v exteriéru $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Hodnoty se stanoví podle ČSN EN ISO 10211.

Teploty vnitřního prostředí θ_i a vnějšího prostředí θ_e byly stanoveny dle ČSN 73 0540-3. $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_{ai} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$.

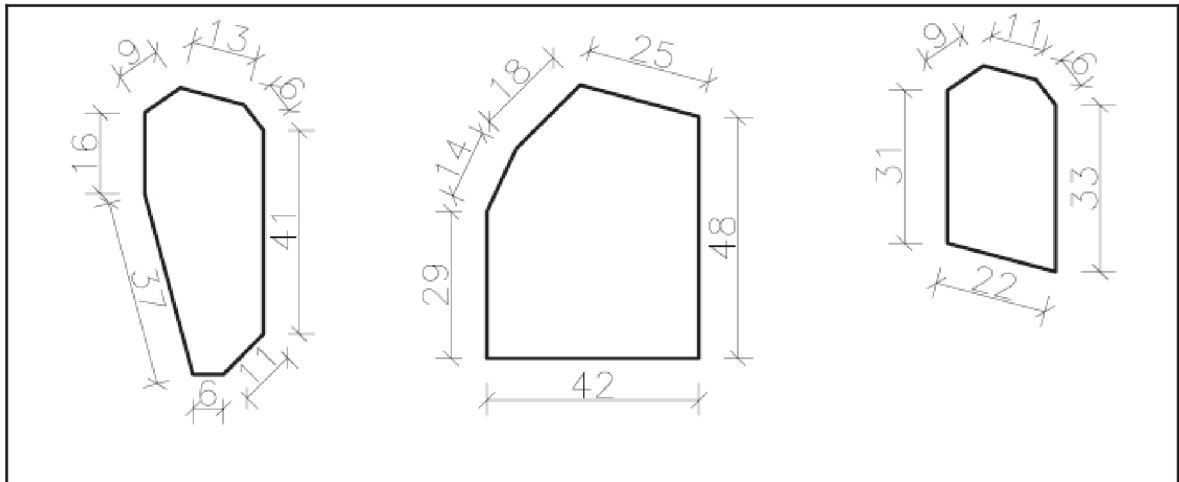
V následující tabulce jsou uvedeny vlastnosti (tepelné vodivosti) materiálů, které byly použity při výpočtech dvojrozměrného teplotního pole, měrných tepelných toků.

Tab. 1 Vlastnosti materiálů použitých při výpočtu

Materiál	Tepelná vodivost λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	Materiál	Tepelná vodivost λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
Vzduch 1 (5 mm)	0,045 ^a	Ocelové prvky	50
Vzduch 2 (45 mm)	0,250 ^a	Plast profilu okna	0,17
Vzduch 3 (60 mm)	0,333 ^a	Silikagel	0,13
Vzduch 4 (do 5 mm)	0,042 ^a	Polysulfid	0,40
PU–tuhý, v ok. rámu	0,029	TGI rámeček	0,20
Těsnění EPDM	0,24	Izolační deska	0,035
Vakuová izolace	0,005	^a Ekvivaletní tepelná vodivost	

3.1.5 Výpočtové modely a výsledné součinitele prostupu tepla rámu

Nejprve se provede výpočet součinitele prostupu tepla rámu okna s tepelnou izolací z polyuretanu. Úkolem je porovnání naměřené hodnoty součinitele prostupu tepla ve zkušebně a vypočítané hodnoty pomocí dvojrozměrného teplotního pole. Dále se provede výpočet s umístěním vakuové izolace do komor rámů (Obr. 13) a křídla okna, místo polyuretanu.



Obr. 13 Průřezy komor rámu a křídla, do kterých je vložena izolace (rozměr v mm)

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 $U_f = 0,70 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

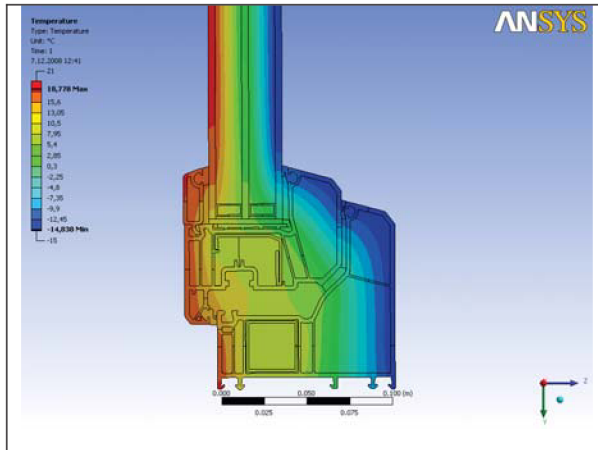
Hodnota součinitelů prostupu tepla (vypočítaná a naměřená ve zkušebně) je srovnatelná. Je tedy možné provést výpočet s nahrazením tepelné izolace z polyuretanu vakuovou izolací. Rozdíl mezi těmito hodnotami je zřejmě způsobený ideálním vyplněním komor tepelnou izolací v počítačovém modelu. Celý počítačový 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 $U_f = 0,408 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

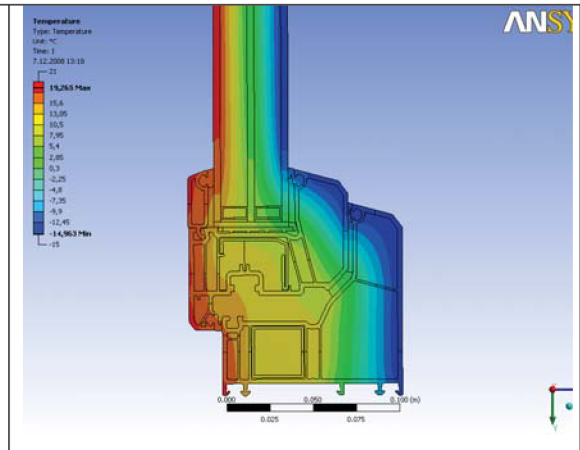
Tab. 2 Porovnání součinitele prostupu tepla rámu

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

Na následujících obrázcích je dvojrozměrné teplotní pole pro okno s tepelnou izolací z PU (Obr. 14) a pro tepelnou izolaci z vakuové izolace (Obr. 15). Z obrázků je patrný průběh izoterm v rámu a křídle okna v jednotlivých variantách.



Obr. 14 Dvourozměrné teplotní pole, tepelná izolace z polyuretanu



Obr. 15 Dvourozměrné teplotní pole, tepelná izolace z vakuové izolace

3.1.6 Shrnutí a praktický popis

Stávající rámy okenních výplní určených především pro nízkoenergetické a pasivní domy mají dutiny vyplněné tepelnou izolací s hodnotami $\lambda = 0,03 - 0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a dosahují hodnot součinitele prostupu tepla nejlépe $U_f = 0,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Nahrazením těchto materiálů vakuovou izolací, která má hodnotu $\lambda = 0,005 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, dojde ke snížení součinitele prostupu tepla $U_f = 0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Snížením hodnoty U_f dojde k výraznému snížení součinitele prostupu tepla okna U_W .

Vakuovou izolaci je možno vkládat do různých typů rámců. Vakuová izolace je náchylná na mechanické porušení. V komorách okenních výplní je tato izolace dokonale chráněná před mechanickým poškozením a povětrnostními vlivy.

Vakuová izolace je ve tvaru dutin v rámu okenních výplní (viz Obr. 13). Vkládání izolace musí proběhnout již při výrobě oken. Vakuovou izolaci není možno řezat, je nutné ji vkládat o požadovaném průřezu a o délkách cca 150 mm – 200 mm. V rozích, při napojení svislých a vodorovných částí rámců, je nutno ponechat stávající izolaci (EPS, PU), kterou je možno seříznout.

3.1.7 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. Osvědčení o vytvoření užitného vzoru je uvedeno v příloze P II.

3.2 Vhodný způsob osazení okenních výplní

Cílem této kapitoly je nalezení optimálního řešení osazení okenních výplní v obvodových konstrukcích objektů v nízkoenergetickém a pasivním standardu. Jako srovnávací ukazatel byl zvolen lineární činitel připojovací spáry okenní výplně, který má také vliv na výsledný součinitel prostupu tepla. Tento lineární činitel je u projektantů v řadě případů opomíjen, i když jeho vliv na tepelně technické vlastnosti oken, povrchové teploty, tepelné ztráty apod. je velmi podstatný.

3.2.1 Zdůvodnění nalezení řešení

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 podrobněji popsány níže.

V současné době se okna u zmiňovaných objektů umísťují nejčastěji před líc obvodové konstrukce, kde rám okna je osazen do tepelné izolace. Toto osazení je doporučováno odbornou veřejností v ČR i v zahraničí, např. Passivhaus Institut Darmstadt, která se zabývá výstavbou pasivních a nízkoenergetických domů.

Problémy s osazováním okenních výplní do tepelné izolace

Zásadním problémem při osazení okna před líc obvodové konstrukce je jeho vlastní ukotvení. Okenní výplně se kotví pomocí ocelových kotev (konzol), které musí být správně nadimenzovány na přenos veškerého zatížení okna do nosné konstrukce, což řada montážních firem dosud podceňuje. Další problém vzniká při zvolení nevhodného montážního systému do různých nosných konstrukcí obvodové stěny, například při upevnění kotev u parapetu z horní strany do dutého keramického zdiva dochází při zatížení kotev k jejich vytržení. Technicky nesprávné osazení má za následek posuny oken, následně porušení

těsnících pásek (jejich nefunkčnost), praskání omítek apod. Na následujících obrázcích jsou znázorněny chyby vyplývající ze špatného návrhu počtu a typu kotvicích prvků.



Obr. 16 Nevhodná volba a chybná montáž kotevního systému

Obr. 17 Průhyb kotvy u nadpraží



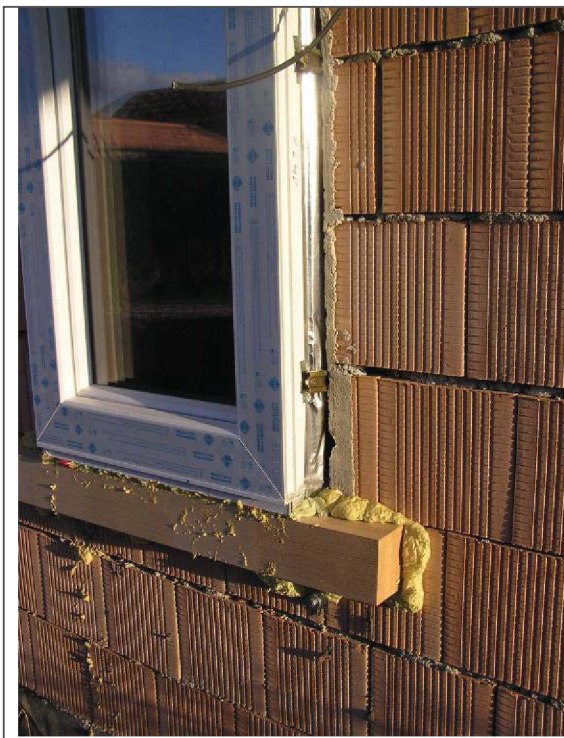
Obr. 18 Pohled na chybné ukotvení (exteriér)

Obr. 19 Vnitřní ukotvení v ostění



Obr. 20 Ukotvení okna u parapetu

Většina poruch a s nimi spojených problémů plyne ze špatného projektového návrhu a neznalosti montážních firem. Špatný návrh kotvicího systému se většinou projeví až při samotné realizaci. To se snaží stavebník, projektant a stavební firma řešit až v průběhu realizace. Na následujících obrázcích je uvedeno jedno z možných řešení problému s ukotvením okna u parapetu, kde bylo okno osazeno na dřevěný hranol ukotvený do obvodové stěny. Vložení dřevěného prvku u parapetu, dochází k zeslabení tepelné izolace a tím zabudování tepelného mostu přes dřevěný prvek a kotvicí prvky. Dřevěný prvek není sice velkým vodičem tepla, ale díky jeho rozměrům je jeho vliv na celkový lineární činitel připojovací spáry velmi podstatný.



Obr. 21 Uložení okna na dřevěný hranol



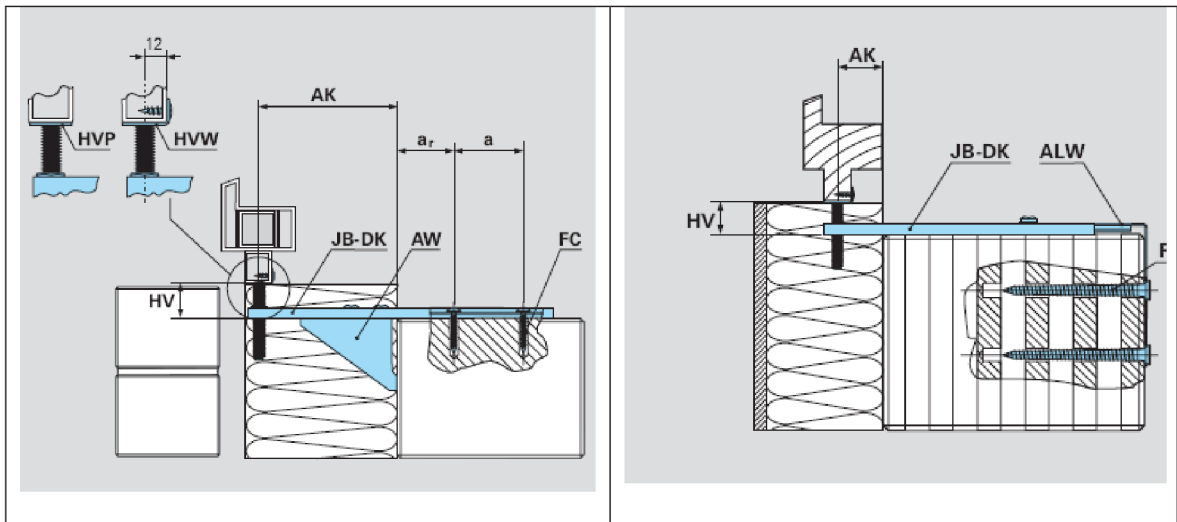
Obr. 22 Správné provedení těsnících pásek u kotvy

Způsob kotvení, volba typu kotevního systému v návaznosti na nosnou část obvodové konstrukce a vlastní osazení oken je nutné řešit již v průběhu zpracování projektové dokumentace. Na následujících obrázcích je uveden montážní systém, který řeší problém s přenášením zatížení do různých typů nosných obvodových konstrukcí, např. pomocí roznášecích úhelníků, různého tvaru montážních konzol, typu šroubů apod.



Obr. 23 a 24 Kotvení do vápenopískových cihel, betonu a pórobetnu

Z výše popsaných možností kotvení okenních výplní do tepelné izolace je zřejmé, že pro správné provedení tohoto stavebního detailu je nutné klást důraz na kvalitní projektový návrh, kvalitu provedení a zkušenosti montážní firmy.



Obr. 25 Kotva do plného zdiva

Obr. 26 Kotva do dutinového zdiva

Další porucha při osazení okna do tepelné izolace může nastat v případě posunu okenní výplně (při nedostatečném ukotvení), kdy dojde k poruše těsnící pásky a tím k narušení neprůvzdušnosti obálky budovy. Tyto těsnící pásky musí být u tohoto způsobu osazení výrazně širší, než u jiného, což také navyšuje cenu.

Nevýhodou způsobu osazení oken do tepelné izolace je také vyšší pracnost provedení tohoto stavebního detailu a vyšší cena, která je způsobena především cenou kotevních prvků a cenou za práci.

Ukotvení okna u parapetu je jedním z nejproblematictějších detailů. Možnosti upevnění jsou pomocí ocelových systémových kotev, konzol nebo pomocí roznášecích konstrukcí (dřevěných trámů apod.). Ocelové kotvy vytváří výrazné bodové tepelné mosty, dřevěné roznášecí konstrukce způsobují lineární tepelné mosty. U staveb s nízkoenergetickou náročností je kladen důraz na eliminaci těchto tepelných mostů. Vystává tedy otázka, zda je tento způsob osazování okenních výplní vhodný.

Výše uvedené důvody vedly k nalezení optimálního řešení osazení okenní výplně, kde by bylo osazení oken méně pracné, méně časově náročné, vyhovující z tepelně technického hlediska (i pro pasivní domy), cenově výhodnější a kde by ukotvení nezpůsobovalo statické problémy.

3.2.2 Technický popis a předpoklad výsledků

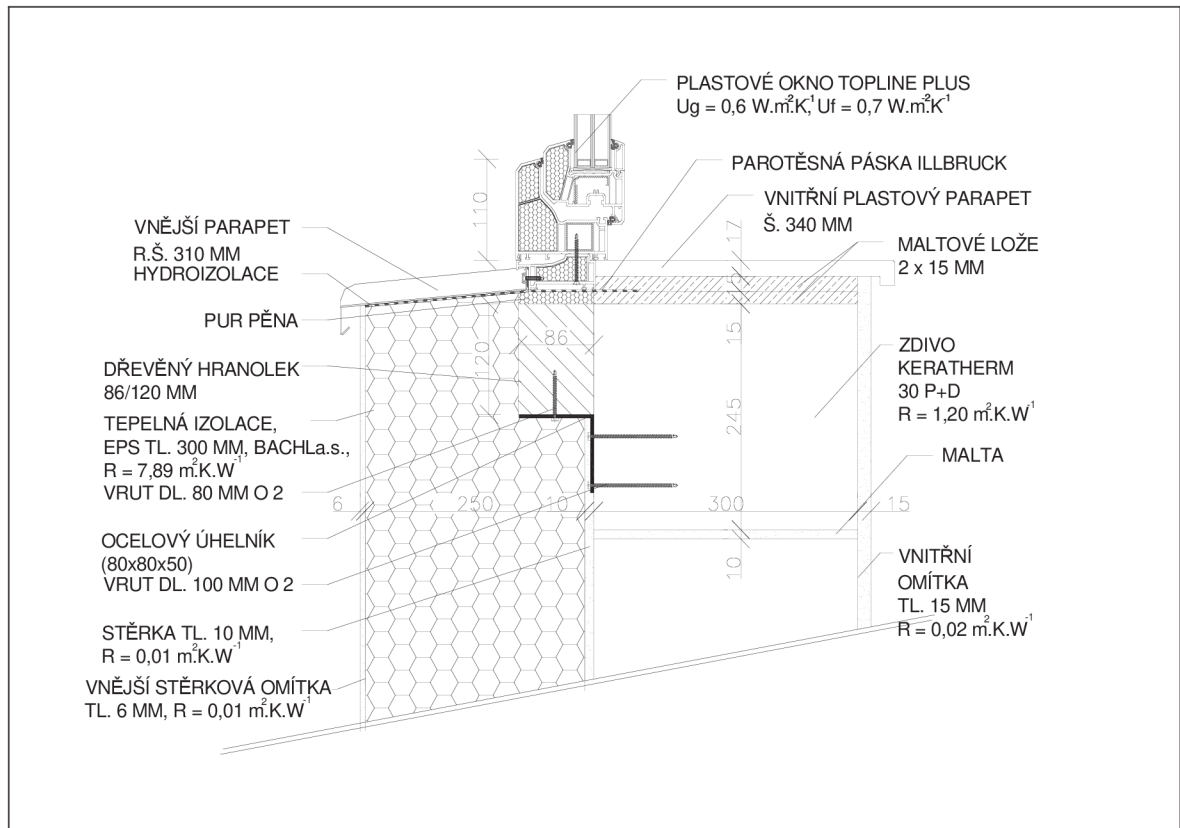
V následujících kapitolách je proveden návrh osazení okenní výplně na vnější líc zdiva s přetažením tepelné izolace přes rám. Dále je vypočítán lineární činitel přípojovací spáry, součinitel prostupu tepla okna se započítáním lineárního činitele prostupu tepla, náklady na ukotvení a náklady na pokrytí tepelných ztrát okenní výplně. Tato varianta je porovnána s variantou osazení okna do tepelné izolace. Předpokládají se srovnatelné výsledky lineárního činitele přípojovací spáry, celkového součinitele prostupu tepla okna i nákladů na pokrytí tepelných ztrát jedním oknem. Dále se předpokládá mnohonásobně nižší cena za kotvící prvky než při uložení okna do tepelné izolace. Dále je proveden návrh na dodatečné vylepšení přípojovací spáry okna uloženého na líci zdiva.

3.2.3 Popis zvolených variant a vstupní údaje

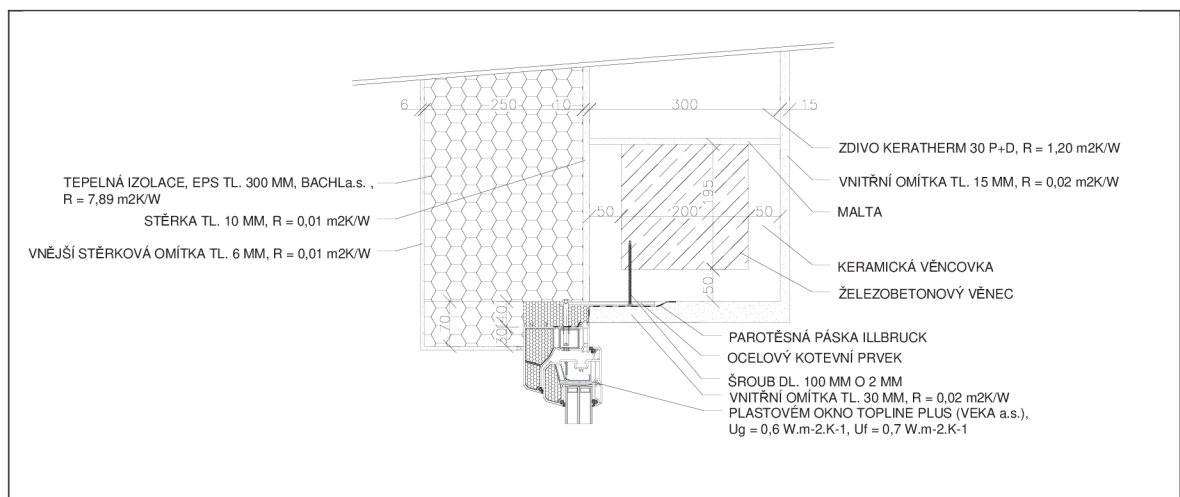
Porovnání bylo provedeno pro plastové okno TOPLINE PLUS od firmy VEKA a.s. První varianta (Obr. 27, 28 a 29): okno uloženo v tepelné izolaci, která přesahuje přes rám 30 mm, ukotvení pomocí ocelových kotev do zdiva v ostění, do železobetonového věnce v nadpraží a položené na dřevěném hranolku 86/120 mm u parapetu.

Druhá varianta (Obr. 30, 31 a 32): okno uloženo na zdivu se zateplením rámu, tepelná izolace vytažena přes rám 30 mm u ostění a nadpraží a kotveno šrouby.

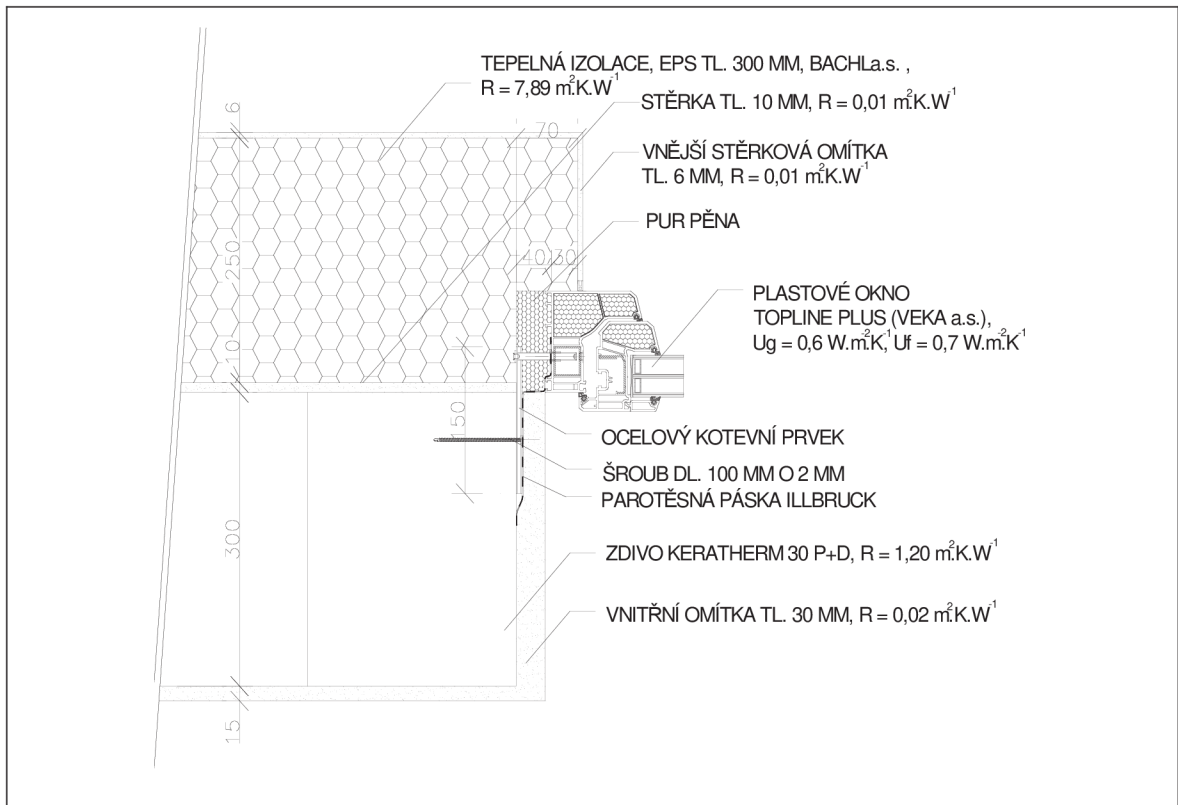
Obvodové stěny v obou variantách tvořilo keramické zdivo KERATHERM 30 P+D s tepelnou izolací EPS tl. 250 mm, BACHL a.s. Okrajové podmínky: způsob vytápění - tlumené (pokles od 2 do 5 °C včetně), otopné těleso není pod okny, obvodová stěna je těžká, relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 50 \%$, návrhová vnitřní teplota $\theta_{ai} = 21^\circ\text{C}$ a vnější teplota $\theta_{ae} = -15^\circ\text{C}$, odpor při přestupu tepla $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Při výpočtech celkového součinitele prostupu tepla okenních výplní byly uvažovány deklarované hodnoty výrobcem $U_f = 0,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, $U_g = 0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, $\Psi_g = 0,03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a vypočítané hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla přípojovací spáry.



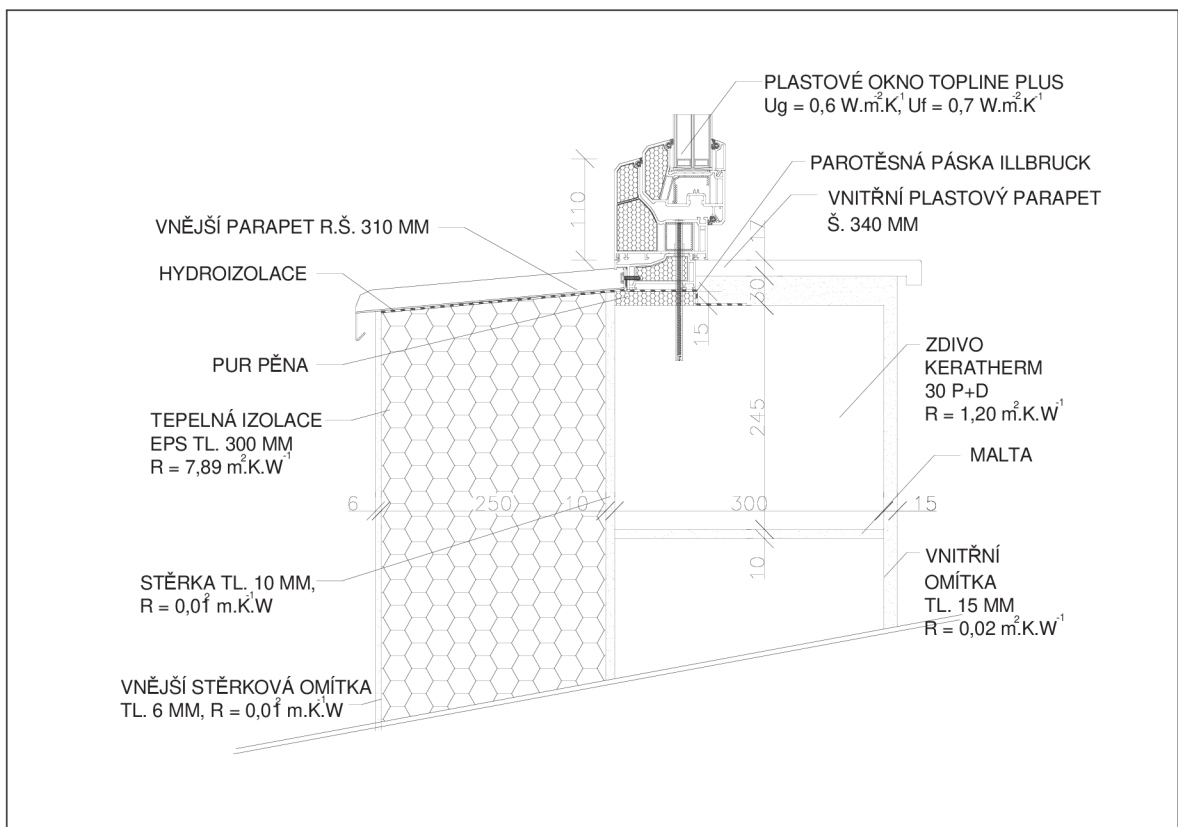
Obr. 27 Osazení okna v tepelné izolaci - parapet



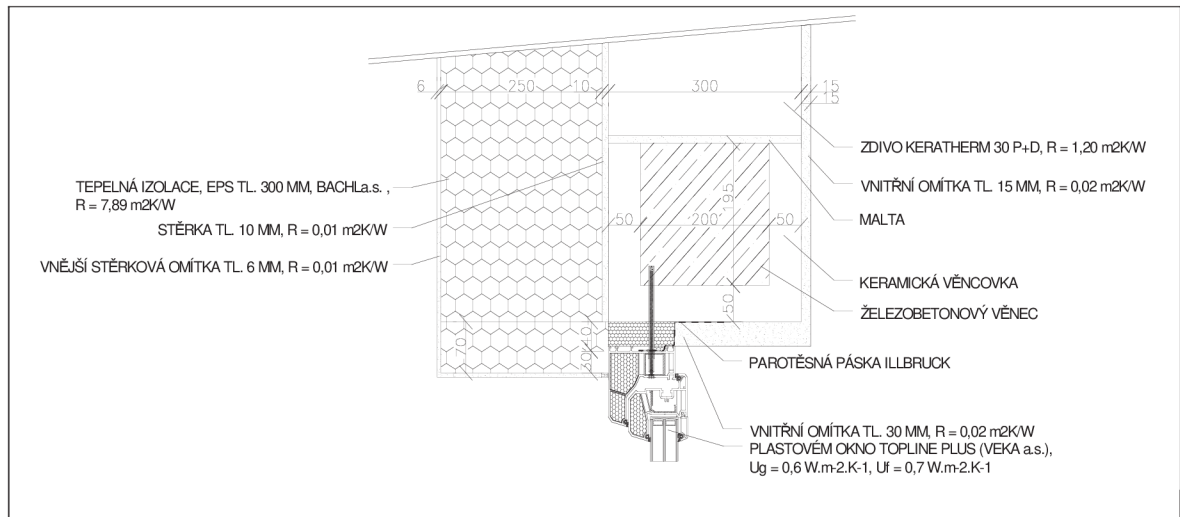
Obr. 28 Osazení okna v tepelné izolaci – nadpraží



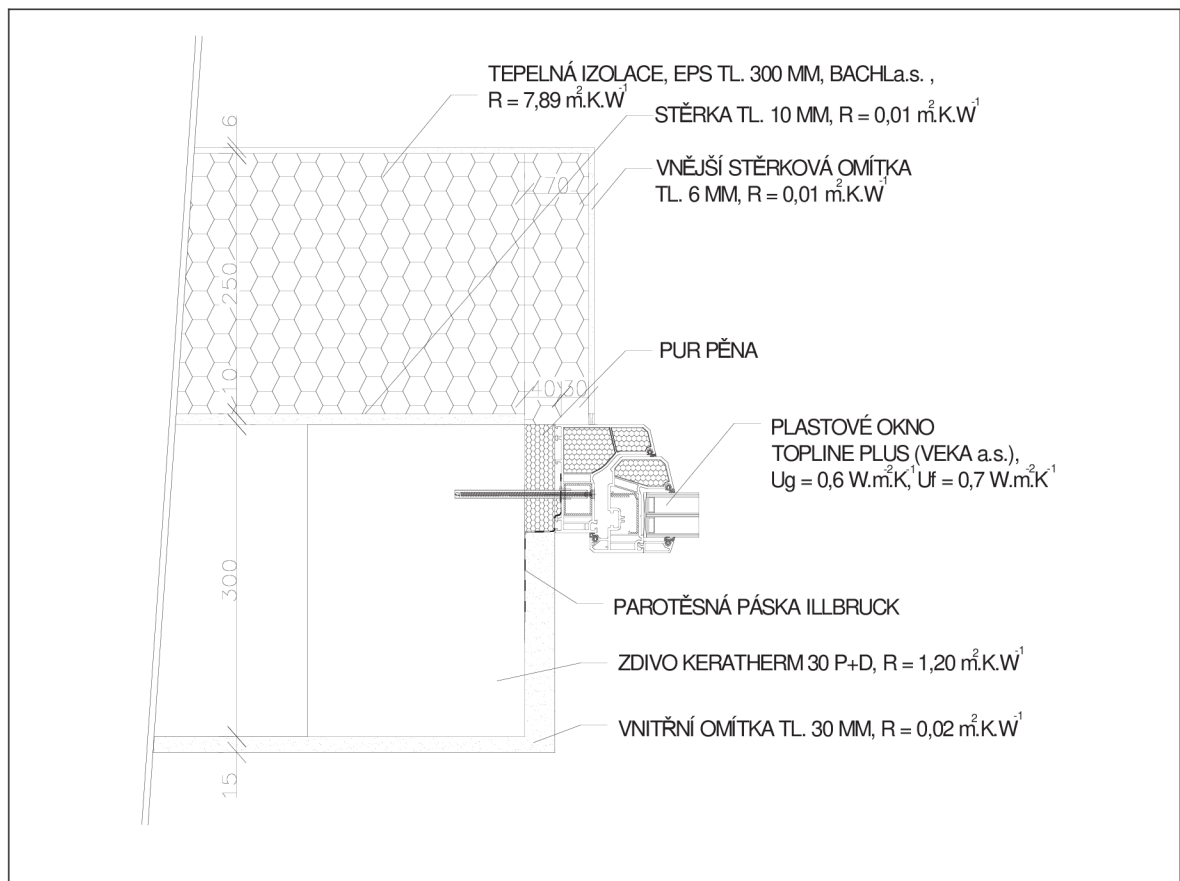
Obr. 29 Osazení okna v tepelné izolaci – ostění



Obr. 30 Osazení okna na zdivu - parapet



Obr. 31 Osazení okna na zdivu – nadpraží



Obr. 32 Osazení okna na zdivu - ostění

Ve výpočtech dvourozměrného a trojrozměrného teplotního pole byly použity níže uvedené materiály. V tabulce jsou uvedeny hodnoty tepelné vodivosti jednotlivých materiálů.

Tab. 3 Vlastnosti materiálů použitých při výpočtu

Materiál	Tepelná vodivost λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Materiál	Tepelná vodivost λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
Vzduch 1 (5 mm)	0,045 ^a	Ocelové prvky	50
Vzduch 2 (45 mm)	0,250 ^a	Plast profilu okna	0,17
Vzduch 3 (60 mm)	0,333 ^a	Silikagel	0,13
Vzduch 4 (do 5 mm)	0,042 ^a	Polysulfid	0,40
PU–tuhý, v ok. rámu	0,029	TGI rámeček	0,20
Těsnění EPDM	0,24	Izolační deska	0,035
Vakuová izolace	0,005	Omítka vnitřní	0,99
EPS	0,038	Omítka vnější	0,80
PUR	0,029	Plyn (argon)	0,017 ^a
Dřevo	0,18	Sklo	1,00
Zdivo	0,25	ŽB	1,34
Malta	0,86	^a Ekvivaletní tepelná vodivost	

3.2.4 Popis výpočtu

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. Vztahy použité při výpočtu tepelné propustnosti jsou uvedeny ve vzorci (45) a lineárních činitelů prostupu tepla ve vzorci (40). Hodnoty lineárního činitele prostupu tepla byly využity ke stanovení celkového součinitele prostupu tepla okenních výplní U_w , dle vztahu (36). 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.

Hodnota tepelné ztráty prostupem je definována:

$$\Phi_p = \Sigma(U \cdot A \cdot b) \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ae}) \quad (47)$$

kde U_w je součinitel prostupu tepla okenních výplní [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$];
 A plocha konstrukce [m^2];
 b činitel teplotní redukce [-];
 θ_{ai}, θ_{ae} výpočtová teplota prostředí i, resp. e [$^{\circ}\text{C}$].

Roční potřeba energie pro krytí tepelných ztrát prostupem je definována vztahem:

$$E_{vp} = \Phi_p \cdot (\theta_{ai,m} - \theta_{e,m}) \cdot \tau \cdot d / (\theta_{ai} - \theta_{ae}) / 1000 \quad (48)$$

kde Φ_p je tepelné ztráty prostupem [W];
 $\theta_{ai,m}$ střední teplota interiéru během topného období [$^{\circ}\text{C}$];
 $\theta_{e,m}$ střední teplota exteriéru během topného období [$^{\circ}\text{C}$];
 τ počet hodin vytápění denně [-];
 θ_{ai}, θ_{ae} výpočtová teplota prostředí i, resp. e [$^{\circ}\text{C}$];
 d je počet dnů vytápění [-];
 1000 je přepočítávací koeficient z [W] na [kW].

3.2.5 Výpočtové modely a výsledky z výpočtů

U obou variant je posouzení provedeno v místech parapetu, ostění a nadpraží, mimo kotvy (označení **a**) a v místech ukotvení ocelovými kotvami (označení **b**).

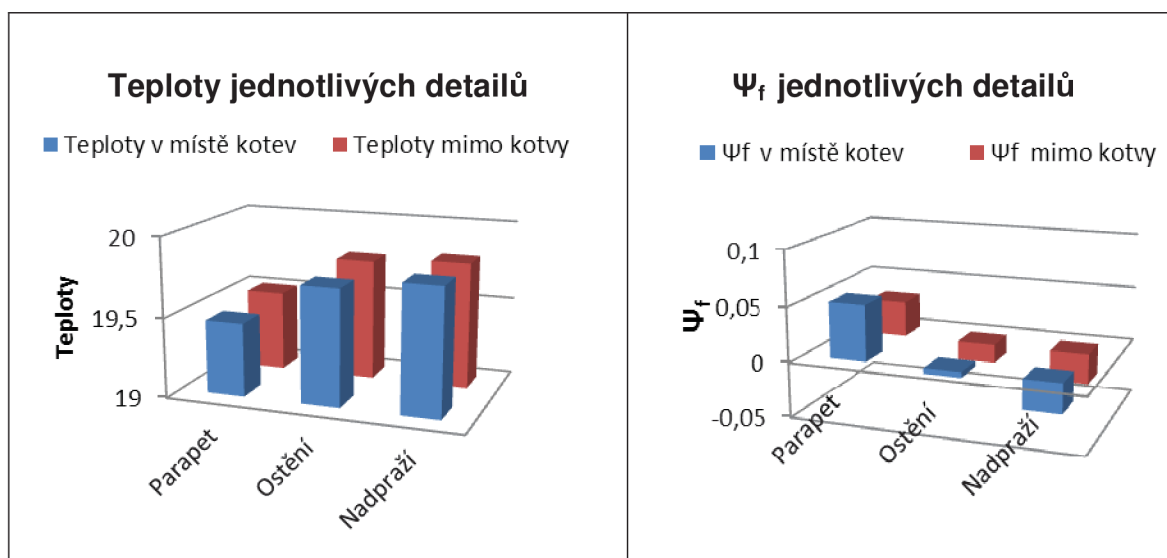
Lineární činitel prostupu tepla připojovací spáry

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. 4 Lineární činitel prostupu tepla posuzovaných detailů

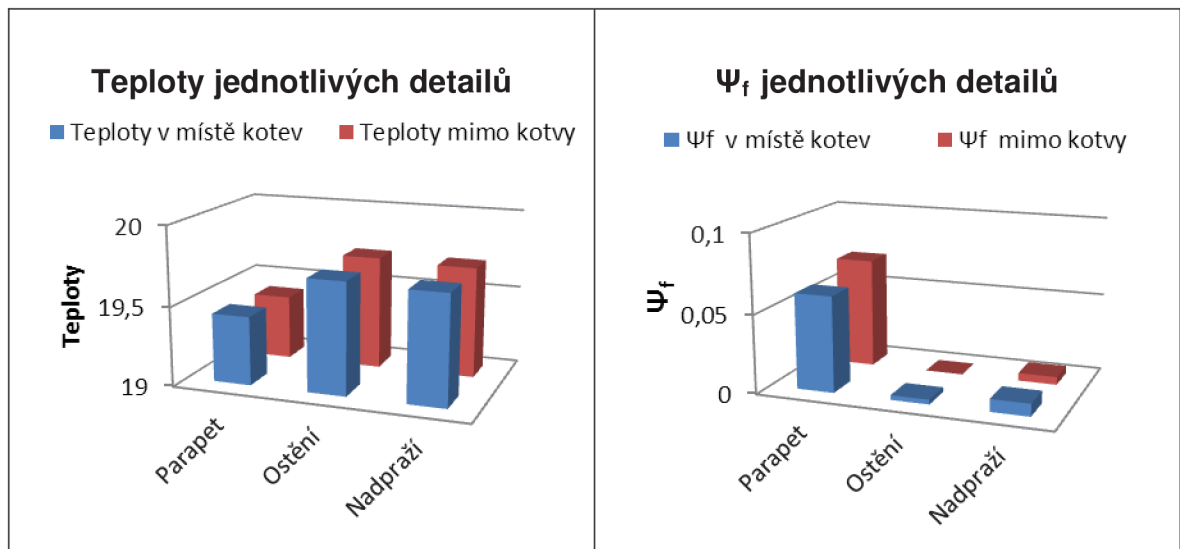
Ozn. detailu	Popis	θ_{sim} (°C)	Ψ_f (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Ozn. detailu	Popis	θ_{sim} (°C)	Ψ_f (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
Uložení okenní výplně na tepelné izolaci T1 - T3							
T1-a	Parapet	19,509	0,033	T1-b	Parapet	19,461	0,051
T2-a	Ostění	19,767	-0,017	T2-b	Ostění	19,731	-0,005
T3-a	Nadpraží	19,799	-0,028	T3-b	Nadpraží	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 následujících grafech jsou znázorněny rozdíly ve vypočítaných hodnotách teplot a lineárních činitelů prostupu tepla připojovací spáry v místě kotev a mimo kotvy, při osazení okna v tepelné izolaci a na zdivu.



Graf 1 Porovnání teplot u okenní výplně uložené na tepelné izolaci

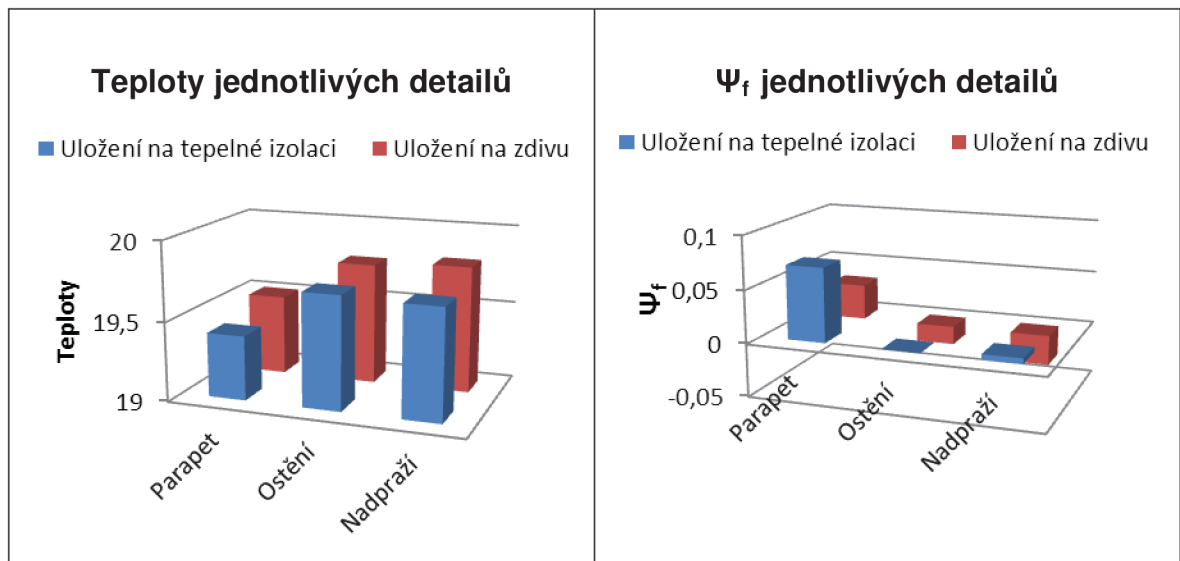
 Graf 2 Porovnání Ψ_f u okenní výplně uložené na tepelné izolaci



Graf 3 Porovnání teplot u okenní výplně uložené na zdivu

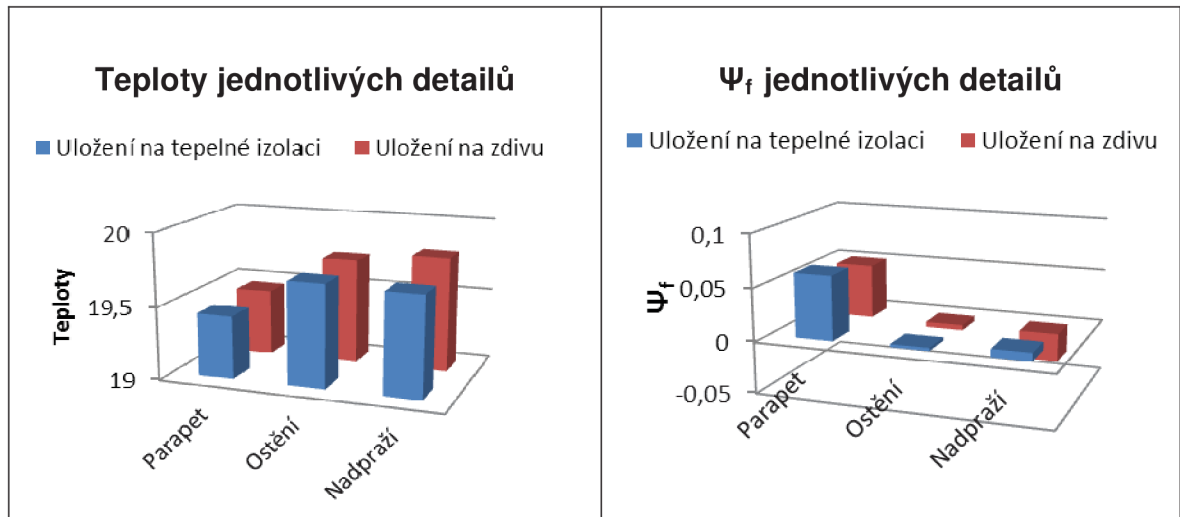
Graf 4 Porovnání Ψ_f u okenní výplně uložené na zdivu

Na následujících grafech je provedeno porovnání teplot a lineárních činitelů prostupu tepla připojovací spáry mezi oknem v tepelné izolaci a na zdivu. Porovnání je provedeno pro hodnoty mimo kotvy a v místě kotvících prvků.



Graf 5 Porovnání teplot mimo kotvy pro okno v tepelné izolaci a na zdivu

Graf 6 Porovnání Ψ_f mimo kotvy pro okno v tepelné izolaci a na zdivu

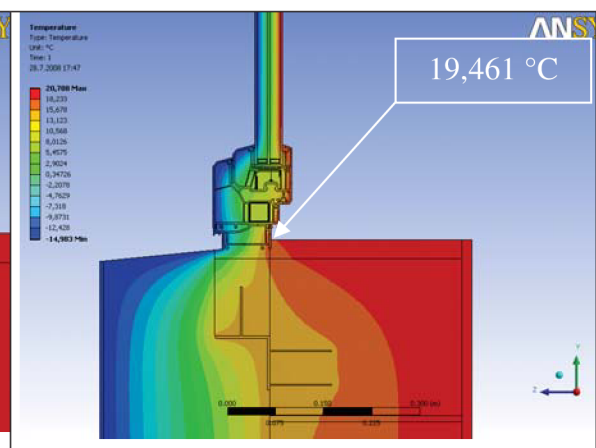
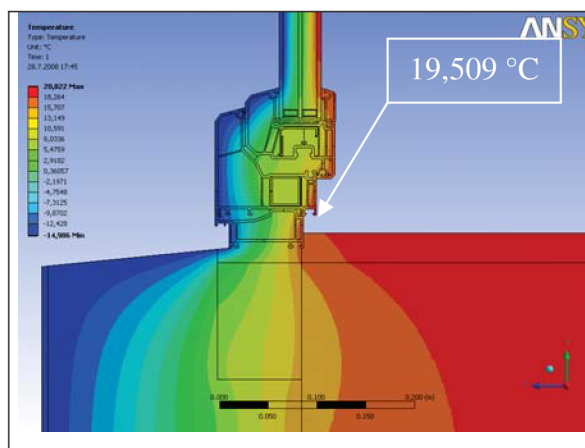


Graf 7 Porovnání teplot v místě kotev pro okno v tepelné izolaci a na zdivu

Graf 8 Porovnání Ψ_f v místě kotev pro okno v tepelné izolaci a na zdivu

Z výše uvedených grafů jsou zřejmá místa, kde je vliv osazení okenní výplně více či méně zanedbatelný.

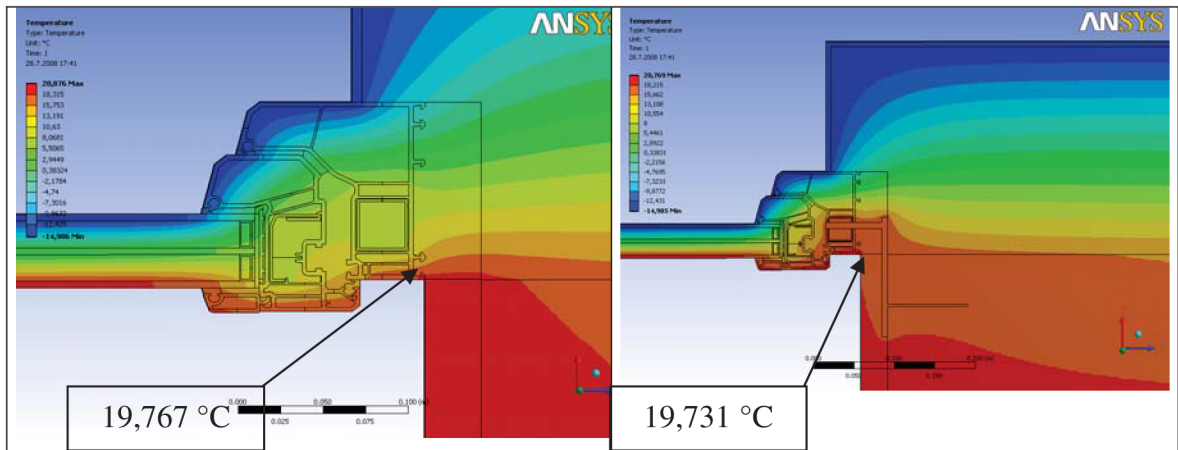
Na následujících obrázcích jsou zobrazeny teplotní pole jednotlivých posuzovaných detailů pro okenní výplň osazenou v tepelné izolaci. Na obrázcích jsou uvedeny teploty u připojovací spáry. Dále je proveden popis získaných výsledků.



Obr. 33 Osazení okna v tepelné izolaci – parapet, mimo kotvu (T1-a)

Obr. 34 Osazení okna v tepelné izolaci – parapet, s kotvou (T1-b)

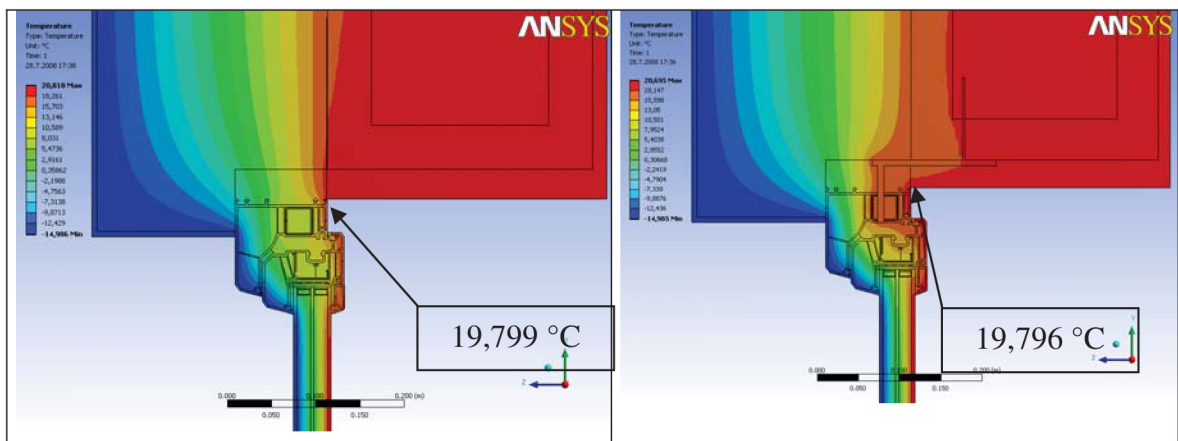
Na obrázku 33 a 34 je znázorněno teplotní pole detailu části okna uloženého v tepelné izolaci, u parapetu. Vliv kotvících prvků na povrchové teploty je zde největší, ze všech posuzovaných variant. Je to způsobeno především typem kotvení (dřevěný hranol a zvolené kotvící prvky).



Obr. 35 Osazení okna v tepelné izolaci – ostění, mimo kotvu (T2-a)

Obr. 36 Osazení okna v tepelné izolaci – ostění, s kotvou (T2-b)

Na obrázku 35 a 36 je teplotní pole detailu okna uloženého v tepelné izolaci v místě ostění. Vliv kotvících prvků na povrchové teploty je zde již méně výrazný než u předchozí varianty.

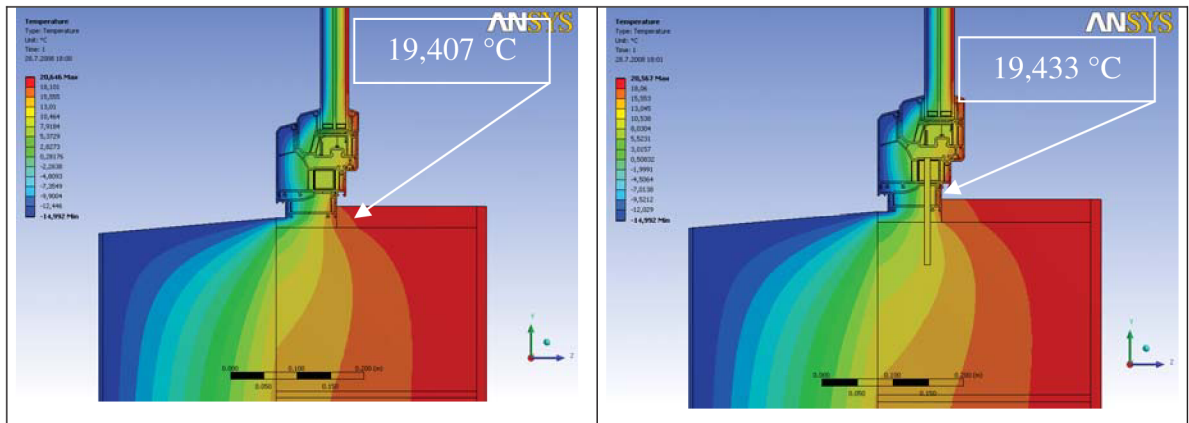


Obr. 37 Osazení okna v tepelné izolaci – nadpraží, mimo kotvu (T3-a)

Obr. 38 Osazení okna v tepelné izolaci – nadpraží, s kotvou (T3-b)

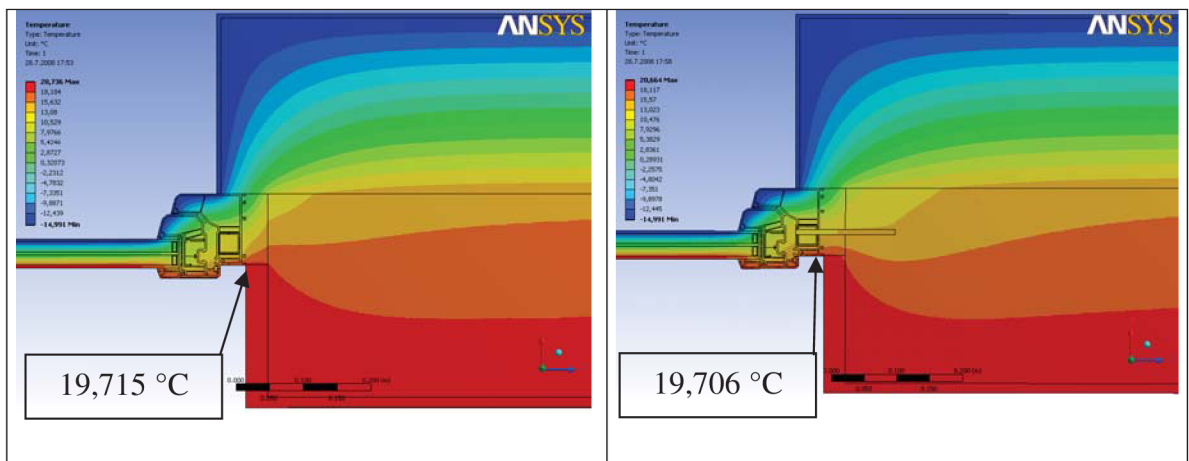
U varianty osazení okna v místě nadpraží (obr. 37 a 38), u okna uloženého v tepelné izolaci, je vliv kotvy na povrchové teploty nejmenší a zanedbatelný. Je to zde způsobeno větší tepelnou vodivostí železobetonového překlada, než zdiva v předchozí variantě.

Na obrázcích 39 až 44 jsou zobrazeny průběhy teplotních polí a teploty u detailů okenní výplně osazené na lící zdiva s přetaženou tepelnou izolací. Vedle sebe jsou umístěny varianty s uložením v místě kotvícího prvku a mimo kotvící prvek.



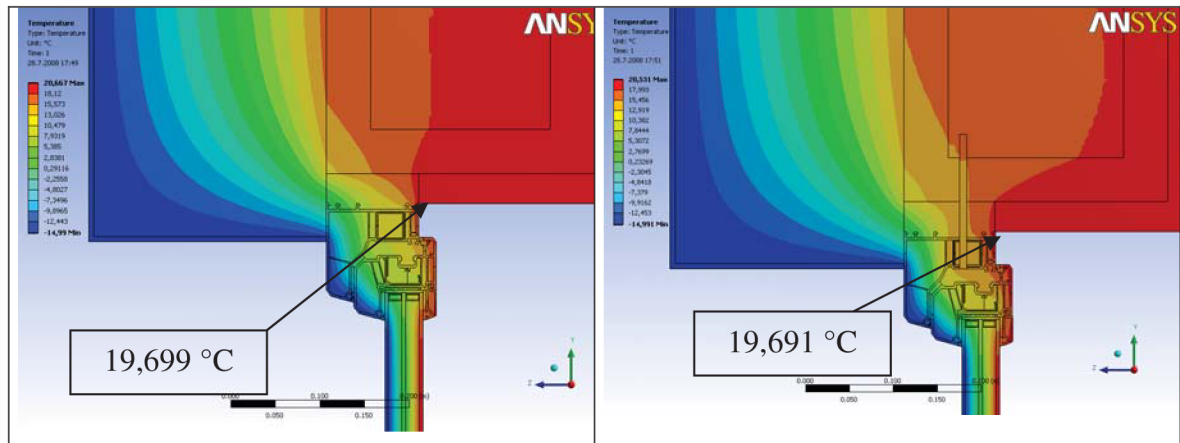
Obr. 39 Osazení okna na zdivu – parapet, Obr. 40 Osazení okna na zdivu – parapet, s mimo kotvu (S1-a)

Stejně jako u varianty při osazení v tepelné izolaci je největší rozdíl teplot u parapetu. Z výsledků vyplývá, že detail u parapetu je nejslabším místem celé připojovací spáry okenní výplně. Samotný rozdíl teplot v místě kotvy a mimo kotvu není tak výrazný jako u varianty osazení okna v tepelné izolaci.



Obr. 41 Osazení okna na zdivu – ostění, mi- Obr. 42 Osazení okna na zdivu – ostění, s kmo kotvu (S2-a)

Rozdíly teplot na obrázcích 41 a 42 jsou opět menší než u varianty osazení okna v tepelné izolaci. Hodnoty teplot jsou u této varianty nepatrně nižší. Vliv kotvících prvků je v ostění menší než u předchozí varianty. Z obrázků 43 a 44 je patrný nejmenší rozdíl teplot v místě připojovací spáry v místě kotvícího prvku a mimo kotvící prvek.



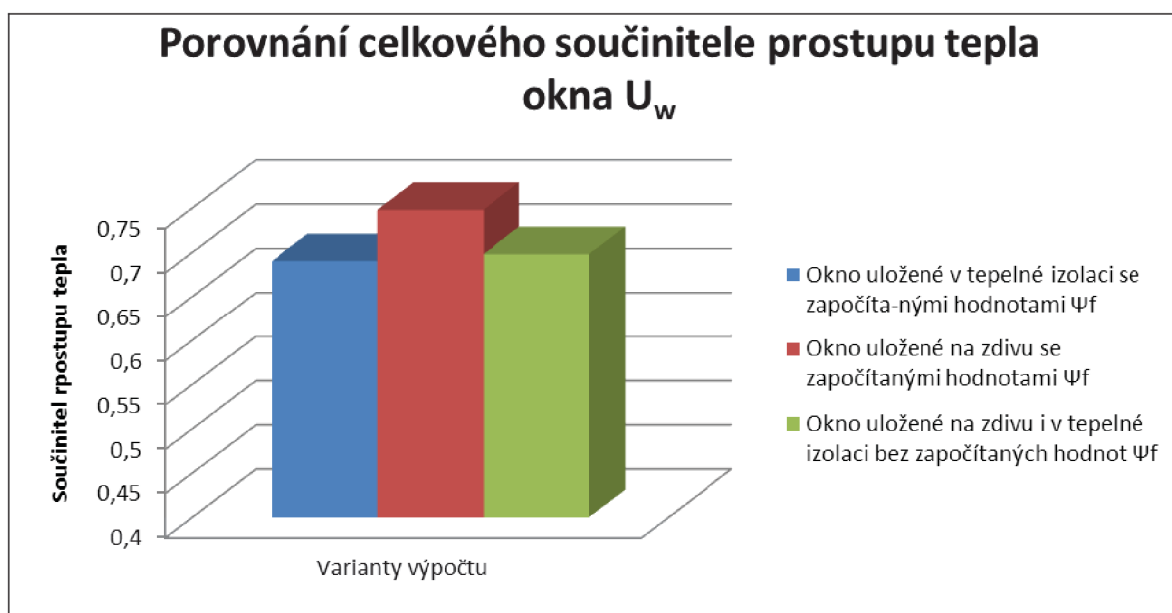
Obr. 43 Osazení okna na zdivu – nadpraží, mimo kotvu (S3-a) Obr. 44 Osazení okna na zdivu – nadpraží, s kotvou (S3-b)

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 $U_w = 0,6901 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, okno uložené na zdivu $U_w = 0,7481 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Hodnota součinitele prostupu tepla okna U_w bez započítaných hodnot Ψ_f je pro okna uložené v tepelné izolaci a na zdivu $U_w = 0,6979 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. 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. 5 Porovnání celkového součinitele prostupu tepla okna U_w

Varianta	$U_w \text{ (W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1})$
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

Graf 9 Porovnání celkového součinitele prostupu tepla okna U_w

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 následující kapitole.

Tepelné ztráty prostupem okenních výplní a náklady na ukotvení

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. 6 Tabulka hodnot 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} (kWh/a)	128	138
Φ_p (kW)	0,050	0,054

Přepočet potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát při přestupu tepla jednou okenní výplní byl proveden pro ceny při vytápění objektu zemním plynem a elektřinou. Ceny byly stano-

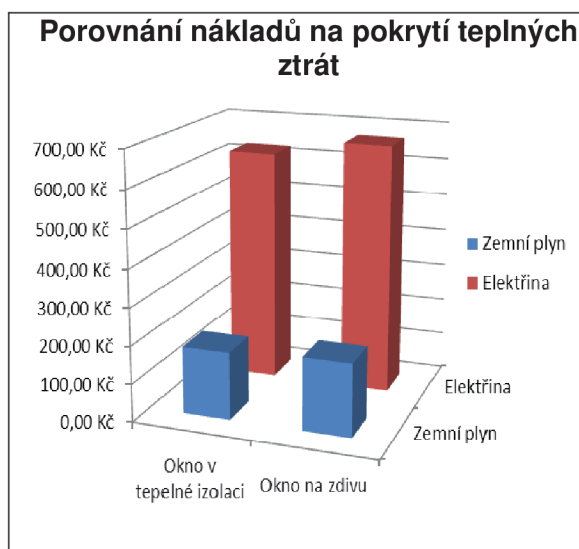
veny pro průměrnou domácnost s ročním odběrem zemního plynu v pásmu do 30 MWh/rok. Pro domácnost s ročním odběrem elektrické energie byla cena stanovena pro jednotarifovou sazbu (pro malou spotřebu). Ceny byly stanoveny dle aktuálního ceníku pro rok 2014 dvou významných dodavatelů energií, společností RWE (zemní plyn) a E.ON (elektrická energie).

Ceny kotevnic prvků byly 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. 7 Náklady na pokrytí tepelných ztrát

Popis	Zemní plyn	Elektrina	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



Graf 10 Náklady na pokrytí tepelných ztrát jedním oknem

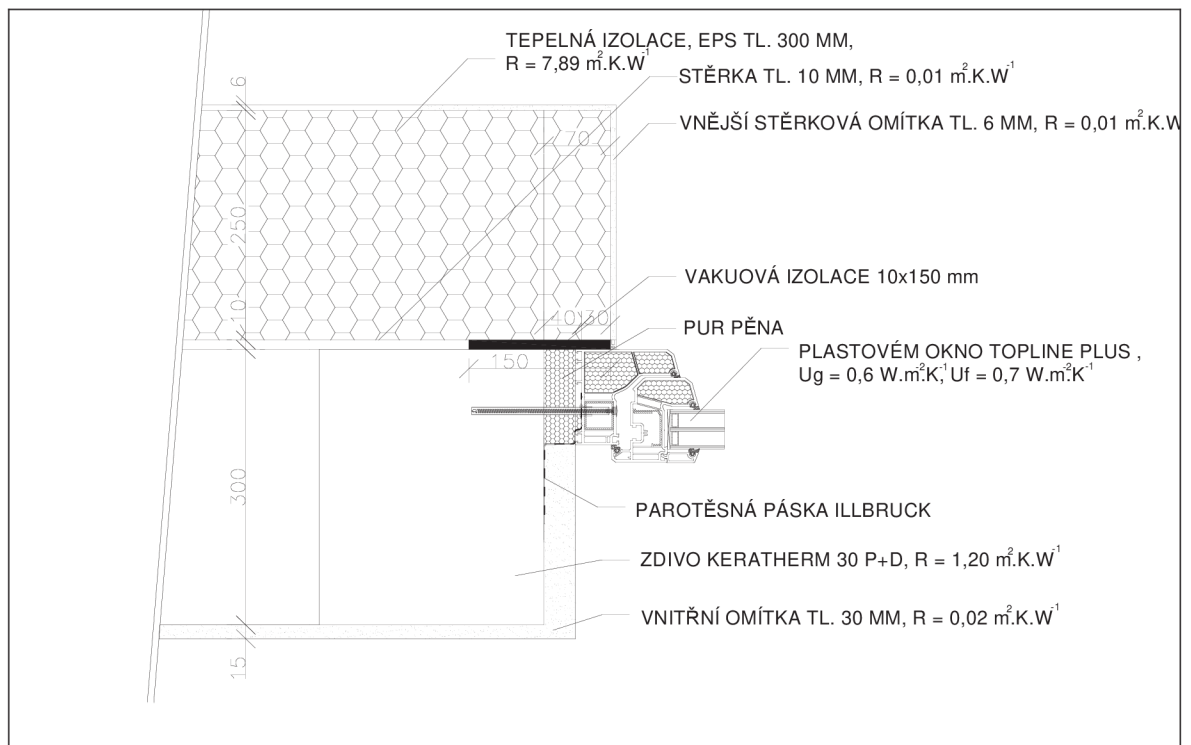


Graf 11 Porovnání nákladů na ukotvení jedním oknem

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 elektrinou 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 snížení součinitele prostupu tepla rámu.



Obr. 45 Osazení okna na zdivu s vloženou vakuovou izolací

Okno s tepelnou izolací, určené pro nízkoenergetické a pasivní domy

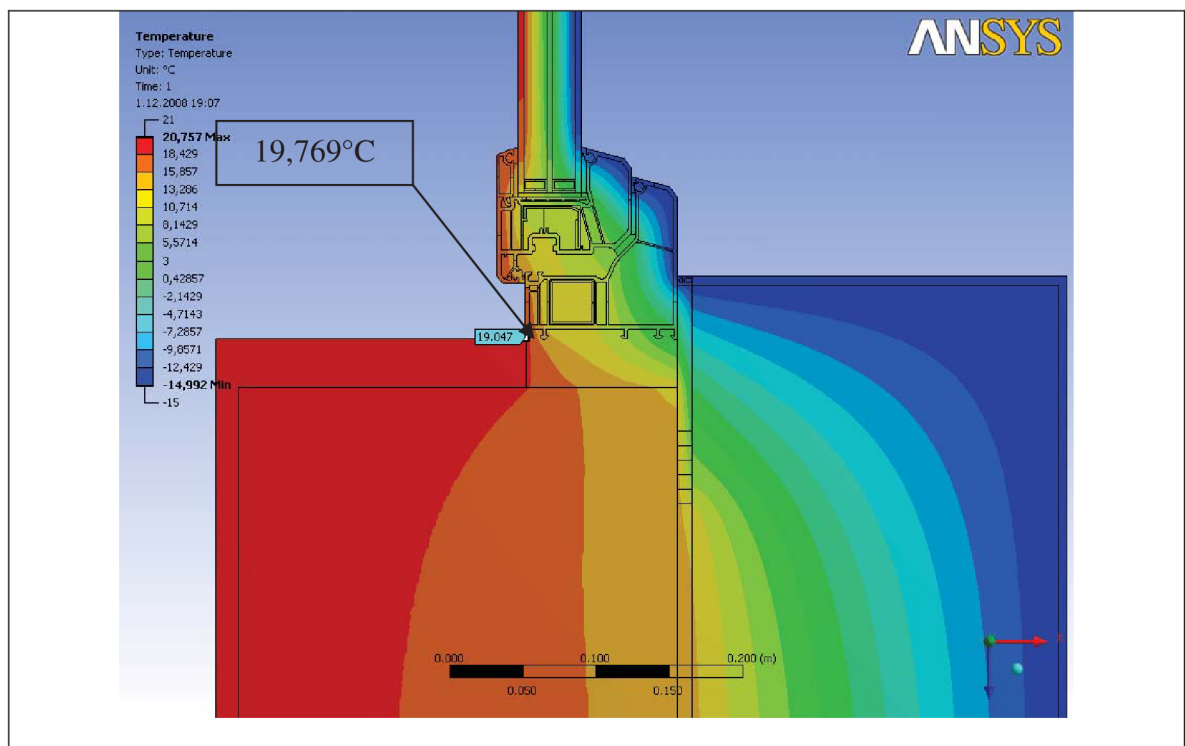
Porovnání bylo provedeno pro tři varianty osazení okenní výplně v obvodové konstrukci. V těchto třech variantách byla porovnána okna určená především pro nízkoenergetické a pasivní domy.

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 a typy oken. Rozměry okna 1500 x 1500 mm, s vlastnostmi $U_g = 0,6 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, $U_f = 0,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, $\Psi_g = 0,03 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Mění se jen hodnota lineárního činitele prostupu tepla připojovací spáry Ψ_f . Tato hodnota byla pro první dvě varianty převzata z výsledků předchozí kapitoly. Pro zjednodušení celého výpočtu byla použita hodnota lineárního činitele prostupu tepla připojovací spáry pro všechny varianty pouze v místě ostění a bez kotvících prvků.



Obr. 46 Osazení okna v tepelné izolaci – ostění, mimo kotvu

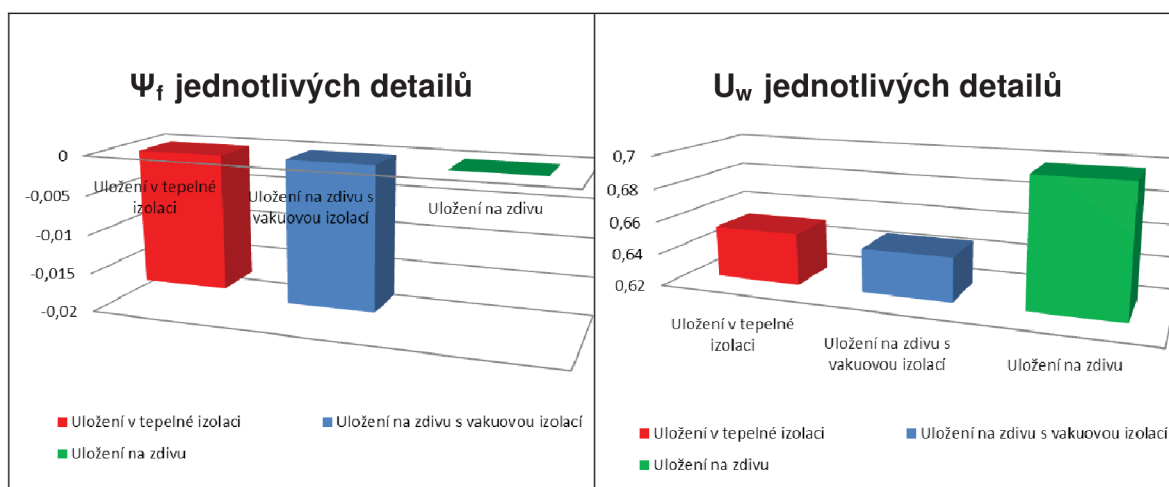
Výše uvedený obrázek 46 je možné porovnat s obrázkem 35. Na obrázku je pouze doplněna vakuová izolace. Z porovnání teplot připojovací spáry je patrné výrazné navýšení teploty, která je nyní i vyšší než hodnota ve variantě pro okno uložené v tepelné izolaci. Porovnání je uvedeno v tabulce 8.

Tab. 8 Porovnání lineárního činitele a součinitele prostupu tepla a teploty v připojovací spáře jednotlivých variant

Popis osazení	Ψ_f ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	U_w ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)	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 $U_w = 0,652 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací, ale bez vložení vakuové izolace je $U_w = 0,698 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a hodnota U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací a s vloženou vakuovou izolací je $U_w = 0,647 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. 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.

Grafické srovnání hodnot uvedených v tabulce 6 je v následujících grafech.

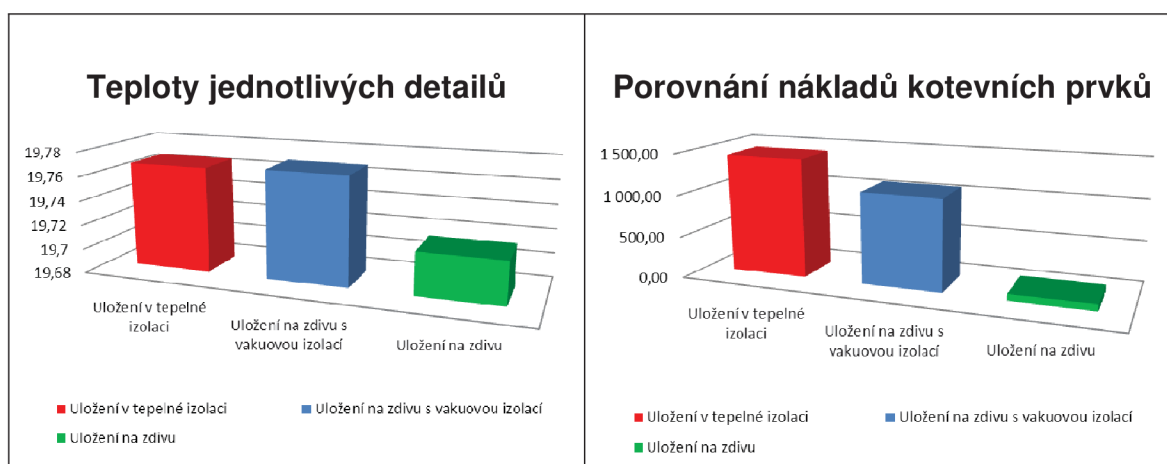

 Graf 12 Porovnání Ψ_f jednotlivých variant

 Graf 13 Porovnání U_w jednotlivých variant

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 byla stanovena firmou TACHTECH s.r.o.

Tab. 9 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

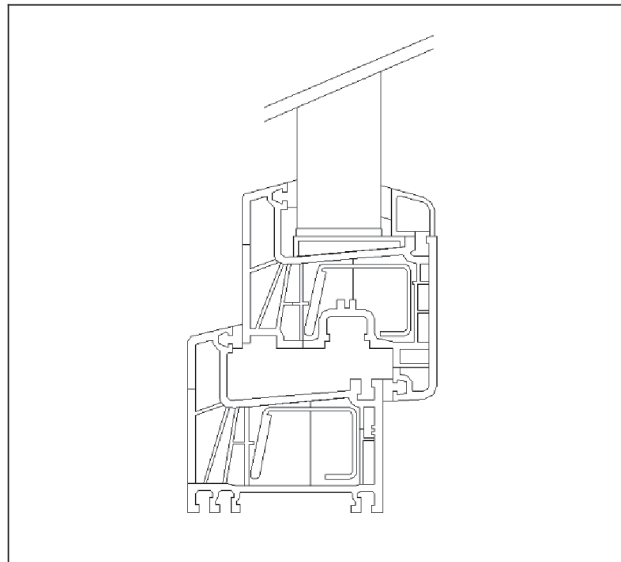


Graf 14 Porovnání teplot jednotlivých variant

Graf 15 Náklady kotevních prvků pro jedno okno

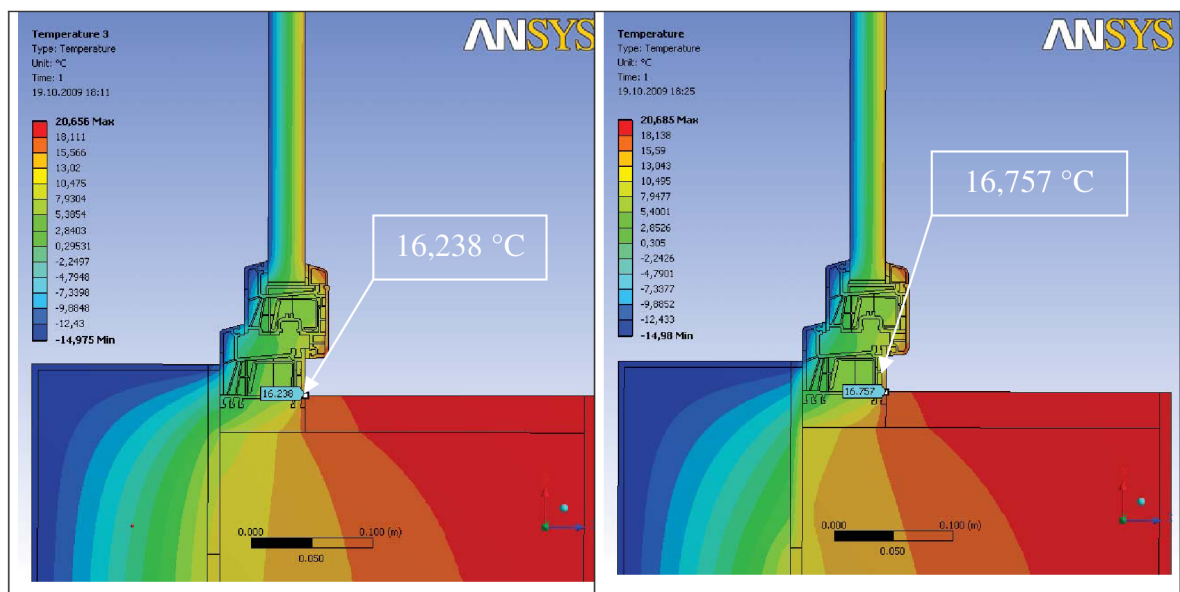
Okno bez tepelné izolace, určené pro běžné objekty

Dále byl 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.



Obr. 47 Profil rámu okna EuroFutur Classic

Na následujících obrázcích je znázorněno teplotní pole a teploty v připojovací spáře pro variantu bez použití vakuové izolace a s použitím vakuové izolace.



Obr. 48 Osazení okna na zdivu bez přiteplení vakuovou izolací

Obr. 49 Osazení okna na zdivu s přiteplením vakuovou izolací

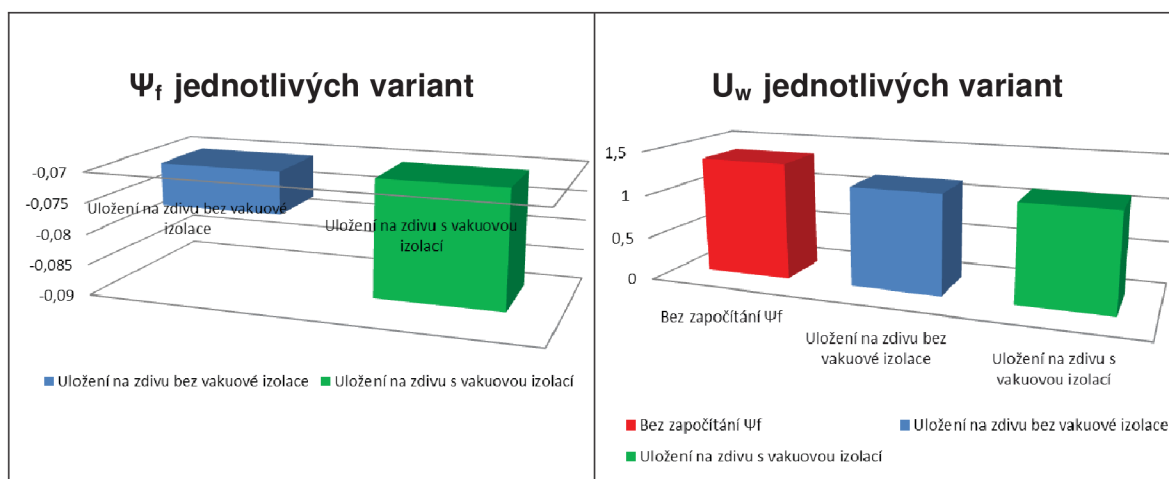
Při výpočtu byly voleny různé délky vakuové izolace (varianty byly provedeny pro délky po 10 mm). Nejekonomičtější varianta byla pro délku vakuové izolace 70 mm od hrany zdiva. Délka izolace nad tuto délku již neměla výraznější vliv na tepelně technické vlastnosti připojovací spáry a nebylo by tedy efektivní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

Tab. 10 Porovnání lineárního činitele a součinitele prostupu tepla jednotlivých variant

Popis osazení	Ψ_f ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	U_w ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)
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, $U_w = 1,361 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací, ale bez vložení vakuové izolace $U_w = 1,155 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a hodnota U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací a s vloženou vakuovou izolací $U_w = 1,123 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Grafické srovnání hodnot uvedených v tabulce 8 je v následujících grafech.


 Graf 16 Porovnání Ψ_f jednotlivých variant

 Graf 17 Porovnání U_w jednotlivých variant

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.

3.2.6 Shrnutí výsledků

Způsob osazení okenních výplní na vnější líc zdiva s přetažením tepelnou izolací a popřípadě vložením dodatečné vakuové izolace, řeší nevýhody dosavadního způsobu osazování oken v pasivních a nízkoenergetických domech.

Výhodou tohoto způsobu osazení je nižší cena za kotevní prvky, snadnější a rychlejší montáž (nižší cena montáže, eliminace poruch), dokonalé zateplení přípojovací spáry okenní výplně a snížení lineárního činitele prostupu tepla. Při tomto dodatečném zateplení je možné osazovat okna s horšími parametry, které ve výsledku s přídatnou vakuovou izolací před rámem vykazují stejné tepelně technické parametry, jako při osazení okenních výplní s lepšími hodnotami součinitele prostupu tepla. Z toho vyplývá i nižší cena a snížení celkových nákladů na pořízení oken.

U pasivních domů je kladen důraz na neprůvzdušnost obálky. Okenní výplně jsou napojeny na obvodové konstrukce pomocí parotěsných lepicích pásek. Při osazování do tepelné izolace je zapotřebí větší šířka těsnící pásky než při osazení na zdivo. Při osazení na zdivo dochází také k zjednodušení napojení těsnící pásky na obvodovou konstrukci.

Při osazení běžných oken, s vyšším součinitelem prostupu tepla rámu okna a při jejich zateplení vloženou izolací, dosáhneme výrazného snížení hodnoty součinitele prostupu tepla, což vede ke snížení nákladů na pokrytí tepelných ztrát objektu.

Přídavná vakuová izolace dokonale izoluje přípojovací spáru, zvyšuje povrchové teploty a snižuje tak lineární činitel přípojovací spáry. Zvýšením povrchových teplot zabráníme vzniku plísní v přípojovací spáře.

3.2.7 Užitný vzor

V roce 2009 byl podán užitný vzor na výše uvedený způsob využití vakuové izolace, na zaizolování přípojovací spáry vakuovou izolací. Užitný vzor byl přijat ÚŘADEM PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ a zapsán pod „Značkou zápisu PUV 2009-21593“. Původci užitého vzoru jsou Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D. a Ing. Lukáš Hejný. Osvědčení o vytvoření užitého vzoru je uvedeno v příloze P III.

4 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 jsou porovnány s vypočítanými hodnotami. Cílem této kapitoly je ověřit, zda vypočítané hodnoty odpovídají reálným hodnotám.

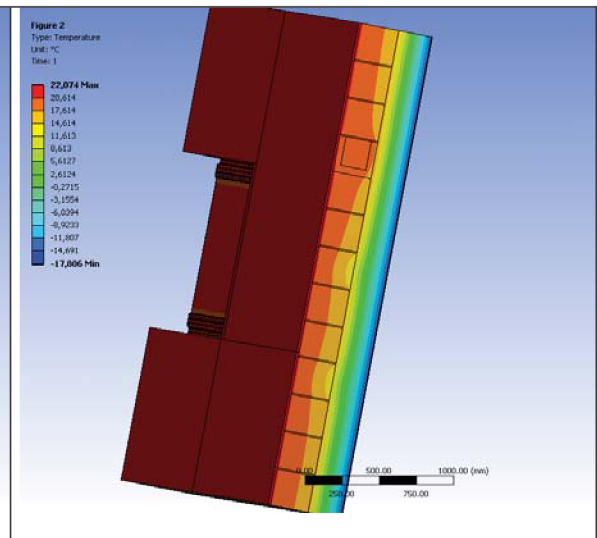
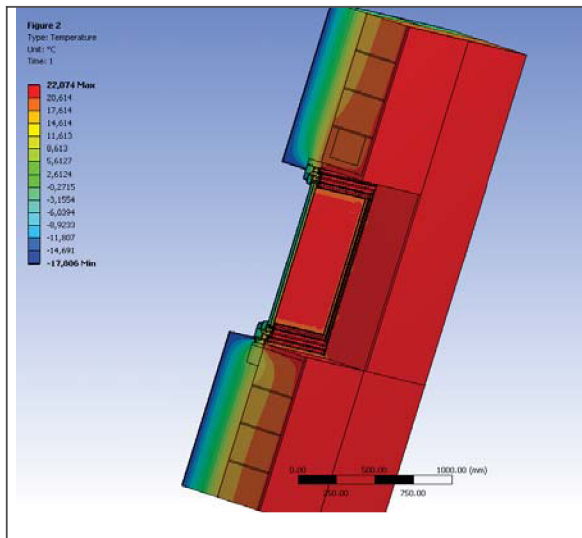
4.1 Měření termovizní kamerou

V této kapitole je provedeno porovnání povrchových teplot z termovizních snímků s výpočtovým modelem z programu ANSYS.

4.1.1 Popis porovnávaných detailů

Porovnání se týká povrchových teplot okenní výplně osazené v tepelné izolaci (Obr. 21, 22, 27, 28 a 29). Při měření termovizní kamerou byla teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai} = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota vnějšího vzduchu $\theta_{ae} = -2,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Tyto okrajové podmínky byly použity na model okna uvedeného na Obr. 50 a 51. 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 $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. 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.

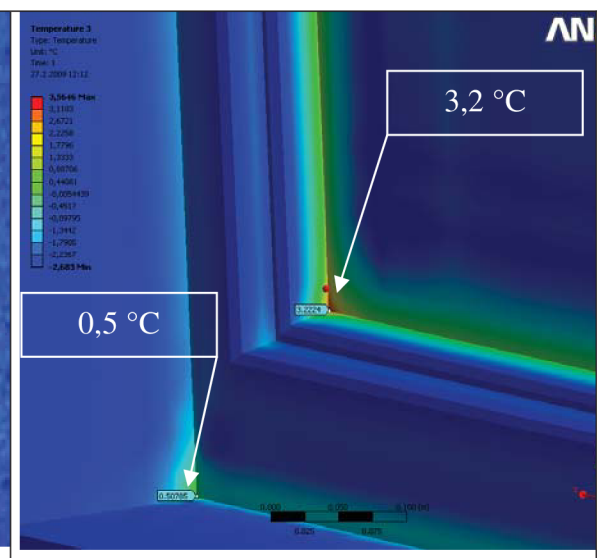
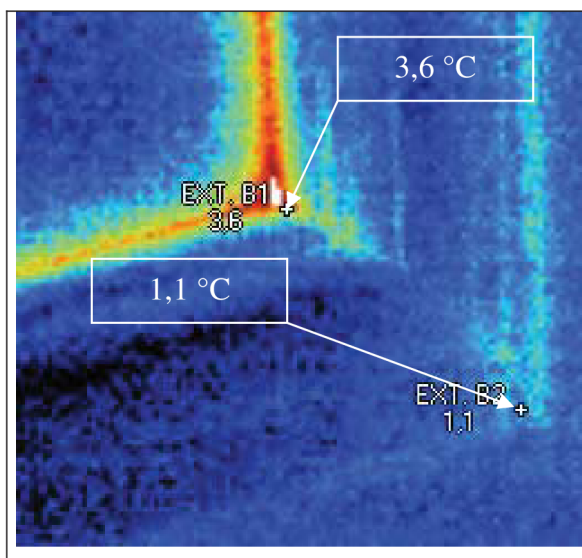
Na následujících obrázcích je uveden model a znázorněno teplotní pole okna osazeného v obvodové stěně. Svislá řezová rovina byla vedena v polovině okna. Z obrázku je patrné, do jaké vzdálenosti od okna jsou izotermy ve stěně ovlivněny právě osazením okenní výplně.



Obr. 50 Trojrozměrný model osazení okna v tepelné izolaci

Obr. 51 Trojrozměrný model osazení okna v tepelné izolaci

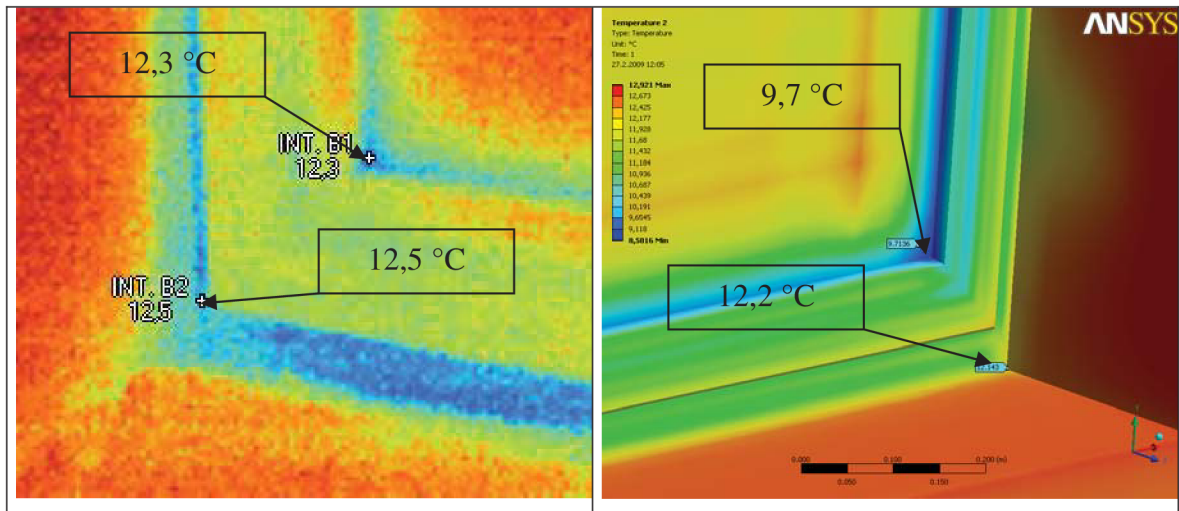
Na následujících obrázcích je porovnání termovizních snímků s modelem a porovnání jednotlivých povrchových teplot v exteriéru. Naměřená teplota v rohu okna u zasklení byla 3,6 °C, v rohu u připojovací spáry 1,1 °C. Teploty z provedené simulace byly u zasklení 3,2 °C a u připojovací spáry 0,5 °C.



Obr. 52 Termovizní snímek - exteriér

Obr. 53 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. 54 Termovizní snímek - interiér

Obr. 55 Výstup z výpočtů - interiér

4.1.2 Posouzení výsledků

Rozmezí povrchových teplot bylo v průměru kolem $0,6\text{ °C}$, jen v jednom bodě byla hodnota kolem $2,6\text{ °C}$. Tyto rozdíly byly 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.

4.2 Laboratorní měření

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

4.2.1 Cíl kapitoly

Cílem této kapitoly je porovnat výsledky z měření na vytvořeném modelu s vypočítanými hodnotami v simulačních programech. Z výsledků bude učiněn závěr, zda jsou naměřené a vypočítané hodnoty porovnatelné a zda je možné použití metody měření v laboratoři pro další práci - ověření hodnot např. součinitele tepelné vodivosti vakuové izolace, součinitele prostupu tepla rámu okenní výplně apod.

4.2.2 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, které 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.

Vzorek je umístěn mezi teplou a chladnou komorou, ve kterých jsou známé teploty prostředí. Měření probíhá při ustálené teplotě vzduchu, povrchových teplotách a celkovém vstupním tepelném výkonu v měřicí skříně. Z těchto měření jsou vypočteny tepelně technické vlastnosti vzorku. Síření tepla na površích zkušební vzorku zahrnuje složku proudění a sálání. Síření tepla prouděním závisí na teplotě vzduchu a rychlosti pohybu vzduchu. Síření tepla sáláním závisí na teplotě a celkové poloprostorové sálavosti povrchů vzorku a povrchů „viděných“ povrchy vzorku. Složené účinky přenosu tepla konvekcí a sáláním jsou zahrnuty v teplotě prostředí a součiniteli přestupu tepla na povrchu.

Prostup tepla je definován mezi dvěma teplotami prostředí. Proto jsou požadovány vhodné způsoby měření teploty tak, aby mohly být teploty prostředí stanoveny. Toto je zvlášť důležité u vzorků s malým tepelným odporem, u nichž má součinitel přestupu tepla na povrchu vzorku významný vliv na celkový tepelný odpor. V případě zkušební vzorku se středním nebo vysokým tepelným odporem může stačit v průběhu zkoušky měřit pouze teplotu vzduchu.

U zkušební zařízení s kalibrovanou teplou skříní je měřicí skříň obklopena prostředím s řízenou teplotou, která nemusí být nutně stejná, jako je teplota v měřicí skříně. Ztrátový tepelný tok stěnami skříně je malý v důsledku použití konstrukce skříně s vysokým tepel-

ným odporem. Celkový vstupní topný výkon musí být opraven o ztráty stěnami měřicí skříně a okrajové ztráty vzorku. Velikost chladné komory se řídí v případě zkušebního zařízení s kalibrovanou teplou skříní podle velikosti této skříně, nebo velikostí měřicí skříně v případě zkušebního zařízení s kompenzovanou měřicí skříní. Stěny komory musí být konstruovány tak, aby snižovaly požadavky na výkon chladicího zařízení a byla vyloučena kondenzace vodní páry. Sálavost vnitřních povrchů komory musí být v souladu s požadovaným sdílením tepla sáláním. Požadavky na sálavost, stínění chladicích stěn (topných těles), teplotní stabilitu a rovnoměrné rozložení teploty jsou v principu stejné jako pro měřicí skříně. Jak bylo uvedeno u měřicí skříně, může být pro dosažení rovnoměrné distribuce vzduchu výhodné použití přepážek. Doporučuje se, aby směr proudění vzduchu odpovídal přirozenému proudění. Rychlost proudění vzduchu musí být nastavitelná, aby mohly být dosaženy hodnoty součinitelů přestupu tepla na površích požadované při zkoušce, a musí být měřena. Pro simulaci přirozených podmínek u stavebních prvků vyhovuje rozsah rychlosti proudění vzduchu v rozmezí od $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Čidla měření teploty vzduchu a povrchové teploty vzorku by měla být rovnoměrně rozmístěna na površích vzorku a umístěna proti sobě na teplé a chladné straně. Počet čidel měření teploty vzduchu a povrchové teploty musí být takový, aby připadla alespoň dvě čidla na čtverečný metr povrchu. Rozdíly teploty vzduchu a povrchu na teplé a chladné straně vzorku, rozdíl povrchových teplot na obou površích vzorku, rozdíl povrchových teplot na stěnách měřicí skříně mohou být pro zvýšení přesnosti stanoveny měřením teplotního rozdílu. [45]

4.2.3 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. 56 Izolace měřícího boxu s výparníkem



Obr. 57 Rám měřícího boxu s izolací

Tepelně technické vlastnosti (součinitele prostupu tepla) měřícího boxu jsou vyhovující pro omezení tepelných ztrát výsledné konstrukce. Prostor uvnitř měřícího 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.

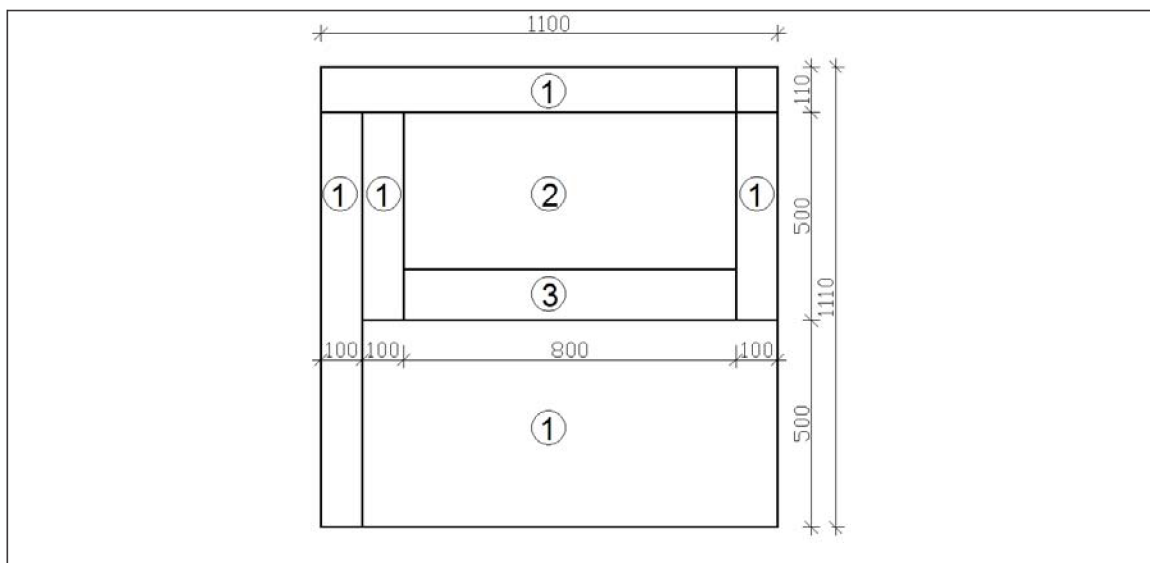
Druhé čidlo bylo umístěno ve výparníku, které řídí odtávání zmrzlého kondenzátu. Ovládací panel celého zařízení byl umístěn na konstrukci měřicího boxu.

Hlavním rozdílem oproti teplé skříně popsané v předešlé kapitole je regulace a nastavení teploty na „teplé“ straně konstrukce. V našem případě se jedná o teplotu v laboratoři. Problémem měřicího boxu je jeho chladící zařízení, které není schopné plynule regulovat teplotu uvnitř měřicího boxu. Dalším rozdílem je fakt, že v měřicím boxu a v laboratoři nemůžeme regulovat laminární proudění vzduchu, což značně ovlivní přestupové odpory konstrukcí a následně další měřené veličiny. Již tyto skutečnosti vedou k závěru, že naměřené hodnoty budou zatíženy jistou chybou. Některé z výše uvedených nedostatků se v průběhu měření podařilo eliminovat – podrobněji popsáno v kapitole 4.2.5.

4.2.4 Osazení rámu a křídla okna do měřicího boxu

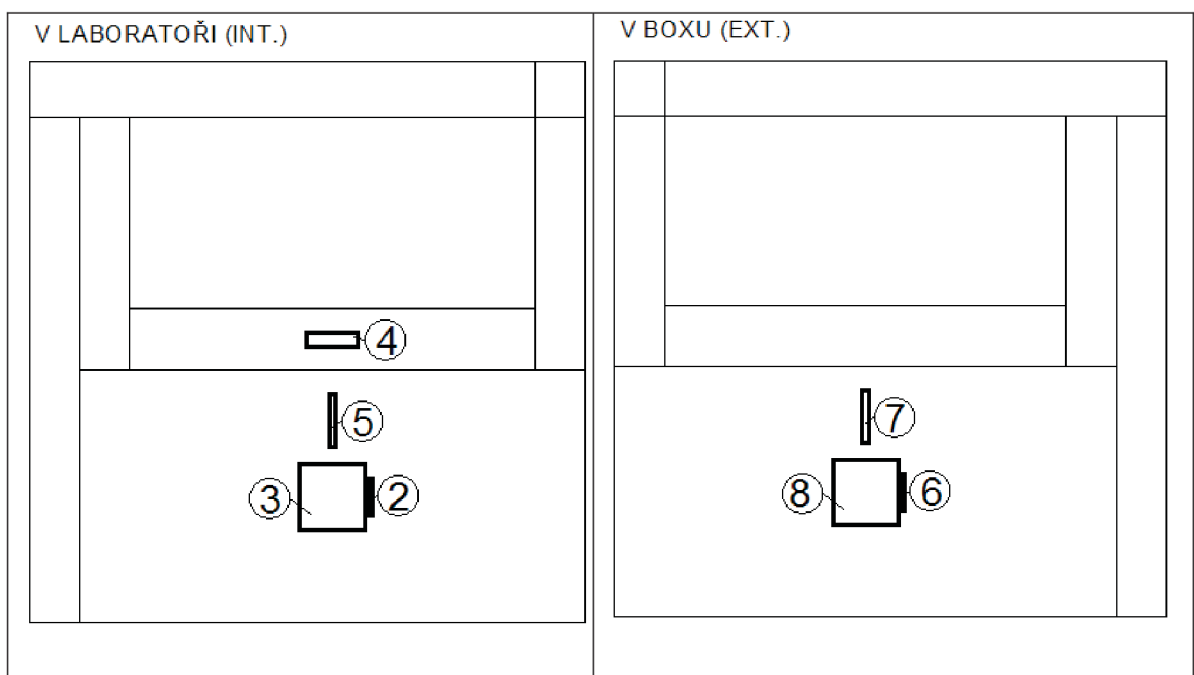
Po prostudování měřicího boxu, zjištění jeho vlastností, funkcí apod. započala práce na sestavení měřeného modelu. Po opatření části rámu a křídla okna v délce 800 mm a zajištění tepelně izolačních materiálů, EPS, těsnících pásek, PUR pěny apod., byla sestavena konstrukce, která byla následně vložena do měřicího boxu. Schéma provedené konstrukce je na obr. 58.

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



Obr. 58 Schéma modelu osazeného do měřicího boxu. 1 – EPS tl. 100 mm, 2 – EPS tl. 40 mm, 3 – rám a křídlo okna

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 bylo dostatečné pro získání potřebných hodnot k další práci. Na následujícím obrázku je znázorněno rozmístění čidel na konstrukci. Byly rozmístěny čidla pro zjištění teploty vzduchu v laboratoři a boxu, povrchové teploty na EPS v laboratoři a v boxu, tepelných toků na EPS v laboratoři a boxu a tepelných toků na rámu okna v laboratoři. Celkem bylo osazeno a rozmístěno 9 čidel, která budou dále označena čísly 0 až 8. Čidla rozmístěna v laboratoři a v boxu byla rozmístěna vždy na protějších stranách konstrukce.



Obr. 59 Znárodnění rozmístění čidel

Na obrázku 59 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.



Obr. 60 Rozmístění čidel v laboratoři



Obr. 61 Rozmístění čidel v boxu

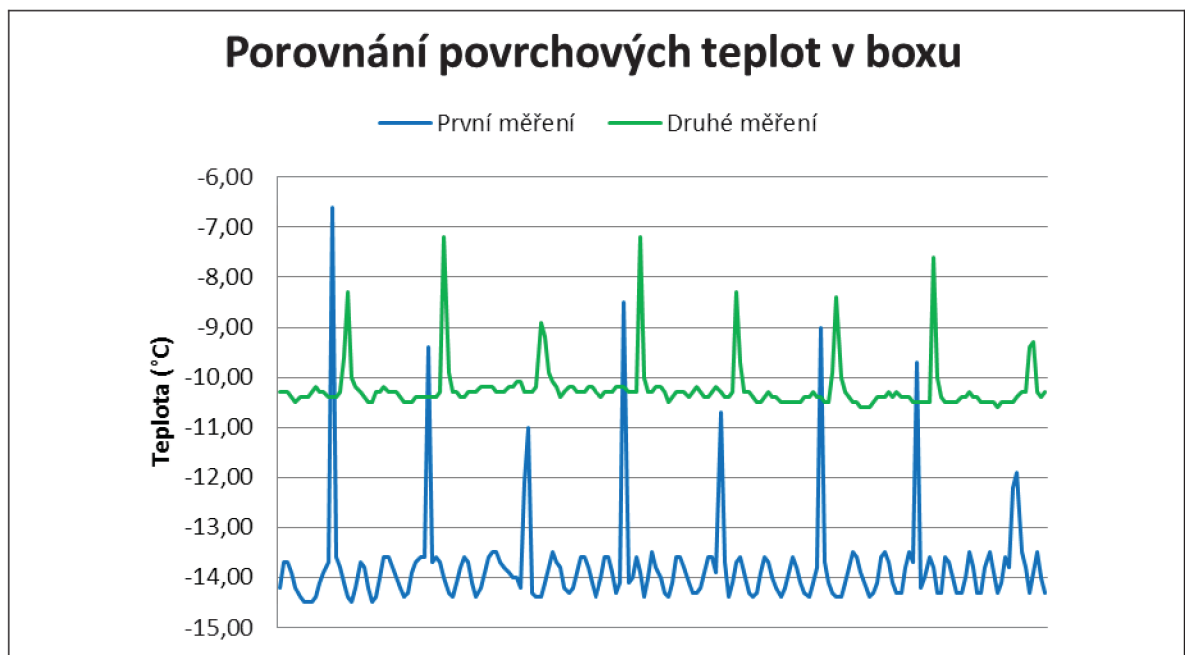
4.2.5 Výsledky z měření a výpočet vstupních údajů pro simulace

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

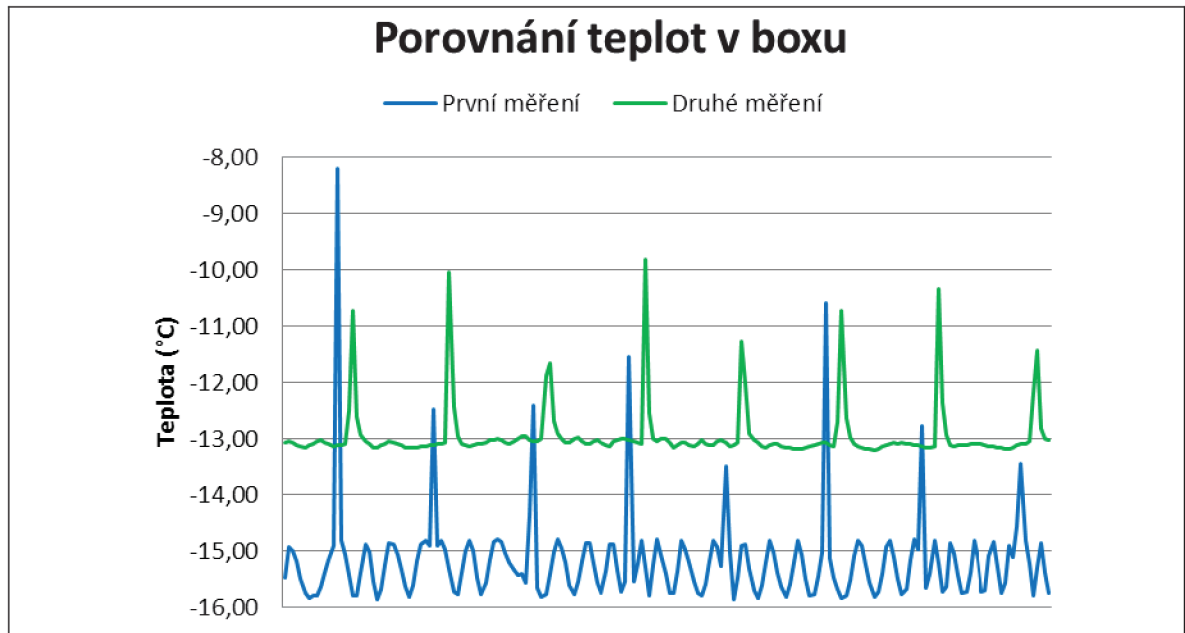
Po prostudování získaných hodnot prvního měření bylo zjištěno, že největším problémem jsou odpory na přestupu tepla ovlivněné laminárním prouděním vzduchu po konstrukcích. I

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 měřicího 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 měřené 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.



Graf 18 Porovnání povrchových teplot v boxu



Graf 19 Porovnání teplot v boxu

Na výše uvedených grafech je znázorněn průběh povrchových teplot na modelu v uvnitř boxu a teplot před měřeným modelem v boxu. V každém grafu jsou porovnány teploty z prvního měření, kdy nebyl model chráněn plachtou a z druhého měření, kdy byl model již chráněn před přímým vlivem ventilátoru. Z důvodu přehlednosti grafů jsou zobrazeny průběhy teplot pouze během dvou dnů.

Následující graf zobrazuje výkyvy hodnot hustoty tepelného toku při prvním měření bez plachty (křivka v první části grafu) a po osazení plachty (křivka v druhé části grafu).



Graf 20 Hustota tepelného toku před a pozakrytí plachtou

Z grafů je patrný vliv osazené plachty, kdy po jejím zabudování došlo k výraznému snížení výkyvů teplot a hustoty tepelných toků a tím dosažení stálejšího prostředí uvnitř boxu, před měřeným modelem.

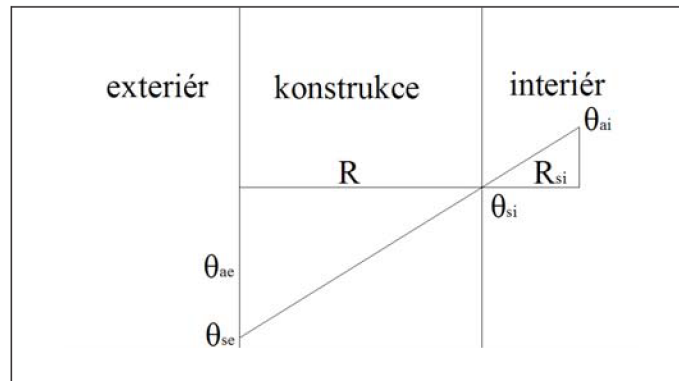
Následující tabulka uvádí statisticky zpracované výsledky z naměřených hodnot.

Tab. 11 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

Hodnoty byly zpracovány dle zásad uvedených v kapitole 1.5.5. Byl proveden výběr hodnot pro stanovení střední hodnoty a směrodatné odchylky. Z naměřených hodnot byly vyřazeny údaje při zapnutí chlazení, do doby než došlo k ustálení stavu. Dále byla provedena korekce hodnot vybočujících nad 90% průměrné hodnoty. Jednalo se o hodnoty teplot a jím odpovídajícím hustotám tepelného toku, při vypínání chladicího agregátu.

Z hodnot uvedených v tabulce 11 byly vypočítány odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně. Výpočet je možné provést dvěma způsoby. První způsob výpočtu je pomocí hustoty tepelného toku dle vzorců 29 až 32. Další možností je výpočet odporů tepla při přestupu pomocí podobnosti trojúhelníků. Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně lze spočítat ze vzorce 49. Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně lze spočítat analogicky.



Obr. 62 Znáornění podobnosti trojúhelníku

$$R_{si} = \frac{R \cdot (\theta_{ae} - \theta_{se})}{\theta_{ai} - \theta_{si}} \quad (49)$$

- kde R je tepelný odpor konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$];
 θ_{ae} teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$];
 θ_{se} venkovní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}\text{C}$];
 θ_{ai} teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$];
 θ_{si} vnitřní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}\text{C}$].

Tento výpočet vychází ze znalosti tepelného odporu měřené konstrukce. Pro výpočet byl použitý tepelný odpor polystyrenové desky, který je deklarován výrobcem. Výrobce polystyrenu deklaruje hodnotu $\lambda = 0,042 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Tepelný odpor se stanoví dle vztahu:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (50)$$

- kde d je tloušťka vrstvy [m];
 λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

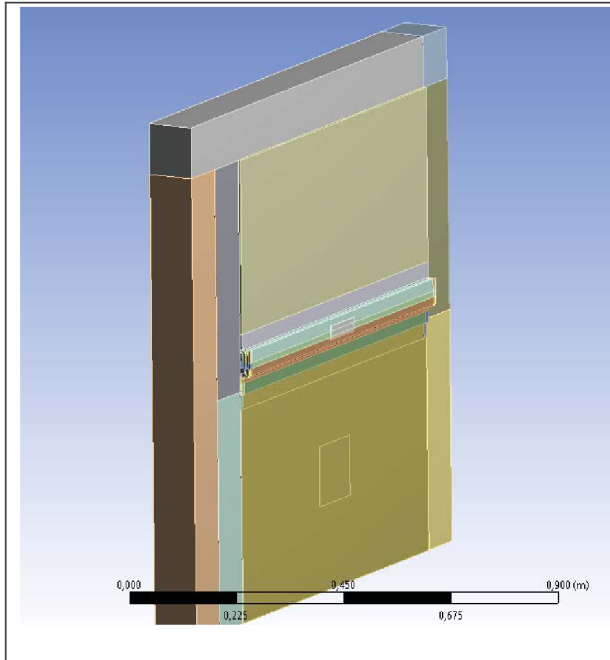
V následující tabulce jsou uvedené hodnoty odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně dle výše uvedených způsobů výpočtu.

Tab. 12 Odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jednotlivých variant

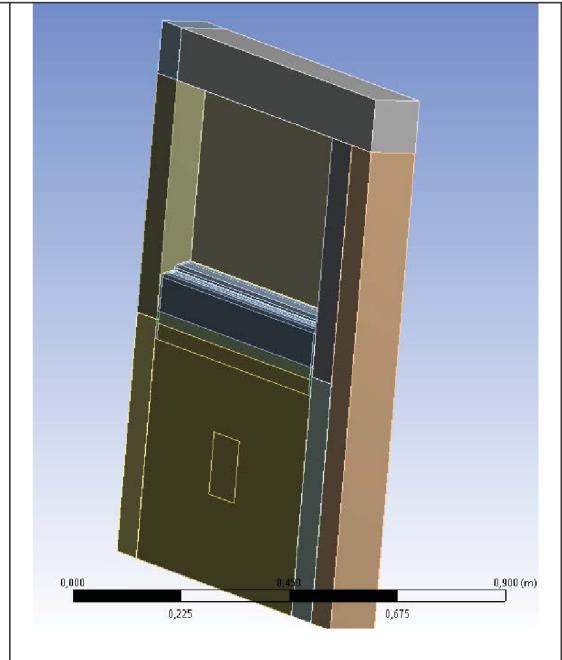
Veličina	Výpočet pomocí tepelných toků	Výpočet pomocí podobnosti trojúhelníků
R_{si}	$0,250 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$	$0,273 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
R_{se}	$0,246 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$	$0,248 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

4.2.6 Porovnání naměřených hodnot s vypočítanými hodnotami

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

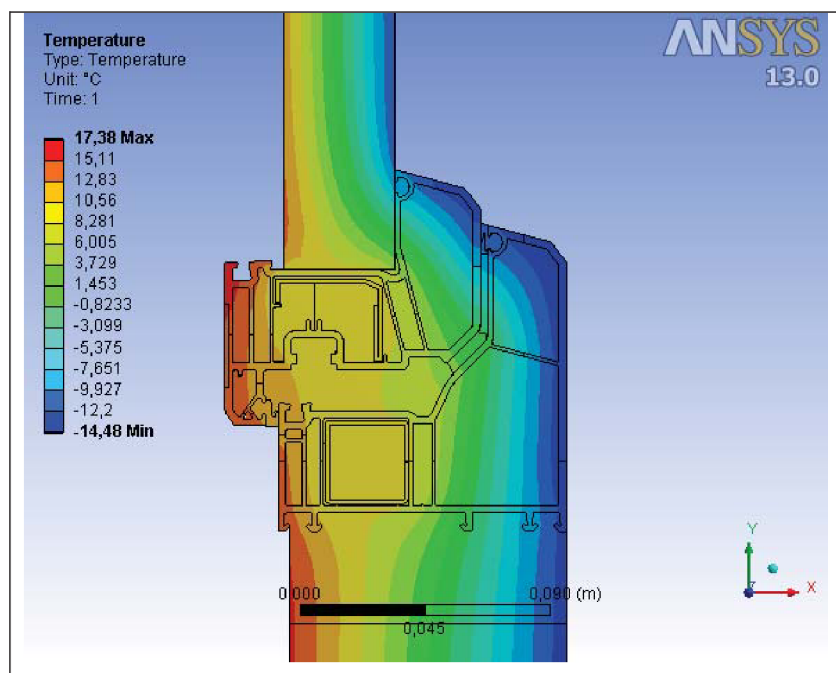


Obr. 63 Pohled na model z interiéru



Obr. 64 Pohled na model z exteriéru

Na následujícím obrázku je zobrazeno teplotní pole detailu rámu a křídla okna získaný z řešeného modelu.



Obr. 65 Řez teplotním polem řešeného detailu

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

Tab. 13 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

4.2.7 Shrnutí výsledků měření a simulací

V tabulce 13 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. Způsoby výpočtu jsou uvedeny v předchozích kapitolách této práce. 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 konstant-

ních 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.

5 VÝSLEDKY A ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE

V této části disertační práce jsou shrnuty výsledky a vyhodnocení pro jednotlivé cíle stanovené v kapitole 2. Jedná se především o výsledky z počítačových simulací.

5.1 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. Užitný vzor byl přijat ÚŘADEM PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ a zapsán pod „Značkou zápisu PUV 2009-21591“. Původci užitého vzoru jsou Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D. a Ing. Lukáš Hejný. Osvědčení o vytvoření užitého vzoru je uvedeno v příloze P II.

5.2 Vhodný způsob osazení okenních výplní

V první části jsou shrnuty výsledky a závěry ze simulací osazení okna v obvodové stěně. Ve druhé části je popsán způsob pro vylepšení tepelně technických vlastností přípojovací spáry.

5.2.1 Osazení okenní výplně v obvodové stěně

Byly provedeny simulace teplotních polí okenních výplní v různých variantách osazení. Vyhodnocení bylo provedeno jak z hlediska tepelně technických vlastností, tak z hlediska ekonomičnosti jednotlivých způsobů osazení oken. Porovnání vypočítaných hodnot bylo provedeno pomocí lineárního činitele přípojovací spáry a celkového součinitele prostupu tepla okna.

Posouzení bylo provedeno pro okno osazené na vnější líc zdiva s přetažením tepelnou izolací přes rám. Dále byl vypočítán lineární činitel přípojovací spáry, součinitel prostupu

tepla okna se započítáním lineárního činitele prostupu tepla, náklady na ukotvení a náklady na pokrytí tepelných ztrát okenní výplní. Tato varianta byla porovnána s variantou osazení okna do tepelné izolace.

Z provedených výpočtů byla stanovena 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 $U_w = 0,690 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$,
- okno uložené na zdivu $U_w = 0,748 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Hodnota součinitele prostupu tepla okna U_w bez započítaných hodnot Ψ_f je:

- pro okna uložené v tepelné izolaci a na zdivu $U_w = 0,698 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

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.

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 a v některých případech byly hodnoty Ψ_f s kotvou příznivější než mimo kotvu. 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.

Dále bylo 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.

Náklady na pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla jednoho okna za rok při osazení na zdivu jsou při vytápění objektu zemním plynem o 13,36 Kč větší než při uložení na tepelné izolaci a při vytápění objektu elektřinou o 47,29 Kč větší než při uložení na tepelné izolaci.

Náklady na ukotvení jednoho okna v tepelné izolaci jsou o 1.353,09 Kč větší než při uložení okna na zdivu.

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.

5.2.2 Vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry

Vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry okenní výplně bylo dosaženo dodatečným zateplením 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. 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.

Okenní výplně pro pasivní a nízkoenergetické domy

Porovnání bylo provedeno pro tři varianty osazení oken v obvodové konstrukci. 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 a typ okna. Jediným rozdílem je způsob osazení a vypočítaný lineární činitel prostupu tepla připojovací spáry.

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 bylo provedeno cenové porovnání na osazení oken v jednotlivých variantách. Výsledné ceny jsou uvedeny v tabulce 9. Uvedené ceny jsou pouze za materiál, bez ceny montážních prací. Cena za materiál ve variantě s vakuovou izolací a uložení okna na líc zdiva je nižší cca. o 340 Kč, než u varianty s osazením do tepelné izolace.

Okenní výplně pro běžné objekty (rámy a křídla bez tepelné izolace)

Dále byla provedena simulace pro okno bez tepelné izolace v rámu či křídle okna. Jednalo se o běžně dostupné okno na trhu. Výpočtem byl prokázán vliv připojovací spáry se zateplením vakuovou izolací na celkový součinitel prostupu tepla. Porovnání bylo provedeno opět pro tři varianty. V první variantě bylo počítáno s nulovou hodnotou lineárního činitele prostupu tepla (bez ovlivnění 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.

Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla běžného okna U_w , bez započítaného lineárního činitele připojovací spáry, byla $U_w = 1,361 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací, ale bez vložení vakuové izolace byla $U_w = 1,155 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a hodnota U_w okna osazeného na zdivu s přetažením tepelnou izolací a s vloženou vakuovou izolací byla $U_w = 1,123 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

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 PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ a zapsán pod „Značkou zápisu PUV 2009-21593“. Původci užitého vzoru jsou Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D. a Ing. Lukáš Hejný. Osvědčení o vytvoření užitého vzoru je uvedeno v příloze P III.

5.2.3 Shrnutí výsledků

Způsob osazení okenních výplní na vnější líc zdiva s přetažením tepelnou izolací a popřípadě vložení dodatečné vakuové izolace, řeší nevýhody dosavadního způsobu osazování v pasivních a nízkoenergetických domech.

Výhodou tohoto způsobu osazení okenních výplní je nižší cena za kotevní prvky, snadnější a rychlejší montáž (nižší cena, eliminace poruch), dokonalé zateplení připojovací spáry a snížení lineárního činitele prostupu tepla. Při tomto dodatečném zateplení je možné osazovat okenní výplně s horšími parametry, které ve výsledku s přídatnou vakuovou izolací před rámem vykazují stejné tepelně technické parametry, jako při osazení oken s lepšími hodnotami součinitele prostupu tepla. Z toho vyplývá i nižší cena a snížení celkových nákladů na pořízení okenních výplní.

U pasivních domů je kladen důraz na neprůvzdušnost obálky. Okenní výplně jsou napojeny na obvodové konstrukce pomocí parotěsných lepicích pásek. Při osazování do tepelné

izolace je zapotřebí větší šířka těsnicí pásky než při osazení na zdivo. Při osazení na zdivo dochází také k zjednodušení napojení těsnicí pásky na obvodovou konstrukci.

5.3 Závěr

Jedním ze stanovených cílů disertační práce bylo vylepšení tepelně technických vlastností rámu okenních výplní snížením součinitele prostupu tepla rámu. Vložení 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 přípojovací 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.

6 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 vložením 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.

7 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.

LITERATURA

- [1] BARTÁK, K. *Okna - opravy, výměny, výběr*. Praha: Grada, 2003. 102 s. ISBN 80-247-0454-4
- [2] BITTNAR, Z.; ŠEJNOHA, J. *Metoda konečných prvků I*. Praha: ČVUT, 1991. 181 s. ISBN 80-01-00557-7.
- [3] BROTÁNEK, A.; BROTÁNKOVÁ, K. *Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech*. Praha: Grada, 2012. 304 s. ISBN 978-80-247-3969-4
- [4] BROŽOVSKÝ, J.; MATERNA, A. *Metoda konečných prvků ve stavební mechanice*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava a Západočeská univerzita v Plzni, 2012. 124 s.
- [5] ĎAĎO, S.; KREIDL, M. *Senzory a měřicí obvody*. 2. vydání. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02057-6.
- [6] DVOŘÁK, D.; SKLENÁK, L. *Úvod do metrologie*. Ostrava: Ostravská univerzita Ostrava, 2012. 55 s.
- [7] FICKER, T. *Stavební tepelná technika-akustika a denní osvětlení*. Brno: CERM, 2004. 266 s. ISBN 80-214-2670-5.
- [8] HALAHYJA, M. a kolektiv. *Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie*. Bratislava: ALFA, 1985. 748 s.
- [9] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fyzika - část 2, Mechanika - Termodynamika*. Brno: VUTIUM a PROMETHEUS Praha, 2006. 576 s. ISBN 80-214-1868-0
- [10] HUDEC, M. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. Praha: Grada, 2012. 160 s. ISBN 978-80-247-4243-4
- [11] HUDEC, M. *Pasivní rodinný dům*. Praha: Grada, 2008. 112 s. ISBN 978-80-247-2555-0
- [12] CHROMÍK, R.; KLEIN, Š. *Stavební tabulky : přehled výrobků ve stavebnictví na území České a Slovenské republiky: výplně otvorů stavebních konstrukcí*. Brno: Art-projekt, 2001. ISBN 80-23-87754-2 .
- [13] KOČÍ, I. *Okna*. Praha: Grada, 2000. 82 s. ISBN 80-247-9023-8

- [14] KOHOUTOVÁ, H.; MOLL, I. *Úvod do pravděpodobnosti a matematické statistiky*. Brno: CERM, 2001. 192 s. ISBN 80-214-1811-7
- [15] MOTYKOVÁ, A. *Okna - správná řešení pro novostavby i rekonstrukce*. Praha: Grada, 2008. 112 s. ISBN 978-80-247-2674-8
- [16] PETR TYL, Z.; ŠUBRT, R. *Moderní okna*. Praha: Grada, 2012. 135 s. ISBN 978-80-247-4286-1
- [17] 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.
- [18] ŘEHÁNEK, J. *Přestup tepla na vnitřních a na vnějších površích stavebních konstrukcí*. Praha: Výzkumný ústav pozemních staveb, vedoucí pracoviště vědeckotechnického rozvoje s meziodvětvovou působností, 1981. 45 s.
- [19] ŠIMONÍK, J. *Fyzika – termika*. 3. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1977. 82 s.
- [20] ŠUBRT, R. *Tepelné mosty*. Praha: Grada, 2011. 224 s. ISBN 978-80-247-4059-1
- [21] ŠUBRT, R.; ZVÁNOVCOVÁ, P.; ŠKOPEK, M. *Katalog tepelných mostů 1 - Běžné detaily*. Praha: ENERGY CONSULTING, 2008. 224 s. ISBN 978-80-254-2715-6
- [22] TYWONIAK, J. a kolektiv. *Nízkoenergetické domy 2*. Praha: Grada, 2008. 208 s. ISBN 978-80-247-2061-6
- [23] TYWONIAK, J. a kolektiv. *Nízkoenergetické domy 3*. Praha: Grada, 2012. 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1
- [24] VAVERKA, J.; HIRŠ, J.; SKOTNICOVÁ, I. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 2006. 648 s.
- [25] VAVERKA, J.; CHYBÍK, J.; MRLÍK, F. *Stavební fyzika 2 - stavební tepelná technika*. Brno: VUTIUM, 2000. 420 s. ISBN 80-214-1649-1.
- [26] WERLE, J. *Dveře, okna, schodiště*. Praha: Ikar, 1999. 127 s. ISBN 80-7202-535-X

Normativní předpisy, vyhlášky a zákony

- [27] ČSN 25 8005:1989 Názvosloví z oboru měření teploty. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1988. 44 s.
- [28] ČSN 73 0540-1:2005 Tepelná ochrana budov - část 1: Terminologie. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 68 s.
- [29] ČSN 73 0540-2:2011+Z1 Tepelná ochrana budov - část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s.
- [30] 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.
- [31] ČSN 73 0540-4:2005 Tepelná ochrana budov - část 4: Výpočtové metody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 50 s.
- [32] ČSN EN 12412-2:2004 Tepelné chování oken, dveří a okenic - Stanovení součinitele prostupu tepla metodou teplé skříně - Část 2: Rámy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004. 40 s.
- [33] ČSN EN 13163:2009 (72 7202) Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví- Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS) - Specifikace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 44 s.
- [34] ČSN EN 60359:2003 Elektrická a elektronická měřící zařízení- Vyjadřování vlastností. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 36 s.
- [35] ČSN EN 673:2011 Sklo ve stavebnictví - Stanovení součinitele prostupu tepla (hodnota U) - Výpočtová metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 16 s.
- [36] 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.
- [37] ČSN EN ISO 10077 - 2+Oprava 1: 2012 Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 2: Výpočtová metoda pro rámy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 44 s.

- [38] ČSN EN ISO 10211: 2009 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 48 s.
- [39] 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.
- [40] ČSN EN ISO 13789:2008 (73 0565) Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 20 s.
- [41] ČSN EN ISO 13790:2005 (73 0317) Tepelné chování budov - Výpočet potřeby energie na vytápění. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 140 s.
- [42] ČSN EN ISO 14683:2009 (73 0561) Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární činitel prostupu tepla – Zjednodušené postupy a orientační hodnoty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 28 s.
- [43] ČSN EN ISO 690 (01 0197) Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 40 s.
- [44] ČSN EN ISO 6946:2008 (73 0558) Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha: Český normalizační institut, 2008. 28 s.
- [45] ČSN EN ISO 8990:1998 (73 0557) Tepelná izolace – Stanovení vlastností prostupu tepla v ustáleném stavu – Kalibrovaná a chráněná teplá skříně. Praha: Český normalizační institut. 1998. 24 s.
- [46] Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy 2010/31/EU o energetické náročnosti budov.
- [47] Vyhláška 268/2009 Sb., o obecných technických požadavcích na výstavbu.
- [48] Vyhláška č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov.
- [49] Zákon 406/2000 Sb., o hospodaření s energií, ve znění pozdějších předpisů.

Manuály, technické listy a elektronické zdroje

- [50] *Budova a její vlastnosti*. [on-line]. [cit. 2011-1-25]. dostupné z <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/3.htm#3_10>.
- [51] KALOUSEK, M. *Stavby s nízkou energetickou náročností, MODUL 01*. [on-line]. 2007. [cit. 2011-1-25]. dostupné z <<http://www.fce.vutbr.cz>>.
- [52] Rhinoceros, Verze 4.0 SR8, 2010. © 1993-2008 Robert McNeel & Associates.
- [53] SFS intec s.r.o., KATALOG VÝROBKŮ PLATNÝ OD 1.8.2009: Nastavitelná montáž oken v prostoru tepelné izolace konstrukce stěny: systém JB-D od firmy SFS intec.
- [54] *Sulko – předsazená montáž, zkušenosti, problémy, reklamace, jednání*. [on-line]. [cit. 2011-7-22]. dostupné z <<http://forum.tzb-info.cz/119279-sulko-predsazena-montaz-zkusenosti-problemy-reklamace-jednani>>.
- [55] SVOBODA, Z. *Lineární činitel prostupu tepla*. [on-line]. [cit. 2011-1-25]. dostupné z <kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=1401>.
- [56] Technické podklady a informace z internetových stránek firmy Gromathic s.r.o. [online]. 2012 dostupné z: <<http://www.gromathic.cz>>.
- [57] Uživatelský manuál programu ANSYS Workbench 12.1.
- [58] Uživatelský manuál programu AREA 2009. Svoboda software 2009.
- [59] Uživatelský manuál programu TEPLO 2009. Svoboda software 2009.
- [60] *Vakuované tepelně izolační materiály používané ve stavebnictví – VIP, VIS*. [on-line]. [cit. 2011-5-22]. dostupné z <<http://www.konstrukce.cz/clanek/vakuovane-tepelne-izolacni-materialy-pouzivane-ve-stavebnictvi-vip-vis/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Označení	Název	Jednotka
A	Plocha modelovaného detailu (plocha příčného řezu)	m^2
A_f	Plocha rámu	m^2
A_g	Plocha zasklení	m^2
b	Šířka modelovaného detailu	m
b_j	Činitel teplotní redukce j-té konstrukce	-
c	Měrná tepelná kapacita	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
c_{ξ}	Součinitel sálání dokonale černého tělesa	$W.m^{-2}.K^{-4}$
c_{ζ}	Součinitel sálání šedého tělesa	$W.m^{-2}.K^{-4}$
d	Tloušťka vrstvy konstrukce (vzdálenost dvou bodů)	m
$D(\bar{X})$	Výběrový rozptyl (disperze) aritmetického průměru	-
d_j	Tloušťka j-té vrstvy	m
E_{vp}	Roční potřeba energie pro krytí tepelných ztrát prostupem	kWh/a
f_{Rsi}	Nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu konstrukce	-
$f_{Rsi,cr}$	Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu	-
$f_{Rsi,N}$	Normou požadovaná hodnota teplotního faktoru	-
G	Produkce vodní páry v interiéru	$kg.s^{-1}$
h	Součinitel přestupu tepla	$W.m^{-2}.K^{-1}$
H_T	Měrná ztráta prostupem tepla	$W.K^{-1}$
h_{tot}	Celkový součinitel přestupu tepla	$W.m^{-2}.K^{-1}$
j	Hustota difúzního toku	$mol.m^{-2}.s^{-1}$
φ_{ε}	Návrhová relativní vlhkost vnějšího vzduchu	%
φ_i	Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu v zimním období	%
$\varphi_{i,p}$	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro stanovení požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu kece.	%
$\varphi_{\sigma_i,\chi p}$	Kritická vnitřní povrchová vlhkost	%
l_f	Celková délka stavebního otvoru	m
L_f^{2D}	Tepelná propustnost 2D detailu	$W.K^{-1}$
l_g	Celkový viditelný obvod zasklení	m

l_j	Délka j-té lineární tepelné vazby mezi konstrukcemi	m
λ_κ	Charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti	$W.m^{-1}.K^{-1}$
λ_ν	Návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti	$W.m^{-1}.K^{-1}$
q	Hustota tepelného toku	$W.m^{-2}$
Q	Teplo	J
Q_c	Celková ztráta chladícího boxu	W
$q_{\check{c}}$	Hustota sálavého toku	$W.m^{-2}$
R	Tepelný odpor	$m^2.K.W^{-1}$
R_s	Tepelný odpor při přestupu tepla	$m^2.K.W^{-1}$
R_{se}	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$m^2.K.W^{-1}$
R_{si}	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$m^2.K.W^{-1}$
S	Plocha průřezová	m^2
t	Celsiova teplota-obyčejná teplota	$^{\circ}C$
T_e	Absolutní teplota venkovního vzduchu	K
T_i	Absolutní teplota vnitřního vzduchu	K
T_m	Termodynamická teplota povrchu a jeho okolí	K
U	Součinitel prostupu tepla	$W.m^{-2}.K^{-1}$
U_f	Součinitel prostupu tepla rámu	$W.m^{-2}.K^{-1}$
U_g	Součinitel prostupu tepla zasklení	$W.m^{-2}.K^{-1}$
U_j	Součinitel prostupu tepla j-té konstrukce	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$U_{N,20}$	Součinitel prostupu tepla z tabulky 2 (ČSN 73 0540-2:2011,Z1)	$W.m^{-2}.K^{-1}$
U_w	Součinitel prostupu tepla okna	$W.m^{-2}.K^{-1}$
x,y,z	Prostorové souřadnice	m
X_i	Měřená veličina	-
Ψ	Lineární činitel prostupu tepla	$W.m^{-1}.K^{-1}$
Ψ_φ	Lineární činitel prostupu tepla j-té lineární tepelné vazby mezi konstrukcemi	$W.m^{-1}.K^{-1}$
z_1	Součinitel vnitřního prostředí	-
z_2	Součinitel materiálu	-
$z_{2,3}$	Sdružený součinitel podmínek působení	-

z_3	Součinitel způsobu zabudování materiálu	-
ΔT	Teplotní rozdíl	K
$\Delta \theta$	Teplotní rozdíl	$^{\circ}\text{C}$
ε	Emisivita povrchu	-
ε_s	Pohltivost sálání	-
θ_{ai}	Návrhová teplota vnitřního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
θ_e	Návrhová teplota venkovního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
θ_i	Teplota vnitřního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
θ_{im}	Převažující návrhová vnitřní teplota	$^{\circ}\text{C}$
θ_{se}	Teplota povrchu v exteriéru	$^{\circ}\text{C}$
θ_{si}	Teplota povrchu v interiéru	$^{\circ}\text{C}$
θ_{sim}	Převažující vnitřní povrchová teplota	$^{\circ}\text{C}$
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
λ_D	Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
λ_{ekv}	Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
λ_j	Součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ρ	Objemová hmotnost materiálu	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
σ	Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma=5,67\times 10^{-8}$	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$
τ	Časový úsek	s
Φ_{ie}	měrný tepelný tok z prostředí i do prostředí e na délku řezu	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$
Φ_p	tepelné ztráty prostupem	W
χ_j	Bodový činitel prostupu tepla j-té bodové tepelné vazby mezi konstrukcemi v rámci budovy	$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$
ψ_f	Lineární činitel prostupu tepla způsobený umístěním výplně v konstrukci	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ψ_g	Lineární činitel prostupu tepla způsobený kombinovanými tepelnými vlivy zasklení, distančního rámečku a rámu	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
\bar{X}	Aritmetický průměr měřené veličiny	-

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Označení	Název
EPS	expandovaný polystyren
MKP	metoda konečných prvků
PU/PUR	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid
VI	vakuová izolace
VIP	vakuované izolační panely
VIS	vakuované izolační sendviče
ŽB	železobeton

SEZNAM OBRÁZKŮ

Číslo	Název	Strana
Obr. 1	Popis hlavních částí okna	13
Obr. 2	Trojasklo, rám dřevo-polyuretan-hliník	21
Obr. 3	Trojasklo, celodřevěný rám	21
Obr. 4	Trojasklo, dřevo s tepelnou izolací (purenit, tvrdá polyuretanová pěna)	21
Obr. 5	Trojasklo, plast s tepelnou izolací (tvrdá polyuretanová pěna)	21
Obr. 6	Znázornění obvodu, zasklené plochy a plochy rámu	44
Obr. 7	Schéma bytu v panelovém domě	55
Obr. 8	Schéma nízkoenergetického domu	56
Obr. 9	Desky vakuové izolace	62
Obr. 10	3D model okna TOPLINE PLUS	63
Obr. 11	Schéma řezu okna TOPLINE PLUS	63
Obr. 12	Řez profilu s osazenou izolační deskou (rozměry v milimetrech)	64
Obr. 13	Průřezy komor rámu a křídla, do kterých je vložena izolace	66
Obr. 14	Dvourozměrné teplotní pole, tepelná izolace z polyuretanu	67
Obr. 15	Dvourozměrné teplotní pole, tepelná izolace z vakuové izolace	67
Obr. 16	Nevhodná volba a chybná montáž kotevního systému	69
Obr. 17	Průhyb kotvy u nadpraží	69
Obr. 18	Pohled na chybné ukotvení (exteriér)	69
Obr. 19	Vnitřní ukotvení v ostění	69
Obr. 20	Ukotvení okna u parapetu	70
Obr. 21	Uložení okna na dřevěný hranol	71
Obr. 22	Správné provedení těsnících pásek u kotvy	71
Obr. 23	Kotvení do vápenopískových cihel, betonu a pórobetnu	71
Obr. 24	Kotvení do vápenopískových cihel, betonu a pórobetnu	71
Obr. 25	Kotva do plného zdiva	72
Obr. 26	Kotva do dutinového zdiva	72
Obr. 27	Osazení okna v tepelné izolaci - parapet	74
Obr. 28	Osazení okna v tepelné izolaci – nadpraží	74
Obr. 29	Osazení okna v tepelné izolaci - ostění	75
Obr. 30	Osazení okna na zdivu - parapet	75
Obr. 31	Osazení okna na zdivu - nadpraží	76

Obr. 32	Osazení okna na zdivu - ostění	76
Obr. 33	Osazení okna v tepelné izolaci – parapet, mimo kotvu (T1-a)	81
Obr. 34	Osazení okna v tepelné izolaci – parapet, s kotvou (T1-b)	81
Obr. 35	Osazení okna v tepelné izolaci – ostění, mimo kotvu (T2-a)	82
Obr. 36	Osazení okna v tepelné izolaci – ostění, s kotvou (T2-b)	82
Obr. 37	Osazení okna v tepelné izolaci – nadpraží, mimo kotvu (T3-a)	82
Obr. 38	Osazení okna v tepelné izolaci – nadpraží, s kotvou (T3-b)	82
Obr. 39	Osazení okna na zdivu – parapet, mimo kotvu (S1-a)	83
Obr. 40	Osazení okna na zdivu – parapet, s kotvou (S1-b)	83
Obr. 41	Osazení okna na zdivu – ostění, mimo kotvu (S2-a)	83
Obr. 42	Osazení okna na zdivu – ostění, s kotvou (S2-b)	83
Obr. 43	Osazení okna na zdivu – nadpraží, mimo kotvu (S3-a)	84
Obr. 44	Osazení okna na zdivu – nadpraží, s kotvou (S3-b)	84
Obr. 45	Osazení okna na zdivu s vloženou vakuovou izolací	87
Obr. 46	Osazení okna v tepelné izolaci – ostění, mimo kotvu	88
Obr. 47	Profil rámu okna EuroFutur Classic	91
Obr. 48	Osazení okna na zdivu bez přiteplení vakuovou izolací	91
Obr. 49	Osazení okna na zdivu s přiteplením vakuovou izolací	91
Obr. 50	Trojrozměrný model osazení okna v tepelné izolaci	95
Obr. 51	Trojrozměrný model osazení okna v tepelné izolaci	95
Obr. 52	Termovizní snímek - exteriér	95
Obr. 53	Výstup z výpočtů - exteriér	95
Obr. 54	Termovizní snímek - interiér	96
Obr. 55	Výstup z výpočtů - interiér	96
Obr. 56	Izolace měřicího boxu s výparníkem	99
Obr. 57	Rám měřicího boxu s izolací	99
Obr. 58	Schéma modelu osazeného do měřicího boxu.	100
Obr. 59	Znázornění rozmístění čidel	101
Obr. 60	Rozmístění čidel v laboratoři	102
Obr. 61	Rozmístění čidel v boxu	102
Obr. 62	Znázornění podobnosti trojúhelníku	106
Obr. 63	Pohled na model z interiéru	107
Obr. 64	Pohled na model z exteriéru	107
Obr. 65	Řez teplotním polem řešeného detailu	107

SEZNAM TABULEK

Číslo	Název	Strana
Tab. 1	Vlastnosti materiálů použitých při výpočtu	65
Tab. 2	Porovnání součinitele prostupu tepla rámu	66
Tab. 3	Vlastnosti materiálů použitých při výpočtu	77
Tab. 4	Lineární činitel prostupu tepla posuzovaných detailů	79
Tab. 5	Porovnání celkového součinitele prostupu tepla okna U_w	84
Tab. 6	Tabulka hodnot součinitelů prostupu tepla, tepelných ztrát prostupem a roční potřeba energie pro krytí tepelných ztrát prostupem	85
Tab. 7	Náklady na pokrytí tepelných ztrát	86
Tab. 8	Porovnání lineárního činitele a součinitele prostupu tepla a teploty v přípojovací spáře jednotlivých variant	89
Tab. 9	Porovnání nákladů pro jednotlivé varianty	90
Tab. 10	Porovnání lineárního činitele a součinitele prostupu tepla jednotlivých variant	92
Tab. 11	Výsledné hodnoty z naměřených dat	105
Tab. 12	Odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jednotlivých variant	106
Tab. 13	Porovnání výsledků	108

SEZNAM GRAFŮ

Číslo	Název	Strana
Graf 1	Porovnání teplot u okenní výplně uložené na teplené izolaci	79
Graf 2	Porovnání Ψ_f u okenní výplně uložené na teplené izolaci	79
Graf 3	Porovnání teplot u okenní výplně uložené na zdivu	80
Graf 4	Porovnání Ψ_f u okenní výplně uložené na zdivu	80
Graf 5	Porovnání teplot mimo kotvy pro okno v tepelné izolaci a na zdivu	80
Graf 6	Porovnání Ψ_f mimo kotvy pro okno v tepelné izolaci a na zdivu	80
Graf 7	Porovnání teplot v místě kotev pro okno v tepelné izolaci a na zdivu	81
Graf 8	Porovnání Ψ_f v místě kotev pro okno v tepelné izolaci a na zdivu	81
Graf 9	Porovnání celkového součinitele prostupu tepla okna U_w	85
Graf 10	Náklady na pokrytí tepelných ztrát jedním oknem	86
Graf 11	Porovnání nákladů na ukotvení jedním oknem	86
Graf 12	Porovnání Ψ_f jednotlivých variant	89
Graf 13	Porovnání U_w jednotlivých variant	89
Graf 14	Porovnání teplot jednotlivých variant	90
Graf 15	Náklady kotevních prvků pro jedno okno	90
Graf 16	Porovnání Ψ_f jednotlivých variant	92
Graf 17	Porovnání U_w jednotlivých variant	92
Graf 18	Porovnání povrchových teplot v boxu	103
Graf 19	Porovnání teplot v boxu	104
Graf 20	Hustota tepelného toku před a pozakrytí plachtou	104

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

- [1] HEJNÝ, L. Porovnání tradiční a novodobé konstrukce rámu výplně otvoru z hlediska součinitele prostupu tepla. *JUNIORSTAV 2008, 10. Odborná konference doktorského studia*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 23.1.2008. s. 73-73 (1 str. + 11 str. v PDF na CD), ISBN 978-80-86433-45- 5
- [2] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L. Lineární činitel prostupu tepla připojovací spáry okenních výplní. *Pasivní domy 2008*, Brno: Centrum pasivního domu, 2008. s. 373-374. ISBN: 978-80-254-2848-1.
- [3] 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
- [4] HEJNÝ, L. Lineární činitel prostupu tepla připojovací spáry výplní otvorů. *JUNIORSTAV 2009, 11. Odborná konference doktorského studia*, Brno: VUT Brno FAST, 2009. s. 49, (1 s. + 6 s. v PDF na CD). ISBN 978-80-214-3810-1.
- [5] 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
- [6] HEJNÝ, L.; REMEŠ, M. Vybrané technické vlastnosti okien a analýza ich zposobu osadenia. *Eurostav 2009*, roč. 5, č. 3, (4 s.). ISBN 1336- 7617
- [7] HEJNÝ, L. Dodatečná izolace připojovací spáry výplní otvorů. *JUNIORSTAV 2010, 12. Odborná konference doktorského studia*. Brno: VUT Brno FAST, 2010. s. 59-59. ISBN 978-80-214-4042-5
- [8] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L. Vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry výplní otvorů, *Budovy a prostredie*. Bratislava: STU Bratislava, 2009, (4 s. 121-124). ISBN 978-80-227-3180-5
- [9] KALOUSEK, M.; HEJNÝ, L. Vhodný způsob osazení okenních výplní, *XII mezinárodní vědecká konference*, (4 s. 37-40). ISBN 978-80-7204-629-4
- [10] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Plochy ve stavebnictví 1. díl – podlahové plochy. *Střechy, fasády, izolace* [online]. 2012. Dostupné na www: <http://www.strechy-fasady-izolace.cz/temata/slovo odbornika/plochy-ve%20stavebnictvi-1-dil->

%e2%80%93-podlahove-plochy

- [11] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Plochy ve stavebnictví 2. díl – Podlahová plocha v tepelně technických výpočtech. *Střechy, fasády, izolace* [online]. 2012. Dostupné na [www: http://www.střechy-fasady-izolace.cz/temata/slovo odbornika/plochy-ve%2%a0stavebnictvi-2-dil-%e2%80%93-podlahova-plocha-v%2%a0tepelnetechnickych-vypoctech](http://www.střechy-fasady-izolace.cz/temata/slovo odbornika/plochy-ve%2%a0stavebnictvi-2-dil-%e2%80%93-podlahova-plocha-v%2%a0tepelnetechnickych-vypoctech)
- [12] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Plochy ve stavebnictví 3. díl – Plochy ostatní. *Střechy, fasády, izolace* [online]. 2012. Dostupné na [www: http://www.střechy-fasady-izolace.cz/temata/slovo odbornika/plochy-ve-stavebnictvi-3-dil-plochy-ostatni](http://www.střechy-fasady-izolace.cz/temata/slovo odbornika/plochy-ve-stavebnictvi-3-dil-plochy-ostatni)
- [13] 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
- [14] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Podlahové plochy ve stavebnictví. *Sborník anotací Juniorstav 2011*, 13. Odborná konference doktorského studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011. s. 28-28. ISBN: 978-80-214-4232-0
- [15] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Plochy ve stavebnictví : 3. díl - Plochy ostatní. *Střechy, fasády, izolace*, 2011, roč. 18, č. 5, s. 17-19. ISSN: 1212- 0111
- [16] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Plochy ve stavebnictví : 2. díl - Podlahová plocha v tepelně technických výpočtech. *Střechy, fasády, izolace*, 2011, roč. 18, č. 4, s. 14-15. ISSN: 1212- 0111
- [17] HEJNÝ, L.; REMEŠ, J. Podlahové plochy v tepelně technických výpočtech. *Sborník anotací Juniorstav 2011*, 13. Odborná konference doktorského studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011. s. 62-62. ISBN: 978-80-214-4232-0
- [18] HEJNÝ, L. Linear agent of heat transfer of windows attachment interspace. *the 5th International Conference Solaris 2011, PhD Poster Session*. Brno 2011. ISBN 978-80-214-4311-2
- [19] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L.; Plochy ve stavebnictví a nejasnosti s jejich definováním. *Materiály pro stavbu* [online]. 2011, srpen. Dostupné na [www: http://imaterialy.dumabyt.cz/Aktuality/Materialy-pro-stavbu-8-2011.html](http://imaterialy.dumabyt.cz/Aktuality/Materialy-pro-stavbu-8-2011.html)
- [20] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Tepelně technické hodnocení spádových vrstev z tepelné izolace v plochých střeších. *Tepelná ochrana budov*, 2012, roč. 15, č. 1, s. 6-10.

ISSN: 1213- 0907

- [21] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Spádové vrstvy z tepelné izolace v plochých střechách. *In Sborník anotací konference Juniorstav 2011, 13. Odborná konference doktorského studia*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2012. s. 60-60. ISBN: 978-80-214-4393-8
- [22] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Ploché střechy se spádovou vrstvou z tepelné izolace. *Realizace staveb*, 2012, roč. VII, č. 03/ 2012, s. 16-17. ISSN: 1802- 0631
- [23] REMEŠ, J.; HEJNÝ, L. Tepelně technické hodnocení spádových vrstev z tepelné izolace v plochých střechách. *LOPFAS Lehké Obvodové Pláště Fasády a Střechy: Sborník k odbornému celostátnímu semináři*. Ústí nad Labem: STAVOKONZULT, 2012. s. 153-159
- [24] HEJNÝ, L.; REMEŠ, M. Průkaz energetické náročnosti budov - 1. díl. *BYDLENÍ.CZ* [online]. 2013, únor. Dostupné na [www: http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov-PENB-a-zmeny-po-1-1-2013](http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov-PENB-a-zmeny-po-1-1-2013)
- [25] HEJNÝ, L.; REMEŠ, M. Průkaz energetické náročnosti budov - 2. díl. *BYDLENÍ.CZ* [online]. 2013, únor. Dostupné na [www: http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov?fc=241](http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov?fc=241)
- [26] HEJNÝ, L.; REMEŠ, M. Průkaz energetické náročnosti budov - 3. díl. *BYDLENÍ.CZ* [online]. 2013, únor. Dostupné na [www: http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov_5084](http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov_5084)
- [27] HEJNÝ, L.; REMEŠ, M. Průkaz energetické náročnosti budov - 4. díl. *BYDLENÍ.CZ* [online]. 2013, březen. Dostupné na [www: http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov-a-Nova-zelena-usporam](http://zdrave.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov-a-Nova-zelena-usporam)
- [28] HEJNÝ, L.; REMEŠ, M. Průkaz energetické náročnosti budov - 5. díl. *BYDLENÍ.CZ* [online]. 2013, duben. Dostupné na [www: http://www.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov-5-dil](http://www.bydleni.cz/clanek/Prukaz-energeticke-narocnosti-budov-5-dil)

SEZNAM GRANTŮ

- [1] Projekt FRVŠ na rok 2009 (Ústav PST) s názvem: „*Vývoj postupu získání přesných hodnot lineárního činitele v programu ANSYS. Multimediální pomůcka pro výuku předmětu počítačová aplikace tepelné techniky*“, Řešitel: Ing. Roman Brzoň, spoluřešitel: Ing. Milan Ostrý, PhD., Ing. Lukáš Hejný. Grant nebyl přidělen.
- [2] 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.
- [3] Vnitřní grant FAST na rok 2009 (Ústav PST) s názvem: „*Měření průvzdušnosti obvodových pláštů*“, Řešitel: Ing. Barbora Koláčková, spoluřešitel: Ing. Lukáš Hejný. Grant byl přidělen.
- [4] Projekt FRVŠ na rok 2009 (Ústav PST) s názvem: „*Rozšíření stávajících předmětů využívajících stavební fyziku o metody určování tepelně-fyzikálních vlastností přírodních a obnovitelných materiálů ve stavebních konstrukcích*“, Řešitel: Ing. Daniel Grmela, spoluřešitel: Ing. Danuše Čuprová, CSc., Ing. Lukáš Hejný. Grant nebyl přidělen.
- [5] Projekt FRVŠ na rok 2010 (Ústav PST) s názvem: „*Vývoj postupu získání přesných hodnot lineárního činitele v programu ANSYS. Multimediální pomůcka pro výuku předmětu počítačová aplikace tepelné techniky*“, Řešitel: Ing. Roman Brzoň, spoluřešitel: Ing. Milan Ostrý, PhD., Ing. Lukáš Hejný. Grant nebyl přidělen.

SEZNAM UŽITNÝCH VZORŮ

- [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 rámu. 20095, užitný vzor. Praha (2009).

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: VLIV OKENNÍCH VÝPLNÍ NA TEPLENÉ ZTRÁTY

PŘÍLOHA P II: OSVĚDČENÍ O VYTVOŘENÍ UŽITNÉHO VZORU

PŘÍLOHA P III: OSVĚDČENÍ O VYTVOŘENÍ UŽITNÉHO VZORU

PŘÍLOHA P IV: UKÁZKA NAMĚŘENÝCH DAT

PŘÍLOHA P I: VLIV OKENNÍCH VÝPLNÍ NA TEPLENÉ ZTRÁTY**Výplně otvorů****Okna osazená v bytě****a) tradiční konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 1,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$**

Varianta 1a:

Běžný typ oken na trhu. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří ocelové výztuhy.

Tab. P I.1 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1500/1500	1,10	1,30	0,07	1,32	5

Varianta 2a:

Běžný typ oken na trhu. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří ocelové výztuhy.

Tab. P I.2 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1500/1500	0,7	1,30	0,07	1,04	5

Varianta 3a:

Běžný typ oken na trhu. Jedná se o pětikomorová plastová okna s teplým distančním rámečkem Swisspacer, vyztužení rámu tvoří plastové kompozity.

Tab. P I.3 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1500/1500	0,30	1,30	0,03	0,76	5

b) novodobá konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 0,80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Varianta 1b:

Nový výrobek od firmy ALUPLAST. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří plastové kompozity.

Tab. P I.4 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1500/1500	1,10	0,8	0,07	1,16	5

Varianta 2b:

Nový výrobek od firmy ALUPLAST. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří plastové kompozity.

Tab. P I.5 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1500/1500	0,7	0,8	0,07	0,89	5

Varianta 3b:

Nový výrobek od firmy ALUPLAST. Jedná se o pětikomorová plastová okna s teplým distančním rámečkem Swisspacer, vyztužení rámu tvoří plastové kompozity.

Tab. P I.6 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1500/1500	0,30	0,80	0,03	0,52	5

Okna osazená v nízkoenergetickém domě

a) tradiční konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 1,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Varianta 1a:

Běžný typ oken na trhu. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří ocelové výztuhy.

Tab. P I.7 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1800/1450	1,10	1,30	0,07	1,30	4
2	900/2350	1,10	1,30	0,07	1,35	1
3	900/2270	1,10	1,30	0,07	1,35	1
4	1200/750	1,10	1,30	0,07	1,42	1
5	1500/750	1,10	1,30	0,07	1,41	1

6	1200/1250	1,10	1,30	0,07	1,36	1
7	2100/2350	1,10	1,30	0,07	1,25	1
8	2400/2350	1,10	1,30	0,07	1,25	1
9	1500/1250	1,10	1,30	0,07	1,33	1

Varianta 2a:

Běžný typ oken na trhu. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří ocelové výztuhy.

Tab. P I.8 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1800/1450	0,70	1,30	0,07	1,02	4
2	900/2350	0,70	1,30	0,07	1,09	1
3	900/2270	0,70	1,30	0,07	1,10	1
4	1200/750	0,70	1,30	0,07	1,21	1
5	1500/750	0,70	1,30	0,07	1,18	1
6	1200/1250	0,70	1,30	0,07	1,10	1
7	2100/2350	0,70	1,30	0,07	0,94	1
8	2400/2350	0,70	1,30	0,07	0,92	1
9	1500/1250	0,70	1,30	0,07	1,07	1

Varianta 3a:

Nový výrobek od firmy ALUPLAST. Jedná se o pětikomorová plastová okna s teplým distančním rámečkem Swisspacer, vyztužení rámu tvoří plastové kompozity.

Tab. P I.9 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1800/1450	0,30	1,30	0,03	0,65	4
2	900/2350	0,30	1,30	0,03	0,73	1
3	900/2270	0,30	1,30	0,03	0,73	1
4	1200/750	0,30	1,30	0,03	0,87	1
5	1500/750	0,30	1,30	0,03	0,83	1
6	1200/1250	0,30	1,30	0,03	0,74	1

7	2100/2350	0,30	1,30	0,03	0,56	1
8	2400/2350	0,30	1,30	0,03	0,54	1
9	1500/1250	0,30	1,30	0,03	0,70	1

b) novodobá konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 0,80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Varianta 1b:

Nový výrobek o d firmy ALUPLAST. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří ocelové výztuhy.

Tab. P I.10 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1800/1450	1,10	0,80	0,07	1,16	4
2	900/2350	1,10	0,80	0,07	1,18	1
3	900/2270	1,10	0,80	0,07	1,18	1
4	1200/750	1,10	0,80	0,07	1,19	1
5	1500/750	1,10	0,80	0,07	1,19	1
6	1200/1250	1,10	0,80	0,07	1,17	1
7	2100/2350	1,10	0,80	0,07	1,15	1
8	2400/2350	1,10	0,80	0,07	1,15	1
9	1500/1250	1,10	0,80	0,07	1,17	1

Varianta 2b:

Nový výrobek o d firmy ALUPLAST. Jedná se o pětikomorová plastová okna s hliníkovým distančním rámečkem, vyztužení rámu tvoří ocelové výztuhy.

Tab. P I.11 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1800/1450	0,70	0,80	0,07	0,88	4
2	900/2350	0,70	0,80	0,07	0,92	1
3	900/2270	0,70	0,80	0,07	0,92	1
4	1200/750	0,70	0,80	0,07	0,97	1
5	1500/750	0,70	0,80	0,07	0,96	1
6	1200/1250	0,70	0,80	0,07	0,92	1

7	2100/2350	0,70	0,80	0,07	0,83	1
8	2400/2350	0,70	0,80	0,07	0,83	1
9	1500/1250	0,70	0,80	0,07	0,90	1

Varianta 3b:

Nový výrobek od firmy ALUPLAST. Jedná se o pětikomorová plastová okna s teplým distančním rámečkem Swisspacer, vyztužení rámu tvoří plastové kompozity.

Tab. P I.12 Popis oken

Ozn. okna	Rozměry (mm)	U_g (W/m ² K)	U_f (W/m ² K)	Ψ_g (W/mK)	U_w (W/m ² K)	Počet (ks)
1	1800/1450	0,30	0,80	0,03	0,50	4
2	900/2350	0,30	0,80	0,03	0,55	1
3	900/2270	0,30	0,80	0,03	0,56	1
4	1200/750	0,30	0,80	0,03	0,63	1
5	1500/750	0,30	0,80	0,03	0,61	1
6	1200/1250	0,30	0,80	0,03	0,56	1
7	2100/2350	0,30	0,80	0,03	0,45	1
8	2400/2350	0,30	0,80	0,03	0,44	1
9	1500/1250	0,30	0,80	0,03	0,54	1

Získaná data

Q_t	(kWh/a)	Potřeba tepla pro pokrytí tepelných ztrát prostupem
Q_h	(kWh/a)	Celková potřeba tepla pro pokrytí tepelných ztrát
Q_o	(kWh/a)	Potřeba tepla pro pokrytí tepelných ztrát prostupem výplní otvorů
F_o	(kW)	Tepelné ztráty prostupem výplněmi otvorů
U_g	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	Součinitel prostupu tepla zasklení
U_f	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	Součinitel prostupu tepla rámu

Hodnoty pro byt

a) tradiční konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 1,30 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Tab. P I.13 Hodnoty tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění

Varianta	U_g (W/m ² K)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty oknem (%)
1a	1,10	4164	4881	942	0,546	19,3

2a	0,70	3866	4583	728	0,431	15,9
3a	0,30	3569	4286	518	0,315	12,1

b) novodobá konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 0,80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Tab. P I.14 Hodnoty tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění

Varianta	U_g ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty oknem (%)
1b	1,10	3994	4711	819	0,480	17,4
2b	0,70	3707	4424	615	0,368	13,9
3b	0,30	3314	4031	346	0,215	8,6

Hodnoty pro nízkoenergetický dům

a) tradiční konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 1,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Tab. P I.15 Hodnoty tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění

Varianta	U_g ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty oknem (%)
1a	1,10	9595	10493	3662	1,417	34,9
2a	0,70	8791	9689	2855	1,106	29,5
3a	0,30	7750	8647	1808	0,7	20,9

b) novodobá konstrukce rámu výplně otvoru s $U_f = 0,80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Tab. P I.16 Hodnoty tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění

Varianta	U_g ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty ok- nem (%)
1b	1,10	9306	10204	3367	1,307	33,0
2b	0,70	8406	9304	2465	0,955	26,5
3b	0,30	7351	8249	1410	0,543	17,1

Porovnání vybraných dat

Porovnání pro byt

Úspora potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem výplní otvorů při osazení následujících typů oken.

Tab. P I.17 Úspora tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem výplní otvorů

Varianta	U_f (W/m ² K)	U_g (W/m ² K)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty oknem (%)	Úspora (%)
3a	1,30	0,30	3569	4286	518	0,315	12,1	33,2
3b	0,80	0,30	3314	4031	346	0,215	8,6	

Úspora celkové potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu při osazení následujících typů oken.

Tab. P I.18 Úspora tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem výplní otvorů

Varianta	U_f (W/m ² K)	U_g (W/m ² K)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty oknem (%)	Úspora (%)
3a	1,30	0,30	3569	4286	518	0,315	12,1	5,9
3b	0,80	0,30	3314	4031	346	0,215	8,6	

Porovnání pro nízkoenergetický dům

Úspora potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem výplní otvorů při osazení následujících typů oken.

Tab. P I.19 Úspora tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem výplní otvorů

Varianta	U_f (W/m ² K)	U_g (W/m ² K)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty oknem (%)	Úspora (%)
3a	1,30	0,30	7750	8647	1808	0,7	20,9	22,0
3b	0,80	0,30	7351	8249	1410	0,543	17,1	

Úspora celkové potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu při osazení následujících typů oken.

Tab. P I.20 Úspora tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem výplní otvorů

Varianta	U_f (W/m ² K)	U_g (W/m ² K)	Q_t (kWh/a)	Q_h (kWh/a)	Q_o (kWh/a)	F_o (kW)	Ztráty oknem (%)	Úspora (%)
3a	1,30	0,30	7750	8647	1808	0,7	20,9	4,6
3b	0,80	0,30	7351	8249	1410	0,543	17,1	

PŘÍLOHA P II: OSVĚDČENÍ O VYTVOŘENÍ UŽITNÉHO VZORU

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ
Antonína Čermáka 2a, 160 68 Praha 6 - Bubeneč

Značka spisu **PUV 2009-21591**
Číslo zápisu: 20095
Vaše zn.:

Doručit:
PUV 2009-21591
Ing. Libor Markes
Grohova 54
602 00 Brno

V korespondenci uveďte značku spisu !

V Praze dne 27.4.2010

O s v ě d ě n í
dle § 154 zák. č. 500/2004 Sb., správní řád

S účinností od 27.04.2010 zapsal Úřad průmyslového vlastnictví do rejstříku u výše uvedeného užitého vzoru dalšího původce, kterým je:

Hejný Lukáš Ing., Potoky 3888, 76001 Zlín, CZ

Původci shora uvedeného užitého vzoru tedy jsou:

Kalousek Miloš doc. Ing. Ph.D., Brno, CZ
Hejný Lukáš Ing., Zlín, CZ

Úřad průmyslového vlastnictví
Antonína Čermáka 2a
160 68 Praha 6 - Bubeneč

Irena Jonášová
oddělení 703

20137n - Zápis dalšího původce

Úřad průmyslového vlastnictví, Antonína Čermáka 2a, 160 68 Praha 6, www.upv.cz
Tel.: 220 383 111, E-mail: posta@upv.cz, Fax: 224 324 718

PŘÍLOHA P III: OSVĚDČENÍ O VYTVOŘENÍ UŽITNÉHO VZORU

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ
Antonína Čermáka 2a, 160 68 Praha 6 - Bubeneč

Značka spisu **PUV 2009-21593**
Číslo zápisu: 20114
Vaše zn.:

Doručit:
PUV 2009-21593
Ing. Libor Markeš
Grohova 54
602 00 Brno

V korespondenci uveďte značku spisu !

V Praze dne 27.4.2010

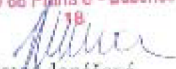
O s v ě d ě n í dle § 154 zák. č. 500/2004 Sb., správní řád

S účinností od 27.04.2010 zapsal Úřad průmyslového vlastnictví do rejstříku u výše uvedeného užitého vzoru dalšího původce, kterým je:

Hejný Lukáš Ing., Potoky 3888, 76001 Zlín, CZ

Původci shora uvedeného užitého vzoru tedy jsou:

Kalousek Miloš doc. Ing. Ph.D., Brno, CZ
Hejný Lukáš Ing., Zlín, CZ

Úřad průmyslového vlastnictví
Antonína Čermáka 2a
160 68 Praha 6 - Bubeneč
18

Irena Jonášová
oddělení 703

201376 - Zápis dalšího původce

Úřad průmyslového vlastnictví, Antonína Čermáka 2a, 160 68 Praha 6, www.upv.cz
Tel.: 220 383 111, E-mail: post@upv.cz, Fax: 224 324 718

PŘÍLOHA P IV: UKÁZKA NAMĚŘENÝCH DAT

Ukázka naměřených hodnot řešeného modelu, během jednoho měřicího dne.

0 - vnitřní teplota v laboratoři (stálé čidlo)

1 - teplota v boxu (stálé čidlo u kompresoru)

2 - povrchová teplota na EPS v laboratoři

3 - tepelný tok na EPS v laboratoři

4 - tepelný tok na rámu 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 - tepelný tok na EPS v boxu

Čas	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0:12:51	18,96	-15,66	15,50	-11,20	-14,80	18,30	-9,90	-12,51	12,60
0:27:51	18,95	-15,72	15,40	-11,60	-15,40	18,30	-10,10	-12,82	11,50
0:42:51	18,94	-15,74	15,40	-11,70	-14,90	18,28	-10,10	-12,89	11,60
0:57:51	18,93	-15,88	15,40	-11,40	-14,10	18,29	-10,20	-12,92	12,10
1:12:51	18,93	-16,12	15,40	-11,70	-15,30	18,28	-10,20	-12,96	12,60
1:27:51	18,93	-15,98	15,40	-11,50	-14,60	18,28	-10,20	-12,94	12,10
1:42:51	18,91	-15,94	15,40	-11,70	-14,60	18,26	-10,20	-12,95	11,90
1:57:51	18,91	-15,87	15,40	-11,80	-14,60	18,25	-10,20	-12,96	11,50
2:12:51	18,91	-15,78	15,30	-11,40	-15,20	18,26	-10,30	-12,96	11,60
2:27:51	18,89	-15,58	15,30	-11,40	-14,50	18,25	-10,20	-12,95	11,20
2:42:51	18,87	-15,34	15,40	-11,40	-14,70	18,25	-10,20	-12,96	10,60
2:57:51	18,87	-15,06	15,40	-11,70	-14,00	18,24	-10,20	-12,97	10,60
3:12:51	18,89	-15,06	15,30	-12,00	-14,80	18,24	-10,20	-12,97	10,50
3:27:51	18,91	-14,79	15,30	-11,70	-14,50	18,25	-10,20	-12,99	9,90
3:42:51	18,96	-14,28	15,30	-11,80	-14,60	18,30	-10,20	-13,00	8,90
3:57:51	19,02	-14,22	15,30	-11,90	-14,80	18,33	-10,30	-12,99	9,00
4:12:51	19,07	-14,19	15,40	-11,70	-14,70	18,37	-10,20	-12,99	8,90
4:27:51	19,11	-14,06	15,40	-11,80	-14,40	18,39	-10,20	-12,98	8,30
4:42:51	19,16	-14,15	15,40	-11,70	-14,10	18,42	-10,30	-13,00	9,00
4:57:51	19,19	-14,58	15,40	-11,70	-14,10	18,43	-10,40	-13,03	10,00
5:12:51	19,21	-15,06	15,40	-11,50	-14,40	18,46	-10,40	-13,01	10,10
5:27:51	19,21	-15,58	15,50	-12,20	-15,00	18,46	-10,30	-13,01	11,70
5:42:51	19,23	-15,90	15,50	-12,00	-14,90	18,49	-10,30	-12,98	12,40
5:57:51	19,25	-8,82	15,60	-11,30	-14,60	18,51	-7,00	-9,83	3,40
6:12:51	19,25	-15,96	15,70	-11,30	-15,00	18,52	-9,80	-12,13	14,20
6:27:51	19,27	-15,98	15,60	-11,70	-14,60	18,51	-10,10	-12,78	12,80
6:42:51	19,28	-15,68	15,60	-11,90	-14,90	18,52	-10,30	-12,93	11,80
6:57:51	19,30	-15,82	15,50	-11,90	-15,10	18,52	-10,30	-12,97	12,10
7:12:51	19,30	-15,80	15,60	-12,30	-14,90	18,57	-10,30	-12,99	12,00
7:27:51	19,32	-15,92	15,60	-11,80	-14,70	18,56	-10,30	-12,98	12,40
7:42:51	19,35	-15,81	15,60	-12,10	-14,80	18,58	-10,30	-12,98	12,10
7:57:51	19,44	-15,76	15,60	-11,70	-14,40	18,65	-10,30	-12,99	11,60
8:12:51	19,53	-16,02	15,70	-11,70	-14,60	18,70	-10,30	-12,97	12,40

8:27:51	19,61	-16,10	15,80	-12,30	-14,80	18,77	-10,20	-12,96	12,60
8:42:51	19,69	-16,32	15,80	-11,90	-15,00	18,81	-10,30	-12,93	13,10
8:57:51	19,70	-16,22	15,90	-11,80	-15,20	18,86	-10,20	-12,91	12,80
9:12:51	19,79	-15,96	15,90	-12,30	-16,80	18,90	-10,10	-12,88	12,30
9:27:51	19,82	-15,82	16,00	-12,20	-16,40	18,94	-10,10	-12,86	11,90
9:42:51	19,87	-15,60	16,00	-12,20	-15,80	18,97	-10,10	-12,89	12,00
9:57:51	19,91	-15,30	16,00	-12,50	-15,30	19,01	-10,10	-12,88	11,00
10:12:51	19,93	-15,06	16,00	-11,80	-15,00	19,00	-10,10	-12,88	10,70
10:27:51	19,93	-14,72	16,00	-12,20	-15,40	19,03	-10,10	-12,91	10,00
10:42:51	19,96	-14,02	16,00	-12,20	-15,20	19,03	-10,20	-12,96	8,60
10:57:51	20,02	-14,37	16,10	-12,20	-14,90	19,04	-10,20	-12,96	9,70
11:12:51	19,95	-14,96	16,00	-11,80	-14,70	19,05	-10,30	-12,98	10,30
11:27:51	20,00	-15,61	16,10	-12,10	-15,40	19,10	-10,20	-12,94	11,70
11:42:51	20,03	-16,30	16,20	-12,60	-15,20	19,16	-10,20	-12,90	12,90
11:57:51	20,05	-12,64	16,20	-12,20	-17,40	19,18	-9,00	-11,86	5,10
12:12:51	20,11	-14,07	16,30	-11,10	-14,70	19,23	-9,00	-11,38	13,40
12:27:51	20,16	-14,66	16,30	-11,90	-14,80	19,27	-10,00	-12,61	10,80
12:42:51	20,16	-15,14	16,30	-11,90	-14,60	19,28	-10,20	-12,86	10,80
12:57:51	20,18	-15,28	16,30	-11,90	-14,50	19,31	-10,20	-12,92	11,20
13:12:51	20,21	-15,46	16,30	-13,00	-15,20	19,30	-10,20	-12,92	11,70
13:27:51	20,32	-15,70	16,30	-12,00	-15,10	19,35	-10,20	-12,91	12,10
13:42:51	20,21	-15,79	16,30	-12,90	-15,30	19,35	-10,20	-12,90	12,00
13:57:51	20,25	-15,73	16,30	-12,10	-15,00	19,35	-10,20	-12,90	12,30
14:12:51	20,25	-15,60	16,30	-12,20	-15,20	19,39	-10,20	-12,91	12,00
14:27:51	20,30	-15,50	16,40	-12,20	-15,20	19,41	-10,20	-12,91	12,30
14:42:51	20,32	-15,34	16,30	-12,20	-14,70	19,38	-10,20	-12,91	10,90
14:57:51	20,32	-15,67	16,30	-11,90	-14,60	19,40	-10,20	-12,89	12,30
15:12:51	20,32	-15,86	16,40	-11,90	-15,10	19,44	-10,10	-12,88	12,60
15:27:51	20,34	-15,92	16,40	-12,60	-15,30	19,44	-10,10	-12,86	12,70
15:42:51	20,39	-16,02	16,50	-11,90	-14,70	19,45	-10,10	-12,85	12,60
15:57:51	20,34	-15,84	16,30	-11,70	-14,50	19,41	-10,20	-12,87	12,90
16:12:51	20,25	-15,92	16,30	-11,80	-14,40	19,36	-10,20	-12,88	12,30
16:27:51	20,19	-16,00	16,30	-12,20	-15,00	19,32	-10,10	-12,88	12,30
16:42:51	20,16	-16,23	16,30	-11,90	-14,70	19,30	-10,10	-12,86	12,70
16:57:51	20,14	-16,24	16,30	-12,00	-14,80	19,30	-10,10	-12,85	13,00
17:12:51	20,09	-16,06	16,20	-12,70	-15,70	19,27	-10,00	-12,82	12,80
17:27:51	20,09	-16,18	16,30	-12,20	-16,10	19,27	-10,10	-12,83	12,60
17:42:51	20,04	-16,12	16,20	-12,20	-15,70	19,25	-10,10	-12,83	12,80
17:57:51	20,03	-13,90	16,20	-12,20	-15,00	19,22	-9,90	-12,72	7,20
18:12:51	20,03	-13,10	16,30	-11,40	-14,70	19,22	-6,90	-9,48	13,10
18:27:51	20,02	-15,92	16,40	-11,80	-15,50	19,23	-9,60	-12,21	13,80
18:42:51	20,03	-16,03	16,30	-12,10	-15,50	19,23	-9,90	-12,67	12,90
18:57:51	20,02	-16,05	16,20	-12,20	-15,20	19,23	-10,10	-12,81	12,60
19:12:51	19,98	-16,06	16,20	-12,30	-14,90	19,21	-10,00	-12,82	12,40
19:27:51	19,93	-16,22	16,20	-12,10	-15,80	19,17	-10,10	-12,85	12,60
19:42:51	19,86	-16,10	16,10	-11,80	-14,30	19,13	-10,10	-12,88	12,60
19:57:51	19,78	-15,82	16,10	-11,70	-14,00	19,08	-10,20	-12,90	11,80
20:12:51	19,75	-15,62	16,00	-12,10	-14,10	19,06	-10,20	-12,92	12,00
20:27:51	19,71	-15,37	16,00	-12,20	-14,40	19,03	-10,20	-12,92	10,90
20:42:51	19,66	-15,43	16,00	-12,10	-14,90	19,00	-10,20	-12,90	11,60
20:57:51	19,62	-15,42	16,00	-12,10	-14,60	18,97	-10,20	-12,92	11,80
21:12:51	19,59	-15,34	16,00	-12,30	-14,90	18,96	-10,20	-12,94	11,30

21:27:51	19,57	-15,18	15,90	-12,10	-15,20	18,95	-10,30	-12,94	11,60
21:42:51	19,54	-15,34	16,00	-12,30	-14,50	18,94	-10,20	-12,94	11,40
21:57:51	19,53	-15,64	16,00	-11,80	-15,40	18,92	-10,20	-12,93	11,60
22:12:51	19,50	-15,68	15,90	-12,20	-14,90	18,91	-10,20	-12,94	12,00
22:27:51	19,50	-15,58	15,90	-12,20	-15,30	18,88	-10,20	-12,93	12,00
22:42:51	19,45	-15,75	15,90	-12,50	-14,40	18,88	-10,20	-12,93	11,70
22:57:51	19,43	-15,52	15,90	-11,90	-14,40	18,86	-10,20	-12,94	11,70
23:12:51	19,43	-15,24	15,90	-12,20	-15,80	18,85	-10,30	-12,94	11,20
23:27:51	19,39	-15,42	15,90	-12,20	-14,10	18,83	-10,20	-12,94	11,20
23:42:51	19,41	-15,54	15,90	-12,20	-14,80	18,83	-10,20	-12,93	12,00
23:57:51	19,41	-15,65	15,80	-11,90	-15,10	18,83	-10,30	-12,93	12,20